

Dossel de seringueira verificado com índices de vegetação em diferentes condições fenológicas e fitossanitárias

José Carlos Pezzoni Filho¹, Luis Gustavo Frediani Lessa¹, Célia Regina Lopes Zimback¹,
Edson Luiz Furtado¹

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)/ Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Botucatu, São Paulo, Brasil

E-mail do autor correspondente: jpezzoni@gmail.com
Artigo enviado em 15/05/2017, aceito em 25/03/2018.

Resumo: O monitoramento da cultura de seringueira (*Hevea brasiliensis*) com objetivo de identificação de áreas danificadas por diferentes agentes abióticos e/ou bióticos e diferenças de fenologia pode ser realizado utilizando índices de vegetação. Desta forma, o presente trabalho avaliou e confrontou os índices de vegetação NDVI e SAVI, para identificação de áreas com interferências danosas no dossel do clone de copa PR 255 frente a influências de fatores diversos e o solo. As análises foram realizadas em plantio com área de 1.251 ha, município de Itiquira, MT, nas coordenadas geográficas de 17°23'35,32" de latitude sul e 54°41'56,28" longitude oeste de Greenwich. As avaliações foram em abril de 2005, 2006, 2007 e 2008, e em setembro de 2001, 2004, 2005 e agosto de 2008, no programa QGIS, utilizando imagens do satélite Landsat 5, sendo que os dados pluviométricos foram obtidos do satélite TRMM. Verificou-se a distribuição dos valores de NDVI e SAVI por meio de histograma e seus coeficientes de variação (CV), ambos elaborados no programa SAGA GIS. O SAVI com fator L=0,25 identificou locais com interferências no dossel e áreas com menor cobertura do solo que o NDVI não detectou. A média de NDVI em abril foi de 0,74 a 0,78 e no SAVI foi de 0,47 e 0,53 nos quatro anos avaliados. Para o período pós reenfolha, o NDVI foi de 0,82 a 0,86 e do SAVI foi entre 0,62 e 0,69. O CV dos dados do SAVI demonstrou que este índice obteve melhor resultado em relação ao NDVI.

Palavras-chave: *Hevea brasiliensis*, NDVI, SAVI, clone PR 255.

Rubber canopy verified with vegetation indices under different phenological and phytosanitary conditions

Abstract: Monitoring of rubber tree (*Hevea brasiliensis*) for the identification of damaged areas by different abiotic and/ or biotic agents and differences in phenology can be performed using vegetation indexes. In this way, the present work evaluated and confronted the NDVI and SAVI vegetation indices, to identify areas with harmful interference in the canopy of the PR 255 canopy clone against influences of diverse factors and the soil. The analyzes were carried out in plantation with an area of 1,251 ha, municipality of Itiquira, MT, at the geographical coordinates of 17° 23' 35.32" south latitude and 54° 41' 56.28" west longitude of Greenwich. The measurements were taken in April 2005, 2006, 2007 and 2008, and in September 2001, 2004, 2005 and August 2008, in the QGIS program, using images from the Landsat 5 satellite, and the rainfall data were obtained from the TRMM satellite. The distribution of the NDVI and SAVI values by histogram and their coefficients of variation (CV), both elaborated in the SAGA

GIS program, were verified. SAVI with factor $L = 0.25$ identified sites with canopy interference and areas with lower soil cover that NDVI did not detect. The mean NDVI in April was 0.74 to 0.78 and in SAVI it was 0.47 and 0.53 in the four years evaluated. For the post refoliation period, NDVI was from 0.82 to 0.86 and SAVI was between 0.62 and 0.69. The CV of the SAVI data showed that this index had a better result than the NDVI.

Key words: *Hevea brasiliensis*, NDVI, SAVI, clone PR 255.

Introdução

A seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) apresenta ciclo perene, origem tropical, cultivada de modo extrativo para a produção de borracha natural (CAMPELO JÚNIOR, 2000). A planta pode atingir 30 m de altura sob condições favoráveis, onde a produção de látex viável comercialmente, começa aos 6-7 anos (IAPAR, 2004). 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 (RAJAGOPAL et al., 2004).

As plantas adultas deste gênero apresentam um período de deciduidade das folhas, geralmente, no início da estação seca. A partir do terceiro ano de idade, após a formação da copa, a seringueira apresenta periodicidade anual na emissão de fluxos foliares, caracterizada pela senescência e queda das folhas. Em seguida ocorre novo fluxo após duas a seis semanas de planta desfolhada (GONÇALVES et al., 1989).

Para o monitoramento do dossel do seringal, com intuito de identificar interferências ou estresses, pode ser utilizado métodos de Sensoriamento Remoto (SR). Nestas análises ocorre a obtenção de informações para o acompanhamento e tomada de decisão no manejo das culturas e suas diferentes dinâmicas (YI et al., 2007; RAMIREZ et al., 2010). Dentre os métodos de SR, pode ser citado os índices de vegetação, e entre estes, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index) - NDVI.

Este índice é usado para medir e monitorar o vigor da planta, cobertura vegetal e produção de biomassa a partir de dados multiespectrais de satélite (TUCKER et al., 2001). Também distingue a presença de vegetação; avalia as condições de crescimento das culturas; detecta a ocorrência de doenças, pragas, secas entre outros (LIU, 1994), detecção de mudança sazonal e fenológica, duração do período de crescimento, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

O NDVI produz uma escala linear de medida adimensional, variando entre -1 até +1. Quanto mais próximo de 1, maior o vigor da cobertura vegetal, 0 representa ausência de vegetação e valores inferiores a 0 até -1 representa a presença de água (EPIPHANIO et al., 1996; ROSA, 2007). A água possui maior refletância na banda 3 do que na banda 4 do Landsat 5, apresentando valores negativos próximos a -1. O solo descoberto e/ou com vegetação rala e esparsa possui valores positivos, porém próximos à 0. Assim, ocorre maior absorção da radiação na faixa do infravermelho próximo, justificando o baixo valor de NDVI nessas áreas (POELKING et al., 2007). O intervalo de NDVI das plantas ocorre entre 0 e +1, no entanto, Ponzoni e Shimabukuro (2010) descreve sua ocorrência de 0,00 à 0,80.

Segundo Jensen (2009) o índice NDVI sofre influência de radiação presente na atmosfera, demonstrando saturação em relação a altos valores de Índice de Área Foliar (IAF) e sendo sensível às mudanças do solo sob o

dossel, como a cobertura no solo. Elmore et al. (2000) citou que o NDVI tem a desvantagem de ser altamente influenciado pelo brilho e efeito espectral do solo, fato que prejudica as avaliações sobre a vegetação.

Para a correção da influência do solo no NDVI, Huete (1988) propôs o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index), o qual Jensen (2009) descreve que este índice melhora os valores de NDVI sem a necessidade de verificação em campo, por meio de medições da refletância. Huete (1988) adicionou uma constante, chamada de L, que é o fator de ajuste do substrato do dossel para minimização do efeito do solo na análise do índice de vegetação. O fator L varia de 0 a 1, conforme a densidade da cobertura vegetal analisada e a característica da refletância do solo (calor e brilho).

O SAVI está relacionado a parâmetros biofísicos das plantas, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizar efeitos iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam os valores de refletância da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Na vegetação efetua a avaliação da fenologia com sua classificação, além de estudar seus parâmetros estruturais (MATSUSHITA et al., 2007).

Para a seringueira, sua fenologia e fitossanidade pode ser avaliada por meio de índices de vegetação, demonstrando grande importância para os estudos fitopatológicos e de manejo de doenças. Furtado (1991) citou que a avaliação da fenologia de *H. brasiliensis* influencia diretamente no ciclo dos patógenos, como é o caso do fungo *Microcyclus ulei* (P. Henn.) v. Arx, agente causal do mal das folhas.

Com base no exposto, o presente trabalho comparou o índice de vegetação NDVI com o SAVI em plantio de seringueira, clone de copa PR 255,

para detectar interferências no dossel frente a influência de fatores diversos e o solo. Sua fenologia também foi verificada, sendo que as avaliações foram em abril dos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008, e em setembro de 2001, 2004, 2005 e agosto de 2008.

Material e Métodos

A análise foi realizada em plantio de seringueira do clone PR 255 com área de 1.251 ha, município de Itiquira, estado de Mato Grosso, nas coordenadas geográficas de 17° 23' 35,32" de latitude sul e 54° 41' 56,28" de longitude oeste de Greenwich, bacia do Rio Paraguai. Os talhões foram implantados nos anos de 1983 (43,235 ha), 1984 (56,882 ha), 1985 (30,931 ha), 1986 (156,524 ha), 1987 (285 ha), 1988 (229,781 ha), 1989 (200 ha), 1990 (233,247) e em 2000 (6 ha), com áreas entre 233,247 até 6 ha. A área de estudo apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico - LVd, de acordo com Embrapa (2013). Segundo Köppen (1923), o clima é classificado como Aw com inverno seco, apresentando meses de seca de junho a agosto.

