

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA  
DE NEMATOIDES EM SERINGUEIRA**

**JOSÉ CARLOS PEZZONI FILHO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em Ciência  
Florestal.

BOTUCATU-SP  
DEZEMBRO – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA  
DE NEMATÓIDES EM SERINGUEIRA**

**JOSÉ CARLOS PEZZONI FILHO**  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Furtado

Co-Orientadora: Profa. Dra. Célia Regina

Lopes Zimback

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em Ciência  
Florestal.

BOTUCATU-SP  
DEZEMBRO – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO  
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA  
- LAGEADO- BOTUCATU (SP)

P522d      Pezzoni Filho, José Carlos, 1984-,  
Dinâmica espaço-temporal da ocorrência de nematoides em  
seringueira / José Carlos Pezzoni Filho. - Botucatu :  
[s.n.], 2014  
viii, 125 f. : ils. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-  
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014  
Orientador: Edson Luiz Furtado  
Coorientador: Célia Regina Lopes Zimback  
Inclui bibliografia

1. Seringueira. 2. Meloidogyne. 3. Sensoriamento remoto  
4. Geoestatística. I. Furtado, Edson Luiz. II. Zimback,  
Célia Regina Lopes. III. Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade  
de Ciências Agrônômicas de Botucatu. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DE NEMATÓIDES EM SERINGUEIRA"

ALUNO: JOSÉ CARLOS PEZZONI FILHO

ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON LUIZ FURTADO

COORIENTADORA: PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

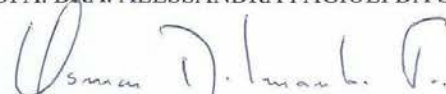
Aprovado pela Comissão Examinadora

  
PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

  
PROFA. DRA. SILVIA RENATA SICILIANO WILCKEN

  
PROF. DR. LUIS GUSTAVO FREDIANI LESSA

  
PROFA. DRA. ALESSANDRA FAGIOLI DA SILVA

  
PROF. DR. OSMAR DELMANTO JUNIOR

Data da Realização: 18 de dezembro de 2014.

***DEDICO***

Aos meus pais, José Carlos e Maria.

Minha gratidão!

***OFEREÇO***

À minha tia Elenice Martins Vieira dos  
Santos, Carsten B. Andersen e a Madrinha Lucy Martins Vieira.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP) pela oportunidade de realização do Doutorado.

Ao professor orientador Edson Luiz Furtado e a professora co-orientadora Célia Regina Lopes Zimback pela oportunidade de realização do Doutorado, orientação, confiança, amizade e ensinamentos durante este período.

Aos meus pais, irmãos e parentes mais próximos, pelo apoio durante a realização do Doutorado, em especial ao meu pai pela ajuda nas coletas de amostras na área experimental e minha mãe pelo apoio nas preparações antes das viagens para o experimento.

À professora Silvia Renata Wilcken pela disponibilização do Laboratório de Análises Nematológicas, a Fátima Almeida Silva, técnica responsável pelo referido laboratório, pela ajuda, consideração, amizade e troca de informações durante o processo de análises das amostras coletadas em campo e a Andressa pela ajuda, amizade, consideração e apoio durante as análises nematológicas.

Aos amigos Diego, Donizete Smeagol, Fábio Vudu, Juliano Gaúcho, Roberto nas ajudas das análises de sensoriamento remoto e geoestatística, além da amizade e consideração durante o período de Doutorado. Ao Lessa, Paula, Aninha, Alessandra, Jorgiana, Fran, Claudiane, Victor, GEPAG em geral, Juan Fernan e demais amigos que não foram citados, mas que contribuíram de alguma forma para a realização desta Tese. À Lidiane pela convivência, amizade e consideração durante esta etapa.

Aos companheiros de república Jader, Fernando, Fábio, Charles, Tiago e Murilo, e agregados, pelo companheirismo durante a etapa final do doutorado, e à Cris, mãe postiça da república.

À Heveatec, pelo apoio durante as coletas, à Regina, Anizio e Luis Antonio que me apoiaram no desenvolvimento do projeto em campo e pela amizade.

À CAPES pela bolsa de estudo disponibilizada no doutorado.

## SUMÁRIO

|                                                                     | Página     |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                        | <b>VI</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                        | <b>VII</b> |
| <b>1 RESUMO .....</b>                                               | <b>1</b>   |
| <b>2 SUMMARY.....</b>                                               | <b>3</b>   |
| <b>3 INTRODUÇÃO .....</b>                                           | <b>5</b>   |
| <b>4 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                                | <b>7</b>   |
| 4.1 Cultura da seringueira.....                                     | 7          |
| 4.2 Problemas com doenças.....                                      | 13         |
| 4.2.1 Nematoides fitoparasitas.....                                 | 13         |
| 4.3 Geoestatística.....                                             | 20         |
| 4.4 Geoprocessamento de imagens.....                                | 25         |
| 4.4.1 Pré-processamento.....                                        | 27         |
| 4.4.2 Índice de vegetação NDVI .....                                | 29         |
| <b>5 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                    | <b>32</b>  |
| 5.1 Caracterização da área experimental .....                       | 32         |
| 5.2 Material.....                                                   | 34         |
| 5.2.1 Descrição dos principais clones da área de estudo .....       | 36         |
| 5.2.2 Imagens de satélite.....                                      | 39         |
| 5.2.3 Programas computacionais utilizados .....                     | 40         |
| 5.3 Métodos .....                                                   | 41         |
| 5.3.1 Análise nematológica .....                                    | 41         |
| 5.3.2 Fotos das raízes e do nematoide <i>M. exigua</i> .....        | 42         |
| 5.3.3 Análise geoestatística .....                                  | 43         |
| 5.3.4 Geoprocessamento.....                                         | 43         |
| 5.3.4.1 Pré-processamento.....                                      | 44         |
| 5.3.4.2 Análise de Índice de Vegetação NDVI.....                    | 45         |
| <b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                               | <b>46</b>  |
| 6.1 Infestações nos Clones .....                                    | 46         |
| 6.2 Análise Variográfica.....                                       | 53         |
| 6.3 Distribuição Espacial da Infestação.....                        | 57         |
| 6.4 Classificação NDVI no seringal .....                            | 69         |
| 6.5 Valores de NDVI dos anos avaliados e dados correlacionados..... | 100        |
| 6.6 Considerações Finais .....                                      | 105        |
| <b>7 CONCLUSÕES .....</b>                                           | <b>106</b> |
| <b>8 REFERÊNCIAS .....</b>                                          | <b>107</b> |

**LISTA DE TABELAS**

|                                                                                                                                     | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Tabela 1.</b> Características de relevo e climáticas da região da área de estudo.....                                            | 34            |
| <b>Tabela 2.</b> Balanço hídrico da região da área de estudo.....                                                                   | 34            |
| <b>Tabela 3.</b> Número de amostras, médias de nematoides nas raízes e no solo e variação populacional nos 22 clones avaliados..... | 50            |
| <b>Tabela 4.</b> Modelo e parâmetros dos variogramas para a infestação de nematoides em seringueira .....                           | 53            |
| <b>Tabela 5.</b> Índices de Vegetação NDVI com seus respectivos vigores vegetativos. ....                                           | 71            |
| <b>Tabela 6.</b> Dados correlacionados com NDVI nos diferentes anos avaliados em abril. ....                                        | 101           |
| <b>Tabela 7.</b> Dados correlacionados com NDVI nos diferentes anos avaliados em agosto, setembro e outubro. ....                   | 103           |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Página</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Figura 1.</b> Diagrama do ciclo do nematoide do gênero <i>Meloidogyne</i> (WILLIAMSON e GLEASON, 2003). ....                                                                                                                         | 16            |
| <b>Figura 2.</b> Variograma experimental e seus parâmetros (adaptado de CAMARGO, 2001). ....                                                                                                                                            | 21            |
| <b>Figura 3.</b> Valores da razão entre as bandas do Infravermelho e Vermelho (NDVI). ....                                                                                                                                              | 30            |
| <b>Figura 4.</b> Mapas da localização da área experimental, retirados do Google Earth, imagem panorâmica (A) e área experimental com visada mais próxima, sendo que a área de contorno em branco foi desconsiderada do estudo (B). .... | 33            |
| <b>Figura 5.</b> Composição RGB da data de 21-11-2004. ....                                                                                                                                                                             | 35            |
| <b>Figura 6.</b> (A) – representa os pontos coletados no mês de maio de 2013; (B) – representa os pontos coletados em novembro de 2013. ....                                                                                            | 36            |
| <b>Figura 7.</b> Mapa com delimitação dos 5 clones de maiores áreas. ....                                                                                                                                                               | 37            |
| <b>Figura 8.</b> Raízes com presença do <i>M. exigua</i> (A) e estágio de juvenil J2 (B). ....                                                                                                                                          | 42            |
| <b>Figura 9.</b> Parte do nematoide com seu estilete (C) e da fêmea com ovos de outras fêmeas que foram esmagadas na lâmina (D). ....                                                                                                   | 43            |
| <b>Figura 10.</b> Médias de populações de nematoides em 10 g de raízes, nos 22 clones avaliados na segunda quinzena de maio de 2013. ....                                                                                               | 47            |
| <b>Figura 11.</b> Médias de populações de nematoides em 250 ml de solo, nos 22 clones avaliados na segunda quinzena de maio de 2013. ....                                                                                               | 47            |
| <b>Figura 12.</b> Médias de populações de nematoides em 10 g de raízes, nos 22 clones avaliados na primeira quinzena de novembro de 2013. ....                                                                                          | 48            |
| <b>Figura 13.</b> Médias de populações de nematoides em 250 g de solo, nos 22 clones avaliados na primeira quinzena de novembro de 2013. ....                                                                                           | 49            |
| <b>Figura 14.</b> Variograma da infestação nas raízes na área total dos meses de maio (A) e de novembro de 2013 (B). ....                                                                                                               | 55            |
| <b>Figura 15.</b> Variograma da infestação no solo na área total dos meses de maio (A) e novembro de 2013 (B). ....                                                                                                                     | 56            |
| <b>Figura 16.</b> Mapas da distribuição espacial das infestações de nematoides na área total. ....                                                                                                                                      | 58            |
| <b>Figura 17.</b> Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone GT 1 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013. ....                                                                             | 60            |

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 18.</b> Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone PB 217 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013.....       | 62 |
| <b>Figura 19.</b> Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone PB 235 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013.....       | 64 |
| <b>Figura 20.</b> Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone PR 255 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013.....       | 66 |
| <b>Figura 21.</b> Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone RRIM 600 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013. ....    | 68 |
| <b>Figura 22.</b> Imagens com os Índices de vegetação NDVI nos 5 clones de maiores áreas e da localização destes em cada talhão, em relação ao plantio total. .... | 71 |
| <b>Figura 23.</b> Foto do clone PB 235 desfolhado no dia 18 de julho de 2012. ....                                                                                 | 72 |
| <b>Figura 24.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone GT 1.....                                 | 73 |
| <b>Figura 25.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período de reenfolhamento do clone GT 1 .....                          | 76 |
| <b>Figura 26.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone PB 217. ....                              | 78 |
| <b>Figura 27.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período de reenfolhamento do clone PB 217 .....                        | 81 |
| <b>Figura 28.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone PB 235. ....                              | 84 |
| <b>Figura 29.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período de reenfolhamento do clone PB 235. ....                        | 87 |
| <b>Figura 30.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone PR 255. ....                              | 89 |
| <b>Figura 31.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período de reenfolhamento do clone PR 255. ....                        | 91 |
| <b>Figura 32.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone RRIM 600.....                             | 95 |
| <b>Figura 33.</b> Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone RRIM 600.....                             | 98 |

## 1 RESUMO

Nos últimos anos, a cultura da seringueira tem-se expandido para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e, com isto, vários problemas fitossanitários tem ocorrido, dentre estes está o fitoparasitismo pelo nematoide *Meloidogyne exigua*. Sua incidência na planta ocasiona danos que reduzem a produção de látex e, ocasionalmente, causa a morte de plantas que, consequentemente, reduz a rentabilidade do plantio. O objetivo do trabalho foi estudar a evolução do parasitismo ao longo do tempo e no espaço, estudando a população de nematoides em diferentes clones e épocas e analisando imagens de satélite. A área de estudo localiza-se no município de Itiquira, Estado de Mato Grosso, Brasil, com área total de 6.646 ha plantados com 22 clones de seringueira. Por meio da análise visual de imagem de satélite, falhas (desfolha e seca de ponteiros) no dossel foram definidos pontos georreferenciados para amostragens em campo, sendo baseados na composição RGB da imagem do satélite Landsat 5, na data de 21-11-2004. Na área experimental o nematoide *M. exigua* apresenta infestação natural e para a coleta das amostras de raízes da planta e solo, foram selecionados 265 pontos em maio de 2013, período de desfolha, e 227 em novembro de 2013, após o reenfolhamento do seringal com suas respectivas coordenadas geográficas. Estas foram nos mesmos pontos, onde se verificou a variação populacional neste período. A análise nematológica foi realizada nas amostras de raízes e solo referentes aos pontos amostrados para o período citado, sendo constatada variação populacional com maior infestação em maio do que em novembro, em ambas as análises de raízes e de solo.

Estes dados foram utilizados para interpolação (krigagem) das populações para confecção do mapa de distribuição espacial de *M. exigua* nos 5 clones com maiores áreas, clones GT 1, PB 217, PB 235, PR 255 e RRIM 600, nos dois períodos avaliados, o qual pode ser utilizado para medidas de manejo do nematoide no plantio. Nos locais amostrados para infestação pontual foi identificado o NDVI de cada pixel, porém não houve correlação da infestação com o valor de índice de vegetação. Os clones com maiores infestações foram: o PR 107 em maio e PB 314 em novembro e as menores infestações no clone IRCA 41 em maio e PB 260 em novembro. Na área dos 5 clones citados foi realizada a análise do índice de vegetação pelo método de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), divididas em 7 escalas, sendo que no mês de abril as avaliações foram na escala 5 (NDVI = 0,71 a 0,80); e agosto/ setembro e outubro, com valores na escala 6 (NDVI = 0,81 a 0,90).

---

**Palavras chave:** NDVI, índice de vegetação, amostras e krigagem.

## 2 SUMMARY

### **SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OCCURRENCE OF NEMATODE IN RUBBER**

Botucatu, 2014, 125 f. Thesis (Doctor Science in Forest Science) – Agronomical Science College, Universidade Estadual Paulista

Author: JOSÉ CARLOS PEZZONI FILHO

Advisor: EDSON LUIZ FURTADO

Co-advisor: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

In the last years, the rubber tree culture have expanded for Center-west and Southeast regions of Brazil, and with that, many phytosanitary problems have occurred, among them, there is the phytoparasitism of *Meloidogyne exigua* nematode. Its incidence in plants causes damages, which reduce the latex production and, occasionally, causes plants' death, which, consequently, damages the rubber tree development and crop profitability. The aim was to study the evolution of parasitism over time and space, studying the current population of nematodes in different clones and periods and analyzing satellite images. The study area is located in Itiquira municipality, Mato Grosso State, Brazil, in a total area of 6.646-planted ha with 22 rubber tree clones. Through visual analysis of satellite imagery, failures (defoliation and drought pointers) in canopy have been defined georeferencing points for sampling in field, based in RGB composition of Landsat 5 satellite's image of November 11, 2004. In the experimental area the nematode infestation

natural and then for soil and plants roots sampling collecting, it have been selected 265 points in May and 227 in November with its respective geographic coordinates. The sampling collecting have done in defoliation periods and after the rubber tree refoliation, in May and November 2013, respectively. These were in the same points, where it has verified the population variation in this period, occurring more infestation in May than November, both roots and soil analysis. The nematological analysis has done in roots and soil samples. These data have been used for interpolation (kriging) of populations for *M. exigua* spatial distribution mapping in 5 clones in major area, as GT 1, PB 217, PB 235, PR 255 and RRIM 600 clones, in two evaluated periods, which can be used nematode management actions in crop. In sampling sites for point infestation was identified the NDVI of each pixel, therefore it had no correlation between infestation and the value of vegetation index. The clones with major infestation were: the PR 107 in may and PB 314 in November and the minor infestation in IRCA 41 clone in may and PB 260 clone in November. In the five clones area, it has been done a vegetation index by the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), scaled in seven parts, in April the evaluations were 5 (NDVI= 0,71 to 0,80); and in August/September and November, the values were 6 (NDVI= 0,81 to 0,90).

---

**Keywords:** NDVI, vegetation index, sampling and kriging

### 3 INTRODUÇÃO

A seringueira, quando em seu local de origem, encontra-se em equilíbrio com os macro e microorganismos que a cercam, assim como com várias outras espécies de organismos patogênicos, além de contar com diversos organismos benéficos que fazem o controle biológico de forma natural.

Com a implantação dos plantios para fins comerciais ocorre a eliminação do equilíbrio natural do ecossistema, desta forma, microorganismos patogênicos tem sua população aumentada. Este aumento é devido principalmente ao adensamento do hospedeiro, homogeneização genética e redução dos inimigos naturais, sendo que o dano de seu parasitismo prejudica o desenvolvimento das plantas e reduz a produção de látex.

O nematoide *M. exigua* ocasiona uma série de prejuízos na cultura da seringueira, como, a redução no crescimento, a deficiência nutricional, a redução da produção de látex, além da susceptibilidade da planta ao ataque de fungos oportunistas, dentre eles, o *Lasiodiplodia theobromae*, que associados podem ocasionar a morte das plantas. O prejuízo na produção de látex decorre do fitoparasitismo pelo nematoide nas raízes da seringueira, ocasionado pela infestação no seu sistema radicular com consequente formação de galhas, sendo esta reação da planta devido a nutrição e reprodução das fêmeas adultas, ou seja, o parasitismo pelo nematoide.

A quantificação temporal e espacial da população de nematoides é de fundamental importância para adoção de medidas de manejo. Os métodos de avaliação podem variar desde a efetuada por terra, com coleta de amostras e análises laboratoriais e métodos indiretos, que precisam apresentar boa correlação entre os métodos diretos com a população levantada. Dentre estes, têm-se os métodos remotos, por fotografias aéreas ou imagens de satélite, que identificam plantas estressadas por meio de índices de vegetação, como o método de Índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Os plantios em monocultivos em grandes áreas necessitam de agilidade no monitoramento da incidência de patógenos, pois a sua rápida identificação é de fundamental importância para seu manejo e aumento da produtividade. Desta forma, a utilização de imagens de satélite tem grande importância neste contexto, pois proporcionam rápido monitoramento de extensas áreas.

Tendo como hipótese geral que a infestação pelo *M. exigua* causa estresse (desfolha) na cultura da seringueira e que parâmetros culturais podem ser detectados remotamente, foram elaboradas análises nematológicas e estabelecimento de parâmetros espectrais da cultura por meio de índices de vegetação (NDVI).

Os objetivos específicos foram:

- analisar as populações de nematoides (nas raízes e no solo) nos meses antes da desfolha e após reenfolhamento, respectivamente e identificar os clones que apresentarem maiores infestações pelo nematoide;
- realizar a distribuição espacial de infestação pelos nematoides nos 5 clones de maiores áreas de plantio por meio da interpolação por Krigagem;
- verificar a ocorrência do nível de infestação pelo nematoide com relação a escala de NDVI;
- estimar a área que sofreu o possível estresse pelo fitoparasitismo do nematoide, para os anos de estudo, entre 2001 e 2008;
- discriminar nas imagens da cultura de seringueira, locais com possível estresse pelo fitoparasitismo do nematoide, em duas épocas do ano, uma antes da desfolha das plantas (abril) nos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008 e outra após o reenfolhamento (agosto a outubro) nos anos de 2001, 2004, 2005 e 2008;
- determinar o NDVI nas duas épocas avaliadas, entre os anos de 2001 e 2008, e nos pontos de coleta do mês de novembro de 2013.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Cultura da seringueira

A região Amazônica é o centro de origem da seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell.-Arg.) entre as latitudes de 3°N e 15°S, sendo que seu cultivo comercial ocorre da latitude 22°N, na Ásia, até 25°S, no Brasil, demonstrando a adaptabilidade que a cultura apresenta a diferentes condições climáticas (CAMARGO, 1976; PILAU et al., 2007). Sua ocorrência e dispersão natural ocorre na Amazônia Brasileira e nos países próximos, como Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela, Equador, Suriname e Guiana (WYCHERLEY, 1977).

A seringueira foi descoberta pelos franceses no Vale Amazônico no século XVI, pertencendo a família Euphorbiaceae, sendo que as propriedades elásticas do látex chamou a atenção dos Europeus (HAAG, 1983). É a sexta maior família das angiospermas, que inclui cerca de 7.000 espécies e aproximadamente 300 gêneros (JUDD et al., 1999).

No final do século XIX e início do século XX os seringais nativos foram responsáveis pelo período áureo da borracha (1880 a 1915), com produção recorde no ano de 1911, com 45.000 toneladas (APABOR, 2006).

Das onze espécies de seringueiras conhecidas, dez espécies ocorrem no Brasil. A classificação botânica é uma dicotiledônea monóica, sendo que todas

as espécies de sua família são lenhosas e arbóreas. Possui flores unissexuais e suas folhas são longamente pecioladas e compostas trifolioladas. Apresenta período de senescência e queda das folhas, normalmente no início da estação seca, sendo característica das plantas adultas deste gênero. O conhecimento do hábito fenológico, como a maneira e o período de reenfolhamento dos seringais, é a fase mais importante para a fitopatologia, pois é nesse período que a seringueira apresenta folíolos com coloração antociânica intensa (GASPAROTTO et al., 1997).

A planta apresenta folíolos membranáceos e glabros, é uma árvore de hábito ereto (RIBON et al. 2003). Pode atingir 30 m de altura total sob condições favoráveis, iniciando a produção de sementes aos 4 anos e, quando propagada por enxertia, a produção de látex aos 6-7 anos. A casca é o principal componente do tronco da *Hevea brasiliensis*, responsável pela produção de látex, transporte e armazenamento de assimilados produzidos na folha, segundo IAPAR (2004).

Na produção de mudas utiliza-se um local destinado à sementeira, que deve estar o mais próximo possível do local onde vai ser instalado o viveiro. A área escolhida é dividida em canteiros de 1,20 m de largura por 8 a 10 m de comprimento e espaçados entre si de 0,60 m. O substrato usado deve ser solto, arejado e com boa capacidade para retenção de umidade, a fim de fornecer todas as condições extrínsecas necessárias à germinação das sementes. Como exemplo de bons substratos, podemos utilizar serragem curtida ou areia. A germinação inicia-se em cerca de 10 dias após a semeadura. Quando as plântulas encontram-se no estágio de "palito" estas são cuidadosamente coletadas e levadas para plantio no viveiro, procedimento chamado de repicagem. Plântulas ou porta-enxertos com defeitos, como aquelas que perderam a semente, com duas ou mais raízes pivotantes ou com raízes pivotantes malformadas, dois caules ou qualquer outro defeito, devem ser descartadas (IAC, 2014).

IAC (2014) citou que viveiro de seringueira é a área onde as sementes recém-germinadas são repicadas para desenvolver até atingirem idade ideal para enxertia ou plantio em campo. Para escolha do local do viveiro, três fatores são essenciais: tipo de solo, suprimento de água e topografia. Deve-se dar preferência para áreas com solo profundo, bem estruturado, de textura média, com disponibilidade para constante suprimento de água (evitando-se contudo, áreas sujeitas a inundações ou com lençol freático superficial, ventos frios e geadas) e topografia plana. As mudas podem ser de

raízes nulas, toco parafinado e mudas ensacoladas e em função dos sistemas de formação de mudas adotados, pode-se ter basicamente três tipos de viveiros:

a. Viveiro de mudas com plantio direto no campo

A área tem que ter fácil acesso, de preferência topografia plana, com solo bem drenado, e livre de inundação e ventos frios para instalação do viveiro. O solo deve ser arado o mais profundamente possível e gradeado para ficar bem destorroado, de modo a facilitar um vigoroso desenvolvimento do sistema radicular. Deve ser instalado no espaçamento de 0,60 m x 0,15 m em filas sêxtuplas espaçadas de 1,20 m entre si, entre outros.

b. Viveiro de mudas ensacoladas

As mudas ou porta-enxertos ensacolados desenvolvem-se em sacos plásticos, e no enchimento dos sacos deve-se dar preferência a terra de barranco, pois, normalmente, não contém ervas daninhas, restos de culturas e raízes que poderiam garantir a sobrevivência de patógenos. Após o enchimento dos sacos plásticos, são encanteirados, enterrando-se até quase a borda. O melhor espaçamento deve ser 0,80 a 1,00 m entre fileiras, sendo cada fileira composta por duas linhas de sacos plásticos.

c. Viveiro misto

Os porta-enxertos permanecem no campo até serem enxertados e, posteriormente serem transplantados para sacos plásticos. Quando se tem por objetivo a produção de tocos enxertados de raízes nuas para plantio prévio em sacos plásticos e não para plantio direto no campo. O procedimento normal é semelhante ao viveiro de campo até a idade de enxertia. Em seguida, transplanta-se os tocos enxertados para os sacos plásticos.

O processo de produção de mudas da seringueira está baseado na Instrução Normativa nº 29/2009 (IN 29), onde estabelece no artigo 32 que as mudas devem estar livres de nematoides *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp. (BRASIL, 2009). Porém,

essa forma de cultivo prevista em lei dificulta o controle dessas pragas, devido ao fato de as mudas (porta-enxertos) desenvolverem-se diretamente no solo, sem nenhum controle fitossanitário, com ciclo de produção de 12 a 24 meses (PEREIRA et al., 1987).

A partir dessa problemática, a Coordenadoria de Defesa Agropecuária (CDA) do Estado de São Paulo, por meio da Resolução SAA – 154 de 22 de novembro de 2013 (SÃO PAULO, 2013), ratifica a IN 29 estabelecendo que a produção de mudas de seringueira deve ser feita com todos os seus materiais de propagação cadastrados e em viveiros suspensos até 2015. O uso de substrato inerte e controle ambiental na propagação e cultivo em viveiro pode otimizar a resposta das plantas de seringueira à fatores edáficos e microclimáticos que influenciam seu crescimento e desenvolvimento, propiciando a quebra de sazonalidade, controle fitossanitário, proteção contra vento, chuvas e granizo, além de diminuir danos mecânicos e demanda hídrica (HARTMANN et al., 2002).

A planta tem origem em região de clima tropical e úmido, com temperatura média de 25°C e pluviosidade média de 2.000 mm. O regime pluviométrico durante o ciclo de produção varia entre 1.300 a 3.000 mm, com frequência uniforme de chuvas durante todo o ano. Locais com temperaturas médias anuais abaixo de 20°C e umidade excessiva devem ser evitados para plantio, pois proporcionam condições ideais à incidência de doenças limitantes de produção de látex ou borracha natural (MARQUES, 2000).

A cultura se desenvolve bem em solo de textura leve, profundos, bem drenados e ligeiramente ácidos (pH 4,5-5,5) e em altitudes de até 600 m (IAPAR 2004). Carmo et al. (2003) citaram que as condições físicas hídricas são de extrema importância para as plantas, sendo pouco exigente em fertilidade de solo, no entanto, considerando que a planta retira do solo uma grande quantidade de água para a produção de látex que chega a conter 68% de água.

O espaçamento de plantio pode ser distribuído em 7 m x 3 m, 8 m x 2,5 m ou 8 m x 3 m, sendo 500 árvores por hectare, dentre outros. A época de plantio mais favorável é no início da estação das águas. Em plantios em renque ou em linhas múltiplas, são formados conjuntos de linhas de plantio próximas entre si (espaçamento 4 m x 3 m.) intercaladas por espaços maiores (12 m, por exemplo) onde as árvores são dispostas de modo divergente das linhas. Estas disposições de plantio são usadas quando se deseja intercalar a seringueira com outras culturas perenes. O plantio em linhas múltiplas associa

a vantagem de plantio adensado (alta produção por área) com a vantagem de plantio mais espaçado, resultando em bom crescimento e boa regeneração da casca. Esse sistema apresenta também a vantagem de diminuir a susceptibilidade aos danos causados pelo vento (IAC, 2013).

As plantas tem vida útil econômica que pode variar de 20 a 40 anos, sendo que o principal fator determinante é a intensidade de extração de látex (GARCIA; LIMA, 2000). Sua exploração econômica é baseada na sangria (incisão feita no caule da árvore) para a extração do látex, onde os vasos laticíferos da casca são atingidos e liberam a borracha natural. Os vasos laticíferos apresentam-se dispostos em anéis regulares, quase paralelos ao câmbio, em círculos concêntricos em relação ao eixo do tronco. Para maior escoamento de látex é necessário o aprofundamento do corte até 1,0 mm a 1,5 mm do câmbio, atingindo os vasos com o látex (RAJAGOPAL et al., 2004). A sangria da seringueira é recomendada quando pelo menos 40% da população de árvores atingem 0,45 m de perímetro do tronco a 1,5 m do solo e espessura de casca acima de 5,0 mm (PEREIRA, 1992).

A propagação preferencial é por enxertia, com clones vigorosos. Para o plantio, o material consiste de tocos enxertados e parafinados, para indução de raízes, sendo posteriormente transplantados em sacos plásticos. Ao apresentarem 1 a 2 verticilos foliares maduros, as mudas são levadas ao campo (IAPAR, 2004).

O clone constitui-se de um grupo de plantas obtidas através da propagação vegetativa de uma planta matriz e, todas as árvores tem mesma constituição genética responsável pela uniformidade existente entre elas. Podem ocorrer variações das plantas dentro de um plantio clonal devido ao uso de porta-enxertos oriundo de sementes comuns, que apresentam grande variabilidade genética (GONÇALVES, 1998).

Os clones são classificados em primários, secundários e terciários, onde os clones primários são oriundos de parentes desconhecidos obtidos a partir da multiplicação vegetativa de árvores matrizes com caracteres desejáveis. Clones secundários são aqueles cujas árvores matrizes são obtidas através de cruzamentos controlados entre dois clones primários. Já os clones terciários são obtidos de cruzamentos em que pelo menos um dos parentes é secundário (GONÇALVES et al. 2001).

A borracha natural é uma commodity mundialmente valorizada, sendo que é a principal finalidade comercial da seringueira, devido a sua múltipla utilidade na indústria de produtos hospitalar/farmacêutico, brinquedos, calçados, construção civil,

maquinário agrícola e industrial, e autopeças (PEREIRA et al., 2000; COELHO JUNIOR et al., 2009). Estimativas para os primeiros anos desse milênio demonstram que a demanda mundial da borracha será bem maior do que a oferta, demonstrando que a cultura tem importância econômica, tornando-se crítica no ano 2020 (MACEDO et al. 2002).

A borracha natural é base de vários produtos industrializados, apresentando grande variação de aplicações industriais como pneus, mangueiras, luvas cirúrgicas, condutores elétricos e fios elásticos (DASSIE, 1995). Também é utilizada na indústria de transporte e de produtos bélicos, pois apresenta características de material com boas propriedades isolantes e impermeabilidade tanto ao ar quanto à água (MORENO et al., 2003).

Segundo Burger e Smith (1996), cerca de 80 a 85% da produção do látex é utilizada na fabricação de pneumáticos, os outros 20 a 15%, são de usos diversos, como: sapatos, adesivos, espumas, balões, preservativos, etc. Chen (1983) citou que mais de 50.000 artigos no mundo são feitos unicamente de borracha natural, como exemplo, para um navio de 35.000 toneladas utiliza-se 68.000 kg de borracha e para a montagem de um avião são necessários cerca de 600 kg de borracha. Mooibroek e Cornish (2000) citam que mais de 40.000 produtos derivados da borracha natural são usados como material estratégico, incluindo 400 artefatos médicos.

Além da grande utilidade para a sociedade humana, a heveicultura apresenta capacidade de geração de trabalho permanente pelo caráter intensivo na utilização da mão de obra (um sangrador faz o manejo de 5 a 10 ha, dependendo do sistema de sangria adotado), devido a sua exploração não ser mecanizada. Essa atividade também utiliza mão de obra feminina, tendo em vista que a sangria é uma prática que exige especialização, habilidade, sensibilidade e não é associada a grande esforço físico (VIRGENS FILHO, 2005).

A produtividade normal de látex varia com o clone e a idade de sangria. A produtividade paulista, maior produtor nacional, em média de borracha está em torno de  $1.300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Algumas regiões do Estado de São Paulo, que empregam alta tecnologia, podem chegar a  $1.500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo uma das mais altas quando comparadas com as médias da Tailândia ( $1.100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), da Indonésia ( $750 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e da Malásia ( $1.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) (IAC, 2012). Desde o início da domesticação da seringueira há cerca de 120 anos, sua produtividade, em termos de produção de borracha, tem-se elevado de  $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para  $3.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (GONÇALVES, 2002).

A produção mundial de borracha natural em 2011 foi de 10.977 mil toneladas, sendo que os maiores produtores foram Tailândia, Indonésia e Malásia, com 30,9%, 27,2% e 9,19% do total da produção mundial, respectivamente (IRSG, 2013). No ano de 2011, o Brasil produziu 274,1 mil toneladas de borracha proveniente de 135,8 mil ha cultivados. Cinco principais estados produtores respondem por 92% de toda a produção do País, sendo: São Paulo – 54,64% do total produzido (149.778 t), Bahia – 17,75% (48.663 t), Mato Grosso – 9,51% (26.069 t), Minas Gerais – 6,18% (16.927 t) e Espírito Santo – 3,74% (10.250 t) (IBGE/SIDRA, 2013).

## 4.2 Problemas com doenças

Devido sua origem ser amazônica e com todas as peculiaridades edafoclimáticas dessa região, ao ser introduzida na Mata Atlântica e no Cerrado brasileiro, nas Florestas Tropicais Úmidas da África, Malásia, China e na Floresta de Monção da Índia tornou-se uma espécie vulnerável a diferentes microorganismos maléficos, tais como os fungos: a) *Microcyclus ulei*; b) *Colletotrichum gloeosporioides* e *Colletotrichum acutatum* c) *Oidium hevea*; e d) *Tanatephorus cucumeris*. Além da alga *Stramenopila Phytophthora* spp (FURTADO, 2010). Dentre estes problemas, ocorre o nematoide das galhas da seringueira, cientificamente chamado de *Meloidogyne exigua* Goeldi (SANTOS, 1995).

### 4.2.1 Nematoides fitoparasitas

Os nematoides fitoparasitas causam perdas estimadas de 125 bilhões de dólares em todo o mundo, sendo fator limitante à produção agrícola mundial (CHITWOOD, 2003). Dentre os diferentes gêneros de nematoides fitoparasitas, o gênero *Meloidogyne* apresenta cerca de 90 espécies descritas, constituindo o grupo de nematoides fitoparasitas mais importantes no mundo (KARSSSEN; MOENS, 2006).

O gênero *Meloidogyne*, conhecido como nematoide das galhas, apresenta espécies polífagas, parasitas obrigatórios de plantas e altamente adaptadas a diferentes habitats (MOENS et al., 2009). Este gênero apresenta espécies que são economicamente importantes no setor agrícola, devido a perdas que causam em diferentes

culturas, sendo que já foram identificadas mais de 2.000 espécies de plantas hospedeiras (PERRY et al., 2009).

Os nematoides das galhas se alimentam de células vegetais modificadas no interior das raízes das plantas, induzindo a formação de galhas, sendo devido a isto o seu nome popular (MOENS et al., 2009). A doença é caracterizada por galhas nas raízes das plantas infectadas, com sintomas de baixa produção de sementes, crescimento reduzido, murchamento e aumento da susceptibilidade a outros patógenos (RANDIG et al., 2002). Próximo dos locais de alimentação ocorre a divisão de células corticais, dando origem às típicas galhas induzidas pelo *Meloidogyne* spp. (WILLIAMSON; GLEASON, 2003).

As galhas podem estar ausentes, mas, fendilhamentos e forte descolamento dos tecidos corticais podem ocorrer, localizando-se principalmente nas extremidades das raízes. O sistema radicular infestado inicialmente encontra-se muito reduzido, sendo que as raízes absorventes ficam praticamente ausentes. Na parte aérea verifica-se clorose, queda prematura de folhas e decadência geral, conduzindo muitas plantas à morte, principalmente nas épocas de seca e frio (VERNALHA et al., 1970; LEGUIZAMON; LOPEZ, 1972).

As galhas são engrossamentos que resultam de hiperplasia e, principalmente, hipertrofia celular no cilindro central e também no parênquima cortical, ao redor do corpo do nematoide em desenvolvimento. Tem diâmetro variável, quase sempre observados nas raízes infestadas por *Meloidogyne*, são muito comuns em plantas hospedeiras, mas pode estar ausente em certas associações, como a de *M. coffeicola* e cafeeiro arábica, por exemplo (FERRAZ; MONTEIRO, 1995).

A modificação da raiz causada pela formação de galhas prejudica o crescimento das raízes, especialmente as raízes finas, devido à intensa penetração, exploração e alimentação dos nematoides endoparasíticos (SIJMONS et al., 1994). Com a infestação nas raízes ocorre sua redução, resultando na menor exploração do solo pela planta e mobilização de nutrientes. Isto ocorre devido a desestruturação do sistema radicular, além da modificação da alocação de nutrientes entre raízes e brotos (SPIEGEL et al., 1982).

A espécie de *Meloidogyne* com maior importância econômica para a seringueira, no Brasil, é *M. exigua* Goeldi, principalmente no Estado do Mato Grosso. Além de danos diretos é agente predisponente para a ação do fungo *L. theobromae* (Pat.)

Griff. et Maubl. Juntamente, esses dois patógenos causam uma doença caracterizada pela morte descendente da seringueira (SANTOS et al., 1992), ocorrendo endemicamente na Amazônia e Pré-Amazônia (SANTOS, 1995).

O *M. exigua* prejudica a formação das mudas e o desenvolvimento natural da seringueira, devido a diminuição da capacidade das raízes para absorver água e nutrientes, havendo queda na produção de látex. Ocasionalmente, esses nematoides podem levar a planta à morte (LORDELLO; VEIGA, 1983; SANTOS et al., 1992). Foi registrado na região de Rondonópolis, MT nos clones PB 235 e PB 217, por SANTOS et al. (1992) e encontra-se disseminada no município de São José do Rio Claro, em Mato Grosso (BERNARDO et al., 2003).

Carneiro e Almeida (2000) e Muniz et al. (2008) propuseram a classificação em „raças fisiológicas“ de *M. exigua*, baseados na capacidade de reprodução de diversas populações em plantas de quatro espécies botânicas. Os indivíduos da raça 1 infectam o pimentão e o cafeeiro, mas não conseguem infectar o tomateiro. Indivíduos da raça 2 infectam o tomateiro, o pimentão e o cafeeiro, e a raça 3 parasitam a seringueira, mas não infectam o tomateiro, o pimentão e nem o cafeeiro. Santos (1995) citou que a raça 3 constitui-se num sério problema para a seringueira, sendo de ocorrência endêmica na Amazônia.

