

Trabalho de Graduação
Curso de Graduação em Geografia

**ANÁLISE DA CURVA DE CRESCIMENTO VEGETAL EM ÁREAS
AGRÍCOLAS COMO ATRIBUTO PARA CLASSIFICAÇÃO E
CARACTERIZAÇÃO DO USO DA TERRA**

Bruna Martins da Paixão

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto
Dr. Luiz Henrique Pereira

Rio Claro (SP)

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

BRUNA MARTINS DA PAIXÃO

ANÁLISE DA CURVA DE CRESCIMENTO VEGETAL EM
ÁREAS AGRÍCOLAS COMO ATRIBUTO PARA
CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO
DO USO DA TERRA

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Bacharel em
Geografia.

Rio Claro - SP

2018

P149a

Paixão, Bruna Martins da

Análise da curva de crescimento vegetal em áreas agrícolas como atributo para classificação e caracterização do uso da terra / Bruna Martins da Paixão.

-- Rio Claro, 2018

79 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

Coorientador: Luiz Henrique Pereira

1. Uso do solo e cobertura vegetal. 2. Agricultura. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Classificação de imagens. 5. Sistema de informação geográfica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

BRUNA MARTINS DA PAIXÃO

ANÁLISE DA CURVA DE CRESCIMENTO
VEGETAL EM ÁREAS AGRÍCOLAS
COMO ATRIBUTO PARA CLASSIFICAÇÃO E
CARACTERIZAÇÃO DO USO DA TERRA

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto (orientador)

Prof. Dr. Bruno Zucherato

M.Sc. Rafael Damiati Ferreira

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Bruna Martins da Paixão

Assinatura do(a) aluno(a)



assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha mãe, Raquel, por desde cedo me incentivar e me acompanhar durante os estudos, sendo sempre presente e paciente, lutando por nós durante todos os dias apesar das dificuldades encontradas no caminho. Você é uma mulher forte e guerreira a qual me espelho e me inspiro.

Aos amigos da república Santa No Soy, Rodrigo, Monique, Matheus e Felipe, sou grata por toda a parceria, que sempre envolveu apoio nos dias mais difíceis e momentos inesquecíveis nos dias felizes. Tudo ficará para sempre em minha memória, vocês são a verdadeira definição de que amigos são a família que a gente escolhe.

À Mariana Dias, por estar ao meu lado durante todo o desenvolvimento do trabalho de graduação, me apoiando, aconselhando e ajudando. Por se tornar nessa etapa tão importante minha melhor amiga para a vida toda, sendo muito especial nas memórias mais felizes vividas na graduação.

Aos colegas da Geoplan Júnior, por proporcionarem a troca de conhecimento e crescimento pessoal e profissional ao longo de três anos, abrindo portas para experiências únicas.

À empresa IDGeo e ao docente Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto, pela orientação, oportunidades e confiança, tornando possível o desenvolvimento dessa pesquisa. Agradeço especialmente ao Luiz Henrique, gestor de PD&I, pelos ensinamentos, atenção, paciência e orientações.

Aos amigos que me acompanharam durante a trajetória dos cinco anos de graduação, Ana Paula, Beatriz, Mateus Rogério, Karen, Bianca, Alexandre, Vinícius, Thaís, Daniel, Eric, Fernando, Renan e muitos outros, sou grata por tê-los conhecido e por termos compartilhado juntos um período importante de nossas vidas em Rio Claro, desde as angústias e correrias de graduação, até as festas e bons momentos vividos que só fortaleceram nossa amizade, vocês são incríveis.