As avaliações foram realizadas em 14-04-2005, 01-04-2006, 04-04-2007, 06-04-2008; 10-09-2001, 02-09-2004, 05-09-2005 e 28-08-2008. Estas duas épocas foram escolhidas devido serem importantes para a heveicultura na região do cerrado, área de escape ao mal das folhas (*M. ulei*). O mês de abril antecede o início de desfolha anual das plantas de seringueira nessa região e é o período onde a planta apresenta considerável produção de látex, onde qualquer estresse interfere no seu vigor e resultado de índice de vegetação. No período entre o fim de agosto e início de setembro as plantas têm seu reenfolhamento total posterior a desfolha anual, fenologia que a planta apresenta propensão ao ataque de pragas e doenças.

As imagens utilizadas foram do satélite Landsat 5, resolução espacial de 30 metros, sensor TM, órbita 225 e ponto 072, com datum WGS84, zona 21 Sul e projeção cartográfica UTM. Efetuou-se o pré-processamento das imagens e para verificar o dossel do seringal foram utilizados o NDVI e SAVI. O pré-processamento consistiu na composição falsa cor R5G4B3 (banda 5 – vermelho, banda 4 – verde, banda 3 – azul), recorte da área experimental, calibração radiométrica e correção atmosférica e registro das imagens. A calibração radiométrica e correção atmosférica foi baseada em Chavez Junior (1988), obtendo-se os valores a nível de refletância de superfície.

As imagens dos quatro anos foram registradas com cena obtida do site www.landsat.org. Para o registro das imagens, utilizou-se 15 pontos controle distribuídos no plantio, onde os pontos de referência permaneceram os mesmos nas duas datas das imagens. O erro médio quadrático (RMS) obtido foi menor que 10, equivalente ao erro menor que 10 metros. Posteriormente efetuou-se as análises de NDVI e SAVI com posterior recorte dos talhões do clone PR 255. Para o cálculo do NDVI foi utilizada a equação 1, desenvolvida por Rouse et al. (1974):

$$NDVI = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(\rho_2 + \rho_1)} \quad (1)$$

onde: ρ_1 e ρ_2 são os valores da refletância no vermelho (0,55 – 0,70 μm) e infravermelho próximo (0,70 – 1,30 μm), respectivamente, do espectro eletromagnético de objetos.

Para as análises do NDVI foi estabelecido o intervalo de valores de 0 (solo exposto) até 0,30. A partir desse valor ocorreu a presença de plantas de seringueira, pois nas análises NDVI do

plantio o menor valor encontrado foi neste patamar de 0,30.

A análise SAVI, proposta por Huete (1988) possui o fator L, que varia com a característica da refletância do solo, que depende da densidade da vegetação que se deseja analisar. Para vegetação esparsa, é sugerido utilizar o fator $L = 1,0$; para vegetação intermediária $L = 0,5$ e para altas densidades $L = 0,25$. O fator $L = 0$ resulta em valores idênticos ao NDVI, e para o $L = 100$ os valores do SAVI serão aproximados ao do PVI (Perpendicular Vegetation Index). A equação 2 demonstra o cálculo do SAVI:

$$SAVI = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(\rho_2 + \rho_1 + L)} (1 + L) \quad (2)$$

onde: ρ_1 – dados da refletância na região do vermelho; ρ_2 – infravermelho próximo do espectro eletromagnético de alvos; e L – variável de ajuste do solo

Na análise do índice de vegetação NDVI e SAVI, foram utilizadas as bandas 3 (região espectral do vermelho) e 4 (região do infravermelho próximo) do Landsat 5, e o fator L utilizado foi de 0,25, conforme recomendou Huete (1988). O fator de correção $L = 0,25$ foi escolhido devido ao fato de o plantio de seringueira apresentar cobertura vegetal densa. Desta forma, mesmo havendo locais com presença de diferentes formas de estresses (bióticos e abióticos) resultando em falhas no dossel, estas foram desconsideradas.

Devido a ausência de estação meteorológica no local, foram utilizados os dados pluviométricos estimados pelo satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) – produto TRMM 3B43 ACC.007, dados em milímetros (mm). Na Tabela 1 são apresentadas as precipitações estimadas em fevereiro, março e abril dos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008.

Tabela 1. Chuvas estimadas pelo satélite TRMM em fevereiro, março e abril de 2005 à 2008.

| Ano | Coordenadas (Graus sexagesimais) | | Fevereiro mm | Março mm | Abril mm |
|------|----------------------------------|------------|-----------------|-------------|-------------|
| | Latitude | Longitude | | | |
| 2005 | 17°21'50"S | 54°42'54"O | 81,9 | 171,1 | 76,1 |
| 2006 | 17°21'50"S | 54°42'54"O | 165,6 | 224,4 | 140,5 |
| 2007 | 17°21'50"S | 54°42'54"O | 175,6 | 78,6 | 74,6 |
| 2008 | 17°21'50"S | 54°42'54"O | 166,3 | 421,9 | 123,8 |

As chuvas estimadas pelo satélite TRMM entre os meses de julho e setembro dos

anos de 2001, 2004, 2005 e 2008 são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Precipitações estimadas em julho, agosto e setembro de 2001, 2004, 2005 e 2008, dados do satélite TRMM.

| Ano | Coordenadas (Graus sexagesimais) | | Julho mm | Agosto mm | Setembro mm |
|------|----------------------------------|------------|-------------|--------------|----------------|
| | Latitude | Longitude | | | |
| 2001 | 17°21'50"S | 54°42'54"O | 3,2 | 16,8 | 116,7 |
| 2004 | 17°21'50"S | 54°42'54"O | 26,8 | 0,9 | 13,9 |
| 2005 | 17°21'50"S | 54°42'54"O | 6,8 | 4,1 | 92,4 |
| 2008 | 17°21'50"S | 54°42'54"O | 1,8 | 43,7 | 36,1 |

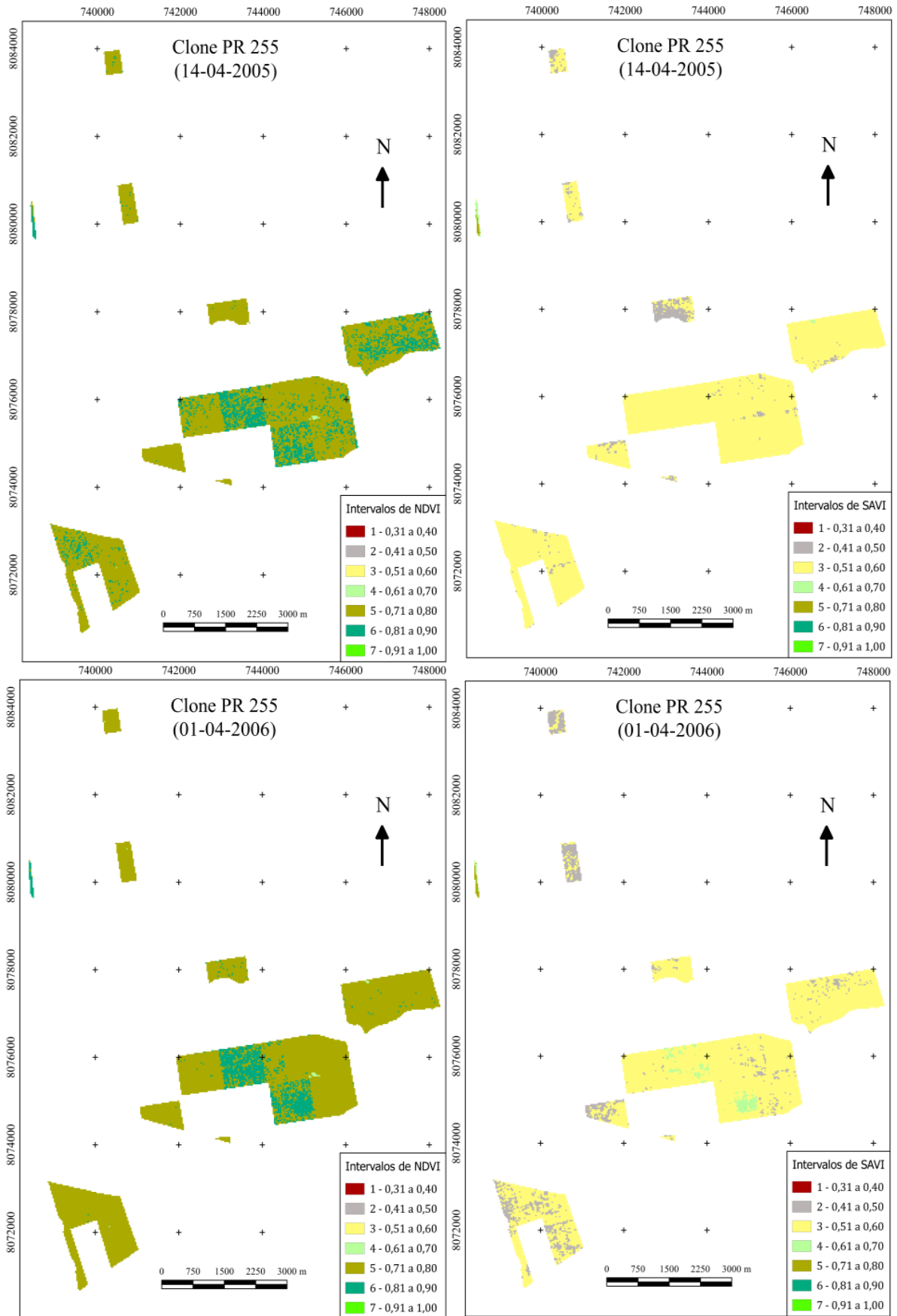
A confecção dos talhões foi realizada após a análise dos índices NDVI e SAVI, sendo desconsiderados os pixels limítrofes a estradas e talhões de outros clones, desta forma ocorreu a seleção de somente os pixels do clone de copa PR 255. Foram realizadas quatro repetições das análises para os índices de vegetação NDVI e SAVI, representados pelo mês de abril dos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008 e, em setembro de 2001, 2004, 2005 e agosto de 2008, com análises efetuadas no SIG QGIS. O coeficiente de variação e o histograma dos dados de ambos os índices de vegetação foram calculados no programa SIG SAGA GIS.