Os nematoides das galhas podem causar em seus hospedeiros vários danos, os quais alteram a fisiologia da planta e reduzem a produção e sua qualidade para o consumidor final, devido a sua forma de infecção endoparasítica, apresentando importância econômica (PERRY; MOENS, 2005). As plantas infectadas demonstram sintomas típicos de deficiência de nutrientes, principalmente nitrogênio e nutrientes com baixa mobilidade (VAAST et al., 1998).

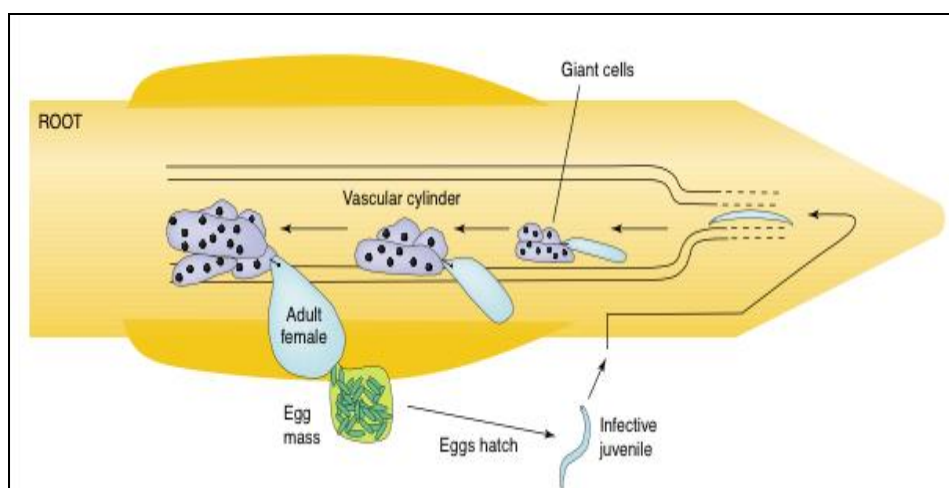
Campos (1997) e Moura (1997) citaram que os danos provocados pelos nematoides do gênero *Meloidogyne* são mais severos quando a planta hospedeira é submetida a condições de estresses, causados por fatores abióticos (secas, deficiências nutricionais, frio, etc) e bióticos (pragas, doenças) do meio ambiente.

O *Meloidogyne* tem seu ciclo de vida começando com a fêmea depositando seus ovos em um único local da raiz com uma matriz gelatinosa envolvendo a massa de ovos contendo em média 400 a 500 ovos, formando-se em meio ao parênquima cortical (internas) ou sobre a superfície das raízes (externas). O desenvolvimento embrionário começa com o juvenil de primeiro estágio (J1) e posteriormente passa por

uma ecdise ainda no ovo, originando o juvenil de segundo estágio (J2). As formas pré-parasíticas (J2) eclodem dos ovos por força mecânica de seu estilete e também pela ação enzimática de quitinases, produzidas nas glândulas esofagianas e liberada via estilete (ABAD et al., 2009).

O ciclo biológico tem duração entre 24 e 35 dias com faixa ideal de temperatura de 25 a 30°C (BLUM, 2006). Seu ciclo consiste de seis estádios fenológicos: ovo, quatro juvenis (J1, J2, J3, J4) e adulto (VAN DER EYCKEN et al., 1996; GHEYSEN; FENOLL, 2002). O ciclo de vida começa com os ovos envoltos por uma massa gelatinosa, que protege-os da desidratação e contra o ataque de inimigos naturais como fungos e bactérias do solo (BLUM, 2006).

O ciclo de vida do nematoide das galhas presente na raiz (ROOT) apresenta a massa de ovos (Egg mass) na superfície da raiz, e com condições favoráveis ocorre a eclosão dos ovos (Eggs hatch), originando o Juvenil infectivo (Infective juvenile – J2). Posteriormente penetra a raiz e se desloca para o cilindro vascular e neste sítio de alimentação, ocorre a indução da formação das células gigantes (alimento do nematoide). Neste local, o *Meloidogyne* sofre ecdises do J2 → J3 → J4, terminando o ciclo com a fêmea adulta depositando a massa de ovos na superfície da raiz (Adult female) (WILLIAMSON e GLEASON, 2003) (Figura 1).



**Figura 1.** Diagrama do ciclo do nematoide do gênero *Meloidogyne* (WILLIAMSON e GLEASON, 2003).

Depois da penetração nas raízes, os J2s migram entre as células em direção ao córtex, na região de diferenciação celular, sendo através da lamela média causando a separação das células. Para contornar a barreira formada pela endoderme,

migram em direção à ponta da raiz, contornando-a até encontrar a região meristemática apical. Depois, percorrem o cilindro vascular até a zona de diferenciação e induz o sítio de parasitismo e posteriormente, tornam-se sedentários no tecido cortical na zona de diferenciação (KARSSSEN; MOENS, 2006).

Os nematoides *Meloidogyne* possuem os estiletes e glândulas esofageanas secretoras, que são estruturas especializadas essenciais ao parasitismo. O estilete é uma estrutura protuberante, utilizada como perfurador da parede celular e como injetor do conteúdo produzido pelas glândulas esofageanas (HUSSEY, 1985).

A penetração das paredes celulares rígidas da raiz ocorre através da perfuração com o estilete e da ação de enzimas celulolíticas e pectolíticas, ocorrendo próxima ao ápice radicular, porém, pode ocorrer em outros sítios. Posteriormente, o tecido radicular pode alargar e o desenvolvimento radicular muitas vezes cessar por um período, ocorrendo com múltiplas infecções numa mesma raiz (KARSSSEN; MOENS, 2006).

As células gigantes multinucleadas, células especiais denominadas células nutridoras, são as responsáveis pela nutrição dos J2s, os quais passam por mudanças morfológicas para se transformarem em juvenis de terceiro e quarto estádios. Nas células adjacentes às células gigantes ocorre hiperauxina (distúrbio hormonal), levando à hiperplasia e hipertrofia. Este distúrbio origina as galhas, que é o principal sintoma causado por nematoides desse gênero em plantas (MOENS et al., 2009).

No local de alimentação ocorre a passagem das fases de juvenil para adulto do nematoide, ocorrendo a segunda ( $J2 > J3$ ), terceira ( $J3 > J4$ ) e quarta ( $J4 > \text{fêmea jovem}$ ) ecdises. Após a mudança de fase  $J4$  para adulto, a fêmea adulta recomeça a se alimentar, permanecendo ali para o restante de sua vida (EISENBACK; TRIANTAPHYLLOU, 1991).

A verdadeira metamorfose para o macho ocorre na última ecdise, sendo um nematoide longo e filiforme dentro da cutícula do quarto estágio juvenil ( $J4$ ), retida como revestimento. A fêmea adulta mantém o mesmo formato do último estágio juvenil, mas aumenta quando está madura, tornando-se piriforme. Do início da segunda ecdise até completar a quarta ecdise o nematoide é incapaz de se alimentar no seu hospedeiro, devido neste período o nematoide não possuir estilete. A energia necessária para completar as terceiras e quartas ecdises é obtida pelo nematoide antes da segunda ecdise. Após a quarta ecdise, o estilete reaparece e os órgãos dos aparelhos digestivos e reprodutivos são desenvolvidos. A proporção de machos na população varia de acordo com

a planta hospedeira e as condições ambientais, exceto em espécies partenogenéticas (KARSSSEN; MOENS, 2006).

O número de gerações por ano varia de acordo com a espécie e disponibilidade de alimento, geralmente sendo muitas. A postura de ovos pela fêmea depende da planta hospedeira e das condições climáticas, onde cada fêmea pode colocar de 30–80 ovos/dia (KARSSSEN; MOENS, 2006). A temperatura, além da susceptibilidade da planta hospedeira e das condições químicas e físicas do solo são os principais fatores que influenciam a duração do ciclo de vida, que é extremamente variável para cada espécie de *Meloidogyne* (EISENBACK; TRIANTAPHYLLOU, 1991).

A sobrevivência e o desenvolvimento dos nematoides das galhas são condicionados pela planta hospedeira e pelas condições ambientais do solo (ORNAT; SORRIBAS, 2008). O ciclo de vida dos nematoides do gênero *Meloidogyne* completa-se geralmente sob temperatura de 27° C entre três a quatro semanas. Entretanto, qualquer espécie reduz ou até mesmo paralisa por completo as suas atividades vitais em temperaturas superiores a 40°C ou inferiores a 5°C (FERRAZ, 2001).

Para ocorrer a eclosão dos juvenis tem que haver condições adequadas para isto, sendo que Tihohod (2000) cita a umidade, aeração do solo, pH e os produtos químicos orgânicos e inorgânicos contidos na água do solo que influenciam no processo de eclosão, entre outros diversos fatores químicos e físicos. Para a atração do nematoide pela raiz, Karssen e Moens, (2006) citaram que o dióxido de carbono é frequentemente considerado como sendo o fator mais importante para atrair fitonematoides.

Karssen e Moens (2006) citaram que a temperatura é o principal fator que influencia a eclosão e, para a maioria das espécies, não é dependente de estímulo de exsudatos radiculares das plantas, porém, estes exsudatos às vezes estimulam essa eclosão. Ferraz e Monteiro (1995) citaram que após a eclosão esses juvenis com formas vermiformes e móveis, passam a migrar no solo à procura de raízes de um hospedeiro favorável, sendo chamadas formas pré-parasitas ou infestantes.

Quando os J2 eclodem dos ovos, eles podem penetrar a mesma raiz ou infectar novas raízes. Estes J2 e os machos são as fases do ciclo de *Meloidogyne* que podem ser encontrados livremente no solo. Em algumas espécies, os J2 podem sobreviver no solo em estado de quiescência por um longo período de tempo. No entanto, durante esse período há o consumo de reservas nutricionais armazenadas no intestino do J2. Como a

infectividade está relacionada ao conteúdo dessas reservas, ela poderá ser reduzida após longos períodos fora das raízes (KARSSSEN; MOENS, 2006).

No gênero *Meloidogyne*, a quase totalidade dos adultos formados são fêmeas, sendo frequente esta proporção, porém, em condições ambientais desfavoráveis, com elevada população de nematoides na raiz ou resistência da planta hospedeira, os juvenis que seriam fêmeas, tornam-se machos. Isto ocorre devido ao primórdio sexual se desenvolver em testículos em vez de ovários, sendo conhecido por reversão sexual e é um dos mecanismos de sobrevivência desses nematoides. É uma forma de sobrevivência devido à menor postura de ovos e conseqüentemente o parasitismo sobre a planta infectada será menos agressivo, desta forma ocorre a garantia da sobrevivência das poucas fêmeas formadas (FREITAS et al., 2006).

O *Meloidogyne* apresenta dimorfismo sexual, com diferenças na forma do corpo entre machos e fêmeas, sendo vermiformes e arredondadas, respectivamente, e que são estabelecidas durante o desenvolvimento pós-embriônico do nematoide. Os machos mudam de forma piriforme para vermiforme durante o quarto estágio juvenil (J4), sofrendo uma metamorfose na qual o corpo se alonga, assumindo uma forma vermiforme. Posteriormente saem da raiz e movem-se livremente no solo e ficam sem se alimentar pelo resto da vida. Dependendo do tipo e modo de reprodução das espécies, o macho pode procurar por uma fêmea e acasalar-se, permanecendo no solo até à morte, sendo que pode ocorrer a reprodução por anfimixia ou partenogênese (EISENBACK; TRIANTAPHYLLOU, 1991).

De acordo com Silveira (1992), o clone RRIM 600 é altamente suscetível aos nematoides das galhas. Santos et al. (1992) e Fonseca et al. (1999) citaram que este clone é suscetível ao *M. exigua* e resistente ao *M. javanica*. Para comprovação da susceptibilidade do clone RRIM 600, Fonseca et al. (2003) inocularam 1.000 juvenis J2 de *M. exigua* em plantas e após 10 dias foram verificadas a presença de células gigantes jovens.

Fonseca et al. (1999) avaliaram plantas de seringueira em vaso com inoculação de 6.000 juvenis J2 no clone PB 235, RRIM 600 e IAN 873, sendo que além do clone RRIM 600, os outros 2 clones foram classificados como suscetíveis ao *M. exigua*. Pezzoni Filho et al. (2013) em avaliação realizada em campo no município de Itiquira - MT, com coletas realizadas no mês de julho de 2013, encontrou infestações nas raízes

entre 200 e 186.580 mil nematoides em 10 g de raiz e de 0 até 2.835 mil nematoides em 250 g de solo, sem distinção de clones.

Para o *M. exigua* em cafeeiro, Souza et al. (1998) verificaram que os maiores índices de juvenis no solo ocorreram nos meses de julho ao início de setembro do ano de 1996, coincidindo com o período de baixas precipitações pluviométricas. Para o maior número de juvenis no solo e menor número de galhas na raiz do cafeeiro no período de julho ao início de setembro, indicou que nem todos os juvenis penetraram nas raízes, talvez pela escassez de raízes novas emitidas pelo cafeeiro devido às baixas precipitações. No período das maiores precipitações, ocorreu rápida infecção, constatada pelo aumento do número de galhas, reduzindo o número de juvenis no solo, determinada pela abundância de sítios de infecção (raízes novas) emitidas pelo cafeeiro neste período.

### 4.3 Geoestatística

A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, as amostras próximas no tempo, e espaço sejam mais similares entre si, do que, as que estiverem distantes (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). Para Matheron (1965) é uma função que varia de um lugar a outro no espaço com certa aparência de continuidade, sendo que as variáveis dos valores amostrados estão relacionadas com a posição espacial que ocupam. Isto significa que sua localização geográfica na área tem importância na análise, assumindo valores diferentes em diferentes lugares de observação, com certa dependência de um lugar a outro.

A análise geoestatística apresenta primeiramente o levantamento do variograma experimental; depois se realiza o ajuste a uma família de modelos de variogramas e validação do modelo a ser utilizado nos procedimentos da Krigagem; e finalmente a interpolação pelo método da Krigagem (LANDIM, 2006).

A geoestatística originou-se na área de mineração sendo baseada na teoria das variáveis regionalizadas, sendo esta uma técnica que considera a distribuição espacial das medidas demonstrando que entre as amostras existe um raio de correlação espacial (KRIGE, 1951). A Variável Regionalizada como uma função espacial numérica varia de um local para outro, com uma continuidade aparente. Esta variação não pode ser representada por uma função matemática simples e a continuidade ou dependência espacial é estimada por meio do variograma (MATHERON, 1963).

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas geoestatísticas, permitindo representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975). Para quantificar a dependência ou continuidade espacial dos dados utiliza-se o variograma (CRESSIE, 1993; KITANIDIS, 1997; CHILÈS; PIERRE 1999).

O grau de dependência espacial é realizado na análise geoestatística para verificar sua existência e ser estimado entre as observações, sendo realizado pela Equação 1, segundo Vieira et al. (1983).

$$\gamma(h) = \left( \frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

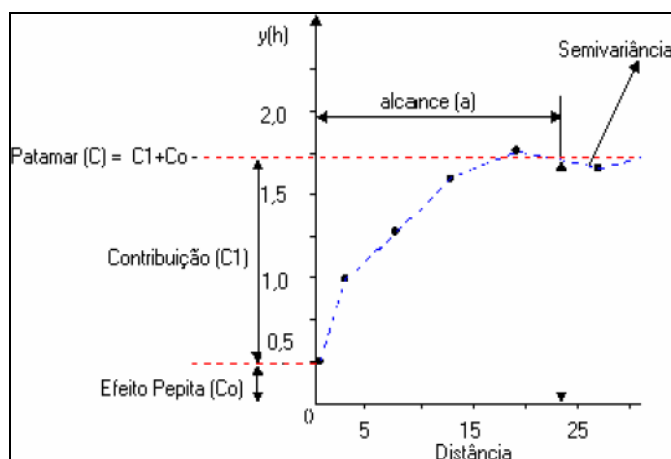
onde:

$\gamma(h)$  - variância estimada entre pares de pontos;

$N(h)$  - número de pares de valores medidos;

$Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$  - são os pares de pontos separados por uma distância  $h$ .

Por meio de um modelo matemático teórico (Figura 2), o variograma é ajustado sendo possível estimar os valores calculados de  $\gamma^*(h)$  para os componentes: coeficientes de efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ), alcance ( $a$ ) e o Índice de Dependência Espacial (IDE) proposto por Zimback (2001), onde valores menores ou iguais a 25 % é considerada fraca dependência espacial; de 26% a 75%, moderada dependência espacial, e maiores ou iguais a 75 %, forte dependência.



**Figura 2.** Variograma experimental e seus parâmetros (adaptado de CAMARGO, 2001).

Os parâmetros que auxiliam na descrição da dependência espacial no variograma são os seguintes: efeito pepita, patamar e o alcance, sendo que permite ajustar um modelo empírico de semivariograma a um semivariograma teórico utilizado para modelar a autocorrelação em função da distância (Figura 2) (KOZAR et al., 2002).

O efeito pepita é atribuído a erros de mensuração aliado ao fato dos dados não terem sido coletados em intervalos pequenos para representar o comportamento espacial do fenômeno (LANDIM, 2003). À medida que  $h$  aumenta,  $\gamma^*(h)$  também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza, portanto, neste valor chama-se patamar sendo aproximadamente igual à variância dos dados (TAKEDA, 2000; VIEIRA, 1995).

Quando a distância  $h$  entre os pares de pontos for pequena, os valores das observações comparados serão semelhantes devido ao valor da variância ser baixo, portanto ocorre uma grande correlação entre as medidas. Conforme a distância entre os pares de pontos aumentarem o valor da variância também aumenta, estabilizando num determinado valor (patamar -  $C$ ) a uma determinada distância (alcance -  $a$ ), consequentemente a partir do alcance a correlação entre as medidas deixa de existir (HOULDING, 2000).

O comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos é expresso pelo variograma, onde mostra a zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do plano estudado e a continuidade da característica estudada no mesmo (LANDIM, 1998; ZIMBACK, 2003). O modelo é definido pelo pesquisador, que deve ser capaz de definir o modelo que descreve da melhor maneira o comportamento dos dados no espaço (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978).

Depois da confecção do variograma experimental, o modelo matemático é definido com base no melhor ajuste ao comportamento da dependência espacial da grandeza avaliada. Os modelos matemáticos utilizados nos estudos geostatísticos são o esférico, exponencial, gaussiano e o modelo de potência (SOARES, 2000).

A interpolação de dados é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma área, região ou espaço onde os dados se encontram distribuídos. Tem o raciocínio de que, em média, valores dos atributos tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados (GASA, 2013).

Valeriano (2008) citou que a krigagem é um método de interpolação, onde a cota de um ponto de interesse é calculada através da média ponderada das amostras vizinhas, distribuindo os pesos de acordo com a variabilidade espacial, determinada por meio de análise geoestatística. Esta, por sua vez, fornece coeficientes utilizados para controle da interpolação, que descrevem a variabilidade espacial do conjunto analisado por meio dos semivariogramas.

A krigagem usa informações a partir do variograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos, que irão estimar pontos desconhecidos. Nessa situação o método fornece, além dos valores estimados, o erro associado a tal estimação, o que o distingue dos demais algoritmos de interpolação (LANDIM; STURARO, 2002). Vieira (2000) citou que a krigagem utiliza a dependência espacial entre as amostras vizinhas, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo experimental, sem tendência e com variância mínima.

Segundo Mello et al. (2003) o interpolador geoestatístico, conhecido como Krigagem, é apresentado na Equação 2 e 3:

$$[A]^{-1} \times [b] = [\lambda] \quad (2)$$

sendo:

$[A]^{-1}$  = matriz inversa de variância entre as localidades da vizinhança de um ponto, determinada pelo modelo de variograma com base nas distâncias euclidianas entre as localidades;

$[b]$  = matriz de variância entre as localidades vizinhas (com a variável estimada) e o ponto para o qual a variável será interpolada, também determinado pelo modelo de variograma, com base nas distâncias entre as localidades vizinhas e o ponto a ser interpolado;

$[\lambda]$  = a matriz de pesos da Krigagem.

$$X_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times X_i \quad (3)$$

sendo:

$X_p$  = variável interpolada;

$\lambda_i$  = peso da i-ésima localidade vizinha;

$X_i$  = valor da variável para a i-ésima localidade;

n = número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto.

Druck et al. (2004) citaram que a krigagem abrange vários métodos de estimação que pode ser dividido em procedimentos estacionários (krigagem simples e ordinária), não-estacionários (krigagem universal, funções intrínsecas de ordem k), univariados e multivariados (co-krigagem, etc). Para o presente estudo foi utilizada somente a krigagem ordinária.

Szolgay et al. (2009) citaram que os mapas de precipitação realizados pelo método da krigagem quando aplicado ao processo de precipitação-vazão pode determinar o período de retorno das águas de uma bacia hidrográfica, bem como, os riscos de inundações decorrentes desse fenômeno, sendo essenciais para a compreensão dos processos hidrológicos. Morgan e Ess (1997) citaram que a krigagem se apresenta como o sistema de interpolação que tem produzido os melhores resultados para o uso de mapas de características de áreas agrícolas, e uma importante ferramenta para estudos de dispersão de insetos.

Alves et al. (2009) caracterizaram a magnitude e estrutura da dependência espacial da Ferrugem do cafeeiro e da Cercosporiose, obtendo-se mapas de krigagem da ferrugem e da cercosporiose. Os autores descreveram que a intensidade das doenças foi distribuída em padrões de focos no plantio, indicando que o controle baseado na área total pode ser substituído pelo controle específico de forma diferenciada. Assis et al. (2009) utilizaram técnicas de interpolação como estratégia de amostragem para povoamentos jovens de *Eucalyptus sp.*. Mello et al. (2006) usaram krigagem em bloco para prever o volume de um talhão de *Eucalyptus grandis*.

#### 4.4 Geoprocessamento de imagens

As técnicas de geoprocessamento para o monitoramento de áreas agrícolas e do uso do solo vem-se difundindo mundialmente, apresentando como vantagens a utilização destas técnicas para o auxílio na tomada de decisão, com a utilização mais racional dos recursos naturais e proporcionando maior rendimento para o produtor (SCHEER, 2004).

Segundo Câmara e Davis (2004), o termo Geoprocessamento é a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para a coleta e o tratamento da informação geográfica. Estas ferramentas computacionais são chamadas de Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

Rhind (1991) citou que os SIGs possuem a capacidade de processamento e análise de dados espaciais, sendo definidos como equipamentos computacionais, programas e procedimentos concebidos para prover a captura, gerenciamento, manipulação, análise, modelagem e a visualização de dados espacialmente referenciados para solução de problemas complexos de planejamento. Segundo Veiga e Silva (2004), os SIGs são ferramentas que manipulam objetos, ou feições geográficas, e seus atributos, ou registros que compõem um banco de dados, por meio de sua topologia.

O SIG permite processar informações espaciais, criando abstrações digitais do real, manejar e armazenar eficientemente dados, com finalidade de identificar o melhor relacionamento entre as variáveis espaciais, criando relatórios e mapas utilizados para a compreensão holística desses relacionamentos (RIBEIRO et al., 2000).

Diversas variáveis são mapeadas a partir dos softwares de SIG, como por exemplo, os usos da terra, e nestes sistemas alternativas de manipulação de dados são disponíveis, com finalidade de localizar objetos, estabelecer padrões de continuidade, relacionar e cruzar informações (MIRANDA, 2005). Rodriguez (2000) citou que por meio da interpretação de imagens de satélite obtém-se um mapa temático atualizado e preciso das diferentes estruturas espaciais resultantes do processo de ocupação e uso do solo, de maneira rápida.

Soares et al. (2005) relataram que no setor florestal, as empresas precisam do monitoramento contínuo de suas áreas plantadas por meio de inventário, apresentando caráter dinâmico, devido a variabilidade de estágios de desenvolvimento e de espécies de cada talhão, áreas afetadas por incêndios, pragas, controle de corte e plantio,

entre outros fatores. Segundo os mesmos autores, estas características, inerentes aos plantios de *Eucalyptus*, inviabilizam o gerenciamento de suas atividades apenas com um banco de dados descritivo, apresentando importância o componente espacial da informação, que somados compõem um Sistema de Informações Geográficas.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e a aplicação do sensoriamento remoto podem auxiliar nesse reconhecimento, contribuindo no estudo da espacialização e atualização dos dados coletados e consequente gerenciamento racional das atividades agrícolas (CAMPOS et al., 2004; XAVIER et al., 2004).

No sensoriamento remoto existem dois aspectos: a aquisição dos dados e a elaboração e análise dos dados para interpretação (PARANHOS FILHO; RONDON, 2001). De uma maneira geral, 75% do orçamento e do tempo de um projeto nessa área são consumidos na fase de sua elaboração (RIBEIRO et al., 2000).

O sensoriamento remoto compreende a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2002). Por meio desta técnica obtêm-se dados sobre um objeto sem que haja contato físico entre o sensor e o alvo, por meio de radiações eletromagnéticas (PONZONI, 2001). Toda cobertura do solo, como corpos d'água ou vegetação, absorvem uma porção específica do espectro eletromagnético, resultando numa assinatura espectral distinta (PARANHOS FILHO; RONDON, 2001).

A maior parte da energia incidente sobre as plantas reflete-se de forma dispersa em muitas direções, ou seja, com uma reflexão não especular, chamada de dispersão difusa. No mundo real, reflexão difusa é muito mais comum do que a direta, e caracteriza superfícies rugosas em relação ao comprimento de onda da radiação incidente, como, por exemplo, as superfícies das folhas das plantas (MOREIRA, 2005).

A técnica de Sensoriamento Remoto contribui para o mapeamento, monitoramento, fiscalização e controle da cobertura vegetal de extensas áreas da superfície terrestre, juntamente com o processamento digital de imagens realizado pelos softwares específicos. Os índices de vegetação estão entre um dos processos digitais que permitem obter dados de vegetação a partir de imagens orbitais, e juntamente com o realce de imagens, por meio da razão de bandas, têm objetivo principal maximizar as informações de vegetação (PONZONI, 2001).

Nas estimativas de índice de vegetação, normalmente utiliza-se as regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo, porém são afetadas diretamente pelos efeitos atmosféricos de espalhamento, provocados pelos aerossóis atmosféricos e absorção ocasionada pelo vapor d'água e ozônio. Juntos, estes efeitos promovem a diminuição dos valores possíveis que seriam registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho em cada ponto da imagem (ZULLO JÚNIOR, 1994).

#### 4.4.1 Pré-processamento

Nas imagens de satélite ocorre o imageamento por meio da radiância total refletida por um alvo na superfície terrestre, após atravessar e interagir com a atmosfera, é detectada pelo sensor, cuja resposta (sinal de saída) é transmitida à estação de recepção terrestre, onde é convertida em número digital. Isto é, o nível de cinza ou número digital é uma função da radiância incidente ao sensor (SCHOTT, 2007).

A série de imagens do Landsat e outros satélites recebem a resposta espectral integrada dos alvos dentro de uma largura espectral designada e os dados são fornecidos para o usuário na forma de números digitais, os quais não correspondem quantitativamente a unidades físicas, tais como radiância ou reflectância (ROBINOVE, 1982). Assim, estudos pretendendo usar dados de sensoriamento remoto para quantificar características da superfície terrestre, como índice de área foliar e biomassa, requerem a conversão dos números digitais em reflectância de superfície (PANDYA et al., 2002).

A reflectância de “alvos” da superfície terrestre é um parâmetro intrínseco dos objetos sensoriados e, assim, em muitas situações, deve ser utilizada em lugar dos valores de “níveis de cinza” normalmente encontrados nas imagens de satélite. Para obter a reflectância de alvos de imagens de satélite foi necessário eliminar a interferência atmosférica e realizar uma série de cálculos que envolvem parâmetros do sensor e informações da própria imagem (GÜRTLER et al, 2005).

A correção atmosférica torna-se um processo imprescindível, visto que permite a remoção ou diminuição das influências atmosféricas representando uma das fases mais importantes dentro do processamento digital de imagens de satélites (ROSA, 2007). A correção atmosférica é utilizada para o cálculo de índices de vegetação

computados a partir de duas ou mais bandas espectrais, visto que as bandas são afetadas diferentemente pelo espalhamento atmosférico (MATHER, 1999).

O cálculo da radiação espectral incidente ao sensor é a etapa fundamental em converter dados de imagens oriundos de múltiplos sensores e plataformas em uma escala radiométrica comum com significado físico. Na calibração radiométrica de sensores realiza-se o reescalonamento dos números digitais brutos ( $Q$ ) transmitidos do satélite para números digitais calibrados ( $Q_{cal}$ ), os quais possuem a mesma escala radiométrica para todas as cenas processadas em terra para um período específico (CHANDER et al., 2009).

Durante a calibração radiométrica os valores dos pixels dos dados das imagens brutas, sem processamento ( $Q$ ) são convertidos para unidades de radiância espectral absoluta. Os valores de radiância absoluta são escalonados para números de 8 bits (TM,  $Q_{calmax}=255$ ) representando  $Q_{cal}$  antes da saída para os meios de distribuição. A conversão de  $Q_{cal}$  de volta para radiância espectral incidente ao sensor ( $L_{\lambda}$ ) (produtos nível 1) requer conhecimento dos limites inferiores e superiores dos fatores de reescalonamento originais (CHANDER et al., 2009). Descrita por Markham e Barker (1986) e por Chander et al. (2009), a equação utilizada para a conversão de  $Q_{cal}$  para  $L_{\lambda}$  é apresentada a seguir:

$$L_{\lambda} = L_{min\lambda} + \left( \frac{(L_{max\lambda} - L_{min\lambda}) * Q_{cal}}{Q_{calmax}} \right) \quad (4)$$

sendo:

$L_{\lambda}$  = Radiância Bidirecional aparente (radiância espectral na abertura do sensor ou incidente ao sensor) [ $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ];

$L_{min\lambda}$  = radiância espectral mínima no sensor [ $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ];

$L_{max\lambda}$  = radiância espectral máxima no sensor [ $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ];

$Q_{cal}$  = número digital a ser convertido;

$Q_{calmax}$  = número digital máximo (dependente da resolução radiométrica do sensor).

A conversão dos valores de radiância bidirecional aparente para valores de reflectância TOA (ou reflectância aparente) é feita pela Equação 5 descrita por Markham e Barker (1986) e Chander et al. (2009):

$$\rho_a = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{E_{sun}(\lambda) * \cos\theta} \quad (5)$$

sendo:

$\rho_a$  = Fator de reflectância bidirecional (FRB) aparente ou reflectância planetária no topo da atmosfera, adimensional;

$\pi$  = Constante matemática igual a 3,14159;

$L_\lambda$  = Radiância espectral que chega ao sensor [ $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ ];

$d$  = Distância de Terra-Sol em unidades astronômicas;

$E_{sun}(\lambda)$  = Irradiância solar exoatmosférica média [ $W/(m^2 \mu m)$ ];

$\theta$  = Ângulo zenital solar, em graus.

A redução na variabilidade entre cenas é realizada pela conversão da radiância espectral na abertura do sensor ( $L_\lambda$ ) para reflectância exoatmosférica no topo da atmosfera (TOA – Top Of Atmosphere), também denominada reflectância aparente (CHANDER et al., 2009). A transformação de  $L_\lambda$  para reflectância aparente ( $\rho_a$ ) não leva em consideração as influências atmosféricas e assume um terreno plano e observação vertical, representando uma simplificação da realidade. Por isso é denominada de reflectância aparente, pois o valor calculado seria só a reflectância captada pelo sensor e não a realmente mensurável na superfície (CHUVIECO, 1990).

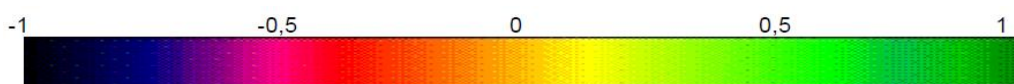
Após a reflectância aparente, realiza-se a correção atmosférica conforme método de Chavez (1988), chamado de Correção Atmosférica pelo Pixel Escuro (Dark Object Subtraction – DOS), onde é utilizado como referência os pixels que deveriam ter valor 0 (sombras na região do visível, por exemplo), seja nas imagens originais com NDs ou nas imagens convertidas para reflectância aparente (FRB aparente). Esta análise é realizada em todas as bandas espectrais e teoricamente, estes pixels não refletem radiação, e o valor excedente de radiação neles utiliza-se como parâmetro para subtração do restante dos pixels da imagem, sendo que esta influência é chamada de espalhamento atmosférico.

#### 4.4.2 Índice de vegetação NDVI

Dentre os métodos de sensoriamento remoto, Lopes e Zanardi, (2007) citaram que os índices de vegetação são amplamente utilizados como sensíveis indicadores da presença e da condição da vegetação. Entre os numerosos índices de vegetação disponibilizados na literatura, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o mais utilizado. Frequentemente é empregado na avaliação do vigor da vegetação, monitoramento da cobertura vegetal, auxílio na detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, suporte à previsão da produtividade agrícola, entre outras aplicações.

É amplamente utilizado em estudos globais como um discriminador de vegetação, porque, pode ser facilmente correlacionado a determinados parâmetros de vegetação, tais como: fitomassa, área foliar, produtividade, atividade fotossintética, porcentagem de cobertura verde, entre outros (ELVIDGE; CHEN, 1995). É um importante parâmetro para muitos tipos de análise em diferentes níveis de abrangência como local, regional e global (PETERSON et al., 1988).

O índice de vegetação NDVI detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, possui a propriedade de variar entre  $-1$  a  $+1$  (quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal), o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas e abaixo de 0 até  $-1$  representa a presença de água (EPIPHANIO et al., 1996; EASTMAN, 1998; ROSA, 2007) (Figura 3).



**Figura 3.** Valores da razão entre as bandas do Infravermelho e Vermelho (NDVI).

A base científica para a razão do índice de vegetação é atribuída à absorção da radiação na região espectral do vermelho, pelas clorofilas presentes nas células vegetais e ao espalhamento ou reflectância pelas folhas da radiação na região espectral do infravermelho próximo. Assim, cada banda passa a ser um indicador total de vegetação, onde solo e atmosfera podem conferir incertezas na estimativa dos parâmetros biofísicos (FEITOSA, 2006).

O NDVI é usado para medir e monitorar o crescimento da planta (vigor), cobertura vegetal e produção de biomassa a partir de dados de satélite multiespectrais (TUCKER et al., 2001). A vegetação tem reflectância baixa na região da

luz visível, devido à clorofila que absorve a radiação solar para permitir a fotossíntese, e alta no infravermelho próximo, pois o tecido das folhas tem baixa absorção desses comprimentos de onda (POELKING et. al., 2007).

A assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho e do infravermelho próximo. Quanto maior for o contraste, haverá maior vigor da vegetação da área imageada. Este é o princípio em que se baseiam os índices de vegetação, que combinam a informação espectral nestas duas bandas do espectro eletromagnético. A reflectância na região do vermelho (em torno de 0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) é baixa devido à absorção pelos pigmentos das folhas, principalmente da clorofila. Entretanto, a região do infravermelho (em torno de 0,8 a 0,9  $\mu\text{m}$ ) possui alta reflectância devido ao espalhamento da estrutura das células das folhas (SHIMABUKURO, 1999).

Fontana (1995) citou que a variação anual do NDVI em certas regiões pode indicar impactos regionais causados por alterações nas condições meteorológicas e mudanças fenológicas, sendo que uma função da alta correlação entre NDVI e a taxa assimilatória de comunidades vegetais pode estar ligado indiretamente com o rendimento de culturas.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Caracterização da área experimental**

A área de estudo encontra-se no município de Itiquira – MT, com área total de 6.646 ha plantados com seringueira, com idades entre 12 e 35 anos, nas coordenadas geográficas de 17° 17' 40,29" e 17° 26' 17,73" de latitude sul e 54° 44' 28,6" e 54° 44' 43,55" de longitude oeste, na sub-bacia do Rio Itiquira, consequentemente, na bacia do Rio Paraguai (Figura 4).

A área de estudo apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico - LVd e em menor proporção, na região ao norte da área avaliada ocorre Neossolo Quartzarênico Órticos típicos - RQo, de acordo com Embrapa (2013).

Na bacia hidrográfica do alto rio Itiquira ocorrem predominantemente sedimentos fanerozóicos da Bacia Sedimentar do Paraná, representados pelas formações: Palermo, Irati, Corumbataí, Botucatu, Serra Geral, Marília, Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização e Sedimentos Aluviais, conforme Mapa Geológico (SEPLAN, 2014). Na área ocorrem as Formações Marília, Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização e Sedimentos Aluviais.

A Formação Marília ocorre predominantemente na porção central da bacia, na forma de manchas contínuas ou isoladas, sendo controlada por lineamentos

e/ou falhamentos. Esta unidade tem grande extensão areal na bacia e encontra-se sotoposta à extensa cobertura laterítica que ocorre na região. A principal característica desta unidade é a presença de silicificação generalizada, com oxidação dos litotipos, e, restritamente cimentação carbonática.

A Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização, caracteriza-se como uma extensa superfície de aplanamento Paleogênica, com grandes testemunhos na Bacia do Paraná, em especial na região de cabeceiras do rio Itiquira.

Os Sedimentos Aluviais são constituídos de sedimentos areno-silto-argilosos inconsolidados depositados ao longo das principais drenagens da bacia, além de cascalhos diamantíferos.



**Figura 4.** Mapas da localização da área experimental, retirados do Google Earth, imagem panorâmica (A) e área experimental com visada mais próxima, sendo que a área de contorno em branco foi desconsiderada do estudo (B).

