

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

**MAPAS DE VARIABILIDADE DO POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE
OBTIDOS POR SATÉLITES COMO INSTRUMENTOS AUXILIARES
ÀS DECISÕES SOBRE O MANEJO DE NEMATÓIDES NA CULTURA
DE SOJA**

Ivo Aurélio Marchiorato

Orientador: Jaime Maia dos Santos

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

Jaboticabal – SP
Janeiro - 2008

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

IVO AURÉLIO MARCHIORATO nasceu em 08 de fevereiro de 1973, na cidade de Jaboticabal - SP. Como acadêmico, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Minas Gerais, em agosto de 1992, vindo a graduar-se em janeiro de 1998. Em 2003, obteve o Título de Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola), no departamento de Fitossanidade da UNESP/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, com a pesquisa intitulada “Resposta Espectral de Plantas de Algodoeiro cv. CS 50 infectadas por *Meloidogyne incognita* (Nemata: meloidogynidae)”. Em 2003, ingressou no curso de Doutorado em Agronomia, na Área de Concentração, Produção Vegetal, na Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCAV), Câmpus de Jaboticabal – SP, e foi bolsista CAPES.

“como e por dentro outra pessoa
quem é que o saberá sonhar?
a alma outrem é o outro universo
com quem não há comunicação possível,
com quem não há o verdadeiro entendimento.

nada sabemos da alma
senão da nossa;
as dos outros são olhares,
são gestos, são palavras,
com a suposição de qualquer semelhança
no fundo.”

(Fernando Pessoa)

Dedico este Trabalho

À minha família.

Aos meus pais Isidoro e Inês, pelo incentivo, dedicação e amor, em dar a mim e a todos os filhos oportunidades de alcançarmos nossos objetivos, mesmo com sacrifícios pessoais. Sou e serei eternamente grato por sua dedicação e amor, e espero ser um filho digno de seu caráter, amor, coragem e dedicação.

Aos meus irmãos Ivan e Ivanete, pelo estímulo, carinho e disponibilidade em cooperar no desenvolvimento de alguns projetos.

Ao meu sobrinho e minha cunhada, pela alegria, esperança e presença de espírito.

A todos os meus amigos

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela fé que me permitiu atingir esse objetivo.

Ao Professor Jaime Maia dos Santos, pela orientação, dedicação e entusiasmo ao transmitir seus conhecimentos, oriundos de sua grande experiência profissional e ao dedicar parte de seu tempo para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Conselho do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, pela oportunidade que me foi dada para a realização do curso.

À Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias de Jaboticabal (UNESP/FCAV), pela Infra-estrutura e apoio fornecido durante o curso.

Aos membros da banca examinadora do Exame Geral de Qualificação, Dr. Antônio de Goes, Dra. Margarete Camargo, Dra. Rita de Cássia Panizzi e Dr. Francisco Jorge Cividannes, pela participação e sugestões.

Ao Professor José Carlos Barbosa pelo auxílio nas análises estatísticas.

À Empresa Globalsat Monitoramento Agrícola, na pessoa de seu diretor executivo, Leandro Fabiani, pela disponibilização dos mapas de variabilidade do potencial de produtividade das áreas estudadas.

Ao Técnico Agrícola Charles Vandelei Koch, da Globalsat, pelo auxílio na coleta das amostras de solo e raiz no campo.

Ao Professor Vitório Barato Neto pela correção gramatical.

Aos funcionários do Laboratório de Nematologia da UNESP/FCAV, André, Sandra e Walmir, pelo auxílio na extração e contagem das amostras, bem como, pela amizade.

Às funcionárias da seção de Pós-Graduação, pela atenção e presteza quando solicitadas.

Aos funcionários do Departamento de Fitossanidade, em especial à Lígia, à Márcia e à Lúcia, por colaborar sempre que requisitadas.

Aos colegas de curso, Anderson, Adriana, Alaíde, Bruno, Eduardo, Luciany, Paulo, Pedro, Sérgio e Renato Zapparoli, pela amizade e solidariedade.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e enriquecimento deste trabalho.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	iv
SUMMARY.....	v
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. A cultura da soja.....	5
2.1.1. Histórico	5
2.1.2. Panorama Mundial e Nacional	6
2.1.3. Exigências Climáticas.....	7
2.1.4. Ciclo Fenológico	8
2.2. Sensoriamento Remoto e cultivos agrícolas	9
2.2.1. Bandas espectrais e respostas espectrais.....	11
2.2.2. Mapas de produtividade	13
2.2.3. Índice de Vegetação.....	14
2.3. Sensores orbitais	16
2.3.1. Sensor SPOT	17
2.4. Nematóides na cultura da soja	18
III. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
V. CONCLUSÃO.....	34
VI. REFERÊNCIAS.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1	Números de nematóides em 100 cm ³ das amostras de solo e em 10 g de raízes na safra de 2007/2008 por classes de potencial de produtividade das lavouras de soja da Fazenda Aimi, no Município de Rondonópolis-MT, delimitadas em mapa de variabilidade do potencial de produtividade na safra de 2006/2007 com imagens do satélite SPOT 4 27
2	Resultado da análise de fertilidade das amostras de solo das áreas com diferentes classes de potencial de produtividade, conforme mapa de variabilidade do potencial de produtividade elaborado com imagens obtidas pelo satélite SPOT 4, na fazenda Aimi, Município de Rondonópolis-MT. 30

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Mapa de variabilidade do potencial de produtividade da cultura de soja na Fazenda Aimi, Município de Rondonópolis-MT, obtido pela Globalsat com o satélite SPOT 4, na safra de 2005/2006 com a cultura em floração. O detalhe indica que as áreas com os mais baixos potenciais de produtividade correspondem ao centro de reboleiras causadas por <i>Pratylenchus brachyurus</i>	26
2 Sintomas em lavoura de soja infestadas por <i>Pratylenchus brachyurus</i> no Município de Sorriso-MT. A) Fotografia aérea de reboleiras na lavoura contendo plantas cloróticas que não se desenvolveram. B e C) Aspectos das reboleiras evidenciando que o dossel das plantas infectadas não recobre o solo.	28
3 Caracteres morfológicos marcantes de <i>Pratylenchus brachyurus</i> . A) Eletromicrografia de varredura da região labial da fêmea, exibindo dois anéis e placa labial indivisa. B) Fotomicrografia da região anterior exibindo os dois anéis na região labial, angulosidade da região labial (seta) e nódulos basais do estilete esféricos. C) Fotomicrografia da região posterior da fêmea exibindo a vulva (seta v) e a cauda aproximadamente hemisférica com término liso (seta c).	29
4 Correlação linear simples entre a média das classes de potencial de produtividade da soja, estimado com imagens do satélite SPOT4 na Fazenda Aimi, no Município de Rondonópolis-MT, na safra de 2006/2007 por ocasião da floração da cultura e a população de <i>Pratylenchus brachyurus</i> no solo e nas raízes.	31

MAPAS DE VARIABILIDADE DO POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE OBTIDOS POR SATÉLITES COMO INSTRUMENTOS AUXILIARES ÀS DECISÕES SOBRE O MANEJO DE NEMATÓIDES NA CULTURA DE SOJA

RESUMO – O conhecimento da distribuição espacial dos nematóides nas lavouras é imprescindível para adoção de práticas de manejo. Nas grandes fazendas do Mato Grosso, pelo fato de não se ter uma informação precisa sobre as áreas infestadas dentro dos talhões, os produtores preferem não adotar nenhuma medida de manejo, já que, em função do custo e do ponto de vista operacional, seria inviável fazê-lo em toda a área. Com os mapas de variabilidade do potencial de produtividade dos talhões ou partes deles, cujo potencial de produtividade está abaixo da expectativa, em função do nível da tecnologia de produção adotado, o produtor pode, na safra atual, certificar-se se os nematóides, problemas de fertilidade, combinações desses ou outras causas estão sendo os fatores limitantes à realização do potencial de produtividade do talhão. O presente estudo foi conduzido numa parceria entre o Laboratório de Nematologia da UNESP/FCAV, Câmpus de Jaboticabal-SP e a Empresa Globalsat Monitoramento Agrícola com sede em Rondonópolis-MT, com objetivo de avaliar a eficácia dos mapas de variabilidade do potencial de produtividade obtido com imagens de satélite como instrumento auxiliar às decisões sobre o manejo de nematóides na cultura da soja. O mapa de variabilidade do potencial de produtividade da Fazenda Aimi, no Município de Rondonópolis, foi utilizado no estudo. As médias do potencial de produtividade nas áreas correspondentes às diferentes classes de potencial foram negativamente correlacionadas com as populações de *Pratylenchus brachyurus* obtidas nas amostras de solo e raízes coletadas nessas áreas, confirmando que os mapas em questão são instrumentos auxiliares valiosos para a tomada de decisão sobre o manejo de nematóides.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. *Glycine Max.* *Pratylenchus* spp.. Geotecnologia.

MAPS OF POTENTIAL FOR PRODUCTIVITY VARIABILITY OBTAINED BY SATELLITES AS AUXILIARY INSTRUMENTS TO DECISIONS ON NEMATODE MANAGEMENT ON SOYBEAN CROP

SUMMARY – The knowledge of the spatial distribution of nematodes in crops is essential to adoption of management practices. In big farms of Mato Grosso, because of not have accurate information on infested areas within the plots, producers prefer not adopt any measure of management because, depending on the cost and operational point of view, it would be impracticable make it across the area. With maps of variability of the potential of productivity of the plots or parts of them, whose potential productivity is below the expectations, depending on the level of technology used in production, the producer may, in the current crop, make sure that the nematodes, problems of fertility, or combinations of both or other causes are the limiting factors to the achievement of the potential productivity of the plot. This study was carried out in a partnership between the Laboratorio de Nematologia of UNESP/FCAV, Câmpus de Jaboticabal-SP, and Globalsat Monitoramento Agrícola Company based in Rondonópolis-MT, to evaluate the effectiveness of maps of the potential variability in productivity achieved with satellite imagery as a tool to assist decisions on the management of nematodes on soybean. The map of variability of the potential of productivity from of Fazenda Aimi in the county of Rondonópolis was used in the study. The averages of the potential for productivity in the areas corresponding to different classes of potential were negatively correlated with the population of *P. brachyurus* obtained in samples of soil and roots collected in those areas, confirming that the maps in question are valuable auxiliary instruments for decision on the management of nematodes.

Key-words: Remote sensing. *Glycine max.*. *Pratylenchus* spp.. Geotecnology.

I. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycines max* (L.) Merrill] é a principal “commodity” do agronegócio brasileiro. Respondeu, em 2004, por aproximadamente 24,5% do total exportado por este setor. Segundo as previsões oficiais, a produção da safra a ser colhida em 2008 é de 58 milhões de toneladas, 7 milhões a mais que na safra anterior. Embora a área plantada (20 milhões de ha) tenha sido reduzida em cerca de dois milhões de ha, problemas climáticos, aliados aos causados pela ferrugem asiática, provocaram a frustração da safra, levando, segundo o próprio Instituto de Pesquisa, a estimar, preliminarmente, que na próxima safra a produção seja a mesma que a da safra anterior e na mesma área de 20 milhões de hectares (IBGE, 2007). As principais regiões de destino da soja produzida no Brasil são a Europa e a China (GARCIA & ZAPAROLLI, 2004).

No Brasil, as previsões de safras agrícolas de abrangência nacional ou regional, usualmente, eram feitas utilizando-se de informações municipais obtidas através de um sistema de levantamento subjetivo, baseado em opiniões de agentes técnicos e econômicos relacionados ao setor (SANO et al., 1998). Esse sistema, denominado *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola* (LSPA), fornece, mensalmente, informações referentes à estimativa de área plantada, produtividade média e produção de diversas culturas, a partir da fase de intenção de plantio até o final da colheita (IBGE, 2007). Contudo, em função do seu caráter subjetivo, essas informações não permitem uma análise quantitativa dos erros envolvidos, além de serem passíveis de manipulação. Da mesma forma, sua análise não permite a detecção de variações sutis que ocorrem ao longo do tempo, interessantes para o mercado (PINO, 2001).

WATSON (1947) definiu o índice de área foliar (IAF) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$). O IAF é um dos

principais parâmetros da vegetação e é muito utilizado em modelos de crescimento vegetal e de evapotranspiração, pois está relacionado à produção de biomassa.

O conhecimento das relações existentes entre os parâmetros físicos das culturas, como o IAF, e seu comportamento espectral são parâmetros importantes para avaliar o desempenho e o desenvolvimento das culturas, utilizando modelos de dados de sensoriamento remoto com os índices de vegetação (IV) (FORMAGGIO & EPIPHANIO, 1988).

Como as alterações do IAF são manifestadas na refletância espectral dos dosséis agrícolas, este pode ser estimado para grandes regiões através de dados de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) extraídos de imagens de sensoriamento remoto.

Para RIZZI et al. (2005), a identificação de áreas ocupadas pelas culturas através da classificação de imagens de sensoriamento remoto parte do princípio de que as culturas possuem comportamento espectral distinto, que é manifestado em uma imagem digital.

Esforços para incorporar as geotecnologias nos levantamentos de safras agrícolas vêm sendo realizados por diversos pesquisadores, quer seja na estimativa da área plantada, quer seja na estimativa da produtividade agrícola, uma vez que essas variáveis são essenciais para estimar a produção final de uma cultura.

Pesquisas relacionadas à identificação de culturas, bem como à medição da área por elas ocupadas, estão concentradas, principalmente, na classificação de imagens adquiridas por sensores ópticos de média resolução espacial a bordo dos satélites da série LANDSAT, e auxiliado pelas informações obtidas a campo (MEDEIROS et al., 1996; IPPOLITI-RAMILO et al., 2003) e amparadas por sistemas de amostragem (ADAMI, 2003; LUIZ, 2003). Já as pesquisas envolvendo estimativas da produtividade agrícola vêm sendo desenvolvidas utilizando dados agrometeorológicos associados ou não às imagens de sensoriamento remoto, através de modelos matemáticos (RUDORFF & BATISTA, 1990, 1991; FONTANA & BERLATO, 1998), passíveis de serem integrados aos SIGs (BERKA et al., 2003; MELO et al., 2003).

O avanço tecnológico concomitante com as previsões da produção, com geração de mapas de produtividade e expansão das áreas, permitiu que se atingissem altos índices de produção e produtividade de muitas culturas.

Muitos fatores são considerados restritivos ao aumento de produtividade. Na soja, os danos causados por nematóides constituem um dos principais fatores limitantes, notadamente no Estado do Mato Grosso.

No Brasil, os nematóides *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, *M. incognita* (Kofoid & White) Chitwood, *Heterodera glycines* Ichinohe, *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) Filipjev & Schuurmans Stekhoven e *Rotylenchulus reniformis* Linford & Oliveira são os nematóides-chave da cultura de soja (FERRAZ, 2001; GONZAGA, 2006). Em grande parte do Estado do Mato Grosso, *P. brachyurus* é a espécie que vem causando maiores danos à cultura (GONZAGA, 2006).

Um dos principais problemas que dificultam o manejo de nematóides é o desconhecimento da sua distribuição espacial na lavoura. Esse dado é fundamental na elaboração da estratégia de manejo a ser adotada, notadamente nas grandes fazendas. O método tradicional para detecção dessas pragas consiste em amostragem aleatória, com coleta de solo e análise laboratorial. Esse procedimento não permite a obtenção dos dados de infestação necessários para o manejo sistemático dos nematóides. O problema torna-se dramático em culturas plantadas em áreas extensas, como são as de soja e algodão. Na verdade, a grande produção de soja nos anos 90 passou a concentrar-se em propriedades cuja área está acima de 200 ha (65%), e a tendência é dessa produção concentrar-se cada vez mais em propriedades acima dos 500 ha. Atualmente, a maior parte das fazendas de produção de soja, no Estado do Mato Grosso, tem área plantada superior a 1.000 ha. A cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) também segue o mesmo padrão (IBGE, 2003). Esse fato, por si só, inviabiliza a adoção do sistema tradicional de amostragem para o conhecimento preciso da distribuição dos nematóides nas fazendas.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a eficácia de mapas de variabilidade do potencial de produtividade, obtidos por imagens de satélites para identificar e dimensionar as porções infestadas por nematóides em lavouras de soja, no

Mato Grosso, tendo em vista a racionalização dos recursos empregados no manejo dessas pragas.

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da soja

2.1.1 Histórico

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes oleaginosas cultivadas no mundo, principalmente devido aos elevados teores de proteína (40%), óleo (20%) e pelo alto rendimento de grãos. Pertence à família das *Fabaceae* (Leguminosa), e sua origem remonta às espécies rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do Rio Amarelo, na China (EMBRAPA, 2008).

No Brasil, ela é cultivada numa grande diversidade de ambientes, englobando altas e baixas latitudes. Ela foi introduzida na Bahia por Gustavo D'Utra, em 1882, com sementes trazidas dos Estados Unidos (COSTA, 1996). Dez anos mais tarde, novas variedades foram introduzidas e testadas no Estado de São Paulo (DALL'AGNOL, 2004). Entretanto, os primeiros relatos do seu cultivo comercial datam de 1924, no Rio Grande do Sul. O ano de 1936 marcou o início da expansão da cultura no Estado e, em 1941, a soja aparecia pela primeira vez nas estatísticas agrícolas oficiais. A partir da segunda metade da década de 60, a área plantada com a cultura aumentou consideravelmente, fato que se deveu, em grande parte, ao imediato aproveitamento da infra-estrutura utilizada no cultivo do trigo, que permanecia ociosa no período de estação quente, e à boa adaptação das cultivares originárias do sul dos Estados Unidos (EMBRAPA, 1981; COSTA, 1996). No início dos anos 70, o Paraná tornou-se grande produtor, e a partir de 1980, ocorreu a expansão para a região Centro-Oeste do País, caracterizada por condições edafoclimáticas privilegiadas.

2.1.2. Panorama Mundial e Nacional

A soja é amplamente cultivada em vários países do mundo. Os principais produtores mundiais são os Estados Unidos, o Brasil, a Argentina e a China. No Brasil, as principais áreas produtoras estão nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do País. Os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Goiás são os principais produtores de soja do Brasil (CONAB, 2008)

Nas décadas de 1980 e 1990, repetiu-se, na região tropical do Brasil, o explosivo crescimento da produção ocorrido nas duas décadas anteriores na região Sul. Em 1970, menos de 2% da produção nacional de soja era colhida no Centro-Oeste. Em 1980, esse percentual passou para 20%, em 1990 já era superior a 40% e em 2003 está próximo dos 60%, com tendências a ocupar maior espaço a cada nova safra. Essa transformação promoveu o Estado do Mato Grosso, de produtor marginal a líder nacional de produção e de produtividade de soja, com boas perspectivas de consolidar-se nessa posição.

A partir de 2003, o Brasil figura como o segundo produtor mundial, responsável por 52, das 194 milhões de toneladas produzidas em nível global ou 26,8% da safra mundial em 2003. Os principais locais de destino são a Europa e a China (SCHLESINGER, 2005).

Segundo as previsões oficiais, a produção da safra a ser colhida em 2007 é de 58 milhões de toneladas, 7 milhões a mais que na safra anterior. Embora a área plantada (20 milhões de ha) tenha sido reduzida em cerca de dois milhões de ha, problemas climáticos, aliados aos causados pela ferrugem asiática, provocaram a frustração da safra, levando, segundo o próprio Instituto de Pesquisa, a estimar, preliminarmente que na próxima safra a produção seja a mesma que a da safra anterior e na mesma área de 20 milhões de hectares (IBGE, 2007).

2.1.3. Exigências Climáticas

A disponibilidade hídrica, o fotoperíodo e a temperatura são os fatores que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja (FARIAS et al., 2000). A necessidade de água durante todo o ciclo fenológico varia entre 450 e 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Os períodos mais críticos em relação à disponibilidade hídrica são os que correspondem à germinação/emergência e à floração/enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto a escassez de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. No segundo período, o estresse hídrico expressivo, aliado à baixa umidade relativa do ar, pode provocar queda das flores, vagens e folhas, além de acelerar a senescência da planta, reduzindo a fase destinada ao enchimento de grãos e, conseqüentemente, à produtividade (SEDIYAMA et al., 1996).

Além do regime hídrico, o comprimento do dia ou fotoperíodo é outro fator que interfere no desenvolvimento da soja. Por ser uma planta de dias curtos, a soja só tem sua floração induzida quando o fotoperíodo é menor que um comprimento crítico. Devido ao fotoperíodo crítico ser constante para uma mesma cultivar, a planta sofre modificações no crescimento e desenvolvimento quando semeada em latitudes diferentes da qual está adaptada ou em diferentes épocas de semeadura para uma mesma latitude. Segundo COSTA (1996), ainda assim, as exigências fotoperiódicas de uma cultivar estão intimamente relacionadas às exigências térmicas, ou seja, uma cultivar exigente em fotoperíodo curto também será exigente em somas térmicas; assim, as cultivares com menor fotoperíodo crítico (de ciclo tardio) exigem maior quantidade de somas térmicas.