Resultados e Discussão

Em abril, houveram os intervalos 4, 5 e 6 de NDVI, sendo que ocorreu maior porcentagem do intervalo 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. O intervalo 6 teve

20,26% (234,12 ha), 12,26% (142,02 ha), 7,75% (90 ha) e 4,7% da área total (54,18 ha), em 2005, 2006, 2007 e 2008, respectivamente, ocorrendo nos talhões plantados em 1989. Esta redução das porcentagens de intervalo 6 demonstrou que com o passar dos anos a fenologia da planta começou a se modificar, se igualando as demais seringueiras dos talhões mais velhos. Em 2006, 2007 e 2008, as maiores porcentagens do intervalo 6 ocorreram em locais com plantios mais recentes (em 1989), sendo o segundo maior intervalo dentre os quatro anos avaliados, observado próximo da coordenada geográfica UTM 21S 8076000 L/ 744000 N (Figura 1).

Conforme citou Jensen (2009), mesmo o NDVI sendo muito utilizado, demonstra limitações referentes à interferência devido à cor do solo e dos efeitos de umidade. Assim, a comparação do NDVI com o SAVI, sendo que em abril de 2005, no talhão do extremo sul ocorreram intervalos 5 e 6 de NDVI. Entretanto, o SAVI demonstrou principalmente o intervalo 3 (Figura 1).



continua...

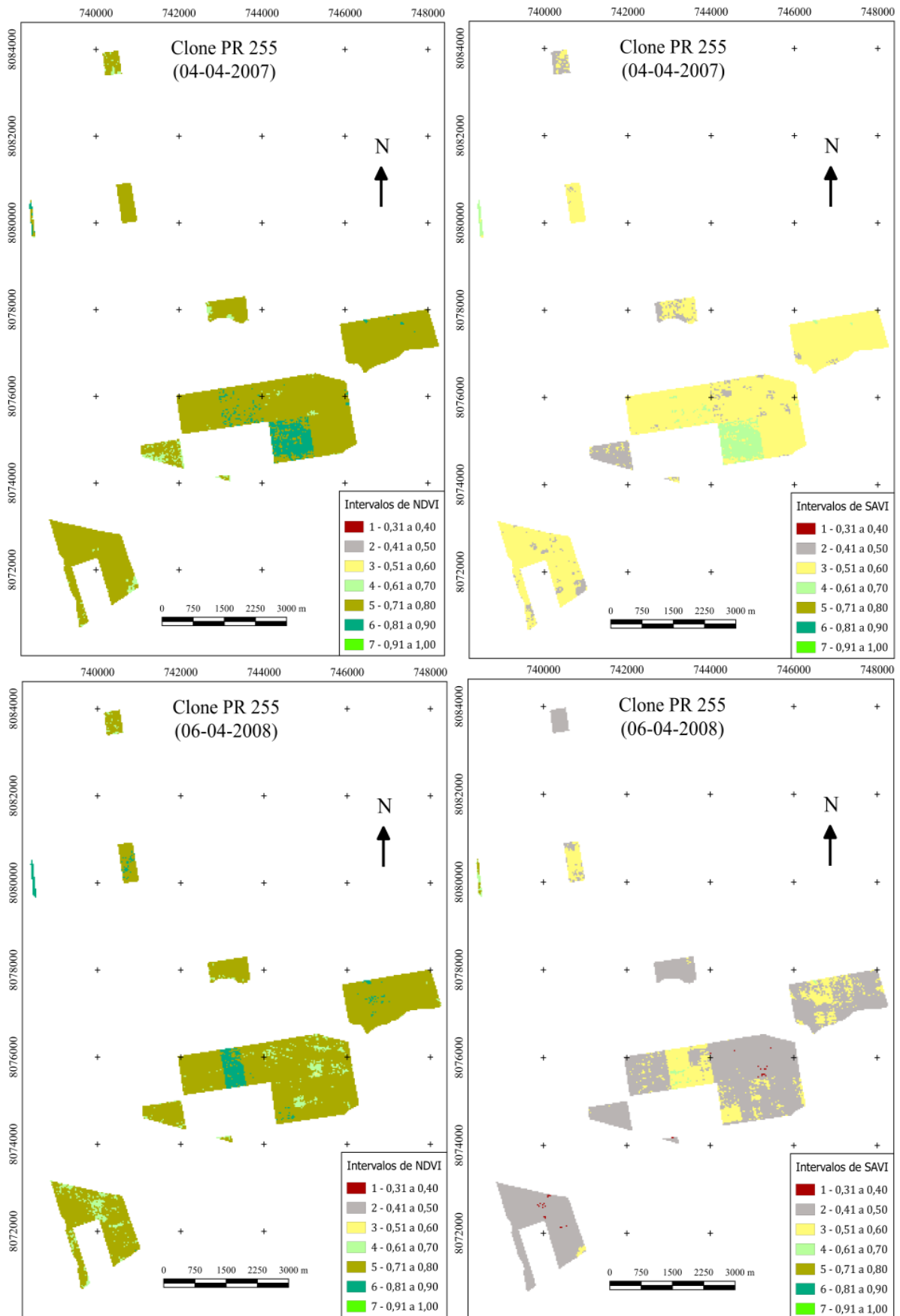


Figura 1. Índices de vegetação NDVI e SAVI presente no clone de copa PR 255, no período antecedente à desfolha das plantas.

O intervalo 2 foi encontrado no talhão sul, sendo que sua presença foi identificada em locais que representam a estrada limitante de talhões, demonstrando que o SAVI com fator $L=0,25$ foi mais eficiente para detectar menor cobertura do solo do que o NDVI (Figura 1).

Nas áreas que o NDVI apresentou intervalos 5 (NDVI = 0,61 a 0,71) e 6 (NDVI = 0,81 a 0,90), o SAVI se enquadrou no intervalo 3 (SAVI = 0,51 a 0,60). As reduções de NDVI para diferentes valores de SAVI podem ser devido aos diferentes níveis de influências da presença do solo como reflexo de fundo na refletância dos alvos em relação ao dossel vegetal, pois determinados locais podem haver maior densidade e vigor da copa das plantas, resultando em maior valor de SAVI (Figura 1). Para a pluviosidade ocorrida em março de 2005 - 171,1 mm (Tabela 1), pode se dizer que não apresentou interferência nos resultados dos dois diferentes índices de vegetação de abril. Este resultado ocorreu devido os índices encontrados serem homogêneos, de maneira geral (Figura 2), exceto nos talhões de menor idade, que pode ser explicado devido à diferença de fenologia (plantios de 1989 e 2000).

