

**Índice de vegetação em seringais de
diferentes idades nos anos 2016 e 2017**



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Monitoramento por Satélite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
32**

**Índice de vegetação em seringais de
diferentes idades nos anos 2016 e 2017**

*Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues
Célia Regina Grego
Renato Natálio Cardoso
Edlene Aparecida Monteiro Garçon
Celina Maki Takemura*

***Embrapa Monitoramento por Satélite
Campinas, SP
2017***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Monitoramento por Satélite

Av. Soldado Passarinho, nº 303
Fazenda Jardim Chapadão
13070-115, Campinas, SP
Fone: (19) 3211.6200
www.embrapa.br/territorial
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Monitoramento por Satélite

Presidente
Sérgio Gomes Tosto

Secretário-Executivo
Bibiana Teixeira de Almeida

Membros
André Luiz dos Santos Furtado, Bibiana Teixeira de Almeida, Carlos Fernando Quartaroli, Daniela Maciel Pinto, Fabio Enrique Torresan, Gustavo Bayma Siqueira da Silva, Janice Freitas Leivas, Marcelo Fernando Fonseca, Vera Viana dos Santos Brandão

Supervisão editorial
Suzi Carneiro e Bibiana Teixeira de Almeida

Revisão de texto
Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica
Vera Viana dos Santos Brandão

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e Tratamento das
ilustrações
Suzi Carneiro

Foto da capa
Fernando Wagner Malavazi

1ª edição
1ª impressão (2017): versão on-line

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Monitoramento por Satélite

Índice de vegetação em seringais de diferentes idades nos anos 2016 e 2017 /
Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues... [et al.]. - Campinas: Embrapa
Monitoramento por Satélite, 2017.
24 p. : il. ; (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Monitoramento
por Satélite, ISSN 1806-3322; 32)

1. Hevea brasiliensis. 2. Heveicultura. 3. Uso da terra. I. Rodrigues, Cristina
Aparecida Gonçalves. II. Grego, Célia Regina. III. Cardoso, Renato Natálio. IV. Gar-
çon, Edlene Aparecida Monteiro. V. Takemura, Celina Maki. VIII. Título. IX. Série.

CDD 633.8952

© Embrapa, 2017

Sumário

| | |
|------------------------------|----|
| Resumo | 5 |
| Abstract | 7 |
| Introdução..... | 9 |
| Material e Métodos | 11 |
| Resultados e Discussão | 14 |
| Conclusões..... | 22 |
| Agradecimentos | 22 |
| Referências | 22 |

Índice de vegetação em seringais de diferentes idades nos anos 2016 e 2017

Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues¹

Célia Regina Grego²

Renato Natálio Cardoso³

Edlene Aparecida Monteiro Garçon⁴

Celina Maki Takemura⁵

Resumo – Os dados espectrais oriundos de imagens de satélite são úteis para estimar parâmetros da vegetação. O uso de índices de vegetação para estudar a cobertura vegetal e parâmetros fenológicos é comum, principalmente para a vegetação arbórea. Neste trabalho, mapeamos os seringais de 14 municípios do noroeste do Estado de São Paulo (região com domínio de *Hevea brasiliensis* entre as culturas arbóreas permanentes) e avaliamos o índice de vegetação (NDVI) da cultura em três diferentes idades nos anos de 2016 e 2017. Foram mapeados 13.704,49 ha de área plantada com seringueiras de todas as idades até o ano de 2015, que corresponderam a aproximadamente 17% da área plantada na região Sudeste do Brasil e a 22,6% de área plantada no Estado de São Paulo em relação aos dados de 2016 do IBGE. Os resultados quanto ao comportamento do índice de vegetação NDVI nos mesmos seringais em 2016 e 2017 apontaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de cada grupo do ano (composto de três idades de seringais mais a testemunha, que não tinha idade definida). No entanto, separadas as plantações por idade, os seringais mais jovens, de três a nove anos, não apresentaram diferenças ($p > 0,05$) nos valores de NDVI entre os anos de 2016 e 2017, assim como os seringais testemunha em cada ano.

¹ Zootecnista, Doutora em Biologia Vegetal, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

² Engenheira agrônoma, Doutora em Agricultura, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

³ Graduando em Engenharia Agrícola, estagiário da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

⁴ Geógrafa, analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

⁵ Bacharel da Ciência da Computação, Doutora em Ciência da Computação, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Os seringais em plena fase produtiva, com idade de 11 a 16 anos em 2016 e de 12 a 17 anos em 2017, e os seringais com idade de 26 a 31 anos em 2016 e de 27 a 32 anos em 2017 apresentaram diferenças ($p < 0,05$) entre os dois anos. Esse resultado mostrou-se promissor como indicador potencial para mais um classificador de classes de uso e cobertura das terras entre seringais jovens (até antes de começar produzir látex) e seringais adultos (a partir da primeira produção).

Termos para indexação: *Hevea brasiliensis*, heveicultura, índice de vegetação.

Vegetation index for rubber tree crops of different ages in 2016 and 2017

Abstract – Spectral data obtained by satellite images are useful in estimating vegetation parameters. The use of vegetation indices to study land cover and phenological parameters is common. We mapped rubber tree crops in 14 cities located at the northwest region of the State of São Paulo (where *Hevea brasiliensis* predominates among permanent tree crops), and evaluated the crop's Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) at three different ages in 2016 and 2017. We mapped a 13,704.49-ha area of rubber tree crops of different ages up until 2015, which corresponded to approximately 17% of the planted area in the Brazilian Southeast region and to 22.6% of the planted area in the State of São Paulo according to IBGE data for 2016. The results of NDVI behavior at the same rubber crops in 2016 and 2017 showed significant differences ($p < 0,05$) between the values of each group (composed by three ages of crops plus one control group of undefined age) for each year. However, when separated by age the youngest crops (3 to 9 years of age) showed no differences ($p > 0,05$) in NDVI values between 2016 and 2017, as well as the control groups. The rubber trees in full production (11 to 16 years of age in 2016, and 12 to 17 years of age in 2017), and the oldest trees (26 to 31 years of age in 2016, and 27 to 32 years of age in 2017) showed differences ($p < 0,05$) between 2016 and 2017. This result is promising for a land-use and land-cover classifier for young (before beginning the latex production) and adult (after the first latex production) rubber tree crops.

