UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

JOÃO ALBERTO ZAGO BEVENUTO

USO DE ÍNDICES DE REFLECTÂNCIA FOLIAR NO MONITORAMENTO DO PATOSSISTEMA *Microcyclus ulei* x SERINGUEIRA

BOTUCATU - SP

Dezembro 2017

JOÃO ALBERTO ZAGO BEVENUTO

USO DE ÍNDICES DE REFLECTÂNCIA FOLIAR NO MONITORAMENTO DO PATOSSISTEMA *Microcyclus ulei* x SERINGUEIRA

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

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Furtado

Co-Orientador: Dr. José Carlos Pezzoni Filho

BOTUCATU - SP

Dezembro 2017

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

Bevenuto, João Alberto Zago, 1983-
B571u Uso de índices de reflectância foliar no monitoramento do patossistema *Microcyclus ulei* X seringueira / João Alberto Zago Bevenuto. – Botucatu: [s.n.], 2017
92 p.: fots. color., ils., grafs. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Edson Luiz Furtado
Coorientador: José Carlos Pezzoni Filho
Inclui bibliografia

1. Seringueira – Doenças e pragas. 2. Reflectância. 3. Sensoriamento remoto. 4. Modelos lineares (Estatística). I. Furtado, Edson Luiz. II. Pezzoni Filho, José Carlos. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas – CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: USO DE ÍNDICES DE REFLETÂNCIA FOLIAR NO MONITORAMENTO DO PATOSSISTEMA *Microcyclus ulei* - SERINGUEIRA

AUTOR: JOÃO ALBERTO ZAGO BEVENUTO
ORIENTADOR: EDSON LUIZ FURTADO
COORIENTADOR: JOSÉ CARLOS PEZZONI FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora

Prof. Dr. EDSON LUIZ FURTADO
Departamento de Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP-Botucatu/SP

Dr. LEO ZIMBACK
Floresta Estadual de Botucatu / Instituto Florestal do Estado de São Paulo

Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS
Departamento de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu.sp

Prof. Dr. JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS
Departamento de Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu/ IBB/ UNESP

Prof. Dr. WILLIAN BUCKER MORAES
Centro de Ciências Agrárias / UFES (videoconferência)

Botucatu, 15 de dezembro de 2017.

À minha mãe Luzia e minha tia Maria Goretti

(*in memoriam*)

Sempre estarão em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. **Edson Luiz Furtado**, pela grande amizade, orientação e ensinamentos transmitidos durante todos os momentos e para todo o sempre.

Ao Dr. **José Carlos Pezzoni Filho** pela amizade e orientação deste trabalho.

Ao Prof. Dr. **José Raimundo De Souza Passos**, do Departamento de Bioestatística do Instituto de Biociências da UNESP-Botucatu, pela amizade e paciência.

Aos meus **Avôs Hélio Jordão e Valentina**, **Luiz e Duzolina**, por me ensinarem o simples, mas o importante da vida.

À minha família sempre comigo, se não por perto em meu coração, **Larissa**, **Jordana**, **Jordão**, **Gabriela**, **José**, **Miguel** e **Lorenzo**.

Ao meu tio querido **André Nunes de Souza**, pelo incentivo, carinho e amizade que sempre precisei.

A todos os meus amigos de longa data: **Bier, Ferpa, Tayar, Hudson, Arce, Sulo, Putinha, Dandan, Pepe e Tutu,** por todos os momentos divertidos e complicados da vida.

Aos amigos e colegas de trabalho: **Caroline, Cris, Juliana, Leo, Willian**, **Mineirinho**, **Lisandro**, **Lucas**, **Anderson**, **Vitor** e todos os novos colegas pelos momentos agradáveis e divertidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo auxílio financeiro, através da concessão da bolsa de Mestrado.

Aos professores e funcionários do **Departamento Produção Vegetal - Defesa Fitossanitária, Biblioteca** e da **Seção de Pós-graduação** da FCA.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para realização deste trabalho.

O MEU MUITO OBRIGADO

“Não vale a pena viver sonhando e se esquecer de viver”.

Alvo Dumbledore

RESUMO

O maior problema fitossanitário na heveicultura brasileira é a doença conhecida por mal das folhas, causada pelo fungo *Microcyclus ulei*, cujos sintomas ocorrem nas folhas jovens, causando intensas desfolhas, diminuindo a produção de látex e até mesmo a morte em plantas muito suscetíveis. A espécie *Hevea brasiliensis* possui um hábito deciduifólio completo que é um caráter importante, ou seja, o desfolhamento uniforme proporciona a recuperação da copa com folhas sadias e a redução do inóculo de patógenos que são descartados com as folhas velhas, onde as estruturas reprodutivas estão localizadas. Os objetivos deste trabalho foram: utilizar ferramentas de sensoriamento remoto para confrontar o efeito das variáveis climáticas em diferentes períodos do ano sobre interferência do mal das folhas em seis anos comparando o avanço da doença com os índices de vegetação, Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF), calculados para o período de cada ano estudado, analisar o efeito deciduifólio natural ou ocorrência do mal das folhas; e verificar a troca de folhas dos clones de seringueira em estudo comparando com a fenologia. A área utilizada para o estudo localiza-se no município de Registro, Estado de São Paulo, Brasil, na Fazenda Umuarama com plantio monoclonal de seringueira, foram avaliados seis clones diferentes: IAN 873, IAN 717; RRIM 600, Fx 3864, Fx 2261 e Fx 3844, por meio das imagens do satélite Landsat 5 utilizado os índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF. Foram utilizados para análise estatística modelos lineares generalizados com a distribuição gama e função de ligação logarítmica tendo como fatores clones e índices de reflectância. Os modelos foram ajustados incluindo-se as covariáveis continuas mensurada no campo: folhas caídas totais e folhas caídas doentes Esses modelos foram comparados através do critério de informação de Akaike corrigido – AICC, para identificar o melhor modelo, verificada mediante desvios por graus de liberdade (*scale deviance*). Para comparações entre fatores foi utilizado foi o teste de Tukey–Kramer. Realizou a correlação de Spearman entre os índices de vegetação: NDVI, SAVI e IAF. Concluiu-se que as ferramentas de sensoriamento remoto são aplicáveis nos efeitos que as variações climáticas sobre a influência da doença mal das folhas. Os índices NDVI, SAVI e IAF foram significativos para a queda foliar da seringueira. Verificou também através dos índices a fenologia da seringueira nos períodos de troca de folhas: desfolha, reenfolha e densidade de copa. Ocorreu interação estatística significativa sobre o efeito dos clones, sua

fenologia e índices de vegetação nos pixels da imagem. Obteve-se bom ajuste dos modelos dos índices com as imagens de satélites e as covariáveis dos dados de campo. A correlação de Spearman mostrou-se significativa entre os índices por valores dos pixels. Os índices são ferramentas de grande valia para estudos e análises sobre plantios florestais.

Palavras chave: NDVI, SAVI, IAF, índice de vegetação, *Hevea*, mal das folhas.

ABSTRACT

The biggest phytosanitary problem in Brazilian heveculture is the disease known as leaf blight caused by the fungus *Microcyclus ulei*. Whose symptoms occur in young leaves, causing severe defoliation, reducing the production of latex and even the death in susceptible plants. Rubber tree has a deciduous habit which is an important character. Uniform defoliation of clones provides a reduction in the interior of pathogens, whose locations to reproduction occur in the old leaves. The objectives of this work were: Using remote sensing tools to compare the effect of climatic variables in different periods of the year on leaf mischief interference in six years comparing the disease progression with *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) and *Leaf Area Index* (LAI) vegetation indices, calculated for the period of each year studied, verifying the natural deciduous effect or occurrence of leaf blight; Estimate an exchange of leaves of the rubber tree clones under study, comparing them with phenology. The area used for the study is located in the municipality of Registro, São Paulo State, Brazil, at Umuarama Farm with monoclonal rubber plantation, IAM 873, IAN 717; RRIM 600, Fx 3864, Fx 2261 and Fx 3844, using Landsat 5 satellite images used in NDVI, SAVI and IAF vegetation indices. They were used for statistical analysis generalized linear model with logarithmic range distribution and binding function having as clones reflectance factors and indices. Set the same models including whether the continuous covariates measured in the field: total fallen leaves sick and fallen leaves. Compared these models through the Akaike information criterion corrected - AICC to identify the best model, verified through the deviations by degrees of freedom (scale deviance). Was compared between factors was used was the Tukey-Kramer test. Spearman correlation was performed between the vegetation indexes: NDVI, SAVI and LAI. It was concluded that remote sensing tools are applicable in the effects that climatic variations on the influence of evil leaf disease. The NDVI, SAVI and IAF indexes showed the leaf fall effect of the rubber tree. Also verified through the indices the phenology of the rubber tree in the periods of leaf change: defoliation, re-foliage and cup density. There was a statistically significant interaction on the effect of clones' phenology and vegetation index in the pixels of the image. It obtained good adjustment of the models of the contents with the satellite images and field data covariates. The Spearman correlation coefficient was significant between the

indexes through the values of the pixels. The indices are valuable tools for studies and analyzes on forest plantations.

Keywords: NDVI, SAVI, LAI, vegetation index, climate changes, *Hevea*, leaf blight.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 OBJETIVOS 19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
3.1 *Hevea* spp 20
3.2 *Microcyclus ulei* 21
3.3 Controle do mal das folhas 24
3.4 Sensoriamento Remoto e Índices de Vegetação 27
4 MATERIAL E MÉTODOS 32
4.1 Caracterização da área experimental 32
4.2 Programas computacionais e imagens de satélites utilizados 35
4.3 Metodologia Estatística 38
5 RESULTADO E DISCUSSÃO 40
6 CONCLUSÃO 79
REFERÊNCIAS 81

1 INTRODUÇÃO

O centro de origem da seringueira é da região amazônica, possuí espécies com boa plasticidade, grande adaptabilidade aos mais variados ambientes (GONÇALVES et al., 1990). A seringueira foi introduzida em países do Oriente (Sri Lanka, Cingapura e Malásia) de clima muito parecido com aquela da região de origem. Na região não ocorre à doença mal das folhas devido à ausência do patógeno e vem apresentando um bom desenvolvimento, atingindo maiores níveis de produtividade. Mais de 90% da produção mundial de borracha é originária destes países (GONÇALVES et al., 1983; FURTADO et al., 2008; BERGAMIN FILHO et al., 2011).

A produção brasileira em 2015 correspondeu aproximadamente a 2% do volume mundial de borracha natural, com produção total de 319,2 mil toneladas em uma área plantada de 154 mil ha (IBGE, 2015). No Brasil, o Estado de São Paulo é o primeiro produtor de borracha natural, com uma produção em torno de 185 mil toneladas de látex coagulado. Sua aplicação é ampla, podendo ser utilizada nos setores hospitalar, farmacêutico, de brinquedos, de calçados, construção civil, agrícola, industrial e de autopeças (SOARES et al., 2008), além de pneumáticos, que consome cerca de 70% de borracha natural produzida no mundo.

Esta pequena participação no mercado mundial deve-se a vários fatores, como: parte do sistema de produção baseado no extrativismo e na baixa exploração comercial, a ocorrência da doença do "mal das folhas", causada pelo fungo *Microcyclus ulei*, tipo de manejo utilizado - caracterizado, por exemplo, pela elevada frequência das sangrias e tipos de clones utilizados (GASPAROTTO; PEREIRA, 2012). Além desses aspectos, o Brasil é importador de borracha natural. Em 2015, as importações brasileiras foram de aproximadamente 341 milhões de dólares, em aproximadamente 220 mil toneladas de borracha natural (MDIC, 2016).

O mal das folhas é a mais séria das doenças da seringueira e constitui um grande problema no estabelecimento dos seringais em regiões tropicais. Acredita-se que desfolhamentos superiores em torno de 75% podem reduzir a produção de látex em até 50% (FERREIRA, 1989).

Esse problema causado pelo mal das folhas dificulta o plantio e também avaliação no campo, sempre ocorrendo coletas de folhas doentes e precisando estar presente na área de plantio para avaliações periódicas, tendo custos com transporte e pessoal.

Quantificação temporal e espacial da queda foliar natural ou doente da seringueira é de grande importância para tomada de decisão do manejo. Os métodos de avaliação podem

variar por meio de coleta de amostras e análises laboratoriais e métodos indiretos, que precisam apresentar boa correlação com os métodos diretos apresentados no campo ou plantio. Dentre estes, têm-se os métodos de sensoriamento remoto, por imagens de satélite ou fotografias aéreas, que identificam plantas com queda natural ou necrose causada pela doença foliar com por meio de índices de vegetação, como o método de Índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF).

A utilização do Sensoriamento Remoto pelo produtor pode evitar desperdício de dinheiro, pois plantios em monocultivos em grandes áreas precisam de agilidade no monitoramento da incidência de patógenos e ao analisar as imagens de satélite pode direcionar para o local da identificação da doença com maior rapidez, intensificando o manejo com maior aumento da produtividade e diminuindo as idas ao campo, sua avaliação se tem ocorrência ou não da doença se limita nas imagens e inicia uma analise com mais precisão do seu plantio e melhor monitoramento da área.

Tendo como hipótese geral que a queda foliar da seringueira pode ser causado naturalmente ou pela doença do mal das folhas e que parâmetros culturais podem ser detectados remotamente, foram elaboradas análises das folhas e estabelecimento de parâmetros espectrais da cultura por meio de índices de vegetação: NDVI, SAVI e IAF.

Deste modo o presente trabalho teve como objetivo caracterizar e comparar a fenologia com o sensoriamento remoto do patossistema *M. ulei* x *Hevea* spp., verificar a troca foliar clonal com a época estudada e o clima, identificar e definir a reflectância do plantio quando está sadio e com a doença mal das folhas.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral deste trabalho foi de analisar imagens de satélite por meio do sensoriamento remoto a desfolha ou lesões causadas pelo *M. ulei* nas folhas da seringueira e comparar com os dados coletados no campo.

Os objetivos específicos deste estudo são:

a. Utilizar ferramentas de sensoriamento remoto para confrontar o efeito que as variações climáticas podem exercer sobre a intensidade do mal das folhas nos anos de 1988 a 1993 comparando o avanço das áreas de plantio com a doença.

b. Analisar os índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF, para o período, corroborando com o efeito deciduifólio natural ou ocorrência do mal das folhas.

c. Verificar o período de troca de folhas dos clones de seringueira em estudo comparando com a fenologia dos mesmos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Hevea* spp.

Inicialmente a borracha era extraída apenas de seringais nativos da floresta amazônica. Com o aumento da demanda de borracha, foram realizadas plantações de seringais na região da floresta amazônica pela empresa Ford Motor Company em 1927 na tentativa de domesticação da *Hevea* sp., porém ocorreram severos ataques de doenças, principalmente o mal das folhas, essa doença devastadora é causada pelo *Microcyclus ulei* (LANGFORD, 1945; GONÇALVES et al., 1983).

A seringueira é uma planta sul-americana de origem Amazônica, pertencente à família Euphorbiaceae na qual o gênero *Hevea* é o mais importante como produtor de látex. São conhecidas onze espécies de seringueira: *H. brasiliensis*, *H. benthamiana*, *H. pauciflora*, *H. guianensis*, *H. spruceana*, *H. nitida*, *H. microphylla*, *H. camporum*, *H. camargoana*, *H. rigidifolia* e *H. paludosa*.

As espécies de seringueira mais importantes economicamente para a produção de borracha natural são as *H. brasiliensis* e *H. benthamiana*, também são as mais suscetíveis ao *M. ulei*, ao contrário da *H. pauciflora* que apresenta alta resistência ao fungo, mas é pouco produtiva (GONÇALVES; MARQUES, 2008). Sendo a espécie *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell. & Arg. a mais explorada economicamente, pois produz látex com elevado teor de borracha vegetal e melhor qualidade, sendo responsável por 99% da produção de borracha mundial (GONÇALVES; MARQUES, 2008; LORENZI, 2008).

A formação das folhas da seringueira ocorre durante o período de atividade apical, uma brotação nova forma-se a cada 30 a 60 dias, em geral (SAMBUGARO et al., 2004; MORAES; MORAES, 2008). A partir do terceiro ano de idade após a formação de copa, a *H. brasiliensis* apresenta periodicidade de troca foliar anual, caracterizada pela queda das folhas e brotamento uniforme. As plantas podem ficar desfolhadas totalmente entre duas a seis semanas (CHEE; HOLLIDAY, 1986). Este hábito decíduo é importante para a seringueira, assim protege as plantas contra o mal das folhas, pois o fungo não sobrevive por muito tempo no ambiente sem infectar folhas neste período de hibernação da seringueira (FURTADO, 1990; FURTADO et al.; 2008).

A seringueira adulta possui um período de envelhecimento e queda das folhas que ocorre normalmente no inicio da estação seca. Com o refolhamento deve-se ter atenção para a ocorrência de doenças, pois é um período que a seringueira apresenta folíolos avermelhados

com concentração de antocianina intensos (MORAES, 1980; SAMBUGARO et al., 2004; GASPAROTTO; PEREIRA, 2012).

Os híbridos entre as s espécies de *H. brasiliensis* com *H. benthamiana* apresentam em sua maioria queda foliar tardia, escalonada e desuniforme, já os híbridos de *H. brasiliensis* com *H. pauciflora* apresentam troca de folhas o ano todo (MORAES, 1982; SAMBUGARO, et al. 2004; FURTADO et al., 2008). A espécie *H. brasiliensis*, por sua vez, apresenta a troca completa e renovação foliar anualmente.

Existem outras doenças de grande importância, dependendo da região que a seringueira é plantada, como oídio, antracnose, requeima. O *M. ulei* vem sendo considerado o patógeno de maior importância econômica e responsável pela baixa produção de borracha natural na América do Sul (CHEE, 1976; ORTOLANI et al., 1983), o que determinou o início das pesquisas com o melhoramento da cultura (PAIVA; GONÇALVES, 1989, GASPAROTTO; PEREIRA, 2012).

3.2 *Microcyclus ulei*

A maioria das doenças fitopatológicas causadas por fungos possuem dois nomes científicos, pois apresentam dois ciclos reprodutivos, o sexuado (fase teleomórfica) e assexuado (fase anamórfica), sendo prioridade a nomenclatura científica do fungo a fase teleomórfica. A nomenclatura do mal das folhas utilizada na fase teleomórfica é *Microcyclus ulei*, mas recentemente a fase anamórfica do fungo foi revista e alterado seu nome para *Pseudocercospora ulei* (FURTADO et al., 2016).

O fungo *M. ulei* pertence ao filo Ascomycota e à família Dothideaceae, apresentando ciclo biológico completo na seringueira (FURTADO et al., 2016). A doença que este fungo causa é conhecido como mal das folhas, também chamado mal sul americano das folhas, queima das folhas ou ainda "*South American Leaf Blight*" (SALB) nos países de língua inglesa. Ocorre endemicamente nos seringais nativos, em seu habitat natural na Bacia Amazônica e áreas adjacentes do continente Sul Americano, não tendo atingindo o continente Asiático onde se encontram os maiores plantios de seringueira no mundo (GASPAROTTO et al., 1984; SILVEIRA; FURTADO, 1995).

O fungo apresenta dois tipos de esporos infectantes para a *Hevea* spp. (Figura 1): 1 – Ascósporos na fase teliomórfica, produzidos nas folhas maduras são responsáveis pela sobrevivência do fungo e pelo inóculo primário, ocorre via anti-horária de infecção, considerada de grande importância nas epidemias (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2001); 2 – Conídios na fase anamórfica, responsáveis pelo ciclo secundário e pelo desenvolvimento de

epidemias que se dá principalmente através do vento, pois são produzidos em grande quantidade (SILVEIRA; FURTADO 1995). Esses dois tipos de esporos ao entrarem em contato com folhas jovens suscetíveis (até 21 dias de idade), com temperatura e umidade ideais (24ºC e presença de filme d'água sobre a superfície foliar), germinam e penetram para o interior do hospedeiro, ocorrendo o desenvolvimento de lesões e a esporulação conidial (6 a 8 dias) (CHEE, 1976; GASPAROTTO; FERREIRA, 1989; GASPAROTTO; PEREIRA, 2012).

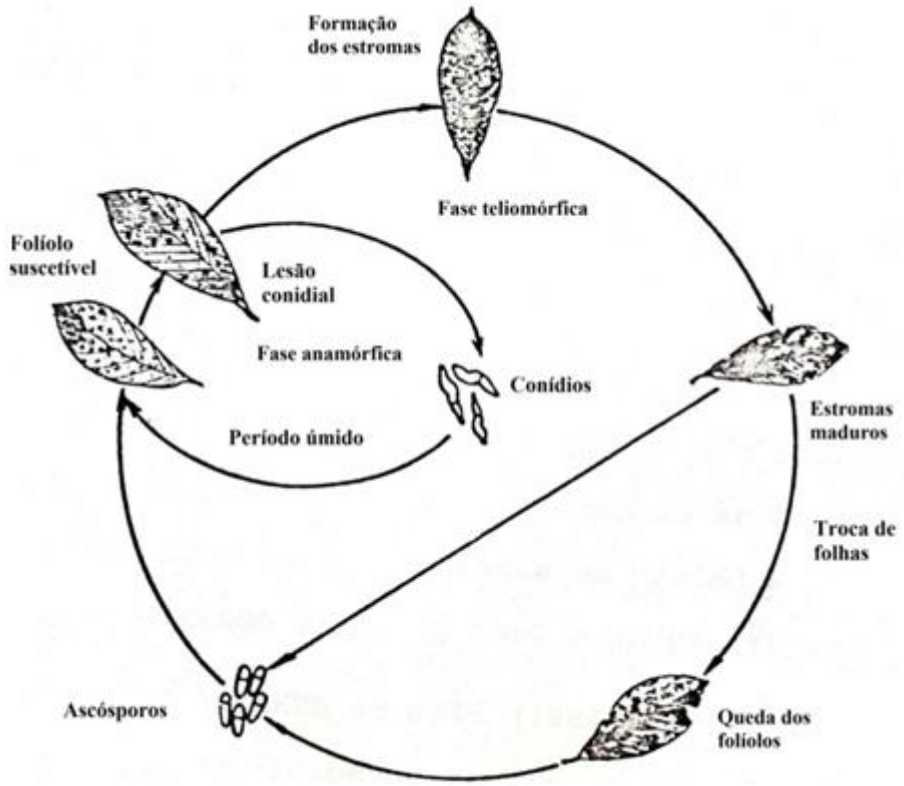


Figura 1 – Ciclo de vida do *Microcyclus ulei*. Fonte: Modificado de Chee (1976).

Os conídios são esverdeados, obclavados, podendo ser unicelular (15-43 x 5-9 µm) ou bicelular (23-63 x 5-10 µm). Os ascósporos são hialinos e elipsóides, medindo 12-20 x 2-5 µm, são formados dentro de ascos bitunicados, clavados com oito ascósporos, tendo tempo médio para produção e liberação de cinco meses (HOLLIDAY, 1980; FURTADO et al., 2016).

A disseminação dos esporos, principalmente dos conídios dá-se por intermédio da água da chuva e do vento, sendo este último o maior responsável pela disseminação a longas distâncias (VALE et al., 2004; GASPAROTTO; PEREIRA, 2012).

As condições ambientais mais favoráveis para a ocorrência severa da doença é quando a umidade relativa do ar é superior a 90%, por dez horas consecutivas durante um período

mínimo de doze dias, formação de orvalho de pelo menos oito horas contínua para proporcionar a infecção. Os conídios de *M. ulei* requerem de 6 a 8 horas de alta umidade imediatamente após a deposição e temperatura de 20 a 28°C para causar infecção em folíolos jovens (JUNQUEIRA et al., 1984; GASPAROTTO; JUNQUEIRA, 1991; FURTADO et al., 2016).