Para abril de 2006, o talhão do extremo sul demonstrou NDVI entre 0,71 até 0,80 (intervalo 5) e os valores de SAVI foram nos intervalos 2 (SAVI de 0,41 até 0,50) e 3 (SAVI de 0,51 até 0,60), mesmo fato ocorreu no talhão localizado ao norte do plantio. Desta forma, o índice SAVI demonstrou maior potencial para distinguir interferências, pois no NDVI foi encontrado somente um intervalo e o SAVI detectou 2 intervalos (Figura 1).

Os 224,4 mm em março de 2006 (Tabela 1), a primeira vista não influenciou no NDVI, fato que pode ser

explicado pela uniformidade geral dos intervalos do índice. No entanto, o SAVI apresentou locais com faixas entre 0,41 e 0,50 demonstrando que a pluviosidade afetou de forma negativa no vigor das plantas (Figura 2). Assim, esta seria a melhor explicação para a variação do SAVI, pois a planta é influenciada pela incidência de patógenos beneficiados pela umidade elevada e temperatura alta que ocorre nesta época na região, conforme citou Moraes et. al (2010).

A diferenciação da idade das plantas por meio do NDVI tem importância para o monitoramento fitossanitário da cultura. Na presente avaliação, o clone PR 255 apresentou NDVI diferenciado nas quadras das coordenadas UTM 21S 8076000 L/ 744000 N, sendo maior que o restante do plantio, onde foi identificado o intervalo 6, sendo que em outros talhões houveram intervalos menores (Figura 1). Este plantio foi realizado em 1989, 06 anos após o primeiro plantio das demais áreas. Nesta quadra os valores apresentaram porcentagens altas no intervalo 6 do NDVI nos quatro anos analisados.

No talhão central, nas coordenadas aproximadas UTM 21S 8078000 L/ 743000 N, houveram valores de NDVI no intervalo 5 predominantemente, porém, o SAVI apresentou intervalo 2 (entre 0,41 e 0,50) e 3 (entre 0,51 e 0,60). Os valores de SAVI entre 0,41 e 0,50 encontraram-se principalmente no limite do talhão com a área de mata ciliar do Ribeirão Mangaba, espelhando que nestes pixels foi detectada uma influencia que o NDVI não registrou. Estes dados encontrados foram devido ao fato de ser uma interferência que com o fator de correção do solo pôde ser detectada (Figura 1).

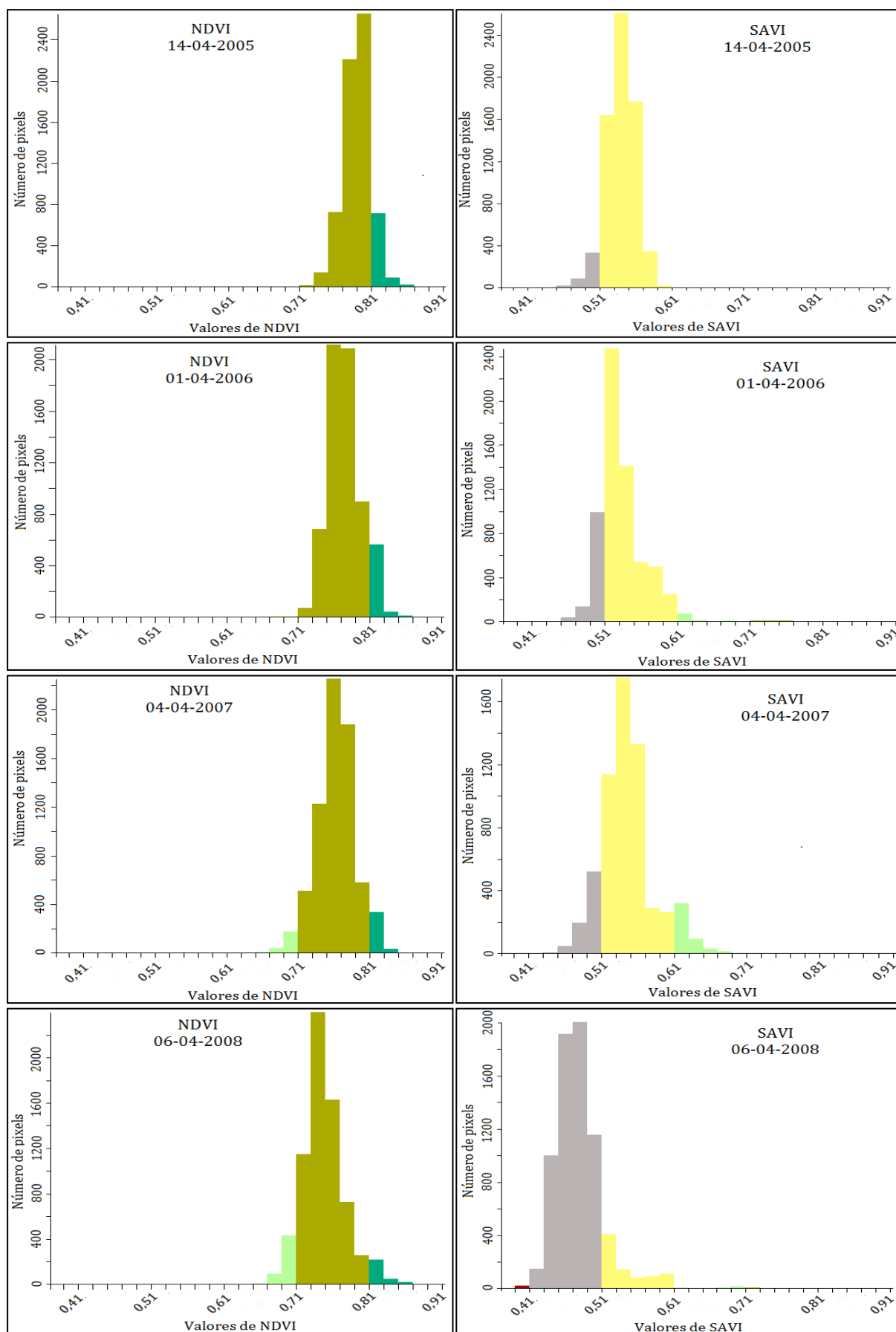


Figura 2. Números de pixels totais dos índices NDVI e SAVI nos quatro anos avaliados.

Para o ano de 2007, no talhão sul foram detectados índices NDVI entre 0,61 e 0,80 (intervalos 4 e 5) e para o SAVI foram encontrados índices de vegetação de 0,41 até 0,60 (intervalos 2 e 3). Determinados locais com NDVI no intervalo 4 (NDVI = 0,61 a 0,70) demonstraram SAVI dentro do intervalo 2 (SAVI = 0,41 a 0,50) e 3 (SAVI = 0,51 a 0,60). Este resultado caracterizou que o SAVI tem melhor sensibilidade a fatores interferentes na resposta espectral das plantas, concordando com Huete (1988), pois áreas que o NDVI demonstrou somente um intervalo (NDVI = 0,61 e 0,70), no SAVI ocorreram dois intervalos (SAVI = 0,41 e 0,60) (Figura 1).

No ano de 2008 ocorreram valores de NDVI nos intervalos 4 (NDVI = 0,61 a 0,70), 5 (NDVI = 0,71 a 0,80) e 6 (NDVI = 0,81 a 0,90), havendo valores predominantes dentro do intervalo 5. Para os valores de SAVI, ocorreram entre os intervalos 1 (SAVI = 0,31 a 0,40) até o 4 (SAVI = 0,61 a 0,70), com predominância do intervalo 2 (SAVI = 0,41 a 0,50) (Figura 2). Nestes dados, o SAVI detectou interferências no plantio que o NDVI não encontrou, pois diversos locais houveram NDVI fixo (somente uma faixa de valores) e no SAVI a mesmo intervalo de NDVI apresentou entremeios variáveis (mais de um lacuna de índice de vegetação). A

influência no SAVI pode ser devido à chuva acumulada em março de 2008 ser de 421,9 mm (Tabela 1), precipitação que possivelmente favoreceu alguma forma de estresse (pragas ou doenças) que foi espelhado no índice de vegetação.

O menor talhão em área, apresentou NDVI dentro dos intervalos 5 e 6, sendo que o 6º intervalo (NDVI = 0,81 à 0,90) foi aquele com maior área nos quatro anos em questão (Figura 1). Este fato pode ser explicado devido à fenologia das plantas jovens, pois a implantação do talhão ocorreu em 2000, onde o restante dos talhões com idade superior demonstraram menor índice NDVI quando comparado a este talhão jovem. As plantas demonstraram menor cobertura do dossel e com isso houve a detecção da presença do solo na entrelinha na imagem de satélite. Essa ausência de fechamento da cobertura florestal foi detectada pelo índice de vegetação SAVI, o qual se enquadrou entre os valores 0,31 e 0,40 (Figura 1). Este raciocínio corrobora com Huete (1988), o qual citou que as influências do solo são perceptíveis no espectro da radiação proveniente de dosséis vegetais esparsos, influenciando nos valores de índice de vegetação e desta forma utiliza-se o fator L de correção das influências do solo.