Index terms: *Hevea brasiliensis*, rubber crops, vegetation index.

Introdução

Os índices de vegetação (IV) têm sido utilizados para ressaltar o comportamento espectral da vegetação por meio de avaliação do conteúdo de compostos e pigmentos das folhas, como a clorofila, em relação a outros alvos da superfície terrestre. Esses índices fornecem informações sobre parâmetros biofísicos da vegetação, como estado fenológico e biomassa, ou, ainda, auxiliam a mapear e a conhecer a distribuição espacial vegetacional, o que os torna úteis no monitoramento da cobertura vegetal (LI; FOX, 2011; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; YANG et al., 2015). Os índices são obtidos a partir da captação da cobertura vegetal da terra para além do visível por sensores multiespectrais remotos, sensores hiperespectrais ou, ainda, são gerados a partir de imagens aerotransportadas.

Entre os vários IVs criados, o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) é o mais comumente utilizado, em decorrência das suas muitas aplicações no monitoramento ambiental, como: avaliação do vigor da vegetação, monitoramento da cobertura vegetal, detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas e suporte à previsão da produtividade agrícola (LOPES; ZANARDI, 2007; MARCUSSI et al., 2010).

Existem trabalhos científicos sobre IVs e seringais (IGNÁCIO et al., 2015; PEZZONI FILHO et al., 2015a, 2015b, 2015c), comumente relacionados a doenças, como o mal-das-folhas provocado por fungos (BEVENUTO et al., 2017) e nematoides (LEMES et al., 2017), e os últimos autores encontraram correlação entre o NDVI e a densidade de nematoides.

O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor de borracha natural do Brasil nos últimos anos (aproximadamente 183 mil toneladas de látex coagulado, que corresponde a 57,8% da produção nacional segundo IBGE, 2016). O noroeste paulista reúne a maior área plantada com a cultura da seringueira (*Hevea brasiliensis* Willd. ex (A. Juss) Müll. Arg.): 40% do total de área colhida em 2013 e 41,3% do total da área colhida em 2016. São Paulo ainda conta com o maior número de usinas de beneficiamento de borracha natural, produzida a partir do látex extraído dessa espécie arbórea.

O noroeste paulista situa-se em área considerada apta para a heveicultura (CAMARGO et al., 2003), em decorrência das condições térmicas e hídricas

satisfatórias para o desenvolvimento vegetativo da seringueira e impróprias para a doença mal-das-folhas. A região apresenta temperatura média anual acima de 18 °C, a temperatura média do mês mais frio varia de 15 °C a 20 °C, e a deficiência hídrica varia de 1 mm a 300 mm.

A produção de borracha natural brasileira de origem cultivada em 2016 foi de 315,6 mil toneladas de látex coagulado destinado à fabricação de borracha natural (IBGE, 2016), e a região Sudeste foi responsável por 69,4% da produção nacional, com 51,7% da área total plantada com *Hevea brasiliensis*. Os estados brasileiros que atualmente cultivam a seringueira são: Bahia, com 12,8% da produção nacional de látex coagulado; Minas Gerais, com 8,1%; Mato Grosso, com 7,5%; Goiás, com 6%; Espírito Santo, com 3,2%; Mato Grosso do Sul, com 1,3%; Pernambuco, com 1,0%; Tocantins, com 0,6%; e Pará, Paraná, Maranhão, Acre, Rio de Janeiro, Rondônia e Amazonas, com valores menores que 0,5% (IBGE, 2016). O extrativismo vegetal da borracha é menos importante em termos da quantidade de produção (0,38% da produção nacional ou 1.202 t), mas os estados da região Norte dominam, com 98,5% da produção extrativista do País (IBGE, 2016).

Apesar de a heveicultura nacional ter sofrido uma grave crise nos últimos três anos, em decorrência da queda do preço da borracha natural por problemas econômicos nos países consumidores, no Brasil há uma recuperação do setor desde o início de 2017, graças ao déficit interno do produto, à alta do petróleo (o que encarece a borracha sintética) e à queda de produção de safra de borracha da Tailândia, o maior exportador de borracha para o Brasil, juntamente com a Indonésia e a Malásia (ABRABOR, 2017). Além disso, o Brasil é um dos poucos países que ainda apresenta áreas potenciais para a expansão da heveicultura.

O Brasil importou, de janeiro a outubro de 2017, segundo dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 125,8 mil toneladas de borracha natural seca ou borracha granulada e prensada, uma vez que a produção brasileira, que é de aproximadamente 47% de seu consumo (ABRABOR, 2017), não consegue atender a demanda interna. Essa quantidade importada é bem maior quando considerados também os produtos manufaturados importados de borracha. A exportação da borracha natural brasileira, apesar da elevada qualidade da borracha, é muito pequena.

Assim, diante da relevância da produção de borracha natural no Estado de São Paulo, nosso objetivo neste trabalho foi mapear e caracterizar o comportamento espectral das seringueiras em diferentes idades a partir do cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada em 14 municípios do noroeste do Estado de São Paulo nos anos de 2016 e 2017.