A temperatura é outro fator que interfere no crescimento e desenvolvimento da soja, sendo as mais apropriadas aquelas entre 20 e 30 °C. Temperaturas do solo entre 24 e 30 °C são necessárias para promover a germinação e favorecer a emergência dos cotilédones, bem como para promover a fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico. Temperaturas abaixo de 10 ou acima de 40 °C, se ocorrerem durante os estádios vegetativos e reprodutivos, provocam efeitos adversos à cultura, pois, além de

reduzirem a taxa de crescimento, provocam estragos na floração e diminuição na capacidade de retenção das vagens (FARIAS et al., 2000).

2.1.4. Ciclo Fenológico

A maturação pode ser acelerada pela ocorrência de altas temperaturas. Quando vêm associadas a períodos de alta umidade, as altas temperaturas contribuem para diminuir a qualidade da semente e, quando associadas a condições de baixa umidade, predis põem a semente a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas a período chuvoso ou de alta umidade, podem provocar atraso na data de colheita, bem como haste verde e retenção foliar (EMBRAPA, 2007).

Segundo SEDIYAMA et al.(1996), o ciclo fenológico da cultura pode variar, da germinação até a maturação completa, de 75 a 200 dias, aproximadamente, dependendo da exigência de seu fotoperíodo. Para o Mato Grosso, as cultivares recomendadas para a semeadura são: precoce/médio (133 a 142 dias), semitardio (145 dias) e tardio (145 a 150 dias), embora a maioria das cultivares registradas para o Estado estejam classificadas em precoce/médio e semitardio (EMBRAPA, 2007).

A semente de soja inicia a germinação por meio da absorção de água em quantidades equivalentes a 50% de seu peso. Uma vez embebida a semente, evidencia-se a sua germinação com o crescimento da radícula, ou raiz primária, que se prolonga para baixo, fixando-se sozinha no solo.A emergência da plântula ocorre entre 4 e 10 dias após a semeadura, dependendo das condições de umidade, temperatura e profundidade de semeadura (BERLATO, 1987; MENOSSO, 2000). O período vegetativo estende-se até a formação da terceira à quinta folha trifoliolada (40 a 70 dias), quando a planta está apta a receber a indução floral. O período de floração pode variar de 7 a 15 dias, quando se inicia o crescimento do fruto. A maturação fisiológica dos grãos ocorre de 40 a 70 dias após o final da floração (COSTA, 1996; UFSM, 1996).

Em muitos países, as previsões agrícolas constituem o meio mais importante de servir a agricultura, especialmente para o seu planejamento. As instituições públicas, empresas agrícolas e outras entidades que trabalham com planejamento, necessitam

saber, por exemplo, as datas previstas de ocorrência das fases fenológicas de crescimento das espécies cultivadas, assim como as reservas de umidade do solo, com o objetivo de adotar medidas adequadas de cultivo e de políticas de apoio e organização agrícola. Necessitam saber, também, as datas previstas de maturação e colheita, bem como os rendimentos esperados, com a finalidade de preparar, antecipadamente, a maquinaria necessária, mão-de-obra disponível, armazenagem, transporte e comercialização, inclusive planejamento de importações e exportações (BRAGA,1995).

2.2. Sensoriamento Remoto e cultivos agrícolas

Para PAX-LENNEY & WOODCOCK (1997), uma das premissas necessárias em um sistema de levantamento de safras agrícolas é a estimativa da área plantada com as diferentes culturas presentes em uma determinada região. A identificação de áreas ocupadas pelas culturas através da classificação de imagens de sensoriamento remoto parte do princípio de que as culturas, em função de suas características intrínsecas, possuem comportamento espectral distintos, os quais são manifestados em uma imagem digital. Além da possibilidade da identificação e quantificação da área ocupada, uma imagem classificada possibilita a localização espacial dos talhões, o que facilita uma aferição diretamente no campo, bem como a estimativa/previsão em anos subseqüentes. Entretanto, somente aquelas que ocupam as maiores áreas podem ser monitoradas com imagens de média resolução espacial, bem como aquelas culturas cultivadas mecanicamente e, portanto, em talhões cujas dimensões mínimas geralmente superam uma dezena de hectares e que, conseqüentemente, correspondem àquelas de maior importância econômica (LUIZ & EPIPHANIO, 2001).

No Brasil, as previsões de safras agrícolas de abrangência nacional ou regional, usualmente, eram feitas utilizando-se de informações municipais obtidas através de um sistema de levantamento subjetivo, baseado em opiniões de agentes técnicos e econômicos relacionados ao setor (SANO et al., 1998). Esse sistema, denominado *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola* (LSPA), fornece

mensalmente informações referentes à estimativa de área plantada, produtividade média e produção de diversas culturas, a partir da fase de intenção de plantio até o final da colheita (IBGE, 2007). Contudo, em função do seu caráter subjetivo, essas informações não permitem uma análise quantitativa dos erros envolvidos, além de serem passíveis de manipulação. Da mesma forma, sua análise não permite a detecção de variações sutis que ocorrem ao longo do tempo, interessantes para o mercado (PINO, 2001).

Contudo, isso vem alterando-se. A CONAB (Companhia Brasileira de Abastecimento) vem utilizando, desde 2004, recursos tecnológicos de eficiência comprovada, tais como: modelos estatísticos, sensoriamento remoto, posicionamento por satélite (GPS), sistemas de informações geográficas e modelos agrometeorológicos. Esse conjunto de tecnologias, denominado de Projeto GeoSafras, a partir de entendimentos iniciados em 2003, formou em torno do Projeto um ambiente de cooperação e de união de esforços para um objetivo comum: aprimorar as estimativas de safras brasileiras, tornando inquestionáveis os números do governo.

Ao longo desta década, tem sido observado o uso de tecnologias avançadas no gerenciamento da produção agrícola, em especial nos Estados Unidos. A disponibilidade de maquinaria com capacidade de aplicação variada de insumos (VTR – variable rate technology), o avanço na precisão dos sistemas de geoposicionamento (GPS - Global Positioning Systems) e o desenvolvimento de Sistemas Geográficos de Informação (SIG) viabilizaram a agricultura de precisão (MORAN et al., 1997). ROBERT et al. (1995) definem a agricultura de precisão como sendo um sistema de gerenciamento agrícola, baseado em informação e tecnologia, para identificar, analisar e gerenciar a variação espacial e temporal do solo, dentro de um talhão (unidade de manejo) para otimizar o uso de insumos, proporcionar sustentabilidade e proteger o meio ambiente.

As técnicas de produção agropecuária têm sido desenvolvidas para serem implementadas em grandes áreas, assumindo que estas sejam unidades homogêneas. Segundo COSTA & SANTOS (1997), técnicos e agricultores têm identificado variações, por vezes significativas, nas características físicas, químicas e biológicas do solo, em

micro e macro escalas, as quais chegam, em muitos casos, a comprometer os padrões de produção, aplicação de nutrientes, corretivos agroquímicos e irrigação.

2.2.1. Bandas espectrais e respostas espectrais

JENSEN (2000) define o sensoriamento remoto como a arte e a ciência de se obterem informações acerca de objetos presentes na superfície terrestre sem contato físico com os mesmos. Um sensor remoto é um sistema capaz de detectar, medir e registrar a Radiação Eletromagnética (REM) emitida ou refletida pela superfície terrestre. Os dados podem ser adquiridos nos níveis: aéreo, terrestre e orbital de acordo com a distância entre o objeto de interesse e o sensor (MATHER, 1999). Um sensor remoto óptico é constituído, basicamente, de um coletor que intercepta a radiação vinda do alvo e a direciona para um conjunto de detectores. Estes transformam a radiação em sinal elétrico, cuja intensidade é transformada num valor numérico digital que, em se tratando de sensores orbitais, pode ser armazenado a bordo do satélite ou transmitido para receptores em Terra (CCRS, 2007). Os sensores remotos podem registrar a radiação em diferentes intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético, denominados bandas ou canais espectrais. Contudo, nem todo o espectro eletromagnético pode ser medido por um sensor remoto.

Os sensores remotos operam em diferentes bandas espectrais simultaneamente, sendo que o número de bandas e a dimensão do intervalo de comprimentos de onda dessas bandas, comumente denominada de *largura da banda*, definem a resolução espectral. A resolução espectral será tanto maior quanto maior o número e mais estreitas forem as bandas posicionadas numa faixa espectral em que opera o sistema sensor. Segundo MATHER (1999), o posicionamento e a resolução espectral das bandas são características muito importantes, pois determinarão, em conjunto com as resoluções espacial e radiométrica, a capacidade de um sensor em discriminar ou representar os alvos em uma área imageada.

De uma forma geral, os sensores remotos são especificados para atender a distintas aplicações, que requerem características próprias quanto ao número, posicionamento e largura espectral das bandas. Assim, os sensores ópticos orbitais

geralmente possuem três bandas na porção do visível, uma banda na porção do infravermelho próximo e uma ou duas bandas na porção do infravermelho médio do espectro eletromagnético. Alguns sensores remotos possuem ainda uma banda centrada em comprimentos de onda maiores, correspondentes ao infravermelho termal, para medir a radiância emitida pelos alvos da superfície terrestre. Outros sensores possuem uma banda denominada pancromática, cuja faixa espectral é larga e estende-se desde o visível ao infravermelho próximo.

Segundo NOVO (1989), cada objeto apresenta um comportamento diferente frente à relação entre a radiação que nele incide e a radiação por ele refletida, transmitida e absorvida, denominado de *comportamento* ou *resposta espectral*. Contudo, outras características inerentes aos alvos interferem no seu comportamento espectral, além das características físico-químicas.

O conhecimento das propriedades espectrais das plantas, responsáveis pelo comportamento espectral do dossel como um todo, bem como das características associadas ao solo, é de extrema importância para se compreenderem os fenômenos da interação da radiação eletromagnética com a vegetação.

Na porção visível do espectro eletromagnético (0,4 a 0,7 μm), a vegetação apresenta alta absorção da radiação incidente, promovida pelos pigmentos fotossintéticos presentes nas folhas (clorofila, xantofila, etc.). Os picos de absorção ocorrem nas regiões do vermelho e do azul, havendo um pico de reflectividade em torno do comprimento de onda de 0,55 μm (verde). A interação da radiação solar com a vegetação ocorre principalmente nas folhas, onde ocorrem os processos da fotossíntese. O vermelho é um intervalo do espectro eletromagnético no qual existe uma relação inversamente proporcional entre a intensidade da REM refletida e a quantidade de clorofila presente no dossel vegetal. Portanto, com o aumento da cobertura vegetal e, conseqüentemente, maior quantidade de pigmentos celulares por área, presentes em maior número de folhas, a quantidade da REM refletida no vermelho diminui, devido ao aumento da absorção da REM incidente (JENSEN, 2000).