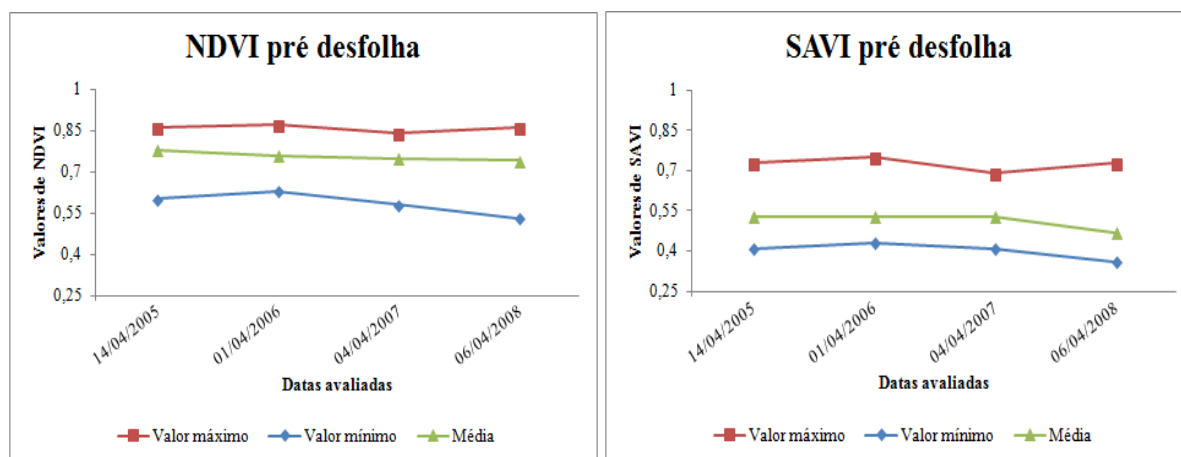


Figura 3. Valores máximos, mínimos e médios de NDVI e SAVI do clone de copa PR 255 nos quatro anos avaliados, no período antecedente à desfolha das plantas.

O máximo de NDVI ocorreu entre os valores 0,84 e 0,87 (Figuras 2 e 3), devido a presença do talhão de menor área que apresentou maior vigor vegetativo em relação ao restante do plantio, o qual apresentou maior idade, elevando o índice para o alto.

Os menores valores de NDVI encaixaram-se entre 0,53 e 0,63 (Figuras 2 e 3), locais que possivelmente houveram presença de estresses sem identificação no presente estudo, que pode ser devido a agentes bióticos, como por exemplo, a doença mal das folhas. A mais provável explicação se deve à incidência desta doença, e se de fato ocorreu, foi devido à alta umidade relativa presente no período anterior a abril, onde favoreceu a colonização do fungo *M. ulei* nas plantas, pois em março de 2008 ocorreu precipitação de 421,9 mm (Tabela 1). O NDVI médio foi entre os valores de 0,74 e 0,78, demonstrando que houve estabilidade entre os quatro anos, o que pode denotar que a partir de abril pode começar a reduzir o vigor da planta para iniciar a desfolha anual das árvores (Figura 3).

Os valores de NDVI máximo e médio demonstraram estabilidade nos quatro anos avaliados, sendo que desta forma foi verificado que o NDVI tem menor sensibilidade em relação ao SAVI. Os dados máximos e médios encontrados do índice SAVI foram mais variáveis que o NDVI, fato atribuído ao seu cálculo ter o fator de correção do solo que detectou áreas que apresentavam perturbação. Estas áreas foram representadas nos valores máximos que oscilaram entre 0,69 (ano de 2007) e 0,75 (ano de 2006) de SAVI nos quatro anos do experimento e nas suas médias entre 0,47 (em 2008) e 0,53 (demais anos) (Figura 3).

Devido ao mês de abril ser próximo do período de desfolha natural anual das plantas, conforme descreveu Moraes (1983), os índices médios de

NDVI encontrados foram entre 0,74 e 0,78 e no SAVI foi de 0,47 e 0,53 nos quatro anos avaliados. Determinados pixels apresentaram NDVI = 0,53, os quais podem ser devido a plantas que entraram em senescência natural ou incidência de patógenos, reduzindo os valores médios de NDVI. Mesmo fato pôde ser observado com o SAVI, valores abaixo de 0,50 reduziram suas médias anuais (Figura 3).

O coeficiente de variação (CV) do NDVI em abril de 2005, 2006, 2007 e 2008 foram de 2,52; 3,09; 3,76 e 4,1 respectivamente, espelhando que os dados totais apresentaram amplitude pequena em relação à média geral. Para os dados de SAVI em 2005, 2006, 2007 e 2008 houveram valores de CV iguais a 4,55; 6,10; 6,48 e 8,01 respectivamente. Este fato refletiu a sensibilidade do SAVI, pois os valores máximos de CV foram quase o dobro do maior CV encontrado para o NDVI, desta forma, foi espelhado a maior amplitude dos dados do SAVI.

Em setembro de 2001 houve considerável área de NDVI com intervalo 5 (Figura 4), possivelmente foi devido à algum estresse, pois foi de forma localizada no talhão do extremo sudeste. Uma possível explicação seria o parasitismo do nematoide *Meloidogyne exigua* raça 3 (MUNIZ et al. 2008) ou do percevejo de renda (*Leptopharsa heveae*). Este nematoide é nativo da região do plantio, conforme citou Santos (1995) e o *L. heveae* ocorre neste seringal no período entre agosto e janeiro, conforme Santos e Silva (2013).

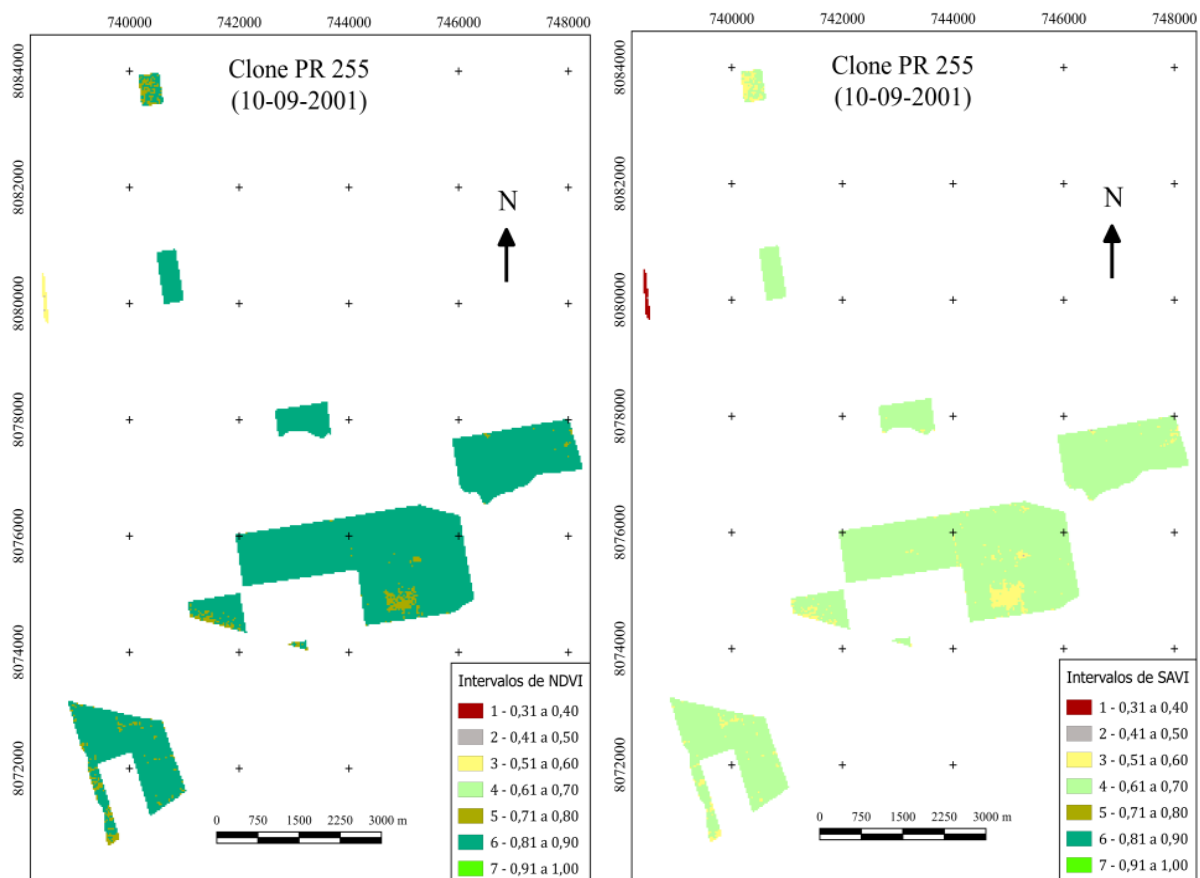
Na data de 02-09-2004, o clone PR 255 apresentou predominância do intervalo 6, com 99,04% (1.146,51 ha) do total do plantio. Entretanto, os intervalos 2, 3, 4, 5 e 7 foram encontrados, sendo que os 2 e 3 no talhão com idade mais recente, em 2000. O talhão com menor idade, plantio de 2000, próximo as coordenadas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N apresentou os

