



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**INTERFERÊNCIA DE *Pratylenchus brachyurus* EM SOJA
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E DESEMPENHO
AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE EM ÁREA
INFESTADA COM *Meloidogyne incognita***

Aluna: Fábiana Silva de Oliveira Lima

Orientador: Dr. Gil Rodrigues dos Santos

Co-Orientador: PhD Valdir Ribeiro Correia

**PALMAS – TO
2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**INTERFERÊNCIA DE *Pratylenchus brachyurus* EM SOJA
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E DESEMPENHO
AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE EM ÁREA
INFESTADA COM *Meloidogyne incognita***

Aluna: Fábiana Silva de Oliveira Lima

Orientador: Dr. Gil Rodrigues dos Santos

Co-Orientador: PhD Valdir Ribeiro Correia

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Tocantins como
parte dos requisitos para obtenção do Título
de Mestre em Agroenergia/Cultivos
Bioenergéticos.**

**PALMAS – TO
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- L732i Lima, Fáb|ia Silva de Oliveira .
 Interferência de *Pratylenchus brachyurus* em soja sob diferentes sistemas de cultivo e desempenho agrônômico de cultivares de batata-doce em área infestada com *Meloidogyne incognita*. / Fáb|ia Silva de Oliveira Lima. – Palmas, TO, 2015.
 56 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2015.
 Orientador: Gil Rodrigues dos Santos
 Coorientador: Valdir Ribeiro Correia
1. Ipomoea batatas . 2. Glycine max . 3. Nematoides. 4. Aspectos produtivos. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

**INTERFERÊNCIA DE *Pratylenchus brachyurus* EM SOJA
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E DESEMPENHO
AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE BATATA-DOCE EM ÁREA
INFESTADA COM *Meloidogyne incognita***

ALUNA: FÁBIA SILVA DE OLIVEIRA LIMA

APROVADO EM 03/09/2015

Prof. Dr. Gil Rodrigues dos Santos (Presidente- UFT)

Profa. Dra. Solange Cristina Carreiro (Examinador Interno - UFT)

Prof. Dr. Valdir Ribeiro Correia (Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

À minha eterna vizinha Ilda Souza da Silva (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela dádiva da vida, força e todas as vitórias concedidas graças a fé que Nele sempre é depositada.

À Universidade Federal do Tocantins, pela oportunidade da realização do Mestrado em Agroenergia.

Ao professor Dr. Gil Rodrigues dos Santos, pela amizade e, sobretudo, pela confiança, orientação e valiosa contribuição e ensinamentos recebidos.

Aos professores da Universidade Federal do Tocantins, do Programa de Mestrado em Agroenergia e os demais servidores.

À equipe do Laboratório de Nematologia da Faculdade Católica do Tocantins, pelas colaborações técnicas, amizade e agradável convívio.

As minhas queridas alunas do curso de Agronomia da Faculdade Católica do Tocantins, Patrícia, Caroline, Daisy, Karoline e Mariana e todos aqueles que contribuíram na realização dos experimentos à campo e nas exaustivas análises nematológicas.

Aos professores e amigos Marcus André Ribeiro Correia pelo auxílio nas análises estatísticas e Valdir Ribeiro Correia pelas valiosas contribuições na revisão dos capítulos dessa dissertação, a minha gratidão.

Dedico também meus agradecimentos a meus grandes amigos Sônia Regina e Lorenzo pela grande amizade e parceria que me tornou uma entusiasta com a cultura da batata-doce.

Ao meu esposo Jorge Henrique Lima da Silveira por ser minha fonte de incentivo em todos os desafios que proponho na vida profissional.

Especial agradecimento à minha família, meus pais Adelinto Francisco de Oliveira e Dineurahy Silva de Oliveira pelo amor, apoio e empenho na minha formação acadêmica e profissional.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	08
CAPÍTULO I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	09
1.1 Cultura da soja como alternativa na produção de biodiesel	09
1.2 Cultura da batata-doce como alternativa na produção de bioetanol	11
1.3 Considerações sobre fitonematoides	14
1.3.1 Nematoides das lesões radiculares (<i>Pratylenchus brachyurus</i>) na soja: taxonomia, ciclo de vida, danos e manejo	14
1.3.2 Nematoides de galhas (<i>Meloidogyne</i> spp.) na batata-doce: taxonomia, ciclo de vida, danos e manejo	17
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO II - POPULATION DYNAMICS OF THE ROOT LESION NEMATODE <i>Pratylenchus brachyurus</i> IN SOYBEAN FIELDS IN TOCANTINS STATE AND ITS EFFECT TO SOYBEAN YIELD	24
ABSTRACT	24
RESUMO	25
2.1 INTRODUCTION	26
2.2 MATERIAL AND METHODS	27
2.3 RESULTS	30
2.4 DISCUSSION	33
2.5 LITERATURE CITED	35
CAPÍTULO III - AGRONOMIC PERFORMANCE OF SELECTED SWEET POTATO CULTIVARS IN A FIELD INFESTED WITH <i>Meloidogyne incognita</i>	38
ABSTRACT	38
RESUMO	39
3.1 INTRODUCTION	40
3.2 MATERIAL AND METHODS	42
3.3 RESULTS	45
3.4 DISCUSSION	48
3.5 LITERATURE CITED	51
CONCLUSÕES	56

APRESENTAÇÃO

Atualmente a racionalidade da produção e uso de combustíveis alternativos, derivados de biomassa, especialmente bioetanol e biodiesel vêm sendo cada vez mais preconizados para complementar ou melhorar as matrizes energéticas. No Brasil, dentre as culturas produtoras de biomassa energética utilizada para a produção de biodiesel destaca-se a cultura da soja, já a cultura da batata-doce vêm sendo estudadas atualmente, como uma cultura promissora para a produção de etanol.

No entanto, além de estudos de viabilidade econômica, eficiência energética, organização do sistema de produção, adaptação das culturas, se fazem necessário estudos de ordem fitossanitária nos agrossistemas em que estas culturas estão ou serão inseridas.

Uma vez que os agentes patogênicos, como os nematoides fitoparasitas, representam grandes prejuízos nos agrossistemas, principalmente, quando estes sistemas não são manejados de forma sustentável. Portanto, a busca de informações sobre a ocorrência de fitonematoides no sistema de produção, densidade populacional, espécies, nível de dano, monitoramento dessas populações e manejo são imprescindíveis nas regiões produtoras ou onde serão implantadas estas culturas.

Na cultura da soja, dentre as espécies de nematoides que representam grandes preocupações está *Pratylenchus brachyurus* pela sua ampla distribuição e difícil manejo. Já a cultura da batata-doce, apesar de ser considerada uma cultura rústica, também está sujeita ao ataque de várias espécies de fitonematoides, sendo o gênero *Meloidogyne*, o mais estudado pelos danos significativos e perdas de produtividade.

Diante disso, o capítulo II sobre “Comportamento do nematoide das lesões radiculares (*P. brachyurus*) em sistemas produtivos de soja no Tocantins” teve como objetivo analisar a dinâmica populacional de *P. brachyurus* em áreas produtoras de soja e em áreas plantadas com culturas de safrinha em esquema de sucessão após colheita de soja. Já o capítulo III “Desempenho agrônomo de cultivares de batata-doce em área infestada com *Meloidogyne incognita*” apresenta resultados da

avaliação do comportamento de dezesseis cultivares de batata-doce em relação ao nematoide de galhas *M. incognita* e também as variáveis de produção.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Cultura da soja como alternativa na produção de biodiesel

Com a perspectiva de esgotamento de fontes energéticas de origem fóssil, o aumento do preço e a preocupação com o meio ambiente, as fontes de energias renováveis vem ganhando cada vez mais evidência no cenário mundial. No Brasil, a produção de biocombustíveis tem sido amplamente debatida e para incentivar a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira, foi criado no ano de 2004, o Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel (PNPB). Este programa tem como objetivo implementar de forma sustentável, técnica, e econômica, a produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda.

Posteriormente, a lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005, introduziu oficialmente o biodiesel na matriz energética brasileira, que estabeleceu a obrigatoriedade da adição de um porcentual mínimo de 2% de biodiesel ao óleo diesel comercializado. Esta lei conceitua o biodiesel como o combustível para motores a combustão interna com ignição por compressão, obtido por fonte renovável e biodegradável que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil, e que atenda à especificação técnica definida pela Agência Nacional do Petróleo-ANP (BIODIESELBR, 2008).

O biodiesel pode ser obtido por diferentes processos tais como o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação (PARENTE, 2003). Esta última, a mais utilizada, consiste numa reação química de óleos vegetais ou de gordura animais com etanol ou metanol estimulada por um catalisador. Desse processo também se extrai a glicerina, empregada para fabricação de sabonetes e diversos outros cosméticos.

No Brasil existem vários desafios para a expansão de produção e uso de biodiesel, dentre estes está a diversificação e disponibilidade de matérias-primas a preços competitivos. Apesar do forte investimento do governo na produção de biodiesel a partir de culturas ligadas à agricultura familiar, como a mamona, pinhão-manso e dendê, a maior parte dessa produção tem como matéria-prima a soja. Atualmente, 82% da produção nacional desse biocombustível provêm do óleo de soja (ABIOVE, 2015).

A soja (*Glycine max* L. Merr) é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo. Nos últimos 20 anos a produção mundial de soja duplicou, atingindo 210 milhões de toneladas e o consumo cresceu em ritmo superior ao da produção. Estima-se que esta tendência permaneça no futuro e que o crescimento na demanda por soja atinja 300 milhões de toneladas até 2020. A soja é utilizada na alimentação humana e animal, produção de matéria prima para a indústria visando a produção de óleo vegetal e para outros fins como fabricação de plásticos, lubrificantes, velas, vernizes, sabões, biodiesel e lecitinas (FONTANA, 2011).

Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor, processador de grão em farelo e óleo e segundo maior exportador mundial de soja, garantindo ao país um papel de grande potencial para o produto. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), na safra 2013/2014, os EUA, Brasil e Argentina foram responsáveis por 81,40% de toda a produção mundial de soja em grão, e a China, por 64,26% de todas as importações mundiais. O Brasil foi responsável pela produção de 86,27 milhões de toneladas de soja, ou seja, 44,50% de toda a produção brasileira de grãos com produtividade média brasileira de soja de 3.000 kg.ha⁻¹.

Segundo Marquezim & Castro (2013) apesar de soja apresentar a maior fonte de proteína do que de óleo, essencial para alimentação, é a oleaginosa mais utilizada para produção de biodiesel no Brasil, na ordem de quatro vezes mais que a gordura bovina em segundo lugar, mostrando certa dependência do Brasil na produção de biodiesel a partir da soja como matéria-prima que apresenta 18% de óleo. As razões são que a cadeia produtiva da soja atualmente é a mais bem estruturada para atender a demanda gerada, ou seja, apresenta um sistema de produção dominado, mercado estabelecido e diversificado, produção expressiva e com preços competitivos em relação às outras oleaginosas.

Após o estabelecimento das condições legais que balizam a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira no ano de 2004, vem ocorrendo o aumento nos percentuais da mistura compulsória de biodiesel no diesel mineral que iniciou com a adição obrigatória de 2% e atingindo 7% após a promulgação da lei 13.033 em novembro de 2014. Isso irá requerer maior produção para atender à ampliação do uso do biodiesel como combustível, além do crescimento natural do consumo de óleo refinado e para preparações alimentícias. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) está prevista uma produção de 9,3 milhões de toneladas de óleo de soja, em 2015, das quais 6,5 milhões serão destinadas para o mercado doméstico e 900 mil para a exportação e 2,9 milhões se destinarão à produção de biodiesel (ABIOVE, 2015).

Apesar das vantagens brasileiras para a produção, como a grande disponibilidade de recursos naturais favoráveis do país, o Brasil apresenta desafios que se ultrapassados poderiam resultar numa maior potencialidade do complexo de soja brasileiro, sendo fundamental para um mercado inserido numa concorrência agressiva e altamente excludente. Os desafios estruturais envolvem toda a cadeia de logística integrar as indústrias de processamento às de produção, a criação de novas rotas de escoamento do produto e a redução da carga tributária, são os principais desafios enfrentados pelo mercado da soja brasileira (MARQUEZIN & CASTRO, 2013).

Outro desafio, atualmente, está em torno da segurança alimentar versus produção de biocombustíveis, principalmente, da forma como está estruturada a produção de biodiesel no Brasil, em que a principal matéria prima é a soja, o que compete com a produção de alimentos (CERQUEIRA LEITE, 2009). Portanto, uma forma viável para aumentar a competitividade do biodiesel de maneira sustentável é desenvolver novas matérias-primas, de preferência não alimentícias, diminuindo o preço para o consumidor final com o aumento da produtividade.

1.2 Cultura da batata-doce como alternativa na produção de bioetanol

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L. Lam.) constitui atualmente, uma das principais culturas tuberosas produzidas em regiões tropicais e subtropicais de todo o mundo (ERPEN et al., 2013). Segundo o Internacional Potato Center (2012) a

batata doce está entre as culturas de maior importância no mundo com uma produção anual superior a 133 milhões de toneladas. É cultivada em mais de 100 países, sendo encontrada entre as cinco principais culturas produzidas em mais de 50 destes países. Ocupa o quinto lugar, depois do arroz, trigo, milho e mandioca entre as culturas com maior peso fresco em países desenvolvidos.

De acordo com os dados da FAO—Food and Agriculture Organization of the United Nations (2012), no quadro mundial, entre os maiores produtores de batata-doce, a China destaca-se como maior produtora. Já o Brasil ocupa a 18º lugar entre os países que mais produzem. No entanto, na América do Sul, o Brasil é o principal produtor, contribuindo com 538.503 mil toneladas, obtidas em uma área estimada em 48.000 hectares (FAOSTAT, 2012; ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS, 2013).