Folhas jovens de clones suscetíveis são atacadas e extensivamente desfolhadas, onde repetidas desfolhas podem retardar o crescimento ou até mesmo matar a árvore (RANDS, 1924; LANGFORD, 1945; CHEE, 1976; VALE et al., 2004). Sintomas do mal das folhas podem ser observados em folhas, caules jovens, flores e frutos. São pequenas manchas necróticas, circulares, podendo ter pontuações pretas constituídas pelos órgãos de frutificação do fungo (Figura 2), exibindo sintomas de lixa nas áreas lesionadas (BERGAMIN; CARDOSO, 1980; FURTADO et al., 2016).

A primeira manifestação de sintomas ocorre nas folhas jovens que se torna visível com 5 a 6 dias após a penetração, onde na face abaxial aparecem manchas aveludadas de cor verde-oliva, que constituem a massa de conídios (Figura 3). Com a continuidade do processo de infecção, os folíolos se enrugam, ficam com aspecto queimado e caem. Os folíolos infectados com idade superior de duas semanas, não caem e mais tarde o fungo vai produzir estruturas denominadas de estromas. Em clones suscetíveis os ponteiros secam pelo desfolhamento sucessivo e tem então o início à morte descendente da planta (Figura 4) (GASPAROTTO; PEREIRA, 2012; FURTADO et al., 2016).

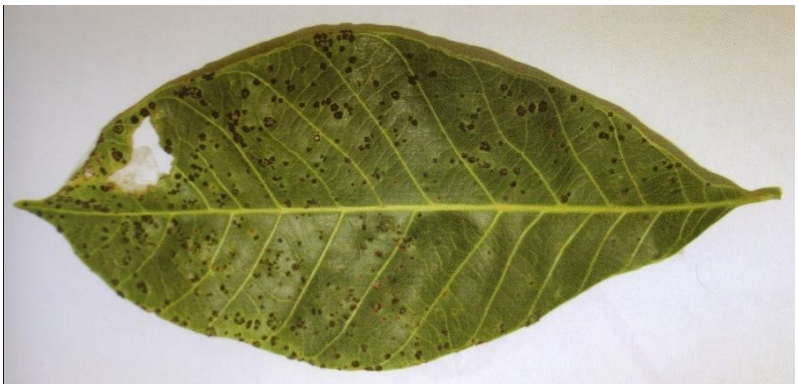


Figura 2 – Pontuações pretas constituídas pelos órgãos de frutificação do fungo. Fonte: Gasparotto e Pereira (2012).

Figura 3 – Face abaxial com manchas aveludadas de cor verde-oliva, que constituem a massa de conídios. Fonte: Gasparotto e Pereira (2012).

Figura 4 – Ponteiros secos pelo desfolhamento sucessivo. Fonte: Gasparotto e Pereira (2012).

3.3 Controle do mal das folhas

As estratégias para enfrentar esse problema são a obtenção e o plantio de cultivares resistentes ao patógeno e produtivos e/ou plantio em regiões onde as condições climáticas limitam ou reduzem o desenvolvimento do *M. ulei*, regiões de escape como o centro, o norte e o noroeste do Planalto Paulista. Devido à alta capacidade de adaptação do fungo, já se tem encontrado sintomas da doença em jardins clonais e viveiros (PAIVA; KALIL FILHO, 1985; FURTADO et al., 2008).

Existem algumas alternativas já identificadas para enfrentar essa doença devastadora, tais como: controle químico, controle biológico, desfolhamento artificial, enxerto da copa, melhoramento genético, plantio em área de escape ou por evitação (PEREIRA, 1988; GASPAROTTO; PEREIRA, 2012; FURTADO et al., 2016). Além destas, o controle genético utilizando culturas resistentes, é uma estratégia das mais viáveis, por ser mais prática. A adoção desta estratégia está de acordo com as medidas incentivadas contra doenças em

culturas perenes de árvores altas, onde os aspectos econômicos do controle pesam acentuadamente em favor dos métodos indiretos (VALE et al., 2004).

O controle químico é muito utilizado em viveiros e jardins clonais, utilizando principalmente os fungicidas chlorothalonil, triadimefon e tiofanato metílico, porém não é viável para plantios já adultos, devido à altura da planta fica economicamente inviável aplicar o fungicida. A desfolha artificial também chegou a ser recomendada como medida de controle e visa causar queda dos folíolos, para se evitar a formação do inóculo inicial e consequentemente uniformizar o enfolhamento em período desfavorável à infecção pelo *M. ulei* (PEREIRA, 1992; PEREIRA, 1993; FURTADO et al., 2016), porém não existem relatos da utilização dessa técnica atualmente.

O controle biológico do patógeno é utilizado pelo fungo *Dicyma pulvinata*, que parasita as lesões estromáticas do *M. ulei*, mostrando controle eficiente em jardim clonal e plantios jovens (4 a 5 anos), porém não ocorreu controle satisfatório sobre o mal das folhas em seringais monoclonais altamente suscetíveis (JUNQUEIRA; GASPAROTTO, 1991; GASPAROTTO; PEREIRA, 2012; FURTADO et al., 2016).

Já a enxertia de copa é uma técnica que embora não envolva cruzamentos, tem como princípio reunir em um mesmo indivíduo as características de alta produção e resistência ao *M. ulei*. Baseia-se na utilização de um clone painel altamente produtiva cuja copa é substituída por enxertia, pela copa de um clone resistente (MORAES; MORAES, 2008; CORDEIRO et al., 2011; FURTADO et al., 2016).

Outro método de controle utilizado na região Amazônica (alta incidência da doença) são as Ilhas de Alta Produtividade (IAPs), sendo uma proposta de manejo neo-extrativista ou uma opção de agricultura sustentável, tendo plantios de pequenas áreas de seringueira com espaçamentos aumentado (10 x 5m), rodeadas pela diversidade da floresta natural, similar à extração da borracha quando foi retirado o látex de forma extrativista, onde os clones ficam protegidos pela floresta dificultando a entrada do inóculo inicial (KAGEYAMA et al., 2002).

Com a evolução dos programas de melhoramento genético tradicional, são utilizados clones híbridos interespecíficos, os quais são mais produtivos e apresentam melhor resistência aos patógenos (PERALTA et al., 1990; SAMBUGARO et al., 2004; GOUVÊA et al., 2010). A disponibilidade de uma extensa variabilidade genética para a resistência ao mal das folhas permite o manejo da doença com a utilização de clones, progênies ou espécies resistentes (BERGAMIN FILHO, 1982; ORTOLANI et al., 1983; PAIVA; KALIL FILHO, 1985; FURTADO et al., 2008).

Algumas espécies de seringueira apresentam resistência ao mal das folhas, como *H. benthamiana* com boa produção de látex e *H. pauciflora* altamente resistente reagindo por hipersensibilidade. Obtenção de novos clones a partir do programa de melhoramento genético, utilizando como principal fonte de resistência clones da espécie de *Hevea benthamiana* (GASPAROTTO et al., 1982; GONÇALVES et al., 1983; MORAES, 2010). Porém, ainda não foram obtidos materiais com resistência duradoura.

Os mecanismos de defesa das plantas contra os patógenos podem ser classificados em três aspectos: resistência, tolerância e evitação (PARLEVLIET, 1981; MENTEN, 1990; FURTADO et al. 2008). O uso de cultivares resistente é um dos meios de controle de doenças de plantas cultivadas mais importantes (WASTIE, 1975; PEREIRA,1988; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996; AGRIOS, 2005; GOUVÊA et al., 2010). Por sua vez, as plantas tolerantes a determinados patógenos, podem suportar o ataque sem que ocorram danos significativos em sua produção, ou seja, não tem a capacidade de prevenir ou combater a doença, ficando fenotipicamente idêntica á uma planta doente, porém, com a mesma produtividade de uma planta sadia (AGRIOS, 2005; BERGAMIN FILHO et al., 2011). Já a evitação, menos conhecida, manifesta-se quando a planta faz uso de mecanismos hereditários para reduzir ou impedir o contato com o patógeno, um exemplo seria a queda das folhas da seringueira, quando a temperatura baixa desfavorece o patógeno evitando assim o mal das folhas (MENTEN, 1990; FURTADO et al., 2008, GASPAROTTO; PEREIRA, 2012).

Evitação ou evasão no tempo é uma defesa muito interessante da própria seringueira, que com uso de mecanismos hereditários, consegue desfolhar-se por completo em períodos secos, assim reduz ou impede a infecção da doença evitando o que o patógeno se instale, pois não consegue sobreviver este período no ambiente (MENTEN, 1990; FURTADO et al., 2008).

O mal das folhas tem encontrado restrições de se estabelecer em regiões que são consideradas de “escape” por apresentarem período seco definido, onde as condições climáticas limitam ou reduzem o desenvolvimento do *M. ulei*, também conhecido como evasão no espaço, são regiões encontradas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins (SILVEIRA; FURTADO 1995; FURTADO et al., 2016). Porém, devido à alta capacidade de adaptação do fungo, já se tem encontrado sintomas da doença em jardins clonais e viveiros (ORTOLANI et al., 1983; PAIVA; KALIL FILHO, 1985). Portanto, a utilização de variedades resistentes é de grande interesse.

Estas “regiões de escape”, que tecnicamente significa: áreas de evasão, ou seja, um princípio geral de controle, que envolve o deslocamento do hospedeiro de regiões com clima favorável à epidemia para outras com clima desfavorável. Foi o que aconteceu com a seringueira no Planalto Paulista, pois nesta região, a seringueira se desenvolveu e produziu bem, e permaneceu livre da epidemia do mal das folhas. Esses resultados de sucesso observados no Planalto Paulista auxiliaram o zoneamento climático para a cultura no estado de São Paulo e depois para o país (FURTADO et al., 2016). Portanto, mesmo sendo uma área de escape, o Estado de São Paulo contém regiões com clima que favorece o fungo, regiões com alta umidade principalmente, como o Vale do Ribeira de Iguape, onde se localiza no município de Registro. Assim o sensoriamento remoto pode ser utilizado para acompanhamento e estudos da área, mesmo em período remoto. Verificar a troca das folhas de clones natural ou provocado pelo ataque de patógenos, recorrendo aos métodos de NDVI, SAVI e IAF.

3.4 Sensoriamento Remoto e Índices de Vegetação

Sensoriamento remoto vem sendo muito utilizado na área da ciência agronômica e florestal para diversos fins e vem contribuindo com grandes avanços na área de agricultura e silvicultura de precisão, mostrando ser muito útil.

O sensoriamento remoto tem um papel vital em qualquer regime de monitorização (REIKE; JONES, 2006). O Sensoriamento Remoto (SR) tem como objetivo expandir a percepção sensorial do homem, tanto através da visão panorâmica sendo a aérea ou espacial (satélite), quanto pela possibilidade de obter informações do espectro eletromagnético (FLORENZANO, 2002; PONZONI, 2002). Assim o SR é importante pela temporalidade da informação juntamente com a expansão do acesso para uma visão panorâmica do terreno permitindo uma análise laboratorial de um modelo de superfície da Terra com baixo custo (NOVO, 1998).

A radiação eletromagnética (REM) é a energia que incide sobre o objeto em estudo e faz com que o SR possa atuar. Esta radiação comporta-se como onda eletromagnética e tem duas características, comprimento de onda e frequência. O comprimento de onda é a duração de um ciclo de onda, sendo medido como distância em metros (m), centímetros (cm), micrômetros (μm) ou nanômetros (nm). Frequência é o tempo de duração da onda para um ciclo, medido em hertz (Hz) e equivale a um ciclo por segundo (PARANHOS FILHO; RONDON, 2001; PONZONI, 2001; ANTUNES, et al., 2012; INPE, 2016).

Essa radiação eletromagnética inclui a radiação das regiões do visível entre 390 e 700 nm, do infravermelho (IV) que variam de 700 a 10.000 nm, bem como do ultravioleta. A REM refletida ou emitida pode tornar-se o principal objeto do SR, sendo a região do infravermelho a mais utilizada. O IV é dividido em três faixas espectrais, o IV próximo, IV médio e IV distante. O IV próximo possui comprimento de onda de 700 a 1.100 nm e se inicia logo após o espectro eletromagnético referente ao vermelho. O IV médio tem comprimento de onda maior que o IV próximo, tendo onda entre 1.100 a 3.000 nm, mas ainda pertence à porção óptica do espectro eletromagnético. O IV distante ou termal tem os maiores comprimentos de onda da região do infravermelho ficando entre 3.000 a 10.000nm, não pertencendo mais à porção óptica fazendo parte da porção de calor. Portanto, o IV refletido vai do IV próximo ao médio ficando entre as faixas de 700 a 3.000 nm (NOVO, 1998; PARANHOS FILHO; RONDON, 2001; MOREIRA 2007).

A assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia mostram evidente contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho e do infravermelho próximo e quanto maior for o contraste, maior densidade de copa da vegetação da área imageada. Este princípio se baseia nos índices de vegetação, combinando a informação espectral nestas duas bandas do espectro eletromagnético. A reflectância na região do vermelho (em torno de 600 a 700 nm) é baixa devido à absorção pelos pigmentos das folhas, principalmente da clorofila. Entretanto, a região do infravermelho (em torno de 800 a 900 nm) possui alta reflectância devido ao espalhamento da estrutura das células das folhas (SHIMABUKURO et al., 1999).

A base cientifica 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). 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).

A radiação solar ao chegar à superfície terrestre, é absorvida pela vegetação para realizar a fotossíntese, principalmente o azul e o vermelho, parte do verde também é absorvido, porém em menor quantidade. Outra parte da radiação é refletida principalmente a radiação do infravermelho, fenômeno chamado de reflexão. Finalmente uma terceira parte desta radiação sofre o processo de transmissão, onde a radiação é transmitida entre as

camadas da folha (PONZONI, 2001; MOREIRA, 2005; MOREIRA, 2007; PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A energia refletida pela vegetação possui faixas do espectro eletromagnético, por isso tem sido mais utilizada, pois a maioria dos sensores orbitais é capaz de registrar esses dados da superfície terrestres. Estes dados servem como informações para estudos e monitoramento contínuos das culturas, auxiliam na caracterização fisiológicas, fenológicas, fotossintéticas e fitopatológicas (PONZONI, 2001; SANTOS JUNIOR et al., 2002; FERRI et al., 2004; MOREIRA, 2005; SOARES et al., 2005; SCHOTT, 2007).

Existem partículas na atmosfera que interferem na radiação que chega aos sensores de forma significativa alterando assim os dados de SR, como aerossóis, poeiras, moléculas de diversos gases com diferentes tamanhos, assim processos de correção atmosférica permitem a remoção ou diminuição destas influências de partículas (ZULLO JÚNIOR, 1996; MATHER, 1999; ROSA, 2007; PONZONI; SHIMABUKURO, 2010; ANTUNES, et al., 2012).

O pixel é a menor parte do reticulado representado por linhas e colunas da imagem. A imagem gerada constituiu uma matriz de pixels, que representa um quadrado unitário espacial na terra, onde as medidas espectrais são registradas para essa área, em geral em número digital. O nível de cinza ou número digital é uma função da radiação eletromagnética incidente no sensor (REIKE; JONES, 2006; SCHOTT, 2007).

As imagens mais utilizadas para observação da Terra são obtidas da série do satélite Landsat, pois cobertura de área e acessibilidade dos dados são amplos e sem custo. Estão disponíveis a partir dos anos 1980 em diante, sendo possível investigar a mudança na condição de vegetação nativa e outros usos do solo ao longo do tempo, tendo uma amplitude de quase 30 anos, nos sete satélites do programa. O Landsat 5 leva a bordo o *Multispectral Scanner Subsystem* (MSS) e o *Thematic Mapper* (TM), tendo sensores de 7 bandas, A resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 m, isto é, cada "pixel" da imagem representa uma área no terreno de 0,09 ha. Para a banda 6, a resolução é de 120 m, cada "pixel" representa 1,4 ha. Os satélites LANDSAT 5, 7 e 8 revisitam (observam) a mesma área a cada 16 dias (ROBINOVE, 1982; PANDYA et al., 2002; REIKE; JONES, 2006).

Existem diversos algoritmos para classificação de imagens. Uma distinção importante é se o classificador analisa pixels individuais da imagem nas diversas bandas ou analisa regiões. O número e distribuição de parcelas do terreno devem ser adequados para representar a diversidade e variabilidade espacial e as condições de cada comunidade de vegetação, para apoiar as avaliações de análise e precisão estatística pretendida (AGRIOS, 2005; REIKE; JONES, 2006).

Dentre os métodos de sensoriamento remoto da superfície terrestre, Lopes e Zanardi (2007) citaram que os índices de vegetação são amplamente utilizados como sensíveis indicadores da presença de ataque de patógenos e da condição da vegetação. Entre os numerosos índices de vegetação disponibilizados na literatura, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o mais utilizado. Tem sido empregado frequentemente na avaliação da densidade de copa da vegetação, monitoramento da cobertura vegetal, auxílio na detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, suporte à previsão da produtividade agrícola, entre outras aplicações.

Trabalhos na área da ciência florestal vêm utilizando o SR para diversos fins monitoramento das condições fitossanitárias, identificar e avaliar gravidade de fatores, verificar alterações fisiológicas, estimando índices de vegetação, entre outros (MOSKAL; FRANKLIN, 2004; LECKIE et al., 2005; LIESENBERG et al., 2007; SANTIAGO et al., 2009; DALLA NORA; SANTOS, 2010; PEZZONI FILHO, 2014; IGNÁCIO et al., 2015). Moskal e Franklin (2004) estudaram a relação entre a severidadeda desfolha do álamo tremedor (*Populus tremuloides* Michx.), infestada com a lagarta de Bruce (*Operophtera bruceata*), utilizaram o índice de área foliar (IAF), Componente do Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI) e textura da imagem. Leckie et al. (2005) verificaram por imagens de satélites multiespectrais a distribuição e intensidade da desfolha do pinus bravo (*Pinus banksiana* Lamb.) causado pela larva do pinheiro (*Choristoneura pinus pinus* (Free.)). Liesenberg et al. (2007) utilizaram o sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), dos satélites TERRA e AQUA, para caracterizar a dinâmica sazonal de cinco fitofisionomias de Cerrado e analisar a sua separabilidade espectral utilizando NDVI e EVI. Santiago et al. (2009) estudaram culturas e pequenas porções de floresta atlântica avaliando pelos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) o dossel ao redor da barragem de Botafogo-PE, e seu impacto sobre o ciclo hidrológico. Dalla Nora e Santos (2010) utilizaram o MODIS do satélite Terra para caracterizar a dinâmica sazonal de duas fitofisionomias do bioma Mata Atlântica e analisaram a sua dinâmica espectral por meio do NDVI e EVI. Pezzoni Filho (2014) estudou a evolução do parasitismo do nematoide *Meloidogyne exigua* ao longo do tempo e no espaço em diferentes clones de seringueira e épocas, analisou imagens de satélite verificando a ocorrência do nível de infestação pelo nematoide com relação à escala de NDVI. Ignácio et al. (2015) obtiveram e avaliaram o potencial dos índices de vegetação dos remanescentes florestais e das culturas arbóreas permanentes da região das sub-bacias do noroeste do Estado de São Paulo.

Essas propriedades espectrais do IV próximo da vegetação sadia possuem grande reflectância e podem informar sobre estresse ou senescência devido à diminuição da refectância do IV próximo (JENSEN, 2009), importante para a cultura da seringueira, pois essa alteração da reflectância pode indicar a queda de folhas naturalmente por senescência, ou se a planta estiver estressada pelo fungo *M. ulei*.

Foi utilizado o Índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF) como índices de sensoriamento remoto neste trabalho, pois a maioria dos trabalhos realizados na área florestal foi com o NDVI, poucos trabalhos com seringueira. O SAVI e IAF foram utilizados, pois apresentam uma melhor sensibilidade nos valores, diminuindo o efeito que o solo pode causar nos valores do NDVI, podendo informar melhor sobre a fenologia foliar da seringueira, captando valores da queda foliar ou até mesmo de necrose causado pelo mal das folhas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

Os estudos foram conduzidos na Fazenda Umuarama, município de Registro/SP a uma altitude média de 52 m. O ponto central da fazenda localizada a uma latitude 24°24’14,00’’S e longitude 47°48’16,47’’W, na região conhecida como Vale do Ribeira de Iguape (Figura 5).

Figura 5 – Mapas da localização da área experimental, imagem panorâmica (A) e área experimental da Fazenda Umuarama (área em contorno vermelho) da região de Registro (B) e área experimental com vista aproximada (C). Fonte: Google Earth (2016).

Dados históricos regionais mostraram que a temperatura variou de 24,9°C em fevereiro, a 17,6°C em julho, com média anual de 21,2°C. A precipitação pluvial média ficou em 1.742 mm por ano, concentrando-se no período de dezembro a março e com as menores precipitações no período de julho a agosto, formando um excedente anual de 724 mm. O solo predominantemente é do tipo Argissolo Amarelo Distrófico, de textura argilosa a muito argilosa, com drenagem moderada. O relevo oscila de ondulado a fortemente ondulado, com baixadas sujeitas a acúmulo de água e formação de várzeas.

As plantas de seringueira encontram-se em plantio em blocos monoclonais, dispersos pela propriedade, cobrindo as encostas e topos dos morros, oriundos de mudas enxertadas no

próprio local. Os clones utilizados, com suas coordenadas geográficas no ponto central do talhão (Figura 6), foram:

- IAN 873 (24°24’06,80’’S e 47°48’29,83’’W) – Clone secundário desenvolvido pelo antigo Instituto Agronômico do Norte, resultado do cruzamento dos clones primários de *H. brasiliensis*: PB 86 (Malásia) x F 1717 (Fordlândia).

  A produção é satisfatória nos dois primeiros anos de sangria, sendo que a alta produção a partir do terceiro ano é o seu ponto de destaque (GONÇALVES et al., 1991). O índice de seca de painel é baixo e apresenta alta incidência à quebra pelo vento.

- IAN 717 (24°24’09,11’’S e 47°48’28,05’’W) – Clone secundário desenvolvido pelo antigo Instituto Agronômico do Norte, resultado do cruzamento dos clones primários de *H. brasiliensis* e *H. benthamiana*: PB 86 (Malásia) x F 4542 (Fordlândia), respectivamente.

  Suas árvores são médias, mas com copa vigorosa, com formato arredondado; a produção é satisfatória a partir do terceiro ano. Nas condições de Belém é tido como resistente ao mal das folhas (PINHEIRO, 1985).

- RRIM 600 (24°24’08,60’’S e 47°48’30,14’’W) – Clone secundário desenvolvido pelo “Rubber Research Institute of Malaysia” (RRIM), resultado do cruzamento dos clones primários de *H. brasiliensis*: TJ (Tjir = Tjirandji) 1 (Libéria) x PB 86 (Malásia).

  A alta produção é o seu ponto de destaque em todos os países onde foi avaliado (GONÇALVES et al., 1991). É resistente a seca do painel, mas altamente suscetível ao mal das folhas (FURTADO, 1990).

- Fx 3864 (24°24’13,13’’S e 47°48’25,19’’W) – Clone secundário desenvolvido pela Cia. Ford, resultado do cruzamento dos clones primários de *H. brasiliensis*: PB 86 (Malásia) x FB 38 (Ford Belém).

  Possui baixo índice de quebra pelo vento, seca de painel e mal das folhas no Sul da Bahia (DUNHAM et al., 1983).