Material e Métodos

A área de estudo engloba, total ou parcialmente, os municípios: da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) 19, que corresponde à sub-bacia do Baixo Tietê; da UGRHI 18, Bacia do São José dos Dourados; UGRHI 16, Bacia do Tietê/Batalha; e UGRHI 15, Bacia do Turvo/Grande, localizada no noroeste do Estado de São Paulo. Está localizada entre os paralelos 20°41'S e 21°13'S e entre os meridianos 50°13'O e 49°38'O (Figura 1). Os 14 municípios apresentam área total de aproximadamente 457,4 mil hectares: Buritama, José Bonifácio, Macaúbal, Monções, Monte Aprazível, Neves Paulista, Nhandeara, Nipoã, Planalto, Poloni, Tanabi, Turiúba, União Paulista e Zacarias. Os territórios dos municípios de Monte Aprazível, Neves Paulista e Nhandeara estão localizados na UGRHI 19, mas têm sede na UGRHI 18. A área abrange, ainda, total ou parcialmente, as sub-bacias do Ribeirão Palmeiras, Ribeirão Santa Bárbara, Córrego da Arribada, Ribeirão São Jerônimo, Ribeirão das Oficinas e Ribeirão da Corredeira (CBH-BT, 1999).

A região, segundo a classificação climática de Koeppen, pertence ao tipo climático Aw, tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18 °C (CEPAGRI, 2017). O mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e período chuvoso que se atrasa para o outono. A precipitação pluvial média anual varia de 1.100 mm a 1.300 mm, as temperaturas médias anuais variam de 24 °C a 30 °C (CBH-BT, 1999), e esses valores são menores nas áreas mais elevadas.

A precipitação pluvial média (mm) das safras de 2015/2016 e de 2016/2017 nos 14 municípios foi de 1.520,1 mm e 1.225,6 mm, respectivamente, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que utiliza produto do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) disponibilizado pelo

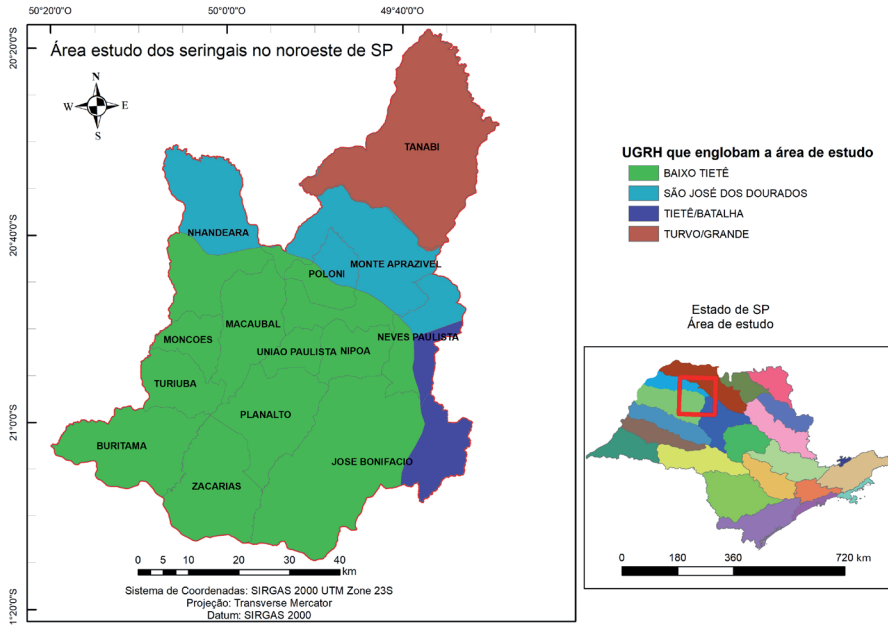


Figura 1. Localização da área de estudo no noroeste de São Paulo, inserida em quatro Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHs).

Fonte: Adaptado de IDEA_SP (SÃO PAULO, 2017).

Distributed Active Archive System (DAAC) da Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) da National Aeronautics and Space Administration (Nasa) (FREITAS et al., 2011).

O mapeamento dos seringais da área de estudo (maioria das plantações com o clone RRIM 600) foi feito a partir da interpretação visual de imagens de satélite (GeoEye, Ikonos) e imagens do mapa base do Esri ArcMap com resolução espacial de 40 cm, 50 cm e 30 cm e datas de outubro e novembro de 2013 e 2014/2015, respectivamente. Os softwares Envi versão 5.2 e Esri ArcMap versão 10.5 foram utilizados para mapear e espacializar os seringais. Foram feitas cinco validações de campo em todos os municípios, o que permitiu determinar os alvos georreferenciados.

Para estudar o índice de vegetação, foram utilizadas imagens do Sentinel-2A, da Agência Espacial Europeia, do mês de abril (período antecedente à desfolha anual da planta, que é caducifólia, e correspondente ao fim das chu-

vas, sem nuvens) dos anos de 2016 e 2017. As imagens do Sentinel-2A tipo L1C foram obtidas gratuitamente junto ao Serviço Geológico do Governo dos Estados Unidos (USGS, 2017) por meio do Earth Explorer. Para o produto L2A (com correção atmosférica), foi utilizada a Plataforma de Aplicativos do Sentinel (SNAP), mais precisamente o plug-in sen2cor, com precisão de 10 m (ESA, 2017). Para gerar as imagens do NDVI dos seringais, foi utilizada a calculadora de bandas do QGIS nas bandas B4 (Red) e B8 (NIR) (Equação 1).

$$\text{NDVI} = (\rho\text{NIR} - \rho\text{Red}) / (\rho\text{NIR} + \rho\text{Red}) \quad (1)$$

ρNIR é a refletância na banda do infravermelho próximo, ρRed é a refletância na banda do vermelho.

Os seringais foram divididos em 8 grupos: A = NDVI dos seringais com idade de 3 a 8 anos em 2016; B = NDVI dos seringais com idade de 11 a 16 anos em 2016; C = NDVI dos seringais com idade de 26 a 31 anos em 2016; D = NDVI dos seringais com idades aleatórias em 2016; E = NDVI dos seringais com idade de 4 a 9 anos em 2017; F = NDVI dos seringais com idade de 12 a 17 anos em 2017; G = NDVI dos seringais com idade de 27 a 32 anos em 2017; H = NDVI dos seringais com idades aleatórias em 2017. As idades dos seringais, quando possível, foram obtidas diretamente junto aos produtores rurais ou técnicos das Casas de Agricultura da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (Cati), e foram ajustadas aos anos de 2016 e 2017. Foram extraídos aleatoriamente 100 pixels das imagens de NDVI para cada grupo de idade dos seringais, totalizando 800 pixels de referência nos anos de 2016 e 2017.