intervalos 2 e 3, com 0,09% (1,08 ha) e 0,40% da área total (4,68 ha) em setembro de 2004, respectivamente (Figura 4). Assim, pode-se concluir que a idade aproximada da planta pode ser identificada por meio do NDVI, onde as plantas mais jovens (idade próxima aos 4 anos) do clone de copa PR 255 apresentaram reenfolhamento mais tardio em relação as plantas mais velhas.

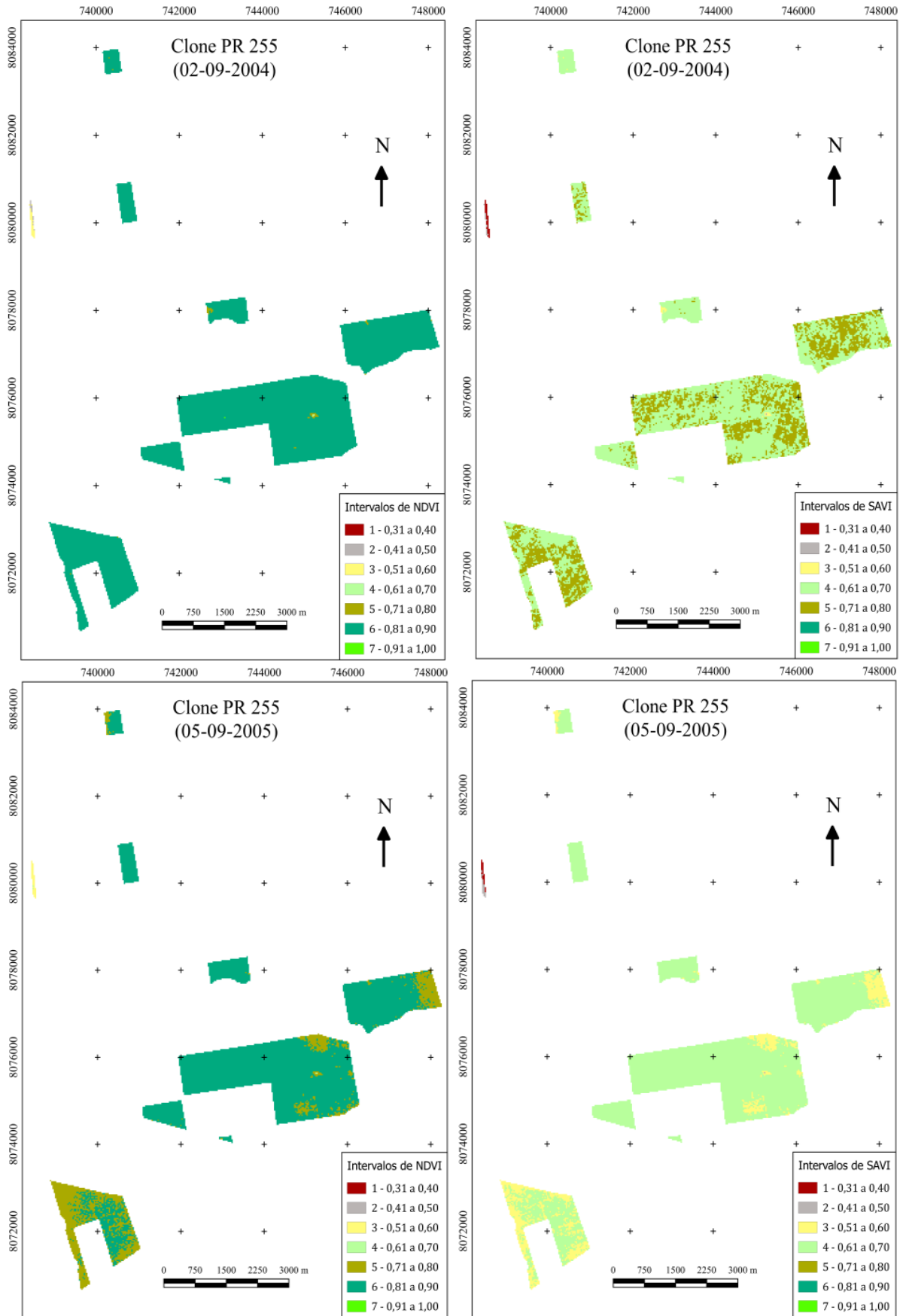
Em setembro de 2005, as áreas com intervalo 5 de NDVI demonstraram que houve atraso na reenfolha do plantio, sendo bastante pronunciado este atraso no talhão mais ao sul e em parte dos talhões no extremo sudeste. No talhão do extremo sul, o que pode ser sugerido é o estresse devido ao excesso de gases poluentes liberados pela grande quantidade de veículos que transitam pela rodovia BR 163, pois esta

área faz limite de norte a sul com a referida rodovia. Para o talhão do extremo leste pode ter ocorrido algum estresse originário da deriva de pulverizações aéreas em plantios de cultura anual, realizadas para seu manejo cultural (Figura 4).

E por fim, na área do extremo sudeste pode ter havido infestações de *L. hevea*, confirmando com o estudo de Santos e Silva (2013), o qual citam que esta praga ocorre, nesta região, entre agosto e janeiro. A infestação pelo *M. exigua*, conforme citaram Santos (1995) e Pezzoni Filho (2014), também pode ser responsável por estes estresses. Ocasionalmente, pode ter ocorrido a incidência dos três fatores interferentes de forma simultânea no mesmo local. Na análise SAVI também foi detectado este dano nos três locais citados (Figura 4).



continua...



continua...