Segundo Köppen (1923), o clima da região é classificado como Aw com inverno seco, com meses de seca de junho a agosto. De acordo com Seplan (2014), a

seguir são apresentados dados de relevo, clima e precipitação sobre a região de estudo (Tabela 1 e 2):

**Tabela 1.** Características de relevo e climáticas da região da área de estudo.

| Controles Climáticos |                                        | Atributos Climáticos |             |             |              |                |
|----------------------|----------------------------------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
|                      |                                        | TEMPERATURA          |             |             | PLUVIOSIDADE |                |
|                      |                                        | (°C)                 |             |             | (mm)         |                |
| Altitude (m)         | Unidade de relevo                      | Média                | Máxima      | Mínima      | Total Anual  | Nº meses secos |
| 300-600              | Fachada SO do Planalto do Alto Taquari | 24,5 - 23,0          | 31,8 - 30,0 | 19,4 - 17,5 | 1700 a 1900  | 4              |

**Tabela 2.** Balanço hídrico da região da área de estudo.

| BALANÇO HÍDRICO  |                 |                  |                 |
|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| DEFICIÊNCIA      |                 | EXCESSO          |                 |
| Intensidade (mm) | Duração (meses) | Intensidade (mm) | Duração (meses) |
| 130 a 150        | JUN - SET       | 800 a 900        | NOV - ABR       |

## 5.2 Material

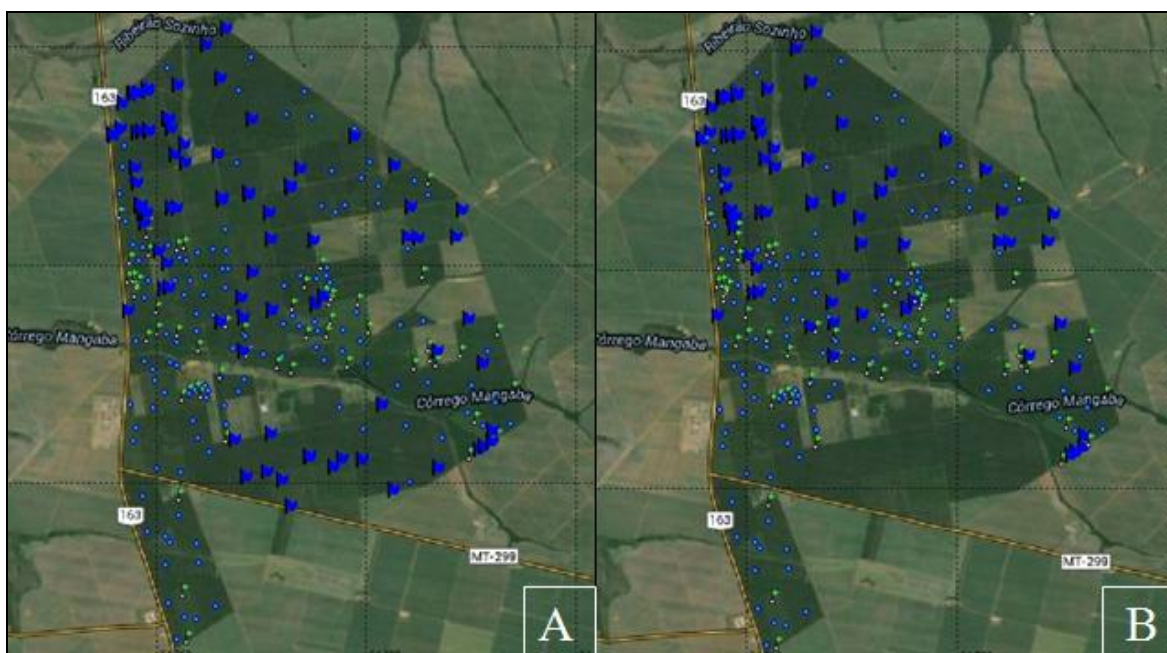
Para dar início aos trabalhos de campo foram identificadas falhas (desfolhas) no dossel do plantio por meio da observação em tela de computador, utilizando-se a composição Vermelho, Verde e Azul (Red, Green e Blue - RGB) do satélite Landsat 5, órbita 225, ponto 072, na data 21-11-2004 (Figura 5). A imagem foi registrada com Raiz do Erro do Quadrado Médio (*Root Mean Square Error* - RMSE) menor que 0,5 e posteriormente adicionada ao Google Earth para definição dos respectivos pontos de coletas. Os pontos amostrais foram adicionados ao aparelho de localização global para servir de guia no momento da coleta em campo das amostras de raízes e solo no campo experimental.



**Figura 5.** Composição RGB da data de 21-11-2004.

Foram definidos 167 pontos amostrais nas falhas da imagem RGB de 21-11-2004 e adicionados ao aparelho de localização global e nos dias das coletas em campo, em maio de 2013, foram selecionados 98 pontos amostrais em novas coordenadas geográficas, de forma aleatória na área de estudo, com o aparelho de localização global, totalizando 265 pontos amostrais. Em novembro de 2013 foram coletados 227 pontos amostrais na área (Figura 6). Na figura 6, os pontos amostrais com a bandeira verde e os pontos azuis foram aqueles predefinidos antes das coletas em campo, e com a bandeira azul foram coletados de forma aleatória no dia da amostragem na área experimental.

Em cada ponto amostral foram coletadas duas amostras em maio e duas amostras em novembro, sendo coletada uma amostra de raízes da seringueira e uma amostra de solo ao redor das raízes coletadas, em cada período, com profundidade de 0,10 m. Os pontos amostrais foram distribuídos em toda a área experimental em grade irregular, devido ao fato da distribuição de plantio dos clones apresentar-se de forma irregular, e a infestação ocorrer em todo o plantio.



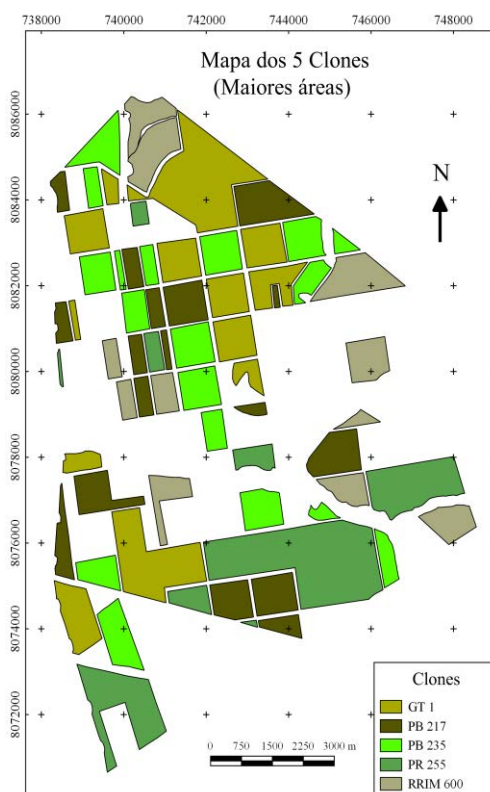
**Figura 6.** (A) – representa os pontos coletados no mês de maio de 2013; (B) – representa os pontos coletados em novembro de 2013.

O peso das amostras processadas para análises foi de 0,010 kg das raízes de seringueira e para o solo foram utilizados 0,100 litros. Em novembro a área pertencente ao Assentamento Rural foi excluída da malha amostral, por isso ocorreram 41 pontos amostrais a menos em relação a maio. Para a localização do ponto amostral, utilizou-se um GPS com precisão de 4 a 5 metros e sistema de referência adotado WGS84 21 Sul, com sistema UTM.

#### 5.2.1 Descrição dos principais clones da área de estudo

A área experimental apresenta 22 clones, sendo os seguintes: GT 1 (idade entre 24 e 35 anos), PB 235 (24 à 32 anos), PB 217 (24 à 32 anos), PR 255 (14 à 31 anos), RRIM 600 (24 à 35 anos), PB 260 (23 à 28 anos), RRIM 527 (26 à 32 anos), FX 3864 (25 à 30 anos), RRIM 701 (25 à 30 anos), AVROS (30 à 32 anos), IAN 873 (32 e 33 anos), PR 107 (28 à 32 anos), PB 28/59 (23 e 24 anos), PB 5/51 (30 e 31 anos), RO 38 (23 e 24 anos), PR 228 (30 anos), PB 314, IRCA 109, IRCA 111, IRCA 41, PB 255, PR 261 (32 anos) e PB 312. Os clones que estão sem idades de plantio não foram obtidas esta informação. Porém, a seguir são descritos somente os clones que apresentam maior área

cultivada no local de estudo, sendo o GT 1, com 1529 ha; PR 255, com 1251 ha; PB 235, com 1203 ha; PB 217, com 1044 ha; RRIM 600, com 880 ha (Figura 7).



**Figura 7.** Mapa com delimitação dos 5 clones de maiores áreas.

#### - Clone GT 1

Caracteriza-se como clone primário desenvolvido no seringal Gondang Tapen, em Java, Indonésia. A casca virgem é média, bastante tenra, e se renova imediatamente, não apresentando problemas à sangria. A produção tem um pequeno declínio durante a senescência. Apresenta caracteres secundários desejáveis, pois a resistência à quebra pelo vento é de média para boa e a ocorrência de seca do painel é pouco notada, salvo quando submetido à sangria intensiva. Esse clone demonstra uma tendência de aumentar a produção de látex com o passar do tempo. Na China, revelou-se tolerante às geadas de radiação e de vento (GONÇALVES, 1998).

#### - Clone PR 255

Clone do Proefstation voor Rubber, localizado na ilha de Sumatra, Indonésia. IAC, (2013) citou que é um clone de alta produção possuidor de bons caracteres secundários. Os parentais são o Tjir 1 x PR 107. O vigor no período de imaturidade é bom

e o incremento médio do caule na fase adulta é boa. Experimentos realizados pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) mostraram que ao final de cinco anos de sangria o clone PR 255, foi aquele que apresentou o maior incremento do perímetro do caule, característica importante porque as árvores continuaram a crescer após a sangria, o que diminuiu a probabilidade de quebra por ventos. Possui caule alto e reto. A copa é densa e balanceada. A incidência de queda de folha causada por antracnose, bem como a ocorrência de seca do painel é moderada.

- Clone PB 235

Caracteriza-se como clone secundário Malaio resultante do cruzamento dos clones primários PB 5/51 x PB 5/78 (Prang Besar-Malásia). A casca virgem é lisa, espessa, tenra, caracteriza-se principalmente por entrar em produção muito rápido, não apresentando problemas na sangria, a sangria tem início aos cinco anos e meio de idade, favorecido por sua grande homogeneidade. (GONÇALVES, 1998).

- Clone PB 217

Tronco ereto e regular, porém o entroncamento é baixo. Apresenta numerosos pequenos galhos e possui a arquitetura da copa bem aberta. O período de desfolhamento é tardio e homogêneo. A floração é abundante. Os frutos são pequenos (2 a 3 cm) e com alto poder germinativo, porém a taxa de fecundação é baixa, reduzindo a produção de frutos. É sensível ao vento e ao “corte seco”. Também é suscetível a doenças de folhas. Possui metabolismo intermediário com altos teores de sacarose. Responde bem a sangria quando estimulado (FONSECA, F. S. 2007, “Plantações E. Michelin, Ltda.”, comunicação pessoal).

- Clone RRIM 600

Caracteriza-se como clone secundário desenvolvido pelo Rubber Research Institute of Malaysia – RRIM, altamente produtivo, mas susceptível à quebra, produzirá mais em locais pouco afetados pelo vento. O vigor, se comparado antes e após a entrada em sangria é considerado médio. A casca por ser fina, torna-o um pouco delicado à prática de sangria; em compensação, a renovação é boa. A alta produção é seu ponto de destaque (GONÇALVES, 1998).

### 5.2.2 Imagens de satélite

As imagens utilizadas foram do satélite Landsat 5, órbita 225, ponto 072, nos anos de 2001, 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008, e Landsat 8, órbita 225, ponto 072 no ano de 2013. As imagens do Landsat 5 foram obtidas após serem disponibilizadas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, com endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> e do Landsat 8 foi obtida do site da USGS – United States Geological Service, endereço eletrônico <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Para o registro (georreferenciamento) das imagens utilizadas foi utilizada uma imagem (cena) georreferenciada LANDSAT 5 órbita 225, ponto 72, site [www Landsat.org](http://www Landsat.org), para ser a base do registro das imagens.

As imagens do satélite Landsat 5 foram utilizadas entre os anos de 2001 e 2008, órbita 225, ponto 072, sendo utilizadas as bandas 3 e 4 para a análise do Índice de Vegetação NDVI. No ano de 2013 foi utilizada a imagem do satélite Landsat 8, com órbita 225, ponto 072, data de 14-11-2013, utilizando as bandas 4 e 5, região do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente, para o cálculo do índice NDVI para posterior verificação do NDVI.

Na análise individual do NDVI para o ano de 2013, dos pixels nas coordenadas das coletas, os valores de cada pixel foram selecionados por meio do shape (perímetro de cada talhão dos clones) de recorte que delimitou os talhões dos respectivos clones. Desta forma, o pixel que ficou dentro do referido perímetro foi selecionado para a determinação do valor de NDVI na respectiva coordenada geográfica. Para a confecção de cada limite de talhão foram desconsiderados, em média, duas linhas de pixels da bordadura do talhão, retirando da análise outros objetos alvos.

As datas das imagens foram definidas conforme a disponibilidade de imagens, sem a interferência de nuvens e as análises foram realizadas nos períodos de desfolha e reenfolhamento do seringal. No período de início da desfolha natural das plantas, a análise foi no mês de abril, com imagens nas seguintes datas: 14-04-2005, 01-04-2006, 04-04-2007 e 06-04-2008, sendo do satélite Landsat 5.

A área desfolhada foi calculada baseada na área total de cada talhão. O segundo período analisado foi no mês de agosto (fim do mês) e setembro (início do mês), quando o seringal está reenfolhando e em outubro quando está totalmente reenfolhado e com falhas no dossel. As análises foram nos seguintes dias: 10-09-2001, 12-

10-2001; 02-09-2004, 04-10-2004; 05-09-2005, 07-10-2005; 28-08-2008 e 15-10-2008, do satélite Landsat 5.

### 5.2.3 Programas computacionais utilizados

Os seguintes programas computacionais foram utilizados com suas respectivas análises realizadas:

- ArcGIS versão 10.2.1 – foram criados os shapes (limites) de cada clone estudado; registro (georreferenciamento) das imagens; quantidade de números digitais de cada banda utilizada para valores com fórmula de correção atmosférica, no Excel chamado LEGAL, do programa SPRING; transformação dos polígonos dos perímetros dos 5 clones de maiores áreas para pontos georreferenciados com posterior utilização no GS+ e QGIS; transformação dos pontos georreferenciados do perímetro da área total e dos clones para coordenadas no Excel, e posteriormente foram utilizados para fazer o limite da área total da krigagem no GS+ e recorte; e separação dos pixels dentro das escalas de NDVI entre 1 e 7 com posterior quantificação dos pixels de cada escala;
- GPS TrackMaker – foi utilizado para descarregar os pontos definidos no Google Earth para o aparelho de localização global; transformação dos pontos coletados em campo, juntos com aqueles predefinidos, para o formato kmz, o qual é visualizado no Google Earth; e utilizado para organizar (retirada de pontos duplicados) os pontos aleatórios coletados em campo;
- Google Earth – os pontos amostrais predefinidos e adicionados ao aparelho de localização global foram adicionados ao Google Earth para impressão e localização geográfica da área avaliada, sendo que posteriormente os mapas impressos foram utilizados como guia no dia das coletas de amostras na área experimental;
- GS+ versão 9.0 – utilizado para a análise geoestatística, onde realizou-se o ajuste do modelo experimental do variograma; a interpolação por krigagem; confecção do mapa de

distribuição espacial de nematoides na área analisada e recorte do perímetro da área total de estudo para finalização do mapa da krigagem;

- OSgeow – utilizado para transformação radiométrica de imagem do satélite Landsat 8, passando de 16 bits para 8 bits, pois as imagens do Landsat 5 apresentam 8 bits de resolução;

- QGIS versão 2.4.0 – foi realizada a finalização dos mapas com diferentes classes de infestação realizadas pela krigagem, indo da classe 1 a 5; finalização dos mapas de índice de vegetação em 7 escalas de NDVI; correção atmosférica e calibração radiométrica da imagem Landsat 8;

- SAGA GIS versão 2.0.8 – foi realizado o recorte da área total avaliada e dos talhões dos 5 clones avaliados; cálculo do índice de vegetação NDVI; cálculo da correção atmosférica e calibração radiométrica das imagens Landsat 5; confecção da composição falsa cor Red, Green e Blue (RGB) da imagens Landsat 5 e 8; seleção dos pontos amostrais de cada clone com o recorte por meio dos shapes para posterior classificação pontual de NDVI do pixel em que se encontrou a amostra; cálculo dos dados estatísticos de valores mínimos, máximos e média do NDVI dos 5 clones nas datas entre 2001 e 2008, número de pixels do respectivo clone e coeficiente de variação dos dados de NDVI;

- EXCEL – para elaboração da fórmula de cálculo de calibração radiométrica, reflectância aparente, reflectância de superfície e correção atmosférica utilizou-se a metodologia de Gürtler et al. (2005).

### **5.3 Métodos**

#### **5.3.1 Análise nematológica**

A análise nematológica das amostras de raízes e solo foi conforme a metodologia proposta por Coolen e D'Herde (1972) e Jenkins (1964), respectivamente. Para a infestação nas raízes foi considerado o número de indivíduos em 10 g de raízes e

para o solo foi a quantidade de indivíduos em 250 ml de solo, sendo extrapolada com base nas amostras coletadas com volume de 100 ml de solo.

Depois do processamento das amostras, foram efetuadas as contagens da população total de nematoides pela metodologia na qual coleta-se 1 ml do recipiente com a suspensão de extração dos nematoides e adiciona-se na lâmina de Peters, a qual tem volume de 1 ml. Posteriormente, realiza-se a leitura/contagem de nematoides neste volume com auxílio do microscópio ótico com lente de aumento de 40 vezes. Após a contagem na lâmina, a população total foi calculada baseada no número de indivíduos encontrados na lâmina, multiplicando-se pelo volume restante no recipiente da amostra total.

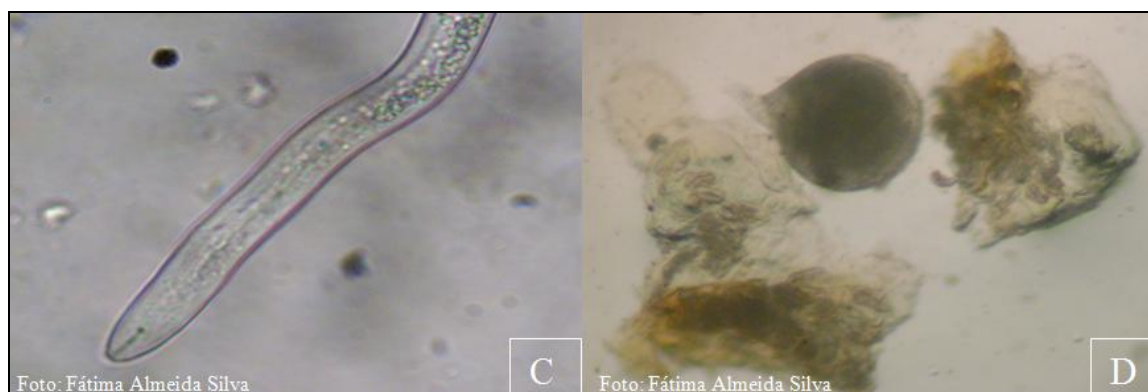
### 5.3.2 Fotos das raízes e do nematoide *M. exigua*

Raízes da *H. brasiliensis* com sintomas do ataque do *M. exigua* (Figura 8A), popularmente chamados de galhas, apresentando engrossamento das raízes, dificultando assim a absorção de água e nutrientes. Nematóide no estágio de J2 (Figura 8B), o qual ocorre após a fase de ovo, ficando livre no solo para infectar o hospedeiro.

Nematóide com seu estilete, semelhante a agulha (Figura 9C), e da fêmea juntamente com massa de ovos de outras fêmeas (Figura 9D) que foram espremidas na lamina para serem fotografadas. O estilete tem a função de penetração do nematóide na raiz e posteriormente injetar toxinas nas células da planta hospedeira para formação da célula gigante.



**Figura 8.** Raízes com presença do *M. exigua* (A) e estágio de juvenil J2 (B).



**Figura 9.** Parte do nematoide com seu estilete (C) e da fêmea com ovos de outras fêmeas que foram esmagadas na lâmina (D).

A foto das raízes com galhas foi tirada na coleta de maio de 2013, logo após a retirada na profundidade de 0,10 metros na área experimental, conforme recomenda-se o método de coleta. As fotos dos nematoides foram tiradas no microscópio eletrônico com aumento de 40 vezes e uma máquina fotográfica digital acoplada na lente do microscópio.

### 5.3.3 Análise geoestatística

Para verificar a existência e estimar o grau de dependência espacial entre as populações de nematoides na raiz e no solo, foi baseada na metodologia de Vieira et al. (1983). Após o ajuste do variograma foi realizada a krigagem, a qual usa informações a partir do variograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos. Posteriormente foi confeccionado o mapa de distribuição espacial de nematoides na área analisada.

### 5.3.4 Geoprocessamento

Com as populações de nematoides encontradas em cada ponto coletado em campo, foi feita a correlação destas infestações pontuais com a escala de NDVI das plantas durante o período que a seringueira possivelmente estava estressada pela incidência dos nematoides, em abril e outubro. Foram identificados os índices de NDVI de

cada pixel da imagem do satélite Landsat 8 do ano de 2013 e possível nível de infestação pelo nematoide.

O processamento digital da imagem de satélite foi realizado em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para melhorar a qualidade da imagem, sendo elaborada em duas etapas independentes: pré-processamento e análise de Índice de Vegetação NDVI.

#### 5.3.4.1 Pré-processamento

No pré-processamento foi realizada a preparação dos dados da imagem digital para a execução do NDVI, onde utilizou-se técnicas visando melhorar a qualidade dos dados, fazendo calibração radiométrica, correção atmosférica, realce da coloração, retificando geometricamente e registrando as imagens.

A imagem de forma bruta obtida do satélite Landsat 5 apresenta-se em formato de números digitais (ND) dos alvos, e para a análise foi necessário a calibração radiométrica, que é a transformação de ND para radiância espectral absoluta. Devido a presença de aerossóis atmosféricos, vapor d'água e ozônio realizou-se a correção atmosférica para minimização da interferência destes elementos na reflectância de superfície dos objetos alvos. Posteriormente foi realizada a conversão desta para reflectância aparente e depois para reflectância de superfície.

Posteriormente foi realizado o realce das imagens, por meio de técnicas de contraste da composição colorida RGB, onde foram empregadas nas fases preliminares do processo, para auxiliar na distinção de alvos. No realce da imagem, os dados foram processados para melhorar o contraste espectral, por meio do ajuste dos valores de níveis de cinza mais altos e mais baixos, regulando até um nível de cinza adequado para as análises.

Na correção geométrica ou registro das imagens elimina-se ao máximo o deslocamento geográfico devido ao movimento do satélite e da curvatura da Terra. As imagens utilizadas referentes a órbita ponto disponibilizadas pelo INPE foram registradas com base em 15 pontos de controle nas imagens de mesma órbita ponto, já georreferenciada, disponibilizadas no site [www Landsat.org](http://www Landsat.org). O RMSE do registro foi menor que 0,5 pixel para as imagens dos satélites utilizados.

#### 5.3.4.2 Análise de Índice de Vegetação NDVI

Para a representação das imagens de sensoriamento remoto dos índices de vegetação foi utilizada a metodologia desenvolvida por Rouse et al. (1974), onde o NDVI é a razão entre a diferença da medida da reflectância nos canais do infravermelho próximo (0,70 – 1,30  $\mu\text{m}$ ) e vermelho (0,55 – 0,70  $\mu\text{m}$ ) e a soma desses canais, conforme a Equação 6:

$$NDVI = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(\rho_2 + \rho_1)} \quad (6)$$

onde:

$\rho_1$  e  $\rho_2$ , representam respectivamente, os valores da reflectância na região do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético de objetos na superfície terrestre.

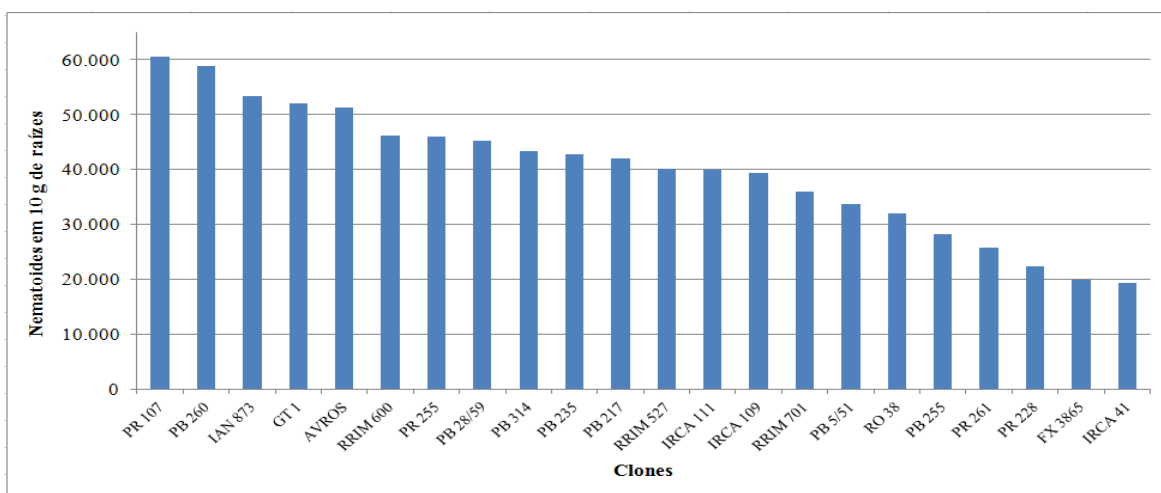
As cores utilizadas na escala de NDVI foram baseadas na melhor interpretação visual do mapa pelo leitor, pois baseado na escada de cores de NDVI citada na Figura 3 (página 30) seria de difícil interpretação, devido ocorrer a confusão entre as cores. Com as técnicas de realce de imagem por meio de índices de vegetação, aumenta-se o brilho das áreas vegetadas, melhorando a aparência da distribuição espacial de informações das imagens, tornando-as de fácil interpretação visual e computacional.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Infestações nos Clones

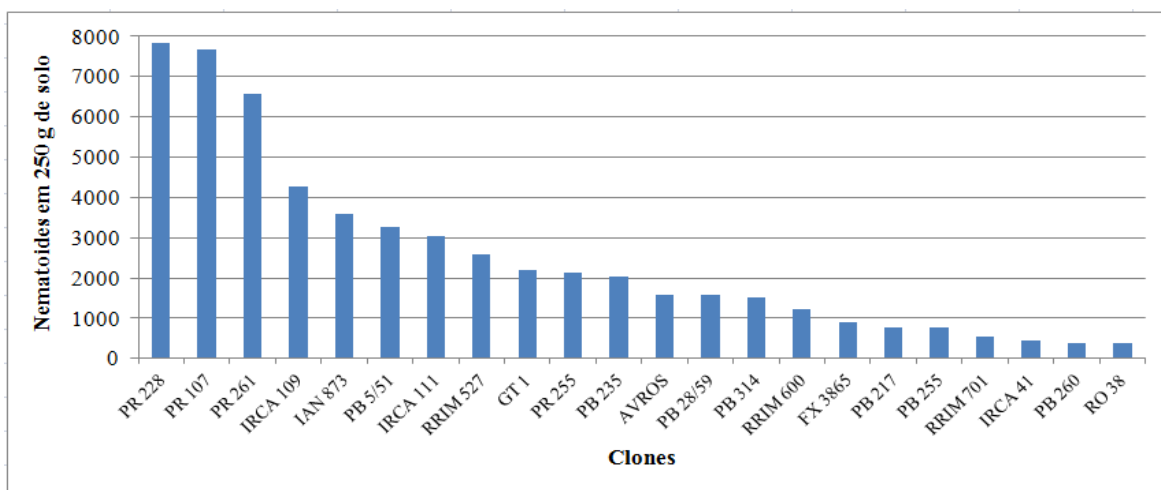
Em maio, os clones com as três maiores infestações médias em 10 g de raízes foram PR 107, PB 260 e IAN 873, com infestações de 60.629, 58.929 e 53.437 nematoides em 10 g de raízes, respectivamente. As maiores populações são apresentadas na sequência a seguir, onde os clones GT 1, RRIM 600, PR 255, PB 235 e PB 217, apresentaram infestações médias de 52.031 (4ª maior), 46.284 (6ª maior), 45.991 (7ª maior), 42.757 (10ª maior), 42.016 nematoides em 10 g de raízes (11ª maior), respectivamente (Figura 10), sendo que todas foram muito altas.

Dentre os 5 clones avaliados, o GT 1 apresentou a maior população média e o PB 217 apresentou a menor população. Já para os 22 clones o PR 107 apresentou maior população e a menor população foi o IRCA 41, com infestações de 60.629 e 19.430 nematoides em 10 g de raízes, respectivamente (Figura 10). Devido ao fato de a maior infestação ocorrer nas raízes, quando for realizar análises de populações de *M. exigua* pode ser considerado este fato e coletar e analisar somente as raízes. Com isto ocorre a redução de tempo no processo de coleta, sem ocorrer a coleta de solo na área a ser analisada e consequentemente diminui o custo de análise em laboratório.



**Figura 10.** Médias de populações de nematoides em 10 g de raízes, nos 22 clones avaliados na segunda quinzena de maio de 2013.

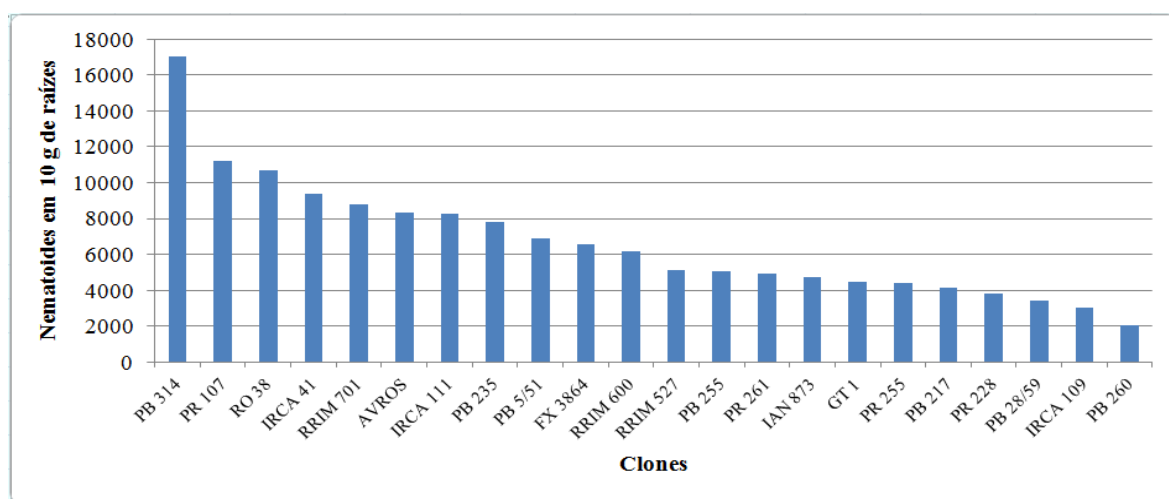
No solo, o clone com maior infestação foi o PR 228 e menor foi o RO 38, com populações de 7.846 e 365 nematoides em 250 g de solo, respectivamente. Para os 5 clones de maiores áreas, a sequência dos clones de maiores infestações foi o GT 1, PR 255, PB 235, RRIM 600 e PB 217, e apresentando infestações médias de 2.194 (9ª maior), 2.122 (10ª maior), 2.050 (11ª maior), 1.228 (15ª maior), 781 nematoides em 250 g de solo (17ª maior), respectivamente (Figura 11). As maiores infestações não apresentaram correlação com as populações nas raízes, pois em boas condições do hospedeiro o J2 fica na superfície da raiz.



**Figura 11.** Médias de populações de nematoides em 250 ml de solo, nos 22 clones avaliados na segunda quinzena de maio de 2013.

A maior e menor população foi encontrada no clone PB 314 e PB 260, com infestações de 17.008 e 2.076 nematoides em 10 g de raízes, respectivamente. No

segundo semestre os 5 clones de maiores áreas apresentaram infestações variando de 7.799 nematoides em 10 g de raízes, clone PB 235, até 4.120 nematoides em 10 g de raízes, clone PB 217, sendo valores máximos e mínimos com 85,01% e 90,19% (Figura 12) abaixo daqueles encontrados em maio, respectivamente. As maiores populações, entre os 5 clones, foram do clone GT 1 em maio, e em novembro foi o clone PB 235, porém nas menores infestações, em ambos os meses, foi o clone PB 217. A diferença de idade entre os clones pode ser descartada, devido ao fato de os cinco clones de maiores áreas plantadas serem plantados de forma simultânea, porém em anos diferentes e em sequência cronológica de anos. Outro fator que deve ser considerado é a infestação inicial nos diferentes clones, porém neste caso não pôde ser verificado.

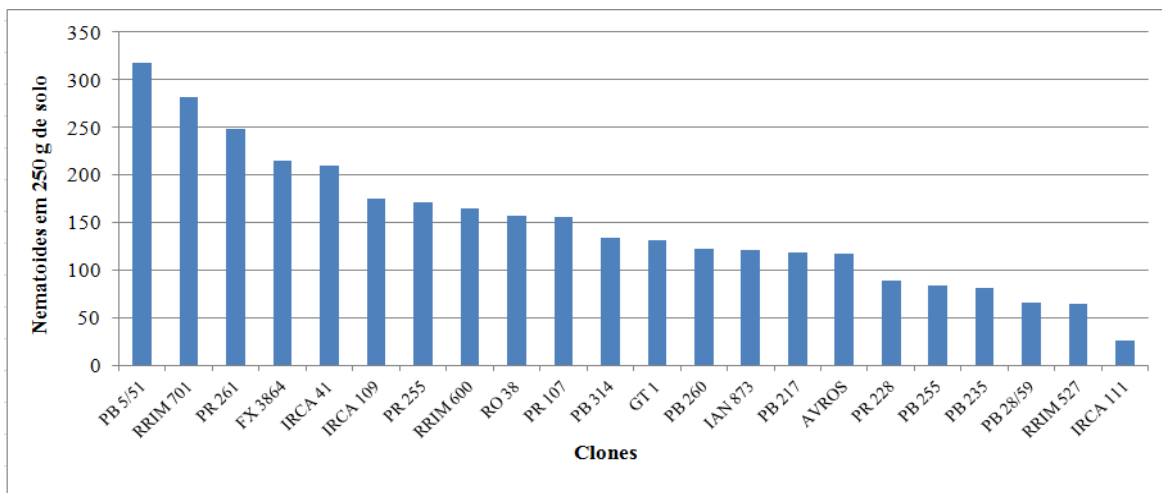


**Figura 12.** Médias de populações de nematoides em 10 g de raízes, nos 22 clones avaliados na primeira quinzena de novembro de 2013.

As infestações nos clones GT 1, PB 217, PB 235, PR 255 e RRIM 600 foram de 132 (12ª posição), 119 (15ª posição), 82 (19ª posição), 172 (7ª posição) e 165 nematoides em 250 g de solo (8ª posição), respectivamente. As três maiores infestações foram dos clones PB 5/51, RRIM 701 e PR 261, com 318, 282 e 248 nematoides em 250 g de solo, respectivamente, e a menor infestação foi no clone IRCA 111, com 26 nematoides em 250 g de solo (Figura 13).

A média de infestação de maio foi de 95,95% maior que em novembro para as maiores infestações e 92,88% de redução para as menores populações, sendo que os clones foram o PR 228 e RO 38 em maio (Figura 13); e PB 5/51 e IRCA 111 em novembro, com maiores e menores números de nematoides, respectivamente. No solo, os clones foram diferentes nas quatro populações e sendo diferentes daqueles da população

nas raízes, demonstrando que a infestação no solo não tem correlação com as raízes, pois a maior população sempre será nas raízes, devido ao alimento presente no local.



**Figura 13.** Médias de populações de nematoides em 250 g de solo, nos 22 clones avaliados na primeira quinzena de novembro de 2013.

Na Tabela 3 são apresentadas as infestações médias em 10 g de raízes que variou de 167 até 260.364 nematoides (ovos e juvenis J2) no mês de maio, no clone PR 255 e PR 107, respectivamente. No mês de novembro variou de 0 (Clones RRIM 527 e RRIM 600) até 75.250 nematoides em 10 g de raízes, no clone PB 235, desta forma houve uma redução de 71,1% da maior infestação em maio em relação a novembro.

As infestações médias do solo no mês de maio foram de 0 nos clones GT 1, PB 217, PB 235, PB 255, PB 28/59, PB 314, PR 107, PR 255, RO 38, RRIM 527, RRIM 600 e RRIM 701 e 68.175 nematoides em 250 g de solo no clone PR 107. No mês de novembro ocorreu infestação de 0 nos clones AVROS, FX 3864, GT 1, IAN 873, IRCA 109, IRCA 111, PB 217, PB 235, PB 255, PB 260, PB 28/59, PB 314, PB 5/51, PR 107, PR 228, PR 255, PR 261, RRIM 527, RRIM 600 e RRIM 701 até 988 nematoides em 250 g de solo no clone FX 3864 diminuindo em 98,55% a população entre maio e novembro (Tabela 3).

Estas reduções das populações nas raízes e no solo provavelmente ocorreram devido ao período que a planta desfolha naturalmente, segundo Moraes (1983), chamado de hibernação, que ocorre regionalmente entre os meses de junho e agosto (alguns clones desfolham em junho e outros em julho ou agosto). A redução da infestação no solo foi maior devido a menor população e reprodução nas raízes, consequentemente haverá menos ovos liberados no solo e menos migração dos J2 da raiz para o solo.

Na Tabela 3 estão demonstrados os totais de amostras utilizadas nos cálculos posteriores a análise nematológica, ou seja, na análise variográfica e interpolação pela krigagem, nos 22 clones e nos meses de maio e novembro. Nas análises nematológicas de maio ocorreram 4 perdas de amostras de raízes e 1 perda de amostra de solo, ocorrendo perdas somente no mês de maio, sendo que o total de amostras no mês de maio foram de 261 amostras de raízes e 264 amostras de solo, e em novembro foram utilizadas 227 amostras de raízes e de solo.