As análises estatísticas dos IVs obtidos para os grupos estabelecidos foram feitas usando o programa Origin 9.1 (OriginLab Co.). Para testar se a amostra dos valores de NDVI apresentava distribuição normal, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk (MANGIAFICO, 2016). Como houve rejeição de normalidade dos dados, foram feitos testes de comparação de Kruskal-Wallis (teste não paramétrico utilizado para comparar três ou mais populações) e de Wilcoxon (teste não paramétrico para comparar os valores médios de amostras emparelhadas) segundo Mangiafico (2016).

Os dados primários e secundários utilizados, as análises, os resultados derivados das ações do projeto (Sustentabilidade, competitividade e valoração de serviços ecossistêmicos da heveicultura em São Paulo com uso

de geotecnologias, GeoHevea) e seus respectivos metadados foram inseridos na plataforma GeoInfo, a Infraestrutura de Dados Espaciais da Embrapa (DRUCKER et al., 2015), segundo instruções do Decreto-Lei n° 6.666, de 27/11/2008, que instituiu a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (Inde).

Resultados e Discussão

Até o ano de 2015 foram mapeados na área de estudo 13.704,49 ha de áreas plantadas com seringueiras (valores que deverão sofrer alteração até a edição final do mapa de uso e cobertura das terras da região em 2017). A Tabela 1 e Figura 2 apresentam a área plantada (ha) levantada em cada um dos 14 municípios. Esses valores de áreas com seringueiras corresponderam a aproximadamente 17% da área plantada na região Sudeste e a 22,6% da área plantada no Estado de São Paulo.

Tabela 1. Área plantada (ha) com *Hevea brasiliensis* nos municípios da área de estudo.

| Município | Área plantada com seringueiras (ha) |
|-----------------|-------------------------------------|
| Tanabi | 2.963,33 |
| Buritama | 1.808,26 |
| Macaubal | 1.365,06 |
| Planalto | 1.266,32 |
| José Bonifácio | 1.255,49 |
| Monte Aprazível | 1.229,66 |
| Neves Paulista | 1.192,34 |
| Nhandeara | 1.176,21 |
| União Paulista | 515,39 |
| Turiúba | 341,52 |
| Nipoã | 317,21 |
| Zacarias | 155,8 |
| Poloni | 66,74 |
| Monções | 51,14 |

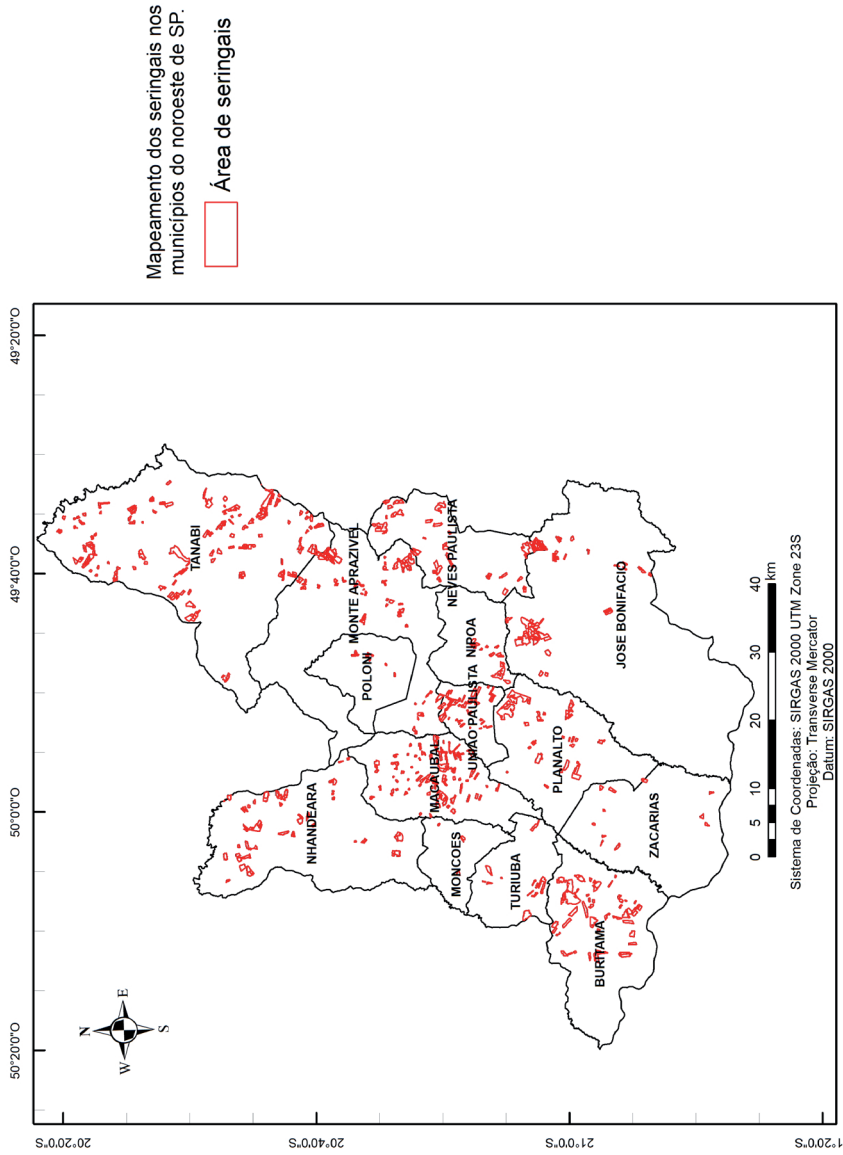


Figura 2. Mapeamento dos seringais na área de estudo.