2.2.2 Mapas de Produtividade

Para MOLIN (2000), o mapa de produtividade é um conjunto de células que representam, cada uma, uma área de alguns metros quadrados, composta pela largura da plataforma da colhedora e a distância percorrida entre duas leituras. A montagem do mapa nada mais é do que a plotagem de cada uma destas células num sistema cartesiano, onde o eixo “x” é a longitude e o eixo “y” é a latitude. As células são representadas por diferentes cores ou tons de cinzas, para diferentes valores de produtividade, obtidos na tabela de dados gerados no campo.

SHULER et al. (1998) advertem que os mapas de produtividade são muito utilizados, mas as informações são disponíveis somente após os problemas já terem afetado a produtividade agrícola. Assim, eles são úteis em análises posteriores à época de sua obtenção. DOEGE (1999) comenta que o mapa de produtividade é um instrumento valioso na determinação da variabilidade espacial da produtividade, mas não permite determinar a causa dessa variabilidade. Mais recentemente, tem sido dada ênfase aos mapas de variabilidade do potencial de produtividade executado por sensoriamento remoto com imagens de satélites (EPIPHANIO, 2002).

Pesquisas envolvendo estimativa da produtividade agrícola vêm sendo desenvolvidas utilizando dados agrometeorológicos, associados ou não às imagens de sensoriamento remoto, através de modelos matemáticos (RUDORFF & BATISTA, 1990, 1991; FONTANA & BERLATO, 1998), passíveis de serem integrados aos SIGs (BERKA et al., 2003; MELO et al., 2003).

Segundo BLACKMER & SCHEPERS (1996), a avaliação da variabilidade espacial de uma lavoura pode ser realizada com o mapa de produtividade ou imagem aérea da cultura, para mostrar ou localizar as áreas com problemas de produtividade.

FORMAGGIO (1989) explica que, com a finalidade de relacionar parâmetros agronômicos com indicadores espectrais das condições vegetativas das culturas, em vez de se usarem bandas individuais, simplesmente, de imagens multiespectrais, a abordagem mais utilizada tem sido a que emprega índices de vegetação (IVs).

2.2.3 Índice de Vegetação

Segundo FORMAGGIO & EIPHANIO (1988), o conhecimento das relações existentes entre os parâmetros físicos das culturas, como o IAF, e seu comportamento espectral são um passo importante para avaliar o desempenho e o desenvolvimento das culturas, utilizando modelos de dados de sensoriamento remoto com os índices de vegetação (IV).

WATSON (1947) definiu o índice de área foliar (IAF) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$). O IAF é um dos principais parâmetros da vegetação e é muito utilizado em modelos de crescimento vegetal e de evapotranspiração, pois está relacionado à produção de biomassa.

Para CASTRO (1999), o IAF é definido como a relação entre a área total de folhas e a área unitária de solo ocupada por elas, juntamente com a percentagem de cobertura do solo, e são importantes indicadores do vigor e da produtividade das culturas, de uma maneira geral. Um exemplo é o que HUMPHIRES (1967) constatou em seu estudo, que muitas das plantas de batata (*Solanum tuberosum* L) atacadas por pragas e doenças provocam danos e que acabam por reduzir a área foliar, diminuindo a translocação de fotoassimilados para os tubérculos e, por conseguinte, afetando a produtividade.

A percentagem de cobertura do solo é um importante parâmetro de avaliação da cultura (HOLBEN et al., 1980), onde há um momento durante o desenvolvimento da cultura em que, apesar de não haver mais variação da percentagem de cobertura do solo, o IAF pode continuar a crescer. Esses autores observaram que houve baixa correlação entre o IAF e a percentagem de cobertura do solo quando a soja apresentava elevados valores de IAF.

A maioria dos IVs é obtida de medidas radiométricas sobre dosséis de vegetação, nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo (HUETE & JACKSON, 1988). Segundo BARRET et al. (1989), há duas razões básicas para o uso dessas faixas espectrais: 1) estão presentes em quase todos os satélites de SR; 2) contêm mais de 90% da informação espectral da vegetação.

TUCKER (1979) estudou os IVs formados por várias combinações das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, constatando que eles são úteis para monitorar a fitomassa fotossinteticamente ativa.

Como as alterações do IAF são manifestadas na reflectância espectral dos dosséis agrícolas, este pode ser estimado para grandes regiões através de dados de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) extraídos de imagens de sensoriamento remoto.

Segundo CHOUDHURY (1987), o NDVI é o IV mais utilizado e é definido pela expressão:

$$NDVI = (IVP - V) \cdot (IVP + V)^{-1}$$

Em que:

IVP = reflectância medida na faixa espectral do infravermelho próximo;

V = reflectância medida na faixa espectral do vermelho.

DAUGHTRY et al. (1984), em estudo envolvendo variáveis biofísicas, características espectrais e produtividade para as culturas do milho, algodão e soja, afirmaram que o NDVI foi altamente correlacionado com o IAF. Este índice também estimou o IAF para o milho e para o algodão, apresentando altos coeficientes de correlação.

Os IVs têm sido empregados, também, no estabelecimento de padrões de crescimento e desenvolvimento ao longo do ciclo das culturas. MOTTA et al. (2003) analisaram o perfil temporal do NDVI oriundo de imagens NOAA/AVHRR, em três regiões de soja no Estado do Rio Grande do Sul. Os autores relatam que a evolução temporal do NDVI esteve relacionada com as diferentes fases do ciclo fenológico da cultura. Os maiores valores de NDVI foram observados durante o mês de fevereiro, período associado ao pleno crescimento e desenvolvimento da cultura (maior densidade de biomassa).

Durante o ciclo de qualquer cultura anual, há fases bem nítidas quanto ao padrão geral de comportamento espectral, sendo que, no início, há grande influência do solo,

depois há uma fase de resposta espectral da vegetação verde e, no final do ciclo, há resposta da vegetação senescente e do solo (BAUER, 1981).

Esforços para incorporar as geotecnologias nos levantamentos de safras agrícolas vêm sendo realizados por diversos pesquisadores, quer seja na estimativa da área plantada, quer que seja na estimativa da produtividade agrícola, uma vez que essas variáveis são essenciais para estimar a produção final de uma cultura.

2.3 Sensores Orbitais

Os satélites são veículos colocados em órbita da Terra e que promovem continuamente a aquisição de dados relacionados às propriedades primárias dos objetos. Por estarem a grandes altitudes (normalmente entre 600 e 1.000 km), têm a capacidade de abranger, em seu campo de visada, uma grande porção de superfície terrestre. Ao mesmo tempo, como têm que orbitar ao redor da Terra, promovem uma cobertura que se repete ao longo do tempo, permitindo o acompanhamento da evolução das propriedades de reflexão ou emissão dos objetos e fenômenos (EPIPHANIO, 2002). Segundo o mesmo autor, os satélites podem apresentar grande variação quanto ao padrão orbital em relação à Terra e enquadram-se em duas grandes categorias: os de órbita baixa e os de órbita alta. Os de órbita alta têm sua maior aplicação no campo da meteorologia, sendo apenas marginal a sua aplicação no sensoriamento remoto. Os de órbita baixa englobam a maioria dos satélites de sensoriamento remoto.

Para o sensoriamento remoto da superfície terrestre, no Brasil, os satélites mais utilizados são os dos sistemas Landsat, SPOT, NOAA, Terra, Radarsat e ERS (todos programas internacionais), e o CBERS e o SSR/MECB (do Brasil).

2.3.1 Sensor Spot

EPIPHANIO (2002) publicou uma descrição detalhada do programa SPOT (*Satellite Pour Observation de la Terre*). Trata-se de um sistema de observação da

Terra, projetado pela Agência Espacial Francesa (CNES – Centre National d'Études Spatiales), operado por sua subsidiária Spot Image. O primeiro satélite da série, conforme menção do citado pesquisador, foi lançado em 22-02-1986, o segundo em 22-01-1990 e o terceiro foi lançado em 26-09-1993, mas perdeu-se no lançamento. Mencionou, também, que o SPOT-4 foi lançado em 22-03-1998, pelo veículo lançador Ariane. A Agência espacial Francesa utiliza o Centro Espacial de Kourou, na Guiana Francesa, onde a proximidade com a linha do Equador dá uma vantagem significativa ao lançamento de satélites, em relação a outras bases de lançamento do mundo (CNES, 2008).

A plataforma do SPOT, atualmente, orbita a Terra com três satélites, a saber: SPOT 2, 4 e 5. Tal fato possibilita o acesso a qualquer ponto da Terra em menos de 24 horas. Atuando em conjunto, possibilitam revisitas em intervalos de 3 a 5 dias. Esses satélites operam com sensores ópticos em bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Em 04-05-2002, foi lançado o SPOT 5 com inovações que possibilitam a aquisição de imagens orbitais tridimensionais, em função de sua capacidade de visada lateral de até 27°, melhorando sua resolução espacial do canal pancromático para 5 m (BATISTELLA et al., 2004).

Conforme menção de EPIPHANIO (2002), o Spot-4 é classificado como um satélite de órbita baixa, orbitando a 830 km de altitude. Considerando que sua órbita é circular, todas as cenas são adquiridas a uma altitude praticamente constante, assegurando constância na resolução espacial e na escala. A heliossincronicidade da órbita do Spot-4 faz com que o satélite passe sobre certa área sempre à mesma hora solar. Com isso, a cena apresenta as mesmas condições de iluminação durante todo o ano. As variações passam a ser dependentes da sazonalidade das estações do ano e das variações intrínsecas dos alvos.

2.4 Nematóides na Cultura da Soja

O avanço tecnológico concomitante com as previsões da produção com geração de mapas de produtividade e expansão das áreas, permitiu que se atingissem altos

índices de produção e produtividade de muitas culturas. Muitos fatores são considerados restritivos ao aumento de produtividade. Entre esses, destacam-se as pragas e doenças e, no caso das culturas de soja e algodão, os nematóides têm-se destacado com fatores limitantes.

Na soja, os danos causados por nematóides constituem um dos principais fatores limitantes. No Brasil, os nematóides de galha (*M. javanica* e *M. incognita*), o nematóide do cisto da soja (*H. glycines*), o nematóide das lesões radiculares *P. brachyurus* e o nematóide reniforme (*R. reniformis*) são os nematóides-chave da cultura de soja (FERRAZ, 2001). Em grande parte do Estado do Mato Grosso, *P. brachyurus* é a espécie que vem causando maiores danos à cultura (GONZAGA, 2006).

O gênero *Pratylenchus*, nas últimas décadas, passou por várias revisões. De acordo com GONZAGA (2006), até então, o grupo englobava 69 espécies e, em importância econômica, é superado apenas pelos nematóides de galha (*Meloidogyne* spp.).