**Tabela 3.** Número de amostras, médias de nematoides nas raízes e no solo e variação populacional nos 22 clones avaliados

| Clones   | Meses           | Número de amostras | Média de nematoides/ 10 de raízes | Média de nematoides/ 250 g de solo | Variação populacional (ovos e juvenis J2) |
|----------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| AVROS    | Maio - raiz     | 11                 | 51.359                            | -                                  | 7.440 – 155.040                           |
|          | Novembro - raiz | 6                  | 8.343                             | -                                  | 620 – 18.000                              |
|          | Maio - solo     | 11                 | -                                 | 1.595                              | 60 – 3.380                                |
|          | Novembro - solo | 6                  | -                                 | 117                                | 0 – 240                                   |
| FX 3864  | Maio - raiz     | 10                 | 20.052                            | -                                  | 1.440 – 72.624                            |
|          | Novembro - raiz | 10                 | 6.561                             | -                                  | 460 – 17.690                              |
|          | Maio - solo     | 10                 | -                                 | 912                                | 180 – 2.455                               |
|          | Novembro - solo | 10                 | -                                 | 215                                | 0 – 988                                   |
| GT 1     | Maio - raiz     | 29                 | 52.031                            | -                                  | 2.640 – 159.840                           |
|          | Novembro - raiz | 27                 | 4.470                             | -                                  | 300 – 13.860                              |
|          | Maio - solo     | 29                 | -                                 | 2.194                              | 0 – 28.000                                |
|          | Novembro - solo | 27                 | -                                 | 132                                | 0 – 611                                   |
| IAN 873  | Maio - raiz     | 12                 | 53.437                            | -                                  | 10.080 – 120.900                          |
|          | Novembro - raiz | 11                 | 4.724                             | -                                  | 750 – 9.620                               |
|          | Maio - solo     | 12                 | -                                 | 3.602                              | 195 – 28.750                              |
|          | Novembro - solo | 11                 | -                                 | 122                                | 0 – 375                                   |
| IRCA 109 | Maio - raiz     | 8                  | 39.375                            | -                                  | 8.700 – 70.992                            |
|          | Novembro - raiz | 8                  | 3.061                             | -                                  | 940 – 5.920                               |
|          | Maio - solo     | 8                  | -                                 | 4.275                              | 105 – 14.110                              |
|          | Novembro - solo | 8                  | -                                 | 175                                | 0 – 805                                   |
| IRCA 111 | Maio - raiz     | 4                  | 39.955                            | -                                  | 5.980 – 112.730                           |
|          | Novembro - raiz | 4                  | 8.286                             | -                                  | 2.392 – 13.950                            |
|          | Maio - solo     | 4                  | -                                 | 3.028                              | 2.030 – 5.280                             |
|          | Novembro - solo | 4                  | -                                 | 26                                 | 0 – 58                                    |
| IRCA 41  | Maio - raiz     | 4                  | 19.430                            | -                                  | 12.788 – 31.500                           |
|          | Novembro - raiz | 1                  | 9.350                             | -                                  | 9.350                                     |
|          | Maio - solo     | 4                  | -                                 | 449                                | 73 – 1.138                                |
|          | Novembro - solo | 1                  | -                                 | 210                                | 210                                       |

continua....

continuação...

| Clones   | Meses           | Número de amostras | Média de nematoides/ 10 de raízes | Média de nematoides/ 250 g de solo | Variação populacional (ovos e juvenis J2) |
|----------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| PB 217   | Maio - raiz     | 29                 | 42.017                            | -                                  | 1.620 – 200.615                           |
|          | Novembro - raiz | 24                 | 4.120                             | -                                  | 480 – 10.120                              |
|          | Maio - solo     | 29                 | -                                 | 781                                | 0 – 6.240                                 |
|          | Novembro - solo | 24                 | -                                 | 119                                | 0 – 534                                   |
| PB 235   | Maio - raiz     | 25**               | 42.757                            | -                                  | 3.450 – 169.684                           |
|          | Novembro - raiz | 24                 | 7.799                             | -                                  | 1.380 – 75.250                            |
|          | Maio - solo     | 27                 | -                                 | 2.050                              | 0 – 32.400                                |
|          | Novembro - solo | 24                 | -                                 | 82                                 | 0 – 293                                   |
| PB 255   | Maio - raiz     | 8                  | 28.316                            | -                                  | 1.820 – 122.450                           |
|          | Novembro - raiz | 8                  | 5.072                             | -                                  | 780 – 25.740                              |
|          | Maio - solo     | 8                  | -                                 | 767                                | 0 – 3.300                                 |
|          | Novembro - solo | 8                  | -                                 | 84                                 | 0 – 147                                   |
| PB 260   | Maio - raiz     | 5                  | 58.929                            | -                                  | 7.964 – 186.136                           |
|          | Novembro - raiz | 5                  | 2.076                             | -                                  | 340 – 4.080                               |
|          | Maio - solo     | 5                  | -                                 | 374                                | 85 – 520                                  |
|          | Novembro - solo | 5                  | -                                 | 123                                | 0 – 297                                   |
| PB 28/59 | Maio - raiz     | 7                  | 45.240                            | -                                  | 2.340 – 109.344                           |
|          | Novembro - raiz | 4                  | 3.431                             | -                                  | 1.760 – 4.800                             |
|          | Maio - solo     | 7                  | -                                 | 1.583                              | 0 – 7.200                                 |
|          | Novembro - solo | 4                  | -                                 | 67                                 | 0 – 120                                   |
| PB 314   | Maio - raiz     | 8                  | 43.422                            | -                                  | 13.920 – 100.320                          |
|          | Novembro - raiz | 8                  | 17.008                            | -                                  | 4.620 – 50.100                            |
|          | Maio - solo     | 8                  | -                                 | 1.517                              | 0 – 6.665                                 |
|          | Novembro - solo | 8                  | -                                 | 135                                | 0 – 302                                   |
| PB 5/51  | Maio - raiz     | 7                  | 33.713                            | -                                  | 8.889 – 59.733                            |
|          | Novembro - raiz | 6                  | 6.887                             | -                                  | 1.290 – 14.350                            |
|          | Maio - solo     | 6*                 | -                                 | 3.271                              | 290 – 10.625                              |
|          | Novembro - solo | 6                  | -                                 | 318                                | 0 – 590                                   |
| PR 107   | Maio - raiz     | 10*                | 60.629                            | -                                  | 7.080 – 260.364                           |
|          | Novembro - raiz | 9                  | 11.236                            | -                                  | 2.040 – 61.380                            |
|          | Maio - solo     | 11                 | -                                 | 7.686                              | 0 – 68.175                                |
|          | Novembro - solo | 9                  | -                                 | 156                                | 0 – 645                                   |
| PR 228   | Maio - raiz     | 7                  | 22.398                            | -                                  | 2.430 – 57.180                            |
|          | Novembro - raiz | 6                  | 3.848                             | -                                  | 1.560 – 12.000                            |
|          | Maio - solo     | 7                  | -                                 | 7.846                              | 185 – 29.150                              |
|          | Novembro - solo | 6                  | -                                 | 90                                 | 0 – 155                                   |
| PR 255   | Maio - raiz     | 22                 | 45.991                            | -                                  | 167 – 134.400                             |
|          | Novembro - raiz | 12                 | 4.437                             | -                                  | 940 – 12.600                              |
|          | Maio - solo     | 22                 | -                                 | 2.122                              | 0 – 24.050                                |
|          | Novembro - solo | 12                 | -                                 | 172                                | 0 – 700                                   |
| PR 261   | Maio - raiz     | 4                  | 25.827                            | -                                  | 1.377 – 52.402                            |
|          | Novembro - raiz | 4                  | 4.934                             | -                                  | 1.760 – 8.580                             |
|          | Maio - solo     | 4                  | -                                 | 6.580                              | 360 – 24.000                              |
|          | Novembro - solo | 4                  | -                                 | 248                                | 0 – 585                                   |

continua...

continuação...

| Clones             | Meses           | Número de amostras | Média de nematoides/ 10 de raízes | Média de nematoides/ 250 g de solo | Variação populacional (ovos e juvenis J2) |
|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| RO 38              | Maio - raiz     | 6                  | 31.960                            | -                                  | 3.252 – 94.927                            |
|                    | Novembro - raiz | 6                  | 10.677                            | -                                  | 3.240 – 27.300                            |
|                    | Maio - solo     | 6                  | -                                 | 365                                | 0 – 980                                   |
|                    | Novembro - solo | 6                  | -                                 | 158                                | 48 – 324                                  |
| RRIM 527           | Maio - raiz     | 11                 | 40.103                            | -                                  | 3.142 – 104.500                           |
|                    | Novembro - raiz | 11                 | 5.139                             | -                                  | 0 – 19.240                                |
|                    | Maio - solo     | 11                 | -                                 | 2.592                              | 0 – 12.500                                |
|                    | Novembro - solo | 11                 | -                                 | 65                                 | 0 – 210                                   |
| RRIM 600           | Maio - raiz     | 26*                | 46.284                            | -                                  | 5.400 – 197.918                           |
|                    | Novembro - raiz | 25                 | 6.170                             | -                                  | 0 – 27.690                                |
|                    | Maio - solo     | 27                 | -                                 | 1.228                              | 0 – 8.400                                 |
|                    | Novembro - solo | 25                 | -                                 | 165                                | 0 – 763                                   |
| RRIM 701           | Maio - raiz     | 8                  | 36.039                            | -                                  | 5.940 – 86.800                            |
|                    | Novembro - raiz | 6                  | 8.763                             | -                                  | 2.150 – 28.880                            |
|                    | Maio - solo     | 8                  | -                                 | 543                                | 0 – 1.485                                 |
|                    | Novembro - solo | 6                  | -                                 | 282                                | 0 – 900                                   |
| Totais de amostras | Maio - raiz     | 261                | -                                 | -                                  | -                                         |
|                    | Novembro - raiz | 227                | -                                 | -                                  | -                                         |
|                    | Maio - solo     | 264                | -                                 | -                                  | -                                         |
|                    | Novembro - solo | 227                | -                                 | -                                  | -                                         |

- Números de amostras com \* representa que ocorreu perda de uma amostra e \*\* representa perda de duas amostras durante o processo de análise nematológica.

As plantas avaliadas exibiam severos sintomas da doença, com grande quantidade de galhas nas raízes, variando a intensidade da sua presença entre os clones, mas com presença em todos. Os dados encontrados na presente avaliação são semelhantes ao encontrado por Bernardo et al. (2003), onde encontraram infestação de 61.824 juvenis/5 g de raízes, em levantamento realizado no município de São José do Rio Claro, MT, em 1998. Estes dados demonstram que o patógeno apresenta agressividade alta e controle difícil.

Santos (1995) descreveu que o *M. exigua* ocorre endemicamente na Amazônia e Pré-Amazônia, sendo essa na região de Cerrado limítrofe à Amazônia, local onde se encontra a avaliação efetuada. Na época do plantio, na década de 1980, a vegetação de Cerrado foi desmatada e posteriormente a seringueira foi plantada no local. Desta forma, ocorreu a seleção do *M. exigua* fitoparasita da seringueira e, conseqüentemente, sua população aumentou de forma descontrolada, pois os predadores naturais estavam em menor quantidade ou ausentes.

Para os tratos culturais na área total, a forma de manejo da plantação com gradagens e movimentação dos maquinários dispersou o nematoide no seringal, sendo que em locais onde possivelmente estava ausente, os maquinários povoaram com o *M. exigua*. Esta fato concorda com Sharma et al. (1992), que citaram que a gradagem favorece a dispersão e o aumento do nível de infestação do nematoide.

## 6.2 Análise Variográfica

A geoestatística trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e aquelas totalmente determinísticas. Caso as variáveis de estudo apresentem dependência espacial é necessário que esta seja avaliada utilizando-se do variograma (SILVA, 1988; LANDIM, 2003). Na análise variográfica foram confeccionados os variogramas das infestações nas raízes e no solo, para os meses de maio e novembro. Nos variogramas são demonstrados os modelos de variograma utilizados, efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C$ ), alcance (a) e o índice de dependência espacial (IDE).

O modelo exponencial foi utilizado nas amostras de solo dos dois meses e na amostra de raízes do mês de maio e o modelo gaussiano foi utilizado para as amostras de raízes em novembro (Tabela 4). Vieira et al. (1981) citaram que o ajuste de um modelo teórico ao variograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da teoria das variáveis regionalizadas, sendo que os cálculos de geoestatística dependem do valor do modelo do variograma para cada distância especificada.

**Tabela 4.** Modelo e parâmetros dos variogramas para a infestação de nematoides em seringueira

| Variáveis                | Pontos | Modelo      | A (m)    | ( $C_0$ )   | ( $C_0 + C$ ) | IDE (%) |
|--------------------------|--------|-------------|----------|-------------|---------------|---------|
| <b>Raízes (maio)</b>     | 259    | Exponencial | 1.260    | 236.000.000 | 1.672.000.000 | 86      |
| <b>Raízes (novembro)</b> | 221    | Gaussiano   | 8.452,41 | 29.000.000  | 66.340.000    | 56      |
| <b>Solo (maio)</b>       | 260    | Exponencial | 4.530    | 5.160.000   | 14.410.000    | 64      |
| <b>Solo (novembro)</b>   | 222    | Exponencial | 2.050    | 10.770      | 18.550        | 42      |

Posteriormente ao ajuste do modelo de variograma foi realizada interpolação dos dados pelo método da krigagem ordinária, onde foram confeccionados os mapas de distribuição espacial das infestações de nematoides nas raízes e no solo, para os meses de maio e novembro. O mapa da infestação foi para a área total, mas os talhões com os 5 clones de maior área foram delimitados e realizados seus respectivos recortes baseados no mapa da área total.

Os alcances (a) nas quatro variáveis foram de 8.452,41; 4.530; 2.050 e 1.260 metros nas variáveis das raízes em novembro, solo em maio, solo em novembro e raízes em maio, respectivamente (Tabela 4). Estes alcances demonstram que até os referidos valores ocorre dependência espacial entre os pares de pontos, e acima destas distancias os pares de pontos com as infestações são excluídos da interpolação por krigagem. Souza (1992) afirmou que amostras separadas por distâncias menores que o alcance (a) são espacialmente dependente, e que o mesmo é também utilizado para definir o raio de ação máximo de interpolação por krigagem, onde os pesos utilizados na ponderação podem afetar os valores estimados.

Os efeitos pepita ( $C_0$ ) encontrados foram de 236.000.000, 29.000.000, 5.160.000 e 10.770 (Tabela 4) nas variáveis raízes em maio e novembro, e solo em maio e novembro, respectivamente. No estudo, o efeito pepita foi alto devido à distância entre os pontos coletados apresentarem metragem alta, onde algumas foram maiores que 1 km (Tabela 4).

Os valores de patamar ( $C_0 + C$ ) encontrados foram de 1.672.000.000, 66.340.000, 14.410.000 e 18.550 (Tabela 4) para as variáveis raízes em maio e novembro, e solo em maio e novembro, respectivamente. Vieira (1997) citou que quanto menor a proporção do efeito pepita para o patamar, maior será a semelhança entre os valores vizinhos e a continuidade do fenômeno e menor a variância da estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter nas estimativas. Desta forma, a variável do solo em novembro foi a que apresentou maior similaridade entre os pares de pontos, pois apresentou o menor valor de patamar entre as quatro variáveis.

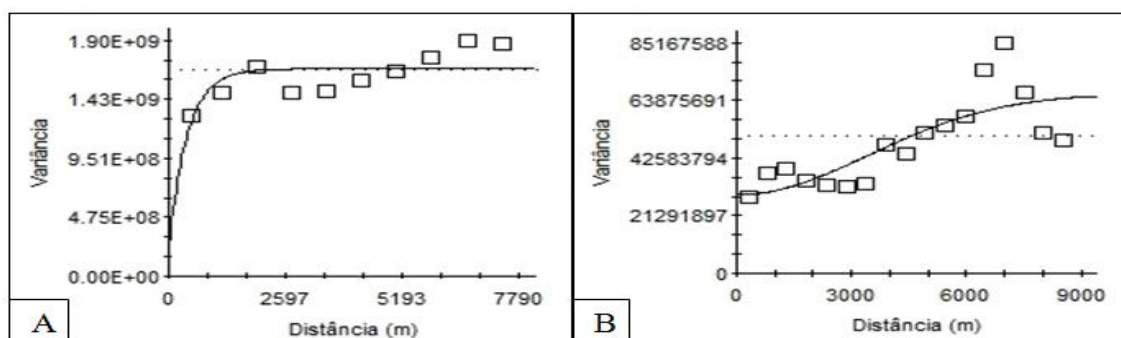
Os Índices de Dependência Espacial (IDE) encontrados foram de 86, 64, 56 e 42% (Tabela 4) para as variáveis raiz e solo em maio, raiz e solo em novembro, respectivamente. Segundo a classificação de Zimback (2001), os IDE encontrados foram moderados (64, 56 e 42%) e com forte dependência espacial (86%), sendo que a forte dependência ocorreu com infestações entre 167 e 260.364 nematoides em

10 g de raízes. Os valores de IDE representam, com suas respectivas porcentagens, os valores correspondentes à influência da distância sobre a variabilidade espacial entre os pontos.

Os maiores IDE, de cada variável (raiz e solo) foram encontrados no mês de maio, uma explicação pode ser o fato de neste mês a quantidade de amostras coletadas apresentar 38 pontos a mais em relação ao mês de Novembro. Isso ocorreu, provavelmente, porque estes 38 pontos estavam em área de Assentamento Rural, sendo sem interesse para a análise.

Dentre os componentes do variograma, o efeito pepita reflete a variação de pequena escala não detectada pela amostragem, devido a presença de erros de medida (VALENTE, 1989), sendo que ocorreu valor alto, próximo ao efeito pepita puro na análise de maio (Figura 14). O patamar demonstra a distância entre os pontos amostrais que tem influência entre si, conforme Vieira (2000), o qual citou que aumentando a distância entre os pontos amostrais, a variância também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza, sendo que em novembro ocorreram maiores conjuntos de pontos amostrais no intervalo de patamar do que em maio (Figura 14).

Silva (1988) citou que o raio de ação (alcance) é um dos parâmetros principais no estudo da variabilidade espacial, onde será definida a utilização da geoestatística ou a estatística clássica, sendo que os valores encontrados para os componentes estruturais dos variogramas, dentre eles o alcance, foram altos devido ao tamanho da área avaliada, que foi de 6.646 ha.



**Figura 14.** Variograma da infestação nas raízes na área total dos meses de maio (A) e de novembro de 2013 (B).

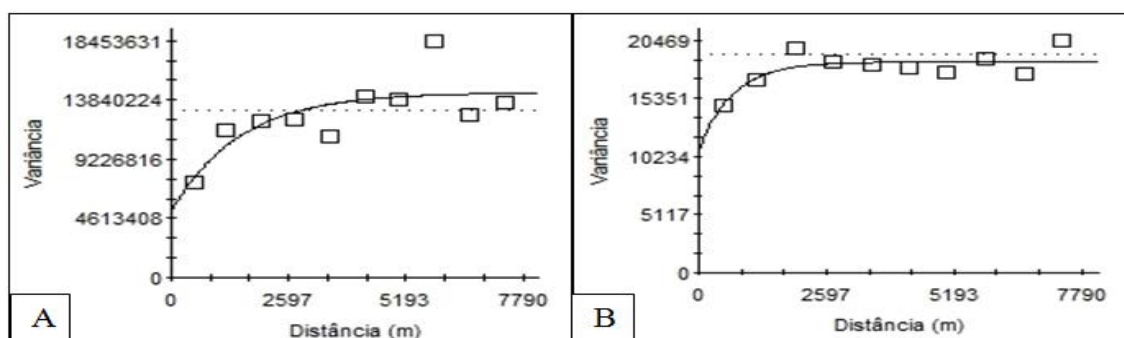
As infestações no solo encontradas foram entre 0 e 68.175 nematoides em 250 g de solo, valores mínimos e máximos, respectivamente, demonstrando que a variação das infestações foi alta. Em maio ocorreu maior valor do efeito pepita em

relação ao mês de novembro, possivelmente devido ao fato da maior quantidade de amostras coletadas neste referido mês e, conseqüentemente, apresentar maiores valores pontuais de infestações iguais a zero nematoides em 250 g de solo (Figura 15). Este componente estrutural apresenta as características citadas por Variograma...(2004), o qual o efeito pepita revela a descontinuidade do variograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras, compreendendo o valor da variância quando a distância for zero.

Journel e Huijbregts, (1978) e Lamparelli et al. (2001) citaram que o alto efeito pepita reflete que grande parte da variação encontrada é devida a variações a distâncias menores que à distância amostrada. Esta justificativa pode ser aplicada no presente estudo, pois os pontos amostrais estavam a grandes distâncias entre si.

A estabilização da curva do variograma em maio ( $C_0 + C$ ) ocorreu no valor de 14.410.000 (Figura 15A), sendo que acima deste valor do eixo Y as médias dos pares amostrais não exercem influência sobre a krigagem e, no mês de maio, ocorreu maior conjunto de pontos neste componente estrutural. A importância do patamar é citada por Cambardella et al. (1994), que é fator determinante do alcance, isto é, do limite entre a dependência e a independência espacial entre as amostras. Estes autores citaram ainda ser de grande utilidade para a escolha do método estatístico a ser usado na análise de dados, bem como na definição da distância mínima entre os pontos amostrais para garantia da independência entre amostras.

O valor encontrado para o alcance foi de 4.530 metros (Figura 15A), ou seja, os pares de pontos amostrais que estavam dentro deste intervalo de espaço eram correlacionados espacialmente, sendo que para distâncias maiores os valores amostrais eram desconsiderados para o cálculo da krigagem pontual.



**Figura 15.** Variograma da infestação no solo na área total dos meses de maio (A) e novembro de 2013 (B).

Para a infestação no solo em novembro, o variograma ajustado apresentou o modelo exponencial, com IDE de 42 %, sendo classificada como moderada dependência espacial, segundo Zimback (2001), onde as infestações foram entre 0 e 988 nematoides em 250 g de solo. O efeito pepita ( $C_0$ ) foi igual a 10.770, apresentando valor representativo e mesmo a área avaliada sendo extensa (Figura 15B) ocorreu dependência espacial entre as amostras.

O patamar ( $C_0 + C$ ) encontrado foi de 18.550 (Figura 15B e Tabela 4) onde ocorreu a estabilização da curva. Segundo Amaro Filho et al. (2007), o patamar é alcançado quando a variância da diferença entre os pares de dados se torna constante entre estes. Já no eixo X, o parâmetro representado é o alcance (a), que apresentou 2.050 metros, demonstrando metragem considerável devido à dimensão da área analisada.

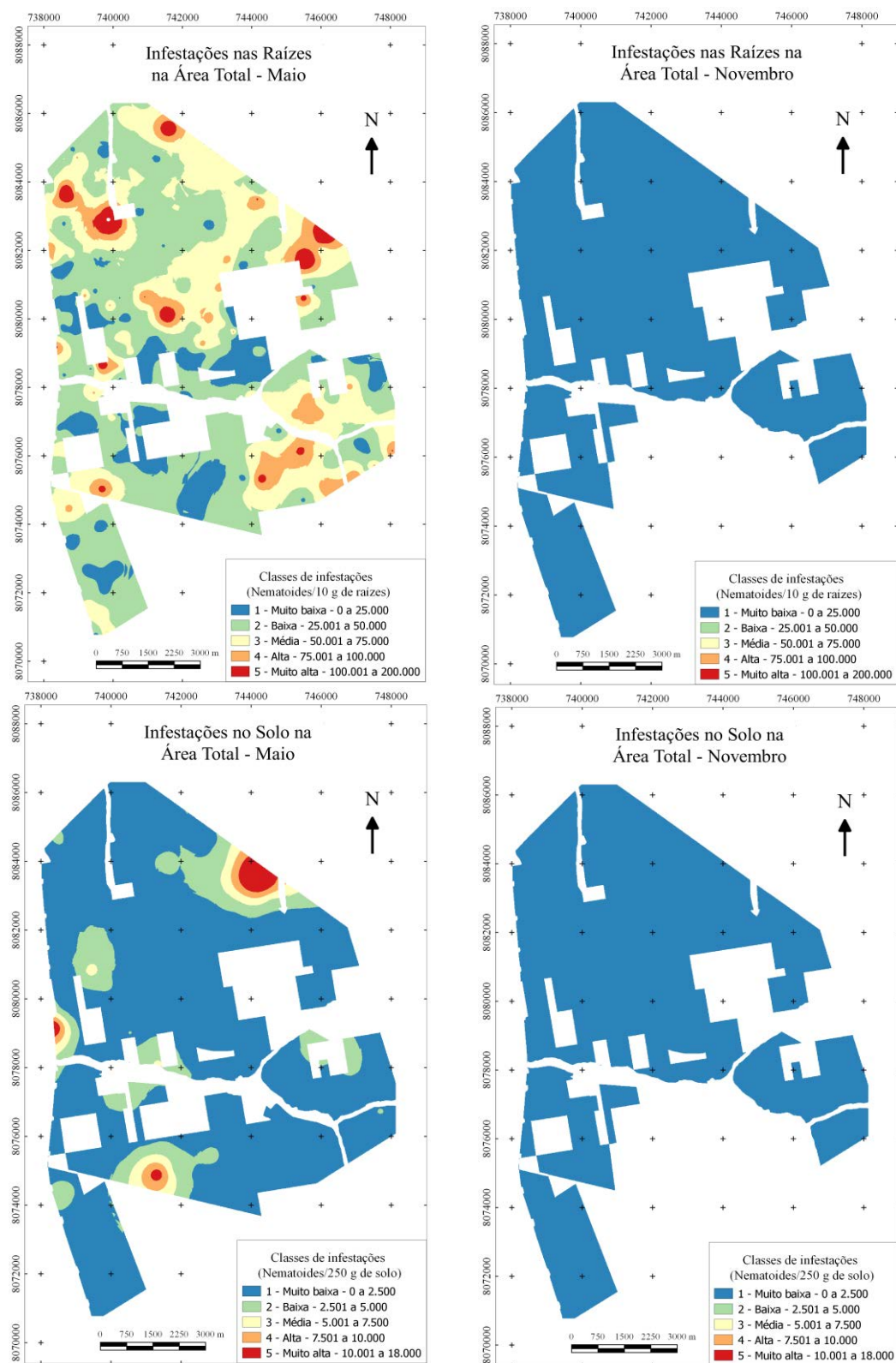
Os valores dos componentes estruturais dos variogramas foram altos nas quatro variáveis analisadas (raízes e solo em maio e novembro), sendo devido ao fato da extensão da área total ser igual a 6.646 ha, apresentando distância entre pontos amostrais de 15.572,46 m (15,57 km) e a menor distância analisada foi de 32,60 m. Para a melhoria da interpolação por meio da krigagem, estas distâncias podem ser reduzidas em análises posteriores, desta forma pode ocorrer a redução do efeito pepita e, consequentemente, minimizar a influência de variação espacial inexplicável ou variância aleatória.

A diminuição das distâncias entre pontos de estudos já realizados pode ser efetuada para a melhora da análise do comportamento da variável em questão. Desta forma recomenda-se realizar amostragem conforme citou Andriotti (2005), onde é indicado adotar como vizinhança de krigagem distâncias menores ou iguais ao alcance obtido por meio do variograma; se a quantidade de dados for suficiente, pode-se ampliar esse raio, considerando um sistema de krigagem não estacionário, ou seja, as amostras são aleatórias e independentes de uma distribuição de probabilidades simples.

### **6.3 Distribuição Espacial da Infestação**

Para a confecção dos mapas de distribuição espacial da população de nematoides foi utilizado o método da interpolação pela krigagem dos pontos com as infestações no campo, pelo qual foi gerado o mapa de distribuição espacial da infestação na área total de 6.646 ha (infestações dos 22 clones avaliados). A interpolação por

krigagem foi realizada para a área total desconsiderando as diferenças de clones em cada talhão (Figura 16).



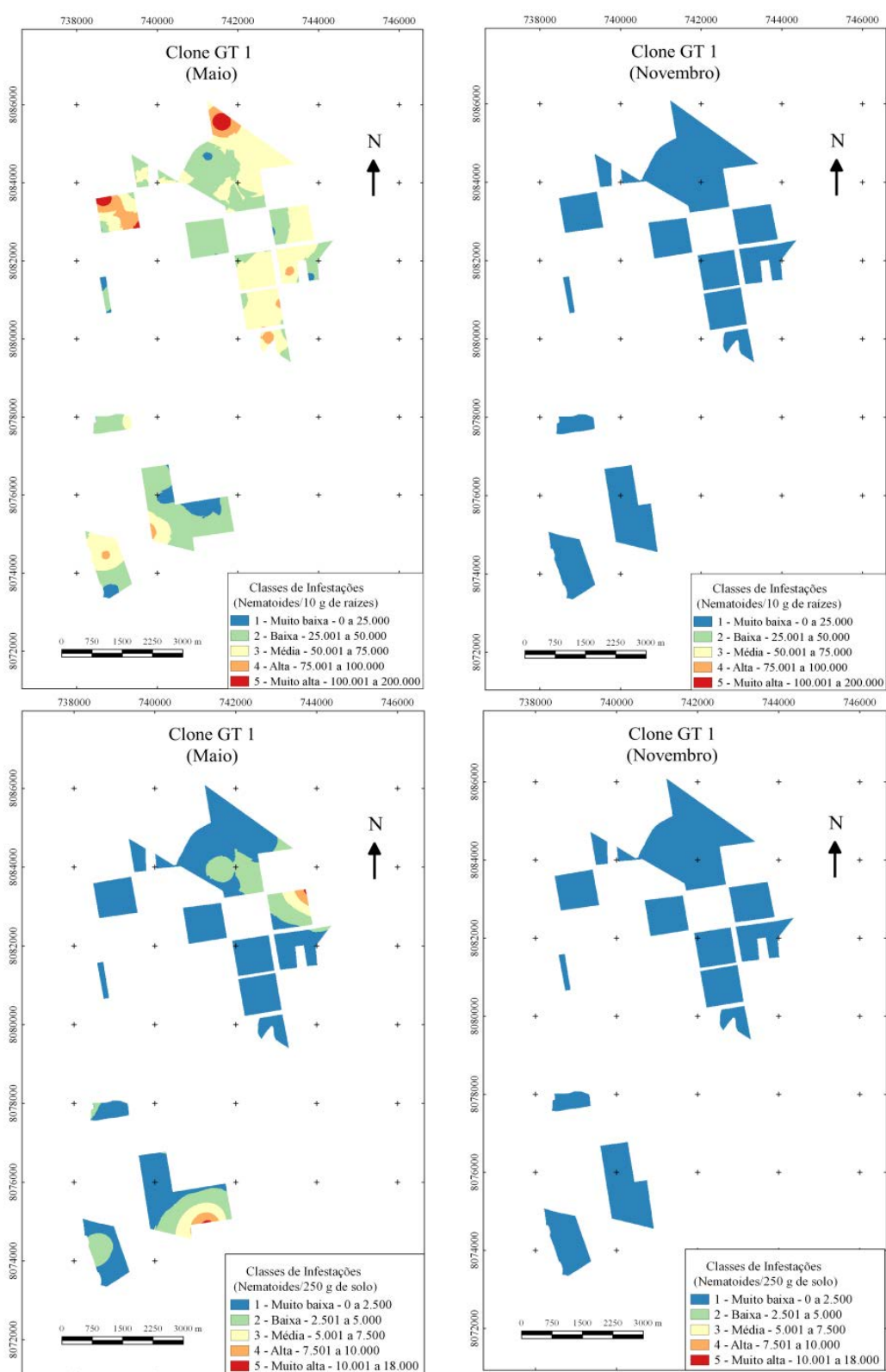
**Figura 16.** Mapas da distribuição espacial das infestações de nematoides na área total.

Posteriormente, foi realizado o recorte de cada clone para definição dos mapas de classes de infestações. Em seguida, os mapas dos talhões dos 5 clones de maior área foram recortados, sendo eles: GT1, com 1.529 ha; PR 255, com 1.251 ha; PB 235, com 1.203 ha; PB 217, com 1.044 ha; RRIM 600, com 880 ha, totalizando 5.907 ha, sendo 88,88% da área total.

Para melhorar a visualização dos resultados, as infestações de nematoides na cultura da seringueira foram divididas em cinco classes, sendo que a maior porcentagem de infestação foi de até 100.000, dividindo-se em 4 escalas e deste valor até 200.000 foi considerada muito alta. As populações nas raízes foram classificadas em muito baixa (0 a 25.000 nematoides), baixa (25.001 a 50.000 nematoides), média (50.001 a 75.000 nematoides), alta (75.001 a 100.000 nematoides) e muito alta (100.001 a 200.000 nematoides), sendo que a unidade utilizada foi de nematoides em 10 g de raízes.

Para o solo dividiu-se a infestação de 10.000 nematoides em 250 g de solo em 4 classes e deste valor até 18.000 foi considerada muito alta, sendo que as 4 primeiras classes foram determinadas devido a ocorrência de maior porcentagem dos valores de infestação serem encontradas neste intervalo e apresentar fácil interpretação conforme a divisão realizada, ou seja, cada intervalo apresentou infestações de 2.500 nematoides em 250 g de solo. As classes foram muito baixa (0 a 2.500 nematoides), baixa (2.501 a 5.000 nematoides), média (5.001 a 7.500 nematoides), alta (7.501 a 10.000 nematoides) e muito alta (10.001 a 18.000 nematoides), com unidade de nematoides em 250 g de solo. Os valores encontrados em ambas as variáveis (raízes e solo) foram altos, porém para a condição do presente experimento os valores classificados como muito baixo (classe 1) foram altos.

O mapa de distribuição espacial da infestação no clone GT 1 apresentou máxima população com 159.840 nematoides em 10 g de raízes, sendo representado na cor vermelha e a menor população foi 2.640 nematoides com cor azul, sendo no mês de maio. No mês de novembro a população foi classificada somente na primeira classe de infestação, cor azul, entre 0 e 25.000 nematoides em 10 g de raízes, variando de 300 até 13.860 nematoides em 10 g de raízes (Figura 17). Entre os meses de maio e novembro houve uma queda de 91,41% na média de infestação, sendo que a menor população no mês de novembro provavelmente ocorreu devido a hibernação da planta de seringueira, onde a planta cessa ou reduz seu metabolismo a níveis baixos.



**Figura 17.** Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone GT 1 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013.

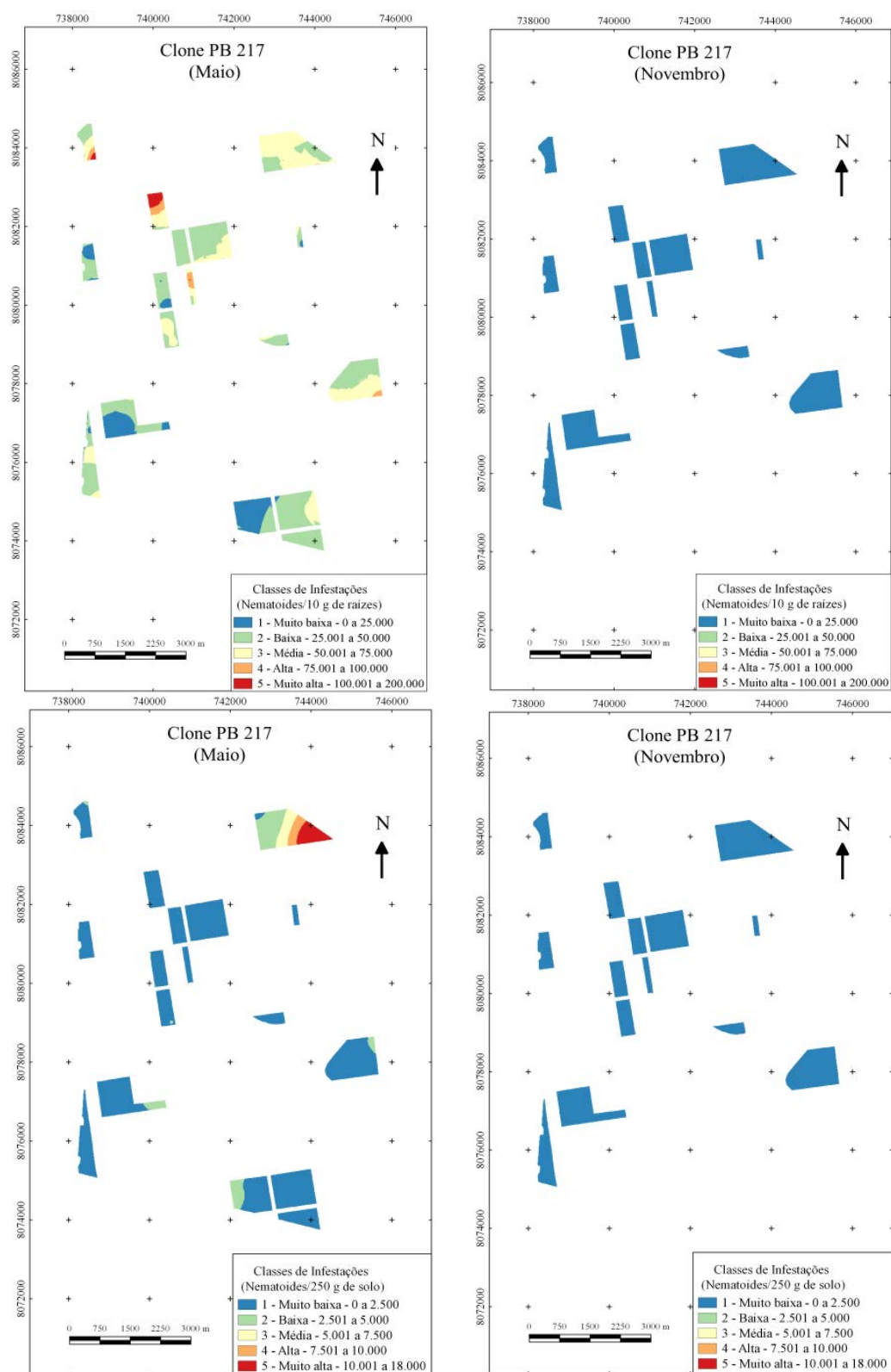
As maiores infestações nas raízes em maio, encontradas no plantio do clone GT 1 foram em dois talhões plantados em diferentes anos, sendo que aquele mais

ao norte da área foi plantado em 1987 (coordenadas UTM 21S 8085000 L/ 742000 N) e o outro talhão em 1983 (coordenadas UTM 21S 8083000 L/ 739000 N). Pode ser que antes do plantio, o local apresentava populações diferentes em número de indivíduos, porém com o passar dos anos a infestação ficou próxima da encontrada no ano de 2013.

Dentre os 22 clones avaliados, o GT 1 ficou com a 6ª posição de maior população pontual na infestação no solo, sendo os de maiores infestações os clones PR 107, PB 217, RRIM 600, PB 260, e PB 235. Esta infestação apresentou menor população em relação à raiz, pois o local onde o *M. exigua* encontra alimento é na raiz, devido ser parasita obrigatório. No mês de maio variou entre 0 e 28.000 nematoides em 250 g de solo, (escala de cor azul a vermelha), menor e maior população, respectivamente (Figura 17). O valor máximo no mapa demonstra como classe muito alta (10.001 e 18.000 nematoides em 250 g de solo), porém ocorreu diminuição de 28.000 nematoides para classe muito alta de infestação devido a suavização dos valores utilizados no interpolador geoestatístico da krigagem. Neste interpolador, os valores vizinhos utilizados para a interpolação são considerados pela média ponderada, para cálculo de locais sem amostragens. A população média encontrada em novembro reduziu em 93,98 % em relação ao mês de maio, havendo uma diminuição próxima em % comparando a redução da infestação na raiz entre o mesmo período, que foi de 91,41%.

Para o clone PB 217 ocorreu redução de 90,19 % na infestação do mês de maio para novembro, decaindo de 42.017 nematoides (cor verde) em 10 g de raiz para 4.120 nematoides (cor azul) (Figura 18). Esta redução é devido ao período de hibernação do clone entre os meses de Junho e Agosto, onde a planta fica com seu metabolismo reduzido. A hibernação tem função estratégica para o controle populacional na infestação, reduzindo o número de nematoides na área de forma considerável.

No período de hibernação ocorre a morte de parte das raízes da planta e determinadas populações de *M. exigua* morrem junto, sendo uma forma de controle natural do nematoide pela planta. Após o reenfolhamento da planta, as raízes que permaneceram vivas, infestadas de nematoides, e *M. exigua* em estágio latente no solo são a fonte de inóculo para o início da infestação nas raízes que crescem depois da hibernação. Desta forma, estas que se encontravam infestadas passam a ter maiores populações no período antes da desfolha natural.



**Figura 18.** Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone PB 217 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013.

Assim, pode-se considerar que quando for realizar medidas de controle populacional o ideal seria utilizar este período após o reenfolhamento para

aplicação de produtos nematicidas, devido ocorrer menor infestação nas plantas e obter melhor resposta de controle. No entanto, o resultado do controle com produtos nematicidas precisa ser melhor verificado para obter resposta se compensa seu manejo com estes produtos, definindo um nível de dano da infestação das plantas de seringueira em diferentes idades.