- Fx 2261 (24°24’07,27’’S e 47°48’19,08’’W) – Clone secundário desenvolvido pela Cia. Ford, resultando do cruzamento dos clones primários de *H. brasiliensis*: F 1619 (Fordlândia) x AVROS 183 (Sumatra).

  Os índices de seca de painel e resistência ao mal das folhas foram considerados bons, com valores acima da média ao Sul da Bahia e Espírito Santo (BERNARDES et al., 1983; RODRIGUES, 1983).

- Fx 3844 (24°24’15,71’’S e 47°48’10,40’’W) – Clone secundário desenvolvido pela Cia. Ford, resultado do cruzamento dos clones primários de *H. brasiliensis*: AVROS 183 (Sumatra) x FB 45 (Ford Belém).

  Apresenta baixas produções nos primeiros anos de sangria e ótima produção ao final dos nove anos (DUNHAM et al., 1983); na Bahia, região de Ituberá, apresentou baixa incidência de seca de painel, moderada resistência ao cancro estriado e ao mal das folhas. No Vale do Ribeira/SP mostrou-se resistente ao mal das folhas (FURTADO, 1990), provavelmente devido à ausência de raças fisiológicas específicas deste genótipo (BEVENUTO et al., 2017).

Figura 6 – Área de estudo com as separações dos 6 clones de seringueira nas regiões de coletas conforme legenda. Fonte: Google Earth (2016).

Esses clones estão dispostos em blocos monoclonais, dispersos pela propriedade, em espaçamento 7,0 x 3,0 m, sendo que o número médio de 625 árvores por talhão.

Os dados meteorológicos referentes à umidade relativa, temperatura, precipitação pluvial e evapotranspiração, foram coletados diariamente, durante os seis anos de estudo, junto ao Posto Meteorológico, da Estação Experimental de Pariquera-Açu, do Instituto Agronômico de Campinas e junto a uma mini estação climática no local das coletas.

4.2 Programas computacionais e imagens de satélites utilizados

Os programas computacionais utilizados foram:

- Imagens do satélite Landsat-5 *Thematic Mapper* – órbita/ponto 220/077, tomadas nos anos de 1988 a 1993: 20/05 e 05/06 de 1990; 20/03, 23/05, 10/07 e 14/10 de 1991; 02/01, 03/02, 19/02 e 22/03 de 1992; 04/10, 12/05, 15/07 e 03/10 de 1993; sem nuvens na área de estudo, bandas: 3 (0,63 μm - 0,69 μm), 4 (0,76 μm – 0,90 μm) e 5 (1,55 μm – 1,75 μm);
- Programa QGis 2.18.0® – *Las Palmas de G.C.* – Sistema de Informação Geográfica livre e aberto, usado neste trabalho para criar os limites (*shapes*) de cada clone estudado, georreferenciamento das imagens, quantidade de números digitais de cada banda utilizada para valores com fórmula de correção atmosférica e calibração radiométrica da imagem Landsat 5, geração dos índices de vegetação separando os pixels dentro das escalas de NDVI entre 0,3 e 0,9, SAVI entre 0,1 e 0,7 e IAF entre 0,0 e 3,0 com posterior quantificação dos pixels de cada escala, cálculo de áreas e edição final dos mapas de índice de vegetação em 7 escalas de NDVI, SAVI e IAF;
- Programa ArcMap® (ArcGIS 10.1®) – usado para exportar os valores de números digitais do histograma de frequência da banda 3 da imagem do Landsat 5, para posterior correção atmosférica;
- Software Microsoft Office Excel 2007® – 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), cálculo dos dados estatísticos de valores mínimos, máximos e média dos pixels de NDVI, SAVI e IAF dos 6 clones nas datas entre 1988 e 1993, número de pixels do respectivo clone e coeficiente de variação dos dados de NDVI, SAVI e IAF;
- Google Earth® – utilizado para impressão e localização geográfica da área avaliada.
- Programa SAS® – *Statistical Analysis System* (SAS, 2012), versão 9.2, licenciado para a Universidade Estadual Paulista, UNESP – utilizado para análise estatística: Modelo linear generalizado, teste de Tukey-Kramer e correlação de Spearman.

As imagens utilizadas foram obtidas do satélite Landsat 5, disponibilizado pelo site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). As datas utilizadas no trabalho foram definidas conforme a disponibilidade de imagens sem interferência de nuvens, pois atrapalham na visualização dos alvos contidos nas imagens, nos períodos a serem utilizada para o SR.

O Landsat 5 possui tempo de passagem de 16 dias na sua orbita ponto. O período de estudo só teve 89 imagens disponíveis no site do INPE, sendo utilizadas 14 imagens, por não terem nuvens ou qualquer outro tipo de interferência para utilizar o sensoriamento remoto.

As imagens com interferência de nuvens foram analisadas e comparadas com os dados meteorológicos, assim foi feito uma avaliação de possibilidade de ambiente propício à ocorrência do mal das folhas.

Foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 do Landsat 5, com Datum WGS 84 / UTM zone 22 S, em formato tiff importados no software QGis, fazendo a confecção da composição falsa cor *Red*, *Green* e *Blue* (RGB), bandas 5, 4 e 3 respectivamente.

Posteriormente foi criada uma mascara (*shape*) com o limite da área de estudo para cada composição das imagens montada, assim foi possível recortar todas as bandas e imagens com os mesmos limites próximos aos limites máximos e mínimos de latitude e longitude da região de estudo, município de Registro/SP.

O georreferenciamento da imagem em RGB foi realizada por meio da função *Raster/Georreferencer* do QGis, tendo como parâmetro os cursos d'água, estradas estaduais e municipais, e marcações de área de plantio extensos. Assim, as imagens do Landsat 5 das diferentes datas avaliadas se sobrepõem de maneira correta (mesmos pontos geográficos tendo sua respectiva coordenada geográfica) para, posteriormente, ser realizada as diferentes análises.

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 à 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.

A correção atmosférica das imagens Landsat 5 foi através dos parâmetros estabelecidos nos seus arquivos de referência, sendo efetuada por meio da exportação dos valores do histograma de frequência dos números digitais da banda 3 de cada data de imagem avaliada, para a planilha do MS Excel®. Posteriormente, realizou-se o cálculo de calibração radiométrica, reflectância aparente, reflectância de superfície e correção atmosférica.

Assim, com os valores de correção atmosférica da imagem do Landsat 5, foi possível utilizar o módulo *Raster/Calculator* do QGis para corrigir a reflectância no *Raster Calculator Expression*, criando as imagens georreferenciadas e corrigidas. Posteriormente foi efetuado

outro recorte para melhorar a visualização da área de estudo, trabalhando somente com a área da Fazenda Umuarama.

As técnicas de realce de imagem por meio de índices de vegetação aumentam o brilho das áreas vegetadas, melhorando a aparência da distribuição espacial de informações das imagens, tornando-as de fácil interpretação visual e computacional. O índice de vegetação NDVI e SAVI 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; sendo o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas; e "–1" representa a presença de água (EPIPHANIO et al., 1996; EASTMAN, 1998; ROSA, 2007).

Para a representação das imagens de sensoriamento remoto dos índices de vegetação utilizou-se metodologia desenvolvida por Rouse et al. (1973), na qual o NDVI é expresso pela razão entre a diferença da medida da reflectância nos canais do infravermelho próximo (0,70 – 1,30 μm) e vermelho (0,55 – 0,70 μm) pela soma desses canais (Equação 1)

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (1)$$

Onde: ρ_V e ρ_{IV}, representam respectivamente, os valores da reflectância na região do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético de objetos na superfície terrestre.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI) que é um índice que mede ou aproxima a distância entre o pixel e a linha do solo, assim retirando o efeito dos solos claros ou escuros que busca amenizar os efeitos do "*background*" do solo, ou seja, busca diminuir a influencia da resposta espectral do solo, incluindo um fator de ajuste variável (L) com o grau de fechamento do dossel. Tem sido utilizada a expressão de Huete (1988) pela Equação (2):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (2)$$

Onde: ρ_{IV} é a reflectância foliar na banda do infravermelho próximo, ρ_V é a reflectância foliar na banda do vermelho e L uma função do tipo de solo, com valor constante. Se L é zero, o SAVI torna-se igual ao NDVI. Para altas densidades de vegetação, como florestas, Huete (1988) sugere fator L de 0,25.

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, sugerida empiricamente por Allen et al. (2002) com a Equação (3).

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0{,}69-\mathrm{SAVI}}{0{,}59}\right)}{0{,}91} \quad (3)$$

Allen et al. (2002) utilizaram 0,1 como valor constante do L para SAVI para representar melhor os solos do sul do Idaho, isto para cinco condições: de solo ou gramíneas mortas, campos seco, campo com nabo molhado, pastagem totalmente morta da área do deserto. Isso significa que não trabalharam com floresta densa, portanto neste trabalho foi utilizado o SAVI com L de valor 0,25 para o plantio de seringueira, consequentemente o IAF também utilizou o L de valor 0,25.

Após a análise da área, por meio dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF, foram detectadas as áreas com possibilidade da incidência do mal das folhas ou deciduidade foliar. Para isto, foram utilizados os dados de temperatura do ar (T), umidade relativa (UR) e precipitação pluvial (P) de cada região durante o período estudado para o levantamento da interferência na cultura da seringueira.

Posteriormente, foram analisados pixel a pixel, sem a realização do recorte dos talhões, os valores de índice de vegetação NDVI, SAVI e IAF, assim foi possível analisar estatisticamente os valores médios, máximos e mínimos dos pixels. Os talhões de cada clone não foram recortados devido ao fato de apresentar erros na etapa de recorte no SIG (QGIS), que infelizmente não foi solucionado. Desta forma, de maneira manual foram selecionados cada unidade de pixel de interesse, dentro dos talhões de estudo.

4.3 Metodologia Estatística

4.3.1 Efeito dos clones e índices vegetação nos pixels das imagens.

No estudo dos pixels das imagens dos plantios de seringueira, foram utilizados modelos lineares generalizados com a distribuição gama e função de ligação logarítmica (NELDER; WEDDERBURN, 1972; GBUR et al., 2012), tendo como fatores clones e índices de reflectância. Foram também ajustados os mesmos modelos incluindo-se as covariáveis continuas mensurada no campo: folhas caídas totais e folhas caídas doentes, utilizando datas idênticas ou próximas das imagens de satélite. A comparação entre esses modelos foi feita

pelo critério de informação de Akaike corrigido – AICC (BOZDOGAN, 1987). A qualidade dos ajustes dos modelos foi verificada mediante dos desvios por graus de liberdade (*scale deviance*) – cujos valores próximos da unidade revelam bom ajuste e da análise dos resíduos. Para comparações entre fatores foi utilizado o teste de Tukey–Kramer (WESTFALL et al., 1999) do procedimento *genmod* do programa estatístico SAS – *Statistical Analysis System* (SAS, 2012), versão 9.2, licenciado para a Universidade Estadual Paulista, UNESP.

4.3.2 Estudo da correlação entre os índices de vegetação.

Foi feita a correlação de Spearman entre os índices de vegetação: NDVI, SAVI e IAF.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Foram utilizadas 14 imagens de satélite de um total de 89 imagens disponíveis no site do INPE entre 1988 a 1993. Observou-se que em todas as imagens disponíveis do INPE no período de 1988 a 1989 foi verificada elevada quantidade de nuvens não sendo utilizado para o sensoriamento remoto, porém foram de muita utilidade para análise climática e epidemiológica do *M. ulei* nesse trabalho nestes anos.

Verificou-se que os anos de 1988, 1989 e 1991, foram considerados mais críticos para a ocorrência do mal das folhas. O ano de 1989 apresentou maior incidência de doenças na fase de reenfolhamento, sendo um ano com as condições mais propícias para o desenvolvimento de epidemias, corroborando com Sambugaro (2007) que constatou como sendo um ano de epidemia do mal das folhas.

Foram analisados os dados meteorológicos como temperatura, precipitação e número de horas de umidade relativa do ar acima de 90%, comparando com as imagens de satélites. Os anos de 1988 e 1989 demonstraram maior presença de mal das folhas, evidenciado que a umidade relativa do ar necessária para a ocorrência da doença (Figura 7). Junqueira et al. (1985) mostraram que este patógeno pode infectar plantas de seringueira a 16°C, sob ótimas condições de umidade relativa, comprovaram que após a transferência das seringueiras de 16°C para 24°C (temperatura ótima) a doença evoluiu, portanto foi desconsiderada a temperatura ótima para causar infecção de 20 a 28°C.

Gasparotto et al. (1989) por sua vez verificaram que a 16°C em condições controladas não ocorreu manifestação dos sintomas da doença, porém a 24°C e com pelo menos 16 horas de molhamento foliar foi quando ocorreu a melhor combinação de ambiente para ocorrência de infecções.

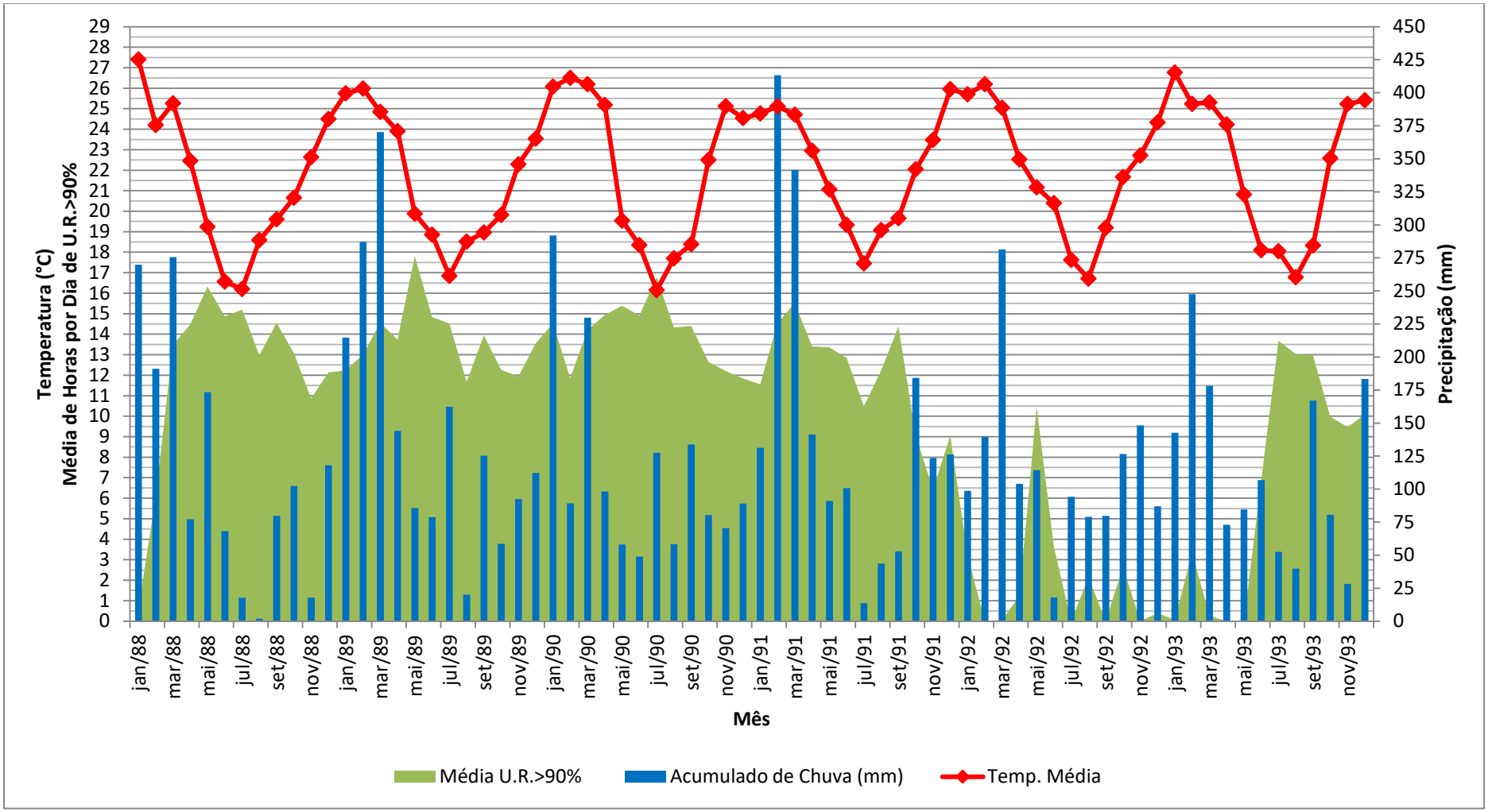


Figura 7 – Oscilação meteorológica entre os anos de 1988 e 1993, na região de estudo, com dados de umidade relativa, pluviosidade e temperatura média.

Os dados meteorológicos, no presente experimento, em nenhum momento tiveram temperaturas abaixo de 16°C, além de que nos anos de 1988 até final de 1991 a umidade relativa do ar foi sempre superior ao ideal para a infecção do fungo (JUNQUEIRA et al., 1985). Comparando as imagens de satélites com estes dados meteorológicos (Figura 7) fica evidenciado um ambiente propício para o desenvolvimento do *M. ulei*, onde possivelmente nos anos mais críticos conforme descreveu Sambugaro (2007), ocorreu à infecção independente da temperatura. A umidade relativa do ar foi ótima para o *M. ulei* por vários dias ou meses seguidos, propício para a ocorrência da epidemia (GASPAROTTO; JUNQUEIRA, 1991).

No ano seguinte, em 1992, Sambugaro (2007) citou que o nível do mal das folhas foi baixo, até mesmo para o RRIM 600 que é um clone muito suscetível ao *M. ulei*. Nesse ano a umidade relativa do ar esteve extremamente baixa, com uma média mensal menor que 2 horas por dia de molhamento no período de troca de folhas (Figura 7), sendo insuficiente para o fungo infectar a seringueira (GASPAROTTO; PEREIRA, 2012). Posteriormente, no ano 1993, novamente o mal das folhas apresentou alto índice, atacando os clones RRIM 600, IAN 717 e Fx 3864, conforme foi relatado por Sambugaro (2007). Comparando com a Figura 7, esse ano a umidade relativa do ar aumenta novamente, propiciando a ocorrência da doença (FURTADO et al., 2008).

Conforme Sambugaro (2007) relatou, os clones tiveram início do período de desfolha nos meses de maio, junho e julho e período de reenfolha nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro nos anos de estudo. Para o período de desfolha, todos os meses apresentaram acumulado de chuvas abaixo de 100 mm, com exceção do mês de julho de 1989 com acumulado de chuvas em 162,4 mm, contrariando a média de 76 mm de chuva neste período. Isso mostra um período seco em que a seringueira inicia a queda foliar (FURTADO, 1990). Outro fator interessante é a temperatura baixa, média entre 16 e 19°C, com exceção do mês de maio de 1991 que atingiu 21°C. Porém depois nos meses seguintes chegou até os 17°C em julho, tendo uma temperatura média de 18°C neste período de queda foliar (Figura 7).

Já no período de reenfolha tendo o início normalmente entre agosto e setembro e final da reenfolha em outubro e novembro (SAMBUGARO, 2007), verificou-se que a precipitação pluvial acumulada demonstrou um leve aumento comparado com o período de queda foliar. Porém não se alterou muito, ocorrendo média de chuvas igual a 93 mm. Já a temperatura apresentou aumento significativo comparado com o período de queda foliar, chegando até 25°C em novembro de 1993, onde esse período apresenta média próxima de 21°C.

O clone RRIM 600 por sua vez, em três situações inicia o seu reenfolhamento em período anterior dos demais clones, em agosto de 1988, setembro de 1989 e setembro de 1990 (Tabela 1). Conforme Sambugaro (2007) relatou, o clone RRIM 600 foi o que chegou a perder 800 folíolos/m^2, significando uma desfolha de 50% da copa, além de ser o que demonstrou maior dano pelo mal das folhas. Esses três reenfolhamentos antecipados, folíolos jovens em uma época com o aumento da temperatura e alta umidade relativa do ar (Figura 7), favoreceram o fungo e sua infecção (FURTADO et al., 2008), não evitando a doença (MENTEN, 1990), assim pode ter ocasionado epidemia nos períodos de 1988, 1989 e 1991.

Tabela 1 – Período de reenfolhamento de cada ano estudado dos seis clones de seringueira.

Clones	1988		1989		1990		1991		1992		1993	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Fx 3844	30/9	4/11	21/9	26/10	11/10	15/10	12/9	20/10	8/10	19/11	4/11	18/11
Fx 3864	30/9	4/11	29/9	26/10	11/10	15/10	19/9	20/10	5/11	19/11	4/11	18/11
Fx 2261	22/9	4/11	29/9	26/10	20/9	15/10	12/9	20/10	29/10	19/11	4/11	18/11
IAN 873	15/08	4/11	17/8	26/10	27/9	15/10	12/9	20/10	16/10	19/11	4/11	18/11
IAN 717	30/9	4/11	29/9	26/10	11/10	15/10	12/9	20/10	29/10	19/11	4/11	18/11
RRIM 600	19/8	4/11	1/9	26/10	5/9	15/10	19/9	20/10	8/10	19/11	30/9	18/11

Fonte: Modificado de Sambugaro (2007).

No ano de 1990 foram realizadas as Análises de Índice de Vegetação (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF), obtendo somente duas imagens em condições boas para análise, nas datas de 20/05 (Figura 8) e 05/06 (Figura 9). Estas datas mostram o início da queda foliar, em 20/05 ainda com densidade de copa pré-troca foliar alto das plantas, pois a queda foliar iniciou em 31/05. Desta forma, apresenta-se dossel de forma uniforme, em 05/06 já havia iniciado a queda foliar, evidenciando as diferenças dos valores de NDVI, SAVI e IAF nos pontos amostrais com seus respectivos pixels.