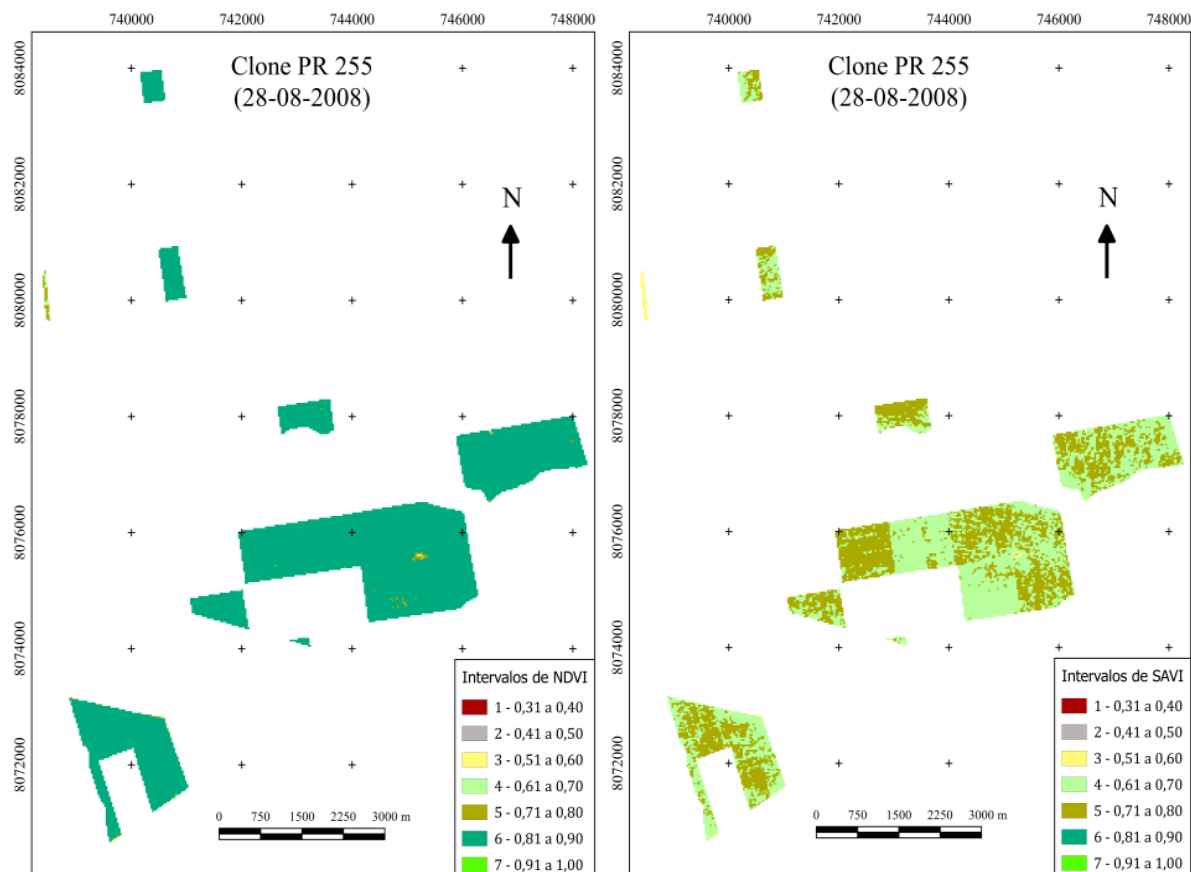


Figura 4. Índices de vegetação NDVI e SAVI presente no clone de copa PR 255, no período posterior ao reenfolhamento das plantas

No ano de 2008, o valor do intervalo de NDVI na área ao redor das coordenadas UTM 21S 8080000 L/ 739000 N foi um acima dos outros 3 anos avaliados (2001, 2004 e 2005), passando do intervalo 3 para o 4 (Figura 4). 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, conforme descreveu Moraes (1983). Os intervalos de NDVI presentes em agosto foram os 4, 5 e 6, com maior porcentagem no intervalo 6, com valores de 98,90% (1.143,36 ha), respectivamente (Figura 5). Nos talhões mais ao sul da área estudada houveram falhas nos pixels no intervalo 5 (Figura 4), possivelmente devido ao fato da presença de estresses, precisando ser melhor estudado esse efeito.

No plantio realizado em 2000, talhão com menor área, a entrelinha com ausência da copa das seringueiras influenciou no NDVI, sendo detectado no NDVI e SAVI até o ano de 2005, e em 2008 ocorreu o aumento de ambos os índices, devido ao maior fechamento do dossel das plantas. Em agosto de 2008, o reenfolhamento não apresentou atraso, sendo que praticamente 100% do plantio com idade superior a 10 anos se encaixou no intervalo 6. Entretanto, no talhão com plantas mais jovens, plantio de 2000, ocorreram os intervalos 4 e 5, sugerindo que neste ano houve mudança da fenologia das plantas quando comparado aos três anos anteriores da avaliação, pois houve índice NDVI com 1 e 2 intervalos menores do que os demais talhões. Na análise SAVI ocorreu fato semelhante, onde seus valores foram diferentes das demais áreas (Figura 4)

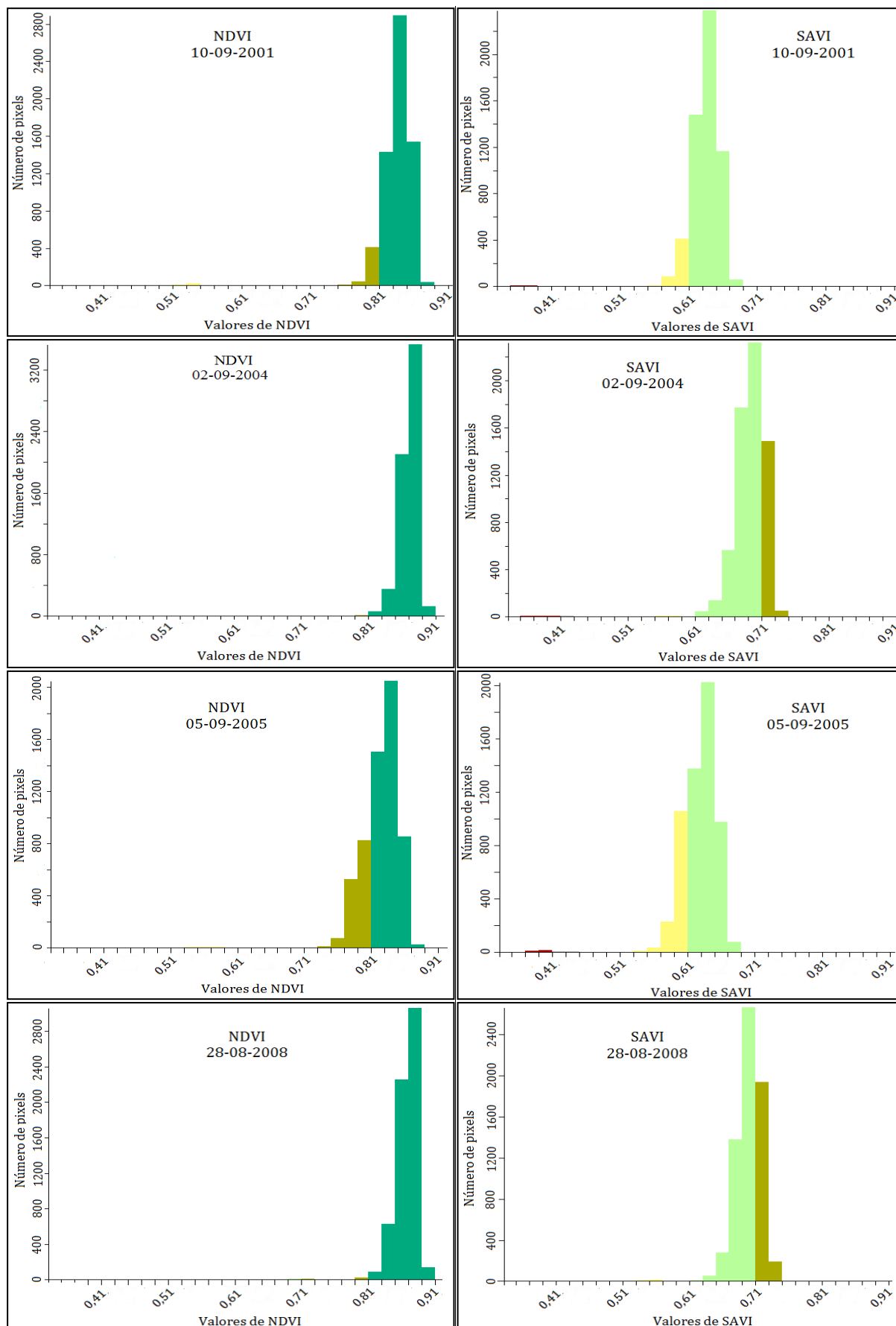


Figura 5. Números de pixels totais dos índices NDVI e SAVI nos quatro anos avaliados.

O NDVI máximo encontrado nos quatro anos foi entre 0,88 e 0,90 posteriormente a desfolha anual, onde representou que o plantio apresentou vigor elevado. Os menores valores de NDVI foram entre 0,45 e 0,56 (Figuras 5

e 6), ocorrendo possivelmente em locais em que as plantas sofreram com interferências, como incidência de agentes bióticos (doenças ou pragas). No entanto, a média de NDVI foi alta, variando entre 0,82 e 0,86 (Figura 6).

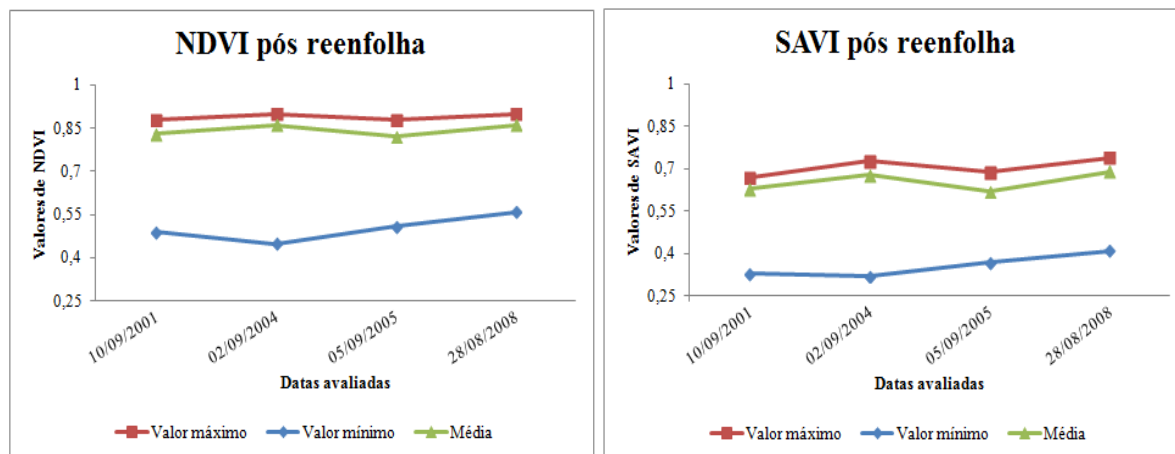


Figura 6 – Valores máximos, mínimos e médios de NDVI e SAVI do clone de copa PR 255 nos quatro anos avaliados, no período posterior ao reenfolhamento das plantas.