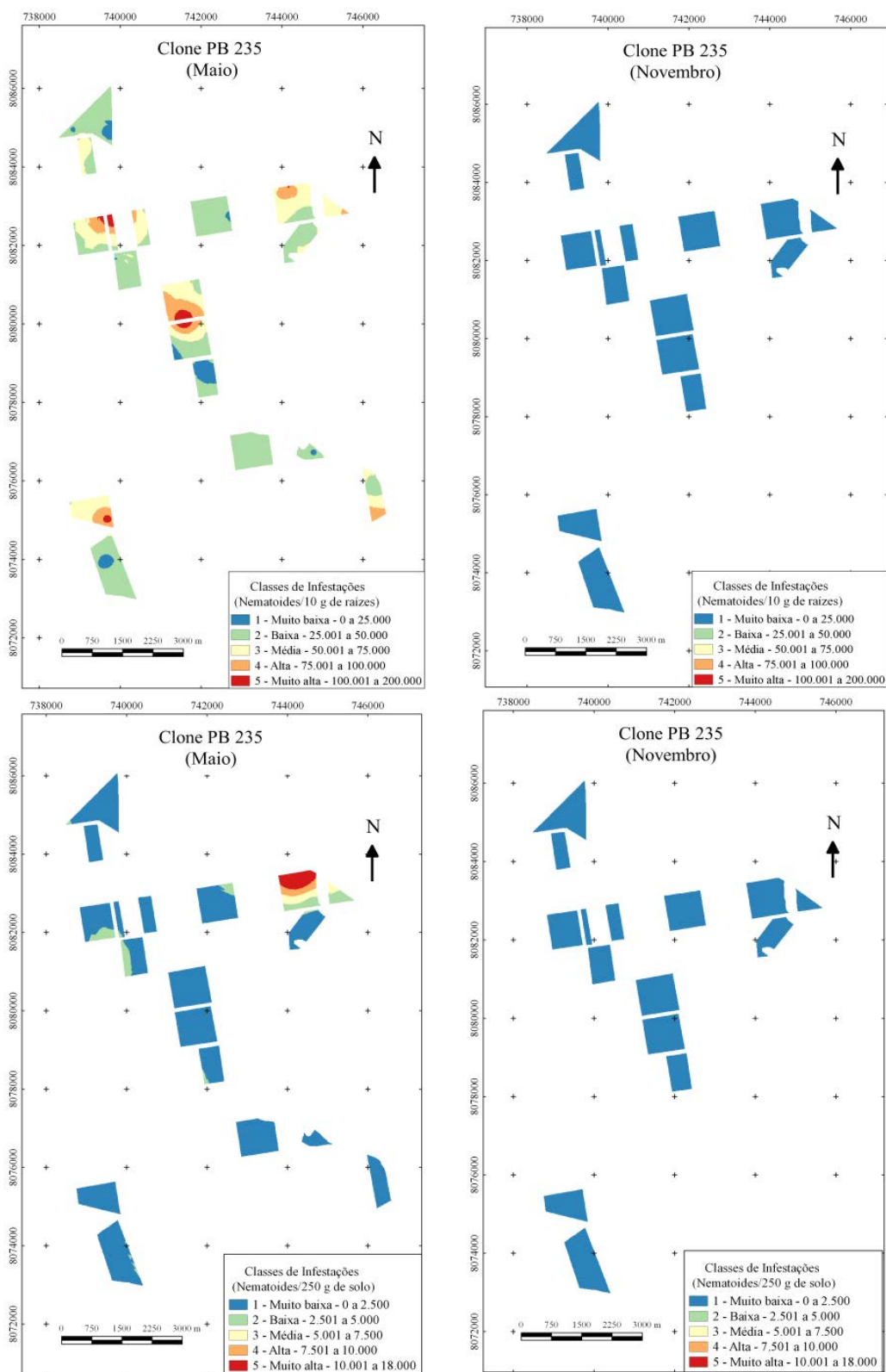
Souza et al. (2000) avaliaram amostras de solo e raízes de cafeeiro, na região de Vitória da Conquista – BA, onde as porcentagens de infestações nas amostras foram de 57,30%; 18,10%; 15,90% de *M. exigua*, *M. incognita* e *Pratylenchus* spp., respectivamente, sendo que estes dados demonstram a importância do *M. exigua* também para a cultura do café. As maiores infestações encontradas nas raízes de seringueira foram próximas de 10.000 nematoides em 10 g de raízes, apresentando limite inferior ao encontrado, onde o máximo encontrado chegou a 260.364 nematoides em 10 g de raízes, no clone PB 107.

As infestações médias presentes no solo nos meses de maio e novembro foram de 781 e 119 nematoides em 250 g de solo, respectivamente. A redução da população foi de 84,76 % em relação às duas épocas de avaliação sua variação populacional foi de 0 a 6.240 nematoides e 0 a 534 nematoides em 250 g de solo, nos meses de maio e novembro, respectivamente. A média da população do solo (781 nematoides/250 g de solo), no mês de maio, foi 53,8 vezes menor em comparação a infestação na raiz (42.017 nematoides/10 g de raiz), demonstrando que o *M. exigua* reproduz-se nas raízes, e no solo sua população é praticamente insignificante neste caso (Figura 18).

Em maio, as plantas ainda tem vigor vegetativo considerável devido ao fato de terem seu metabolismo influenciado pela época do verão (em todos os 5 clones avaliados) e com isso a população de nematoide aumenta e se dissemina, pois tem condições favoráveis, ou seja, umidade no solo, entre outros. Fato semelhante foi constatado por Souza et al. (1998) em *M. exigua* no cafeeiro, que apresentou maiores infestações e número de galhas nas raízes no período chuvoso e no solo ocorreu queda na população de juvenis.

As médias de infestações nas raízes do clone PB 235 foram de 42.757 e 7.799 nematoides em 10 g de raízes, em maio e novembro, respectivamente (Figura 19). A redução da média populacional entre os dois meses foi de 81,76 %

demonstrando que no mês de maio ocorre a maior população e o período de hibernação influenciou de forma considerável no nível de infestação.



**Figura 19.** Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone PB 235 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013.

Fonseca et al. (1999) avaliaram plantas de seringueira em vaso com inoculação de 6.000 juvenis J2 no clone PB 235, RRIM 600 e IAN 873, sendo que os 3 clones foram classificados como suscetíveis ao *M. exigua*. Esta avaliação confirmou a suscetibilidade encontrada na avaliação em campo do presente experimento onde foi encontrada população máxima de 169.684 nematoides e média populacional de 42.757 nematoides em 10 g de raízes do clone PB 235, no mês de maio.

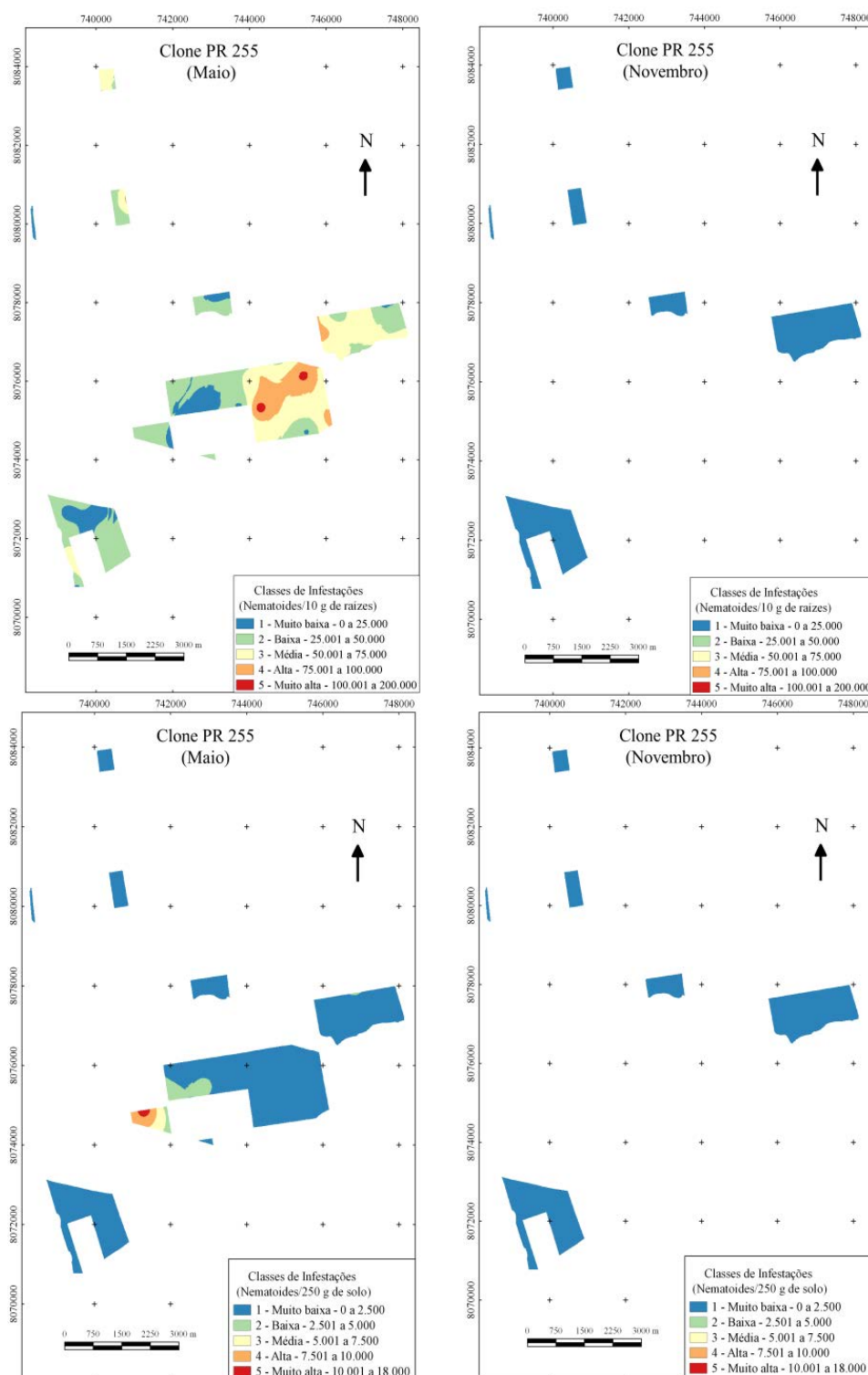
As médias de infestações no solo para o clone PB 235 foram de 2.050 e 82 nematoides em 250 g de solo, sendo que as infestações ficaram na classe muito baixa (cor azul) em maio e novembro, respectivamente (Figura 19). A média da população em maio foi de 2.050 nematoides em 250 g de solo, porém o maior valor de infestação pontual foi de 32.400 nematoides, encaixando-se na classe muito alta (cor vermelha). Como o interpolador da krigagem utiliza média ponderada dos valores ocorreu suavização dos valores mais altos, ou seja, estes valores são diminuídos para ajustar aos outros valores encontrados. A redução na infestação entre o primeiro e segundo mês avaliado foi de 96%, ocorrendo uma redução maior em relação a apresentada nas raízes, com valor de 81,76%.

As épocas das infestações encontradas foram semelhantes aquelas encontradas em cafeeiro por Almeida et al. (1987), onde as maiores densidades populacionais de *M. exigua* no solo ocorreram de abril a julho e as menores de dezembro a março. Já na seringueira a maior infestação foi no mês de maio e no mês de novembro houve queda acentuada da população de nematoide.

Almeida e Campos (1991) verificaram que o número de juvenis de *M. exigua* no solo de cafezal foi sempre alto no período de abril a outubro com o pico máximo em junho, coincidindo com a época inadequada à emissão de raízes novas. Comparando-se com a seringueira, no mês de maio começa a desfolha natural da planta, sendo que ocorre a redução das raízes da planta como acontece no cafeeiro e, desta forma, ocorre a redução natural da população. Na seringueira o pico máximo de população foi no mês de maio, mas pode ser que nos meses seguintes onde as plantas estão no início da senescência natural ocorra infestações altas, porém, isto necessita de maior avaliação em trabalhos futuros.

As infestações máximas nas raízes do clone PR 255 foram de 134.400 e 12.600 nematoides em 10 g de raízes, nos meses de maio e novembro, respectivamente (Figura 20). As médias de infestações foram de 45.991 e 4.437 nematoides em 10 g de raízes, em maio e novembro, respectivamente. No mapa de

distribuição espacial da população as infestações máximas ficaram nas classes baixa (cor verde) e muito baixa (cor azul), sendo que na krigagem a suavização dos dados foi reduzida, pois os valores máximos ficaram dentro de suas respectivas classes.



**Figura 20.** Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone PR 255 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013.

A redução da média de infestação entre maio e novembro foi de 90,35%, demonstrando que o período de hibernação da seringueira é importante para o controle populacional. A população dos nematoides recupera altos níveis durante o período de temperatura e pluviosidade alta, especificamente no verão, onde o nematoide encontra condições favoráveis para sua proliferação descontrolada.

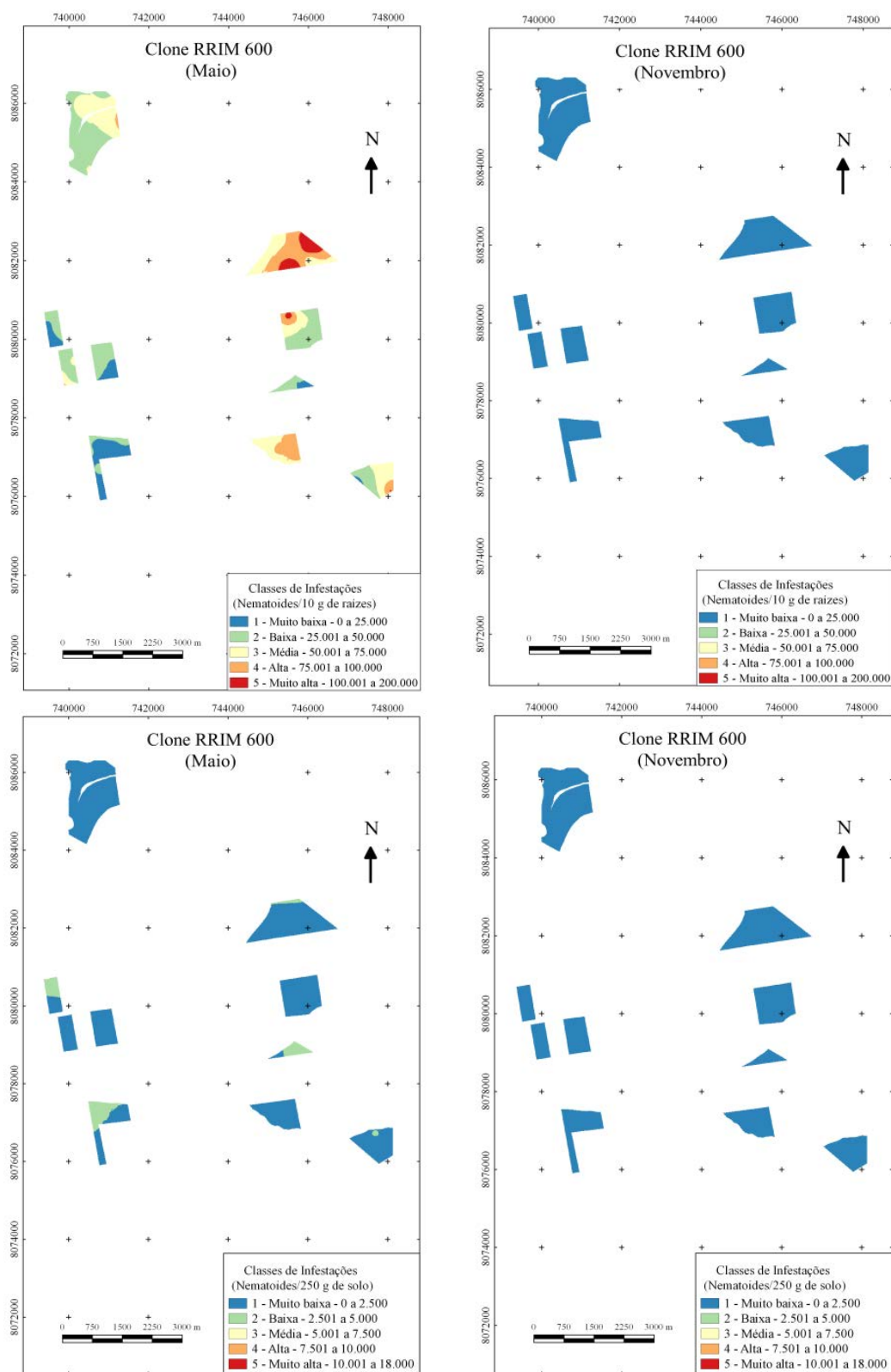
A infestação máxima no solo do clone PR 255 foi de 24.050 e 700 nematoides em 250 g de solo, nos meses de maio e novembro, respectivamente. A média de infestação foi de 2.122 e 172 nematoides no mês de maio e novembro, respectivamente (Figura 20), ocorrendo queda de 91,89% na infestação entre os dois meses. Esta redução é explicada pela diminuição da população nas raízes, onde estão boa parte dos ovos e juvenis presentes no solo, sendo que a redução em relação a infestação nas raízes foi muito próxima, com valor de 90,35%.

A maior quantidade de nematoides ocorreu em maio, em ambas as condições (raiz e solo), ocorrendo após o período chuvoso e altas temperaturas que é favorável a reprodução descontrolada do nematoide. Com isso, a população fica bastante alta, devido à ausência de inimigos naturais e de controle químico, pois sua monocultura selecionou poucos nematoides daqueles que estavam no solo, entre eles o *M. exigua*.

As infestações máximas no clone RRIM 600 foram entre 197.918 nematoides (cor vermelha) e 27.690 nematoides em 10 g de raízes (cor verde), em maio e em novembro, respectivamente (Figura 21). Para as médias de infestações nas raízes, os valores encontrados foram 46.284 e 6.170 nematoides em 10 g de raízes, havendo uma redução de 86,67 % na infestação do primeiro mês em relação ao segundo mês avaliado. A infestação de 197.918 nematoides foi a 2ª maior em relação aos 5 clones de maior área cultivada, ficando atrás do clone PB 217, demonstrando sua suscetibilidade ao *M. exigua*.

A infestação no solo do clone RRIM 600 foi de 8.400 e 763 nematoides em 250 g de solo, sendo que a média da infestação foi de 1.228 e 165 nematoides, ficando na classe muito baixa (cor azul), nos meses de maio e novembro, respectivamente (Figura 21). Ocorreu uma redução de 86,56 % da população entre maio e novembro, sendo simultânea a diminuição ocorrida na infestação das raízes, devido ao fato de os juvenis migrarem das raízes para o solo para infectarem raízes sem a presença de *M. exigua*. Possivelmente a redução da infestação ocorreu devido ao período de estiagem que verifica-se na região no meio de cada ano, sendo que Starr (1993) observou que a baixa

umidade do solo inibiu a eclosão do J2 antes de afetar o desenvolvimento embrionário, possibilitando maior população de ovos com J2.



**Figura 21.** Mapas de krigagem das classes de infestações de nematoides no clone RRIM 600 nas raízes e no solo, nos meses de maio e novembro de 2013.

De acordo com Silveira (1992), o clone RRIM 600 é altamente suscetível aos nematoides das galhas. Santos et al. (1992) e Fonseca et al. (1999) citaram que este clone é suscetível ao *M. exigua* e resistente ao *M. javanica*. Esta suscetibilidade foi comprovada com a análise em campo no presente experimento, sendo que o referido clone apresentou a 3ª maior população pontual encontrada em 10 g de raiz, com 197.918 nematoides. A primeira foi de 260.364 nematoides e a segunda com 200.615 nematoides em 10 g de raiz, nos clones PB 107 e PB 217, respectivamente. Fonseca et al. (2003) ao estudar este mesmo clone, inocularam 1.000 juvenis J2 e, após 10 dias, verificaram a presença de células gigantes jovens, que são as responsáveis pela nutrição do nematoide.

Os danos ocasionados pelas infestações dos nematoides nas plantas apresentam grande importância, onde Gonçalves et al. (2004) demonstraram que é necessário considerar as perdas indiretas causadas pelo parasitismo dos nematoides como a menor tolerância ao frio e à seca e a perda parcial na eficiência de utilização de alguns insumos.

#### **6.4 Classificação NDVI no seringal**

No mês de abril entre os anos de 2005 e 2008 foram realizadas as análises de índice de vegetação NDVI devido ao fato, deste mês ser o último com pluviosidade acima de 100 mm e o vigor das plantas, teoricamente, apresentar-se de forma uniforme. A partir deste mês as médias de chuvas diminuem para menos que 100 mm e a seringueira desfolha naturalmente. Para possíveis análises de infestações máximas de *M. exigua* em seringal, com condições climáticas semelhantes à região do presente estudo, o mês de maio em qualquer ano a ser avaliado a infestação de *M. exigua* pode ser tomado como referência. Provavelmente, neste mês as plantas apresentaram altas infestações, porque, tomando-se por base as análises realizadas em maio de 2013, este mês apresentou maiores infestações em relação a novembro do mesmo ano e que em abril dos anos avaliados pelo NDVI (2005, 2006, 2007 e 2008) pode ter ocorrido infestações maiores ou iguais àquelas encontradas nas coletas de campo de 2013.

Para o estabelecimento de índices de vegetação, em novembro de 2013 para as infestações pontuais de nematoides, foi utilizada imagem de satélite do Landsat 8, data de 13-11-2013, quatro dias após a retirada das últimas amostras de solo e

raízes na área experimental (data de 09-11-2013). Não foi detectada correlação do estresse pelo fitoparasitismo de *M. exigua* com o NDVI nestas condições. Nesta correlação, os valores de  $R^2$  obtidos nos clones GT 1, PB 217, PB 235, PR 255 e RRIM 600 foram de 0,0125; 0,0682; 0,1624; 0,004 e 0,1092, respectivamente, resultados sem confiança para as análises propostas.

A variação dos valores de NDVI nos pontos amostrais com seus respectivos pixels, em 2013, foi de 0,78 até 0,93, onde cada valor representou o respectivo ponto geográfico da coleta amostral neste ano. No clone GT 1, no início de novembro de 2013, ocorreu infestação de 300 a 17.589 nematoides em 10 g de raízes e os valores de NDVI, na data de 14-11-2013, encontrados para os respectivos pontos foram de 0,90 e 0,87. Porém, como não ocorreu correlação da infestação com o valor de NDVI no ano de 2013, satélite Landsat 8, a utilização do valor de NDVI de 2013 como parâmetro da possível infestação para os anos anteriores não foi possível, com isso não foi possível avaliar a evolução temporal das áreas infestadas com nematoides.

As análises entre agosto e outubro de 2001, 2004, 2005 e 2008 foram realizadas para verificar se na média, após a hibernação, o nível de infestação de *M. exigua* afetaria o índice de vegetação NDVI. Porém, como não ocorreu correlação da infestação com o índice NDVI foram realizadas as análises das porcentagens de valores de índice de vegetação, dentro de um período médio de 1 mês e meio (início da desfolha e começo do aparecimento de falhas no dossel do plantio).

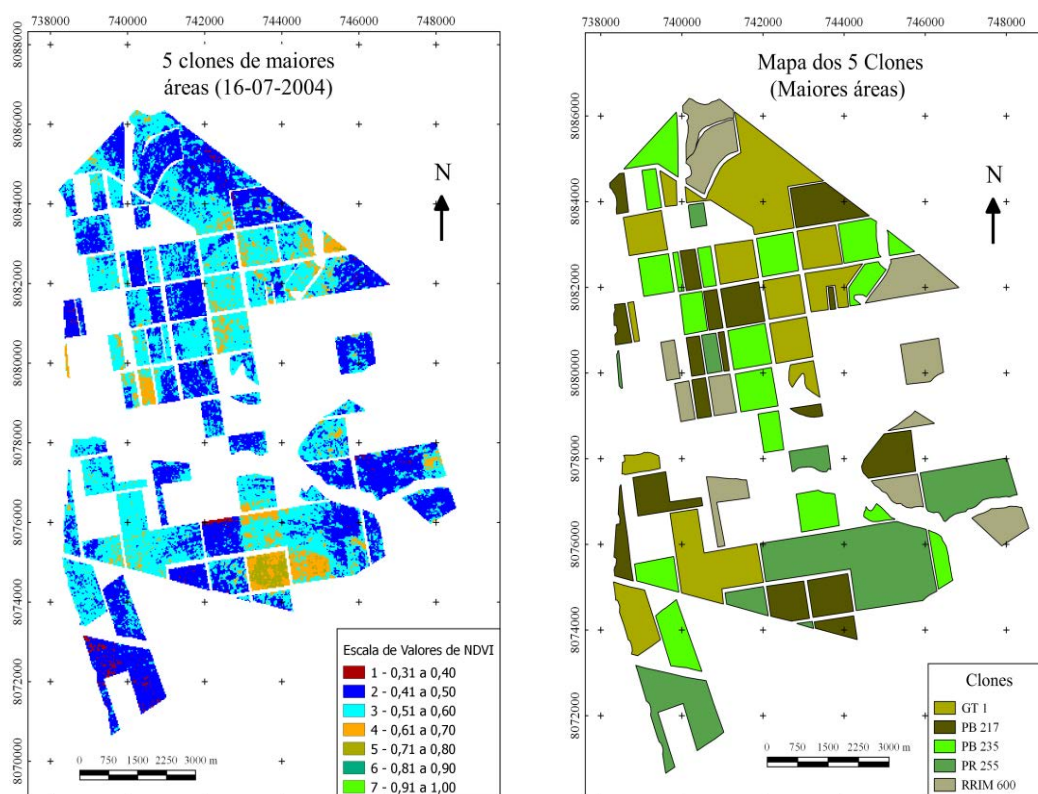
A definição do vigor vegetativo foi realizada baseada em imagens do satélite Landsat 5 no período de hibernação anual da planta, conforme é chamado por Moraes (1983). Foi realizada a classificação do Índice de Vegetação NDVI para o mês de julho e os valores de NDVI encontrados foram abaixo de 0,80 e dentre todos os talhões, aquele entre as coordenadas UTM 21S 8074000 L/ 744000 N apresentou sua área total entre as escalas 4 e 5, sendo em ambas classificados como vigor vegetativo médio (Figura 22). Este talhão apresentou a maior escala de NDVI (escala 5) devido ao fato de o plantio ser efetuado no ano de 1989, sendo mais jovem em relação a maior porcentagem dos demais talhões dos 5 clones.

Para as análises do índice de vegetação foi estabelecida uma escala de valores, variando de 1 a 7 (Tabela 5). Esta escala foi definida devido a ausência de literatura citando faixas de índice de vegetação com esta finalidade de vigor vegetativo na seringueira. O menor valor da escala foi aquele encontrado nas análises do índice NDVI

em todos os meses e anos avaliados (2001, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008) e, após serem realizadas todas as classificações de NDVI foi observado que o menor valor encontrado foi de 0,31, então este valor foi o parâmetro para definir a menor escala.

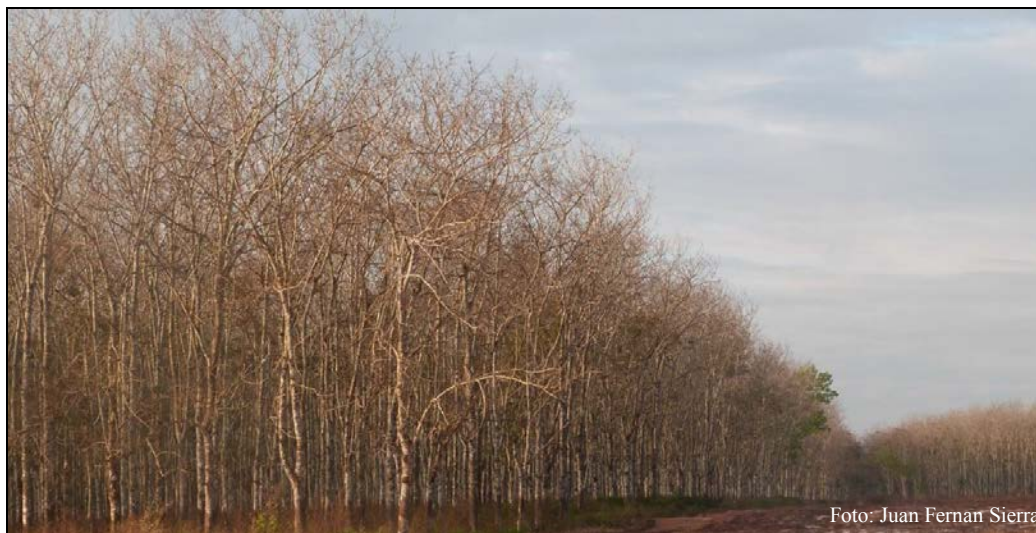
**Tabela 5.** Índices de Vegetação NDVI com seus respectivos vigores vegetativos.

| Escala de NDVI | Intervalo de Índice NDVI | Vigor Vegetativo |
|----------------|--------------------------|------------------|
| 1              | 0,31 a 0,40              | Muito Baixo      |
| 2              | 0,41 a 0,50              | Baixo            |
| 3              | 0,51 a 0,60              | Baixo            |
| 4              | 0,61 a 0,70              | Médio            |
| 5              | 0,71 a 0,80              | Médio            |
| 6              | 0,81 a 0,90              | Alto             |
| 7              | 0,91 a 1,00              | Muito Alto       |



**Figura 22.** Imagens com os Índices de vegetação NDVI nos 5 clones de maiores áreas e da localização destes em cada talhão, em relação ao plantio total.

Como foi verificado em campo, de forma geral, no mês de julho, a seringueira encontra-se desfolhada nas condições climáticas da região, sendo que alguns clones estão parcialmente desfolhados e outros totalmente desfolhados, como ocorreu com o PB 235 (Figura 23), sendo que ocorre variação na desfolha conforme o clone.



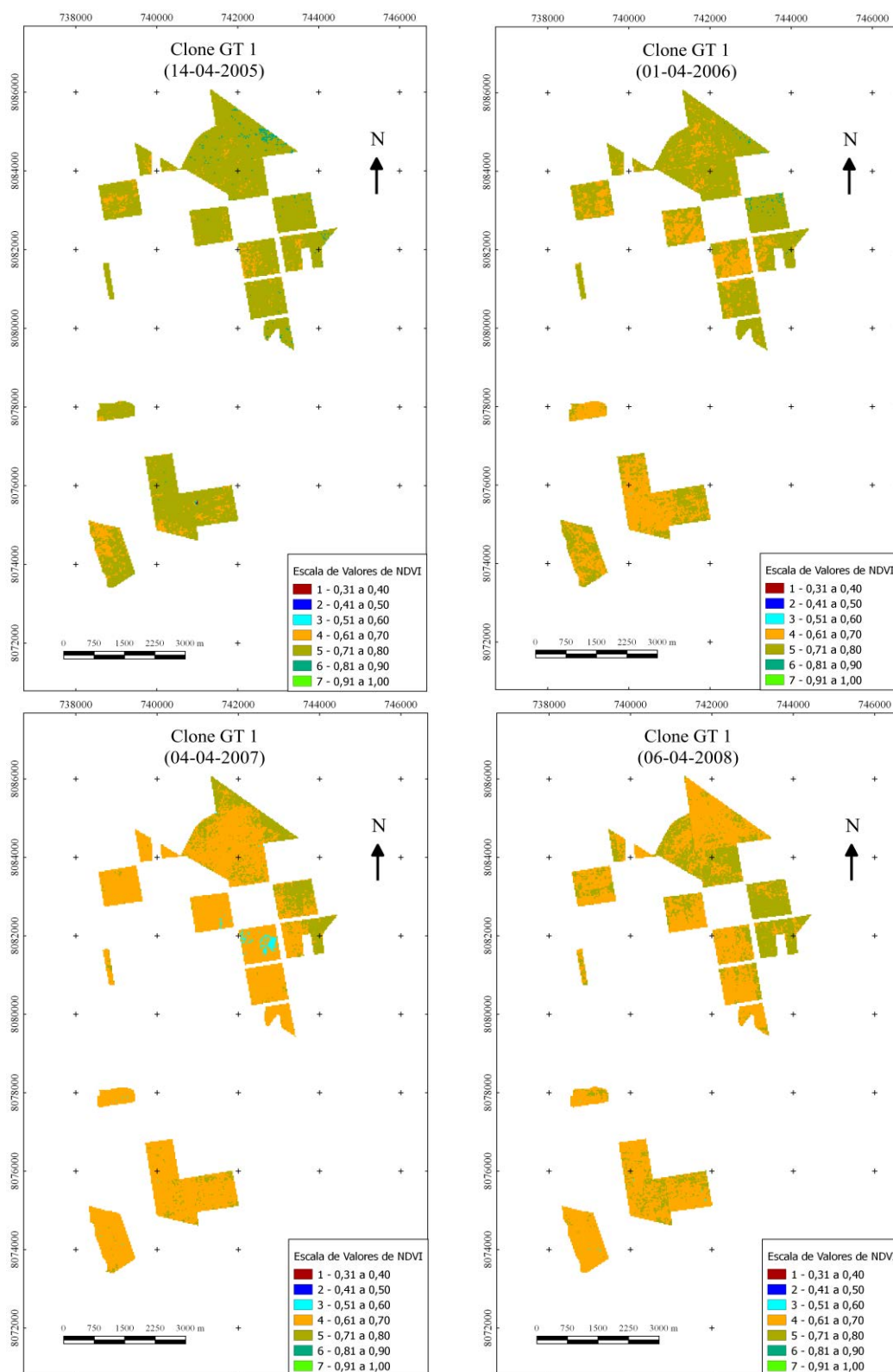
**Figura 23.** Foto do clone PB 235 desfolhado no dia 18 de julho de 2012.

Na data de 16 de julho de 2004, os índices vegetativos encontrados foram abaixo de 0,80 NDVI, demonstrando que neste período o vigor do plantio é reduzido, sendo de médio até muito baixo. Para os valores abaixo de 0,40 de NDVI, o vigor foi Muito Baixo, entre 0,41 a 0,60 de NDVI, a planta apresentava vigor vegetativo Baixo e entre 0,61 e 0,80 apresentou índice NDVI Médio (Tabela 5).

Os NDVI's do clone GT 1 encontrados na primeira quinzena de abril entre os anos de 2005 e 2008 foram dentro das escalas 3 (0,51 a 0,60), 4 (0,61 a 0,70), 5 (0,71 a 0,80) e 6 (0,81 a 0,90). No entanto, o resultado com maior expressão em 2005 e 2006 foi na escala 5, com 1.287,8 ha e 932,31 ha, respectivamente (Figura 24).

A escala 4 representou maiores valores em 2007 e 2008, com 1.099,98 ha e 919,89 ha, respectivamente (Figura 24), sendo que estes valores de NDVI estão abaixo dos encontrados após o reenfolhamento das plantas e no segundo semestre de cada ano, apresentando valores na escala 6 e 7. Os valores das áreas computados para os respectivos anos foram baseados na resolução do pixel do Landsat 5, que tem 30 x 30 metros de resolução espacial. Portanto, cada pixel representa 900 m<sup>2</sup> na superfície e multiplicando-se o 900 m<sup>2</sup> pelo total de pixels de cada escala encontrou-se a área das escalas.

No mês de abril dos anos analisados, provavelmente alguns pixels com valores de NDVI dentro das escalas 3 e 4 ocorreram por influência da infestação pelos nematoides, sendo que estes foram os menores valores de vigor vegetativo para o período analisado (Figura 24), no entanto, precisa ser melhor estudada esta suposição.



**Figura 24.** Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone GT 1.

O fator pluviosidade pode ter influenciado os valores de índice de vegetação, entretanto os índices pluviométricos, para os meses e anos avaliados não foram

obtidos devido à ausência de dados de estações meteorológicas na área. A média histórica de chuvas para o mês de abril fica em torno de 140 mm e, no mês seguinte, cai para próximo de 55 mm, o que demonstra que, a partir destes meses, começou a diminuir a precipitação no local, estimulando a planta a entrar no estágio de hibernação, conforme Moraes (1983).

Os valores de índice de vegetação para os quatro anos avaliados do clone GT 1 no mês de abril apresentou maiores porcentagens de valores na escala 5 (NDVI = 0,71 a 0,80) nos anos de 2005 e 2006, e em 2007 e 2008 foi maior para a escala 4 (NDVI = 0,61 a 0,70), sendo que em ambas as escalas 4 e 5 o vigor vegetativo do plantio foi médio.

No segundo semestre as plantas apresentam NDVI próximo de +1 (com ausência de estresses) e, provavelmente, no período chuvoso do ano (novembro até março/abril) o índice apresenta-se próximo de +1. Os valores entre 0,6 e 1,0 podem ser considerados saudáveis (Tabela 5), porém precisa ser melhor analisados nesta faixa de índice por meio de experimentos e levar em consideração o estágio de hibernação da planta, onde o NDVI cai para patamares de valores próximo de 0,3.

Para o período de reenfolhamento do clone GT 1, a variação de índice de vegetação, entre os meses de setembro e outubro em 2001, apresentou redução de 6,36 % de área na escala 5 (vigor médio) e aumentou 5,92% na escala 6 (vigor alto), respectivamente. Os valores de NDVI, da escala 5 em setembro e outubro, apresentaram 251,64 ha e 162,09 ha, respectivamente, e para a escala 6 foram de 1.155,51 ha em setembro e 1.238,67 ha em outubro (Figura 25).

A baixa variação de NDVI entre os dois meses demonstrou que a variação do vigor da planta no começo do reenfolhamento manteve-se estável. Neste caso, a possível influência do *M. exigua* pode ser descartada, pois a infestação pós-hibernação da planta foi bem inferior ao primeiro semestre do ano (Figura 25). Esta metodologia para avaliar o vigor vegetativo foi citada por Liu (2006), onde descreve que o índice de vegetação pode avaliar as condições de crescimento das culturas, verificar a ocorrência de doenças, pragas, secas e geadas.