Segundo dados do IBGE (2016), a área total destinada à heveicultura nesses 14 municípios foi de 14.468 ha, e as maiores áreas plantadas no Estado de São Paulo estão localizadas nos municípios de Monte Aprazível (primeira posição), Tanabi (segunda), Nhandeara (terceira) e Buritama (quarta)

A estatística descritiva da análise dos valores do NDVI para cada grupo estabelecido de vegetação arbórea (seringueiras) é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Estatística descritiva dos valores de NDVI para os grupos estabelecidos de seringueiras na área de estudo (médias dos valores amostrados em grupos de idade e ano).

| Grupos | N total | Média | Desvio padrão | Coefficiente de variação - CV | Mínimo | Mediana | Máximo |
|--------|---------|---------|---------------|-------------------------------|---------|---------|---------|
| A | 100 | 0,72101 | 0,08741 | 12,0 | 0,44597 | 0,76367 | 0,79617 |
| B | 100 | 0,73508 | 0,06450 | 9,0 | 0,36551 | 0,74332 | 0,78989 |
| C | 100 | 0,71975 | 0,03235 | 4,0 | 0,57103 | 0,72613 | 0,78856 |
| D | 100 | 0,70174 | 0,08594 | 12,0 | 0,36764 | 0,72965 | 0,79646 |
| E | 100 | 0,72791 | 0,06019 | 8,0 | 0,53321 | 0,75031 | 0,80625 |
| F | 100 | 0,71542 | 0,03513 | 5,0 | 0,63597 | 0,71800 | 0,77798 |
| G | 100 | 0,70667 | 0,03734 | 5,0 | 0,57502 | 0,71073 | 0,77215 |
| H | 100 | 0,69453 | 0,08385 | 12,0 | 0,4222 | 0,72085 | 0,80441 |

Grupos: A = NDVI dos seringais com idade de 3 a 8 anos em 2016; grupo B = NDVI dos seringais com idade de 11 a 16 anos em 2016; grupo C = NDVI dos seringais com idade de 26 a 31 anos em 2016; grupo D = NDVI dos seringais com idades aleatórias em 2016; grupo E = NDVI dos seringais com idade de 4 a 9 anos em 2017; grupo F = NDVI dos seringais com idade de 12 a 17 anos em 2017; grupo G = NDVI dos seringais com idade de 27 a 32 anos em 2017; grupo H = NDVI dos seringais com idades aleatórias em 2017.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados dos testes não paramétricos de comparação entre os diferentes grupos.

De maneira geral, os valores obtidos de NDVI dos seringais (independentemente da idade) a partir de imagens Sentinel 2 foram inferiores aos valores de NDVI nos seringais para a mesma área de estudo e mesmo mês (abril) referentes ao ano de 2014, mas oriundos do processamento de imagens Landsat 8, sensor OLI (IGNÁCIO et al., 2015). Os autores encontraram valor médio de NDVI de 0,90692, valor máximo de 0,91772, e valor mínimo de 0,72050. Essa diferença muito provavelmente decorre da variação natural

Tabela 3. Resultados dos testes estatísticos de comparação do NDVI entre os grupos estabelecidos de seringueiras na área de estudo.

| Teste | Grupo | N total | Mínimo | Q1 | Mediana | Q3 | Máximo | Nível de significância 0,05 |
|----------------|-------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------------|
| Kruskal-Wallis | 2016 x 2017 | 400 | 0,365513 | 0,702983 | 0,738244 | 0,766118 | 0,796458 | 2,55E-05 * |
| | | 400 | 0,422196 | 0,681722 | 0,724532 | 0,751311 | 0,806248 | |
| Wilcoxon | 2016 x 2017 | 400 | 0,365513 | 0,702983 | 0,738244 | 0,766118 | 0,796458 | 1,35E-13 * |
| | | 400 | 0,422196 | 0,681722 | 0,724532 | 0,751311 | 0,806248 | |
| Wilcoxon | A x E | 100 | 0,445967 | 0,690139 | 0,763672 | 0,779127 | 0,796165 | 2,06E-01 NS |
| | | 100 | 0,533215 | 0,707766 | 0,750313 | 0,765364 | 0,806248 | |
| Wilcoxon | B x F | 100 | 0,365513 | 0,731492 | 0,743320 | 0,768268 | 0,789888 | 2,90E-11 * |
| | | 100 | 0,635972 | 0,687407 | 0,717999 | 0,745079 | 0,777978 | |
| Wilcoxon | C x G | 100 | 0,571032 | 0,704498 | 0,726132 | 0,740489 | 0,788565 | 1,27E-05 * |
| | | 100 | 0,575018 | 0,683634 | 0,710729 | 0,734838 | 0,772152 | |
| Wilcoxon | D x H | 100 | 0,367639 | 0,659204 | 0,729646 | 0,763803 | 0,796458 | 8,28E-02 NS |
| | | 100 | 0,422196 | 0,651952 | 0,720849 | 0,760164 | 0,804408 | |

Grupos: A = NDVI dos seringueiras com idade de 3 a 8 anos em 2016; grupo B = NDVI dos seringueiras com idade de 11 a 16 anos em 2016; grupo C = NDVI dos seringueiras com idade de 26 a 31 anos em 2016; grupo D = NDVI dos seringueiras com idades aleatórias em 2016; grupo E = NDVI dos seringueiras com idade de 4 a 9 anos em 2017; grupo F = NDVI dos seringueiras com idade de 12 a 17 anos em 2017; grupo G = NDVI dos seringueiras com idade de 27 a 32 anos em 2017; grupo H = NDVI dos seringueiras com idades aleatórias em 2017.

dos dados climáticos dos diferentes anos e da metodologia para obtenção dos valores do índice de vegetação (valores de NDVI obtidos diretamente da USGS em 2015 e valores de NDVI obtidos da Plataforma de Aplicativos do Sentinel – SNAP, ESPA, 2017, neste estudo).