No Brasil, a produtividade média é de 12,04 t.ha⁻¹, muito aquém daquela obtida em outros países, como Israel, por exemplo, com produtividade média de 54 t.ha⁻¹ (CECILIO FILHO *et al.*, 1996). As regiões Sudeste e Centro-Oeste, são as que apresentam os maiores rendimentos médios por área do país, com 15,84 t.ha⁻¹ e 27,99 t.ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2012). O baixo custo de produção, a ampla adaptação às condições edafoclimáticas, a facilidade e rusticidade do cultivo e o alto potencial produtivo, favorecem seu cultivo em todo o território nacional. O uso de variedades pouco produtivas e o baixo nível tecnológico empregado, o ataque de pragas e doenças e o uso generalizado de variedades locais pouco adaptadas e produtivas têm contribuído para obtenção de baixos rendimentos da cultura (OGGEMA *et al.*, 2007; FERNANDES, 2013; CÂMARA *et al.*, 2013).

A batata-doce é uma hortaliça com múltiplos usos, podendo ser utilizada na alimentação humana na forma *in natura* ou processada, na alimentação animal e na produção de etanol. Atualmente, esta cultura tem demonstrado potencial promissor na produção de biomassa associada ao baixo custo de produção (MAGALHÃES, 2007). O etanol produzido a partir da biomassa é reconhecido mundialmente como uma das possíveis soluções para mitigação de problemas ambientais, surgindo como fonte alternativa de energia renovável.

No Brasil, o etanol é mais facilmente obtido do caldo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) devido a sua alta produtividade (100 t.ha⁻¹). O aumento das exportações brasileiras de álcool e o aumento do consumo interno do álcool

hidratado se defrontam com a perspectiva de um aumento significativo da demanda de álcool combustível. Tal fator leva a expansão dos canaviais, principal matéria prima para a produção do álcool no Brasil, considerando que a cultura tem apresentado os melhores rendimentos e nível de eficiência quando comparadas a outras fontes de biomassa para a produção de etanol (BARBARISI *et al.*, 2007). No entanto, a produção de etanol desacelerou em 2008, devido a fatores como a crise econômica, graves problemas climáticos que afetaram sucessivas safras e perda de competitividade perante a gasolina (MILANEZ *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2013). A crise econômica reduziu créditos e aumentou os custos de plantio, tornando a produção de cana-de-açúcar mais cara, reduzindo investimentos no setor.

As condições climáticas extremas de seca, excesso de chuva e até mesmo geada também contribuíram para o aumento do custo do etanol, tendo em vista que danificaram as últimas safras de cana, reduzindo a produtividade de 81 t.ha⁻¹ em 2008 para 69,8 t.ha⁻¹ em 2012 (CONAB, 2013; ARIOLI, 2013). A política do governo de controlar os preços da gasolina fez o consumo de etanol despencar no país. Entre 2009 e 2012, o consumo de álcool hidratado de cana-de-açúcar caiu 40%, de 16,5 bilhões para 10 bilhões de litros, enquanto o da gasolina cresceu de 25,4 bilhões para 40 bilhões de litros. Desde então, o setor sucroalcooleiro tem assistido a um fechamento sistemático de vários engenhos. Segundo a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (ÚNICA, 2013), no período entre 2008 a 2012, foram fechadas mais de 40 usinas. Além disso, muitos usineiros preferem produzir açúcar ao invés de etanol, devido aos preços mais atrativos (ARIOLI, 2013).

O etanol ainda tem sua produção restrita basicamente à cana de açúcar, embora, existam outras fontes de biomassa como a mandioca e a batata doce. No entanto, esta última apresenta baixos índices de pesquisas no Brasil, apesar de seus benefícios. Segundo Souza (2006), o ciclo de produção da batata-doce é considerado relativamente curto, variando de 4 a 5 meses, comparado ao da cana-de-açúcar que é de 12 a 18 meses e ao da mandioca de 10 a 20 meses. Além de ser uma cultura rústica que pode ser cultivada em solos de baixa a média fertilidade onde outras culturas mais exigentes não poderiam ser cultivadas, como cana-de-açúcar e milho, e principalmente, apresentar baixo custo de produção.

No Brasil, especificamente no estado do Tocantins, a Universidade Federal do Tocantins (UFT) vem desenvolvendo um programa de melhoramento de batata-

doce, iniciado em 1997, voltado especialmente para a produção de biocombustível em que as pesquisas buscam selecionar genótipos superiores em produtividade, teor de amido, de matéria seca e rendimento de etanol (SILVEIRA, 2002). De acordo com estes estudos para a seleção de cultivares com melhores rendimentos de etanol as cultivares Duda, Beatriz, Ana Clara, Amanda e Júlia, se destacaram com produções de 10.467, 7.436, 7.058, 6.595 e 6.585 L.ha⁻¹ respectivamente (AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DO AGRONEGÓCIO, 2011).

Silveira *et al.* (2002) demonstram resultados promissores no processo de seleção de clones de batata-doce com produtividades entre 28 e 65 t.ha⁻¹ nas condições edafoclimáticas do estado do Tocantins. Este fato indica uma superioridade desses novos clones entre 154% a 400% em relação às produtividades obtidas na década de 70, quando se iniciou pesquisas com esta cultura para produção de etanol combustível. Entretanto, a cultura necessita de informações nos mais diversos campos da pesquisa comparadas a outras culturas de importância agrônômica, tais como o melhoramento genético para recomendação de cultivares com elevada capacidade de adaptação, aspectos fitossanitários e bioprocessos na área de biotecnologia.

1.3 Considerações sobre fitonematoides

1.3.1 Nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) na soja: taxonomia, ciclo de vida, danos e manejo

O gênero *Pratylenchus* é o mais conhecido entre os pertencentes à família Pratylenchidae. Contém diversas espécies de ampla distribuição geográfica, capazes de causar danos significativos às culturas de importância econômica, tanto em países de clima tropical como temperado. O gênero engloba mais de sessenta espécies descritas, e mundialmente é considerado o segundo grupo de nematoides mais importantes, sendo suplantando somente por espécies do gênero *Meloidogyne* (TIHOHOD, 1993).

As espécies do gênero *Pratylenchus* são referidas comumente como 'nematoides das lesões radiculares' devido à sintomatologia nas raízes. As espécies são consideradas endoparasitas migradores, normalmente encontradas no interior das raízes e entre as raízes e o solo (FERRAZ, 1999).

As espécies de *Pratylenchus* são menores que 1 mm de comprimento. Os machos e fêmeas são vermiformes, diferindo somente no caráter sexual. As fêmeas são monodelfas e a reprodução pode ser por anfimixia ou partenogênese do tipo mitótica ou meiótica. São facilmente reconhecíveis pela região labial esclerotizada, sobreposição ventral das glândulas esofagianas e, geralmente, pelo conteúdo intestinal escuro. O estilete é bem desenvolvido com largos bulbos basais. A maioria das espécies é polífaga, mostrando habilidades em parasitar tanto plantas cultivadas – perenes, semi-perenes ou anuais – como as daninhas (LORDELLO, 1992). *Pratylenchus brachyurus* pode ser caracterizado pela presença de dois anéis labiais, estilete forte, cauda conoide, fêmeas com vulva localizada a 82-89% do comprimento do corpo, presença rara de machos na população. Quando presentes possuem espermateca pouco visível e não funcional (CASTILLO & VOVLAS, 2007).

Os nematóides das lesões radiculares são próprios de solos arenosos e de temperaturas elevadas. Geralmente ocorrem em baixa população no solo e alta na raiz. Os ovos são depositados nas raízes (córtex) ou no solo. O período embrionário varia de seis a oito dias a uma temperatura de 28°C a 30°C. O ciclo de vida compreende seis estádios: ovo, quatro estádios juvenis (J1 a J4) e a forma adulta. Uma geração completa seu ciclo em média, com três a oito semanas, dependendo das condições climáticas. A primeira ecdise tem lugar no interior do ovo e as outras três ocorrem fora dele. Machos e fêmeas emergem em 29 a 32 dias, porém, em baixas temperaturas o ciclo de vida pode ser retardado. Na ausência do hospedeiro podem sobreviver em solo úmido por mais de oito meses (FERRAZ, 1999; AGRIOS, 2004).

Todos os estádios juvenis e adultos são infectivos e migradores, movendo-se livremente dentro e entre as raízes e o solo. A penetração por meio de ação mecânica ou enzimática ocorre de forma intracelular, através das células do córtex. Porém, estes abandonam facilmente o sistema radicular, quando as condições se tornam desfavoráveis, migrando para o solo.

Após penetrarem as células do córtex, alimentando-se do conteúdo celular, destroem as células no local de sua penetração e movimentação, provocando lesões, abrindo porta de entrada para outros micro-organismos associados que levam à destruição geral do sistema radicular (TIHOHOD, 1993).

O cerrado brasileiro tem sido palco de agricultura intensiva e, também, alvo de infestações por nematoides fitoparasitas. O fitonematoide mais comumente encontrado em áreas de cerrado pertence ao gênero *Pratylenchus*.

Atualmente, no Brasil, vem crescendo a preocupação com o nematoide das lesões radiculares, pois ele vem impondo prejuízos de até 30% na produtividade da soja (DIAS *et al.*, 2007). Esse nematoide tem causado danos elevados e crescentes à cultura da soja, especialmente na região Centro-Oeste, onde sua ocorrência é mais intensa, devido à predominância de solos arenosos e também pela utilização de milho ou algodão em sucessão à soja, culturas que são suscetíveis ao nematoide.

Até o momento não existem estimativas precisas das perdas potenciais causadas por esse nematoide na produtividade. Trabalho realizado por Franchini *et al.* (2011) para estimar as perdas de produtividade na cultura causada por *P. brachyurus* na região de Mato Grosso, indicou alta correlação negativa entre a produtividade da soja e a população deste nematoide. Com base na equação ajustada foi possível determinar que a cada 82 indivíduos/g de raiz da soja ocorre a perda de 1 saca na produtividade. As perdas de produtividade, estimadas na área do estudo, variaram de 1 a 28 sacas.ha⁻¹ com valor médio de 12 sacas.ha⁻¹ ou seja 21% na redução da produtividade.

O parasitismo de *P. brachyurus* ocasiona nanismo, amarelecimento e perda de rendimento que pode chegar a 50%, dependendo da densidade populacional do nematoide e do tipo de solo (COSTA & FERRAZ, 1998; FERRAZ, 2006).

A ampla distribuição geográfica e gama de hospedeiros dificultam o controle de *P. brachyurus* no campo (SIKORA, 2005), especialmente pela falta de cultivares de soja resistentes e/ou tolerantes (DIAS *et al.*, 2007).

Para a elevação da produtividade da soja em solos infestados por fitonematoides, é necessário um manejo combinado de medidas efetivas de controle. Os métodos de controle consistem em alternativas para eliminar ou reduzir a população de fitonematoides presentes em uma área, abaixo do nível de dano econômico (ZAMBOLIM *et al.*, 2003). Tais medidas podem se basear em pousio, rotação de culturas, uso de matéria orgânica, uso de nematicidas, entre outras.

A rotação de cultura é uma das medidas mais antigas para o manejo de fitonematoides, por isso, o uso de plantas não hospedeiras ou antagonistas é visto

como uma das principais alternativas para o controle (FERRAZ *et al.*, 2010). Em algumas situações, esta prática é a única alternativa para se evitar grandes perdas causadas por *P. brachyurus*. Santana-Gomes *et al.* (2014) afirmam que há dificuldades de manejar *P. brachyurus* em lavouras de soja, especialmente quando se opta por culturas na sucessão ou rotação que proporcionam retorno econômico, pois no Brasil, as culturas mais afetadas por *P. brachyurus* além da cultura da soja, são algodão, pastagens, milho, feijão, sorgo, amendoim, fumo, eucalipto, seringueira, guandu, abacaxi, algumas hortaliças, cana-de-açúcar, café e arroz (INOMOTO *et al.*, 2001; MACHADO *et al.*, 2006; INOMOTO *et al.*, 2011).

Rotação e sucessão na entressafra, com culturas não hospedeiras, são os métodos com maior potencial para o manejo de *P. brachyurus*. Até o momento, foram realizados poucos experimentos de campo como alternativas para reduzir a população e danos causados por *P. brachyurus*. Outro método para controlar o nematoide, mas que vem sendo pouco estudado, é o alqueive, que consiste em preparar o solo por meio de aração e/ou gradagem por certo período de tempo, deixando este, sem qualquer tipo de vegetação, para que o nematoide não se desenvolva (INOMOTO, 2008). Dessa forma, os nematoides morrem por inanição (falta de planta hospedeira), por dessecação e pela ação da luz (a faixa ultra-violeta tem propriedades nematicidas).

1.3.2 Nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.) na batata-doce: taxonomia, ciclo de vida, danos e manejo

O gênero *Meloidogyne* pertence ao grupo dos nematoides endoparasitas classificados como sedentários. A forma juvenil de segundo estágio (J2) ao penetrar a raiz de uma planta hospedeira, inicia a formação do sítio de alimentação (células nutridoras). Após a penetração, o J2 migra para o tecido vascular e começa a se alimentar, introduzindo substâncias tóxicas nas células da planta, que vão alterá-las morfológica e fisiologicamente (MOURA, 1996). Estas células aumentam de tamanho (hipertrofia), sendo denominadas de células gigantes multinucleadas. Seus núcleos se dividem, sem a divisão do citoplasma, ocorrendo aceleração do metabolismo. Além disso, as células do córtex se multiplicam desordenadamente (hiperplasia) e a raiz engrossa, formando um tumor que recebe o nome de galha. O

ciclo de vida ocorre em cerca de 35 dias, dependendo da textura do solo, condições climáticas como temperatura, umidade e variedade cultivada.