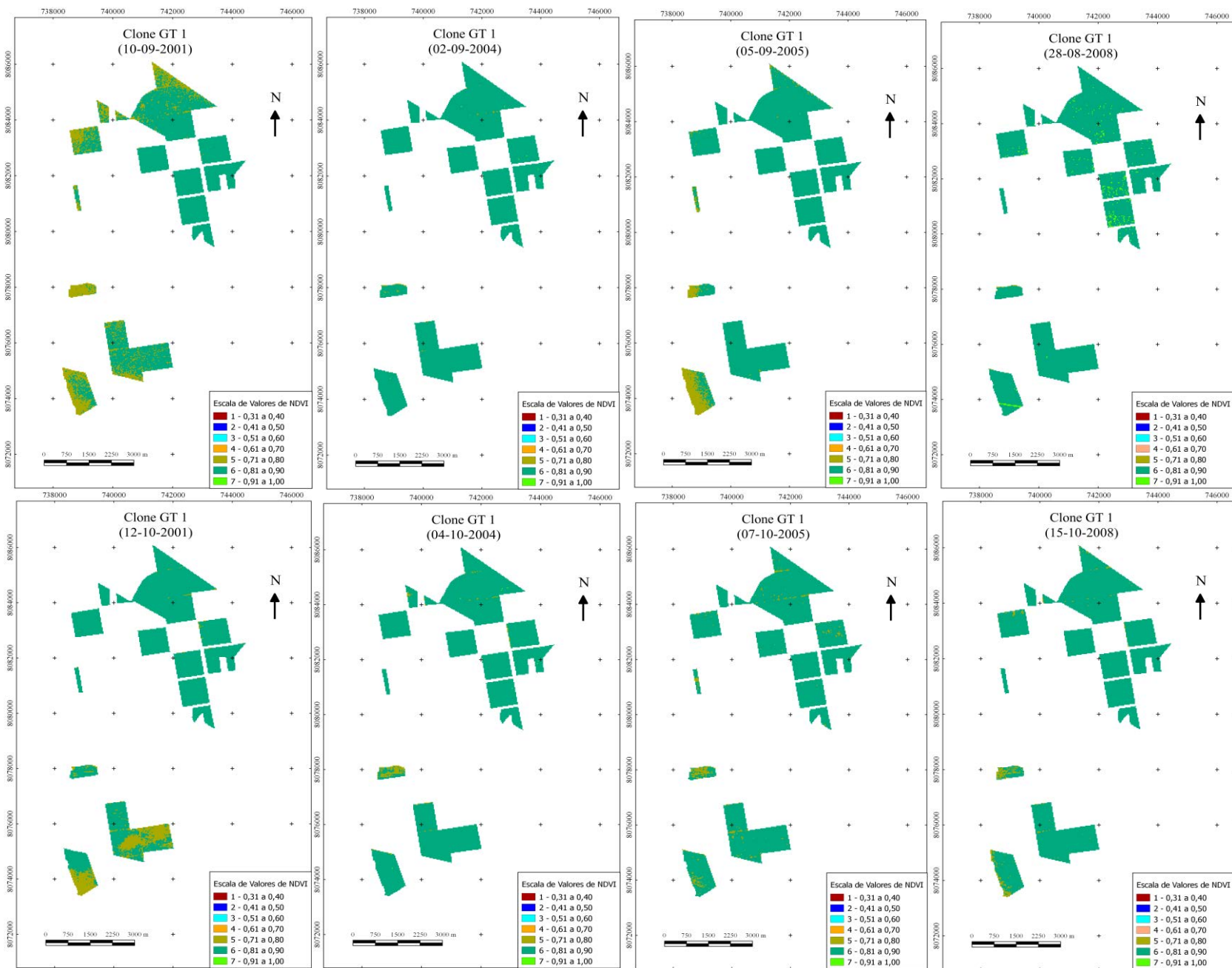
Os valores de índice de vegetação encontrados no clone GT 1, para as datas de 02-09-2004 e 04-10-2004, foram classificadas na escala 6 (vigor alto), onde praticamente 100% da área no mês de setembro e acima de 90% da área do mês de outubro ficaram nesta respectiva escala (Figura 25). A escala 6 representou que as plantas estão

com vigor alto, sendo próximo do maior valor da escala de índice de vegetação, ou seja, igual a +1. Estes dados estão de acordo com Liu (2007), onde citou que valores altos podem ser usados para inferir presença de vegetação mais densa ou vegetação a pleno vigor do crescimento.

Em 2004, a diferença entre o mês de setembro e outubro foi pequena, onde mais que 90% da área total ficou com vigor alto (escala 6) sendo que somente parte de um talhão, coordenadas UTM 21S 8078000 L/ 740000 N, ficou com vigor médio (escala 5) (Figura 25). Para 2005, a escala predominante em setembro foi a 6, porém no talhão mais ao sul do clone GT 1, apresentou mais da metade com vigor médio (escala 5), porém em outubro ocorreu o aumento de vigor médio para vigor alto. Este fato foi devido ao reenfolhamento tardio das plantas presentes no local, possivelmente devido à alguma influência da pluviosidade ou presença de doença ou praga que atrasou o reenfolhamento (Figura 25).

No ano de 2005 as datas avaliadas foram no dia 05 de setembro e 07 de outubro, onde 1.292,13 ha, 92,17% do total, e 1.353,78 ha, 96,57% da área, foram da escala 6, para as respectivas datas, o restante da área se encaixaram na escala 5 (Figura 25). Wiegand et al. (1991) e Tucker (1979) citaram que esta quantificação dos pixels em escalas NDVI é útil para caracterizar e quantificar determinado parâmetro biofísico de culturas agrícolas, reduzindo a dimensão das informações multiespectrais, através de um simples número. Também fornece um dado altamente correlacionado aos parâmetros agrônômicos, ou seja, no presente estudo representa o vigor vegetativo do seringueiro, que será a base para o conhecimento do estado fitossanitário e nutricional da cultura.

Na análise do índice NDVI na data de 28-08-2008 apresentou valores dentro das escalas 6 e 7, com 96,52% da área (1.353,06 ha) na classe 6 e 3,22% da área (451,8 m<sup>2</sup>) na classe 7. Para a data de 15-10-2008 o NDVI ficou nas escalas de 5 e 6, com 2,60% da área (364,5 m<sup>2</sup>) e 97,29% da área (1.363,86 ha) (Figura 25), respectivamente, sendo que os valores de NDVI no fim de agosto apresentou-se com maior vigor vegetativo, mas a variação da escala 6 entre agosto e outubro variou somente 0,77%. Rouse et al. (1973) propuseram o uso do NDVI para avaliação das mudanças do vigor vegetativo das plantas, sendo que na presente análise o referido índice de vegetação demonstrou que ocorreu pequena redução no vigor vegetativo entre o dia 28-08 e 15-10 de 2008.



**Figura 25.** Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período de reenfolhamento do clone GT 1

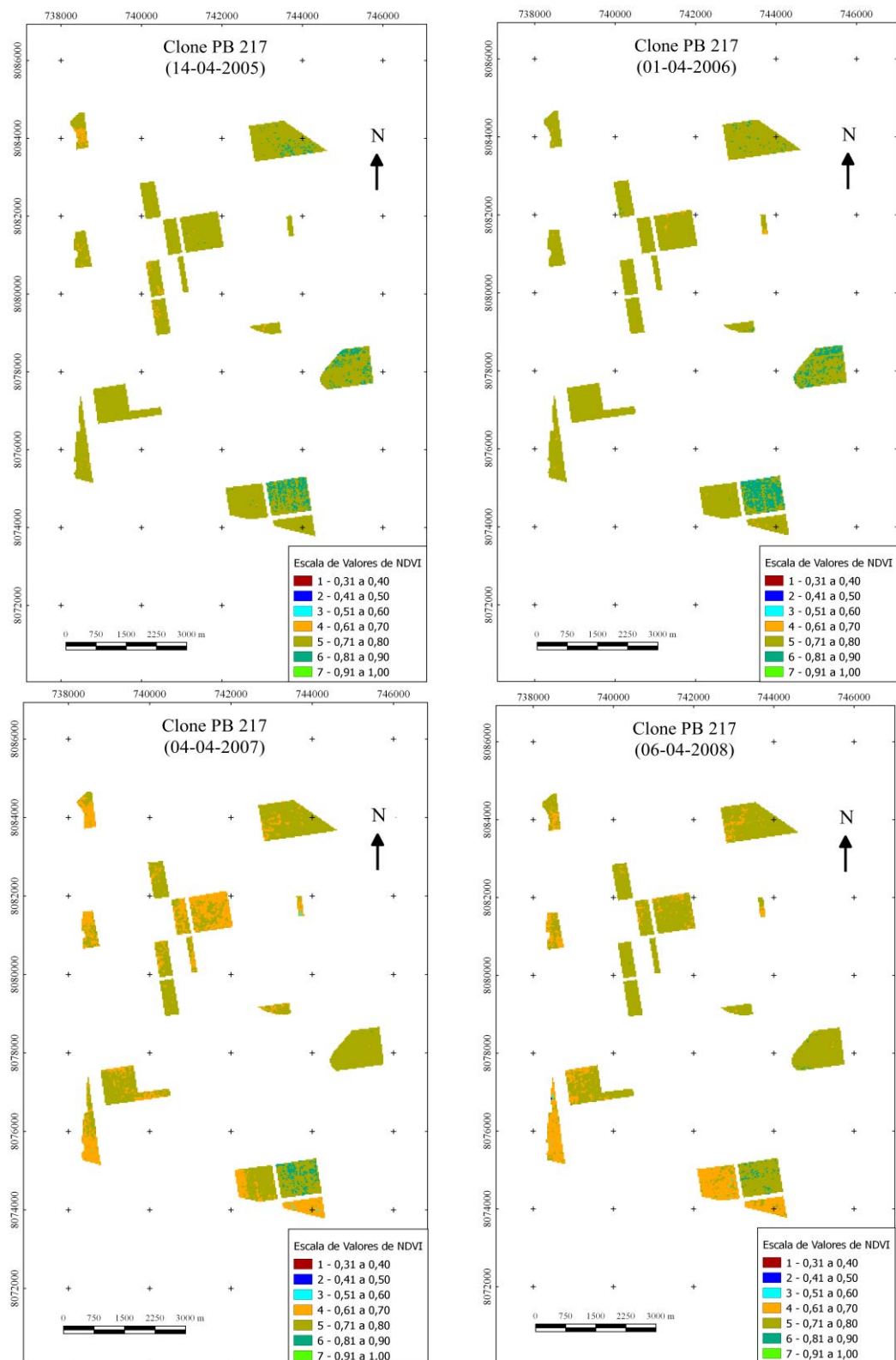
O ano de 2008 apresentou em vários talhões vigor muito alto (escala 7) demonstrando que no fim de agosto ocorre o máximo vigor vegetativo das plantas, quando as plantas estão saudáveis. Em outubro a maior porcentagem do plantio manteve-se na escala 6 (vigor alto), plantas saudáveis, no entanto, nos talhões mais ao sul e naquele entre as coordenadas UTM 21S 8078000 L/ 740000 N ocorreu alguma forma de estresse, apresentando escala 5 (Figura 25).

A escala predominante nos 4 anos (2001, 2004, 2005 e 2008) avaliados foi a 6, classificada como vigor alto ( $NDVI = 0,81$  a  $0,90$ ), conforme a Tabela 5. No ano de 2001, em setembro ocorriam áreas com a escala 5, vigor médio, sendo que mais de 50% destes locais ocorreu aumento no seu vigor, passando para alto (escala 6). Já nos talhões mais ao sul da área avaliada, que apresentavam a escala 6, foram para a 5, demonstrando que ocorreu alguma forma de estresse nestes locais.

Na sequência dos meses de agosto, setembro e outubro apresentaram valores médios de NDVI dentro da escala 6, vigor alto, demonstrando que para este período, a seringueira inicia o período vegetativo, após a hibernação, com máximo de vigor para a produção de látex. Entretanto, neste período ocorrem alguns pixels (menores valores) com valores de NDVI baixo, escala 3 ( $0,51$  à  $0,60$ ), que podem ser ocasionados por fitoparasitismo do *M. exigua*, mas não pode ser comprovado devido a baixa escala de resolução espacial da imagem.

No geral, o plantio do clone GT 1, nos diferentes anos avaliados, apresentou-se saudável, pois a maior porcentagem de NDVI dos anos ficou na escala 6, com algumas falhas e reboleiras com vigor médio (escala 5), podendo ser devido ao estresse de doenças e/ou pragas, ou atraso do reenfolhamento no período de agosto/setembro.

No clone PB 217, os valores de índice de vegetação, no início do mês de abril para os anos de 2005, 2006, 2007 e 2008, foram classificados nas escalas 4, 5 e 6, com valores de NDVI médios para cada ano iguais a  $0,76$ ;  $0,76$ ;  $0,72$  e  $0,73$ , respectivamente. Nos anos de 2005 e 2006 os maiores índices de vegetação foram das escalas 5 (vigor médio) e 6 (vigor alto), sendo que para o ano de 2005 obteve-se pequena porcentagem dentro da escala 4 (vigor médio), com valor de  $152,10 \text{ m}^2$  ( $1,71 \%$  da área total) (Figura 26). A escala 4 demonstra que as plantas começaram o processo natural de senescência das folhas, que ocorre anualmente nos clones com parentais de *H. brasiliensis*.



**Figura 26.** Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone PB 217.

Para a escala 5, no clone PB 217, as porcentagens nos anos de 2005 e 2006 foram de 89,75% (801,36 ha) e 89,59 % da área total (799,92 ha), respectivamente, com

porcentagens muito próximas (diferença de 0,16% e 1,44 ha) (Figura 26). Nesta escala, o vigor da planta foi classificado como médio, conforme Tabela 5, entretanto, para os meses antes do período de hibernação da planta, o vigor estará em diminuição para a desfolha natural da planta e se ocorrer em período posterior ao reenfolhamento poderá ser devido a algum estresse, abiótico ou biótico.

Na escala 6 (vigor alto) em 2005 e 2006 foram de 8,34% (743,40 m<sup>2</sup>) e 9,66% da área total (862 m<sup>2</sup>), respectivamente (Figura 26). No mês de abril, destes dois anos, o vigor vegetativo alto foi em pequena área (porcentagens inferiores a 10%) devido ao fato de, a partir desta época, começar o estímulo dos fatores abióticos (déficit hídrico e fotoperíodo) para a senescência natural das folhas da seringueira, posteriormente entrando no período de hibernação anual da planta.

Em 2007 e 2008 ocorreram as escalas 4, 5 e 6, porém, a escala 5 (vigor médio) apresentou maiores porcentagens, com valores de 66,06% (590,76 ha) e 76,31% da área total (678,24 ha) nos anos de 2007 e 2008, respectivamente. Nestes dois anos citados ocorreram menores porcentagens da escala 5 em relação à 2005 e 2006, desta forma, o plantio estava com vigor vegetativo menor, pois a escala 4 (vigor médio) aumentou sua área em relação aos anos de 2005 e 2006 (Figura 26).

A escala 4 apresentou maiores porcentagens do que em 2005 e 2006, com valores de 31,30% e 22,35% da área total em 2007 e 2008, respectivamente (Figura 26), classificado como vigor vegetativo médio. Este fato pode ser explicado por um veranico ou período seco antecipado que ocorreu nos meses anteriores a abril dos respectivos anos e também pelo estímulo para a desfolha natural das plantas. No entanto, esta afirmação não pode ser feita, mas sugerida, pois nestes dois anos os dados pluviométricos são ausentes para a área. Conforme Rouse et al. (1973) citaram, o NDVI é uma operação aritmética simples e muito utilizada atualmente para estudos do comportamento espectral. Desta forma, é demonstrado a eficiência na distinção das escalas de vigor vegetativo para os 4 anos avaliados no mês de abril, na área estudada.

Na avaliação do índice NDVI do ano de 2001, para o clone PB 217, para as datas de 10-09 e 12-10-2001 ocorreu a predominância das escalas 5 e 6, sendo que no mês de setembro a escala 5 apresentou 20,21% da área (218,7 ha em setembro). Em setembro ocorreu 37,71 ha a mais do que em outubro (Figura 27), fato que possivelmente pode ser explicado pelo atraso no início do reenfolhamento das plantas entre o fim de agosto e começo do mês de setembro. Os valores encontrados, nas respectivas escalas, concordaram com Wang

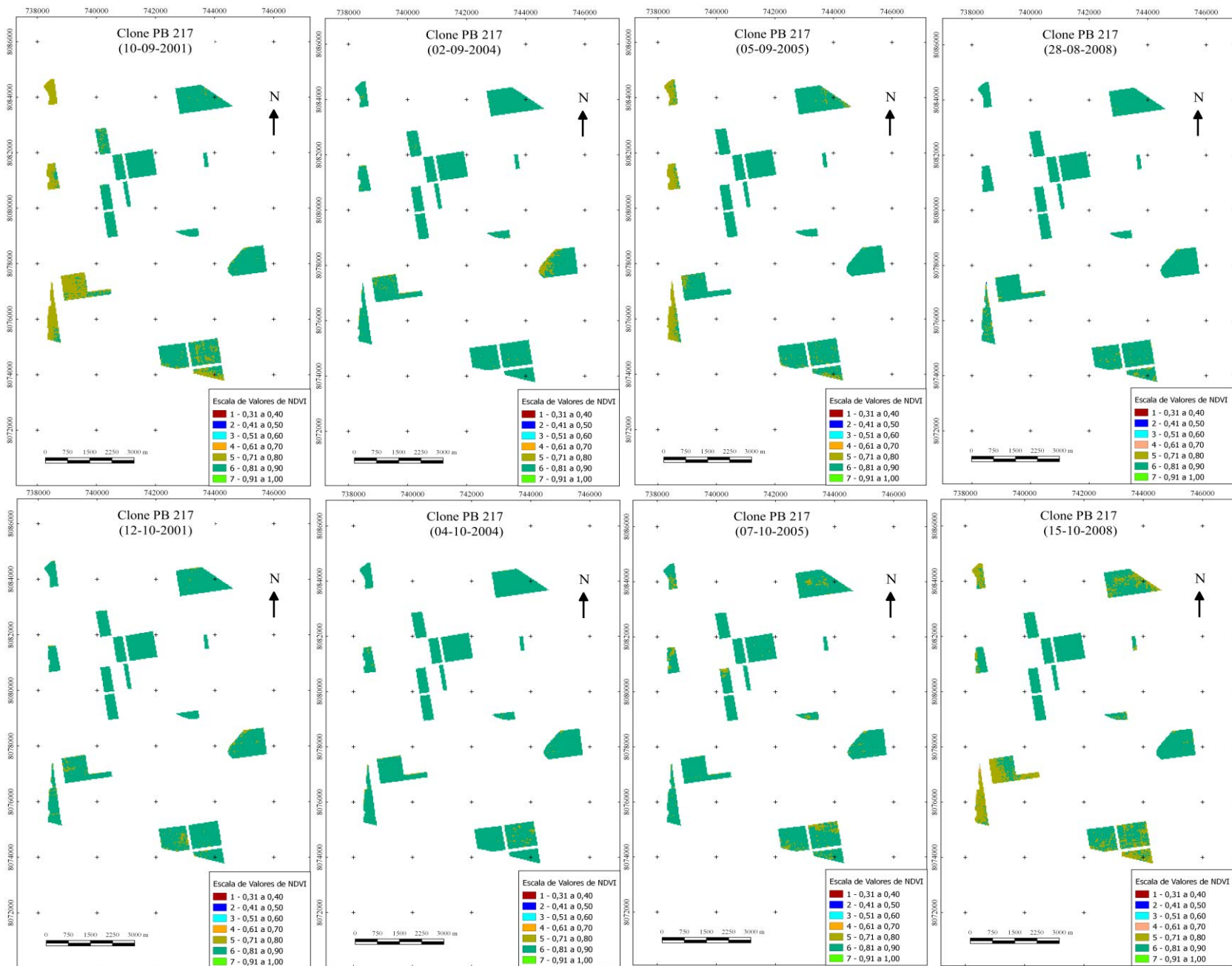
et al. (2003), onde os índices de vegetação podem ser utilizados para comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, facilitando, assim, o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação.

Na avaliação no intervalo de meses de setembro e outubro de 2004 houve predominância da escala 6 de NDVI, apresentando vigor alto, sendo que no dia 02-09-2004 a escala 5 teve 3,32% da área total (29,61 ha) e no dia 04-10-2004 reduziu para 1,75% (15,57 ha), classificado como vigor médio. Estes pixels da escala 5 em setembro ocorriam devido ao atraso do reenfolhamento das plantas de seringueira, devido ao estresse por pragas, doenças ou estresse hídrico (Figura 27).

A escala 6 obteve 96,68% da área total (862,11 ha) em setembro e 98,25% da área total (873,36 ha) em outubro de 2004 (Figura 27), sendo predominante no período avaliado, desta forma o plantio do respectivo clone apresentou vigor alto. A base nestes dados é confirmada por Jackson e Huete (1991), que citaram que os índices de vegetação são resultados de combinações lineares de dados espectrais, onde realçam o sinal da vegetação e ao mesmo tempo minimizam as variações na irradiância solar.

Nas datas de 05-09 e 07-10 de 2005, as escalas de NDVI foram 5 e 6, com alguns locais que em setembro estavam classificados na escala 5, em outubro passaram para a escala 6, com 92,54% da área (823 ha), que apresentou a maior porcentagem de área (pixels). No mês de setembro, os talhões localizados mais ao oeste do plantio apresentaram considerável porcentagem na escala 5 (em cada um dos três talhões apresentaram mais que 80% na respectiva escala), podendo ser explicado pela influência do excesso de gás carbônico associado com algum estresse. No ano de 2001 ocorreu fato semelhante, ou seja, parte dos mesmos talhões localizados na área experimental apresentaram destacada presença da escala 5, com porcentagens semelhantes do que a encontrada no mês de setembro de 2005. Esta escala ocupou mais de 80% do talhão localizado, aproximadamente, na coordenada UTM 21S 8077000 L/ 739000 N, entretanto, esta escala de vigor médio ocorreu em pequena porcentagem no mesmo talhão no ano de 2005 (Figura 27).

Próximo a estes três talhões do extremo oeste localiza-se a rodovia BR-163, que apresenta tráfego intenso, principalmente de caminhões e ocorrendo grande liberação de gases poluentes na atmosfera local, influenciando no reenfolhamento das plantas. O efeito contrário ocorreu em outubro, onde alguns locais que apresentaram escala 6 em setembro passaram para a classe 5 (Figura 27).



**Figura 27.** Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período de reenfolhamento do clone PB 217

A redução da escala 6 para a 5 pode ser devido a diversos tipos de estresse, por exemplo, problemas fitossanitários como o ocasionado pelo nematoide, ou nutricional, sendo recomendada a averiguação em trabalhos futuros.

Os parâmetros biofísicos de vigor da vegetação para o presente trabalho foram realizados de acordo com Rosa (2007) que descreveu que no índice de vegetação são mais utilizadas as faixas do vermelho e do infravermelho próximo, por conter mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação; portanto, estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma.

Nas datas de 28-08 e 15-10-2008 as escalas encontradas foram a 5 e 6, sendo que em agosto a escala 5 apresentou 2,52% (22,5 ha) enquanto que a escala 6 obteve 97,34% (867,69 ha), quase a totalidade da área do clone PB 217, com vigor vegetativo alto (Figura 27). No fim de agosto foi o início do reenfolhamento, assim apresentou o máximo de vigor vegetativo e algum possível estresse foi atenuado pelo intenso vigor.

A escala 6 apresentou maior porcentagem em agosto, valor de 97,34% da área e em outubro sua porcentagem diminuiu, ficando com 74,39% do total de área (660,87 ha), ocorrendo a redução do vigor vegetativo, devido a presença de estresses houve redução da área com vigor alto e aumento da área com vigor vegetativo médio, escala 5 (Figura 27). Em outubro a redução da porcentagem de área na escala 6 pode ser devido ao estresse fitossanitário ou nutricional, no entanto, precisa ser melhor investigado esta suposição.

Esta redução na porcentagem da escala 6, entre agosto e outubro de 2008, tem explicação nas citações de Rouse et al. (1973) e Ponzoni e Shimabukuro (2007), onde citaram que os índices de vegetação, NDVI no caso específico, fundamenta-se no comportamento antagônico da reflectância da vegetação nas regiões espectrais do vermelho e infravermelho próximo. Os autores comentaram que quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a reflectância na região do vermelho, devido à maior oferta de pigmentos fotossintetizantes. Por outro lado, maior será a reflectância verificada na região do infravermelho próximo, devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas diferentes camadas de folhas.

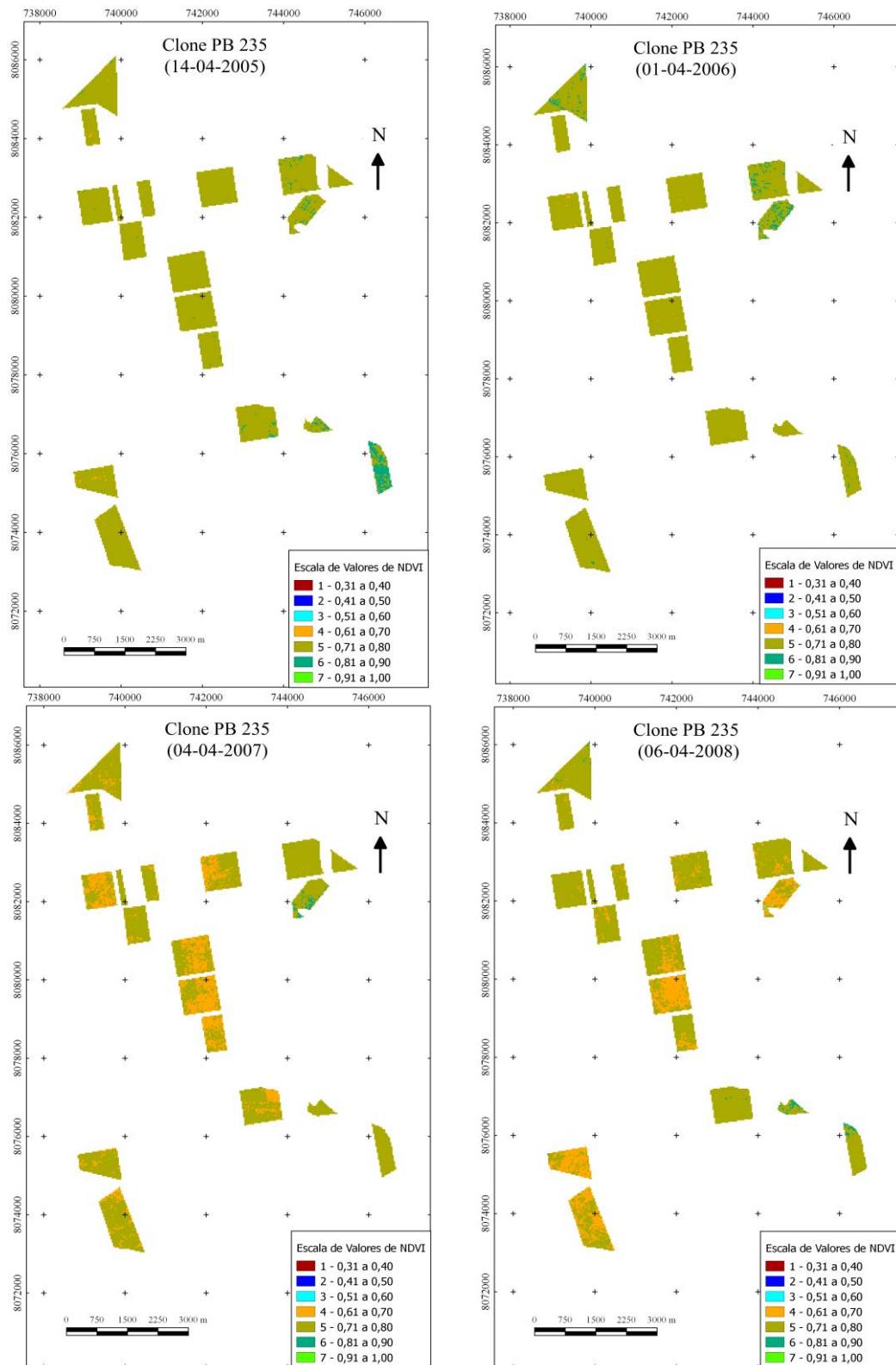
O estado fitossanitário do plantio no início do reenfolhamento, meses de agosto e outubro, demonstraram vigor vegetativo alto, porém, especificamente no ano de 2001 e 2005, ocorreu atraso no reenfolhamento nos talhões localizados na parte oeste do plantio, podendo ser explicado pelo excesso de gases poluentes liberados pelos veículos que

trafegam pela rodovia associado com algum estresse biótico. No mês de outubro apresentou-se com vigor alto, depois do reenfolhamento total, porém, no ano de 2008 que foi identificado uma considerável área com a escala 5, tendo um aumento de 22,95% desta escala, sendo que nestes locais com a respectiva escala o vigor vegetativo ficou médio (Figura 27).

No índice de vegetação NDVI obtido no clone PB 217 no mês de abril, entre os anos de 2005 e 2008, ocorreu a predominância da escala 5, com vigor vegetativo médio. As porcentagens na escala 5 foram 89,75%; 89,59%; 66,06% e 76,31% das áreas para os anos de 2005, 2006, 2007 e 2008, respectivamente, sendo que a partir deste período começa a época de senescência natural das folhas da seringueira. Já, para o período compreendido entre agosto e outubro ocorreu maiores porcentagens de índice vegetativo dentro da escala 6, vigor alto, nos anos de 2001, 2004, 2005 e 2008, confirmando o que era esperado, que após o reenfolhamento a escala de NDVI seria maior do que em abril.

Dentre os mapas de índice NDVI do clone PB 235 em abril dos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008, houve predominância da escala 5 nos anos 2005 e 2006, com 95,04% (981,09 ha) e 96,33% da área total (994,77 ha), respectivamente. Em 2007 ocorreram as escalas 4 e 5, com valores de 25,01% (258,66 ha) e 74,14% da área total (766,89 ha), respectivamente e em 2008, a escala 5 apresentou 77,63% da área total (797,85 ha). Estes valores dentro das escalas 4 e 5 demonstraram que o vigor vegetativo das plantas foi médio, devido ao fato do início do processo de senescência natural das folhas, que são estimuladas pela redução pluviométrica que ocorre anualmente após o mês de abril (Figura 28).

Estas quantificações de NDVI demonstram importante utilidade no monitoramento de plantios, pois segundo Karnieli et al. (2002), imagens multitemporais de sensoriamento remoto, transformadas em índices de vegetação, são ferramentas poderosas usadas para monitorar mudanças ocorridas na cobertura vegetal e na produção de biomassa.



**Figura 28.** Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone PB 235.

Para o período de reenfolhamento, o clone PB 235 apresentou NDVI em 2001, nas datas de 10-09 e 12-10, predominantemente na escala 6, com valores de 85,30%

(883,17 ha) e 96,20% da área total (990,63 ha), respectivamente, o plantio com a respectiva escala foi classificado com vigor alto. A escala 5 apresentou 14,50% em 10-09 e 3,80% da área total em 12-10-2001 (Figura 29), sendo que os dois talhões entre as coordenadas UTM 21S 8086000 L/ 7400000 N e 8084000 L/ 739000 N que estavam quase por completo na escala 5 em setembro. Já, em outubro mudaram para a escala 6, demonstrando que ocorreu reenfolhamento tardio nestes talhões, e sendo classificados como vigor vegetativo alto.

No ano de 2001, ocorreu atraso no reenfolhamento das plantas, como pode ser observado nos talhões com presença da escala 5 no mês de setembro, localizados mais ao norte do plantio. Em outubro o talhão mais ao sul da área experimental apresentou regresso de vigor vegetativo, ou seja, em setembro no respectivo local a maior % era da escala 6 e em outubro a escala 5 foi identificada nos locais com vigor alto (escala 6), sendo devido à algum estresse biótico ou abiótico nas plantas (Figura 29).

As escalas encontradas no clone PB 235 para o ano de 2004 foram as 5 e 6, no entanto, a escala 6, vigor vegetativo alto, obteve maior porcentagem de área nos dois meses, total de 1.004,49 ha (97,26% da área) no dia 02-09-2004 e em 04-10-2004 a área encontrada foi de 998,37 ha (97,13% da área). O vigor vegetativo médio, escala 5, foi somente 2,71% em setembro e 2,85% da área total em outubro (Figura 29), demonstrando que as plantas apresentaram vigor vegetativo estável durante o período analisado. Os valores dentro da escala 6 ficaram acima do que Espig et al. (2006) citaram, onde cenas com vegetação, o NDVI, geralmente, varia entre 0,1 e 0,8 conforme sua arquitetura, densidade e umidade, sendo que o vigor da seringueira no reenfolhamento apresentou-se alto, escala 6 (Figura 29).

No ano de 2004 ocorreram áreas esparsas dentro da escala 5 em setembro, porém, com porcentagem pequena, e em outubro apareceu a escala 5 em outros locais que anteriormente se encaixavam na escala com vigor alto (escala 6). No entanto, o plantio apresentou vigor vegetativo alto, escala 6, e a escala de vigor vegetativo médio, escala 5, foi encontrada em pontos esparsos na área experimental (Figura 29).

Em 2005, nas datas de 05-09 e 07-10-2005, o clone PB 235 encaixou-se nas escalas 5 (vigor médio) e 6 (vigor alto), porém, a escala 6 apresentou área de 940,14 ha (91,66% da área total) e 1.008,18 ha (97,85% da área), nas datas de setembro e outubro, respectivamente, sendo que o restante dos pixels e suas respectivas porcentagens se encaixaram na escala 5 (Figura 29). A variação das porcentagens de NDVI entre as duas datas foi pequena, e onde era classificado na escala 5 em setembro passou para a escala 6 em

outubro, portanto, o vigor alto do plantio (escala 6) e o estado fitossanitário da área total estava em boas condições. Apenas algumas pequenas falhas, que passaram da escala 6 para a 5, ocorreram em outubro, o que pode ser algum possível estresse, porém, necessita de análises com dados fitossanitários que são ausentes no momento.

No mês de setembro ocorreu a escala 6 (vigor alto) e em porcentagem menor que 15% na escala 5, em um talhão localizado mais ao norte da área, dois no extremo sul e o quarto talhão no extremo nordeste, sendo classificado como escala de vigor vegetativo médio, devido ao atraso no reenfolhamento das plantas. Em outubro ocorreu predominantemente a escala 6, classificado como vigor vegetativo alto, e em pequenas áreas que em setembro apresentaram escala 5 permaneceram nesta classificação de vigor médio. Em locais esparsos surgiram com a respectiva escala, possivelmente devido à algum estresse biótico ou abiótico presente nas plantas (Figura 29).

O clone PB 235 nas datas de 28-08 e 15-10-2008 foi classificado nas escalas 5, 6 e 7, porém, em agosto a escala 6 (vigor vegetativo alto) teve 99,53% da área total, 1.027,08 ha e a escala 7 (vigor muito alto) teve 0,31% dos pixels, uma pequena área, igual a 3,15 ha. Para a data de 15-10-2008, a escala 6 apresentou 91,89% dos pixels, área de 945,99 ha, a escala 7 não teve nenhum pixel e a escala 5 apareceu com 8,09% da área total (83,25 ha). A diminuição da área da escala 6 na data de 28-08 para a escala 5 no dia 15-10 pode demonstrar algum estresse ocasionado por fitoparasitas, sendo necessária melhor análise para esta suposição (Figura 29).

Em agosto de 2008 ocorreu a escala 6 de forma predominante, sem apresentar atraso no reenfolhamento, e pequena área apresentou vigor vegetativo muito alto, escala 7, no talhão localizado no extremo sul do plantio do clone PB 235 (Figura 29). E outubro do mesmo ano ocorreu áreas com vigor vegetativo médio, escala 5, sendo devido a presença de estresse que não foi identificado, pois dados fitossanitários e climáticos estavam ausentes, porém, de forma geral, o plantio encaixou-se na escala 6, com vigor vegetativo alto.

Para o clone PB 235, no mês de abril a escala predominante foi a 5, com média de 85,79% do total dos pixels dos talhões, demonstrando que o mês de abril tem início o período de senescência natural das plantas do clone PB 235, apresentando vigor vegetativo classificado como médio (Figura 28).

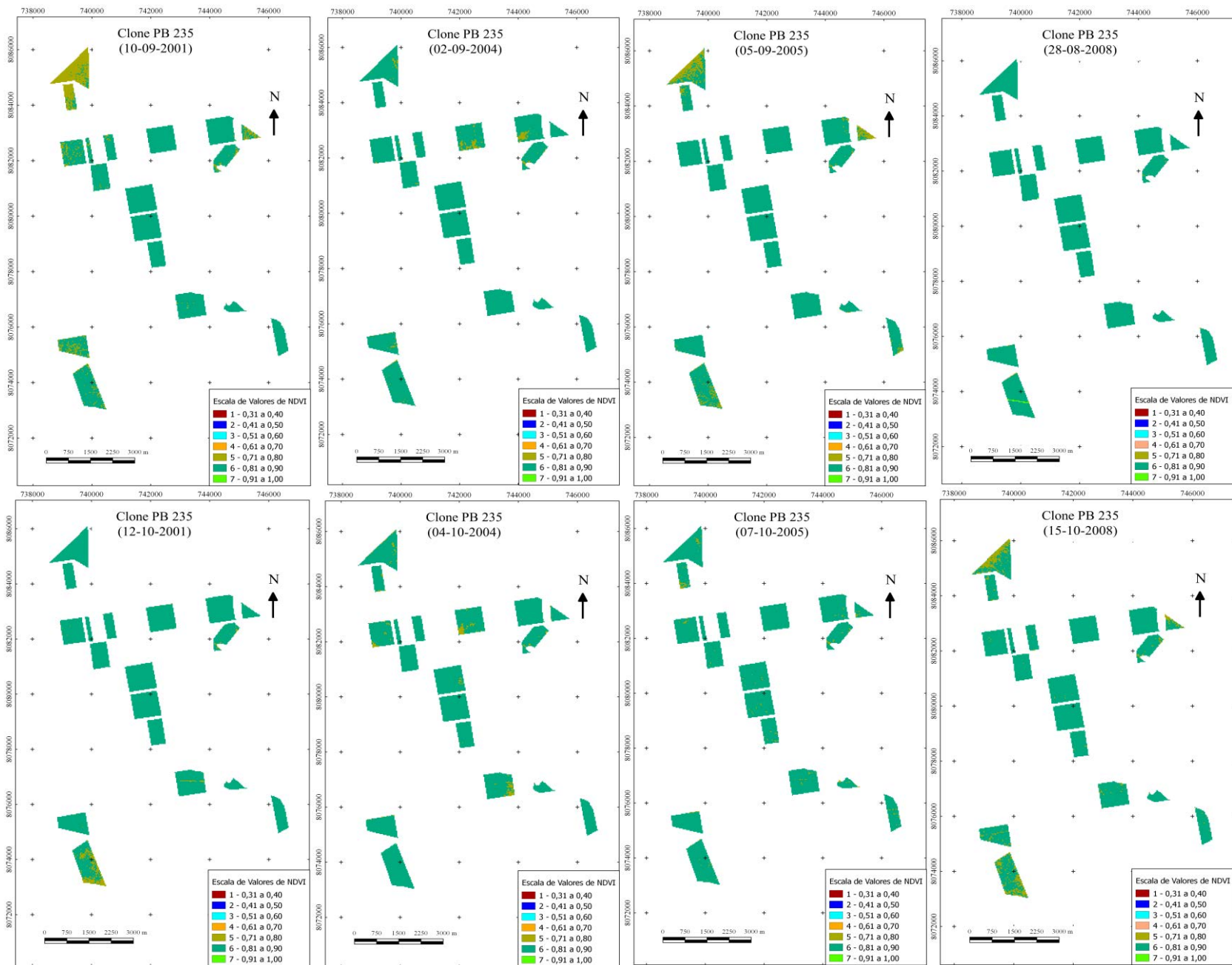


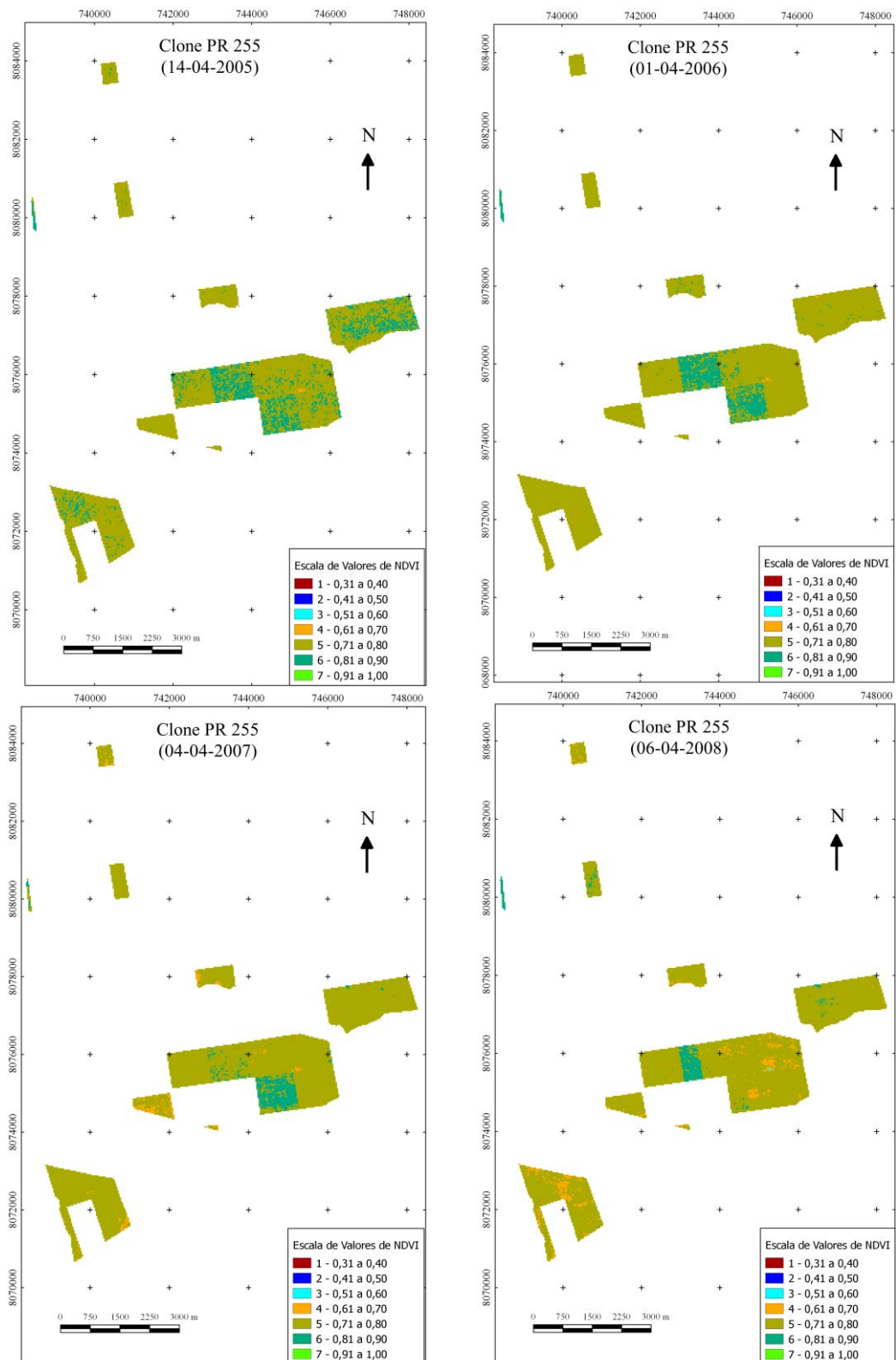
Figura 29. Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período de reenfolhamento do clone PB 235.