Pezzoni Filho et al. (2015a, 2015b) analisaram o índice de vegetação e o vigor vegetativo de seringais clone RRIM 701 no Município de Itiquira, MT. A escala de NDVI obtida revelou valores com intervalo entre 0,61 e 0,80 para seringais com médio vigor vegetativo (observação de campo), e valores de NDVI entre 0,81 e 0,90 para seringais com elevado vigor vegetativo, o que significa presença de vegetação densa ou vegetação em pleno crescimento (LIU, 2007 citado por PEZZONI FILHO et al., 2015a).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de NDVI dos seringais (mesmo ponto de coordenadas) nos anos de 2016 e 2017, tanto pelo teste não paramétrico de Kruskal-Willis como pelo de Wilcoxon (Tabela 3). A precipitação pluvial média (mm) das safras de 2015/2016 e de 2016/2017 nos 14 municípios foi de 1.520,1 mm e 1.225,6 mm, respectivamente (FREITAS et al., 2011), ou seja, a precipitação foi ligeiramente maior para a safra de 2015/2016, o que pode ter influenciado diretamente a vegetação (vigor vegetativo) e conseqüentemente os valores do NDVI, cujos valores médios também foram ligeiramente maiores (1,16%) nessa safra.

Quando comparados os grupos A (valores de NDVI dos seringais com idade de 3 a 8 anos em 2016) e E (valores de NDVI dos seringais com idade de 4 a 9 anos em 2017) não houve diferença significativa ($p > 0,05$), ou seja, apesar de o grupo de valores de NDVI de 2017 ser dependente dos valores de NDVI para a vegetação em 2016, isso não determinou diferença nos seringais com idade de 3 a 9 anos (a variação da faixa de idade de um ano decorre do fato de serem os mesmos pontos dos mesmos seringais amostrados em 2016 e 2017). O mesmo ocorreu quando feitas as medições aleatórias de NDVI nos seringais, independentemente da idade deles.

Com os grupos B (valores de NDVI dos seringais com idade de 11 a 16 anos em 2016) versus F (valores de NDVI dos seringais com idade de 12 a 17 anos em 2017) e C (valores de NDVI dos seringais com idade de 26 a 31 anos em 2016) versus G (valores de NDVI dos seringais com idade de 27 a 32 anos em 2017) ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$). Assim, seringais na faixa de idade de 11 a 17 anos e seringais na faixa de idade de

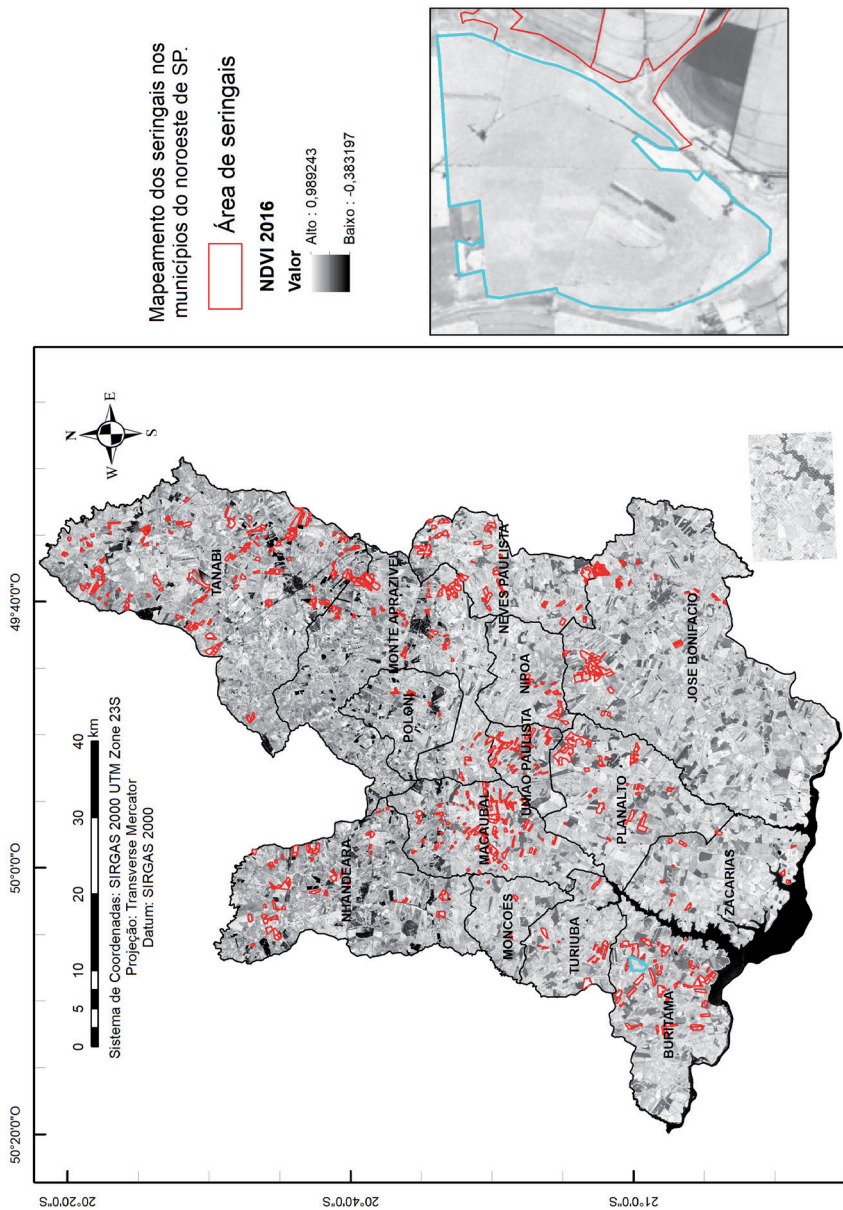


Figura 3. Índice de vegetação (NDVI) e seringais na área de estudo em 2016.