Dentre as espécies do grupo, *P. brachyurus* é uma das mais que exibem maior importância econômica ao redor do mundo. Tal relevância está associada a algumas características demonstradas por esse nematóide, entre as quais: i) ampla distribuição geográfica, ocorrendo na maioria dos países das regiões tropical e subtropical; ii) alto grau de polifagia, ou seja, capacidade de parasitar e multiplicar-se em grande número de plantas hospedeiras, das diferentes famílias botânicas; e iii) agressividade pronunciada no caso de várias culturas de grande interesse agrônomo, anuais e perenes, podendo causar elevados danos com perdas econômicas.

FERRAZ (2006) mencionou que esse nematóide foi descrito originalmente em 1929, no Havaí, onde se tornou um dos mais sérios problemas sanitários da cultura do abacaxi. Frequentemente, em diferentes países, culturas importantes como milho, cana de açúcar, batata, amendoim, algodão, quiabo, pessegueiro, entre tantas outras são alistadas entre culturas que sofreram danos causados por esse nematóide. A soja por sua vez, é suscetível a este parasito, sendo que a maioria das cultivares o hospeda. Em cafeeiro, esse nematóide, embora, não se reproduza muito bem, pode causar grande atraso no desenvolvimento inicial das plantas quando a cultura é instalada em área com

elevada densidade populacional. Plantas ornamentais e algumas essências florestais também são, igualmente, boas hospedeiras de *P. brachyurus*.

Os nematóides das lesões radiculares são endoparasitos e migradores e todas as suas fases de desenvolvimento pós-emergentes do ovo são consideradas como infectantes, sendo que a penetração pode ser inter e intracelular, por ação mecânica e enzimática. Após penetrarem nas raízes, os diferentes estádios de desenvolvimento desse nematóide nutrem-se das células do parênquima cortical e causam lesões. Essas aberturas nas raízes promovidas pelo nematóide favorecem à penetração de fungos e bactérias da rizosfera, agravando o problema.

São comuns em solos arenosos e de temperaturas elevadas. Quando a cultura está em fase de franco crescimento no campo, geralmente ocorre uma baixa população no solo e alta nas raízes. Os ovos são depositados nas raízes (córtex) ou no solo. O período embrionário varia de 6 a 8 dias, a uma temperatura de 28 a 30°C. 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 no solo úmido por mais de 8 meses. Os ovos são depositados individualmente no tecido vegetal ou no solo.

Em *P. brachyurus*, os espécimes têm o corpo esguio e alongado, medindo de 0,3 a 0,45 mm de comprimento nos estádios juvenis e de 0,5 a 0,7 mm nas fêmeas adultas. Como a reprodução é do tipo partenogenética, os machos são raros e as populações constituídas quase exclusivamente por juvenis femininos e fêmeas. Uma fêmea coloca 70 a 80 ovos, em média, dos quais eclodem juvenis de segundo estágio que, tendo a oportunidade de atacar plantas suscetíveis, irão desenvolver-se em juvenis de terceiro e quarto estádios transformando-se, por fim, em fêmeas adultas (LOOF, 1991).

No Brasil, o nematóide das lesões radiculares, *P. brachyurus*, ocorre com frequência elevada nas culturas de maior importância econômica para o País, a exemplo do algodão, da batata (*Solanum tuberosum* L.), do café (*Coffea arabica* L. e *C. canephora* Pierre), do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e da soja (LOPES & LORDELLO, 1980; MENTEN et al., 1980; SILVA & PEREIRA, 2003; SILVA et al., 2004; KUBO et al., 2004; INOMOTO et al., 2007). Alguns nematóides, até pouco tempo, não causavam

danos tão expressivos a agricultura, notadamente nos pólos agrícolas, como no caso do Centro-Oeste brasileiro, onde se concentra a maior parte da produção de soja e algodão no País (ASMUS & INOMOTO, 2007).

III. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na região geoeconômica de Rondonópolis (latitude 16°28'15" S e longitude 54°38'08" O), no sudeste do Estado de Mato Grosso. Utilizando-se de um mapa de variabilidade do potencial de produtividade elaborado com imagens de satélite, áreas com diferentes classes de potencial de produtividade da Fazenda Aimi, especializada na produção de grãos de milho e soja, foram amostradas para a quantificação da população de nematóides em cada uma delas.

Na safra de 2006/2007, foram plantadas as cultivares de soja TMG 103 RR e BRS Valiosa RR. A primeira é uma cultivar precoce, e a segunda é mais tardia. TMG 103 RR foi desenvolvida pela Fundação Mato Grosso em parceria com a Empresa Tropical Melhoramento e Genética (TMG), e apresenta boa produtividade e tolerância aos nematóides de galhas (*Meloidogyne* spp). Já a cultivar BRS Valiosa RR foi desenvolvida pela EMBRAPA, em parceria com a Fundação Bahia, apresentando boa produtividade e resistência a várias doenças (cancro da haste, oídio, podridão-parda-da-haste, nematóides de galhas e nematóide de cisto), conforme menção de REVISTA AGROBRASIL (2007). A semeadura, na safra de 2006/2007, foi efetuada no período de 06 a 13 de outubro de 2006.

Na safra de 2007/2008, foram semeadas plantadas as mesmas variedades da safra anterior, acrescida da cultivar Jaciara, no período de 28 de outubro a 05 de novembro de 2007.

Na safra anterior, em dezembro de 2006, estando a soja nos estádios R4 ou R5, foi efetuado o imageamento de toda a área de cultivo da fazenda, totalizando 1.378,9 ha, com imagens do satélite SPOT 4 da Agência Espacial Francesa (*Centre National d'Etudes Spatiales- CNES*). As imagens utilizadas no presente estudo foram obtidas junto à Empresa Globalsat Monitoramento Agrícola, com sede em Rondonópolis – MT, que presta o serviço de imageamento para fins agrícolas, em todo o território nacional.

O mapa de variabilidade do potencial de produtividade, efetuado com auxílio de software especial, estratificou as lavouras de soja da fazenda em manchas irregulares, com diferentes potenciais de produtividade, alistados em ordem decrescente, a saber: classe I - 65 a 75 sacos.ha⁻¹, representada no mapa pela cor azul; II – 55 a 65, verde; III – 50 a 55, laranja; IV - 45 a 50, amarela; V – 35 a 45, vermelha; VI - 25 a 35, cinza e classe VII - 00 a 25 sacos/ha, representada no mapa pela cor preta. De cerca de apenas 1% da área, não foi possível a obtenção dessas informações, dada a ocorrência de nuvens. Na safrinha seguinte, toda a área foi cultivada com milho.

Na safra de soja seguinte (2007/2008), em dezembro de 2007, estando a cultura de soja em floração, amostras simples de solo e raízes foram coletadas, em três pontos previamente georreferenciados, dentro da área correspondente a cada uma das faixas

de potencial de produtividade contidas nos mapas de variabilidade do potencial de produtividade. Utilizando-se de um aparelho de GPS (Sistema de Posicionamento Global), os pontos previamente escolhidos foram amostrados na lavoura. Essas amostras foram homogeneizadas, constituindo uma amostra composta, representativa de cada uma das faixas de produtividades, e transportadas para o Laboratório de Nematologia do Departamento de Fitossanidade da UNESP/FCAV, Câmpus de Jaboticabal-SP, onde foram processadas. Uma parte de cada amostra de solo foi encaminhada para análise química no Laboratório de Solos e Adubos da UNESP/FCAV, Câmpus de Jaboticabal.

Os nematóides foram extraídos das amostras de solo pelo método da flotação centrífuga, em solução de sacarose, segundo JENKINS (1964), e as raízes, pela técnica de COOLEN & D'HERDE (1972). As densidades da população dos nematóides nas suspensões aquosas, obtidas de alíquotas de 100 cm³ das amostras de solo e em 10 g de raízes, foram estimadas ao microscópio fotônico, com auxílio da câmara de contagem de Peters. O somatório da população estimada no solo e nas raízes representou a densidade da população dos nematóides em cada situação. Uma correlação linear simples entre as médias estimadas para o potencial de produtividade, apontadas em cada faixa pelo mapa, na safra passada, e a população de *Pratylenchus brachyurus* na safra seguinte foi efetuada.

Para o exame ao microscópio óptico composto lâminas temporárias de fêmeas de *P. brachyurus* foram preparadas conforme técnica descrita por TIHOHOD (1993). As lâminas foram identificadas, e espécimes foram examinados e documentados em um sistema de aquisição de imagens digitais constituído por uma câmera digital Sony®, modelo Hiper HAD, montada sobre um microscópio trinocular Olympus®, modelo BX50, e acoplada a um computador, em um período de até 4 horas após a montagem das lâminas e examinadas em campo claro, utilizando-se contraste de interferência diferencial (DIC) e salvas em computador, conforme PADAWER (1967) quando necessário.

Para a microscopia eletrônica de varredura (MEV) espécimes inteiros, um a um, foram transferidos para vidros de 10mL, ao estereoscópio, contendo 3/4 de seu volume

com água filtrada e em seguida foram agitados manualmente por cerca de 5 minutos e deixados em repouso, em refrigerador, a 5 °C, por cerca de 1 hora. Após este período o volume de água de cada vidro foi reduzido para cerca de 0,5 mL com o auxílio de seringa hipodérmica e, novamente os vidros foram deixados em geladeira por mais 20 minutos. A seguir o volume de cada vidro foi preenchido com solução fixadora, constituída de glutaraldeído a 3% e formaldeído a 2% preparado com paraformaldeído (EISENBACH, 1991), em água filtrada. Os vidros foram mantidos a cerca de 4 °C, em geladeira, para que os nematóides se mantivessem relaxados durante todo o processo de fixação.