Com a formação das células gigantes, ocorre também obstrução dos vasos condutores de água e minerais, o que resulta em deficiência de nutrientes, além do subdesenvolvimento da planta (MOURA, 1996; FREITAS *et al.*, 2001a). Nematoides do gênero *Meloidogyne* são considerados importantes fitopatógenos induzindo significativas reduções na produtividade agrícola (MOURA, 1996). As espécies mais importantes de nematoides em cultivos de batata-doce no Brasil são *M. incognita* (Kofoid & White) Chitwood, 1949 e *M. javanica* (Treub) Chitwood, 1949. As espécies *M. arenaria* (Neal) Chitwood, 1949 e *M. hapla* Chitwood, 1949, ocorrem com menor frequência em batata-doce no Brasil (CHARCHAR, 1991)

Plantas afetadas por espécies de *Meloidogyne* tornam-se mais susceptíveis a outros fitopatógenos, ficam menos resistentes ao estresse, especialmente hídrico, e não respondem satisfatoriamente às práticas de adubação, podendo até causar a morte de plantas (FREITAS *et al.*, 2001)

As raízes secundárias de plantas de batata-doce apresentam grande potencial para acumular população alta dos nematoides. A presença de inúmeras fêmeas com massas de ovos nas raízes secundárias imperceptíveis a olho nu, sem formação de galhas, conceitua a batata-doce como 'falsa hospedeira'. A presença de fêmeas com massas de ovos nas raízes secundárias enfraquecem as plantas devido as raízes apresentarem baixa habilidade para absorver água e nutrientes do solo, o que resulta em baixa produtividade radicular (CHARCHAR & MIRANDA 1989; CHARCHAR *et al.*, 1991). Além disso, podem ocorrer outros sintomas como redução no crescimento, amarelecimento e produção abundante de flores devido a perda de vigor do sistema radicular. (PINHEIRO *etal.*, 2012).

Os efeitos sobre a parte comercial não são diretos, pois os nematoides raramente infectam raízes tuberosas, exceto em cultivares de elevada suscetibilidade. O efeito indireto dos nematoides sobre a produtividade ocorre pelo prejuízo ao desenvolvimento das raízes, com redução na absorção de água, nutrientes e assimilados para a planta, circunstância em que pode ocorrer a morte da planta. (CHARCHAR & RITSCHER, 2004). Wanderley & Santos (2004) ao avaliarem a resistência de cultivares de batata-doce em relação a *M. incognita*

observaram alterações anatômicas das raízes e bloqueio dos vasos do xilema e supressão de tecidos vasculares.

Devido aos seus efeitos maléficos sobre o desenvolvimento da cultura, sistemas de rotação de culturas, geralmente, são recomendáveis em programas de manejo integrado de nematoides, por apresentar vantagens adicionais, além da redução populacional dos nematoides parasitas das plantas cultivadas. A utilização de cultivares resistentes aos nematoides é uma das formas de controle mais estratégicas, visto que o controle utilizando nematicidas, além de oneroso, normalmente é ineficiente e ambientalmente insustentável (MCSORLEY & PORAZINSKA, 2001). Nos últimos anos no Brasil, várias cultivares e clones de batata-doce têm sido avaliados e selecionados para a resistência principalmente de *M. incognita* e *M. javanica* (HUANG *et al.*, 1986; MALUF *et al.*, 1996; PEIXOTO *et al.*, 1998; FREITAS *et al.*, 2001b; WANDERLEY & SANTOS, 2004; MASSAROTO *et al.*, 2008; CHAVES *et al.*, 2013).

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais – Estatística – Junho /2015-
<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>

AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS. Batata doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam): matéria prima alternativa para a produção de etanol. Disponível em: http://www.apta.sp.gov.br/cana/coletanea/atata-doce_teresa_losada.doc>Acesso em 22 março 2011.

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. USA. Elsevier, 2004, 851-852 p.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS. **Brazilian Vegetable Yearbook**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2013, 88 p.

ARIOLI, M. **The challenges of ethanol in Brazil**. The City Fix. June 4, 2013. Disponível em: <<http://thecityfix.com/blog/ethanol-brazil-sugar-cane-industry-biofuels-magdala-arioli/>>. Acesso em: Novembro de 2013.

BARBARISI, B. F.; MARIN, F. R.; ASSAD, E. A.; PILAU, F. C.; PACHECO, L.R.I. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática da cana-de-açúcar no Estado de Goiás, IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15. 2007. Aracaju. **Anais**. SBA, 2007, 43 p.

BIODIESELBR.COM. **biodieselbr**, 2008. Disponível em: <http://biodieselbr.com/>
Acesso em 14 de junho de 2014.

CÂMARA, F. A. A.; GRANGEIRO, L. C.; DOMBROSKI, J. L. D.; SANTOS, M. A.; FREITAS, R. M.O.; FREITAS, F. C. L. Desempenho agrônômico de cultivares de batata-doce oriundas de ramas produzidas de forma convencional e *in vitro*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v.8, p. 370-374, 2013.

CARVALHO, L. C.; FREITAS BUENO, R. C. O.; CAVALHO, M. M.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. Cana-de-Açúcar e Álcool Combustível: Histórico, Sustentabilidade e Segurança Energética. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p. 208 2013.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N.. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, biology, pathogenicity and management**. Leiden: Brill, 2007, 529 p.

CECILIO FILHO, A.B.; REIS, M.S.; SOUZA, R.J; PASQUAL, M. Degenerescência em cultivares de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 16, 82-84,1996.

CERQUEIRA LEITE, R.C. Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol?. **Energy**, v. 34, p. 655–661, 2009.

CHARCHAR, J. M.; MIRANDA, J. E. C.. Seleção de clones de batata-doce para resistência à nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.). **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 7, p. 49, 1989.

CHARCHAR, J. M.; MIRANDA, J. E. C.; GONÇALVES, C. R.; MEDEIROS, J. G. Seleção de batata-doce para resistência a nematoides de galhas *Meloidogyne* spp. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 16, p. 130, 1991.

CHARCHAR, J. M.; RITSCHER, P. S. Avaliação do banco de germoplasma de batata-doce da Embrapa Hortaliças para resistência a *Meloidogyne* spp. Brasília: Embrapa Hortaliças. **Boletim...** 2004. 28 p.

CHAVES, P. P. N.; SANTOS, G. R.; SILVEIRA, M. A.; GOMES, L. A. A; MOMENTÉ, V. G; NASCIMENTO, I. R. Reação de genótipos de batata-doce a nematoides de galhas em condições de temperatura elevada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, p. 1869-1877, 2013.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013. Indicadores da agropecuária: **Relatório do ano de 2013**. Brasília: Conab. 14p.

COSTA, D. C., FERRAZ, S. Avaliação da resistência de cultivares e linhagens de soja a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, Brasília-DF, v.13, p. 4-5, 1998.

DIAS, W. P.; RIBEIRO N. R.; LOPES, I. O. N.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G. E. S.; SILVA, J. F. V.; 2007. Manejo de nematoides na cultura da soja. IN CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 27, **Anais**, Goiânia, '2007, p. 26-30.

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; WINCK, J. E. M; GABRIEL, L. F. Estimating cardinal temperatures and modeling the vegetative development of sweet potato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 1230-1238, 2013.

FAO. **Agricultural production, primary crops**. Roma, (2012). Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 7 de março de 2012.

FAOSTAT. 2012. **The market sweet potatoes**. Disponível em <http://www.unctad.info/en/Infocomm/AACP-Products/COMMODITY->

FERNANDES, F.R. **Limpeza clonal de batata-doce: produção de matrizes com elevada qualidade fitossanitária**. Embrapa Hortaliças, 2013, 8 p.

FERRAZ, L. C. C. B. **Gênero *Pratylenchus* – os nematóides das lesões radiculares**. In: LUZ, W. C. (Ed). Revisão Anual de Patologia de Plantas. 1. ed. Passo Fundo, Berthier, v. 7, 1999, p. 158-195.

FERRAZ, L. C. C. B. O nematoide *Pratylenchus brachyurus* e a soja sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo-RS, edição 96, p. 23-27, 2006.

FERRAZ, S., L. G.; FREITAS, E. A.; DIAS-ARIEIRA, C. R. **Manejo sustentável de fitonematóides**. Viçosa: UFV, 2010, 306 p.

FONTANA, J. D. **Biodiesel: para leitores de 9 a 90 anos**. Curitiba: Ed. UFPR, 2011, 253 p.

FRANCHINI, J. C.; MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; RIBAS, L. N.; SILVA, J. F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e relação com danos pelo nematoide das lesões radiculares. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33. 2011, Uberlândia. **Anais eletrônicos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, R. D, L; FERRAZ, S. **Introdução à Nematologia**. Cadernos Didáticos, Viçosa: UFV, 2001, p. 84a.

FREITAS, J. A.; SANTOS, G. C.; SOUZA, V. S.; AZEVEDO, S. M. Resistência de clones de batata-doce, *Ipomoea batatas* L., aos nematóides causadores de galhas. **Scientiarum**, Maringá, v. 23, p.1257-1261, 2001b.

HUANG, S. P.; MIRANDA, J. E. C.; MALUF, W. R. Resistance to root-knot nematodes in Brazilian sweet potato collection. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 11, p.761-766, 1986.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012. Pesquisa Agrícola Municipal – PAM. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/pages/>> Acesso em: 12 de março, 2014.

INOMOTO, M. M.; GOULART A.; MACHADO, A. C. Z.; MONTEIRO, A. R. Effect of population densities of *Pratylenchus brachyurus* on the growth of cotton plants. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, p.192-196, 2001.

INOMOTO, M. M. Importância e manejo de *Pratylenchus brachyurus*. **Revista Plantio Direto**, v.108, p. 4-9, 2008.

INOMOTO, M. M.; SIQUEIRA, K. M. S.; MACHADO, A. C. Z. Sucessão de cultura sob pivô central para controle de fitonematoides: variação populacional, patogenicidade e estimativa de perdas. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v. 36, p.178-185, 2011.

LORDELLO, L. G. E. **Nematoides da plantas cultivadas**. 8. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 314 p.

MACHADO, A. C. Z.; BELUTI, D. B.; SILVA, R. A.; SILVA, SERRANO, M. A. S., INOMOTO, M. M. Avaliação de danos causados por *Pratylenchus brachyurus* em algodoeiro. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v. 31, p. 11-16, 2006.

MAGALHÃES, K. A. B. **Análise da sustentabilidade da cadeia produtiva de etanol de batata-doce no município de Palmas-TO**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2007.

MALUF, W. R.; AZEVEDO S. M.; CAMPOS, V. P. Heritability of root knot nematode (*Meloidogyne* spp.) resistance in sweet potatoes. **Journal of Genetics and Breeding**, Pakistan, v. 50, p. 161-165, 1996.

MARQUEZIN, C. L.; CASTRO, L. S. Análise do aumento na demanda brasileira por biodiesel e o reflexo na cadeia da soja através do modelo de vetores auto regressivos. IN: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 51, 2013. Belém, **Anais...**, SOBER, 2013, 67 p.

MASSAROTO, J. A. **Características agronômicas e produção de silagem de clones de batata-doce**. 2008. 73f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

McSORLEY, R.; PORAZINSKA, D. L. Elements of sustainable agriculture. **Nematropica, Flórida**, v.31, p. 1-9. 2001.

MILANEZ, A.Y.; NYKO, D.; GARCIA, J.L.F.; SOARES DOS REIS, B.L.F.S. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **BNDES Setorial** 35, p. 277 – 302. 2012.

MOURA, R. M. Gênero *Meloidogyne* e a meloidogynose. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 4, p. 209-244, 1996.

OGGEMA J. N.; KINYUA, M. G.; OUMA, J. P.; OWUOCHE, J. O. Agronomic performance of locally adapted sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) cultivars derived from tissue culture regenerated plants. **African Journal of Biotechnology**, Bowie, v. 6, p. 1418-1425, 2007.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Unigráfica, 2003, 68 p.

PEIXOTO, J. R.; FERRAZ, F. M.; SANTOS, L. C.; ANGELIS, D. E.; JULIATTI, F. C. Seleção de genótipos de batata-doce resistentes ao nematóide das galhas (*Meloidogyne* spp.). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 51-53, 1998.

PINHEIRO, J. B.; RODRIGUES, C. S.; CARVALHO, A. D. F.; FERREIRA, R. B. Nematoides na cultura da batata-doce. Brasília: Embrapa Hortaliças, **Circular Técnica**, 2012, 9 p.

SANTANA-GOMES, S. M.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; F. BIELA; RAGAZZI, M.; FONTANA, L.F; PUERARI, H. H.; Crop succession in the control of *Pratylenchus brachyurus* in soybean. *Nematropica*, Flórida, v. 44, p. 200-206, 2014.

SIKORA, R. A.; GRECO, N. SILVA, J. F. V. Nematode parasites of food legumes. Pp. 259-318. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. eds. **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford: CAB International, 871, 2005.

SILVEIRA, M. A. Resistência de clones de batata-doce coletados no Estado do Tocantins a insetos de solo e namatoides causadores de galhas. **Horticultura Brasileira**, Suplemento 2, v. 20, p., 2002.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: FUNESP, 1993, 281-285 p.

UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar). **Nova Usina da Bunge em Tocantins Reforça Compromisso de Crescimento do Setor Sucoenergético. 2013**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticia/34444693920327850689/nova-usina-da-bunge-em-tocantins-reforca-compromisso-de-crescimento-do-setor-sucoenergético/>. Acesso em: Novembro de 2013.

WANDERLEY, M. J. A.; SANTOS, J. M. Resistência de cultivares de batata-doce a *Meloidogyne incognita*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 437-440, 2004.

ZAMBOLIM, L.; REIS, E. M.; CASA, R.T. **Roda Salvador**. Cultivar, Pelotas, v. 5, n. 46, p. 21-24, 2003.