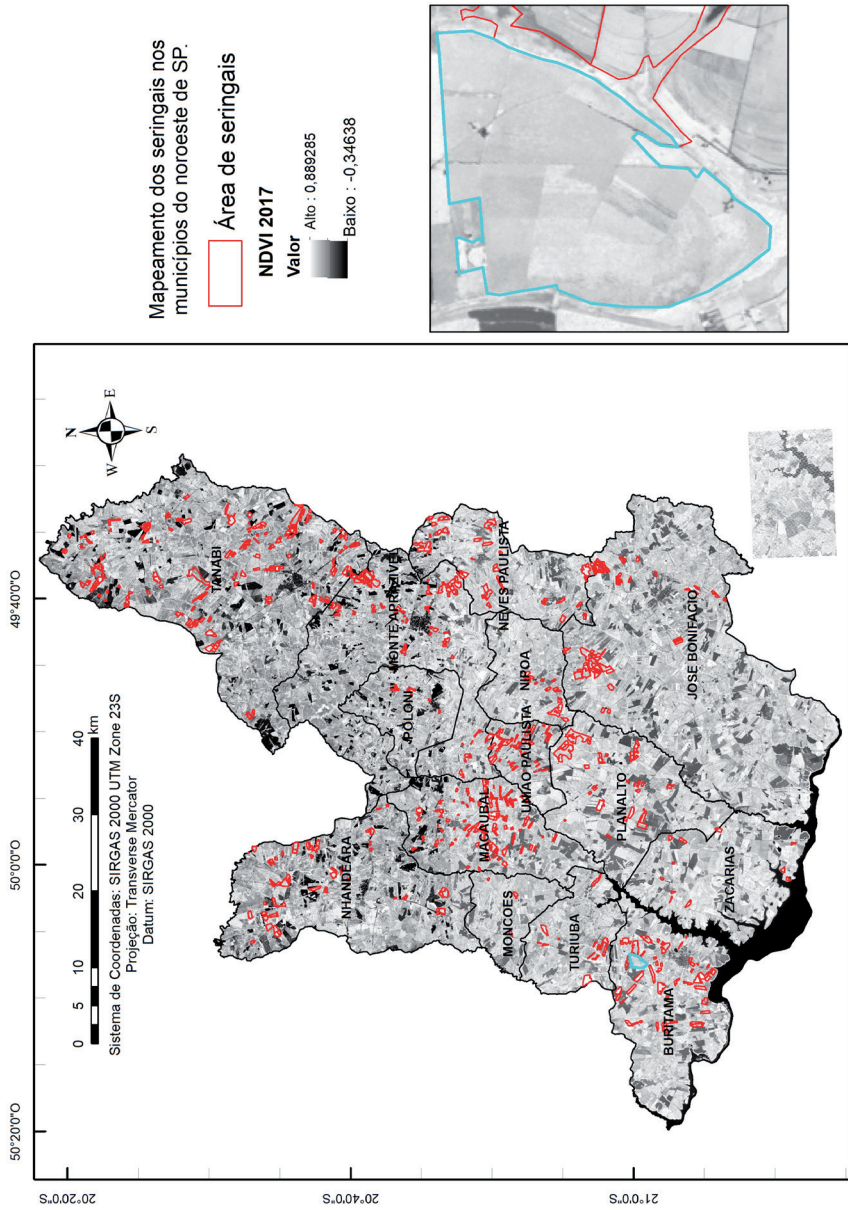


Figura 4. Índice de vegetação (NDVI) e seringaais na área de estudo em 2017.

26 a 32 anos em 2016 e 2017, ou seja, as plantas em início (após 7 anos) e em plena produção de látex foram as responsáveis pelas diferenças encontradas de valores de NDVI entre os anos de 2016 e 2017.

Em avaliação do NDVI do clone RRIM 701, no mês de abril entre os anos de 2005 e 2008, Pezzoni et al. (2015a) verificaram que nos grupos de seringais com idades de 16 a 19 anos, 17 a 20 anos e 21 a 24 anos a maior porcentagem de vigor vegetativo apresentou valores médios (NDVI entre 0,61 e 0,80) para as plantas mais velhas e vigor predominantemente alto para as mais novas. Assim, segundo os autores, a idade dos seringais influenciou a resposta de vigor detectada pelo índice NDVI.

Nas Figuras 3 e 4, são apresentados os mapas das imagens processadas referentes aos cálculos do NDVI de toda a área de estudo nos anos de 2016 e 2017, respectivamente, com detalhe para o mesmo talhão de seringueira nas duas figuras.

O valor de NDVI mais próximo a 1 indica uma vegetação mais densa e vigorosa. Nas Figuras 3 e 4, as áreas com a tonalidade de cinza mais clara correspondem a maiores valores de IV, enquanto a tonalidade mais escura representa baixos índices de vegetação. Os valores próximos de zero representam áreas com baixa densidade vegetacional ou sem vegetação (solo exposto), e valores negativos são geralmente os corpos d'água. Assim, ocorre maior brilho em áreas florestadas, o qual diminui na vegetação intermediária, e há maior absorção da radiação eletromagnética nos corpos hídricos e áreas inundáveis (IGNÁCIO et al., 2015).

O resultado encontrado mostrou-se promissor como indicador potencial para mais um classificador (com ajuda de algoritmos a serem construídos) de classes de uso e cobertura das terras entre seringais jovens (até antes de produzir látex) e seringais adultos (a partir da primeira produção).

Os algoritmos construídos formariam o classificador, que é um processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Assim, um conjunto de treinamento (exemplos práticos e dados reais de estudo de campo) é fundamental para a criação de um classificador. São exemplos de classificadores: árvore de decisão, k-média, máxima verossimilhança (MAXVER - paramétrico) e *Support Vector Machine* (SVM – não

paramétrico), esses dois últimos aplicados na classificação da fisionomia da vegetação com imagens de alta resolução (ANDRADE et al., 2014).