Após o período mínimo de 72 horas, o processo de preparação teve continuidade. Os nematóides na solução fixadora foram submetidos a um banho em ultra-som por 1 minuto, para remover impurezas de seu corpo. Em seguida, os vidros foram mantidos em repouso por cerca de 30 minutos, em temperatura ambiente e assim, o volume da suspensão foi reduzido com uma pipeta de Pasteur para cerca de um terço e adicionado igual volume de água filtrada. Os vidros novamente foram agitados manualmente e mantidos por repouso, como no caso anterior. Novamente o excesso da suspensão foi removido, e o restante da suspensão foi transferido com pipeta de Pasteur, para câmaras preparadas com cápsulas de polietileno, tamanho “00”, utilizadas nas preparações de amostras para microscopia eletrônica de transmissão e peças de “silk-screen” com poros de 25 µm. Por cerca de um minuto os nematóides foram lavados, aplicando-se água filtrada, gota a gota, com auxílio de uma pipeta de Pasteur. As câmaras foram fechadas, apoiadas numa placa de Petri contendo uma lâmina de água e transferidas para vidros de boca larga de cerca de 50 mL. Numa câmara de exaustão de gases, adicionou-se a solução de tetróxido de ósmio a 2% para pós-fixação do material, por aproximadamente 14 horas. Em seguida, o tetróxido de ósmio foi removido na câmara de exaustão de gases, e os espécimes foram lavados com água por seis vezes consecutivas, em um intervalo de 15 minutos. Então, foram desidratadas em uma série gradual de acetona (30; 50; 70; 80; 90; 95 e 100%), repetindo-se duas vezes o último passo da série. As amostras foram secas, em secador de ponto crítico, utilizando-se de CO₂, montadas, metalizadas com uma camada de

cerca de 35 nm de ouro, observadas e eletromicrografadas em um microscópio eletrônico de varredura JEOL JMS 5410, operado em 15kV (SANTOS & MAIA, 1997).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estudo Realizado nas Lavouras de Soja da Fazenda Aimi

O mapa da variabilidade do potencial de produtividade da soja na Fazenda Aimi (sacos.ha^{-1}), na safra anterior, obtido em dezembro de 2006, indicando as classes de potencial de produtividade, a área equivalente a cada uma das classes (ha), a percentagem de cada classe no cômputo geral da fazenda e as faixas do potencial de produção (sacos) por classe, está ilustrado na Figura 1.

Nas amostras de solo e raízes, foram encontrados *Helicotylenchus dihystera* (Cobb) Sher e *Pratylenchus brachyurus*, cujos dados da população desses nematóides, por classe de produtividade, foram alistados na Tabela 1. Entre essas duas espécies de nematóides, apenas *P. brachyurus* vem sendo considerado um nematóide-chave da cultura da soja no Brasil (SILVA & PEREIRA, 2004). Com efeito, densidades da população de *H. dihystera* superiores a 1.000 espécimes/100 cm³ de solo já foram, repetidas vezes, registradas no Laboratório de Nematologia da UNESP/FCAV, oriundas de lavouras com produtividade superior a 50 sacos/ha e que não exibiam sintomas aparentes de comprometimento ao desenvolvimento ou produção da soja. Por outro lado, os danos causados por *P. brachyurus* são alarmantes. Os sintomas de uma lavoura infestada pelo nematóide, numa fazenda do Município de Sorriso-MT, são ilustrados na Figura 2. Ilustrações dos caracteres morfológicos marcantes que identificam *P. brachyurus*, foram incluídas na Figura 3.

Na Tabela 2, constam os dados relativos às análises de rotina para a fertilidade do solo, efetuadas nas amostras das áreas equivalentes às diferentes classes de potencial de produtividade amostradas. Nenhum dos parâmetros mensurados foi considerado limitante à produção da cultura e, por conseguinte, *P. brachyurus* é

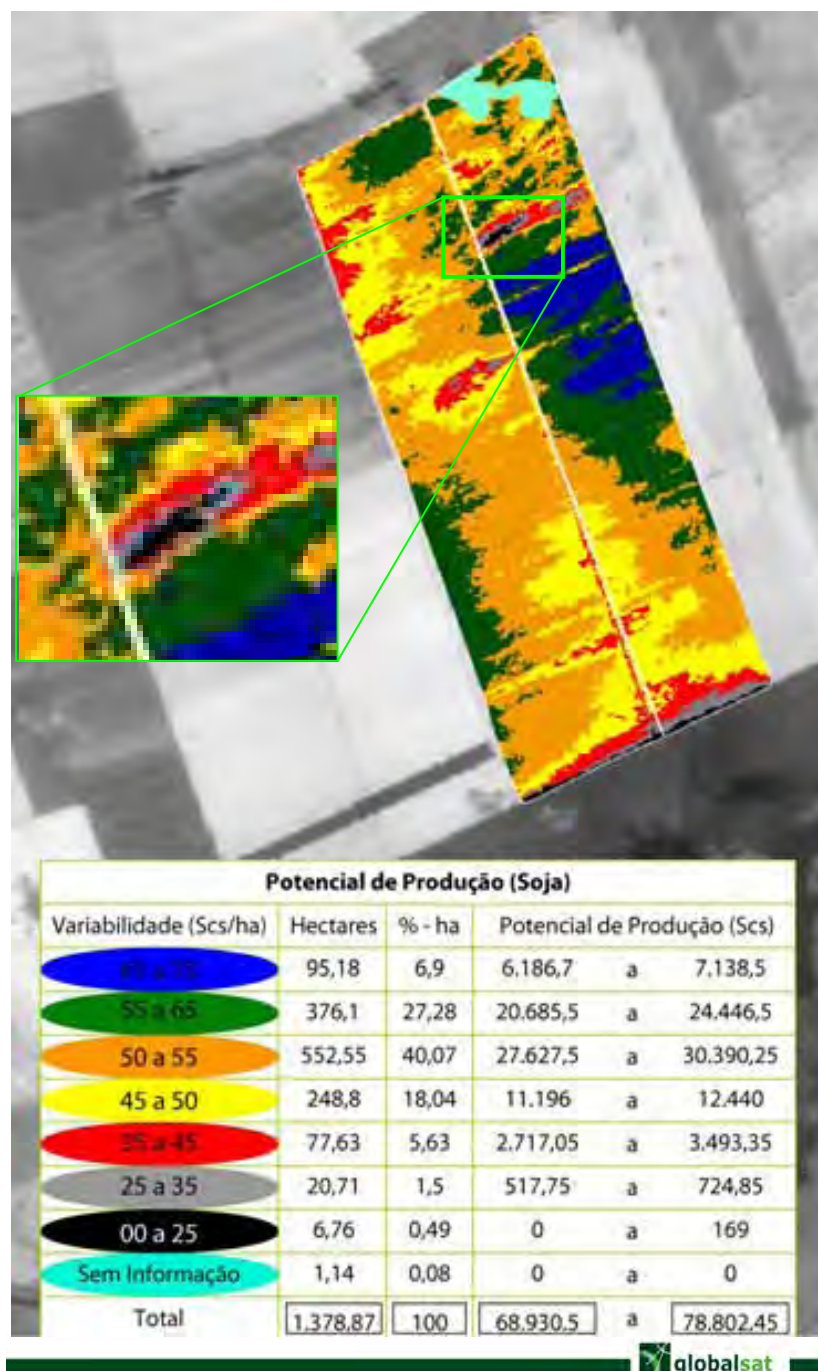


Figura 1. Mapa de variabilidade do potencial de produtividade da cultura de soja na Fazenda Aimi, Município de Rondonópolis-MT, obtido pela Globalsat com o satélite SPOT 4, na safra de 2005/2006 com a cultura em floração. O detalhe indica que as áreas com os mais baixos potenciais de produtividade

Tabela 1. Números de nematóides em 100 cm³ das amostras de solo e em 10 g de raízes na safra de 2007/2008 por classes de potencial de produtividade das lavouras de soja da Fazenda Aimi, no Município de Rondonópolis - MT, delimitadas em mapa de variabilidade do potencial de produtividade na safra de 2006/2007 com imagens do satélite SPOT 4.

Classes de Potencial de Produtividade (scs.ha ⁻¹)	Nematóides (espécimes/100 cm ³ solo e 10 g de raízes)	
	<i>Helicotylenchus dihystera</i>	<i>Pratylenchus brachyurus</i>
I (65-75) - azul	380	380
II (55-65) -verde	360	284
III (50-55) -laranja	1320	912
III (50-55) -laranja	332	492
IV (45-50) -amarelo	572	128
V (35-45) - vermelho	284	744
VI (25-35) - cinza	524	1368
VII (00-25) - preta	-	-
<i>Sem informação</i>	-	-

Na safra 2006/2007 foram plantadas as variedades transgênicas TMG 103 RR e BRS Valiosa RR, no período de 06 a 13-10-2006, e o imageamento foi efetuado nos estádio de R4 e R5, em dezembro de 2006. Na safrinha, toda a área foi cultivada com milho. Na safra de 2007/2008 foram plantadas as mesmas variedades, mais 'Jaciará', no período de 28-10 a 05-11-2007, e a amostragem para a determinação da população de nematóides foi efetuada em dezembro de 2007.



Figura 2. Sintomas em lavoura de soja infestadas por *Pratylenchus brachyurus* no Município de Sorriso-MT. A) Fotografia aérea de reboleiras na lavoura contendo plantas cloróticas que não se desenvolveram. B e C) Aspectos das reboleiras evidenciando que o dossel das plantas infectadas não recobre o solo.