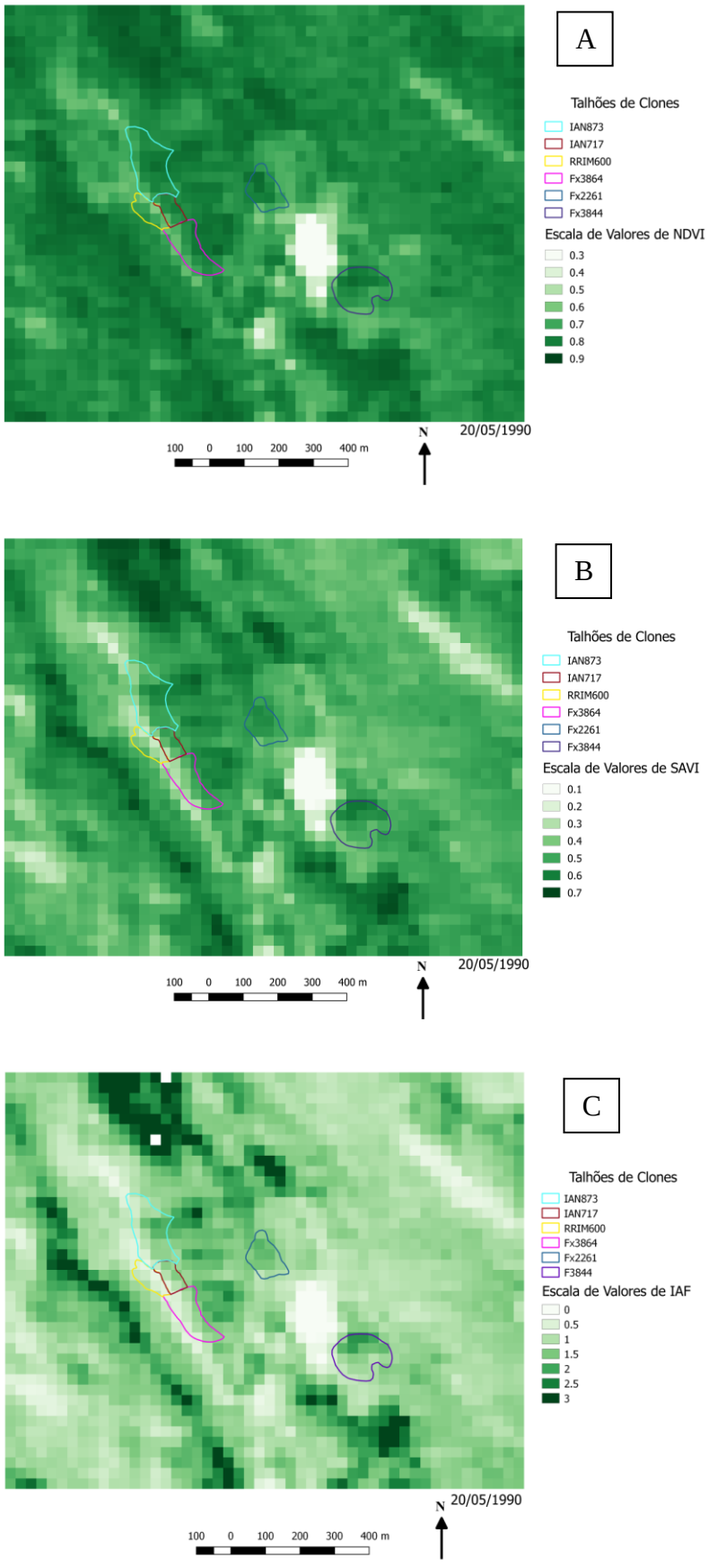


Figura 8 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 20/05/1990, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

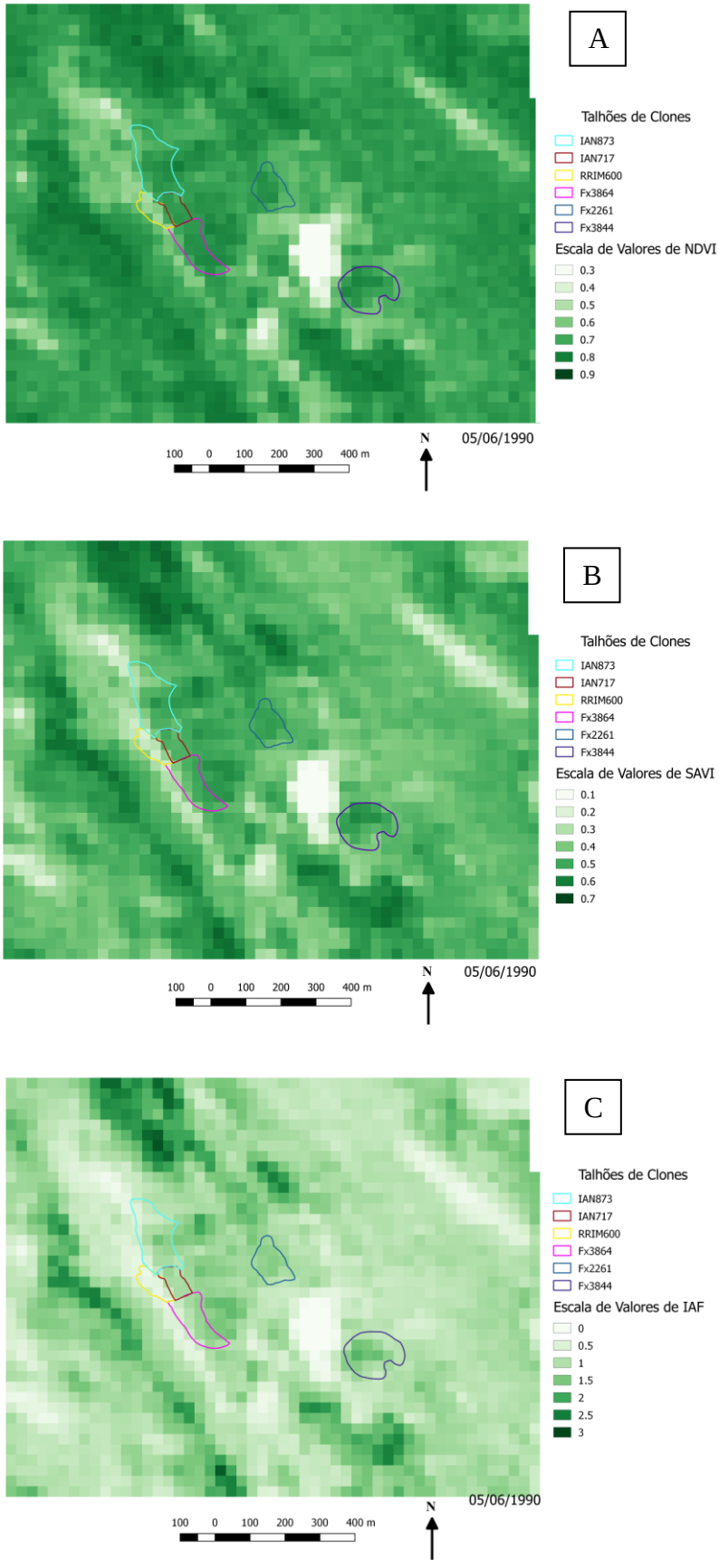


Figura 9 – Índices de Vegetação NDVI (A),SAVI (B) e IAF (C) na data de 05/06/1990, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

Como foi observado, principalmente o clone RRIM 600 apresentou queda mais perceptível, no NDVI de 0,66 para 0,56 (Figura 10), no SAVI de 0,32 para 0,27 (Figura 11) e IAF de 0,56 para 0,37 (Figura 12). Clone que possui hábito decíduo, apresentando troca de folhas uniforme (FURTADO, 1990).

O IAF também mostrou uma queda evidente nos clones IAN 873 (de 1,22 para 0,92), Fx 2261 (de 1,51 para 1,29) e Fx 3844 (de 1,59 para 1,20). Clones que apresentam troca de folhas compactas e reenfolhamento somente após queda completa das folhas velhas (FURTADO, 1990), além dos clones Fx 2261 e Fx 3844 serem resistentes ao mal das folas e o IAN 873 mesmo sendo suscetível ao fungo, age de forma a evitar no tempo o inóculo, desfolhando por completo antes dos demais e iniciando sua reenfolha antes (MENTEN, 1990; FURTADO et al., 2008).

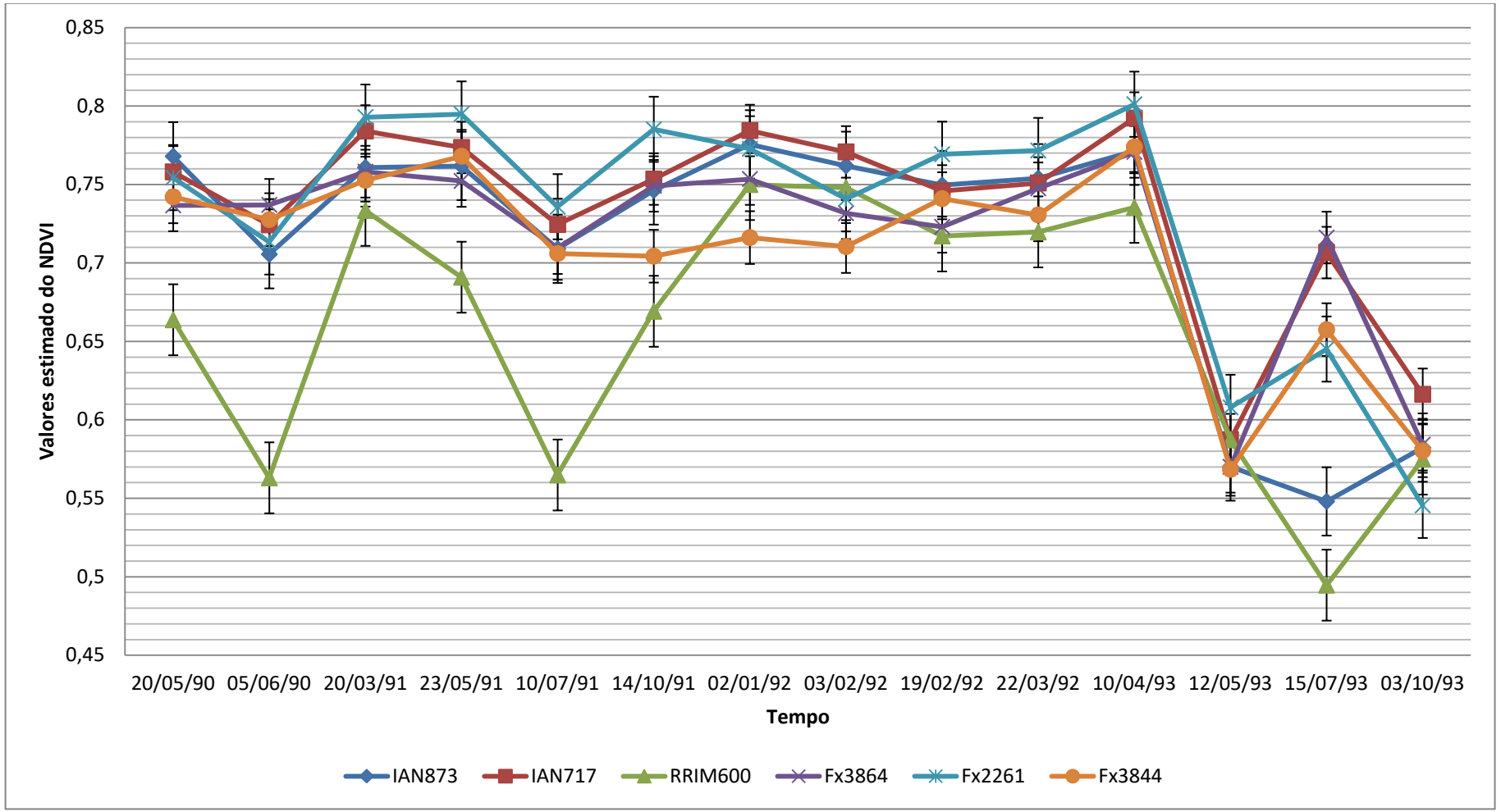


Figura 10 – Valores médios de NDVI das imagens de satélite Landsat 5 - 220/077, nas diferentes datas entre 1990 e 1993, em seis clones de seringueira.

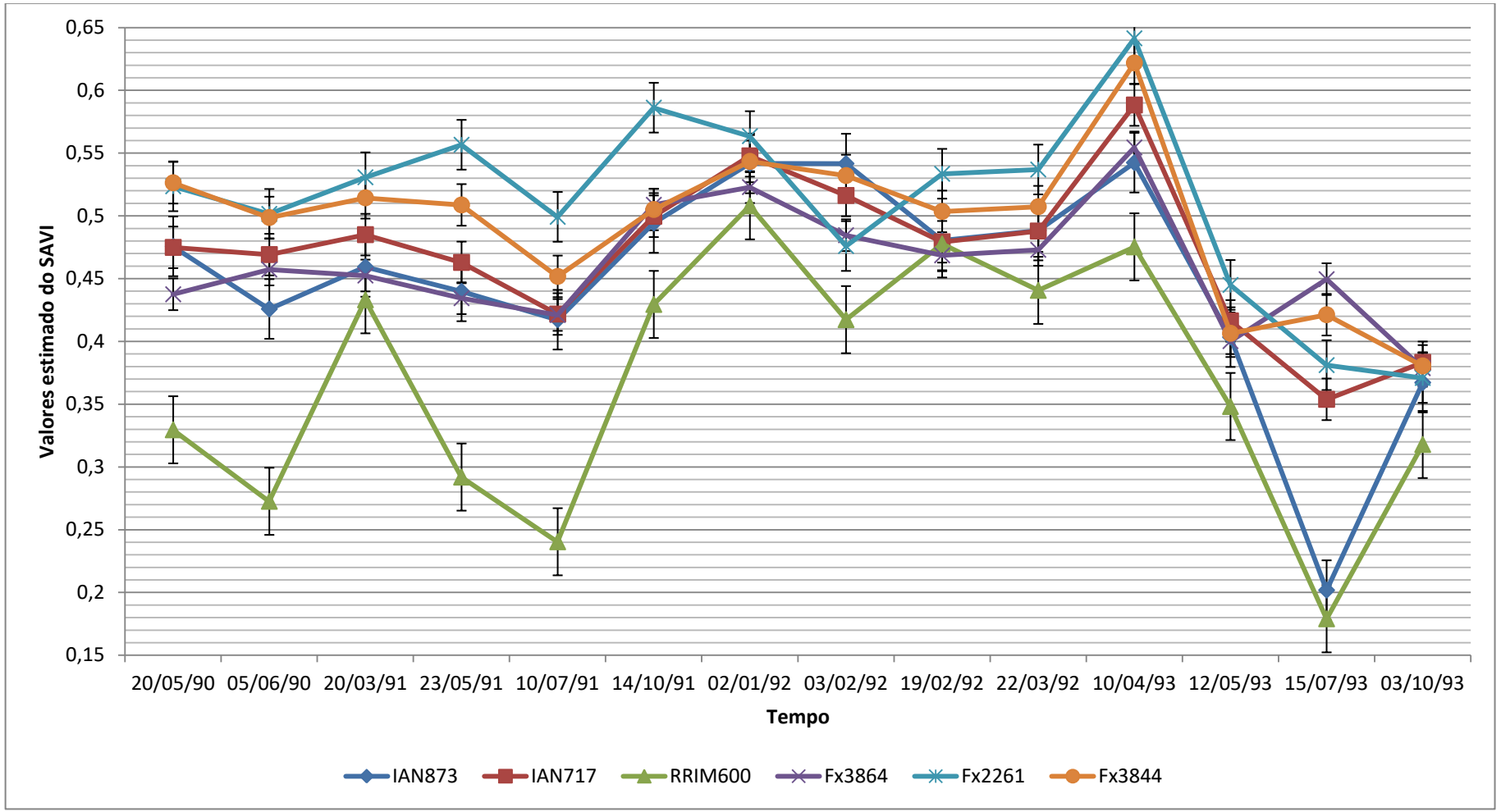


Figura 11 – Valores médios de SAVI das imagens de satélite Landsat 5 - 220/077, nas diferentes datas entre 1990 e 1993, em seis clones de seringueira.

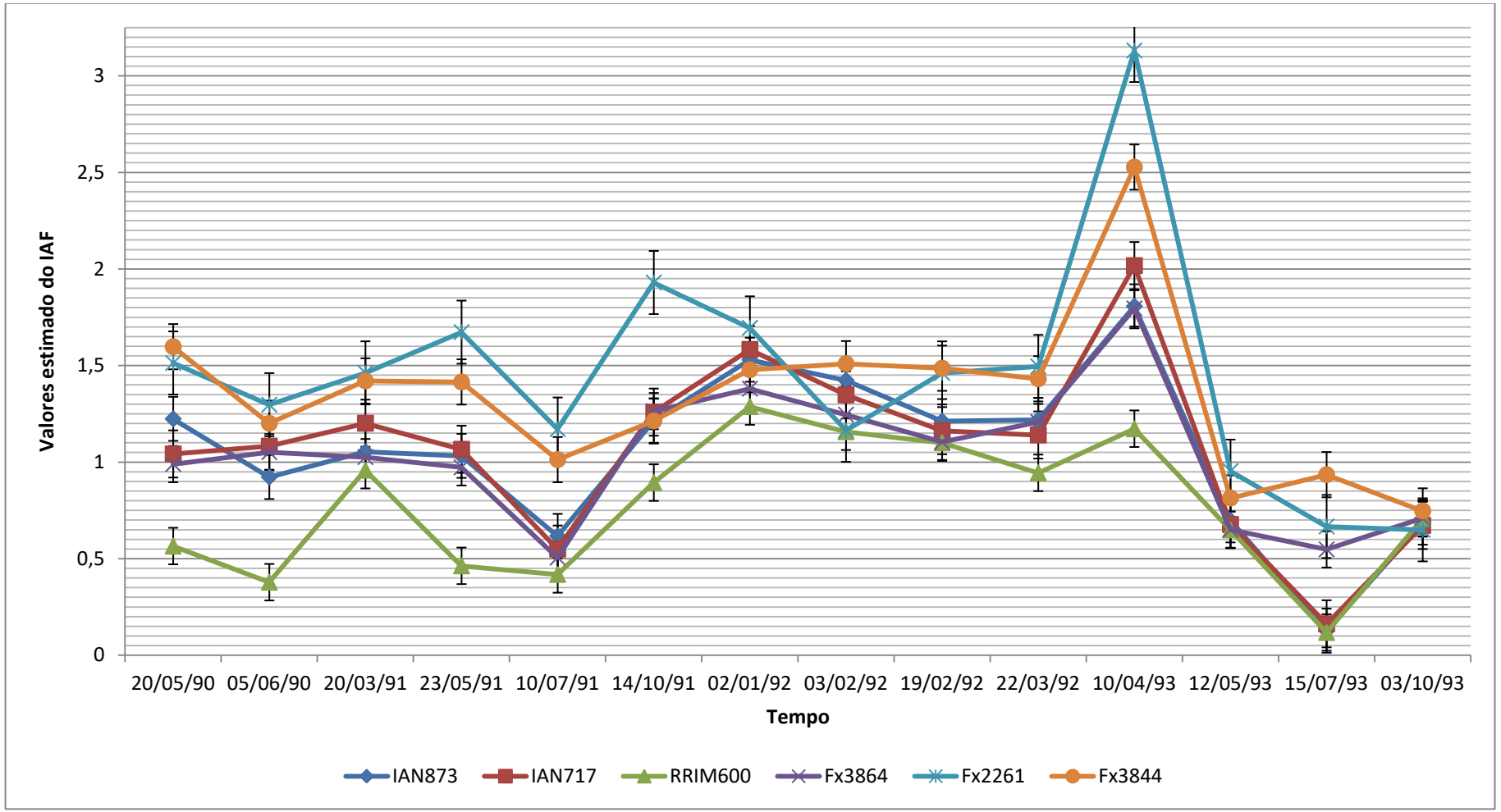


Figura 12 – Valores médios de IAF das imagens de satélite Landsat 5 - 220/077, nas diferentes datas entre 1990 e 1993, em seis clones de seringueira.

Em 1991 os índices NDVI, SAVI e IAF obtidos foram de quatro imagens em condições boas, nas datas de 20/03 (Figura 13), 23/05 (Figura 14), 10/07 (Figura 15) e 14/10 (Figura 16).

Na data de 20/03 o dossel está com densidade de copa pré-troca foliar muito alto, apresentando imagem com dossel uniforme (Figura 13), com valores de NDVI entre 0,73 a 0,79 (Figura 10), o SAVI teve valores entre 0,43 a 0,53 (Figura 11), enquanto que IAF ficou com valores entre 0,95 a 1,46 (Figura 12). Estes valores de índices corroboram com o clima ocorrido no período, com acumulado de chuvas acima de 300 mm e temperatura média em torno de 24°C (Figura 7).

A data de 16/05 foi quando alguns clones começaram a queda foliar conforme Sambugaro (2007), tendo uma pequena diferenciação nos valores do NDVI ficando entre 0,69 a 0,79 corroborando com a autora, porém pouco visível à alteração na Figura 14 A comparada com a Figura 13 A.

Quando analisado o SAVI as imagens ficam mais evidentes entre a Figura 13 B para Figura 14 B, principalmente o RRIM 600 que passou de 0,43 para 0,29 (Figura 11), mesmo este clone iniciando a desfolha posterior à maioria, em 25/06, tendo uma imagem na Figura 14 B correspondendo à desfolha elevada, podendo ter sido causado pela doença, já que se trata de um clone muito suscetível, corroborando com os dados de Sambugaro (2007) que verificou elevado índice de doença neste ano de 1991. Pois o SR não verifica somente queda foliar, mas a falta de reflectância da folha, podendo ter sido causada pela necrose do *M. ulei* ou o acumulo de estromas nas folhas.

Quando analisado por meio do IAF, este vai ao encontro com os demais índices quando comparados o clones RRIM 600, onde que o valor em 20/03 (Figura 13 C) era de 0,95 passando para 0,46 em 23/05 (Figura 14 C). O sensoriamento remoto não verifica somente queda foliar, mas a falta de refletância da folha, podendo ter sido causada pela necrose foliar ou estromas do *M. ule*. O IAF ainda mostra uma queda mais acentuada no clone IAN 717 que passou de 1,20 para 1,0, mostrando um caráter levemente deciduifólio ou possivelmente com a doença do mal das folhas por ser suscetível ao *M. ulei* (FURTADO, 1990).