Conclusões

O comportamento do índice de vegetação NDVI nos mesmos seringais foi significativamente diferente ($p < 0,05$) nos anos de 2016 e 2017, quando agrupadas as três idades de seringais mais a testemunha (grupos D e H).

Os seringais mais jovens, de 3 a 9 anos (sem produção de látex), não apresentaram diferenças ($p > 0,05$) nos valores de NDVI entre os anos de 2016 e 2017. Já os seringais em plena produção (11 a 17 anos e 26 a 32 anos) apresentaram diferenças ($p < 0,05$) entre esses anos.

Esse resultado mostrou-se promissor como indicador potencial para mais um classificador para as classes de uso e cobertura das terras entre seringais jovens (até antes de produzir látex) e seringais adultos (a partir da primeira produção).

Agradecimentos

À Embrapa (Projeto GeoHevea – Sustentabilidade, competitividade e valorização de serviços ecossistêmicos da heveicultura em São Paulo com uso de geotecnologias – código SEG nº 02.08.10.003.00.02). A todos os técnicos das Casas de Agricultura dos 14 municípios estudados, que nos receberam muito bem em nossas viagens de reconhecimento, especialmente os técnicos de Buritama, Macaúbal, Nhandeara e Tanabi. A Pedro Gerhard, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, pelo apoio técnico na análise estatística.

Referências

ABRABOR. Associação Brasileira de Produtores e Beneficiadores de Borracha Natural. **Estatísticas e tendências da borracha natural**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/borracha-natural/2017/38a-ro/app-abrabor-38ro-borracha.pdf>>. Acesso: 21 nov. 2017.

- ANDRADE, A. C.; FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. de. Desempenho de classificadores paramétrico e não paramétrico na classificação da fisionomia vegetal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, p. 349-363, 2014.
- BEVENUTO, J. A. Z.; PEZZONI FILHO, J. C.; FURTADO, E. L. Análise agroclimática do patossistema *Hevea x Pseudocercospora ulei* através dos índices de vegetação NDVI e SAVI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 50., 2017, Uberlândia. **Do manejo à edição do genoma**: resumos. Brasília, DF: SBF, 2017.
- CAMARGO, A. P. de; MARIN, F. R.; CAMARGO, M. B. P. de. **Zoneamento climático da heveicultura no Brasil**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 19 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 24). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/171311/d24heveicfin.pdf>><<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/171311/d24heveicfin.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2017.
- CBH-BT. Comitês de Bacias Hidrográficas – Baixo Tietê. **Apresentação**. 1999. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhbt/apresentacao>>. Acesso em: 30 ago. 2017.
- CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 21 set. 2017.
- DRUCKER, D. P.; CUSTODIO, D. de O.; FIDALGO, E. C. C.; DALCIO, J.; VISOLI, M. C. Preservação e organização da geoinformação em instituições: o caso da construção da infraestrutura de dados espaciais da Embrapa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3671-3678.
- ESA. European Space Agency. **Sentinel-2**. Disponível em: <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>><<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>>. Acesso em: 5 set. 2017.
- FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A. F.; SATO, F. Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 2, p. 57-64. 2011.
- IBGE. **PAM**: Produção Agrícola Municipal. 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 04 set. 2017.
- SÃO PAULO (Estado). IDEA_SP. Infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo. **Base territorial ambiental unificada**. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso: 21 nov. 2017.
- IGNÁCIO, C. F.; RODRIGUES, C. A. G.; GARCON, E. A. M.; FURTADO, A. L. dos S.; TOSTO, S. G. Índices de vegetação em seringais, outras culturas arbóreas e remanescentes florestais no noroeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2015. **Anais...** Campinas: IAC, 2015. 8 p.
- LEMES, E. M.; MACHADO, T. V.; GONTIJO, L. N.; ANDRADE, S. L.; COELHO, L. Sensoriamento remoto na detecção de seringais infestados por *Meloidogyne exigua*. CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 50., 2017, Uberlândia. **Do manejo à edição do genoma**: resumos. Brasília, DF: SBF, 2017.
- LI, Z.; FOX, J. M. Rubber Tree Distribution Mapping in Northeast Thailand. **International Journal of Geosciences**, v. 2, n. 4, p. 573-584, 2011.
- 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:

SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 23., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, SP: INPE, 2007. p. 947-952.

MANGIAFICO, S. S. **Summary and analysis of extension program evaluation in R.** New Brunswick, NJ, 2016. 713 p. Version 1.11.1. Disponível em: <rcompanion.org/documents/RHandbookProgramEvaluation.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2017.

MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, 2010. p. 41 – 53.

PEZZONI FILHO, J. C.; BENSO, L. A.; FURTADO, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Índice de vegetação em clone de seringueira antes da desfolha natural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10., 2015, Ponta Grossa. **Uso de VANTs e sensores para avanços no agronegócio**: anais. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2015a.

PEZZONI FILHO, J. C.; BENSO, L. A.; FURTADO, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Índice de vegetação em clone de seringueira após a desfolha anual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10., 2015, Ponta Grossa. **Uso de VANTs e sensores para avanços no agronegócio**: anais. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2015b.

PEZZONI FILHO, J. C.; FURTADO, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Índice de vegetação em seringueira com correção da influência do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HEVEICULTURA, 4., 2015, São José do Rio Preto, SP. **Anais...** São José do Rio Preto, SP: LATEKS, 2015c.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 127 p. v. 1.

USGS. United States Geological Service. **Earth Explorer**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

YANG, Y. T.; GUAN, H.; SHEN, M.; LIANG, W.; JIANG, L. Changes in autumn vegetation dormancy onset date and the climate controls across temperate ecosystems in China from 1982 to 2010. **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 652-665, feb. 2015.



Monitoramento por Satélite