CAPÍTULO II

POPULATION DYNAMICS OF THE ROOT LESION NEMATODE *Pratylenchus brachyurus* IN SOYBEAN FIELDS IN TOCANTINS STATE AND ITS EFFECT TO SOYBEAN YIELD

Fábia Silva de Oliveira Lima¹, Gil Rodrigues dos Santos², Sônia Regina Nogueira³,
Patrícia Resplandes Rocha dos Santos², and Valdir Ribeiro Correa¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins-*Campus* Dianópolis, CEP 77.300-000, Dianópolis-TO, Brazil;

²Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal do Tocantins-*Campus* Gurupi, CP. 66, CEP 77.402-970, Gurupi-TO, Brazil;

³Embrapa Acre, Rodovia BR-364 km 14, CEP 69.900-056, Rio Branco-Acre, Brazil.

ABSTRACT

Pratylenchus brachyurus has become increasingly frequent in soybean fields throughout Brazil where yield loss assessments have reported reduction up to 30%. Currently, no soybean cultivars resistant to *P. brachyurus* have been identified and management strategies include crop rotation with non-host crops, fallow, and the application of nematicides. The goals of this study were to examine the population dynamics of *P. brachyurus* in soybean fields throughout Tocantins state and in areas planted with off-season crops following soybean harvest in a crop succession scheme. *Pratylenchus brachyurus* was present in ca. 82% of samples with densities in soybean fields ranging from 23 to 20,400 nematodes per 200 cm³ soil or 10g root samples. In two sites, the mean nematode density was higher within infestation foci which were characterized by poor soybean growth compared to those from outside infestation foci, with an overall reduction of 44.3% in plant height and 39.7% in pod numbers. Following soybean harvest in areas planted with off-season crops including maize, sorghum, millet, crotalaria as well as an area maintained as a fallow treatment, the mean density of *P. brachyurus* ranged from 122 to 504 individuals per 10 g root sample and from 3 to 96 per 200 cm³ soil. Overall, the mean density of nematodes did not differ significantly among plant species and all crops used in the

succession scheme allowed *P. brachyurus* multiplication. In summary, off-season cultivation with the crops used in this study is not recommended for management of *P. brachyurus* in soybean, but the use of fallow or non-hosts may be helpful in lowering the population density of *P. brachyurus* in soybean fields.

Key words: *Glycines max*, management, nematode, population survey, yield loss.

DINÂMICA POPULACIONAL DO NEMATOIDE DAS LESÕES RADICULARES *Pratylenchus brachyurus* EM CAMPOS DE SOJA NO TOCANTINS E SEU EFEITO NA PRODUÇÃO

RESUMO

Pratylenchus brachyurus tem se tornado cada vez mais frequente em campos de soja em todo Brasil com perdas na produção estimada em 30%. Atualmente não há relatos de cultivares de soja resistentes a *P. brachyurius* e as estratégias de controles incluem rotação com culturas não hospedeiras, pousio, além do uso de nematicidas. Este trabalho teve como objetivos avaliar a dinâmica populacional de *P. brachyurus* em áreas de soja no estado do Tocantins e em áreas plantadas com culturas de safrinha em esquema de sucessão após colheita de soja. As densidades de *P. brachyurus* observadas em campos de soja em onze municípios do estado do Tocantins variaram de 23 a 20.400 nematoides por amostras de 200 cc de solo ou 10g de raízes. Em dois locais, a média da densidade de nematoides foi maior, com desenvolvimento menor da soja em amostras de solo e raízes tomadas dentro de reboleiras com sintomas do nematoide, comparados com amostras de parcelas fora das reboleiras, uma redução geral de 44,3% na altura das plantas e 39,7% no número de vagens. Em áreas plantadas com culturas de entressafra, previamente cultivadas com soja, incluindo milho, sorgo, milheto, crotalária, além de uma área de pousio como tratamento, a densidade média de *P. brachyurus* variou entre 122 e 504 espécimes por 10g de raiz e entre 3 e 96 por 200 cc de solo. No geral, a densidade média não diferiu estatisticamente entre as espécies testadas e todas as culturas utilizadas no esquema de sucessão permitiu a multiplicação de *P. brachyurus*. Em conclusão, o cultivo destas espécies usadas neste estudo não são recomendadas para o manejo de *P. brachyurus* em campos de soja. No entanto, o

uso de culturas não hospedeiras ou a utilização do sistema de pousio pode ajudar a diminuir o nível populacional de *P. brachyurus* em áreas de soja.

Palavras-chave: Danos, *Glycines max*, levantamento populacional, manejo, fitonematoides.

INTRODUCTION

Brazil is the largest producer and exporter of soybeans (*Glycine max* L. Merr) worldwide, making this crop an important commodity for its economy. Over fifty percent of soybean in Brazil is produced in the Cerrado region, with a recent increase in production between 100% and 600% in the states of Tocantins, Maranhão, Piauí, Bahia and Goiás. Tocantins state is considered the largest grain producer in this region, producing 1.4 million tons of soybeans in an area of 506 thousand hectares in 2012 to 2013 (Seagro, 2014).

Tocantins state has a climate favorable for soybean production and is strategically located, so the potential for export is high. Moreover, with the implementation of the 'Northern Hallway Export Program', covering the Cerrado region of Southwest Piauí, Southern Maranhão, North and Southeast of Tocantins, commercial opportunities for soybean production in this region are expected to expand due to improvements in infrastructure and transportation.

The expansion in soybean production in the Cerrado region has contributed to intensive agriculture, leading to agronomic challenges, including nematode diseases. Currently, more than 100 nematode species within 50 genera have been reported causing damage to soybean (Ferraz, 1999). In Brazil, the most important nematode species associated with soybean are the root-knot nematodes *Meloidogyne javanica* (Treub, 1985) Chitwood, 1949 and *M. incognita* (Kofoid and White, 1919) Chitwood, 1949, soybean cyst nematode *Heterodera glycines* Ichinohe, 1952, root lesion nematode *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev and Stekhoven, 1941), *Tubixaba tuxaua* Monteiro and Lordello, 1980 and the reniform nematode *Rotylenchulus reniformis* Lindford and Oliveira, 1940 (Roese *et al.*, 2001; Franzener *et al.*, 2005; Dias *et al.*, 2007; Santana *et al.*, 2009).

Among these nematode species, the root lesion nematode *P. brachyurus* is probably one of the most important, especially in the Cerrado region. Recently, its incidence has been rising with overall losses estimated at ca. 10-30%, especially in

sandy soils receiving irregular rainfall (Ferraz, 2006; Panorama Rural, 2010; Plantio Direto, 2014, Waldir P. Dias, Embrapa Soybean, Campo Grande, MT, personal communication). In addition, there are frequent reports of yield losses and economic damage in several soybean fields across Tocantins state, with special concern with damage caused by *P. brachyurus* (Lima Neto, 2009).

Pratylenchus brachyurus directly affects soybean growth and yield. It causes root necrosis which affects water and nutrient uptake. Pathogenicity assays in soybeans indicated that this nematode is well adapted to parasitism in which high populations present in soil usually are not enough to kill host plant. However, damage thresholds are very variable and depend on a combination of *Pratylenchus* species and host plants, ranging from 0.05 to 30 individuals per cc soil (Castillo and Vovlas, 2007).

Pratylenchus brachyurus is a migratory endoparasitic nematode that moves intercellularly through the root cortex, disrupting and destroying cells, facilitating secondary infection by fungi and bacterial pathogens (Castillo and Vovlas, 2007). Symptoms associated with *P. brachyurus* infection are non-specific and can easily be missed or mistaken for symptoms caused by other pathogens, nutritional deficiencies and water stress. Such symptoms include root necrosis, discolored roots (reddish to dark brown), stunted plants with chlorosis and wilting – symptoms that may lead to crop damage and yield loss (Ferraz, 1999, Castillo and Vovlas, 2007).

Economically important nematode species are usually present in Cerrado native soils at low population densities. However, with increased use of soybean and cotton monocultures, their populations have increased substantially (Goulart, 2008, Lima Neto, 2009). The withdrawal of most chemical nematicides from the market due to concern for human and environmental side effects has pressed the need for new control strategies, including genetic control of nematodes. Host resistance has been explored but no *P. brachyurus*-resistant soybean cultivars have been identified so far. Breeding resistant cultivars against *P. brachyurus* is difficult due to the fact that this nematode is polyphagous and lacks an intimate interaction with their hosts. Hence, current management recommendations for reducing *P. brachyurus* in soybeans include crop rotation or succession with non-hosts, as well as fallow.

The goals of this research were to examine the population dynamics of *P. brachyurus* in soybean fields in Tocantins state and in a crop succession scheme

with off-season species planted following soybean harvest through the assessment of nematode survey and yield loss in infested areas.

MATERIAL AND METHODS

During cropping seasons of 2009 to 2011, from several soybean samples collected in soybean fields and submitted voluntarily by soybean growers to the Nematode Assay Laboratory (Universidade Católica-Tocantins) for nematode analysis, thirty three samples from eleven counties in Tocantins state were further examined for the presence of nematodes. Soybean samples were taken from January to March at the beginning of soybean flowering stage or during seed filling (R1-R4 reproductive stages). Most soybean fields sampled were characterized by a sandy Red Latosol. Samples were collected with a shovel around plants showing nematode symptoms within 20 cm depth. A total of fifteen 300 cc soil samples or roots were mixed to make a composite sample of 200 cc soil and 10 g roots. Three composite samples for each county were used to estimate and identify the most prevalent nematode species.

Nematodes were extracted from soil using the flotation, sedimentation and centrifugation method (Jenkins, 1964) or from roots according to Coolen and D'Herde (1972) and Jenkins (1964). Extracted nematodes were killed at 55° C for 30 sec., fixed in Golden solution (3% formalin final volume) (Hopper, 1970), counted and identified to species level using morphological characters (Handoo and Golden, 1989). Based on population densities from the survey, two sites in Tocantins state were selected for additional studies to examine the population dynamics of *P. brachyurus*. One site was in Porto Nacional and one site was in Silvanópolis. In Porto Nacional, the goal was to determine soybean yield losses due to *P. brachyurus* in an area that had been planted with soybean for five to six consecutive cropping seasons. The Silvanópolis site was used to evaluate the effect of off-season crops planted after soybean on *P. brachyurus* populations.

In Porto Nacional (experiments I and II) soybean cv. MSOY9144 was planted at November 25 of 2010 and 2013. Eighty days post planting, five areas (foci) of apparent *P. brachyurus* infestation foci were randomly chosen and assigned to a block. Each block was divided into two plots (4 m²), one inside and one outside the

infestation foci. In each plot, three soil samples of 200 cc and 10 g of roots were systematically taken in a zigzag pattern to estimate *P. brachyurus* population densities. Samples were taken around plant within a 20 cm depth with a soil core of 2.5 cm diameter. All samples were collected from soybean plants only, normally during flowering stage or early during seed filling stage. The soil type was mostly characterized by sandy Red Latosol. Nematodes were extracted from soil using the flotation, sedimentation and centrifugation method (Jenkins, 1964) or from roots according to Coolen and D'Herde (1972) and Jenkins (1964), killed (55° C for 30 sec.), fixed on Golden solution, counted and identified to species level using morphological characters as mentioned above (Handoo and Golden, 1989). Additional parameters such as soybean growth (plant height, stem diameter, internode and leaf numbers, dry weight of shoot, root and stem) and production (pod numbers and seed weight) were analyzed.

At the Silvanópolis site (experiment III), an area of 240 m² infested with *P. brachyurus* was planted with soybean and off-season rotational crops following soybean harvest. The crops included soybean (cv. MONSOY 9144), *Crotalaria juncea*, a maize hybrid (Pioneer 30F35H), a sorghum hybrid (DKB599), and pearl millet (ADR 7010). A fallow treatment was also included. Prior and after soybean harvest, the population density of *P. brachyurus* was determined. The 240 m² area was further divided into 3 subareas of 80 m² and a total of 20 subsamples of roots or soil per subarea were collected with a soil core of 2.5 cm diameter in a zigzag pattern and combined into a composite sample. Nematodes were extracted, fixed, counted and identified to species level using morphological characters as mentioned above. Crops were planted in a randomized block design with four replicates in March 20 2011 and sampled 60 days later. Three soil subsamples were collected to a depth of 15 cm in the three central rows of each plot using a soil core of 2.5 cm diameter. Samples were pooled to make a composite sample of 200 cc for nematode assay. Plants were collected from the same points, to determine nematode population density in 10 g of roots, using methods described above.

Data were submitted to analysis of variance (one-way ANOVA) and the means separated using the Tukey's test ($P < 0.05$). Data were also transformed as $\log(x+1)$ and submitted to regression analysis.

RESULTS

Results from this survey showed that *Pratylenchus brachyurus* was the most prevalent nematode species found associated with soybeans, with more than 95% of the specimens identified. Densities of *P. brachyurus* observed in soybean fields in several counties throughout Tocantins state ranged from 23 to 20,400 nematodes per sample (Table 1). Other nematode species found included *P. zaeae*, *Helicotylenchus* spp., *Criconemella* spp., and *Meloidogynespp.*

Table 1. Population densities of *Pratylenchus brachyurus* found in soybean fields in Tocantins state, Brazil during 2009-2011.

Counties ¹	#. of <i>P. brachyurus</i>	
	10 g of roots ²	200cc of soil ²
Santa Rosa	24 ± 2.33	12 ± 0.88
Porto Nacional	5,482 ± 289.24	139 ± 14.50
Ipueiras	2,669 ± 112.49	13 ± 1.86
Chapada de Natividade	366 ± 27.72	44 ± 3.48
Rio dos Bois	2,157 ± 93.87	56 ± 6.84
Brejinho de Nazaré	1,452 ± 56.44	63 ± 6.67
Buritirana	940 ± 32.17	34 ± 4.48
Tupirama	890 ± 23.63	45 ± 4.09
Aparecida do Rio Negro	509 ± 30.14	64 ± 3.76
Itacajá	3,852 ± 56.29	18 ± 3.92
Silvanópolis	1,020 ± 40.41	38 ± 4.41
Mean	1,757.36	47.82

¹Counties located in Tocantins state, Brazil.