Como pôde ser observado na linha de tendência dos dados durante os quatro anos avaliados, nos valores máximos e médios de SAVI no período posterior ao reenfolhamento anual, ocorreram maiores oscilações de seus valores em relação ao NDVI. Por consequência, este fato demonstrou que houve melhor sensibilidade do SAVI em relação ao NDVI, na detecção de diferentes influências. Áreas com interferências do dossel das plantas foram detectadas pelo cálculo SAVI, sendo que no NDVI foi ausente, onde pode ser verificado nos valores apresentados na estabilidade (pequena variação dos valores do índice de vegetação) da linha de valores máximos e médios do índice NDVI (Figura 6).

Os maiores valores de SAVI, posteriormente à reenfolha, foram entre 0,67 e 0,74, sendo considerado elevado. Os menores índices SAVI ficaram entre 0,32 e 0,41 (Figuras 5 e 6), identificando áreas com maior presença do solo na mistura espectral da refletância detectada pelo satélite. Assim, houve

maior sensibilidade do SAVI quando comparado com o NDVI. Esta presença do solo no fundo do alvo seringueira pode ser devido a agentes estressantes presentes nas plantas, que reduziu a cobertura do dossel das plantas.

As médias dos valores de SAVI foram próximas de seus auges em cada respectivo ano, fato semelhante foi observado no NDVI (Figura 6). A influência de precipitação na resposta espectral dos valores máximos e médios de NDVI e SAVI pode ser descartada, pois em agosto de 2001, 2004, 2005 e 2008 ocorreram 16,8; 0,9; 4,1 e 43,7 mm de chuvas (Tabela 2). Esta correlação demonstrada foi nula para a variação dos índices máximos e médios de NDVI e SAVI, onde se pode concluir que o que ocorreu foram outras formas de interferências, como pragas ou doenças.

O CV encontrado para os dados de NDVI posterior à reenfolha foi de 3,31; 3,29; 3,72 e 2,46 em 2005, 2006, 2007 e 2008, respectivamente, estes dados descrevem que houve pequena variação dos valores de NDVI. Para os

intervalos de SAVI, o CV apresentou 4,22; 4,48; 4,51 e 3,43 em 2001, 2004, 2005 e 2008, respectivamente, onde os dados denotam que a amplitude de SAVI foi maior em relação ao NDVI. Assim, foi configurado o maior potencial do SAVI em detectar interferências no dossel, fato que pode ser explicado pela detecção de maiores amplitudes de valores, o qual refletiu em CV's maiores que o de NDVI.

Conclusões

O SAVI com fator $L=0,25$ identificou locais com interferências no dossel do clone PR 255 que o NDVI não detectou e, também, áreas com menor cobertura do solo;

Com alta precipitação o SAVI detectou interferências em maior porcentagem do plantio quando comparado ao NDVI, fato que ocorreu em abril de 2008;

Os índices médios de NDVI encontrados em abril foram entre 0,74 e 0,78 e no SAVI foi de 0,47 e 0,53 nos quatro anos avaliados;

O NDVI médio pós reenfolha variou entre 0,82 e 0,86 e do SAVI foi entre 0,62 e 0,69;

O CV dos dados do SAVI foi maior que o do NDVI, evidenciando a melhor sensibilidade do SAVI pra identificar áreas com danos.

Referências

CAMPELO JÚNIOR, J. H. Estimativa da transpiração em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 35-42, 2000. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/rba/p03581.html> Acesso em: 08 de abril de 2017.

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

3, p. 459-479, 1988. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425788900193> Acesso em: 08 de abril de 2017.

ELMORE, A. J.; MUSTARD, J. F.; MANNING, S. J.; LOBELL, D. B. Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 73, n.1, p.87-102, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425700001000> Acesso em: 12 de abril de 2017.

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

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996. Disponível em: <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4503/1789> Acesso em: 08 de abril de 2017.

Furtado E. L. **Manejo integrado do mal das folhas da seringueira**. Anais, 4. Reunião Brasileira sobre controle biológico de doenças de plantas. Campinas, SP. EMBRAPA. p. 145-187, 1991.

GONÇALVES, P. S.; CARDOSO, M.; BOAVENTURA, M. A. M.; MARTINS, A. L. M.; LAVORENTI, C. Biologia, citogenética e ploidia de espécies do gênero Hevea. **O Agrônomo**, Campinas, v.41, n.1, p.40-64, 1989.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **O Cultivo da Seringueira**

(*Hevea spp.*). Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. 2p. 2004. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/cultsering.pdf Acesso em: 08 de abril de 2017.

LIU, W. T.; MASSANBANI, O.; NOBRE, C.; Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. **International Journal of Climatology**, London, UK. v. 14, n 3, p. 343- 354. 1994. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3370140307/pdf> Acesso em 12 de abril de 2017.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442578890106X> Acesso em 12 de abril de 2017.

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

MATSUSHITA, B.; YANG, W.; CHEN, J.; ONDA, Y.; QIU, G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. **Sensors**, Basel - Switzerland, v. 7, n. 11, p. 2636-2651, 2007. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1424-8220/7/11/2636> Acesso em: 12 de abril de 2017.

MORAES, L. A. C.; GASPAROTTO, L.; MOREIRA, A. Fungos micorrízicos arbusculares em seringueira em latossolo amarelo distrófico da amazônia ocidental. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 3, p. 389-397, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n3/a02v34n3.pdf> Acesso em: 12 de abril de 2017.

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. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/665324/1/Documentos01.pdf> Acesso em: 08 de abril de 2017.

MUNIZ, M. F. S.; CAMPOS, V. P.; CASTAGNONE-SERENO, P.; CASTRO, J. M. C.; ALMEIDA, M. R. A.; CARNEIRO, R. M. D. G. Diversity of *Meloidogyne exigua* (Tylenchida: Meloidogynidae) populations from coffee and rubber tree. **Nematology**. 10, 897-910, 2008. Disponível em: http://www.cpatia.br/public_electronica/downloads/OPB1942.pdf Acesso em: 08-03-2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2 ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604p.

PEZZONI FILHO, J. C. **Dinâmica espaço-temporal da ocorrência de nematoides em seringueira**. 2014. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/132170/000852053.pdf?sequence=1> Acesso em: 12 de abril de 2017.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. S. D. **Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis – SC, p. 4145-4150, 2007. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.18.33/doc/4145-4150.pdf> Acesso em: 08 de abril de 2017.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao**

estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 144p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2009. 136p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128p.

RAJAGOPAL, R.; VIJAYAKUMAR, K. R., THOMAS, K. U., KARUNAICHAMY, K. 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, n. 2, p.138-147, 2004. Disponível em: <http://vitaldoc.lgm.gov.my:8060/vital/access/services/Download/vital1:27812/ARTICLE> Acesso em: 12 de abril de 2017.

RAMIREZ, G. M.; ZULLO JUNIOR, J. Estimativa de parâmetros biofísicos de plantios de café a partir de imagens orbitais de alta resolução espacial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal – SP, v. 30, n. 3, p. 468-479, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n3/11.pdf> Acesso em: 09 de abril de 2017.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** 6 ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248p.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., DEERING, D. W., SCHELL, J. A., HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation.** NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974. 371 p.

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.

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. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n2/05.pdf> Acesso em 12 de abril de 2017.

TUCKER, C. J.; SLAYBACK, D. A., PINZON, J. E., LOS, S. O., MYNENI, R. B., TAYLOR, M. G. 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. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-001-0109-8> Acesso em 12 de abril de 2017.

YI, J. L. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; QUINTANILHA, J. A. Identificação e mapeamento de áreas de milho na região sul do Brasil utilizando imagens MODIS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p.753-763, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n3/a19v27n3.pdf> Acesso em 09 de abril de 2017.