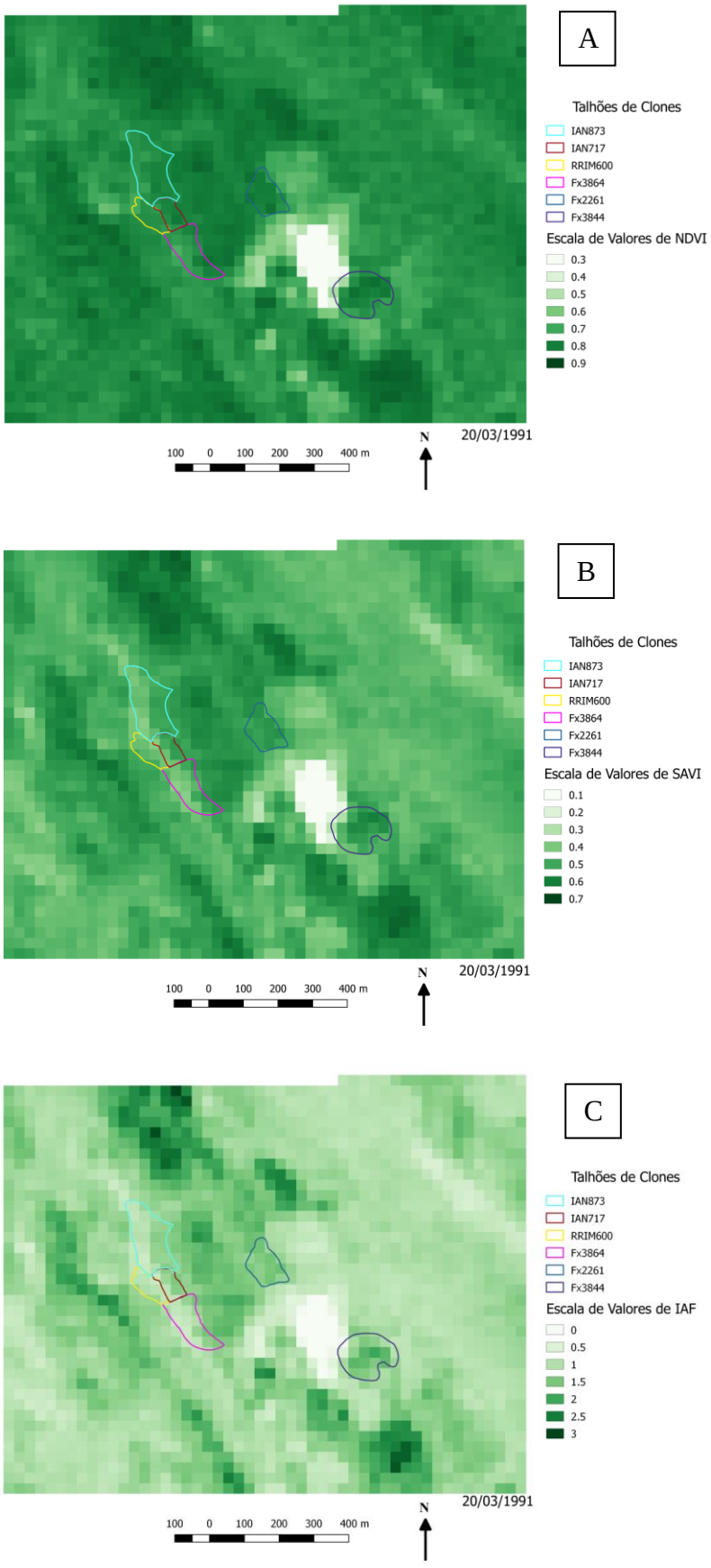


Figura 13 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 20/03/1991, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

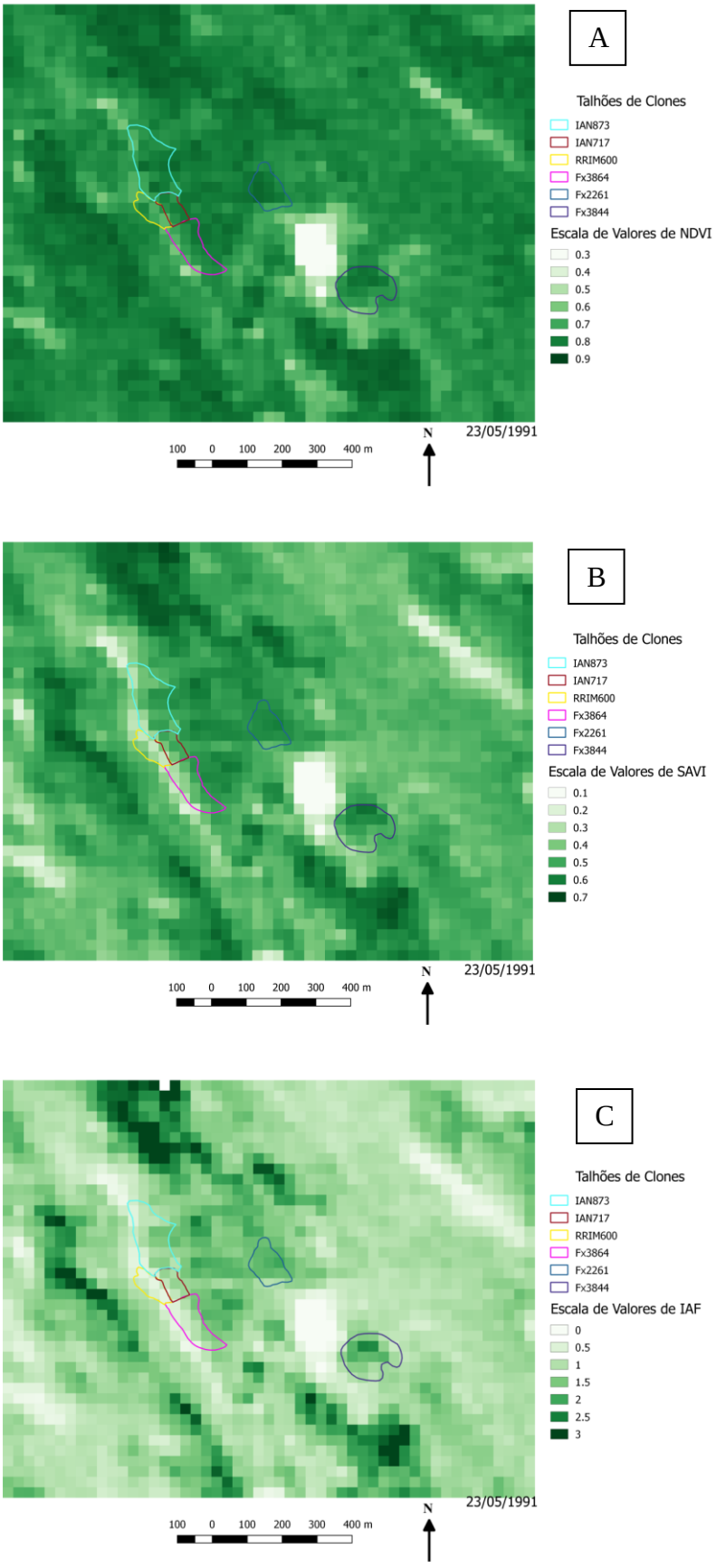


Figura 14 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 23/05/1991, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

Já na data 10/07 todos os clones entraram no período de queda de folhas, ficando muito evidente na Figura 15. Assim, os valores de NDVI atingiram 0,56 para o RRIM 600 e os demais clones ficaram próximos de 0,71 (Figura 10), já nos valores do SAVI o RRIM 600 atingiu 0,24 e os demais atingiram em média 0,44 (Figura 11). Porém o IAF mostrou uma queda foliar mais intensa dos clones IAN 717 (de 1,2 para 0,5), Fx 3864 (de 1,0 para 0,5), IAN 873 (de 1,0 para 0,6) e manteve o RRIM 600 praticamente estável (de 0,46 para 0,41). Pode ser devido à baixa resistência dos clones ao ataque mais severo do *M. ulei* (JUNQUEIRA et al., 1985; FURTADO et al., 2008). O clone IAN 873 tem característica de queda foliar completa (FURTADO et al., 2008). Os demais clones (Fx 2261 e Fx 3844) ficaram em média com 1,0.

O RRIM 600, por ser um clone muito suscetível ao mal das folhas, representado pelos menores valores dos índices, NDVI, SAVI e IAF. Nos anos anteriores o RRIM 600 sofreu com o *M. ulei* e devido a este fato, não conseguiu se recuperar a tempo dos períodos de queda de folhas e posteriormente troca das folhas, ficando sempre em desvantagem contra o *M. ulei* e/ou período de desfolha, não conseguindo evitar a doença (MENTEN, 1990; FURTADO et al., 2008).

Na data seguinte 14/10/1991 (Figura 16) o dossel começou a se fechar, indo ao encontro Sambugaro (2007) em 1991 o reenfolhamento foi até dia 20/10 (Tabela 1). Consequentemente, o NDVI começa a aumentar e atingiu valores de 0,78 no máximo, com média próxima de 0,75 (Figura 10), enquanto que o SAVI tem seu valor máximo em 0,58 e uma média de 0,50 (Figura 11), por fim o IAF tendo valores de até 1,92 e média entre 1,29.

O RRIM 600 ficou com NDVI em 0,66 (Figura 16 A), anteriormente com 0,56 (10/07, Figura 15 A), SAVI em 0,42 (Figura 16 B), antes com 0,24 (10/07, Figura 15 B) e IAF com 0,89 (Figura 16 C) que tinha índice de 0,41 (10/07, Figura 15 C), mostrando a dificuldade do RRIM 600 em formar novas folhas e fechar o dossel. Outros clones ficaram em evidencia quando comparados com o índice do IAF: IAN 873 antes (10/07) com 0,61 ficando com 1,21; IAN 717 que tinha 0,54 e passou para 1,25; o Fx 3864 que possuía 0,50 e ficou com 1,26; e o clone Fx 2261 possuía um índice do IAF de 1,17 em 10/07 e ficou com 1,92 em 14/10. Onde que os clones Fx 2261 e IAN 873 possuem troca de folhas compacta e resistentes a maior parte das raças locais do *M. ulei* (FURTADO et al., 2008; BEVENUTO et al., 2017). Enquanto que o IAN 717 e Fx 3864 possuem irregularidade na troca de folhas (FURTADO, 1990) e maior incidência no mal das folhas (JUNQUEIRA et al., 1985).

O clima nesse mês de outubro ficou com temperaturas médias de 22°C e precipitação em 184 mm de chuva (Figura 7), favorecendo assim o reenfolhamento e a uniformidade do

dossel. Porém com umidade relativa do ar acima dos 90% tendo ambiente propício para a instalação do *M. ulei* (GASPAROTTO; PEREIRA, 2012), já que nos anos anteriores havia o registro da doença no campo e provavelmente o inóculo estaria presente nesse período também.

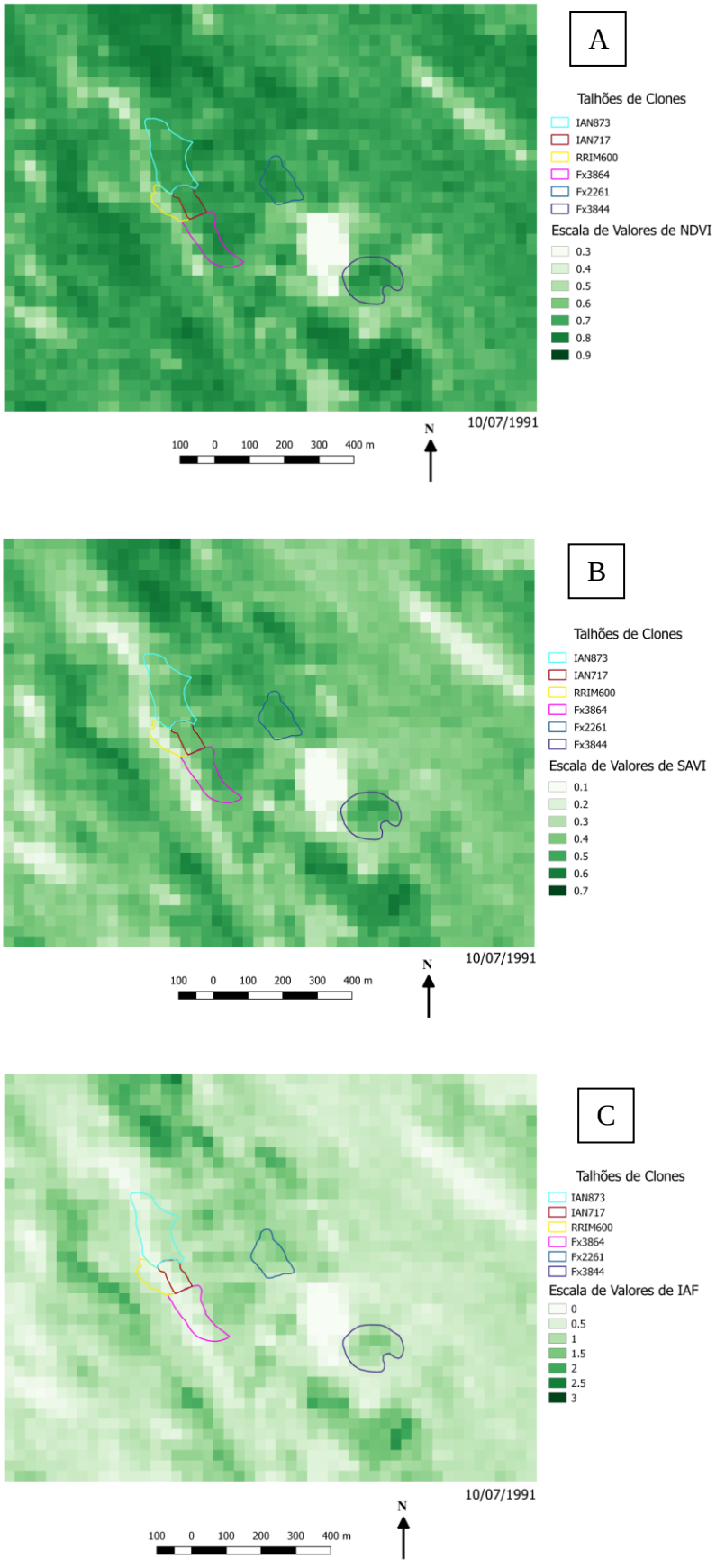


Figura 15 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 10/07/1991, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

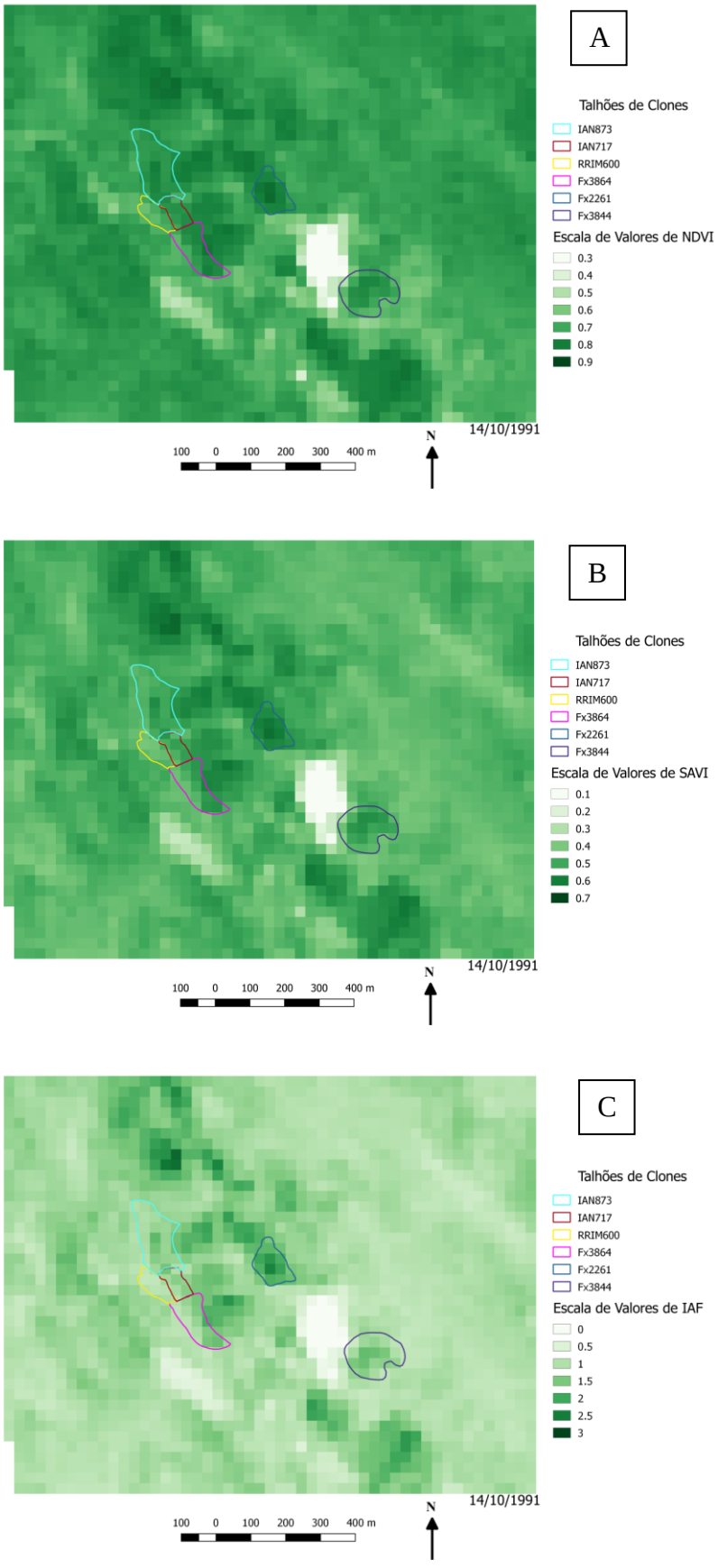


Figura 16 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 14/10/1991, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

No ano de 1992 as únicas imagens de satélites adquiridas foram nas datas de 02/01 (Figura 17), 03/02 (Figura 18), 19/02 (Figura 19) e 22/03 (Figura 20). O valor do NDVI para essas datas ficou entre 0,71 (RRIM600) e 0,78 (IAN 717), com média de 0,75 (Figura 10), enquanto que o SAVI teve valores entre 0,41 (RRIM 600) e 0,56 (Fx 2261), média de 0,50 (Figura 11), o IAF já tem valores entre 0,94 (RRIM 600) e 1,69 (Fx 2261), média de 1,32, ou seja, dossel uniforme com alta densidade de copa das plantas.

Este ano de 1992, o clima foi atípico em relação aos demais anos de estudo, pois o acumulado de chuvas em janeiro, fevereiro e março ficou em 99 mm, 140 mm e 281 mm respectivamente, a umidade relativa do ar foi muito abaixo dos anos anteriores, abaixo de 90% ou quando atingia a UR acima dos 90% o tempo ficou abaixo de 10 horas, sendo na maioria dos meses de 2 horas de UR (Figura 7), deixando o ambiente desfavorável ao *M. ulei* (GASPAROTTO; PEREIRA, 2012). Sambugaro (2007) relatou que, este ano de 1992, o nível do mal das folhas foi baixo, inclusive para o RRIM 600, além de todos os clones apresentarem desfolha completa, devido a menor pluviosidade do período.

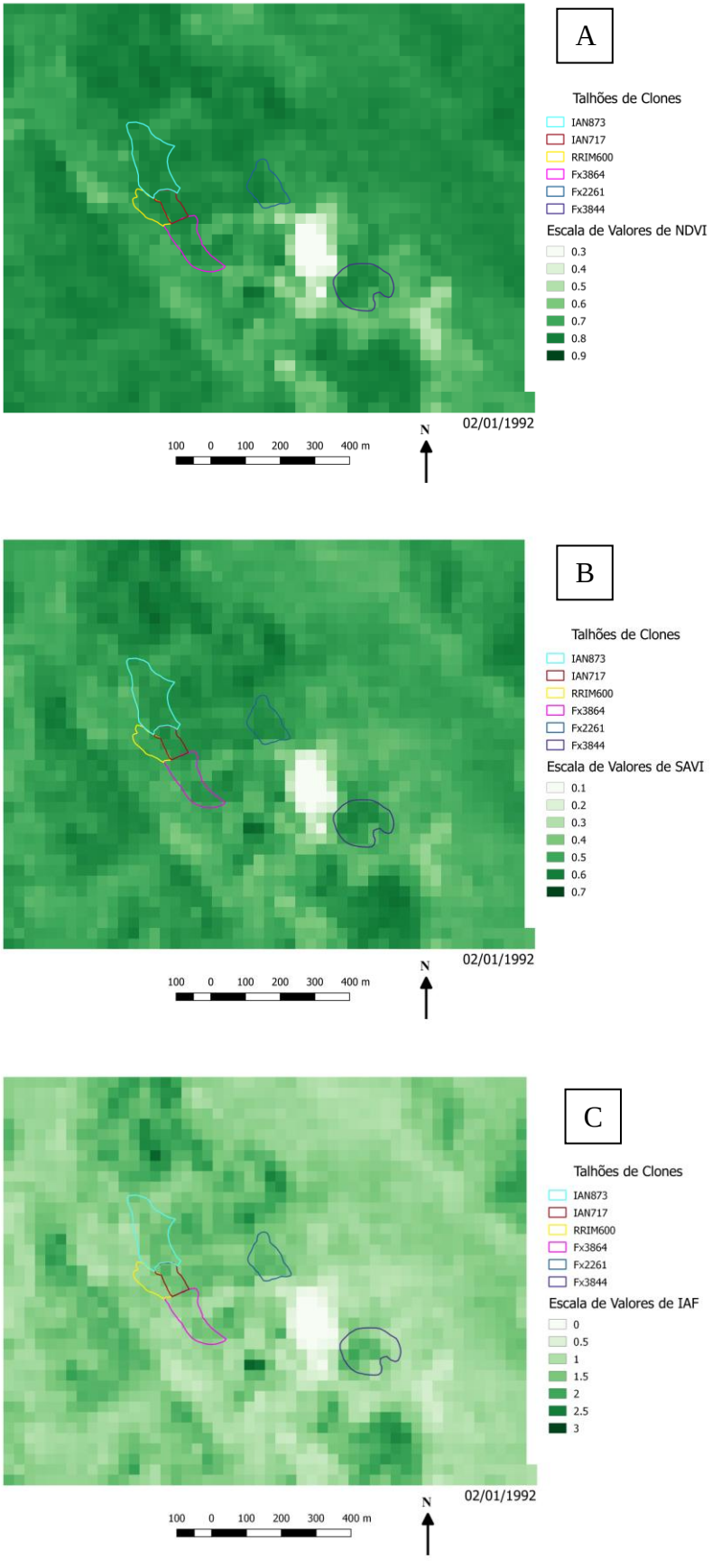


Figura 17 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 02/01/1992, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

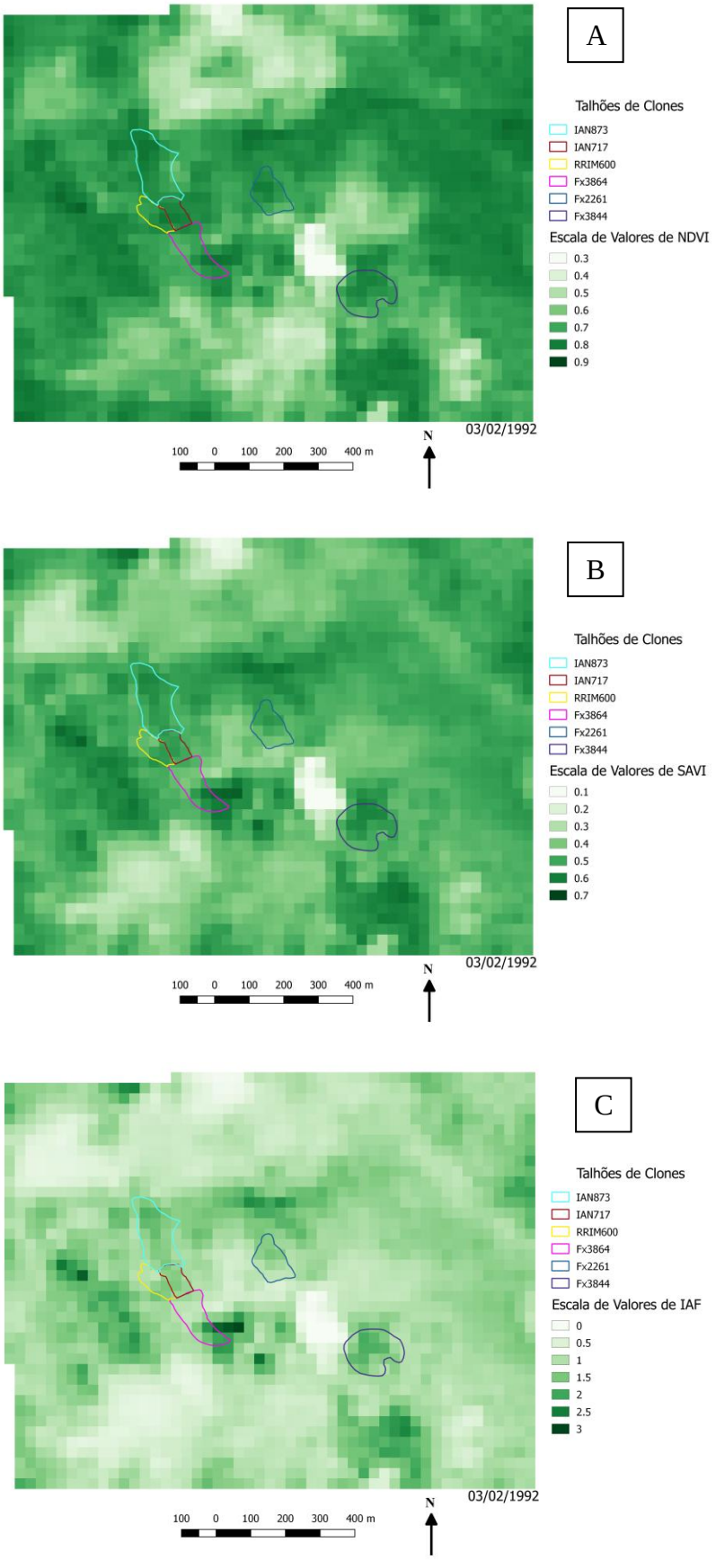


Figura 18 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 03/02/1992, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