²Means ($n=3$) ± standard error of *P. brachyurus* densities from three independent soybean sampling sites.

In the first experiment, soybean plants showed typical symptoms caused by *P. brachyurus*, including uneven plant growth with fewer secondary roots, darkened,

necrotic roots. The population density of *P. brachyurus* in soil and root samples taken within infestation foci was higher than those from plots outside infestation foci (Table 2). Densities of *P. brachyurus* inside infestation foci were around 14 times greater than outside the foci. Plants inside the infestation foci were 44.3% shorter and produced 39.7% fewer pods, on average, than non symptomatic plants outside the foci. Overall, there was a negative correlation of *P. brachyurus* density with plant height ($R^2 = - 0.78$, $P=0.001$), pod numbers ($R^2 = - 0.48$, $P=0.03$), root weight ($R^2 = - 0.45$, $P=0.05$) and seed weight ($R^2 = - 0.33$, $P=0.1$), although not statistically significant for this late variable (Table 2).

Table 2. Soybean yield inside and outside *Pratylenchus brachyurus* infestation foci in a field in Porto Nacional, Tocantins, Brazil during the cropping season of 2010/2011.

Treatments	<i>P. brachyurus</i> (10g of roots)	<i>P.</i> <i>brachyurus</i> (200cc of soil)	Plant height (cm)	#. of pods	Weight (g) (100 seeds)
Within infestation foci [†]					
1	4,428	24	40.9	54.0	170
2	3,845	84	44.0	69.4	270
3	2,898	400	52.6	68.3	171
4	1,545	27	40.8	42.0	105
5	3,673	0	40.0	45.2	113
Mean [‡]	3,278 [‡] a	107 a	43.6 a	55.7 a	165.8 a
Outside infestation foci					
1	150	7	89.0	83.0	240
2	279	0	63.4	123.0	310
3	77	32	81.2	76.0	191
4	390	38	80.8	112.4	282
5	27	0	84.8	85.2	214
Mean	185 [‡] b	15 b	79.8 b	96 b	247.4 b
Yield reduction (%)	-	-	44.3	39.7	33

[†] Numbers 1-5 represent replicates.

[‡] Means ($n=5$) followed by different letters within columns are significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$).

Data collected during 2012/2013 harvest (experiment II) also showed the same trend. There was a negative correlation between *P. brachyurus* density and soybean (cv. MONSOY 9144) growth ($R^2 = - 0.42$, $P=0.05$) and yield ($R^2 = - 0.48$, $P=0.03$)

(Table 3). The average values of internode numbers, stem diameter, leaf numbers, dry weight of roots, leaves, stem, pods and shoot, pod numbers, and plant height within infestation foci were all statistically lower than soybean outside infestation foci (Table 3).

Table 3. Yield reduction in soybean inside and outside *Pratylenchus brachyurus* infestation foci in a field in Porto Nacional, Tocantins, Brazil during the cropping season of 2012/2013.

Treatments	#. of internodes	Stem diameter (mm)	#. of leaves	Root weight (g)	Leaves weight (g)	Stem weight (g)	Pods weight (g)	Shoot weight (g)	#. of pods	Plant height (cm)	#. of nematodes (roots)	#. of nematodes (soil)
Within infestation foci												
1	13 [†]	6	23	4.70	9.96	4.51	2.96	17.43	31.36	30	1,385	422
2	13	3	21	1.38	7.50	1.71	0.94	10.15	30.72	13	2,172	182
3	13	4	16	1.57	5.85	1.47	0.52	7.84	27.58	8	1,232	247
4	13	4	19	1.83	7.24	1.41	0.56	9.22	25.76	11	1,322	175
5	13	4	16	3.93	7.43	1.96	0.64	10.03	29.70	10	1,047	700
Mean [‡]	13b	4.2b	19b	2.68b	7.6b	2.21b	1.12b	10.93b	29.02b	14.56b	1,431b	422b
Outside infestation foci												
1	16	8	46	3.82	15.12	10.02	7.83	32.97	48.08	82	1,461	260
2	15	11	69	6.23	30.85	16.88	16.10	63.83	47.06	129	474	82
3	16	7	42	2.64	12.01	8.27	4.73	25.01	48.16	68	744	14
4	16	8	39	3.64	12.08	10.91	3.86	26.85	53.16	53	304	490
5	15	7	43	3.69	14.47	12.35	5.44	32.25	48.86	76	565	360
Mean	15.5a	8.08a	47.64a	4a	16.91a	11.69a	7.59a	36.18a	49.06a	81.32a	709a	260a
Reduction (%)	16.12	48	60.14	33	55	81	85	69.8	40.8	82.09	-	-

[†]Numbers 1-5 represent replicates.

[‡]Means ($n=5$) followed by different letters within columns are significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$).

Planting non-host crops after soybean did not reduce population densities of *P. brachyurus* (Table 4). *Pratylenchus brachyurus* density in crotalaria (*C. juncea*) and on maize cv. Pionner 30F35H was 126 and 504 individuals per 10g roots, respectively, while in sorghum DKB599 and on perl millet ADR 7010 was 122 and 309 individuals per 10 g roots, respectively.

Table 4. Population densities of *Pratylenchus brachyurus* in a crop succession scheme post soybean cultivation during 2010/2011 in Porto Nacional, Tocantins.

Treatments	<i>P. brachyurus</i> (P_i^1) (200cc soil)	<i>P.brachyurus</i> (10g roots)	<i>P. brachyurus</i> (200cc soil)
Soybean- crotalaria (<i>Crotalaria juncea</i>) ²	12±5.40	126±61.93	23±15.58
Soybean-maize Pioneer30F35H	39±8.45	504±195.45	21±8.44
Soyben-sorghum DKB599	6±2.50	122±55.44	3±1.78
Soybean-pearl millet ADR 7010	4±1.50	309±204.62	96±60.19
Soybean-fallow	21±6.45	-	54±40.74
Mean	16	265	39.4

¹Initial population density of *P. brachyurus* following soybean harvest.

²Treatment means ($n=4$) ± standard error were not significantly different according to Tukey's test ($P<0.05$).

DISCUSSION

Our study confirmed that *P. brachyurus* is common in soybean fields and associated with yield loss in the Tocantins state of the Cerrado region of Brazil. Previous nematode surveys carried out recently in other regions, such as Goiás and Mato Grosso do Sul states, showed that increased incidence of this nematode is positively correlated with a drop in soybean yield. For example, in Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul state, soybean yield was normally around 2,600 kg/ha, while during cropping season of 2008/2009 it dropped to 2,400, and to 1,850 during 2009/2010 (Panorama Rural, 2010, Waldir P. Dias, Embrapa Soybean, personal communication). In soybean fields in the west region of Brazil there are frequent reports of reduced yields up to 30% due to *P. brachyurus* attack (Goulart, 2008, Franchini *et al.*, 2008, Waldir P. Dias, personal communication).

Results of a study carried out in 2011/2012 in Vera-Mato Grosso state (Franchini *et al.*, 2008) indicated a highly negative correlation between soybean yield and nematode population, with 50 kg loss in yield for every 82 nematodes per gram

of soybean roots. Overall, yield losses ranged from 50 to 1,400 kg / ha, with an average of 600 kg/ ha (21%) yield reduction.

Ferraz (1995) showed a significant reduction in the growth of three soybean cultivars in the greenhouse under conditions favorable to soybean growth. At an inoculum level of 5,000 nematodes, there was a reduction in root fresh weight of 13.9-41.8% and shoot weight of 14.1-33.3% compared to the nematode-free control. Our results show that the impact of *P. brachyurus* is severe in fields with sandy soil causing reductions in plant height (ca. 82%), dry weight of seeds (85%), dry weight of stems (81%) and pod numbers (39.7%) in nematode infestation foci compared with plants outside these foci.

All crops used in the succession scheme were hosts of *P. brachyurus*, allowing its multiplication. Our results disagree with those of Borges (2009) who reported that pearl millet cultivars, including ADR7010 that were inoculated with *P. brachyurus* under greenhouse conditions showed a reproduction factor of only 0.2.

Our data also showed that crop succession of soybean with either maize and or sorghum favored *P. brachyurus* multiplication. *Crotalaria* is a host to *P. brachyurus*, as evidenced by a population of 126 individuals per 10g of roots. Several studies have shown that *Crotalaria juncea* is effective in controlling root-knot nematodes (Huang and Silva, 1980; Silva *et al.*, 1989; Moura, 1991; Araya and Caswell-Chen, 1992; Moura, 1995; Santana *et al.*, 2003). However, there are few studies considering the reaction of *C. juncea* to *P. brachyurus*, particularly under field conditions. According to Machado *et al.*, 2007, *C. spectabilis* and *C. breviflora* are both non-hosts to *P. brachyurus*.

Fallow may be an alternative to planting crops off-season, but in this study there was no reduction in *P. brachyurus* density in the crop succession soybean-fallow-soybean. It is possible that the 60-day period studied in our experiment was not a long enough time to allow nematode density to decrease. According to Mani (1999), soil plowing might increase the efficacy of fallow by exposing nematodes to sunlight and desiccation. However, the impact of plowing and fallowing can have negative impacts on soils properties or even increase *P. brachyurus* densities following soybean cropping (Franchini *et al.*, 2008).

It is important to assess *P. brachyurus* population dynamics in soybean fields across several cropping years in order to monitor its fluctuation, and help decide the

best cropping system and other control strategies for this nematode. In fields with medium to high densities of *P. brachyurus*, appropriate management methods should be adopted as part of a continuous program of pest management in order to positively impact soybean yield. In summary, off-season cultivation with maize or sorghum is not recommended with soybean, at least temporarily, and use of fallow or a non-host as cover crop to manage *P. brachyurus* in soybean field is suggested.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was funded by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

LITERATURE CITED

- Araya, N. E., and E. P. Caswell-Chen. 1992. Penetration of *Crotalaria juncea*, *Dolichos lablab* and *Sesamum indicum* roots by *Meloidogyne javanica*. *Journal of Nematology* 26: 238-240.
- Borges, D. C. 2009. Reação de culturas de cobertura utilizadas no sistema de plantio direto ao nematoide das lesões *Pratylenchus brachyurus* e ao nematoide das galhas, *Meloidogyne incognita*. Dissertação. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 44 p.
- Castillo, P., and N. Vovlas. 2007. *Pratylenchus* (Nematode: Pratylenchidae): Diagnosis, biology, pathogenicity and management. Leiden: Brill. 529p.
- Coolen, W.A., and C. J. D'Herde. 1972. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. State Agricultural Research Centre, Ghent State of Nematology and Entomology Research Station.
- Dias, W. P., J. F. V. Silva, A. Garcia, and G. E. S. Carneiro. 2007. Nematoides de importância para a soja no Brasil. pp. 173-183 *in* Boletim de Pesquisa de Soja. Rondonópolis: Fundação MT.
- Ferraz, L. C. C. B. As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro. 2006. pp. 23-27 *in* Silva, J. F. V., and L. C. C. B. Ferraz. O nematoide *Pratylenchus brachyurus* e a soja sob plantio direto. *Revista Plantio Direto*. 96ª Ed. Vol. 14. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora.

- Ferraz, L. C. C. B. Gênero *Pratylenchus* – os nematóides das lesões radiculares. In Luz, W. C. (Ed). Revisão Anual de Patologia de Plantas. 1º ed. Passo Fundo, Berthier, v. 7, 1999, p. 158-195.
- Ferraz, L. C. C. B. 1995. Patogenicidade de *Pratylenchus brachyurus* a três cultivares de soja. *Nematologia Brasileira* 19: 1-8.
- Franchini, J. C., O. F. Saraiva, H. Debiasi and S. L. Gonçalves. 2008. Contribuição de sistema de manejo do solo para produção sustentável da soja. Circular Técnica, Londrina: Embrapa Soja. 20 p.
- Franzener, G., J. R. Unfried, J. R. Stangarlin and C. Furlanetto. 2005. Nematoides formadores de galha e de cisto patogênicos à cultura da soja em municípios do oeste do Paraná. *Nematologia Brasileira* 29:161-265.
- Goulart, A. M. C. 2008. Aspectos gerais sobre nematoides das lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*). Planaltina: Embrapa Cerrados. 30 p. (Documentos, 219).
- Handoo, Z. A. and Golden, A. M. 1989. A key and diagnostic compendium to the species of the genus *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (lesion nematodes). *Journal of Nematology* 21, 202-218.
- Hopper, D.F. 1970. Handling, fixing, staining and mounting nematodes. In laboratory methods for work with plant and soil nematodes. Southey, J. F. (Ed), Commonwealth Agricultural Bureaux. Herts, technical Bulletin 2: 34-38.
- Huang, C. and E. F. Silva. 1980. Interrupção do ciclo vital de *Meloidogyne incognita* por *Crotalaria* spp. *Fitopatologia Brasileira* 5:402-403.
- Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 48: 692.
- Lima Neto, A. F., S. R. Nogueira, F. S. O. Lima, and T. S. Dias. 2009. Ocorrência de fitonematoides na cultura da soja no estado de Tocantins. *Tropical Plant Pathology* 34: 208.
- Machado, A. C. Z., Motta, L.C.C., Siqueira, K. M. S., Ferraz, L. C. C. B. and Inomoto, M. M. 2007. Host status of green manures for two isolates of *Pratylenchus brachyurus* in Brazil. *Nematology* 9, 799-805.
- Mani, A. 1999. Survival of the root-lesion nematode *Pratylenchus jordanensis* Hashim in a fallow field after harvest of alfafa. *Nematology* 1, 79-84.
- Moura, R. M. 1991. Dois anos de rotação de cultura em campos de cana-de-açúcar para o controle de meloidoginose. 1. *Nematologia Brasileira* 15:1-7.