No segundo semestre, em agosto, setembro e outubro, a escala com maior porcentagem foi a 6, com média de 94,60 % dos pixels nos quatro anos avaliados, sendo que o plantio apresentou vigor vegetativo alto. Na escala 5 do mês de outubro dos anos avaliados (Figura 29), pode ser que em parte dos pixels desta escala sejam devidos a alguma forma de estresse, no entanto, precisa ser melhor avaliado esta hipótese.

No clone PR 255, no mês de abril, período da desfolha, ocorreram as escalas 4, 5 e 6, sendo que houve maior porcentagem da escala 5 nos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008 com valores de 79,61% (920,43 ha), 87,53% (1.014,12 ha), 88,98% (1.033,47 ha) e 89,02% da área total (1.026,99 ha), respectivamente, desta forma o vigor vegetativo do clone foi médio. No ano de 2008 foi onde ocorreu a maior porcentagem de pixels (área) entre 0,61 a 0,70 de valor NDVI, escala 4, com 6,23% da área total (71,91 ha), sendo que nos outros anos também houveram escala 4, mas as porcentagens foram abaixo desta de 2008 (Figura 30).

A escala 6, vigor alto, teve 20,26% (234,12 ha), 12,26% (142,02 ha), 7,75% (90 ha) e 4,70% da área total (54,18 ha), para os anos de 2005, 2006, 2007 e 2008, respectivamente. A maior porcentagem da escala de vigor vegetativo alto encontrou-se em talhões com plantios mais recentes, como por exemplo, aqueles plantados em 1989, próximo da coordenada geográfica UTM 21S 8076000 L/ 744000 N. No ano de 2005 foi onde ocorreu maior dispersão dos locais com vigor vegetativo alto, espalhados em todos os talhões do clone avaliado. Entretanto, em 2006, 2007 e 2008, as maiores porcentagens ocorreram em locais com plantios mais recentes, ano de 1989, sendo a segunda maior escala presente para o clone nos quatro anos avaliados (Figura 30).

Para o clone PR 255, a diferenciação da idade das plantas pode ser realizada por meio do índice de vegetação NDVI, conforme foi identificado nas quadras localizadas próximas a junção das coordenadas UTM 21S 8076000 L/ 744000 N (Figura 30). Nesta quadra o plantio ocorreu no ano de 1989, 05 anos após o primeiro plantio com quadras de PR 255, sendo que nesta quadra os valores apresentaram porcentagens altas na escala 6 do NDVI para os anos 2005, 2006, 2007 e 2008, onde o vigor alto manteve-se em outubro possivelmente devido a esta diferença de idade. Para uma melhor compreensão das características de reflectância da REM incidente sobre uma folha é necessário o conhecimento de seu estado fenológico, de sua forma e morfologia interna e de seu conteúdo de umidade (PONZONI, 2002; CHUVIECO, 2007), onde esta diferenciação de idade das plantas por meio do NDVI tem importância para monitoramento fitossanitário da cultura em foco.



**Figura 30.** Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone PR 255.

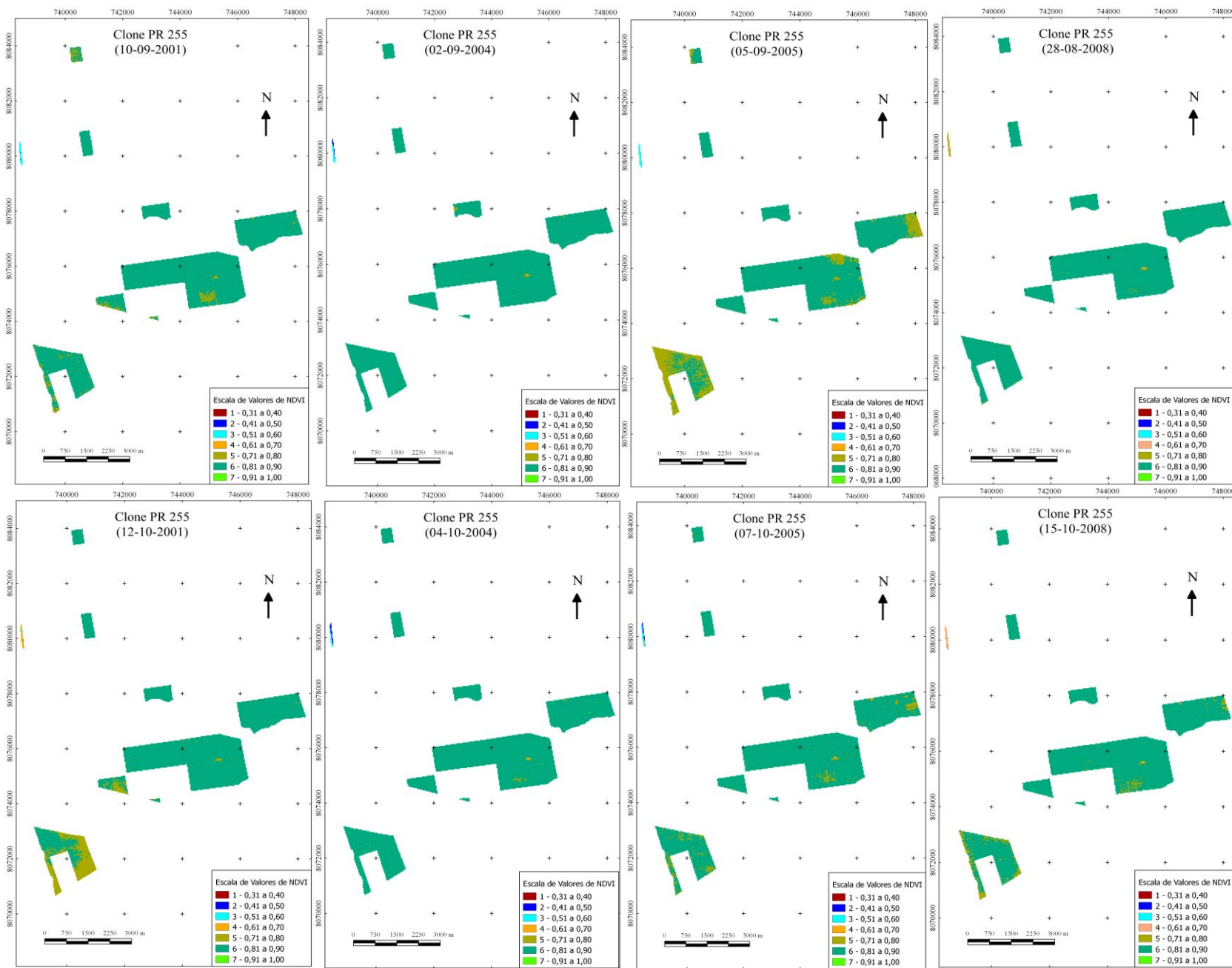
No período de reenfolhamento entre 10-09 e 12-10-2001, o clone PR 255 apresentou variação de NDVI entre as escalas 3, 4, 5 e 6, com predominância da escala 6

nos dois meses avaliados, sendo de vigor vegetativo alto. A escala 3 ocorreu no talhão com menor idade de plantio, ano de 2000, localizado próximo as coordenadas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N com 0,49% dos pixels (63 pixels), área de 5,67 ha, com escala classificada como de baixo vigor vegetativo. Este mesmo talhão em outubro apresentou 0,44% do total de pixels e 57 pixels na escala 4, vigor médio, (área de 5,13 ha). Em menor porcentagem ocorreu a escala 3, vigor baixo (0,06% de todos pixels e 7 pixels, área de 0,63 ha), sendo que encontra-se desfolhada, demonstrando que a idade da planta tem influência no desfolhamento e período de hibernação da seringueira (Figura 31).

Em setembro ocorreu 4,88% (56,7 ha) e 94,6% da área (1.098,99 ha), nas escalas 5 (vigor vegetativo médio) e 6 (vigor alto), respectivamente e, em outubro, houve 12,03% (área de 138,87 ha) e 87,47% da área total (1.009,62 ha), escalas 5 e 6, respectivamente. No talhão que se encontra entre as coordenadas UTM 21S 8072000 L/ 740000 N, em setembro no período de 1 mês e 2 dias ocorreu aumento do número de área (pixels) da escala 5, no entanto, no período em questão esta escala apresentou baixo incremento em outros clones avaliados (Figura 31).

Em setembro de 2001, o vigor vegetativo foi classificado como médio (escala 5) e alto (escala 6) nas plantas mais velhas que 10 anos, e no talhão localizado vizinho as coordenadas geográficas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N foi classificado como vigor vegetativo baixo (escala 3), devido a diferença de idade do plantio. Em outubro do mesmo ano, as plantas com idade superior a 10 anos apresentaram vigor vegetativo médio (escala 5) e alto (escala 6), porém, a área com a escala 5 aumentou, principalmente no talhão mais ao sul do plantio, devido a ocorrência de algum estresse biótico ou abiótico. Já, para o vigor vegetativo no talhão mais jovem, lindeiro as coordenadas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N, aumentou da escala 3 para a 4, com aumento em seu vigor, do baixo para o médio (Figura 31).

O aumento encontrado para a escala 5, possivelmente, ocorreu devido à algum estresse, pois foi de forma localizada e progressiva no talhão descrito, uma possível explicação seria a incidência do nematoide ou o ataque de percevejo de renda (*Leptopharsa heveae*) no local. O *L. heveae* ocorre na área do seringal analisado no período entre agosto e janeiro, conforme citou trabalho realizado por Santos e Silva (2013), onde o NDVI em análise ocorreu dentro do período de incidência do percevejo.



**Figura 31.** Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período de reenfolhamento do clone PR 255.

Nas datas de 02-09 e 04-10-2004, o clone PR 255 apresentou predominância da escala 6, vigor vegetativo classificado como alto, com valores de 99,04% (1.146,51 ha) e 98,71% da área (1.138,59 ha), respectivamente. Entretanto, as escalas 2, 3, 4, 5 e 7 foram encontradas, dentre elas as 2 e 3, vigores baixos, foram no talhão com idade mais recente de plantio. As escalas 4, 5 (vigores médios) e 7 (vigor muito alto), apareceram de forma esparsa e pontual nos talhões, somadas estas 3 escalas apresentaram 0,47% da área (5,4 ha) em setembro e 0,80% da área total (9,18 ha) em outubro (Figura 31).

O talhão com menor idade, plantio no ano de 2000, próximo as coordenadas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N apresentou as escalas 2 e 3 (baixo vigor vegetativo nas 2 escalas), com 0,09% (1,08 ha) e 0,40% da área (4,68 ha), em setembro e 0,34% (3,96 ha) e 0,16% da área (1,8 ha), em outubro, respectivamente (Figura 31). Com estes dados, pode-se concluir que a idade da planta pode ser identificada por meio do NDVI, onde as plantas mais jovens (idade de aproximadamente 4 anos) do clone PR 255, apresentaram reenfolhamento mais tardio em relação as plantas mais velhas.

Em 2004, entre os meses de setembro e outubro ocorreu pouca variação do vigor vegetativo, mantendo-se com quase 100% do plantio dentro da classe vigor alto, escala 6, e a escala 5 apresentou pontos esparsos pelo plantio, com pequena área. No talhão com idade inferior a 10 anos, o vigor vegetativo ficou dentro das escalas 2 e 3, classificadas como vigor baixo (Figura 31), devido ao período de desfolha e reenfolhamento não ser simultâneo as plantas com idade superior a 10 anos. Dentre os quatro anos avaliados, este foi o que apresentou maior uniformidade das escalas de NDVI, pois ocorreu pouca variação da % de escalas.

No ano de 2005, as escalas de NDVI encontradas foram 2, 3 (vigores baixos), 4, 5 (vigores médios) e 6 (vigor vegetativo alto), onde a escala 6 apresentou maiores porcentagens, com valores de 80,22% (923,58 ha) e 94,30% da área total (1.089,18 ha), nas datas de 05-09 e 07-10-2005, respectivamente. A escala 5 teve 19,26% dos pixels (221,76 ha) em setembro e 5,10% pixels (58,86 ha) em outubro, parte desta porcentagem foi localizada no talhão nas coordenadas UTM 21S 8072000 L/ 740000 N (Figura 31). Esta mudança foi sinal de que o dossel do plantio nestes pontos geográficos ficou próximo do vigor vegetativo máximo da cultura, porém, de forma atrasada, onde pela média, o máximo de vigor ocorreu sempre no fim de agosto e início de setembro.

O talhão citado no parágrafo anterior apresentou a escala 5 (vigor vegetativo médio) em grande quantidade no mês de setembro, e em outubro nos mesmos

pontos geográficos houve a substituição dos pixels desta escala para a escala 6 (vigor alto). No talhão localizado entre as coordenadas UTM 21S 8080000 L/ 740000 N apresentou as escalas 2 e 3 (vigores classificados como baixos), onde em setembro foi somente a 3, com área de 5,58 ha (0,49% da área total) e em outubro ocorreu a queda da área com escala 3, indo para uma área de 3,33 ha e 0,29% da área total. A área (pixels) que passou para a escala 2, foi de 2,07 ha, 0,18% do total de área ou pixels (Figura 31), em outubro, provavelmente foram devido à estresses fitossanitários ou nutricionais, porém, não pode ser afirmado.

Em setembro de 2005, as áreas com escala 5 demonstraram que houve atraso no reenfolhamento do plantio, sendo bastante pronunciado este atraso no talhão mais ao sul e em parte dos talhões no extremo sudeste do plantio (Figura 31). Estes locais apresentaram porcentagem considerável que passaram para a escala 6 (vigor alto) em outubro, ou seja, ocorreu o término do reenfolhamento depois do mês de setembro. No talhão do extremo sul provavelmente ocorreu estresse devido ao excesso de gases poluentes liberados pelos veículos que transitam pela rodovia BR 163, pois esta área faz limite de sul ao norte com a referida rodovia.

Observando no mapa da Figura 31, o sudoeste do talhão no extremo sul apresentou área dentro da escala 5, provavelmente devido a ação destes gases poluentes ou a combinação destes gases com outro estresse não identificado. No talhão localizado na vizinhança das coordenadas geográficas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N, na escala 3 houve diminuição de parte de sua área, cedendo espaço para a escala 2, sendo estas duas escalas classificadas como vigor vegetativo baixo, sendo que pode ser devido a presença de estresse biótico ou abiótico.

No ano de 2008, o valor de escala de NDVI na área ao redor das coordenadas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N foi uma acima dos outros 3 anos avaliados (2001, 2004 e 2005), passando da escala 3 para a 4, saindo do vigor vegetativo baixo para o médio (Figura 31). Possivelmente, isto foi devido ao fato de o estágio fenológico das plantas terem alcançado a idade adulta e passar a desfolhar e hibernar no meio do ano.

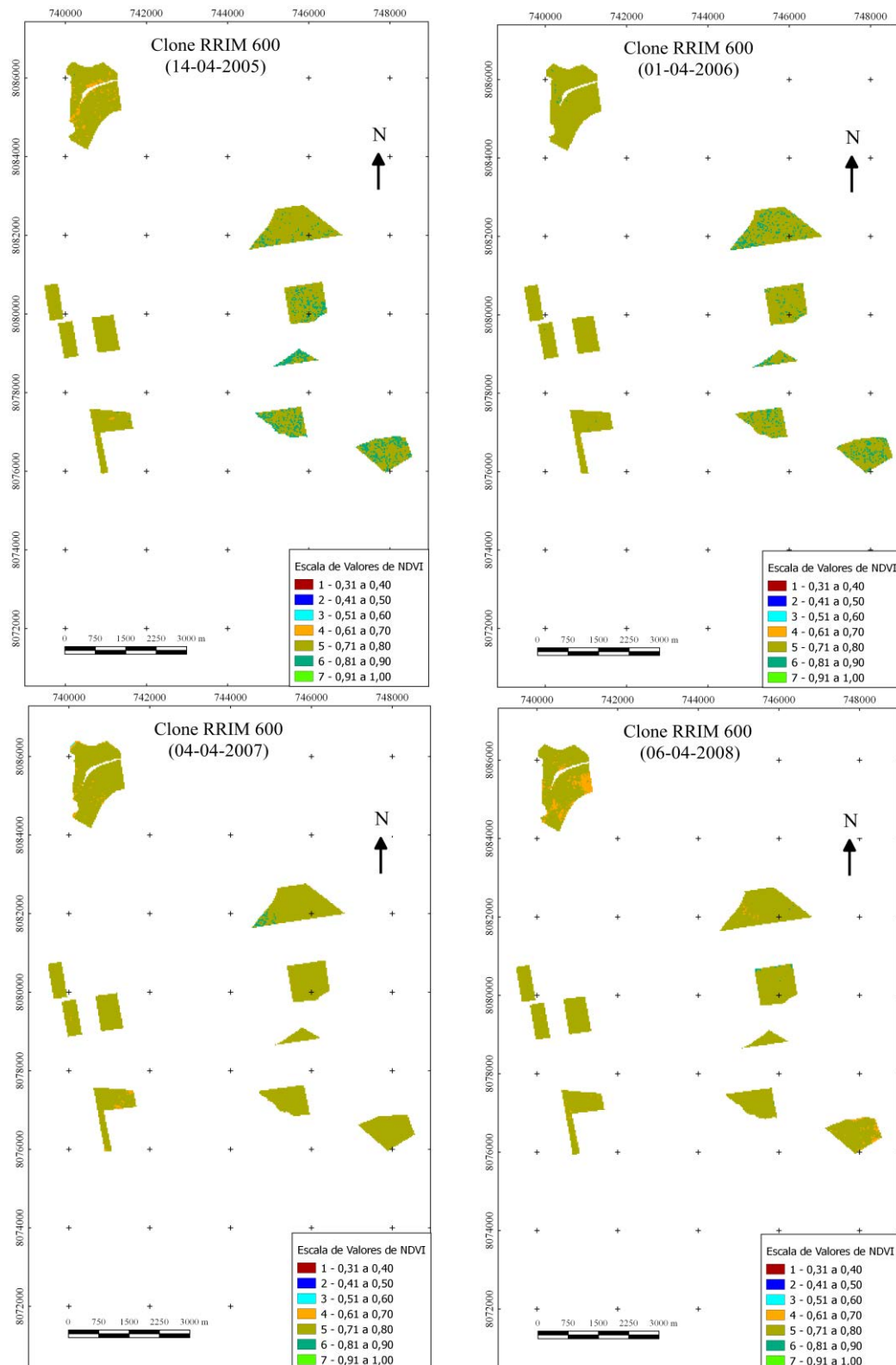
As escalas presentes em agosto e outubro de 2008, foram 4, 5 (vigores médios) e 6 (vigor vegetativo alto), com maior porcentagem na escala 6, com valores de 98,90% (1.143,36 ha) e 94,15% da área total (1.086,66 ha), respectivamente. Nos talhões mais ao sul da área estudada apresentaram falhas nos pixels da escala 5 (Figura 31), possivelmente devido ao fato da presença de estresses, precisando ser melhor estudado esse efeito.

Em agosto de 2008, o reenfolhamento não apresentou atraso, sendo que praticamente 100% do plantio com idade superior a 10 anos se encaixou na escala 6, de vigor vegetativo alto. No talhão com clones mais jovens, ocorreram as escalas 4 e 5 (vigores vegetativos médios), demonstrando que neste ano houve algum fator biótico, abiótico ou de questão fisiológica da planta (início da idade adulta) que atrasou sua desfolha, pois em outubro ocorreu a redução da área com a escala 5, com queda no vigor vegetativo das plantas (Figura 31). Nas plantas mais velhas, em outubro ocorreu alguns locais com redução da escala de NDVI, passando da escala 6 para a 5, devido ao fato de algum estresse nas plantas, sendo necessária atenção especial para o manejo fitossanitário destas áreas.

No segundo semestre as plantas reenfolharam completamente no mês de outubro, pois ocorreram alguns pixels da escala 5 (vigor vegetativo médio) em agosto e em outubro os mesmos pixels foram classificados como escala 4, mantendo-se como vigor médio, porém, com escala menor. Em outubro quase 100 % da área total do referido talhão ficou na escala 4, ou seja, as plantas estavam em processo de desfolha, sendo mais tardia do que as plantas adultas do respectivo clone, sendo devido à diminuição do vigor das plantas que estavam na escala 5 em agosto e passando para a 4 em outubro (Figura 31).

O clone PR 255 apresentou predominância das escalas 5, vigor vegetativo médio, no mês de abril com valores entre 79,61%, ano de 2005, e 89,02% da área total (pixels totais), ano de 2008, e média de 86,29% nos quatro anos avaliados. Entre os meses de agosto e outubro foi a escala 6, vigor vegetativo alto, com menor porcentagem de 80,22 (setembro de 2005) e maior igual a 99,04% (setembro de 2004). Em plantios mais jovens, como aquele ao redor das coordenadas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N (Figura 31) ocorre a diferença de reenfolhamento, sendo mais tardio que as plantas com idade superior a 10 anos, sendo depois de outubro no presente estudo, demonstrado nas análises anteriores.

Na primeira quinzena do mês de abril dos anos 2005, 2006, 2007 e 2008, o clone RRIM 600 apresentou as escalas 4, 5 (vigores vegetativos médios) e 6 (vigor alto), sendo que a escala 5 foi predominante, com 87,32% (657,54 ha), 92,30% (696,60 ha), 97,56% (737,28 ha) e 94,69% da área total (710,82 ha), nas datas de 14-04-2005, 01-04-2006, 04-04-2007 e 06-04-2008, respectivamente (Figura 32).



**Figura 32.** Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone RRIM 600

Em 2005, a escala 6 apresentou a maior porcentagem entre os quatro anos, com valor de 10,67% da área total (80,37 ha), seguido pelo ano de 2006, 2007 e 2008,

com valores de 7,63% (57,60 ha), 0,72% (5,40 ha) e 0,32% da área total (2,43 ha), respectivamente, onde possivelmente ocorreu prolongamento do período chuvoso. Para a escala 4 foram obtidos 4,99%; 2,01%; 1,73% e 0,07% da área total para os anos de 2008, 2005, 2007 e 2006, respectivamente, sendo valores pequenos, podendo ser considerados e utilizados para quantificação de alguma forma de estresse no plantio, mas sem identificação no presente estudo (Figura 32).

As escalas representadas no clone RRIM 600, no período de reenfolhamento, entre 10-09 e 12-10-2001 foram a 5 (vigor vegetativo médio) e 6 (vigor alto), onde a 6 foi predominante nos dois meses em questão. Esta escala apresentou valores de 72,6% (653,4 ha) e 99,39% da área total (747,9 ha) para setembro e outubro, respectivamente, sendo que ocorreu atraso no reenfolhamento das plantas em setembro, e em outubro praticamente todas as plantas estavam reenfolhadas e sem presença de estresses (Figura 33).

A escala 5 (vigor vegetativo médio), no ano de 2001, apresentou 13,54% da área (102,33 ha) em setembro e 0,61% da área total (4,59 ha) em outubro, sendo as menores porcentagens nas duas datas, havendo redução desta escala em quase 100%, pois o reenfolhamento foi quase concluído entre os dois meses (Figura 33).

No talhão nas coordenadas UTM 21S 8085000 L/ 741000 N, localizado no extremo norte do plantio, foi onde ocorreu a maior porcentagem da área com escala 5 no mês de setembro, ou seja, atraso no reenfolhamento. Nesta região, as plantas retardaram seu período de reenfolhamento após a hibernação e seu vigor máximo ocorreu em outubro, sendo que em outubro todos os pixels neste talhão foram na escala 6 (Figura 33).

Próximo a este talhão localiza-se o ribeirão Sozinho e, possivelmente, o lençol freático influenciado pelo curso d'água elevou-se e interferiu na desfolha natural das plantas e, conseqüentemente, no início do reenfolhamento, pois com maior umidade a seringueira atrasa sua desfolha. Além deste fator, provavelmente ocorreu, na área de preservação permanente do referido ribeirão, migração de alguma praga ou doença que colonizou somente esta região, sendo como fonte de inóculo.

Estas quantificações por meio do NDVI são baseadas conforme Chuvieco (2007), devido ao contraste mais nítido na reflectividade espectral na vegetação sadia constrói-se entre as bandas do visível e do infravermelho próximo, levando a se considerar, como princípio genérico, que quanto maior o contraste entre estas duas bandas, maior o vigor da vegetação e mais clara a sua discriminação frente a outros tipos de alvos.

Nas datas de 02-09 e 04-10-2004, o clone RRIM 600 apresentou somente as escalas 5 e 6, sendo predominante a 6, com 99,06% (747,45 ha) e 99,82% da área total (749,25 ha) em setembro e outubro, respectivamente (Figura 33). Neste período analisado a variação de escala foi insignificante, sendo que em outubro não ocorreu possíveis estresses, pois de setembro para outubro foi mantida a mesma escala 6, classificada como vigor vegetativo alto. Esta escala é a segunda de maior vigor vegetativo dentre a escala de -1 a +1 do índice NDVI, conforme citaram Epiphanio et al. (1996), Eastman (1998) e Rosa (2007), que os valores de máximo vigor vegetativo chegam em +1.

Em 2005 ocorreram as escalas 5 e 6 no clone RRIM 600, onde os valores encontrados para a escala 6 foram 86,09% (645,30 ha) e 98,61% da área total (742,32 ha) em setembro e outubro, respectivamente. A escala 5 apresentou 13,92% (104,31 ha) e 1,39% da área total (10,44 ha) em setembro e outubro (Figura 33), respectivamente, onde os locais que apresentaram a escala 5 em setembro, em outubro foram classificados na escala 6.

No mês de setembro de 2005, a escala 5, que tem vigor vegetativo médio, foi encontrada nos talhões que fazem limite com fazendas que cultivam culturas anuais, localizados no extremo nordeste e sudeste, e em uma pequena área no extremo norte, sendo próximo a área de preservação permanente (APP) do ribeirão Sozinho (Figura 33).

No talhão localizado no extremo norte do plantio podem ter ocorrido os mesmos fatores citados para o ano de 2001, entretanto, em menor intensidade. Nos outros dois talhões podem ter sofrido efeito bordadura de algum manejo cultural realizado na lavoura semeada na fazenda lindeira ao seringal, prolongando ou adiantando a hibernação da planta, que, por consequência, reflete no parcial ou total reenfolhamento do seringal em setembro.

Em outubro ocorreram pontos esparsos no plantio com a escala 5, demonstrando algum tipo de estresse (abiótico ou biótico), no entanto, ocorreu o pico do vigor vegetativo no clone RRIM 600, escala 6 (vigor alto) (Figura 33). Este aumento no vigor vegetal demonstrou que por alguma influência, citadas nos parágrafos anteriores, ocorreu atraso no reenfolhamento das plantas localizadas nestas coordenadas geográficas.

Conforme Ponzoni e Shimabukuro, (2007), a princípio, quanto maior a densidade da cobertura vegetal em certa área, menor a reflectância na faixa do visível (de 0,4 a 0,7 $\mu$ m) devido à absorção da radiação solar pela ação dos pigmentos fotossintetizantes presentes nas folhas, sendo identificado na presente escala do estudo, onde áreas com estresse apresentaram vigor vegetativo médio, escala 5.

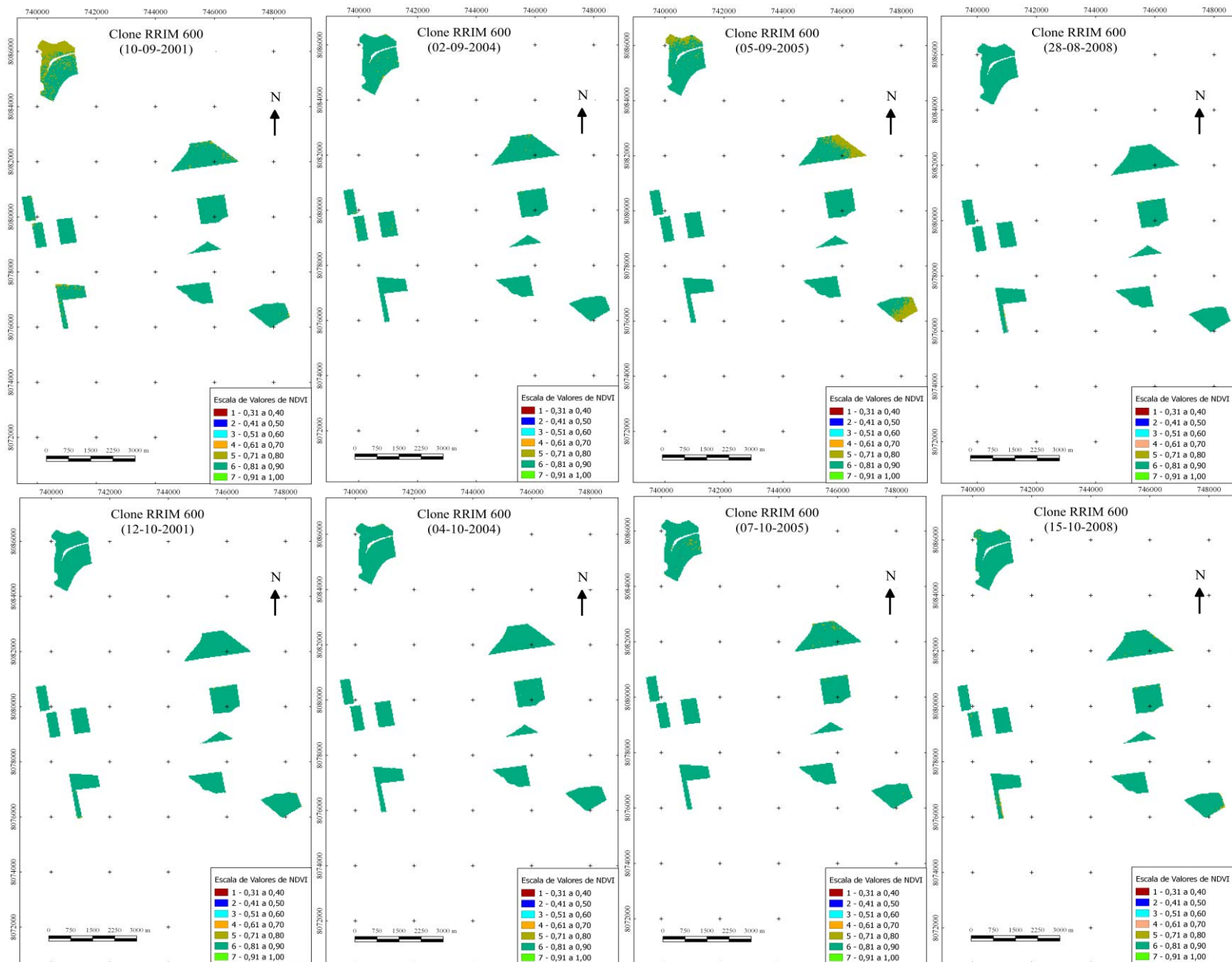


Figura 33. Mapas dos índices de vegetação NDVI das imagens do satélite Landsat 5, no período da desfolha do clone RRIM 600.

No ano de 2008, o clone RRIM 600 apresentou variação mínima entre as porcentagens de área na escala 6, com 750,06 ha (99,61% da área) e 739,8 ha (98,34% da área total) na data de 28-08-2008 e 15-10-2008, respectivamente, onde o vigor vegetativo foi classificado como alto. Em outubro apareceram algumas falhas do dossel com a escala 5, com 12,33 ha (1,64% da área), sendo que em agosto houve somente 1,62 ha nesta escala (0,22% da área total), podendo ser ocasionadas por algum tipo de estresse (Figura 33).

A escala 3, vigor vegetativo baixo, apresentou 0,06% e 0% da área em agosto e outubro, respectivamente, demonstrando que as plantas reenfolharam totalmente em outubro (Figura 33). O reenfolhamento do seringal no município de Itiquira – MT ocorreu de forma semelhante ao que ocorre no Estado de São Paulo, onde Camargo et al. (1967, 1976) citaram que nas condições climáticas Paulistas foram observados que o primeiro fluxo foliar da seringueira aparece normalmente em agosto e setembro, após a dormência e a queda das folhas, independentemente da ocorrência de chuvas. A dormência das plantas dá-se em julho e agosto. Nas plantas adultas, o primeiro fluxo foliar surge em todos os galhos ao mesmo tempo e os demais fluxos vêm, em geral, apenas nos galhos apicais. Logo nos primeiros fluxos, as seringueiras foram totalmente enfolhadas.

A variação da porcentagem da escala 5 nos quatro anos avaliados foi pequena, podendo ser uma característica típica do clone RRIM 600, apresentando desfolha precoce e quando começou o mês de setembro as plantas estavam totalmente reenfolhadas, como demonstrado na Figura 31. Para futuros trabalhos com infestação de nematoides em seringueira poder-se-á tomar por base este clone para fazer possíveis correlações de estresse com NDVI ou com determinadas faixas espectrais que são alteradas devido ao estresse. No entanto, sugere-se a utilização de imagens de satélite de melhor resolução espacial, pois desta forma ocorre menor quantidade de plantas por pixel.

O clone RRIM 600 apresentou média de 92,97% da área total dentro da escala 5 (vigor vegetativo médio), no mês de abril dos quatro anos em questão e, no segundo semestre, entre os meses de agosto e outubro ocorreu predominância da escala 6 (vigor alto), com porcentagens médias de 89,34% e 99,04% da área total, respectivamente. Estes resultados demonstraram que o clone tem menor vigor vegetativo em abril do que no período entre agosto e outubro, pois após esse mês ocorre a redução das chuvas e com isso estimula a planta a entrar na hibernação, além de fatores como o fotoperíodo, entre outros.

De maneira geral, os valores médios de NDVI nos 5 clones avaliados, apresentaram dados de índice de vegetação com escala 5 (vigor vegetativo médio) no mês de

abril e no segundo semestre, em agosto, setembro e outubro foi a escala 6 (vigor vegetativo alto). Em alguns anos ocorreram atrasos no reenfolhamento que foram detectados no mês de agosto e setembro, por meio da visualização da escala 5 e no mês de outubro ocorreu predominância da escala 6, entretanto, apareceram locais com a escala 5, demonstrando assim a presença de estresses.

### **6.5 Valores de NDVI dos anos avaliados e dados correlacionados**

Para as amplitudes de valores de NDVI, no mês de abril, o clone GT 1 obteve valores de NDVI entre 0,04 e 0,90, no entanto, a menor escala que apresentou valor considerável foi a escala 4 (NDVI entre 0,6 e 0,7) com 86,58 ha, classificada como de vigor vegetativo médio. Os maiores valores do índice de NDVI foi de 0,78 a 0,90, entre a escala 5 (vigor médio) e escala 6 (vigor alto). A área total do clone variou de 1.407,51 até 1.400,22 ha e o CV (Coeficiente de Variação) ficou entre 2,61 e 3,28, sendo que ocorreu pouca variação entre os valores (Tabela 6).

O clone PB 217 apresentou os menores valores de NDVI entre 0,32 (escala 1, vigor vegetativo muito baixo) e 0,61 (escala 4, vigor médio) e os maiores valores ocorreram entre 0,83 a 0,85 (ambos valores dentro da escala 6, vigor alto), demonstrando que a escala apresentou variação do índice de NDVI com intervalo de 0,53. Porém, com vigor médio de NDVI entre 0,72 e 0,76 (dentro da escala 5, vigor médio). As áreas totais do clone variaram de 888,84 a 895,14 ha e o CV apresentou valores entre 2,63 e 3,96, representando pouca variação entre os valores dos pontos amostrais (Tabela 6).

Os dados de NDVI do clone PB 235 apresentou menores valores entre 0,55 (escala 3, classificada como de vigor baixo) e 0,67 (escala 4, vigor médio), para os maiores valores foram de 0,83 e 0,85, sendo estes com vigores vegetativos altos, escala 6. A área total do clone foi de 1.027,8 até 1.035,81 ha e o CV variou de 2,22 e 3,25, ou seja, ocorreu pequena variação entre os dados dos pontos (Tabela 6).