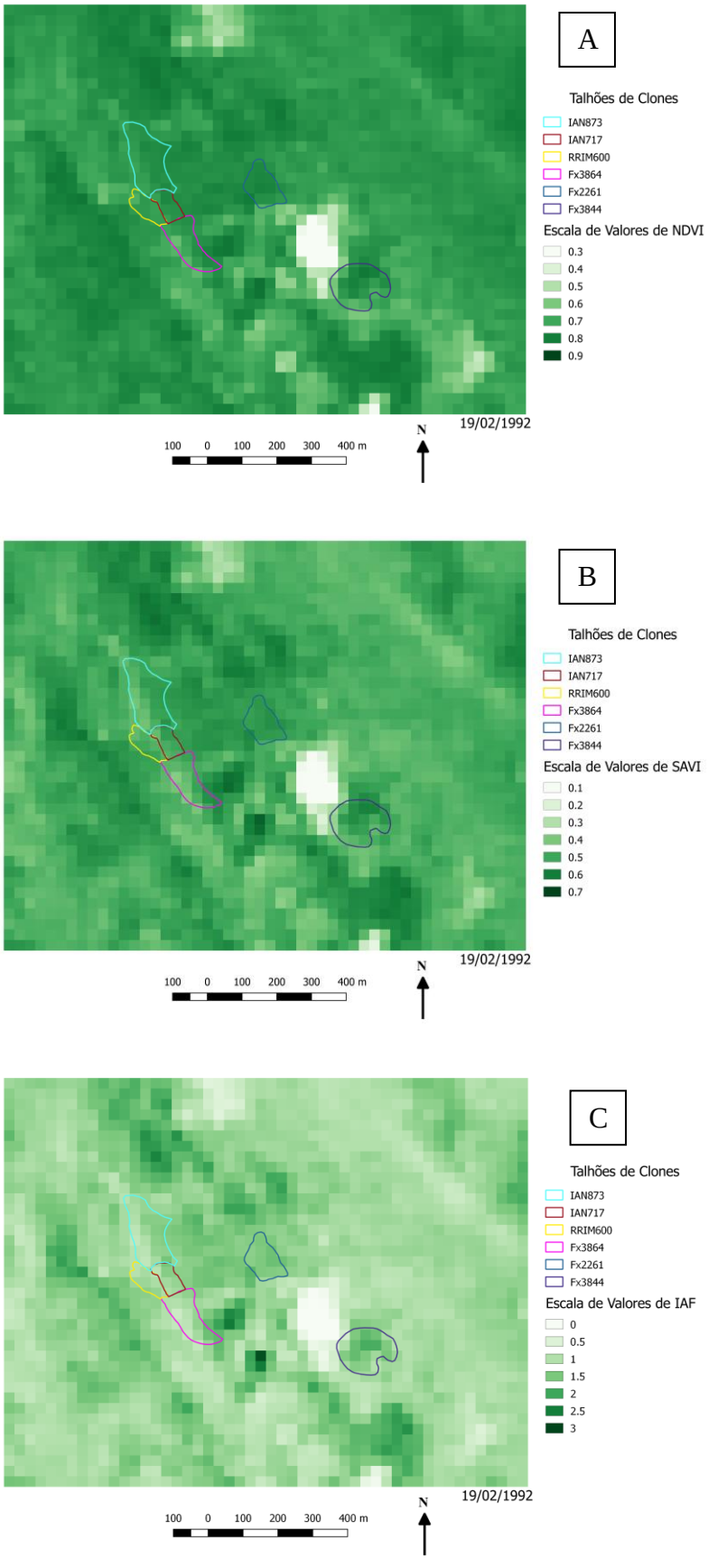


Figura 19 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 19/02/1992, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

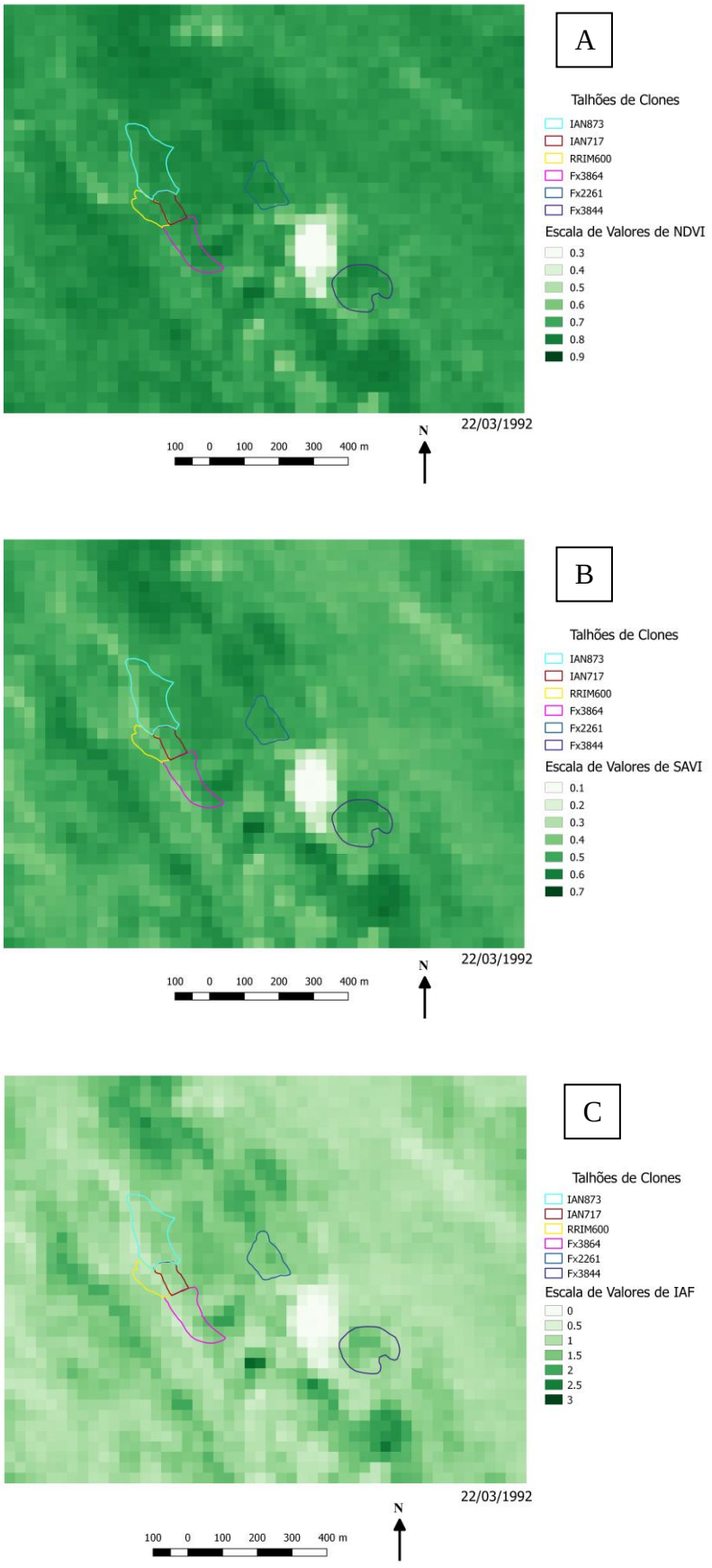


Figura 20 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 22/03/1992, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

Já no ano de 1993 o clima nos primeiros três meses apresentou precipitação pluvial acima de 100 mm, entre abril e junho a precipitação ficou abaixo dos 100 mm. Porém o clima voltou a favorecer o fungo com o aumento de umidade relativa do ar acima de 90% e por mais horas, acima de 10 horas (GASPAROTTO; PEREIRA, 2012), nos meses posteriores a maio (Figura 7), principalmente nos meses onde a seringueira trocou de folhas, no mês de outubro. Portanto o reenfolhamento ocorreu em um período favorável para o *M. ulei* (FURTADO, 1990). Sambugaro (2007) descreveu um aumento do mal das folhas nesta época, havendo um alto índice de doença no campo, novamente nos clones RRIM 600, IAN 717 e Fx 3864, clones com maior incidência de doença (FURTADO et al., 2008), indo ao encontro dos valores dos índices obtido pelas imagens de satélite.

Nesse ano de 1993 foram obtidas quatro imagens, 10/04 (Figura 21), 12/05 (Figura 22), 15/07 (Figura 23) e 03/10 (Figura 24), apresentando, nesses períodos, valores de NDVI médio de 0,77, 0,58, 0,64 e 0,58, respectivamente. Por sua vez o SAVI ficou com valores médios de 0,57, 0,40, 0,35 e 0,36, respectivamente. Enquanto o IAF obteve valores médios de 2,11, 0,74, 0,47, 0,69, respectivamente.

A imagem de 10/04/1993 demonstrou um dossel com densidade de copa pré-troca foliar elevado, NDVI de 0,77 (Figura 21 A), SAVI de 0,57 (Figura 21 B) e IAF de 2,11 (Figura 21 C), com precipitação acima de 100 mm de chuva (Figura 7), já a imagem de 12/05/1993 demonstrou período de estiagem e pouca chuva, tendo um valor de NDVI de 0,58 (Figura 22 A) em média, SAVI de 0,40 (Figura 22 B) e IAF de 0,74 (Figura 22 C).

Em 1993, conforme Sambugaro (2007) todos os clones tiveram desfolha por completo que iniciou na data de 24/06, exceto IAN 717 e Fx 3864 que possuem queda foliar irregular (FURTADO, 1990), confirmado pela imagem de satélite da Figura 23 A, pelo índice de NDVI.

Analisando tanto os valores do NDVI quanto o SAVI, verificou-se uma queda dos valores da data de 10/04 para 15/07. O índice NDVI do RRIM 600 passou de 0,73 para 0,49; o clone IAN 873 apresentou 0,77 e foi para 0,54; Fx 2261 com 0,80 foi para 0,64; e Fx 3844 que passou de 0,77 para 0,65 (Figura 10).

Os valores do SAVI, da data de 10/04 para 15/07, foram para o RRIM 600 de 0,47 para 0,17; IAN 873 tinha 0,54 e passou para 0,20; Fx 2261 foi de 0,64 para 0,38; e Fx 3844 passou de 0,62 para 0,42 (Figura 11), sendo muito evidente na imagem (Figura 23 B).

No IAF obteve valores com maior amplitude, neste período de 10/04 (Figura 21 C) para 15/07 (Figura 23 C), para RRIM 600 foi de 1,17 para 0,11; IAN 873 de 1,80 para 0,12; Fx 2261 de 3,13 para 0,66; e Fx 3844 de 2,52 para 0,93 (Figura 12).

Tanto o clone IAN 717 com índice de NDVI igual a 0,79 quanto o Fx 3864 com valor de 0,77, apresentaram valores de 0,70 e 0,71 respectivamente (Figura 10), não havendo desfolha total (FURTADO, 1990). Porém o clone IAN 717, por exemplo, permaneceu com 55% de folhas retidas na copa, após o período de desfolha conforme descreveu Sambugaro (2007), corroborando com a imagem de satélite analisada no presente estudo. O SAVI apresentou valores para IAN 717 de 0,58 em 10/04 (Figura 21 B), passando para 0,35 em 15/07 (Figura 23 B) e para o Fx 3864 de 0,55 para 0,44 (Figura 11), o IAF que obteve valores para IAN 717 de 2,01 em 10/04 (Figura 21 C), passando para 0,16 em 15/07 (Figura 23 C) e para o Fx 3864 de 1,79 para 0,54 (Figura 12).

O cultivar IAN 717 híbrido de *H. brasiliensis* x *H. benthamiana* e Fx 3864 sendo uma *H. brasiliensis*, são conhecido por não trocar uniformemente a sua folhagem, reenfolhando com grande quantidade de folhas velhas na copa (FURTADO, 1990). Para Menten (1990) esse hábito irregular de troca de folhas dos cultivares proporciona condições para que o patógeno se mantenha sempre em altos níveis na cultura durante o ano.

Porém a última imagem adquirida, em 03/10/1993 (Figura 24), os valores tanto do NDVI quanto do SAVI não aumentaram, comparado com a data anterior 15/07/1993. Os valores médios de NDVI foram de 0,64 para 15/07/1993 e 0,58 em 03/10/1993, e valores médios do SAVI de 0,35 em 15/07/1993 e 0,36 em 03/10/1993. Porém para o IAF já possuiu um pequeno aumento de valor na média dos clones, vindo de 0,47 no dia 15/07 para 0,70 para o dia 03/10. Isso devido ao inicio da reenfolha que se dá na maioria dos clones no dia 04 de novembro (Tabela 1). Já o RRIM 600 é o único clone que inicia sua reenfolha em 30 de setembro, tendo valores na data de 15/07 (Figura 23) de NDVI igual a 0,49; SAVI de 0,17; e IAF de 0,11; valores aumentados na data de 03/10 (Figura 24) para NDVI de 0,57; SAVI de 0,31; e IAF de 0,70. O RRIM 600 antecipando a reenfolha tenta evitar a doença (MENTEN, 1990), já que os outros clones não começaram a produção de novas folhas ainda, porém temos clones que possuem deciduidade irregular IAN 717 e Fx 3864 (FURTADO, 1990), ficando com folhas maduras com lesões estromáticas (FURTADO et al., 2008), assim fechando o ciclo do *M. ulei*, podendo causar epidemias.

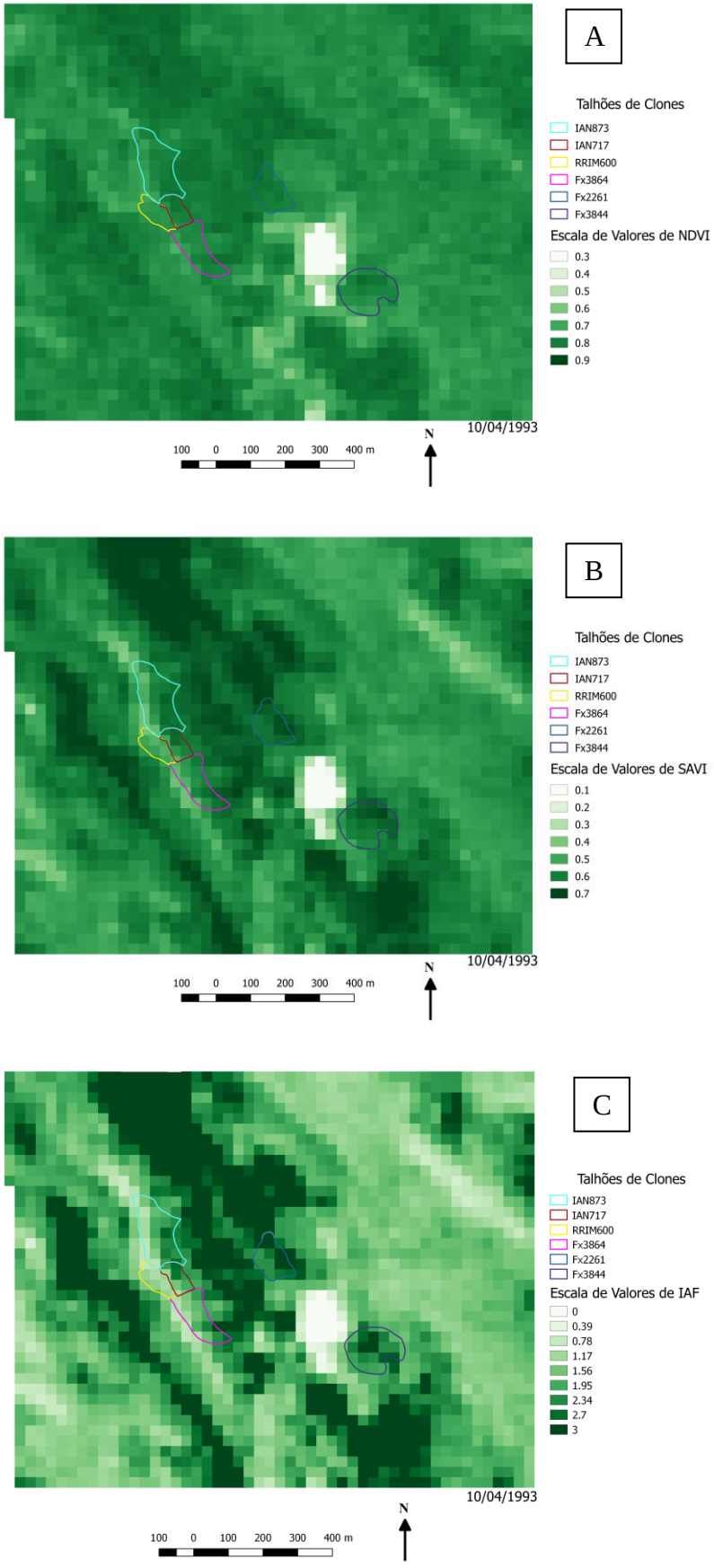


Figura 21 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 10/04/1993, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

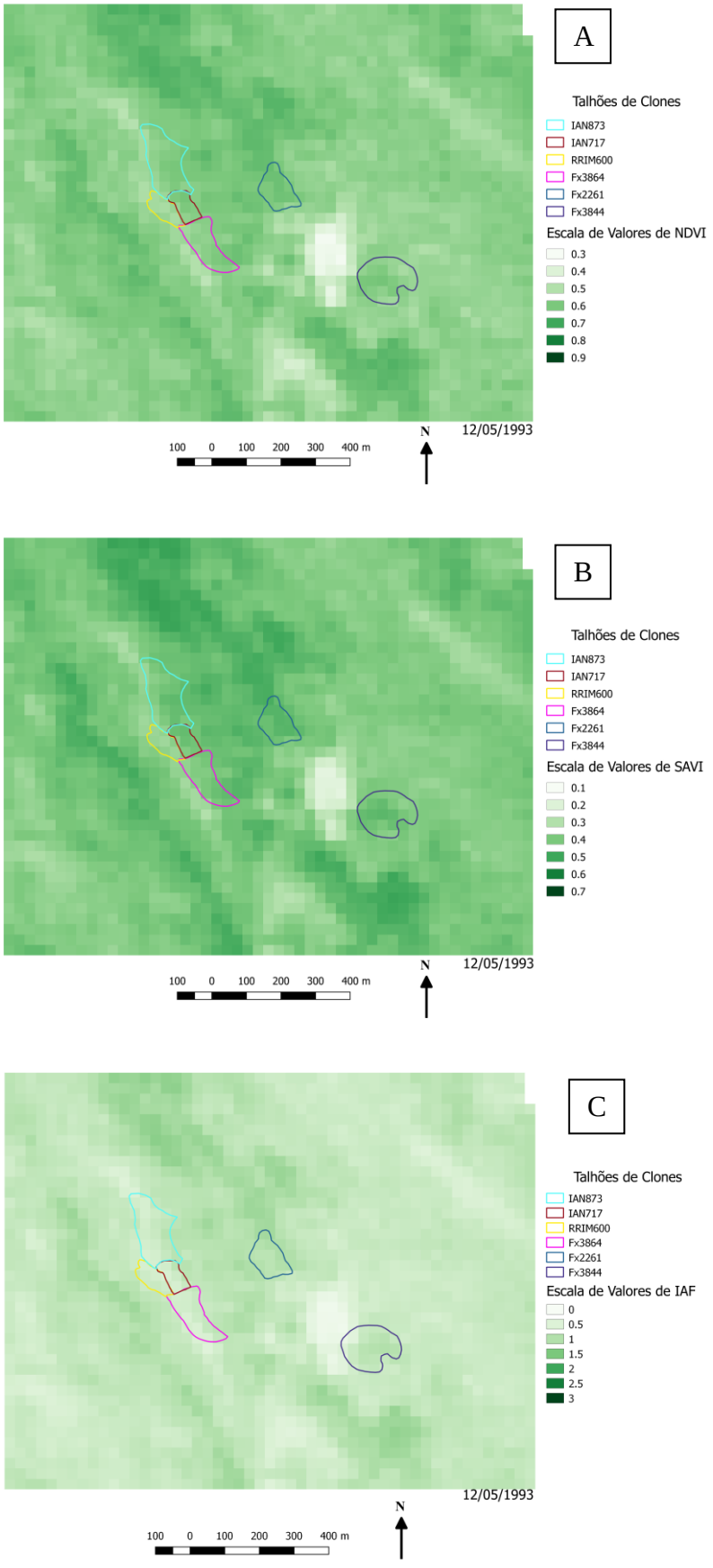


Figura 22 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 12/05/1993, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

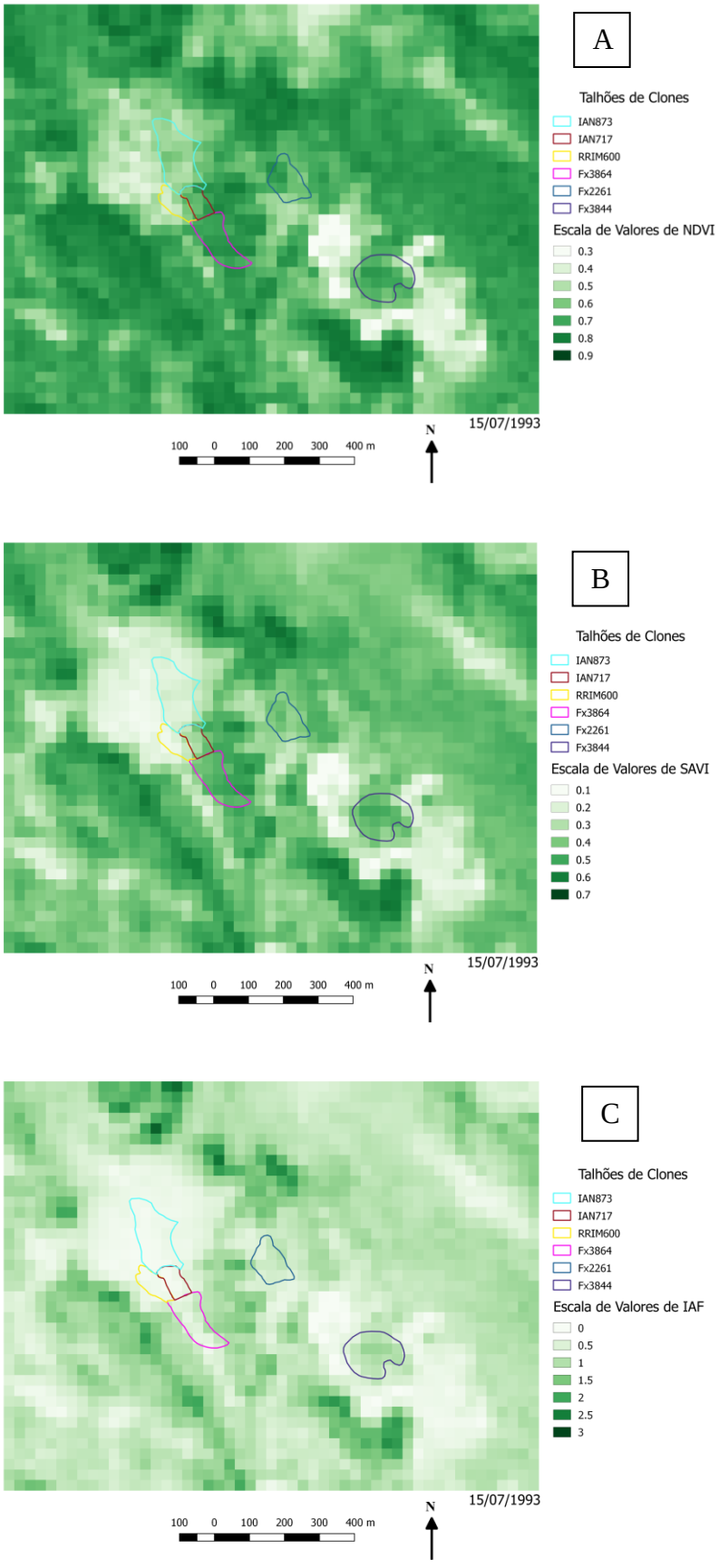


Figura 23 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 15/07/1993, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