- Moura, R. M. 1995. Dois anos de rotação de cultura em campos de cana-de-açúcar para o controle de meloidoginose. 2. Fitopatologia Brasileira 20: 597-600.
- Panorama Rural: A revista do agronegócio. 2010. A praga da Safra. Ano XII (13).
- Plantio Direto. 2014. O milho na sustentabilidade dos solos arenosos. Revista Plantio Direto. Available in:
http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=629. Accessed in nov. 2014.
- Roese, A. D., R. D. Romani, C. Furlanetto, J. R. Stangarlin and R. L. Portz. 2001. Levantamento de doenças na cultura da soja em municípios da região oeste do estado do Paraná. Acta Scientiarum 23:1293-1297.
- Santana, H. P. E., A. P. Comerlato, E. G. C. Nasu, and C. Furlanetto. 2009. Variabilidade genética em populações de campo do nematoide de cisto da soja provenientes dos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Tropical Plant Pathology 34:261-264.
- Santana, A. A. D., Moura, R. M., and E. M. R. Pedrosa. 2003. Efeito da rotação com cana-de-açúcar e *Crotalaria juncea* sobre populações de nematoides parasitos do inhame-da-costa. Nematologia Brasileira 27: 13-16.
- Seagro–Secretaria da Agricultura do Estado do Tocantins. 2014. Available in:
<http://seagro.to.gov.br/noticia/2014/2/7/conab-aponta-novo-recorde-para-producao-de-soja-na-safra-2013-2014/>, accessed in Dec. 2014.
- Silva, G. S., S. Ferraz, S., and J. M. Santos. 1989. Resistência de espécies de *Crotalaria* a *Pratylenchus brachyurus* e *P. zaei*. Nematologia Brasileira 13:82-87.

AGRONOMIC PERFORMANCE OF SELECTED SWEET POTATO CULTIVARS IN A FIELD INFESTED WITH *Meloidogyne incognita*

Fábia Silva de Oliveira Lima¹, Gil Rodrigues dos Santos², Valdir Ribeiro Correa¹,
Patrícia Resplandes Rocha dos Santos², Marcus André Ribeiro Correia³, and Sônia
Regina Nogueira.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins-*Campus*
Dianópolis, CEP 77.300-000, Dianópolis-TO, Brazil.

²Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal do Tocantins-*Campus*
Gurupi, CEP 77.402-970, Gurupi-TO, Brazil.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins-*Campus*
Araguatins, CEP 77.950-000, Araguaatins-TO, Brazil.

⁴Embrapa Acre, Rodovia BR-364 km 14, CEP 69.900-056, Rio Branco-Acre, Brazil.

ABSTRACT

The root knot nematode (RKN) *Meloidogyne incognita* is widespread worldwide and a major pathogen of several cultivated crops. The use of resistant genotypes is the most effective and environmentally sound way to manage RKN. In this study we screened sixteen selected sweet potato cultivars from Embrapa and Universidade Federal do Tocantins' germoplasm bank to search for resistance under greenhouse and field conditions and assessed their agronomic performance under nematode infested field. Three to six months after inoculation, nematode reproduction factor (RF) was used to infer plant resistance against *M. incognita*. Overall, all sixteen sweet potato cultivars tested were rated as resistant to this nematode both under greenhouse and field conditions with RF < 1, including Amanda, Bárbara, Beatriz, Beauregard, Braslândia Branca, Braslândia Rosada, Braslândia Roxa, BRS Amélia, BRS Cuia, BRS Rubissol, Carolina Vitória, Duda, Júlia, Marcela, PA-26/2009 and Princesa. Under field infested with *M. incognita*, sweet potato cultivars Duda, BRS Amélia, Beauregard, Braslândia Rosada and Braslândia Roxa stood out as superior cultivars, with average yield ranging from 26 to 47 tons per hectare. Overall, most cultivars showed a moderate insect attack incidence (1- 30%) and were mostly with

38

a fusiform to near fusiform root shape, a good characteristic for the market. As global demand for energy continues to rise, selecting new cultivars of sweet potatoes with increased resistance to nematode diseases and with high yield are important for food security and biofuel production.

DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE BATATA DOCE EM ÁREA INFESTADA COM *Meloidogyne incognita*

RESUMO

O nematoide das galhas, *Meloidogyne incognita*, se encontra amplamente distribuído e é um importante patógeno de várias culturas. O uso de cultivares resistentes é a forma mais eficaz e ambientalmente segura para o manejo de nematoides. Neste estudo foram avaliadas dezesseis cultivares de batata-doce, provenientes do banco de germoplasma da Embrapa Hortaliça e da Universidade Federal do Tocantins, com relação à resistência a *M. incognita* em casa de vegetação e a campo, além da avaliação do desempenho agrônomo em campo infestado com este nematoide. Três a seis meses após a inoculação, o fator de reprodução (FR) foi utilizado para inferir a resistência das cultivares. No geral, todas as dezesseis cultivares testadas foram classificadas como resistentes a *M. incognita* em casa de vegetação e a campo com FR <1, incluindo as cultivares Amanda, Bárbara, Beatriz, Beauregard, Braslândia Branca, Braslândia Rosada, Braslândia Roxa, BRS Amélia, BRS Cuia, BRS Rubissol, Carolina Vitória, Duda, Júlia, Marcela, PA-26/2009 e Princesa. Em área de campo naturalmente infestada por *M. incognita*, as cultivares Duda, BRS Amélia, Beauregard, Braslândia Rosada e Braslândia Roxa se destacaram como cultivares superiores, com rendimento médio variando de 26 a 47 toneladas por hectare. No geral, a maioria das cultivares apresentaram moderada incidência de ataque por insetos (1- 30%), além da maioria ter apresentado o formato fusiforme, uma característica ideal de mercado. Como a demanda global por energia continua a aumentar, a seleção de novas variedades de batata-doce resistentes a pragas e doenças e com alto rendimento são importantes para a segurança alimentar e para a produção de biocombustíveis.

Palavras-chaves: biocombustível, *Ipomoea batatas*, nematoides das galhas, produtividade, resistência.

INTRODUCTION

As global demand for energy continues to rise, biofuel production has increased in recent years as an alternative to fuel supply. Alternative biofuel production from cultivated crops such as corn, sugar cane, beets, sweet potatoes among others are a suitable alternative source of biofuel production, including ethanol. Ethanol can be produced from several crops provided they contain fermentable carbohydrates. Sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] is one of these crops with desirable characteristic for both human consumption and for production of ethanol and lately has been included in the agro-energy programs with the objective to diversify alternative sources of biomass for renewable energy production (Araújo *et al.*, 1978; Carvalho and Sato, 2001, Silveira, 2002; Magalhães, 2007).

Sweet potato, a crop native to Central and South America, is considered one of the main tuberous crops grown in tropical and subtropical regions worldwide. Its starchy, sweet-tasting content makes sweet potato popular in several regions worldwide and it is largely used as its main food supply by low income communities in Asia and African regions (Erpen *et al.*, 2013).

Brazil stands 19th as the world largest sweet potato producer and in the last decade it produced around 500 thousand tons per year, within an area of c. 40 to 46 thousand hectares. Data from the 2013 cropping year listed sweet potato in the 8th place of exported vegetables by Brazil, rendering a gross income of US\$ 2.2 million (Anuário Brasileiro de Hortaliças, 2013).

Due to its robustness and wide adaptation to soil types and climate conditions, sweet potato cultivars can be cultivated in most tropical and subtropical regions worldwide. It is mainly cultivated in the south, southeast and northeast regions of Brazil. The top average yield per hectare is reported in the southeast and west regions, with 15.8 and 28 tons per hectare, respectively (IBGE, 2012). Despite its robustness and the relatively low production cost, the nation average yield is

estimated at 12.19 tons per hectare, considered low due to poor technological inputs including planting of susceptible and old materials, poor crop management practices, among others (Silva *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2015).

Other agronomic challenges associated with sweet potato cropping include pest and disease incidences. Nematode diseases are a limiting factor causing direct yield losses, poor quality of the storage roots which leads to low marketing values. Several nematode species are associated with sweet potato diseases, including *Meloidogyne* spp., and *Rotylenchulus* spp. Among these nematode species, the root knot nematodes *M. incognita* (Kofoid and White) Chitwood, 1949, *M. javanica* (Treub) Chitwood, 1949 and *M. arenaria* (Neal) Chitwood, 1949 are particularly important pathogens of sweet potato (Sasser, 1980; Clark and Moyer, 1988; Massaroto *et al.*, 2010; Pinheiro *et al.*, 2012). For instance, *M. incognita* intensely parasitizes sweet potato roots which affect water and nutrient uptake leading to poor growth and low yield (Massaroto *et al.*, 2010; Pinheiro *et al.*, 2012). In most cases, symptoms associated with *Meloidogyne* spp. include the formation of spindle-shaped swellings (galls with egg masses) in secondary roots which are almost unnoticeable by necked eye or they do not form egg masses at all (Charchar *et al.*, 1991). However, some cultivars are very susceptible to *Meloidogyne* spp., and may experience typical symptoms of galling, root defects such as roughness and cracks on fleshy roots which lead to overall low yield, poor quality and are associated with secondary infections with bacterial and fungal pathogens (Lawrence *et al.*, 1986; Clark and Moyer, 1988; Charchar *et al.*, 1991; Massaroto *et al.*, 2010; Pinheiro *et al.*, 2012).

Under tropical weather, *Meloidogyne* spp., including *M. incognita* can increase its population levels and complete 4-5 generations during a single sweet potato growing season, which may reach the threshold limit of economic damage in a relatively short time frame (Charchar *et al.*, 1991). Thus, it is important to search for new and effective ways to control nematode infection in the field. For instance, the most efficient and environmentally safe way to manage nematode infection includes the use of resistant varieties which help control the disease and maintain crop yield, while decreasing nematode population in the soil and protecting following crops (Davis and Kamerait, 2009; Silva *et al.*, 2014). The objectives of this study were to

evaluate the resistance of sixteen selected sweet potato cultivars against *M. incognita* under greenhouse and field conditions and to assess the agronomic performance of these cultivars under soil naturally infested with *M. incognita*.

MATERIAL AND METHODS

Plant genotypes

Sixteen sweet potato cultivars (*Ipomoea batatas*) from Embrapa Hortaliças and Universidade Federal do Tocantins (UFT) germoplasm banks were used in this study (Tables 1 and 2). The commercial tomato cv. Santa Clara (*Solanum lycopersicum* L.) was used as a susceptible control.

Nematode inoculation

A population of *M. incognita* collected in sweet potato fields (Palmas, Tocantins state) was used for the inoculation experiments. The identification of species was done using esterase (Est) phenotype as described (Carneiro and Almeida, 2001). Prior to inoculation, this population was multiplied on tomato plants (cv. Santa Clara) for 3 months under greenhouse conditions. Eggs were extracted from infected roots using 0.5% NaOCl, according to Hussey and Barkey, using a blender, instead of manual agitation. Nematode counting was done under a light microscope using Peter's slides.

Nematode resistance under greenhouse

Plants of each cultivar were grown in 3 L pots filled with a mixture (1:1) of autoclaved soil and composting. Rooted sprouts of about 20 cm were inoculated with 1000 eggs of *M. incognita* by pipetting the nematode suspension below ground around stem base. Plants were arranged in a completely randomized design with 17 treatments (16 sweet potato cultivars and a susceptible tomato cv. Santa Clara) and five replicates. Plants were maintained under greenhouse at c. 25-30 °C, watered and fertilized as needed. Sixty days after inoculation, the root system was washed under tap water and used to extract nematode eggs using a modified extraction method according to Hussey and Barker (1973), using a blender instead of manual

agitation and 1% NaOCl. Total number of eggs per plant was quantified under a light microscope using Peter's slides. Plant reaction to *M. incognita* was assessed using the reproduction factor (RF), calculated as $RF = \text{final nematode population density level} / \text{initial population}$ ($P_i = 1000$). The average RF was submitted to analysis of variance and the means separated using the Tukey's test ($P < 0.05$). Cultivars for which $RF \geq 1$ = susceptible (S) and $RF < 1$ = resistant (R) (Sasser et al., 1984).

Nematode resistance under field conditions

Two field experiments (bioassays 1 and 2) were carried out in 2012 and 2013 to analyze the agronomic traits of sweet potato cultivars (nematode resistance, yield, root shape and insect damage) under an area naturally infested with *M. incognita*, at the experimental station of Faculdade Católica- Palmas, Tocantins state, located at 48°16'34 "W and 10°32'45" S. The sites were characterized by a sub-humid climate, annual average rainfall 1500 mm, average temperature 27.5 °C (Inmet, 2014). Soil chemical characteristics were: bioassay 1- sandy loam texture (75%), pH= 5.7; bioassay 2- sandy loam texture (74.36%), pH 6.1.

The bioassay 1 was carried out in 2012, in an area naturally infested with *M. incognita*. Prior to planting sweet potato cultivars, each plot was planted with a susceptible tomato cv. Santa Clara for 3 months. Tomato samples (200 cc soil and 10g roots) infested with *Meloidogyne* spp. from each plot were used to identify *Meloidogyne* species present on infected plants. Nematode identification from root samples was done using esterase (Est) phenotyping as described (Carneiro and Almeida, 2001). The amount of *Meloidogyne* spp. present on each sample was estimated by counting nematodes under a light microscopy using Peter's slides. All plots were infested with *M. incognita* and the amount of nematodes per plot (initial population density level- P_i) was estimated at c. 2000 eggs+J2. To homogenize the distribution of *M. incognita* in the area, twenty days after planting sweet potato cultivars, each plant was inoculated with 1000 eggs+ J2 of *M. incognita*. Soil was initially prepared with plowing and harrowing with posterior building up of piles (0.4 m wide x 1.25 m length x 0.3 m height). Soil was amended with fertilizer according to chemical analysis of soil and the local technical recommendation, with the following

mounts of nutrients 40 kg/ha nitrogen, 120 kg/ha phosphorous, 70 kg/ha potassium and 1 kg/ha boron. Plants were irrigated as needed.