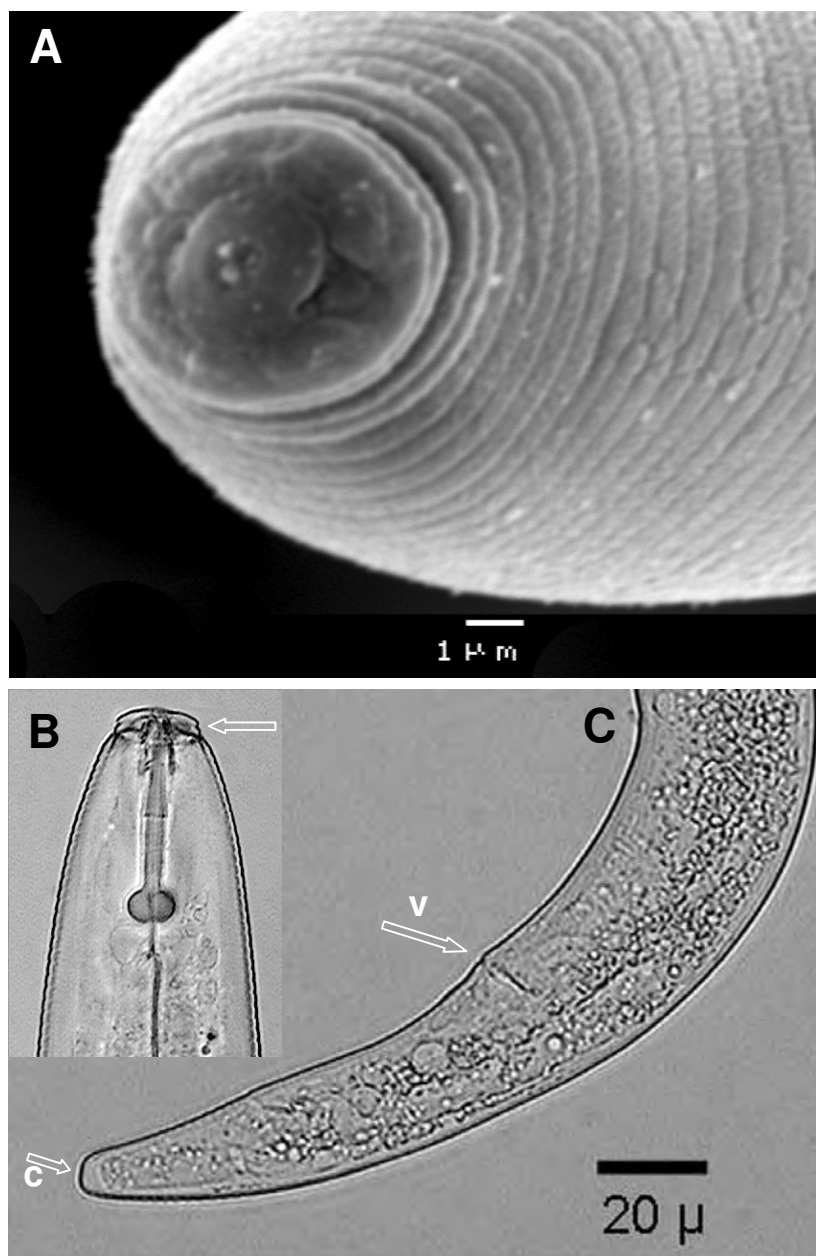


Figura 3. Caracteres morfológicos marcantes de *Pratylenchus brachyurus*. A) Eletromicrografia de varredura da região labial da fêmea, exibindo dois anéis e placa labial indivisa. B) Fotomicrografia da região anterior exibindo os dois anéis na região labial, angulosidade da região labial (seta) e nódulos basais do estilete esféricos. C) Fotomicrografia da região posterior da fêmea exibindo a vulva (seta v) e a cauda aproximadamente hemisférica com término liso (seta c).

considerado a principal causa da variabilidade no potencial de produtividade na fazenda em questão. De fato, a análise de correlação linear simples entre o potencial de produtividade estimado na safra anterior e a estimativa da população atual de *P. brachyurus* revelou uma relação inversa entre essas variáveis ($r = -0,6821$; $t = 2,08$, $p < 0,10$), conforme consta na Figura 4.

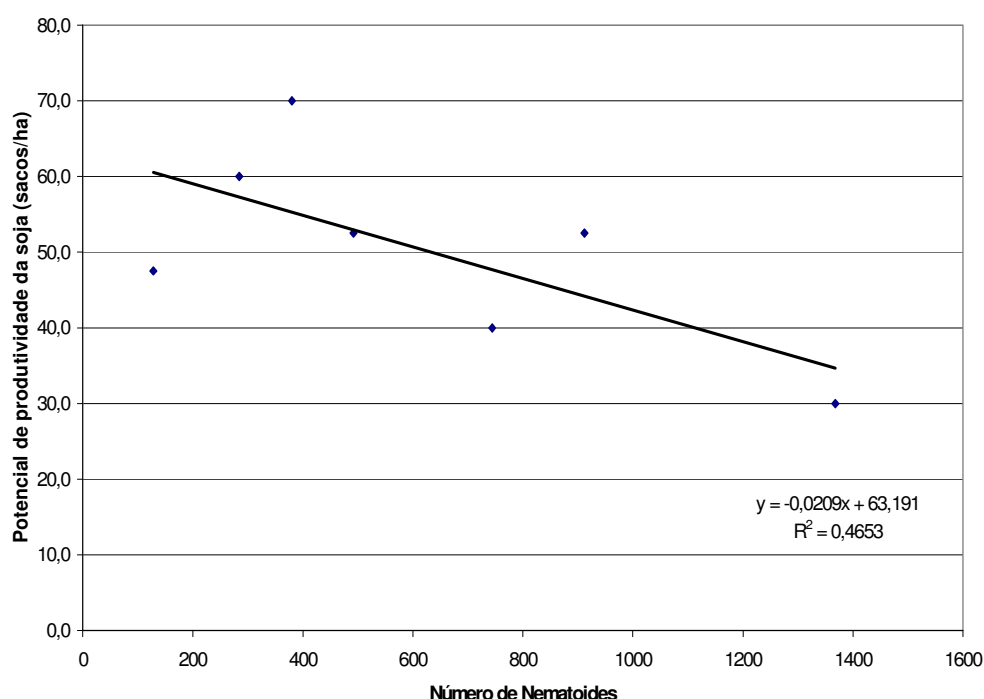


Figura 4. Correlação linear simples entre a média das classes de potencial de produtividade da soja, estimado com imagens do satélite SPOT4 na Fazenda Aimi, no Município de Rondonópolis-MT, na safra de 2006/2007 por ocasião da floração da cultura e a população de *Pratylenchus brachyurus* no solo e nas raízes.

SANTOS JUNIOR et al. (2002) demonstraram que diferentes densidades de população de nematóides em lavoura de soja estão diretamente relacionadas com a resposta espectral das plantas. Os mapas de variabilidade do potencial de

produtividade empregados no presente estudo são elaborados com base na resposta espectral do dossel e são ferramentas úteis para auxiliar as decisões sobre o manejo de nematóides nas fazendas, pois indicam e delimitam as áreas com os mais baixos potenciais de produtividade, onde práticas de manejo deveriam ser adotadas na safrinha, visando-se à redução das perdas na safra subsequente. No caso das fazendas maiores, elas possibilitam, também, que o produtor escolha, de acordo com suas conveniências, que áreas com determinado potencial e abaixo dele deveriam ser priorizadas para a adoção de práticas de manejo. Possibilitam, ainda, o planejamento a médio e longo prazos para a elevação do nível de produtividade da propriedade como um todo, priorizando as áreas com mais baixos potenciais de produtividade para a adoção de práticas de manejo, racionalizando, desse modo, o uso dos recursos, tendo a sustentabilidade do sistema produtivo como alvo.

Um dos principais problemas que dificultam o manejo de nematóides, é o desconhecimento da sua distribuição espacial na lavoura. Esse dado é fundamental na elaboração da estratégia de manejo a ser adotada, notadamente nas grandes fazendas. O método tradicional para detecção dessas pragas consiste em amostragem aleatória, com coleta de solo e análise laboratorial. Esse procedimento não permite a obtenção dos dados de infestação necessários para o manejo sistemático dos nematóides, mesmo porque não informa nem delimita as reboleiras. O problema torna-se dramático em culturas plantadas em áreas extensas, como, em geral, são as fazendas especializadas na produção de soja e algodão, no Estado do Mato Grosso. Nesses casos, por não se conhecerem as áreas da fazenda que estão infestadas, os produtores preferem não adotar nenhuma medida de controle, já que, em função do custo e do ponto de vista operacional, seria inviável fazê-lo em toda a área. Com o sensoriamento remoto, utilizando-se dos mapas de variabilidade do potencial de produtividade, nos talhões, ou em partes deles, cujo potencial de produtividade está abaixo da expectativa, em função do nível da tecnologia de produção adotado, o produtor pode, na safra atual, certificar-se se os nematóides, problemas de fertilidade, combinações desses ou outras causas estão sendo os fatores limitantes à realização do potencial de produtividade do talhão. Certificando-se das causas, a adoção das

medidas corretivas, agora, pode ser implementada, já que as áreas com alguma limitação à realização do potencial de produtividade podem ser conhecidas e dimensionadas. A relação custo/benefício da adoção de medidas corretivas, nesse caso, certamente será favorável. Por conseguinte, essa tecnologia fornece as informações básicas que possibilitam o planejamento para se alcançar a maximização e a sustentabilidade do sistema produtivo.

A ampla faixa de hospedeiros de *P. brachyurus*, o intenso monocultivo sem a adoção de esquemas de rotação de culturas eficazes para a interrupção do ciclo de vida do nematóide e a baixa capacidade intrínseca de dispersão da praga são os principais condicionantes para o aumento dos danos que vêm sendo observados no Centro-Oeste do Brasil. É provável, contudo, que o aumento gradual dos danos causados por nematóides, especialmente no Mato Grosso, esteja sendo influenciado, também, pelo aquecimento global. Com efeito, em regiões mais quentes, a evapotranspiração é mais elevada, demandando maior eficiência das raízes para absorção e transporte de água e nutrientes. Como a ação dos nematóides compromete essa eficiência, os danos podem se acentuar-se.

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo confirmam que os mapas de variabilidade do potencial de produtividade obtidos por satélite são eficazes para identificar e dimensionar as áreas infestadas por *Pratylenchus brachyurus* dentro dos talhões de lavouras de soja no Estado do Mato Grosso.

VI. REFERÊNCIAS

ADAMI, M. **Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnica de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem**. 2003. 183 p. (INPE-10235-TDI/900). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M. Manejo de nematóides In: FREIRE, E. C. **Algodão no Cerrado do Brasil**, Abrapa, Brasília, DF, 2007, cap. 15, p. 551-580.

BARRET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D.J. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. In: Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS'90, 12., 1990, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver. 1989. p. 1.355-1.358.

BATISTELLA, M.; CRISCUOLO, C.; MIRANDA, E. E.; FILARDI, A. L. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 26 jan. 2008.

BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T.; VANDERBITT, V. C. Espectral agronomic relationship of maize, soybean and canopies. In: International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, 1., Avignon, 1981. **Anais...** Avignon: SAM, 1981. p. 8-11.

BERKA, L.M.S.; RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E. Soybean yield estimation by an agrometeorological model in a GIS. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 433-440, 2003.

BERLATO, M. A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. 1987. 94 p. (Não publicado). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1987.

BLACKMER, A. M.; SCHEPERS, J. S. Using DGPS to improve corn production and water quality. **GPS World**, v.2, n.1, p.44-52, 1996.

BRAGA, H.J. **Previsão agrícola: uma nova abordagem**. 1995. 185f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING (CCRS). **Remote sensing tutorial**. 2007. Disponível em: <www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/educate.html>. Acesso em: 14 nov 2007.

CASTRO, C. **Boro estresse hídrico na nutrição e produção de girassol em casa de vegetação**. Piracicaba, 1999. 120f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

Centre National d'Études Spatiales (CNES). **SPOT program**. [online]. <http://spot4.cnes.fr/spot4_gb/index.htm>. Acesso em: 26 jan. 2008.

CHOUDHURY, B. J. Relationship between vegetation indices, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis, **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, v.22, n.2, p. 209-233, 1987.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra 2007/08**. 2008. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2008.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Agricultural Research Center, Belgium 1972. 77p.

COSTA, F. A.; SANTOS, M. L. Agricultura de precisão – uma nova revolução tecnológica no campo. **Economia Rural**, v.2, n.8, p.33-34, 1997.

COSTA, J.A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: ed. Evangraf, 1996. 233 p.