O clone PR 255 apresentou os menores valores de NDVI entre 0,54 (escala 3, vigor baixo) e 0,64 (escala 4, vigor médio), e os maiores índices NDVI foram entre 0,84 e 0,87, sendo que por meio do índice NDVI as plantas apresentaram vigor alto, escala 6. A área total do clone foi de 1.161,27 ha à 1.152,27 ha e o CV variou de 1,97 e 3,03, onde os dados apresentaram baixa variação (Tabela 6).

O clone RRIM 600 apresentou menores valores de NDVI entre 0,54 – vigor vegetativo baixo, escala 3 (data de 04-04-2007) e 0,69 – vigor médio, escala 4 (data de 01-04-2006) e os maiores valores foram de 0,83 (04-04-2007) até 0,85 (14-04-2005) – ambas as datas com vigores altos, escala 6. Os índices de NDVI foram classificados de baixo a altos, ocorrendo devido ao fato da planta estar no início do desfolhamento natural, predominando os índices de vigor médio e baixo. As áreas dos talhões foram entre 751,41 ha e 756,72 ha e o CV variou de 2,19 até 3,12, sendo que estes valores foram baixos devido a pouca amplitude de variação entre os pixels analisados (Tabela 6).

Na Tabela 6 foram apresentados valores totais de pixels que variaram de um ano para outro, isto ocorreu devido a resolução do satélite Landsat 5 interferir no georrefenciamento, mesmo apresentando erro RMSE de registro menor que 0,5 pixel. Houve variação da quantidade de pixels devido ao georreferenciamento de distintas imagens. Os dados apresentados na Tabela 6 foram calculados pelo programa SAGA GIS.

**Tabela 6.** Dados correlacionados com NDVI nos diferentes anos avaliados em abril.

| Clone  | Datas das Imagens | Índice de Vegetação NDVI |              |       | CV(%) |
|--------|-------------------|--------------------------|--------------|-------|-------|
|        |                   | Valor Mínimo             | Valor Máximo | Média |       |
| GT 1   | 14-04-2005        | 0,04                     | 0,90         | 0,74  | 2,81  |
|        | 01-04-2006        | 0,58                     | 0,83         | 0,72  | 3,28  |
|        | 04-04-2007        | 0,55                     | 0,78         | 0,67  | 3,10  |
|        | 06-04-2008        | 0,58                     | 0,79         | 0,69  | 2,61  |
| PB 217 | 14-04-2005        | 0,61                     | 0,85         | 0,76  | 2,83  |
|        | 01-04-2006        | 0,59                     | 0,84         | 0,76  | 2,63  |
|        | 04-04-2007        | 0,57                     | 0,83         | 0,72  | 3,96  |
|        | 06-04-2008        | 0,32                     | 0,83         | 0,73  | 3,88  |
| PB 235 | 14-04-2005        | 0,66                     | 0,84         | 0,76  | 2,22  |
|        | 01-04-2006        | 0,67                     | 0,83         | 0,76  | 2,22  |
|        | 04-04-2007        | 0,58                     | 0,85         | 0,72  | 2,67  |
|        | 06-04-2008        | 0,55                     | 0,83         | 0,73  | 3,25  |
| PR 255 | 14-04-2005        | 0,61                     | 0,87         | 0,79  | 1,97  |
|        | 01-04-2006        | 0,64                     | 0,87         | 0,77  | 2,35  |
|        | 04-04-2007        | 0,59                     | 0,84         | 0,76  | 2,82  |
|        | 06-04-2008        | 0,54                     | 0,87         | 0,74  | 3,03  |

continua...

continuação...

| Clone | Datas das Imagens | Índice de Vegetação NDVI |              | Média | CV(%) |
|-------|-------------------|--------------------------|--------------|-------|-------|
|       |                   | Valor Mínimo             | Valor Máximo |       |       |
| GT 1  | 14-04-2005        | 0,02                     | 0,90         | 0,74  | 2,81  |
|       | 01-04-2006        | 0,58                     | 0,83         | 0,72  | 3,28  |
|       | 04-04-2007        | 0,54                     | 0,83         | 0,75  | 2,23  |
|       | 06-04-2008        | 0,64                     | 0,84         | 0,74  | 2,25  |

As médias dos índices de vegetação, entre agosto e outubro, encontrados para o clone GT 1 foram de 0,82 até 0,88, classificados como altos (escala 6). Neste período, o NDVI apresentou valores altos, pois no período entre agosto e outubro de cada ano inicia-se o reenfolhamento natural da planta e posteriormente a seringueira apresentou índice de vegetação NDVI classificado como alto, escala 6. A área total do clone variou de 1.407,87 até 1.397,52 ha e o CV das amostras foram baixos, variando de 1,39 até 2,85 (Tabela 7), demonstrando que as estes dados ficaram próximos a média amostral.

Para o clone PB 217 ocorreu variação na média de NDVI entre 0,81 para o dia 15-10-2008 e 0,85 (ambas com vigores vegetativo altos, escala 6) para as datas de 04-10-2004 e 28-08-2008, sendo que nesta data ocorreu a maior intensidade do NDVI. As áreas dos talhões foram entre 894,15 e 888,84 ha e os CV encontrados foram de 1,75 e 2,68 para os dias 10-09-2001 e 12-10-2001, respectivamente (Tabela 7).

O clone PB 235 apresentou os menores índices de vegetação entre 0,55 (vigor vegetativo baixo, escala 3) e 0,71 (vigor médio, escala 5) e os maiores valores foram entre 0,88 (vigor alto, escala 6) e +1 (vigor muito alto, escala 7), sendo que o valor de +1 é o máximo encontrado na escala de NDVI, com vigor máximo das plantas encontrado no respectivo pixel. A área total de todos talhões variou de 1.034,64 até 1.026,27 ha e o CV entre 1,73 e 2,41, considerado valores baixos, demonstrando que os valores dos pixels foram próximos ao pixel médio (Tabela 7).

No clone PR 255, o intervalo dos menores índices de vegetação foi de 0,44 (escala 2 e de vigor vegetativo baixo) até 0,63 (vigor médio, escala 4) e para os maiores valores foi entre 0,91 – vigor vegetativo classificado como muito alto, escala 7 (04-10-2004 e 28-08-2008) e 0,88 – vigor vegetativo alto e escala 2 (10-09-2001, 12-10-2001 e 05-09-2005), com alto vigor vegetativo no período em questão, devido ao recém reenfolhamento das plantas. A área total dos talhões foram entre 1.161 e 1.151,28 ha e o CV variou de 2,12 até 3,07, sendo que os valores distanciaram-se pouco da média dos pixels (Tabela 7).

Os menores índices de vegetação NDVI do clone RRIM 600 foram de 0,50 – escala 2 e vigor vegetativo baixo (28-08-2008) e 0,76 – escala 5 e vigor médio (12-10-2001 e 07-10-2005) e os maiores valores foram de 0,88 e 0,90 (ambos valores com vigores vegetativos altos, escala 6), com pouca variação do índice, ou seja, as plantas apresentaram alto vigor dentre os valores máximos. A área total do clone foi entre 756,18 e 749,79 e o CV variou entre 1,51 e 2,43 (Tabela 7).

**Tabela 7.** Dados correlacionados com NDVI nos diferentes anos avaliados em agosto, setembro e outubro.

| Clone  | Datas das Imagens | Índice de Vegetação NDVI |              |       | CV (%) |
|--------|-------------------|--------------------------|--------------|-------|--------|
|        |                   | Valor Mínimo             | Valor Máximo | Média |        |
| GT 1   | 10-09-2001        | 0,69                     | 0,89         | 0,82  | 2,29   |
|        | 12-10-2001        | 0,72                     | 0,90         | 0,84  | 2,85   |
|        | 02-09-2004        | 0,68                     | 0,90         | 0,86  | 1,56   |
|        | 04-10-2004        | 0,67                     | 0,91         | 0,86  | 1,98   |
|        | 05-09-2005        | 0,74                     | 0,90         | 0,84  | 2,17   |
|        | 07-10-2005        | 0,70                     | 0,89         | 0,84  | 2,01   |
|        | 28-08-2008        | 0,70                     | 1,00         | 0,88  | 1,39   |
|        | 15-10-2008        | 0,69                     | 0,90         | 0,84  | 1,75   |
| PB 217 | 10-09-2001        | 0,64                     | 0,88         | 0,82  | 2,68   |
|        | 12-10-2001        | 0,72                     | 0,88         | 0,83  | 1,75   |
|        | 02-09-2004        | 0,62                     | 0,89         | 0,84  | 1,99   |
|        | 04-10-2004        | 0,65                     | 0,89         | 0,85  | 1,91   |
|        | 05-09-2005        | 0,70                     | 0,89         | 0,83  | 2,44   |
|        | 07-10-2005        | 0,72                     | 0,89         | 0,83  | 2,06   |
|        | 28-08-2008        | 0,41                     | 0,90         | 0,85  | 2,45   |
|        | 15-10-2008        | 0,50                     | 0,87         | 0,81  | 2,50   |
| PB 235 | 10-09-2001        | 0,57                     | 0,88         | 0,83  | 2,41   |
|        | 12-10-2001        | 0,71                     | 0,89         | 0,84  | 1,97   |
|        | 02-09-2004        | 0,60                     | 0,90         | 0,84  | 1,95   |
|        | 04-10-2004        | 0,55                     | 0,91         | 0,85  | 1,99   |
|        | 05-09-2005        | 0,70                     | 0,90         | 0,83  | 2,22   |

continua...

| Clone    | Data das Imagens | Índice de Vegetação NDVI |              |       | CV (%) |
|----------|------------------|--------------------------|--------------|-------|--------|
|          |                  | Valor Mínimo             | Valor Máximo | Média |        |
| PB 235   | 07-10-2005       | 0,64                     | 0,89         | 0,84  | 1,75   |
|          | 28-08-2008       | 0,62                     | 1,00         | 0,86  | 1,73   |
|          | 15-10-2008       | 0,67                     | 0,88         | 0,83  | 1,90   |
| PR 255   | 10-09-2001       | 0,49                     | 0,88         | 0,83  | 2,75   |
|          | 12-10-2001       | 0,57                     | 0,88         | 0,83  | 2,93   |
|          | 02-09-2004       | 0,45                     | 0,90         | 0,86  | 2,83   |
|          | 04-10-2004       | 0,44                     | 0,91         | 0,87  | 3,07   |
|          | 05-09-2005       | 0,52                     | 0,88         | 0,82  | 3,05   |
|          | 07-10-2005       | 0,47                     | 0,90         | 0,83  | 2,98   |
|          | 28-08-2008       | 0,57                     | 0,91         | 0,86  | 2,12   |
|          | 15-10-2008       | 0,63                     | 0,89         | 0,83  | 2,31   |
|          | 10-09-2001       | 0,71                     | 0,88         | 0,82  | 2,43   |
|          | 12-10-2001       | 0,76                     | 0,89         | 0,85  | 1,51   |
| RRIM 600 | 02-09-2004       | 0,73                     | 0,89         | 0,85  | 1,75   |
|          | 04-10-2004       | 0,70                     | 0,90         | 0,87  | 1,54   |
|          | 05-09-2005       | 0,74                     | 0,89         | 0,83  | 2,30   |
|          | 07-10-2005       | 0,76                     | 0,89         | 0,84  | 1,74   |
|          | 28-08-2008       | 0,50                     | 0,90         | 0,86  | 1,88   |
|          | 15-10-2008       | 0,60                     | 0,90         | 0,84  | 1,72   |

No mês de abril, os clones PR 255, RRIM 600, PB 217, PB 235 e GT 1, apresentaram os índices de vegetação médios de 0,77; 0,76; 0,74; 0,74 e 0,71 (valores dentro da escala 5, classificado como vigor vegetativo médio), respectivamente. No segundo semestre os maiores valores médios de NDVI foram de 0,85 nos clones GT 1 e RRIM 600; 0,84 nos clones PB 235 e PR 255; e 0,83 para o clone PB 217, sendo que estes vigos vegetativos se encaixaram na escala 6, sendo de vigor alto.

Os valores de NDVI no mês de abril foram menores que 0,80; demonstrando que foi menor do que no segundo semestre, devido ao fato de, a partir deste mês, iniciar o processo de senescência das folhas, sendo natural do desenvolvimento da

planta. Entre agosto e outubro ocorreram valores maiores do que 0,80 de NDVI, ou seja, as plantas começaram o processo de reenfolhamento após a hibernação e desta forma ocorre o máximo de vigor no plantio, classificados com vigores vegetativos altos (escala 6) e muito altos (escala 7).

## **6.6 Considerações Finais**

Para análises futuras recomenda-se utilização de imagens de satélite com resolução espacial alta, pois desta forma a representação da quantidade de plantas por pixels será menor. Devido a resolução espacial do Landsat 5 ser de 30 metros, o número de plantas representadas por pixel passou de 40, e nem sempre a reboleira de plantas infectadas chega a esse número de plantas.

Recomenda-se, também, a utilização de outros índices de vegetação, tal como o SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo), sendo que, desta forma, se desconsidera a influência do solo e sua umidade.

Outras fontes de variação no dossel da seringueira, como pragas e doenças, que possam afetar os resultados satisfatórios das análises das variáveis em questão, devem ser detectados e analisados conjuntamente.

Para trabalhos futuros, seria indicado a realização de estudos temporais do nível de infestação com o valor do índice de vegetação NDVI, pois o sintoma reflexo do *M. exigua* na planta, provavelmente aparece depois da detecção da infestação em determinado período, devido ao porte arbóreo da planta. Também determinar qual o tempo decorrido entre infestação e a presença dos sintomas na seringueira, sendo detectado pelo NDVI.

## 7 CONCLUSÕES

Pelas análises de infestação de *M. exigua* no solo e na planta, pode-se concluir:

- na distribuição espacial de nematoides, em maio apresentou maiores populações do que em novembro, nas raízes e no solo;
- os clones com maiores infestações foram o PR 107 em maio e PB 314 em novembro, e as menores infestações foram no clone IRCA 41 em maio e PB 260 em novembro;
- as infestações pontuais não apresentaram correlação com o valor de índice de vegetação NDVI do respectivo pixel, coletadas nas mesmas épocas, com isso não sendo possível determinar a área desfolhada e locais com possível estresse, devido a infestação pelos nematoides;
- o índice de vegetação para a seringueira predominantes variou de 0,7 a 0,9. Os índices de vegetação NDVI do mês de abril variaram de 0,7 a 0,8 e em agosto/setembro e outubro variaram de 0,8 a 0,9.

## 8 REFERÊNCIAS

ABAD, P. et al. Invasion, feeding and development. In: PERRY, R.; MOENS, M.; STARR, J. L. (Eds). **Root-knot Nematodes**. Cambridge, MA, USA: CABI International, 2009. p. 163-181.

ALMEIDA, V. F. et al. Flutuação populacional de *Meloidogyne exigua* na rizosfera do cafeeiro. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, SP, v. 11, n. 1, p. 159-175, 1987.

ALMEIDA, V. F.; CAMPOS, V. P. Alternância de culturas e sobrevivência de *Meloidogyne exigua* em áreas de cafezal infestado e erradicado. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, SP, v. 15, n. 1, p. 30-42, 1991.

ALVES, M. C. et al. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 137-148, 2009.

AMARO FILHO, J. et al. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2005. 165 p.

ASSIS, A. L. et al. Development of a sampling strategy for young stands of *Eucalyptus* sp. using geostatistics. **Cerne**, Lavras, MG, v. 15, n. 2, p. 166-173, 2009.

APABOR – ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE PRODUTORES E BENEFICIADORES DE BORRACHA. Disponível em: <<http://www.apabor.org.br>>. Acesso em: 17 set. 2013.

BERNARDO, E. R. A. et al. Levantamento de *Meloidogyne exigua* na cultura da seringueira em São José do Rio Claro, MT, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 33, p. 157-159. 2003.

BLUM, L. E. B. **Fitopatologia**: O estudo das doenças de plantas. Brasília: Otimismo, 2006. 258 p.

BRASIL, MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 29**, 05 de agosto de 2009. Dispõe sobre as normas para a produção de sementes e de mudas de seringueira (*Hevea* spp). Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em: 20/01/2015.

BURGER, K.; SMITH, H. P. **The natural rubber market review, analysis, policies and outlook**. Cambridge: Woodhead Publishing, 1996. 137 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Fundamentos de geoprocessamento**. Introdução ao Geoprocessamento, São José dos Campos, p. 01-05, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd> Acesso em: 21-03-2013.

CAMARGO, A. P. et al. Comportamento e ecologia do "mal-das-folhas" da seringueira nas condições climáticas do planalto paulista. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 26, p. 1-18. 1967.

CAMARGO, A. P. Aptidão climática para a heveicultura no Brasil. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, p. 06-14, 1976.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística**: Fundamentos e aplicações. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/5geoest.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf)>. Acesso em 03-05-2013.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, V. P. **Café** (*Coffea arabica* L.). Controle de doenças: Doenças causadas por nematoides. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: Departamento de Fitopatologia, UFV, 1997. v. 1, p. 141-180.

CAMPOS, S. et al. Evolução do uso da terra entre 1996 e 1999 no município de Botucatu-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 24, n. 1, p. 211-218, 2004.

CARMO, C. A. F. de S. et al. **Diagnóstico do estado nutricional de seringais da região da Zona da Mata de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7p. (Embrapa Solos. Circular Técnica, 14).

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Caracterização isoenzimática e variabilidade intraespecífica dos nematoides de galhas do cafeeiro no Brasil. In: **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2000, Poços de Caldas, MG. Resumos. Poços de Caldas: Resumo Expandido. p. 280- 282, 2000.

CHANDER, G. et al. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. **Remote Sensing of Environment**, New York, USA, v. 113, n. 5, p. 893 - 903, 2009.

CHAVEZ, J. P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**. New York, USA, v. 24, p. 459-479, 1988.

CHEN, Z. Rubber (*Hevea*) In: Evans, D. A. Sharp, W. R; Ammirato, P. V.; Yamada, Y. (eds), **Handbook of Plant Cell Culture**. Macmillan: New York, p. 546-571. 1983.

CHILÈS, J. P.; PIERRE, D. **Geostatistics: Modeling Spacial Uncertainty**. A Wiley Interscience Publication, New York, 1999. 695p.

CHITWOOD, D. J. Research on plant-parasitic nematode biology conducted by the United States Department of Agriculture–Agricultural Research Service. **Pest Management Science**, Beltsville, USA, v. 59, p. 748-753. 2003.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp, 1990. 453p.

CHUVIECO, E. **Teledetección Ambiental: La Observación de La Tierra Desde El Espacio**. 3ª edição. Barcelona, Ariel Ciência, 2007.

COELHO JÚNIOR, L. M. et. al. Análise temporal da borracha natural brasileira. **Cerne**, Lavras, MG, v. 15, n. 1, p. 19-26, 2009.

COOLEN, W. A.; D' HERDE, C. J. A. **Method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent, Belgian: State of Nematology and Entomology Research Station, 1972. 77 p.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. A Wiley Interscience Publication, New York, 1993. 900 p.

DASSIE, C. A. realidade das seringueiras no Brasil. **Silvicultura**, São Paulo, v. 15, n. 61, p. 27-29, 1995.

DRUCK, S. et al. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 209 p.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows**. Manual do usuário. Trad. HASENACK, H.; WEBER, E. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, Brasil, 1998. 218 p.

EISENBACK, J. D.; TRIANTAPHYLLOU, H. H. Root-knot nematode: *Meloidogyne* species and races. In: NICKLE, W. R. (Ed) **Manual of agricultural nematology**. New York, USA. 1991. p. 191-274.

ELVIDGE, C. D.; CHEN, Z. Comparison of broadband and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, New York, USA, v. 54, p. 38-48, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353 p.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESPIG, S.A. et al. **Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro**. VII Seminário em atualização em sensoriamento remoto e sistemas de informação geográficas aplicados a engenharia florestal, 2006.

FEITOSA, M. V. **Variação temporal do Índice de Vegetação (NDVI) correlacionada ao uso e manejo do solo para a estimativa da erosão**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, IAC, Campinas, 2006.

FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematoides. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Ceres, p. 168-201. 1995.

FERRAZ, L. C. C. B. As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro. In: SILVA, J. F. V. (Org.). **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 15-38.

GASA – Grupo de Análise de Sistemas Ambientais. “Métodos de Interpolação”, . Disponível em: <<http://air.dcea.fct.unl.pt/aulas/tig/AulaT5/Interpol.html>>. Acesso em: 17/08/2013.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FONSECA, H. S. et al. Ultraestrutura comparada de raízes de seringueira parasitadas por *Meloidogyne exigua* e *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p 199-206, 2003.

FONSECA, H. S. et al. Reações de porta enxertos de seringueira (*Hevea brasiliensis*) a *Meloidogyne javanica* e *M. exigua*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 2, p. 9-14, 1999.

FONTANA, D. C. **Utilização do Índice de Vegetação Global para o monitoramento da Vegetação e estimativa de elementos agrometeorológicos no Estado do Rio Grande do Sul**. 1995. 133f. Tese (Doutorado em Fitotecnia, Área de concentração de Agrometeorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 1995.

FREITAS, L. G. et al. **Introdução à Nematologia**. 3ª ed. Viçosa: Editora, UFV, 2006, 83 p.

FURTADO, E. L. Doenças da Seringueira e seu Controle. In: II Encontro Brasileiro de Heveicultura. 2010. Ilhéus-BA. **Anais...** Ilhéus-BA, 2010. 1 CD-ROM

GARCIA, N. C. P.; LIMA, P. C. **Cultura da seringueira**. Viçosa, MG: EPAMIG/CTZM, 2000. 13 p. (Apostila da 71ª. Semana do Fazendeiro).

GASPAROTTO, L. et al. **Doenças da Seringueira no Brasil**. Brasília: SPI-EMBRAPA, 1997. 168 p.

GHEYSEN, G.; FENOLL, C. Gene expression in nematode feeding sites. **Annual Review of Phytopathology**, v. 40, p. 191-219, 2002.

GONÇALVES, P. S. Uma história de sucesso: a seringueira no Estado de São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 54, n. 1, p. 6-14, 2002.

GONÇALVES, P. S. et al. **Manual de Heveicultura para o Estado de São Paulo**, Série Tecnologia APTA, Instituto Agrônomo (IAC), Campinas, 2001. 78 p.

GONÇALVES, P. S. **RECOMENDAÇÃO DE CLONES DE SERINGUEIRA PARA O ESTADO DE SÃO PAULO**. Trabalho apresentado no I Ciclo de Palestras sobre a Heveicultura Paulista, Barretos-SP, 10 a 11 de Novembro, 1998.

GONÇALVES, W. et al. Manejo de nematoides na cultura do cafeeiro. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO-CAFÉ, 10, Mococa, SP, 2004. **Anais...** Mococa: Instituto Biológico, p. 48-66, 2004

GÜRTLER, S. et al. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 2, p. 162- 167, 2005.

HAAG, H. P. **Nutrição e adubação da seringueira no Brasil**. Fundação Cargill, Campinas, SP, Brasil. 1983. 116 p.

HARTMANN, H. T. et al. Hartmann and Kester's **Plant Propagation**: principles and practices. 7th ed. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall. 2002. 880 p.

HOULDING, S. W. **Practical Geostatistics**: Modeling and Spatial Analysis, Springer, Berlin, 159. 2000.

HUIJBREGTS, C. J. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In: DAVIS, J. C.; McCULLAGH, M. J. (Ed.). **Display and analysis of spatial data**. New York: John Wiley, p. 38-53. 1975.

HUSSEY, R. S. Host-parasite relationships and associated physiological changes. In: SASSER, J. N.; CARTER, C. C. (eds) **An Advanced Treatise on Meloidogyne**, v. I, Biology and Control, North Caroline State University, Raleigh, North Caroline, p. 143-153. 1985.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. Programa Seringueira. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/> Acesso em: 22/09/2013

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. Centro de seringueira e sistemas agroflorestais <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/seringal.php/> Acesso em 04/05/2014.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. Centro de seringueira e sistemas agroflorestais <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/importancia.php> Acesso em 20/11/2012.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **O Cultivo da Seringueira (*Hevea spp.*)**. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE/ SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA – SIDRA. **Quantidade Produzida (Brasil) – Lavouras Permanentes**, 2011. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?t=2&z=t&o=11&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1>. Acesso em: 16 março 2013.

INTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP – IRSG. **Rubber Statistical Bulletin**. Disponível em: <http://www.rubberstudy.com/pub-stats-bulletin.aspx> Acesso em: 16 março 2013.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, Amsterdam, Holanda, v. 11, p.185-200, 1991.

JENKINS, W. R. **A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil.** Plant Disease Report, v. 48, p. 692.1964.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics.** London: Academic Press, 1978. 600 p.

JUDD, W.S., et al.. **Plant systematic, a phylogenetic approach.** Massachussetts, USA: Siamer Associates, 1999. 464p.

KARNIELI, A. et al. Temporal dynamics of soil and vegetation responses in a semi-arid environment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n.19, p. 4073-4087, 2002.

KARSSSEN, G.; MOENS, M. Root-knot Nematodes. In: PERRY, R. N.; MOENS, M. (Eds). **Plant Nematology.** Cambridge, MA: CABI North American Office, 2006. p. 60-90.

KITANIDIS, P. **Introduction to geostatistics:** Applications in hydrogeology. Cambridge University Press, New York, 1997. 249 p.

KÖPPEN, W. **Die klimate der Erde.** Berlin: W. Guyter, 1923. 369 p

KOZAR, B. et al. Soil Phosphorus and Potassium mapping Using a Spatial Correlation Model Incorporating Terrain Slope Gradient. **Kluwer Academic Publishers**, n. 3, p. 407-417, 2002.

KRIGE, D. G. A statistical approch to some basic mine evalutation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, **Metallurgical and Mining Society South Africa**, Johannesburg, África do Sul, v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951.

LAMPARELLI, R. A. C. et al. **Geoprocessamento e agricultura de precisão:** fundamentos e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo, Ed. UNESP, 1998. 226 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise geoestatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo. Ed. UNESP, 2003. 253 p.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**. v. 2, n.1, p. 19-33, 2006.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro, SP: Unesp, 2002. 19 p.

LEGUIZAMON, J. C.; Lopez, D. S. Nemátodos en plantaciones de café em Colombia. **Cenicafe**, Avances Técnicos 20, 1972. 4 p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Editora Uniderp, 2006.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande, Editora Uniderp, 2007. 880 p.

LOPES, F.; ZANARDI, R. P. Utilização de imagens CBERS-2 no estudo comparativo da cobertura vegetal da região dos Campos de Cima da Serra – município de Vacaria/RS. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis, 2007.

LORDELLO, L. G. E.; VEIGA, A. S. Nematoides em seringueira. **Revista de Agricultura**, São Paulo, SP, v. 58, n. 3, p. 203-207, 1983.

MACEDO, R. L. G. et al. Introdução de clones de seringueira no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, MG, v. 8, n. 1, p.124-133, 2002.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **Earth Observation Satellite Co.**, Lanham, MD, Landsat Tech. Note 1, 1986.

MARQUES, J. R. Seringueira. Jornal CEPLAC. Mato grosso do Sul, dez. 2000. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/seringueira.htm> Acesso em 18/07/2013.

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

MATHERON, G. **Les variables régionalisées et leur estimation**. Paris: Masson et Cie, 1965. 305 p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963.

MELLO, C. R.; et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da Equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 925-933, 2003.

MELLO, J. M. et al. Uso do estimador geoestatístico para predição volumétrica por talhão. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, 2006.

MIRANDA, J. I. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2005.

MOENS, M. et al. **Meloidogyne species – a diverse group of novel and important plant parasites**. In: Perry, R. N, Moens, M; Starr, J. L. (Eds) Root-knot nematodes, Cambridge, MA, USA, CABI International. pp.1-17. 2009.

MOOIBROEK, H.; CORNISH, K. Alternative sources of natural rubber. **Applied Microbiology and Biotechnology**. v. 53, p. 355-365, 2000.

MORAES, V. H. F. **Sugestões para uniformização da metodologia de estudo da fenologia foliar da seringueira**. EMBRAPA-CNPDS. Série Documentos, 1 . Belém: Ed. Falangola, 1983. 19 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** Viçosa, 2005. 313 p.

MORENO, R. M. B. et al. Estudo da cinética de decomposição de quatro clones de seringueira utilizando o método de Ozawa. **Congresso Brasileiro de Polímeros**, 7<sup>a</sup>, Belo Horizonte, 2003. p. 1-2.

MORGAN, M.; ESS, D. **The precision-farming guide for agriculturists.** Moline: John Deere Publishing, 1997, 117 p.

MOURA, R. M. O gênero *Meloidogyne* e a meloidoginose. Parte II. In: LUZ, W. C. (Ed.). **Revisão Anual de Patologia de Plantas.** Passo Fundo, RS: Gráfica e Editora Pe. Berthier, v. 5, 1997. p. 281-315.

MUNIZ, M. F. S. et al. Diversity of *Meloidogyne exigua* (Tylenchida: Meloidogynidae) populations from coffee and rubber tree. **Nematology**, Leiden, v. 10, p. 897-910, 2008.

ORNAT, C.; SORRIBAS, F. J. Integrated management of root-knot nematodes in mediterranean horticultural crops. In: Ciancio, A.; Mukerji, K. G. **Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops nematodes.** Dordrecht: Springer, p. 259-312, 2008.

PANDYA, M. R. et al. Bandpass solar exoatmospheric irradiance and Rayleigh optical thickness of sensors on board Indian Remote Sensing Satellites-1B,-1C,-1D, and P4. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40, 3, p. 714–718, 2002.

PARANHOS FILHO, A. C.; RONDON, M. A. C. **Fundamentos, Aplicações e Tendências dos Sistemas Geográficos de Informações (SGI) e do Sensoriamento Remoto.** Apostila do Curso de Extensão Universitária - UFMS/CCET/DHT. 2001. 43 p.

PEREIRA, J. P. **Formação de mudas, manejo e perspectivas no Noroeste do Paraná.** Londrina– PR, IAPAR, 1992. 62 p.

PEREIRA, J. P. et al. Alguns problemas relacionados com a formação de mudas de seringueira (*Hevea* spp) In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA, 2., 1987, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. p. 39-57.

PEREIRA, J. P. et al. **Cadeia produtiva da borracha natural: análise diagnóstica e demandas atuais no Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 85 p.

PERRY, R. N.; MOENS, M. **Plant nematology**. Pondicherry: Biddles, 2005. 447 p.

PERRY, R. N. et al. Root-knot nematodes. In: EISENBACK, J. D.; HUNT, D. J. (Eds). **General morphology**. Virginia, USA. CABI International, 2009. p. 18-54.

PETERSON, D. L.; et al. Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents. **Remote Sensing of Environment**, New York, USA, v. 24, p. 85 - 108, 1988.

PEZZONI FILHO, J. C et al. Distribuição espacial de *Meloidogyne exigua* em plantio de seringueira. In: 46º Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2013, Ouro Preto, MG. Resumos. Ouro Preto. Apresentação Oral. 2013.

PILAU, F. G. et al. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 15, n. 2, p. 161- 168, 2007.

POELKING, E. L. et al. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis – SC, p. 4145-4150, 2007.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica**. INPE. São José dos Campos, 2002.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Comportamento Espectral da Vegetação. Brasília : UNB, p.156-199, 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP. Editora Parêntese, 2007.

RAJAGOPAL, R. et al. Effect of judicious ethephon application on yield response of *Hevea brasiliensis* (Clone RRII 105) under ½S d/3 6d/7 tapping system. **Journal of Rubber Research**, v.7, p.138-147, 2004.

RANDIG, O. et al. A species-specific satellite DNA family in the genome of the coffee root-knot nematode *Meloidogyne exigua*: application to molecular diagnostics of the parasite. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Bristol, UK, v. 3, n. 6, p. 431-437, 2002.

RHIND, D. Understanding GIS the Arc/Info method. **RedLands**: Environment Stems Reserch Institute, 1991. 411 p.

RIBEIRO, C. A. A. S. et al. Sistemas de Informações Geográficas. **Agricultura de precisão**. Editado por Aluizio Borém e outros. Viçosa, MG – Brasil 2000. 467 p.: il. p-380-407.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; PEREIRA, G. T. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, 2003. v. 25, n. 1, p.13-17.

ROBINOVE, C. J. Computation with physical values from Landsat digital data. Photogramm. **Eng. Remote Sens.**, vol. 48, p. 781–784, 1982

RODRIGUEZ, A. C. M. **Mapeamento Multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião-SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM-Landsat e HRV-SPOT**. São José dos Campos: INPE, 94p. 2000. (INPE – 7510 – PUD/39).

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU, 6ª ed. 2007.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974. 371 p.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Proceedings of Third ERTS-1 Symposium, Washington, DC, 10–14 December, NASA, SP-351, vol. 1, p.309–317, 1973.

SANTOS, R. S.; SILVA, J. M. Dinâmica populacional do parasitoide de ovos *Erythmelus tingitiphagus* (Hymenoptera: Mymaridae) em clone de seringueira, em Itiquira, MT. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 37, n. 2, p. 237-244, 2013.

SANTOS, J. M. et al. *Meloidogyne exigua*, sério patógeno da seringueira nas plantações E Michelin, em Rondonópolis, MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 1992 Lavras, MG. **Anais...** Lavras, MG : Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 1992. V. 17, p.75.

SANTOS, J. M. *Meloidogyne exigua* e *Botryodiplodia theobromae*, principais componentes bióticos de uma doença complexa da seringueira em Mato Grosso. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 341, 1995.

SÃO PAULO (Estado). **Resolução SAA - 154**, de 22 de novembro de 2013. Estabelece exigências para cadastramento de viveiros, jardins clonais, plantas matrizes produtoras de sementes e normas técnicas de defesa sanitária vegetal, para a produção, comércio e o transporte de mudas, borbulhas e sementes de seringueira (*Hevea* spp) no estado de São Paulo. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=262019> > Acesso em: 21/01/2015.

SEPLAN-MT Secretaria de Planejamento Disponível em: <http://www.seplan.mt.gov.br/html/>. Acesso em: 05.08.2014.

SCHEER, M. A. P. S. **Geoprocessamento e o modelo Shift-Share na análise das transformações do uso da terra nos municípios do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio**

**Mogi-Guaçu (SP), 1979 a 2001.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SCHOTT, J. R. **Remote sensing:** the image chain approach. New York: Oxford University, 2 ed., 2007.

SHARMA, R. D. et al. Efeitos de práticas culturais na incidência de *Meloidogyne* sp, em seringueira de cultivo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p. 226, 1992.

SHIMABUKURO, Y. et al. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso através de imagens NOAA-AVHRR.** São José dos Campos, SP. INPE, 1999.

SIJMONS, P. C. et al. Parasitic strategies of root nematodes and associated host cell responses. **Ann. Rev. Phytopathol.**, v. 32, p. 235-259, 1994.

SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo.** 1988. 105 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1988.

SILVEIRA, S. G. P. **Nematoides associados à cultura da seringueira (*Hevea* spp.).** Pp. 78-82 in M. J. S. Medrado et al., eds. Formação de mudas e plantio de seringueira. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-USP, Departamento de Agricultura, Piracicaba, SP, Brasil. 1992.

SOARES, A. **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**, IST Press, Lisboa, 2000, 206 p.

SOARES, V. P. et al. Uso de imagens Landsat-7 Etm+ para o mapeamento de plantações de *Eucalyptus* na Região Norte de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 137-149, 2005.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

SOUZA, S. E. et al. Levantamento preliminar de *Meloidogyne* em cafeeiros no estado da Bahia – Planalto de Vitória da Conquista e Chapada Diamantina. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos**, p. 167-170. 2000.

SPIEGEL, Y. et al. The influence of ammonium and nitrate nutrition of tomato plants on parasitism by root-knot nematode. **Phytoparasitica**, v. 10; p. 33-40, 1982.

STARR, J. L. Recovery and longevity of egg masses of *Meloidogyne incognita* during simulated winter survival. **Journal of Nematology**, Leiden, v. 25, n. 2, p. 244-248, 1993.

SZOLGAY, J. et al. **Comparison of mapping approaches of design annual maximum daily precipitation**. Atmospheric Research, v. 92, Issue 3, 2009, p. 289-307.

TAKEDA, E. Y. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de uma associação de solos sob a videira (*Vitis vinífera*, L.) em Vitória Brasil-SP**. Ilha Solteira, 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção)- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Ilha Solteira, 2000.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: Funep, 2000. 473 p.

TUCKER, C. J. et al. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, n. 4, p.184-190, 2001.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, New York, USA, v. 8, n. 2, 127-150, 1979.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. cap. 3, p. 72-104

VAAST, Ph. et al. Effects of two endoparasitic nematodes (*Pratylenchus coffeae* and *Meloidogyne konaensis*) on ammonium and nitrate uptake by Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). **Applied Soil Ecology**, v. 10, p. 171-178, 1998.

VALENTE, J. M. G. P. **Geomatemática** – Lições de Geoestatísticas. Ouro Preto. Ed Fundação Gorceix, 1989, 8 v.

VAN DER EYCKEN, W. et al. Molecular study of root-knot nematode-induced feeding sites. **Plant Journal**, v. 9, n. 1, p. 45-54, 1996.

VEIGA, T. C.; SILVA, J. X. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: o caso do município de Macaé-RJ**. In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. (Org.). Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 179-215.

VERNALHA, M. M. et al. Sobre a ocorrência de nematoides do cafeeiro no estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 13, p. 33-39, 1970.

VIEIRA, S. R. **Curso de atualização em conservação do solo: uso de geoestatística**. Campinas: Seção de Conservação do Solo, IAC, 1995. v. 1 e 2.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: Tópicos em Ciência do Solo I. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000. 352 p.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, SP, v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997.

VIEIRA, S. R. et al. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 6, p. 1040-1048, 1981.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, CA, USA. v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIRGENS FILHO, A. C. **Programa de Desenvolvimento do agronegócio Borracha nos estados da Bahia e Espírito Santo – PRODABES**. Ilhéus: CEPLAC. 2005. 55 p.

XAVIER, A. C. et al. Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/Landsat. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 421-430, 2004.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. Botucatu, 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, 2001.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu: FCA – UNESP, 2003. 25 p. Apostila.

ZULLO JÚNIOR, J. et al. **Importância da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação a partir de imagens de satélite**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campinas, 1994.

WANG, Z. X. et al. From AVHRRNDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research. **Acta Ecologica Sinica**, v. 23, n. 5, p.979-988, 2003.

WIEGAND, C. L. et al. Vegetation indices in crop assessments. **Remote Sensing of Environment**, New York, USA, v. 35, p.105-119, 1991.

WILLIAMSON, V. M.; GLEASON, C. A. Plant-nematode interactions. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 4, p. 327-333, 2003.

WYCHERLEY, P. R. The genus *Hevea*. In: **Workshop on international collaboration Hevea breeding and the collection and establishment of materiais from the Neotropic**. 12 p. Kuala Lumpur. Malaysia, 1977.