Sweet potato cultivars planted included Amanda, Bárbara, Beatriz, Carolina Vitória, Duda, Júlia, Marcela, PA-26/2009, Princesa and the susceptible control tomato cv. Santa Clara (Table 1). Plants were arranged in a completely randomized design with 10 treatments (sweet potato cultivars plus a control) and four replicates. Each plot was comprised of four lanes and each lane was planted with five plants (with row spacing 0.8 m wide x 0.25 m length). The ten plants located in the two central lanes were used for data collection. Six months after inoculation, the root system of three plants collected in the two central rows of each plot was analyzed for nematode infection. Roots were washed under tap water and used to extract nematode eggs using a modified extraction method according to Hussey and Barker (1973), using a blender instead of manual agitation and 1% NaOCl. Total number of eggs per plant was quantified under a light microscope using Peter's slides. The average number of eggs was calculated for each plot. Since the initial population in the field (P_i) was only estimated, we did not calculate the RF in the field experiment.

Additional agronomic traits analyzed included yield — fresh weight of roots-tons/hectare, insect damage (galleries and holes on the roots) — based on a 1-5 scale. 1= roots with 0% damage; 2=roots with 1-10% damage; 3=roots with 11-30% damage; 4=roots with > 50% damage, barely with commercial use; 5=roots with 100% damage, without commercial use (França *et al.*, 1983) and root shape — based on a 1-5 scale. 1= regular fusiform shape, without any cracks; 2= acceptable shape, with some undesirable characteristics, such as the presence of galleries and uneven shape; 3= irregular root shape with galleries; 4= very large roots, with galleries and cracks, barely accepted for the market; 5= roots completely irregular, deformed, with cracks, without commercial use (Massaroto, 2008). The averages number of eggs, yield, insect damage and root shape were analyzed by analysis of variance and the means separated using the Tukey's test ($P<0.05$).

The bioassay 2 was carried out in 2013 in the same experimental area and included the sweet potato cultivars Beauregard, Braslândia Branca, Braslândia Rosada, Braslândia Roxa, BRS Amélia, BRS Cuia BRS, Rubissol and the susceptible control tomato cv. Santa Cruz (Table 2). The experimental procedures

and parameters analyzed were the same as described for bioassay 1.

RESULTS

The RF values from all sixteen sweet potato cultivars inoculated with *M. incognita* under greenhouse conditions indicated they were resistant to this nematode (RF < 1) (Tables 1 and 2). Similarly, when these cultivars were cultivated under a field naturally infested with *M. incognita*, they did not supported nematode reproduction as compared to the control and were considered resistant as well under field conditions (Tables 1 and 2).

Table 1. Response of sweet potato cultivars to *Meloidogyne incognita* under controlled and field conditions (year 2012).

Sweet potato cultivars	Field		Greenhouse		
	(Pi) ¹	Eggs+J2 ²	Eggs+J2 ²	RF ³	Reaction ⁴
Amanda	3,000	15±7.95	314±115.94	0.31 b	R
Bárbara	3,000	13±8.89	74±18.52	0.07 b	R
Beatriz	3,000	0±0	200±15.85	0.20 b	R
Carolina Vitória	3,000	132±91.76	237±126.22	0.24 b	R
Duda	3,000	208±142.03	184±93.55	0.18 b	R
Júlia	3,000	13.56±9.38	127±36.87	0.13 b	R
Marcela	3,000	2.93±2.62	215±69.34	0.22 b	R
PA-26/2009	3,000	215±162.50	297±18.74	0.30 b	R
Princesa	3,000	18±3.30	231±77.80	0.23 b	R
Tomato – control.	3,000	32,800±720.2	13,500±850.6	13.50 a	S

Means followed by different letters in the column are significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$). Coefficient of variation (CV)= 43% (field), 25% (greenhouse).

¹Initial nematode population in the field plot (c. 2000 individuals naturally present in soil + 1000 inoculated eggs).

²Mean values (n=5)± standard error of number of eggs+ J2 per root system.

³Reproduction factor (greenhouse experiment) – (RF= final population/1000 eggs of *M. incognita*).

⁴Reaction of inoculated plants. RF ≥ 1= susceptible (S); RF < 1 = Resistant (R) (Sasser *et al.*, 1984).

Table 2. Response of sweet potato cultivars to *Meloidogyne incognita* under controlled and field conditions (year 2013).

Sweet potato cultivars	Field		Greenhouse		
	(Pi) ¹	Eggs+J2 ²	Eggs+J2 ²	RF ³	Reaction ⁴
Beauregard	3,000	20.8±0.92	278	0.28 b	R
Braslândia Branca	3,000	14.4±0.21	376	0.35 b	R
Braslândia Rosada	3,000	10.5±1.92	197	0.20 b	R
Braslândia Roxa	3,000	10.4±3.19	240	0.24 b	R
BRS Amélia	3,000	4.1±1.48	356	0.35 b	R
BRS Cuia	3,000	22.6±6.18	280	0.28 b	R
BRS Rubissol	3,000	30.1±1.79	348	0.35 b	R
Tomato – control.	3,000	15,800±420.1	16,300±520.6	16.30 a	S

Means followed by different letters in the column are significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$). Coefficient of variation (CV)= 39% (field), 30% (greenhouse).

¹Initial nematode population in the field plot (c. 2000 individuals naturally present in soil + 1000 inoculated eggs).

²Mean values (n=5) ± standard error of number of eggs+ J2 per root system.

³Reproduction factor (greenhouse experiment) – (RF= final population/1000 eggs of *M. incognita*).

⁴Reaction of inoculated plants. RF ≥ 1 = susceptible (S); RF < 1 = Resistant (R) (Sasser *et al.*, 1984).

Sweet potato cultivars showed variable yield results. In bioassay 1, cv. Duda and Júlia showed the highest yields (47.19 and 21.92 ton/ha, respectively), while in bioassay 2, cv. BRS Amélia and Beauregard (31.35 and 27.08 ton/ha, respectively) were the most promising cultivars (Tables 3 and 4). Overall, most sweet potato cultivars tested in this study showed mid- to- high yield, except cv. Princesa, PA-26/2009 and Marcela which showed average to a very poor yield (Table 3).

Similarly, sweet potato cultivars showed variable results for insect damage and root shape. Most cultivars showed a fusiform to near fusiform root shape, which is the shape accepted in the market (Tables 3 and 4). Likewise, most sweet potato

cultivars showed a moderately low to medium insect attack incidence (1-30%), characterized by galleries and holes on the roots which depreciate roots suitable for marketing (Tables 3 and 4).

Table 3. Yield, insect damage and root shape of sweet potato cultivars planted under a field naturally infested with *M. incognita* (year 2012).

Sweet potato cultivars	Yield (tons. ha ⁻¹) ²	Insect damage ³	Root shape ⁴
Amanda	14.97 bc ¹	1.87±0.11	2.25±0.22
Bárbara	19.70 bc	2.25±0.22	3±0.51
Beatriz	15.22 bc	1.75±0.22	2±0
Carolina Vitória	18.22 bc	2±0.51	1.75±0.22
Duda	47.19 a	2.37±0.33	2.25±0.22
Júlia	21.92 b	1.62±0.49	1.75±0.22
Marcela	12.59 bc	2.25±0.42	2±0.36
PA-26/2009	11.48 bc	1.75±0.42	1.75±0.42
Princesa	2.55 c	2.75±0.76	1.75±0.42
Brazil (average) ⁵	12.19	-	-

¹Means (n=4) followed by different letters in the column are significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$). Coefficient of variation (CV)= 34%.

²Mean values (n=4) of fresh weight of tuberous root (tons/hectare).

³Mean values (n=4) ± standard error of insect damage (galleries and holes on roots), based on a 1-5 scale. 1= roots with 0% damage; 2=roots with 1-10% damage; 3=roots with 11-30% damage; 4=roots with > 50% damage, barely with commercial use; 5=roots with 100% damage, without commercial use (França *et al.*, 1983).

⁴Mean values (n=4) ± standard error of root shape, based on a 1-5 scale. 1= regular fusiform shape, without any cracks; 2= acceptable shape, with some undesirable characteristics, such as the presence of galleries and uneven shape; 3= irregular root shape with galleries; 4= very large roots, with galleries and cracks, barely accepted for the market; 5= roots completely irregular, deformed, with cracks, without commercial use (Massaroto, 2008).

⁵Represents the average yield (tons/hectare) in Brazil (IBGE, 2012).

Table 4. Yield, insect damage and root shape of sweet potato cultivars planted under a field naturally infested with *M. incognita* (year 2013).

Sweet potato cultivars	Yield (tons. ha ⁻¹) ²	Insect damage ³	Root shape ⁴
Beauregard	27.08±1.61 ¹	2.25±0.22	2±0
Braslândia Branca	24.58±2.22	2.75±0.22	3.25±0
Braslândia Rosada	27.76±2.35	3.75±0.22	3±0
Braslândia Roxa	26.64±2.21	2.25±0	2.25±0.36
BRS Amélia	31.35±3.72	4.25±0.36	4.25±0
BRS Cuia	24.43±3.20	3.25±0.56	3±0
BRS Rubissol	23.49±1.92	3±0	3.25±0
Brazil (average) ⁵	12.19	-	-

¹Means (n=4) followed by different letters in the column are significantly different according to Tukey's test ($P < 0.05$). Coefficient of variation (CV)= 34%.

²Mean values (n=4) ± standard error of fresh weight of tuberous root (tons/hectare).

³Mean values (n=4) ± standard error of insect damage (galleries and holes on roots), based on a 1-5 scale. 1= roots with 0% damage; 2=roots with 1-10% damage; 3=roots with 11-30% damage; 4=roots with > 50% damage, barely with commercial use; 5=roots with 100% damage, without commercial use (França *et al.*, 1983).

⁴Mean values (n=4) ± standard error of root shape, based on a 1-5 scale. 1= regular fusiform shape, without any cracks; 2= acceptable shape, with some undesirable characteristics, such as the presence of galleries and uneven shape; 3= irregular root shape with galleries; 4= very large roots, with galleries and cracks, barely accepted for the market; 5= roots completely irregular, deformed, with cracks, without commercial use (Massaroto, 2008).

⁵Represents the average yield (tons/hectare) in Brazil (IBGE, 2012).

DISCUSSION

Although recently there are several studies reporting resistance of sweet potato clones and cultivars against root knot nematodes in Brazil and other regions (Lawrence *et al.*, 1986; Huang *et al.*, 1986; Maluf *et al.*, 1996; Peixoto *et al.*, 1998; Freitas *et al.*, 2001; Cervantes-Flores *et al.*, 2002; Wanderley and Santos, 2004; Charchar and Ritschel, 2004; Massaroto *et al.*, 2008; Cervantes-Flores, *et al.*, 2008; Massaroto *et al.*, 2010; Kalkmann *et al.*, 2013; Chaves *et al.*, 2013; Gomes *et al.*,

48

2015), a vast number of promising genotypes still need to be tested for resistance and their agronomic performance assessed, especially under warmer temperatures.

In our study, all sixteen sweet potato cultivars tested behaved as resistant to *M. incognita* both under greenhouse and field conditions. In our assays, we did not observe any galls in the sweet potato root systems (including both tuberous and secondary roots). Other studies also reported that sweet potato infected with RKN nematodes do not form galls, except in highly susceptible genotypes. It also depends on the nematode species, race, isolate and population density levels (Mitkowski and Abawi, 2003; Charchar and Ritschel, 2004; Pinheiro *et al.*, 2012; Chaves, *et al.*, 2013).

Our results are similar to other studies that reported the following sweet potato cultivars as resistant to *M. incognita*, including Bárbara, Marcela, Braslândia Roxa, Braslândia Branca and Princesa (Freitas *et al.*, 2001; Charchar and Ritschel, 2004; Massaroto *et al.*, 2008; Chaves *et al.*, 2013; Kalkmann *et al.*, 2013). Conversely, our results are partially different from those reported by Chaves *et al.* (2013), who tested sweet potato genotypes against infection to RKN nematodes under a slightly lower average temperature (c. 26 °C) and found that cv. Amanda and Duda were rated as moderately resistant to *M. incognita* race 2. Similarly, our results are also slightly different from those reported by Massaroto *et al.* (2008), who reported the cv. Braslândia Rosada as moderately resistant to *M. incognita*. Our results also disagree with those reported by Cervantes-Flores *et al.*, (2002), who reported the cv. Beauregard as highly susceptible to several RKN species, including *M. incognita*.

The resistance results reported for some cultivars by different labs are not directly comparable since the discrepancies observed among assays might be due to differences in isolates and possible due to races of the pathogen, besides the resistance rating method used, e.g. whether based on egg-mass number or on nematode reproduction factor (RF), which we particularly agree as the most indicated method for accessing plant resistance to *Meloidogyne* spp (Sasser *et al.*, 1984).

To our knowledge, all other cultivars tested including Beatriz, BRS Amélia, BRS Cuia, BRS Rubissol, Carolina Vitória, Júlia and PA-26/2009 have not been screened before against *M. incognita* infection and are reported here for the first time

as resistant materials, making valuable options for planting or selecting for other agronomic traits, including starch content and resistance to other pathogens.

Resistance of sweet potato to RKN species has been suggested to be conferred by both qualitative and quantitative types of inheritance (Jones and Dukes, 1980; Ukoskit *et al.*, 1997). In addition, molecular and phenotypic data suggested that resistance of sweet potato against RKN nematodes are conferred by several genes, possibly acting with different levels of effect, as indicated by several QTLs that have been associated with genomic regions with additive effects on sweet potato resistance to *Meloidogyne* spp. infection (Sano *et al.*, 2002; Cervantes-Flores *et al.*, 2008). Further studies involving fine mapping may reveal and lead to cloning of sweet potato resistant genes involved at resistance against RKN infection and can be introgressed into breeding lines or be used for other purposes in future sweet potato breeding programs (Cervantes-Flores *et al.*, 2008). The mechanisms conferring resistance of sweet potato cultivars against RKN nematodes is not well understood, however, data obtained from histological observations from susceptible and resistant cultivars infected with *Meloidogyne* spp., indicated that infective juveniles are able to penetrate and infect resistant plants; nevertheless, oxidative burst and hypersensitive reactions prevented further nematode development within resistant plants as compared to the susceptible control (Komiyama *et al.*, 2006).