DALL'AGNOL, A. Current status of soybean production and utilization in Brazil. In: World Soybean Research Conference, 7., Foz do Iguaçu - PR, February 29 to March 5, 2004. **Proceedings...** Londrina: EMBRAPA, p. 10-18.

DAUGHTRY, C. S. T.; GALLO, H. P.; BIEL, L. L.; KANEMASU, E. T.; ASRAR, G.; BLAD, B. L.; NORMAN, J. M.; GARDNER, B. R. Spectral estimation of agronomic characteristics of crops. In: SYMPOSIUM OF MACHINE PROCESSING OF REMOTE SENSED DATA. 1., Lafayette, 1984. **Proceedings**. Lafayette: Purdue University, 1984. p. 348-55.

DOEGE, T.A. The evolution of agriculture production. **Journal of Production Agriculture**. v.3., n.1, p.50-55, 1999.

EISENBACK, J. D. Preparation of nematodes for scanning electron microscopy. In: NICKLE, W. R. **Manual of agricultural nematology**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991. p. 87-96.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil**. Sistemas de Produção, n. 1, Londrina: Embrapa soja. 2002. 1. ed. 195 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Programa nacional de pesquisa de soja**. Brasília, 1981. 115 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. <<http://www.cnpt.embrapa.br>>. Acesso em 15 jan. de 2008.

EPIPHANIO, J. C. N.. **Satélites de Sensoriamento Remoto**. In: RUDORFF, B. F. T.; MORAES, E. C.; PONZONI, F. J.; CAMARGO JÚNIOR, H.; CONFORTE, J. C.; MOREIRA, J. C.; EPIPHANIO, J. C. N.; MOREIRA, M. A.; KAMPEL, M.; ALBUQUERQUE, P. C. G.; MARTINI, P. R.; FERREIRA, S. H.; TAVARES JÚNIOR, S. S.; SANTOS, V. M. N.(ed.) Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos: INPE, 2002. 279 p. (INPE-8984-PUD/62). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2005/06.13.16.47>>. Acesso em: 17 dez. 2007.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. F.; NEUMAIER, N.; OYA, T. Ecofisiologia. In: **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 1 CD-ROM.

FERRAZ, L. C. C. B. Gênero *Pratylenchus* – os nematóides das lesões radiculares. In: **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. v. 7, Passo Fundo: Gráfica e Editora PE. Berthier, 1999. p. 157-195.

FERRAZ, L. C. C. B. O nematóide *Pratylenchus brachyurus* e a soja sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 96, 2006.

FERRAZ, L. C. C. B. As meloidogynoses da soja: passado, presente e futuro. In: FERRAZ, L. C. C. B.; ASMUS, G. L.; CARNEIRO, R. G.; MAZAFFERA, P.; SILVA, J. F. V. **Relações parasito-hospedeiro nas meloidogynoses da soja**. Londrina: EMBRAPA Soja/Sociedade Brasileira de Nematologia, 2001. p. 15-38.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Modelo agrometeorológico-espectral para a estimativa do rendimento de soja no Rio Grande do Sul: um estudo preliminar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. 1 CD-ROM.

FORMAGGIO, A. R. **Características agronômicas e espectrais para o sensoriamento remoto de trigo e feijão**. 1989. 161f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Estudos radiométricos das culturas de trigo e de feijão em três tipos de solos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., 1988. **Anais...** Natal: INPE, 1988.

GARCIA, M. F.; ZAPAROLLI, M. J. S. Perspectivas para a soja brasileira no comércio mundial: um ensaio sobre o conflito soja transgênica versus soja convencional a partir da aplicação de um jogo com estratégias mistas. Informe Departamento Econômico, N. 71FAESP-SP: 2004. Disponível em: <<http://www.anpec.org.br/encontro2006/artigos/A06A137.pdf>> Acesso em: 16 dez. de 2007).

GONZAGA, V. **Caracterização morfológica, morfométrica e multiplicação in vitro das seis espécies mais comuns de *Pratylenchus* Filipjev, 1936 que ocorrem no Brasil**. 2006. 78f (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2006.

HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J.; FAN, C. J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.46, n.5, p.651-656, 1980.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D. Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies. **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, v.25, n.1, p.89-105, 1988.

HUMPHRIES, E. C. The dependence of photosynthesis on carbohydrate sinks: current concepts **Proceedings of the International Symposium on Tropical Root Crops**, St. Augustine, Trinidad, v.1, n.2, p.34-45, 1967.

INOMOTO, M. M.; MOTTA, L. C. C.; MACHADO, A. C. Z.; SAZAKI, C. S. S.. Reação de dez coberturas vegetais a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n.2:151-157, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - 2003. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>. Acesso em: 7 nov. 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2007. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>. Acesso em: 04 de jan. de 2007.

IPPOLITI-RAMILO, G.A.; EPIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO, Y.E. Landsat-5 Thematic Mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 24, n. 7, p. 1.521-1.534, 2003.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 48:n., p.692, 1964.

JENSEN, J.R. Remote sensing of vegetation. In. _____. **Remote sensing of the environment, an earth resource perspective**. Upper Saddle River,NJ: Prentice Hall, 2000. 544 p, cap.10. p. 333-377.

KUBO, R.K.; OLIVEIRA, C.M.G.; ANTEDOMÊNICO, S.R.; MONTEIRO, A.R.; FERRAZ, L.C.C.B.; INOMOTO, M.M. Ocorrência de nematóides do gênero *Pratylenchus* em cafezais do Estado de São Paulo. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.28, n.2, p.159-165, 2004.

LOOF, P. A. A. The family Pratylenchidae Thorne, 1949. In: NICKLE, W. R. (ed). **Manual of agricultural nematology**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991. p. 363-421.

LOPES, E. B.; LORDELLO, L. G. E. **Nematóides associados à batatinha (*Solanum tuberosum* L.) na Paraíba**. Sociedade Brasileira de Nematologia, v.4, p. 143-157.1980.

LUIZ, A. J. B. **Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliadas pelo sensoriamento remoto**. 2003. 116f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N.. Amostragem por pontos em imagens de sensoriamento remoto para estimativa de área plantada por município. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001. p.111-118.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2. ed. London: John Wiley & Sons, 1999. 210 p.

MEDEIROS, A. M. P.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, milho e soja. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, 1996. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. 1 CD-ROM.

MELO, R.W.; FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 173 -179.

MENOSSO, O. G. Descrição Botânica. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 1 CD-ROM.

MENTEN, J. O. M.; LORDELLO, L. G. E.; TULMANN NETO, A.; ANDO, A. Nematóides associados ao feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no estado de São Paulo: informações preliminares. Sociedade Brasileira de Nematologia, v.4, p. 205-211. 1980.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: fundamentos e estado atual da arte. In: CAMARA, G. M. **Soja: Tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2000. p. 423-437.

MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image based remote sensing in precision crop management. **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, v.61, n.3, p.319-346, 1997.

MOTTA, J.L.G.; FONTANA, D.C.; WEBER, E. Análise da evolução temporal do NDVI/NOAA em região de soja no Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte. 2003. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 197-204. Disponível na biblioteca digital URLib <//iris.sid.inpe.br:1908/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.13.01> Acesso em: 8 jan. 2007.

NOVO, E.M. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher. 1989. 308p.

PADAWER, J. The Normarski interference-contrast microscope. An experimental basis for image interpretation. **Journal Royal Microscopical Society**, Oxford, v. 88, n.3, p. 305-349, 1967.

PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C.E. The effect of spatial resolution on the ability to monitor the status of agricultural lands. **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, v.61, n. 2, p. 210-220, 1997.

PINO, F.A. Estimação subjetiva de safras agrícolas. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 31, n. 6, 2001.

REVISTA AGROBRASIL, **Soja – Abundante Oferta** 11/12/2007. Disponível em < <http://revistaagrobrasilbr.com.br/site/noticiasintegra.php>. > Acesso em 20 de jan. de 2008.

RIZZI R. ; RUDORFF, B. F. T. ; ADAMI, M., Estimativa de área plantada com soja no Rio Grande do Sul através de amostragem por segmentos quadrados. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. Goiânia, **Anais...** Goiânia Brasil, INPE, p. 245-252, 2005.

ROBERT, P. C. Preface. In: SITE-SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 1995, Minneapolis, **Proceedings...** Madison, ASA-CSSA-SSSA, 1995. P. 13-14.

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G.T. Wheat yield estimation at the farm level using TM Landsat and agrometeorological data. **International Journal of Remote Sensing**, Dundee, v. 12, n. 12, p. 2477-2484, 1991.

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G.T. Yield estimation of sugarcane based on Agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, v. 33, n. 3, p. 183-192, Sept. 1990.

SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informação geográfica**: aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília. Embrapa-CPAC, 1998, Cap. 10, p. 179-190.

SANTOS JUNIOR, R. F.; SANTOS, J. M.; RUDORFF, B. F. T.; MARCHIORATO, I.A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria na visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.27, n.4, p. 355-360, 2002.

SANTOS, J. M.; MAIA, A. S. ASEM improved technique for studying host-pathogen interactions of sedentary nematodes and for documentation of perineal patterns of *Meloidogyne* spp.. **Acta Microscópica**, Rio de Janeiro, v.6, Suplemento, p.562-563.

SCHLESINGER, S. A soja no Brasil. Biodiesel: indústria pede isenção tributária na fase inicial. Estado de São Paulo, 08/07/05. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/plantas/soja/soja.htm>> Acesso: 20 jan. de 2008.

SCHULER, R. T.; LANGTON, S. J.; WOLKOWSKI, R. P. Remote sensing research in Wisconsin soybean and corn production fields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 4., Minnesota, 1998. **Proceedings...** Minnesota: ASA; CSSA; SSSA, p.1435-1445, 1998.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDYIAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. **Cultura da soja**: I Parte. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa - Minas Gerais, 1996. 96p.

SILVA, R. A.; PEREIRA, L. C. Efeitos de densidades populacionais de *Pratylenchus brachyurus* na produtividade de duas cultivares de soja em condições de campo. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.27, p. 268, 2003.

SILVA, R.A.; SERRANO, M.A.S.; GOMES, A.C.; BORGES, D.C.; SOUZA, A.A.; ASMUS, G.L.; INOMOTO, M.M. Ocorrência de *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne incognita* na cultura do algodoeiro no Estado do Mato Grosso. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.20, n.3, p.337, 2004.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal:FUNEP, 1993. 372p.

TUCKER, C. J. Red and photographic linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, St. Paul, v.8, n.2, p.127-150, 1979.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM) . **A cultura da soja**. Santa Maria: Faculdade de Agronomia, 1996. 35p.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, n. 44, p. 41-76, 1947.