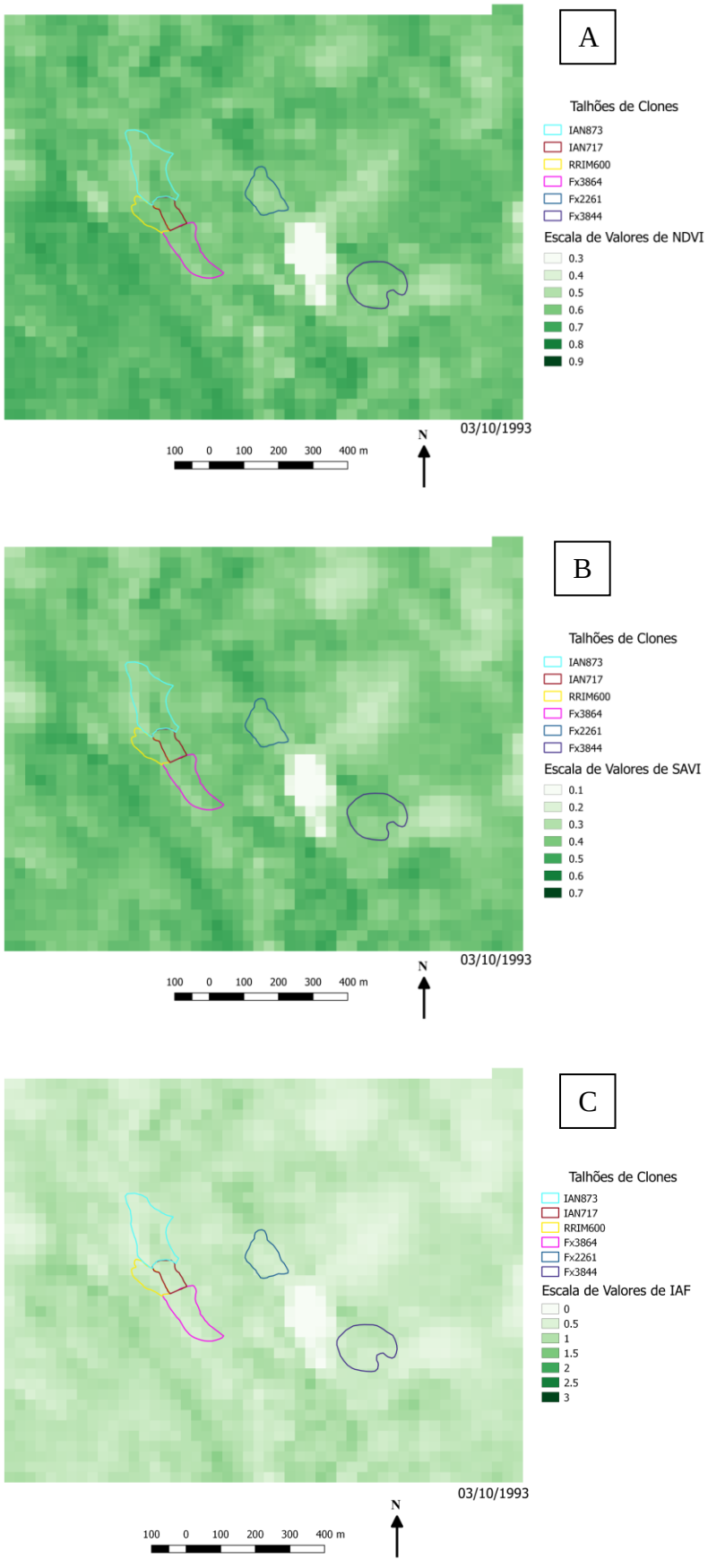


Figura 24 – Índices de Vegetação NDVI (A), SAVI (B) e IAF (C) na data de 03/10/1993, em 6 clones de seringueira (Satélite Landsat 5, 220/077).

As imagens geradas pelo cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI) amenizou os efeitos do "*background*" do solo, principalmente das folhas caídas que forraram o solo, assim as imagens ficaram mais nítidas comparados com o NDVI (Figura 8 até Figura 24). No caso do Índice de Área Foliar – IAF teve uma resposta ainda mais refinada quando comparado com os dados de campo, principalmente comparando as fenologias como densidade de copa pré-troca foliar, desfolha e reenfolha. Enquanto o NDVI foi estimado com intervalos entre 0,3 a 0,9 (Figura 10), o SAVI teve uma estimativa de valores entre 0,1 a 0,7 (Figura 11) e o IAF obteve valores entre 0,0 e 3,0 (Figura 12). Os valores estimados também tiveram alterações comparadas entre os clones.

O clone RRIM 600 apresentou baixos valores em todos os índices, comparado com os outros clones considerados suscetíveis como o IAN 873, IAN 717 e Fx 3864 (Figura 10, Figura 11 e Figura 12). Na data de 20/05/1990 quando os clones estavam com alta densidade de copa pré-troca foliar, ou seja, as seringueiras estavam próximas do inicio do período de desfolha, o clone RRIM 600 já estava com baixo valor dos índices, comparando estes dados com Sambugaro (2007), ficou evidenciado que o clone sofreu com uma epidemia de mal das folhas nos anos anteriores (1988 e 1989), assim não conseguiu se recuperar com uma reenfolha adequada.

No próximo ano, 1991, o clone RRIM 600 teve uma ligeira melhora na densidade de copa verificado nas figuras Figura 10 aFigura 12, na data 20/03/1991. Onde que o clone se aproximou dos valores dos outros 5 clones do estudo, mesmo enfrentando a doença do mal das folhas neste ano, data 23/05/1991, mas com menos intensidade conforme Sambugaro (2007). Porém na data de 10/07/1991, época de desfolha, o clone RRIM 600 foi o que perdeu mais folhas, mas também o que melhor recuperou na reenfolha na data 14/10/1991 e observado no ano seguinte nas datas 02/01/1992 até 10/04/1993, momento em que o clone conseguiu se igualar aos demais clones, isso devido às condições ambientais do ano de 1992 não ter sido favorável ao *M. ulei*, tendo baixa ou nenhuma contaminação pelo patógeno, dando a possibilidade dos clones de recuperarem anos anteriores com alto índice de doença.

Nas datas 05/06/1990, 10/07/1991 e 12/05/1993, mostra o momento de troca foliar realizado pelas seringueiras, época de baixa pluviosidade e queda na temperatura, observado na Figura 7, capturado pelas imagens de satélite. O clone IAN 873 é considerado suscetível ao *M. ulei* quando testado em condições controladas (JUNQUEIRA et al. 1986; BEVENUTO et al., 2017). Porém em condições naturais este clone torna-se resistente, pois tem capacidade de evitar a doença do mal das folhas no tempo (MENTEN, 1990; FURTADO 1990; FURTADO et al. 2008), evidenciado nas datas 12/05/1993, 15/07/1993 e 03/10/1993, quando o clone IAN

873 ao desfolhar num primeiro momento continua sua desfolha, mesmo o ambiente (pluviosidade) ficando adequado para o período de reenfolha, os outros clones efetuaram a reenfolha neste período enquanto que o clone IAN 873 manteve sua desfolha. Este processo verificado no clone IAN 873 denominado de evitação ou evasão no tempo (MENTEN, 1990; FURTADO et al. 2008), também foi observado no clone RRIM 600 neste mesmo período. Observando a data de 03/10/1993, os clones IAN 873 e RRIM 600 começaram a reenfolhar, enquanto os demais clones perderam mais folhas. Este mês também verificou-se uma diminuição da pluviosidade (Figura 7), colaborando com essa desfolha fora de época verificada nos clones IAN 717, Fx 3864, Fx 2261 e Fx 3844.

Quando analisado o efeito dos clones e índices de vegetação nos pixels da imagem, houve interação estatística significativa.

Na fenologia de desfolha (Tabela 2), comparando o índice por cada clone, o NDVI não conseguiu separar nenhum dos clones em grupos diferentes, formando somente um grupo, não diferindo estatisticamente. No SAVI foi possível verificar uma divisão em dois grupos: um grupo maior com os clones Fx 2261, Fx 3844, Fx 3864, IAN 717 e IAN 873; e outro grupo com somente o clone RRIM 600. Porém quando analisado o índice do IAF, este separou estatisticamente em três grupos distintos, mostrando uma maior sensibilidade para a desfolha: grupo 1 com os clones Fx 2261 e Fx 3844, que são clones considerados resistentes ao mal das folhas e com período de queda foliar menor que os outros clones (PEREIRA, 1988; MENTEN, 1990; SAMBUGARO, 2007; FURTADO et al., 2008); grupo 2 com os clones Fx 3864, IAN 717 e IAN 873, clones suscetíveis e com troca de folhas irregulares (SAMBUGARO, 2007), exceto o clone IAN 873 que apresenta troca de folhas compacta (FURTADO, 1990) e o grupo 3 com somente um clone o RRIM 600, sendo o mais suscetível dos clones estudado, com alta incidência do mal das folhas e maior duração no período de queda de folhas.

Tabela 2 – Média dos índices (NDVI, SAVI e IAF) por pixel de imagens do satélite Landsat 5 em plantios de seringueiras na região do Vale do Ribeira, no estágio fenológico de desfolha, segundo clones e índices. Erro padrão da média entre parêntesis.

Clones	**Índices**					
	NDVI		**SAVI**		**IAF**	
FX2261	0,7003 (0,0100)	b A	0,4568 (0,0114)	c A	1,0446 (0,0593)	a A
FX3844	0,6964 (0,0083)	b A	0,4563 (0,0088)	c A	1,0458 (0,0409)	a A
FX3864	0,7226 (0,0065)	a A	0,4427 (0,0093)	b A	0,7012 (0,0566)	a B
IAN717	0,7178 (0,0075)	a A	0,4121 (0,0140)	b A	0,6234 (0,1019)	a B
IAN873	0,6575 (0,0105)	a A	0,3473 (0,0155)	b A	0,5584 (0,0542)	a B
RIMM600	0,5386 (0,0140)	a A	0,2310 (0,0142)	b B	0,2806 (0,0462)	b C

Médias seguidas de mesma letra minúsculas nas linhas ou maiúsculas colunas não diferem significativamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey-Kramer (WESTFALL et al., 1999).

Quando comparado o clone por cada índice (Tabela 2), temos diferenças significativas nos três índices os clones Fx 2261 e Fx 3844, separando em três grupos. Os clones Fx 3864, IAN 717 e IAN 873, não teve diferenciação significativa os índices NDVI do IAF, mostrando que os índices para estes clones não possuíam diferenciação estatística nas imagens de satélites, porém estes dois índices diferenciaram do SAVI. O clone RRIM 600 quando comparado por cada índice, diferenciou em dois grupos: um grupo com o índice do NDVI e outro grupo com os índices SAVI e IAF, mostrando que o RRIM 600 não diferenciou significativamente estes índices quanto às imagens de satélite.

Os indicadores do ajuste do modelo tiveram 1,0529 de desvio por grau de liberdade (*Scaled Deviance*) e o gráfico de resíduo demonstrado na Figura 25, tendo um bom ajuste.

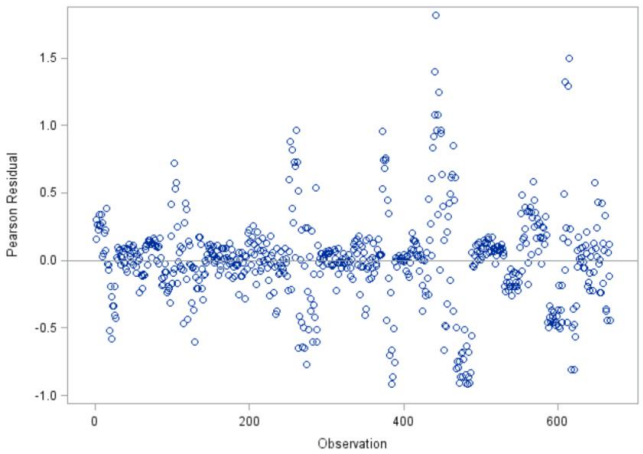


Figura 25 – Resíduo do modelo utilizado e calculado no estágio fenológico de desfolha.

A fenologia de reenfolha (Tabela 3), comparando os índices pelos clones, os índices NDVI e SAVI não houve diferença estatística significativa consequentemente não separou nenhum dos clones em grupos, formando somente um grupo. Quando analisado o índice do IAF, diferiu significativamente em dois grupos, sendo o único índice com sensibilidade para a reenfolha, fenologia importante para a seringueira: grupo 1 com um único clone, o Fx 2261, clone resistente ao mal das folhas e reenfolha em período desfavorável ao fungo, sendo chamado de evitação ou evasão no tempo (MENTEN, 1990 FURTADO et al., 2016); o grupo 2 com os demais clones Fx 3844, Fx 3864, IAN 717, IAN 873 e RRIM 600, sendo o clone Fx 3844 resistente e IAN 873 utiliza a evitação no tempo como resistência ao mal das folhas, além destes clones possuírem troca foliar compacta. Os clones Fx 3864, IAN 717 e RRIM 600 suscetíveis e com troca de folhas irregulares com incidência do mal das folhas em folíolos jovens (SAMBUGARO, 2007).

Tabela 3 – Média de índices (NDVI, SAVI e IAF) por pixel de imagens de satélite Landsat 5 em plantios de Seringueiras na região do Vale do Ribeira no estágio fenológico da reenfolha, segundo clones e índices. Erro padrão da média entre parêntesis.

Clones	Índices					
	NDVI		SAVI		IAF	
FX2261	0,6870 (0,0263)	b A	0,4784 (0,0239)	c A	1,3530 (0,1512)	a A
FX3844	0,6441 (0,0134)	b A	0,4446 (0,0123)	c A	0,9726 (0,0558)	a B
FX3864	0,6697 (0,0176)	b A	0,4382 (0,0153)	c A	0,9865 (0,0700)	a B
IAN717	0,6848 (0,0211)	a A	0,4331 (0,0176)	b A	0,9230 (0,0917)	a B
IAN873	0,6663 (0,0141)	b A	0,4206 (0,0115)	c A	0,9349 (0,0513)	a B
RIMM600	0,6220 (0,0144)	a A	0,3778 (0,0296)	b A	0,8006 (0,0387)	a B

Médias seguidas de mesma letra minúsculas nas linhas ou maiúsculas colunas não diferem significativamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey-Kramer (WESTFALL et al., 1999).

Comparado o clone por cada índice (Tabela 3), temos diferença estatística significativas nos três índices os clones Fx 2261, Fx 3844, Fx3864 e IAN 873, separando em três grupos. Já os clones IAN 717 e RRIM 600, não diferiu significativa entre os índices NDVI e IAF, porém estes dois índices diferenciaram do SAVI. Sambugaro (2007) confirmou que estes clones IAN 717 e RRIM 600 tiveram maior incidência do mal das folhas ao longo do estudo, sabendo que o *M. ulei* ataca folíolos jovens de até 21 dias após o brotamento, fica evidente que estes dois clones se portem da mesma maneira ao separar os índices para a reenfolha.

Os indicadores do ajuste do modelo do desvio por grau de liberdade (*Scaled Deviance*) foi de 1,0545 e o gráfico de resíduo demonstrado na Figura 26, tendo um bom ajuste.

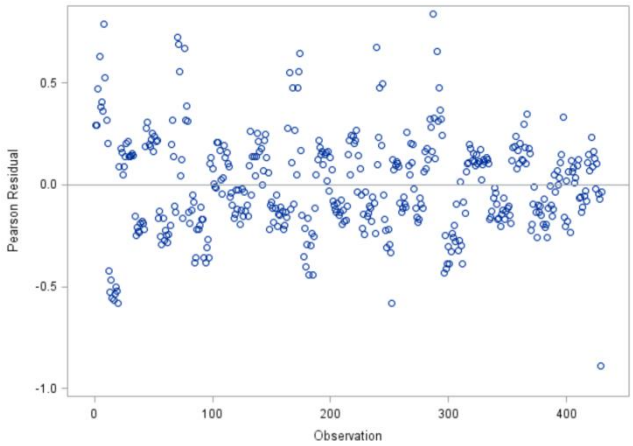


Figura 26 – Resíduo do modelo utilizado e calculado no estágio fenológico de reenfolha.

A fenologia de densidade de copa (Tabela 4), ao comparar os índices pelos clones, o índice NDVI não houve diferença estatística significativa consequentemente não separou nenhum dos clones em grupos. O SAVI diferiu significativamente em dois grupos, primeiro tendo os clones Fx 2261, Fx 3844, Fx 3864, IAN 717 e IAN 873 em um grupo e o clone RRIM 600 em outro separadamente, isso mostra que o clone RRIM 600 diferiu estatisticamente de todos os clones, possivelmente por sua suscetibilidade ao *M. ulei*, portanto apresenta a doença mesmo em época de densidade de copa máximo da seringueira.

Tabela 4 – Média de índices (NDVI, SAVI e IAF) por pixel de imagens de satélite Landsat 5 em plantios de Seringueiras na região do Vale do Ribeira no estágio fenológico de densidade de copa, segundo clones e índices. Erro padrão da média entre parêntesis.

Clones	**Índices**					
	NDVI		**SAVI**		**IAF**	
FX2261	0,7595 (0,0061)	b A	0,5337 (0,0061)	c A	1,6190 (0,0773)	a A
FX3844	0,7224 (0,0062)	b A	0,5172 (0,0059)	c A	1,5061 (0,0459)	a A
FX3864	0,7266 (0,0062)	b A	0,4700 (0,0071)	c A	1,1588 (0,0427)	a B
IAN717	0,7526 (0,0076)	b A	0,4964 (0,0078)	c A	1,2521 (0,0612)	a B
IAN873	0,7455 (0,0048)	b A	0,4854 (0,0056)	c A	1,2407 (0,0320)	a B
RIMM600	0,7056 (0,0072)	b A	0,4120 (0,0123)	c B	0,9078 (0,0447)	a C

Médias seguidas de mesma letra minúsculas nas linhas ou maiúsculas colunas não diferem significativamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey-Kramer (WESTFALL et al., 1999).

Analisado o índice do IAF, mostra que diferiu significativamente em três grupos, sendo o índice com maior sensibilidade para a densidade de copa: grupo 1 com clones o Fx 2261 e Fx 3844, clones com troca de folhas uniforme e com período de queda menor, sendo assim, possui mais folhas e densidade de copa máximo ao analisar as imagens de satélite; o grupo 2 com os clones Fx 3864, IAN 717 e IAN 873, tendo os clones Fx 3864 e IAN 717 apresentando incidência do mal das folhas tanto em folíolos jovens quanto em folhas mais velhas (SAMBUGARO, 2007; FURTADO et al., 2008), isso devido a troca de folhas irregulares. O grupo 3 formado somente pelo clone RRIM 600, altamente suscetível e apresentando maior incidência do mal das folhas, duração da queda de folhas e quantidade de folhas caídas, mesmo apresentando troca de folhas uniformemente (FURTADO, 1990; SAMBUGARO, 2007). O RRIM 600 pode ter sofrido com o *M. ulei* durante os anos de estudo, portanto sempre estava atrás quando efetuava a troca de folhas tendo um baixo desempenho ao analisar densidade de copa por intermédio das imagens de satélite.

Comparado o clone por cada índice (Tabela 4), possui diferença estatística significativa nos três índices todos os clones Fx 2261, Fx 3844, Fx3864 e IAN 873, IAN 717 e RRIM 600 separando os índices em três grupos, mostrando diferença nas imagens de satélite quando verifica densidade de copa das plantas.

Os indicadores do ajuste do modelo do desvio por grau de liberdade (*Scaled Deviance*) foi de 1,0183 e o gráfico de resíduo demonstrado na Figura 27, tendo um bom ajuste.

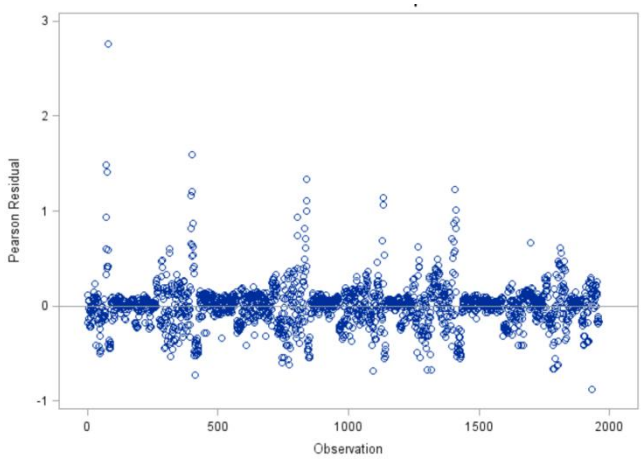
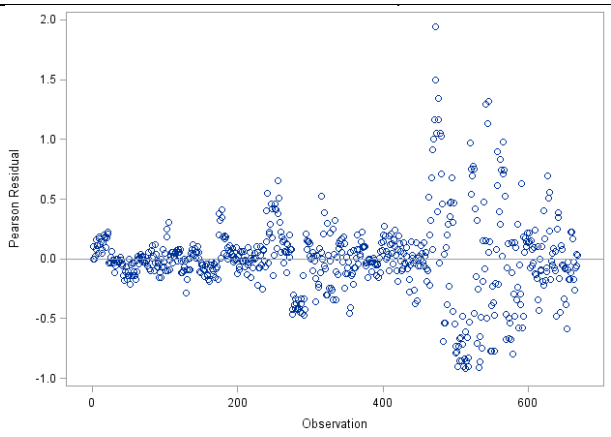
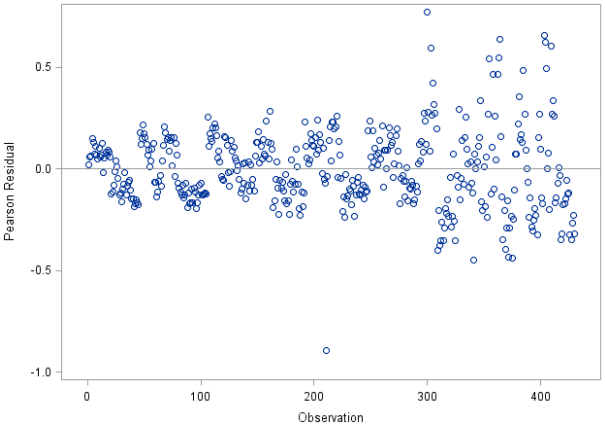
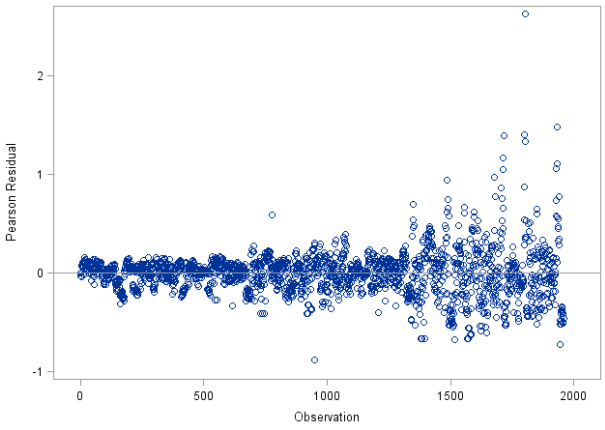


Figura 27 – Resíduo do modelo utilizado e calculado no estágio fenológico de densidade de copa.