Three out of sixteen tested cultivars showed a yield trait below or slightly similar to the national average (12.19 tons/hectare), including cv. Princesa (2.55), PA-26/2009 (11.48) and Marcela (12.59). Conversely, other cultivar showed mid-to-high yields as compared to the national average, except cv. Amanda and Beatriz still considered low as compared to other most productive cultivars from the market. Interestingly, cultivars Duda and BRS Amélia stood out as superior materials with high yield per hectare, making an excellent option for growers. The cv. Beauregard, rich in β -carotene, showed a yield of 27.08 tons per hectare, slightly less than those reported by Schultheis *et al.* (1999) (30 tons/ha), Cecílio Filho *et al.* (1996) (33.24 tons/ha) and Ozturk *et al.* (2012) (42.84 tons/ha); however, higher than those reported by Oggema *et al.* (2007) (3.66 tons/ha). These few digits differences in yield are possibly due to variations in climate conditions, soil type, region, time length from planting to harvesting, amount of fertilized used, insect attack incidence, which

collectively determine the overall yield and quality of commercial roots. The low yield per hectare seen in some cultivars tested in this study might also be due to climate conditions predominate in the experimental area (annual average temperature above 28°C). Therefore, it would be interesting to access their yield in other region as well.

Most cultivars showed a fusiform to near fusiform root shape, a characteristic most accepted in the market. For instance, cv. Braslândia Rosada and Braslândia Roxa showed an irregular (scale 3) and uneven (2.25) root shape, respectively. These values are slightly different from those reported by Andrade Júnior *et al.* (2012), in which cv. Braslândia Rosada (1.8) and Braslândia Roxa (2.2) had root shape near to fusiform. These differences may only be due to a shorter length time from planting to harvesting observed in our study. Considering the data from insect attack incidence, overall, most cultivars did not show a strong resistance to pest attack which indicates the needs to implement insect control measures during cultivation of these cultivars.

In summary, we showed in this study that the sixteen sweet potato cultivars tested were resistant to *M. incognita* both under greenhouse and field conditions. Most cultivars showed mid-to-high yield and are an excellent option for growers to be used for food and biofuel production.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

LITERATURE CITED

- Andrade Júnior, V. C., D. J. S. Viana, N. A.V. D. Pinto, K. G. Ribeiro, R. C. Pereira, I. P. Neiva, A. M. Azevedo and P. C. R, Andrade. 2012. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. Horticultura Brasileira 30: 584-589.
- Anuário Brasileiro de Hortaliças. 2013. Santa Cruz do Sul: 88 p.

- Araújo, N. Q., and H. F. 1978. Batata-doce: parâmetros preliminares na tecnologia de produção de etanol. (S.L.) 11 p.
- Carneiro, R.M.D.G., M.R.A. Almeida. 2001. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. *Nematologia Brasileira* 25: 35-44.
- Carvalho, J. C. M., and S. Sato. 2001. Fermentação descontínua, biotecnologia industrial: Engenharia Bioquímica, 1º Ed. Vol. 2. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 204 p.
- Cecílio Filho, A. B., M. S. Reis, R. J. Souza and M. Pasqual. 1996. Degenerescência em cultivares de batata-doce. *Horticultura Brasileira* 16:82-84.
- Cervantes-Flores, J. C., G. C. Yench, Pekota, K. V., and B. Sosinski. 2008. Detection of quantitative trait loci and inheritance of root-knot nematode resistance in sweet potato. *Journal of American Society of Horticultural Science* 133:844-851.
- Cervantes-Flores, J. C., G. C. Yench, and E. L. Davis. 2002. Efficient evaluation of resistance to three root-knot nematode species in selected sweet potato cultivars. *HortScience* 37:390-392.
- Charchar, J. M., and P. S. Ritschel. 2004. Avaliação do banco de germoplasma de batata-doce da Embrapa Hortaliças para resistência a *Meloidogyne* spp. Brasília: Embrapa Hortaliças. 28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento no. 03).
- Charchar, J. M., J. E. C. Miranda, C. R. Gonçalves and J. G. Medeiros. 1991. Seleção de batata-doce para resistência a nematoides de galhas *Meloidogyne* spp. *Fitopatologia Brasileira* 16: 130.
- Chaves, P. P. N., G. R. Santos, M. A., Silveira, L. A. A. Gomes, V. G. Momenté and I. R. Nascimento. 2013. Reação de genótipos de batata-doce a nematóides de galhas em condições de temperatura elevada. *Bioscience Journal* 29: 1869-1877.
- Clark, C., J. W. Moyer. 1988. Compendium of sweet potato diseases. APS Press, St. Paul, MN.

- Davis, R. F., R. C. Kamerait. 2009. The multi-year effects of repeatedly growing cotton with moderate resistance to *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 41: 140-145.
- Erpen L., N. A. Streck, L. O. Uhlmann, J. A. Langner, J. E. M. Winck, and L. F. Gabriel. 2013. Estimating cardinal temperatures and modeling the vegetative development of sweet potato. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17: 1230-1238.
- França, F. H., J. E. C. Miranda, P. E. Ferreira, and Maluf, W. R. 1983. Comparação de dois métodos de avaliação de germoplasma de batata-doce visando resistência à pragas de solo. 23º Congresso Brasileiro de Olericultura, Resumos, Rio de Janeiro, RJ. 176p.
- Freitas, J. A., G. C. Santos, V. S. Souza, and S. M. Azevedo. 2001. Resistência de clones de batata-doce, *Ipomoea batatas* L., aos nematóides causadores de galhas. *Scientiarum Maringá* 23:1257-1261.
- Gomes, J. A. A., V.C. Andrade Júnior, C. M. Oliveira, A. M. Azevedo, W. R. Maluf, L. A. A. Gomes. 2015. Resistance of sweet potato clones to *Meloidogyne incognita* races 1 and 3. *Bragantia* 74:291-297.
- Huang, S. P., J. E. C. Miranda and W. R. Maluf. 1986. Resistance to root-knot nematodes in Brazilian sweet potato collection. *Fitopatologia Brasileira* 11:761-766.
- Hussey, R. S. and Barker, K. R. 1973. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter*. 57:1025-1028
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012, 03 de setembro. Produção Agrícola Municipal 2011, Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/tabelas_pdf/tabela02.pdf
- Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia. 2014. Disponível em: www.inmet.gov.br. Accessed in March 1, 2014.
- Jones, A., P. D. Dukes. 1980. Heritabilities of sweetpotato resistances to root-knot caused by *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 105:154-156.
- Kalkmann D. C., J. R. Peixoto and D. S. Nobrega. 2013. Reação de clones de

- batata-doce à *Meloidogyne incognita* raças 1 e 4 e estimativa de parâmetros genéticos. Horticultura Brasileira 31: 293-296.
- Komiyama, A., Z. I. Sano, T. Murata, Y. Matsuda, M. Yoshida, A. Saito, Y. Okada. 2006. Resistance to two races of *Meloidogyne incognita* and resistance mechanism in diploid *Ipomoea trifida*. Breeding Science 56:81-83.
- Lawrence, G.W., C. A. Clark and V. L. Wright. 1986. Influence of *Meloidogyne incognita* on resistant and susceptible sweet potato cultivars. Journal of Nematology 18:59-65.
- Magalhães, K. A. B. 2007. Análise da sustentabilidade da cadeia produtiva de etanol de batata-doce no município de Palmas-TO. Dissertação. Universidade Federal do Tocantins, TO, 122 p.
- Maluf, W. R., S. M. Azevedo, V. P. and Campos, V. P. 1996. Heritability of root knot nematode (*Meloidogyne* spp.) resistance in sweet potatoes. Journal Genetic and Breeding 50:161-165.
- Massaroto, J. A., L. A. A. Gomes, W. R. Maluf, R. R. Silva, and A. R. V. A. Gomes. 2010. Reação de clones de batata-doce ao *Meloidogyne incognita* raça 1. Revista de Ciências Agro-Ambientais 8: 1- 8.
- Massaroto, J. A. 2008. Características agrônômicas e produção de silagem de clones de batata-doce. Lavras: UFLA. 73 p (Tese Doutorado).
- Mitkowskli, N. A., and G. S. Abawi. 2003. Nematóide das galhas by E.A, Lopes, R. Dallemole-Giaretta, and B. S. Vieira, 2011. The Plant Health Instructor.
- Oggema J. N., M.G. Kinyua, J. P. Ouma, and J. O. Owuoche. 2007. Agronomic performance of locally adapted sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) cultivars derived from tissue culture regenerated plants. African Journal of Biotechnology 6: 1418-1425.
- Ozturk G., F. N. Azeri, and Z. Yildirim. 2012. Field performance of in vitro sweet potato [*Ipomoea batatas* L. (Lam)] plantlets derived from seed stocks. Turkish Journal of Field Crops 17: 1-4.
- Peixoto, J. R., F. M. Ferraz, L. C. Santos, D. E Angelis, and F. C. Juliatti. 1998. Seleção de genótipos de batata-doce resistentes ao nematóide das galhas (*Meloidogyne* spp.). Fitopatologia Brasileira 23: 51-53.
- Pinheiro, J. B., C. S Rodrigues, A. D. F. Carvalho, and R. B. Pereira. 2012.

- Nematoides na cultura da batata-doce. Brasília: Embrapa Hortaliças, (Circular Técnica, 105), 9 p.
- Sano, Z. I., H. Iwahori, Y. Tateishi, Y. Kai. 2002. Differences in the resistance of sweetpotato cultivars and lines to *Meloidogyne incognita* populations. Japanese Journal of Nematology 32:77-86.
- Sasser, J. N., C. C. Carter, K. M. Hartman. 1984. Standardization of host suitability studies and reporting of resistance to root knot nematode. Raleigh, NC, USA. North Carolina State University Graphics.
- Sasser, J. N. 1980. Root knot nematodes: a global menace to crop production. Plant Disease 64, 36-41.
- Schultheis, J. R., S. A. Walters, and D. E. Adams. 1999. In-row plant spacing and date of harvest of 'Beauregard' Sweetpotato affect yield and return on investment. HortScience 34: 1229-1233.
- Silva, E. H, V.S. Mattos, C. Furlanetto, M. Giband, P.A.V. Barroso, A. W. Moita, A. Jorge-Júnior, V. R. Correa, P. Castagnone-Sereno, R.M.D.G. Carneiro. 2014. Genetic variability and virulence of *Meloidogyne incognita* populations from Brazil to resistant cotton genotypes. European Journal of Plant Pathology. DOI 10.1007/s10658-014-0381-1
- Silva, J. B., C. Lopes, C. A., and J. S. Magalhães. 2004. Cultura da batata doce. Brasília: Embrapa Hortaliças. Ponte Alta-Gama, DF: Embrapa Hortaliças, 2004. (Sistema de produção, 6). Disponível em:< <http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/batatadoce/index.htm> >. Acesso em: jun. de 2006.
- Silveira, M. A. 2002. Resistência de clones de batata-doce coletados no Estado do Tocantins a insetos de solo e nematóides causadores de galhas. Horticultura Brasileira 20: 291.
- Ukoskit, K., P.G. Thompson, C.E. Watson, G.W. Lawrence. 1997. Identifying a randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) marker linked to a gene for root-knot nematode resistance in sweetpotato. Journal of American Society of Horticultural Science 122:818-821.
- Wanderley, M. J. A., and J. M Santos, 2004. Resistência de cultivares de batata-doce a *Meloidogyne incognita*. Fitopatologia Brasileira 29:437-440.

CONCLUSÕES

No capítulo II sobre “Comportamento do nematoide das lesões radiculares (*P. brachyurus*) em sistemas produtivos de soja no Tocantins” concluiu-se que há ocorrência de *P. brachyurus* em áreas produtoras de soja situadas nos municípios de Santa Rosa, Porto Nacional, Ipueiras, Chapada de Natividade, Rios dos Bois, Brejinho de Nazaré, Buritirana, Tupirana, Aparecida do Rio Negro, Itacajá, Silvanópolis, no estado do Tocantins. Os níveis populacionais de *P. brachyurus* considerados altos, acima de 1000 espécimes/10 g de raízes, foram encontrados em Porto Nacional, Itacajá, Ipueiras e Rios dos Bois. Também foi confirmada a interferência de *P. brachyurus* na cultura da soja, causando redução no desenvolvimento vegetativo das plantas, número de vagens e peso das sementes. E ainda que, o cultivo de culturas safrinhas em sucessão a cultura da soja como as variedades de sorgo DKB599, milho Pioneer 30F35H, milho ADR 7010, *Crotalaria juncea* permitiram a multiplicação de *P. brachyurus*, ou seja, contribuindo no aumento potencial do inóculo do nematoide para a safra seguinte.

Já o capítulo III “Desempenho agrônômico de cultivares de batata-doce em área infestada com *Meloidogyne incognita*” concluiu-se que as cultivares Amanda, Bárbara, Beatriz, Carolina Vitória, Duda, Júlia, Marcela, PA-26/2009, Princesa, Beauregard, Branslândia Branca, Branslândia Rosada, Branslândia Roxa, BRS Amélia, BRS Cuia, BRS Rubissol foram resistentes a *M. incognita*. No geral, as cultivares apresentaram produtividades acima da média brasileira de 12,19 t.ha⁻¹, com exceção das cultivares Princesa e PA-26/2009 que apresentaram produtividades baixas, 2,55 e 11,48 t.ha⁻¹ respectivamente. A cultivar Duda foi a mais produtiva com rendimento de 47,19 t.ha⁻¹ e BRS Amélia com 31,35 t.ha⁻¹ comparada às demais cultivares de batata-doce.