As Tabelas 2, 3 e 4 mostram por meio das imagens de satélites uma correlação com o que é observado no ambiente, evidenciado uma separação dos clones Fx 2261 e Fx 3844

considerados resistentes, dos clones RRIM 600, Fx 3864, IAN 717 e IAN 873 considerados suscetíveis às raças do *M. ulei* encontrados na região do Vale do Ribeira, corroborando com Bevenuto et al. (2017).

Tabela 5 – Qualidade do ajuste do modelo das imagens de satélite em plantios de Seringueiras na região do Vale do Ribeira nos estágios fenológico de desfolha, reenfolha e densidade de copa, segundo clones e índices com as covariáveis de campo folhas caídas totais e folhas caídas doentes.

	Desvios por Grau de Liberdade	**AICC**	**Gráfico dos Resíduos**
Desfolha	1,0548 (1,0529)	-303,3759 (-168,3101)	
Reenfolha	1,0557 (1,0545)	-512,4613 (-317,5433)	
Densidade de copa	1,0188 (1,0183)	-1355,9228 (-1230,9163)	

Em parênteses a qualidade do ajuste sem as covariáveis de campo, folhas caídas totais e folhas caídas doentes.

A comparação entre esses modelos com e sem folhas caídas totais e folhas caídas doentes, apresentou melhor ajuste do Akaike corrigido – AICC do modelo com as covariáveis de campo, folhas caídas totais e folhas caídas doentes (Tabela 5) tendo a desfolha o AICC no valor de -303,3759 enquanto que sem as covariáveis de campo o AICC ficou com -168,3101. A fenologia da reenfolha teve AICC de -512,4613 e sem as covariáveis com valor de -317,5433. Densidade de copa ficou com o AICC de -1355,9228 com as covariáveis de campo enquanto que sem as covariáveis ficou com -1230,9163.

O AICC foi menor quando acrescentados as covariáveis de campo, folhas caídas totais e folhas caídas doentes, em todas as fenologias e foi significativa, houve efeito da interação índice x clone $p<0,001$. Exceto na fenologia da desfolha, onde que a covariável folhas caídas doentes não apresentou efeito de interação $p = 0,1938$.

A qualidade dos ajustes dos modelos foi muito boa para os modelos com e sem as covariáveis de campo, sendo melhor quando acrescentado os dados de campo (Tabela 5). Os desvios por graus de liberdade (*scale deviance*) – cujos valores próximos da unidade revelam bom ajuste e da análise dos resíduos foram para a desfolha de 1,0548 com as covariáveis e de 1,0529 sem as covariáveis de folhas caídas totais e folhas caídas doentes. Para a reenfolha o desvio por grau de liberdade foi de 1,0548 com as covariáveis e 1,0545 sem as covariáveis. A fenologia densidade de copa obteve valores de 1,0188 quando ajustado com as covariáveis de campo e 1,0183 sem os dados de campo no ajuste.

A análise das imagens de satélite por meio do sensoriamento remoto obteve bons ajustes dos modelos estatísticos, isto significa que somente com as imagens pode-se identificar se o plantio está doente ou com queda foliar natural, porém quando acrescentados os dados de campo, isto é quantidade de folhas caídas, o ajuste foi melhor, mostrando a importância do trabalho de campo para coleta e análises destes dados, juntos com o sensoriamento remoto utilizado.

A correlação de Spearman mostrou-se significativa entre os índices através dos valores dos pixels $p<0,001$ (Tabela 6). Porém mesmo com estás interações das equações, a porcentagem apresentada entre estas interações foi baixa em todas as fenologias. Na desfolha do IAF com o NADVI foi de 28,12% e IAF com SAVI de 52,83%, já entre NDVI e SAVI a interação foi de 57,18%. A fenologia reenfolha obteve interação de 45,87% entre IAF e NDVI e 68,01% entre IAF e SAVI, já na interação entre NDVI e SAVI ficou com 66,46%. Enquanto que densidade de copa apresentou 15,62% entre os índices IAF e NDVI, 23,61% entre IAF e SAVI e 12,29% entre NDVI e SAVI, sendo a fenologia que apresentou menor porcentagem entre as correlações dos índices.

Tabela 6 – Correlações significativas entre os índices mediante dos valores dos pixels. Desvio por grau de liberdade entre parêntesis.

Fenologia		IAF	NDVI	SAVI
Desfolha	**IAF**	1,0	*	*
	NDVI	0,2812 (<0,001)	1,0	*
	SAVI	0,5283 (<0,001)	0,5718 (<0,001)	1,0
Reenfolha	**IAF**	1,0	*	*
	NDVI	0,4587 (<0,001)	1,0	*
	SAVI	0,6801 (<0,001)	0,6646 (<0,001)	1,0
Densidade de copa	**IAF**	1,0	*	*
	NDVI	0,1562 (<0,001)	1,0	*
	SAVI	0,2361 (<0,001)	0,1229 (0,0012)	1,0

Observou que está interação pode ser devido às formulas dos índices serem parecidas ou até mesmo utilizando partes dos índices de estudo, como a equação do IAF que utiliza o resultado do SAVI (Equação 3). Estes índices apresentam maior porcentagem quando comparados.

6 CONCLUSÃO

- As ferramentas de sensoriamento remoto são aplicáveis para medidas de epidemia do mal das folhas e para fenologia da seringueira em diferentes clones.
- Recorrendo aos índices de vegetação SAVI e IAF foram possíveis quantificar o efeito deciduifólio natural ou da queda das folhas provocada pelo mal das folhas, corroborando com os dados de campo.
- Verificaram-se por meio dos índices SAVI e IAF os períodos de troca de folhas natural da seringueira.
- Houve interação estatística significativa sobre o efeito dos clones, quanto a sua fenologia e índices de vegetação, nos pixels da imagem.
- Ocorreu bom ajuste dos modelos dos índices com as imagens de satélites e as covariáveis dos dados de campo.
- A correlação de Spearman mostrou-se significativa entre os índices através dos valores médios por pixel.
- O IAF mostrou-se como melhor índice para identificar queda foliar natural ou folhas doentes pelo *M. ulei*.
- IAF demonstrou ser o índice mais sensível para plantio de seringueira.
- Os meses de junho e julho foram os que verificaram melhor a desfolha.

REFERÊNCIAS

AGRIOS, G.N. **Plant Pathology.** 5ª ed. San Diego: Academic Press, 2005. 948p.

ALLEN, R. G. et al. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land).** Advance Training and Users Manual–Idaho Implementation, version, v. 1, 2002. 97p.

ANTUNES, M.A.H.; GLERIANI, J.M.; DEBIASI, P. Atmospheric effects on vegetation índices of TM and ETM+ images from a tropical region using the 6S model. **In: Proceedings of the IEEE IGARSS2012,** Munich, p.6549-6552, 2012.

BERGAMIN FILHO, A.; CARDOSO, C.O.N. Doenças da seringueira. In: GALLI, F. **Manual de fitopatologia:** doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Agronômica Ceres, v.2, cap.32, p.459-471, 1980.

BERGAMIN FILHO, A. Alternativas para o controle do mal das folhas da seringueira: uma revisão. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v.8, n.3,4, p.65-74, 1982.

BERGAMIN FILHO, A; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1996. 299p.

BERGAMIN FILHO, A; AMORIM, L. Epidemiologia comparativa entre os patossistemas temperado e tropical: conseqüências para a resistência a fungicidas. **Fitopatologia Brasileira**, n.26, p.119-127, 2001.

BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L**. Manual de fitopatologia:** princípios e conceitos**.** 4rd ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 2011. 907p. 1v.

BERNARDES, M.S.; BATISTA, A.L.R.; SALIM, F.A.; SILVA, J.A.; SOBRINHO, M.M.A; ARAUJO, R.K.P.; CONCEIÇÃO, J.A.; GUDES, R.A.; TOGNERI, E.B.; BRUMMER, B.A.; CARVALHO, A.A.S.; BARBOSA, P.R.R.; SANTOS, G.F.; QUEIROZ, L.M.; SOUZA, A.R. Subsídios para a recomendação de clones de seringueira para o Sul da Bahia. In: Seminário de Recomendação de Clones de Seringueira, Brasília. **Anais.** MIC/SUDHEVEA, p.113-139, 1983.

BEVENUTO, J.A.Z; PASSOS, J.R.S, FURTADO, E.L. *Microcyclus ulei* races in Brazil. **Summa Phytopathol.** v.43 n.4, p.326-336, 2017.

BOZDOGAN, H. Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. **Psychometrica.** n.52, p.345-370, 1987.

CHEE, K.H. Factors affecting discharge, germination and viability of spores of *Microcyclus ulei.* **Transactions of the British Mycological Socety,** v.66, p.499-504, 1976.

CHEE, K.H.; HOLLIDAY, P. South American leaf blight of *Hevea* rubber. Kuala Lampur. **Malaysian Rubber Research and Development Board.** Monograph 13, 1986.

CORDEIRO, E.R.; MORAIS, L.A.C.; MOREIRA, A.; MORAES, V.H.F. Parâmetros genéticos para a produção de borracha em clones de copa de seringueira na Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, Búzios. **Anais...** Campos:SBMP, 2011.

DALLA NORA, E.L. SANTOS, J.E. Análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma mata atlântica com base em índices de vegetação. **Perspectiva**, Erechim. v.34, n.125, p.41-51, 2010.

DUNHAM, R.J.; SILVA, E.R.; SANTOS, A.G. Comportamento dos clones de seringueira e novos materiais para futuros plantios na Fazenda Três Pancadas – Ituberá e Camamu/BA. In: Seminário de Recomendação de Clones de Seringueira, Brasília. **Anais:** MIC/SUDHEVEA, p.65-88, 1983.

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

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

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.

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

FERREIRA, F.A. **Patologia Florestal**: Principais doenças no Brasil. SIF, Viçosa-MG, 1989.

FERRI, P.C.; FormaggioI, A.R; Schiavinato, M.A. Narrow band spectral indexes for chlorophyll determination in soybean canopies [*Glycine max* (L.) Merril]. **Braz. J. Plant Physiology,** v.1, n.3, p.131-136, 2004.

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

FURTADO, E.L. **Comportamento decíduo da seringueira (*Hevea* spp.) e quantificação do mal das folhas causado por *Microcyclus ulei* (P. Henn)v. Arx.** 1990. 82f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba: 1990.

FURTADO, E.L.; MENTEN, J.O.M.; PASSOS, J.R. Intensidade do mal das folhas em plantas jovens e adultas de seis clones de seringueira na região do Vale do Ribeira**. Tropical plant pathological**, Brasília, v.33, n.2, 2008.

FURTADO, E.L.; GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J.C.R. Doenças da seringueira. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia:** doenças de plantas cultivadas (volume 2). 5.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.647-656, 2016.

GASPAROTTO, L.; TRINDADE, D.R.; LIEBEREI, R. Sistemas de avaliação da incidência da mancha areolada (*Thanatephorus cucumeris*) em seringueira. **Fitopatologia Brasileira,** v.3, p.349-357, 1982

GASPAROTTO, L.; TRINDADE, D.R.; SILVIA, H.M. **Doenças da Seringueira.** Manaus: CNPSD-EMBRAPA, p.1-71, 1984. (Circular Técnica, 4).

GASPAROTTO, L.; FERREIRA, F.A. Mal das folhas da seringueira. **Patologia**, 1989.

GASPAROTTO, L.; ZAMBOLIM, L.; MAFFIA, L.A.; RIBEIRO DO VALE, F.X.; JUNQUEIRA, N.T.V. Efeito da temperatura e da umidade sobre a infecção da seringueira por *Microcyclus ulei*. **Fitopatologia Brasileira**, v.14, n.1, p.38-41, 1989.

GASPAROTTO, L.; JUNQUEIRA, N.T.V. Ecophysiological variability of *Microcyclus ulei* causal agent of rubber tree leaf blight. **Fitopatologia Brasileira,** v.19, n.1, p.22-28, 1991.

GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J.C.R. **Doenças da seringueira no Brasil.** 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 255p.

GBUR, E.E.; STROUP, W.W.; MCCARTER, K.S.; DURHAM, S.; YOUNG, L.J.; CHRISTMAN, M.; WEST, M.; KRAMER, M. **Analysis of Generalized Linear Mixed Models in the Agricultural and Natural Resources Science.** American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Crop Science Society of America. Madson, Winconsin-USA, 2012. 283p.

GONÇALVES, P.S.; PAIVA, J.R.; SOUZA, R.A. **Retrospectiva e atualidade no melhoramento genético da seringueira (*Hevea* spp.) no Brasil e em países asiáticos.** Manaus: EMBRAPA/CNPSD, 1983. 69p.

GONÇALVES, P.S.; CARDOSO, M.; ORTOLANI, A.A. Origem, variabilidade e domesticação da Hevea: uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.2, p.135-156, 1990.

GONÇALVES, P.S.; CARDOSO, M.; BOAVENTURA, M.A.M; COLOMBO, C.A.; ORTOLANI, A. Clones de hevea: Influência dos fatores ambientais na produção e recomendação para o plantio. **IAC/CPA/SAESP.** Campinas, 1991. 32p. (IAC/CPA/SAESP. Boletim Técnico, 138).

GONÇALVES, P.S.; MARQUES, J.R.B. Melhoramento Genético da Seringueira: passado, presente e futuro. In: ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F.S. (eds). **Seringueira**. Viçosa: Epamig. p.401-407, 2008.

GOUVÊA, L.R.L.; RUBIANO, L.B.; CHIORATTO, A.F.; ZUCHI, MI; GONÇALVES, P.S. Genetic divergence of rubber tree estimated by multivariate techniques and microsatellite markers. **Genetics and Molecular Biology**, v.33, n.2, p.308-318, 2010.

GÜRTLER, S.; EPIPHANIO, J.C.N; LUIZ, A.J.B., FORMAGGIO, A.R. 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.

HOLLIDAY, P. **Fungus diseases of tropical crops.** Cambridge: Cambridge University Press, 1980. 607p.

HUETE, A.R.A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment.** v.25, n.3, p.205-309, 1988.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal:** culturas temporárias e permanentes. v.42, p.1-57, 2015. ISSN 0101-3963

IGNÁCIO, C.F.; RODRIGUES, C.A.G; GARÇON, E.A.M.; FURTADO, A.L.S.; TÔSTO, S.G. Índices de vegetação em seringais, outras culturas arbóreas e remanescentes florestais no noroeste do estado de São Paulo. **9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica** – Campinas, São Paulo, 2015.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2016. Disponível em: http://www.inpe.br. Acesso em: 18 out. 2016.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres.** Traduação de Epiphanio, J.C.N. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Sciennce) Traduzido de: Remote Sensing of the environment: na earth resource perspective.

JUNQUEIRA, N.T.V.; CHAVES, G.M.; ZAMBOLIM, L.; ROMEIRO, R.S.; GASPAROTTO, L. Isolamento, cultivo e esporulação de *Microcyclus ulei*, agente etiológico do mal-das- folhas da seringueira. **R. Ceres**, v.31, p.322-331, 1984.

JUNQUEIRA, N.T.V.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G.M.. Resistência de clones de seringueira ao mal-das-folhas. **Informe Agropecuário,** Belo Horizonte, v.11, n.121, p.42-44, 1985.

JUNQUEIRA, N.T.V.; CHAVES, G.M.; ZAMBOLIM, L.; GASPAROTTO, L.; ALFENAS, A.C. Variabilidade fisiológica de *Microcyclus ulei*. **Fitopatologia Brasileira**. v. 11, p. 823-833. 1986.

JUNQUEIRA, N.T.V.; GASPAROTTO, L. Controle biológico de fungo estromáticos causadores de doenças foliares em seringueira. In: BETTIOL, W. **Controle biológico de doenças de plantas.** Jaguariúna:Embrapa-CNPDA, p.307-331, 1991.

KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.S.; FERRAZ, P.A.; FURTADO, E.L.; SOUZA, A.D.; SEBBENN, A.M. Ganhos na seleção para a produtividade de látex em população natural de Hevea brasiliensis na Reserva Chico Mendes: estudo de caso das IAPs (Ilhas de alta produtividade). **Scientia Forestalis,** n.61, p.79-85, 2002.

LANGFORD, M.H. **South American leaf bligth of *Hevea rubber* tree.** Washington: USDA, 1945. (USDA. Technical Bulletin, 882).

LECKIE, D.; CLONEY, E.; JOYCE, S. Automated detection and mapping of crown discolouration caused by jack pine budworm with 2.5m resolution multispectral imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** v.1, n.7, p.61-77, 2005.

LIESENBERG, V., PONZONI, F.J, GALVÃO, L.S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores modis/terra e aqua. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.2, p.295-305, 2007.

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. **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,** Florianópolis, Brasil, INPE, 2007. Disponível em: http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.55/doc/947-952.pdf

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3 ed. Nova Odessa: Ed. Plantarum, 2008. 384p.

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

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Balança comercial brasileira:** janeiro-dezembro, 2015. Disponível em: http://www.mdic.gov.br. Acesso em: 30 ago. 2016.

MENTEN, J.O.M. Evitação: forma de defesa das plantas contra patógenos que deve ser melhor compreendida e explorada. **Summa Phytopathologica.** v.16, p.77-83, 1990.

MORAES, V.H.F. **Fisiologia:** parte 1. Belém: FCAP, 1980. 51p.

MORAES, V.H.F. **Sugestões para uniformização da metodologia de estudo da fenologia foliar da seringueira.** Manaus AM. EMBRAPA. Documentos, 1982.

MORAES, V.H.F.; MORAES, L.A.C. Desempenho de clones de copa de seringueiras resistentes ao mal-das-folhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.852-858, 2008.

MORAES, L.A.C. **Cianogênese e estado nutricional na seleção de clones de copa de seringueira resistente ao mal-das-folhas.** 2010. 85f. Tese de Doutorado em Ciências – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3ª ed. atual. ampl. Viçosa: UFV, 2007. 320p.

MOSKAL, L.M.; FRANKLIN, S.E. Relationship between airborne multispectral image texture and aspen defoliation. **International Journal of Remote Sensing,** v.1, n.25, p.2701-2711, 2004.

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society Series A,** v.135, n.3, p.370–384, 1972.

NOVO, E.M.L.M. **Sensariomento Remoto:** princípios e aplicações. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 308p.

ORTOLANI, A.A.; PEDRO JÚNIOR, M.J; ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O. Aptidão climática para regionalização da heveicultura no Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO PARA RECOMENDAÇÃO DE CLONES DE SERINGUEIRA, 1983, Brasília. **Anais...** Brasília, p.19-28, 1983.

PAIVA, J.R.; KALIL FILHO, A.N. Melhoramento genético de seringueira. I**nforme Agropecuário,** Belo Horizonte, v.11, n.121, p.52-58, 1985.

PAIVA, J.R.; GONÇALVES, P.S. Eficiência do programa de melhoramento da seringueira no Centro Nacional de Pesquisa de Seringueira e Dendê: nove anos de experiências. Manaus: **EMBRAPA/CNPSD**, 1989. 41p.

PANDYA, M.R.; SINGH, R.P.; MURALI, K.R. 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**, v.40, n.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. 43p.

PARLEVILIET, J.E. Breeding for resistance against diseases and pests. In: INTERNATIONAL COURSE ON APPLIED PLANT BREEDING, 1981, Netherlands. **Proceedings...** Netherlands, p.1-41, 1981.

PERALTA, A.M.; FURTADO, E.L.; AMORIM, L.; MENTEN, J.O.M.; BERGAMIN FILHO, A. Melhoramento para resistência ao mal das folhas da seringueira: revisão. **Summa Phytopathologica**. v.16, p.214-224, 1990.

PEREIRA, R.E.A. **Formas de defesa da seringueira (*Hevea* spp.) contra *Microcyclus ulei* (P. Henn.)v. Arx.** 1988. 67p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

PEREIRA, J.C.R. Efeito sinérgico de zinco e potássio associado a fungicida no controle do mal das folhas (*Microcyclus ulei*) da seringueira (*Hevea* spp.). **Fitopatologia Brasileira,** v.17, n.4, p.368-372, 1992.

PEREIRA, J.C.R. Avaliação do polvilhamento de fungicida no controle de doenças foliares de seringueira. **Agrotrópica**, v.5, n.2, p.37-42, 1993.

PEZZONI FILHO, J.C. **Dinâmica espaço-temporal da ocorrência de nematoides em seringueira.** 2014. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

PINHEIRO, F.S.V. Melhoramento genético da seringueira. **In: Curso de Especialização em Heveicultura.** Belém, SUDHEVEA/FCAP, 1985, 63p.

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

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

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2010, 136p.

RANDS, R.D. **South American leaf disease of rubber.** Washington, DC:USDA, 1924. 19p. (USDA. Bulletin, 1286)

REIKE, X.; JONES, X. .Integrating vegetation field surveys with remotely sensed data. **Ecological Management and Restoration,** v.1, n.7, p.518-523, 2006.

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

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL J. A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, D.C., 1973. **Proceedings.** Washington, D.C.: NASA. Goddart Space Flight Center, 1973. v.1, p.309-317. (NASA SP-351).

RODRIGUES, J.M. Características para avaliação de clones no seringal Tira-teima. In: Seminário Brasileiro sobre recomendação de Clones de Seringueira. **Anais.** Brasília, SUDHEVEA. p.29-37, 1983.

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

SAMBUGARO, R.; FURTADO, E.L.; RODELLA, R.A.; MATTOS, C.R.R. Anatomia foliar de seringueira (*Hevea* spp.) e desenvolvimento da infecção por *Microcyclus ulei*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.30, n.1, p.51-56, 2004.

SAMBUGARO, R. **Estágios foliares, fenologia da seringueira (*Hevea* spp.) e interação com *Microcyclus ulei* (mal das folhas)** 2007. 97 f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

SANTOS JUNIOR, R.F.; SANTOS, J.M.; RUDORFF, B.F.T.; MARCHIORATO, I.A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia Brasileira,** v.1, n.27, p.355-360, 2002.

SANTIAGO, M.M., SILVA, H.A, GALVINCIO, J.D., OLIVEIRA, T.H. Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno da Barragem do Botafogo-PE. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE, p.3003-3009, 2009.

SAS – Statistical Analysis System Institute. SAS, Version 9.2. **SAS Institute**, Cary, North Carolina, USA, 2012.

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

SHIMABUKURO, Y.E.; YI, J.L.R.; DUARTE, V. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso através de imagens NOAA-AVHRR.** São José dos Campos, SP. INPE, 1999.

SILVEIRA, A.P.; FURTADO, E.L. **Doenças da seringueira no Estado de São Paulo.** São Paulo: Instituto Biológico, 1995. 30p. (Boletim Técnico, 7).

SOARES, V.P.; GUIMARÃES, W.D.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, A.S. 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.

SOARES, N.S., SILVA, M.L., VALVERDE, S.R., ALVES, R.R., SANTOS, F. L. Análise Econômica da demanda brasileira de importação de borracha natural, de 1964 a 2005. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.6, p 1133-1142, 2008.

VALE, F.X.R.R; JESUS JÚNIOR, W.C. de; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas.** Belo Horizonte: Ed. Perffil, 2004. 531p.

WASTIE, R.L. Disease of rubber and their control. **Pans**, v.21, p.268-288, 1975.

WESTFALL, P.H.; TOBIAS, R.D.; ROM, D.; WOLFINGER, R.D.; HOCHBERG, Y. **Multiple Comparisons and Multiple Tests Using the SAS System**, Cary, NC: SAS Institute Inc, 1999.

ZULLO JÚNIOR, J. Atmospheric correction of satellite images in a tropical region. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.** v.31, p.831-834, 1996.