RESUMO

Considerando a representatividade econômica do setor agrícola para o estado de São Paulo e a importância em propor melhorias constantes nos processos de monitoramento de uso do solo e cobertura vegetal, a presente pesquisa almejou a combinação entre dados de sensoriamento remoto e padrões temporais do crescimento vegetal. Dessa forma, foi possível a análise e caracterização de tais padrões, com a finalidade de obtenção de novos atributos, gerados através de fontes alternativas, que podem ser utilizados futuramente para uma maior otimização durante o processo de distinção entre classes, melhorando a eficiência do trabalho de classificação. Foram analisadas e caracterizadas as culturas de café, cana-de-açúcar, citrus, pomar, reflorestamento e vegetação natural em imagens orbitais de média resolução espacial da região centro-leste do estado de São Paulo a partir da abordagem multisensor orbital, o que viabilizou a modelagem da curva de crescimento da vegetação. Assim, os resultados obtidos contribuíram diretamente para a proposição de um atributo diferenciado capaz de alimentar metodologias de forma mais simples, melhorando futuramente a eficiência do mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal e viabilizando o monitoramento de extensas áreas agrícolas com maior acurácia e assertividade na estimativa das áreas e culturas mapeadas.

Palavras chave: uso do solo e cobertura vegetal. agricultura. sensoriamento remoto. classificação de imagens

ABSTRACT

Considering the economic representativeness of the agricultural sector in the state of São Paulo and the importance of proposing constant improvements in the monitoring of land use and plant cover processes, this research aimed at combining remote sensing data with temporal patterns of plant growth. In this way, it was possible to analyze and characterize these patterns, with the purpose of obtaining new attributes, generated through alternative sources, that can be used in the future for a greater optimization during the class distinction process, improving the efficiency of the classification. The coffee, sugarcane, citrus, orchard, reforestation and natural vegetation crops were analyzed and characterized through orbital medium spatial resolution images of the central-eastern region in the state of São Paulo using the orbital multisensor approach. These data were used for the growth curve of vegetation modeling. The results directly contributed to the proposal of a differentiated attribute capable of support methodologies in a simpler way, improving in the future, the efficiency of the mapping of the land use and vegetal cover and enabling the monitoring of extensive agricultural areas with greater accuracy and assertiveness in the areas and mapped cultures.

Key words: *land use and vegetation cover. agriculture. remote sensing. image classification*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. HIPÓTESE E OBJETIVOS DE PESQUISA	8
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1 Modernização agrícola e seus impactos no território brasileiro	10
3.2 Expressividade brasileira na produção de <i>commodities</i> agrícolas	12
3.3 Importância do monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal	15
3.4 Agricultura de precisão	17
3.5 Aplicações de Sensoriamento Remoto na Agricultura	18
3.6 Sistema de satélites	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Área de estudo	30
4.2 Materiais	32
4.3 Métodos	33
4.3.1 Determinação de procedimento para delimitação de tamanho de amostras para extração dos dados de índice de vegetação	36
4.3.2 Seleção das áreas amostrais	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1 Cana-de-açúcar	45
5.2 Café	48
5.3 Citrus	50
5.4 Pomar	53
5.5 Reflorestamento	55
5.6 Pastagem	57
5.7 Vegetação natural	58
5.8 Comparação entre os perfis de crescimento vegetal	62
5.9 Critérios para discriminação dos alvos agrícolas	67
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
7. SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS	72
APOIO	74
REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento e/ou mapeamento de áreas agrícolas torna-se eficiente com a utilização de dados obtidos através de satélites, pois utilizando as faixas espectrais adequadas para tais finalidades e considerando o comportamento espectral das culturas de forma integrada aos critérios temporais, é possível obter informações fundamentais para tais processos, como área plantada e outros atributos fundamentais (ROSA, 2007).

Dessa forma, torna-se essencial o conhecimento a respeito de características e comportamentos biofísicos das culturas através de dados de sensoriamento remoto, o que envolve a utilização de índices de vegetação, que são capazes de indicar dados sobre a atividade da vegetação, envolvendo, por exemplo, a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (JENSEN, 2009).

Um índice com grande potencial de aplicação no setor agrícola seria o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), pois segundo Pontes (2005), o mesmo favorece estudos sobre a dinâmica da cobertura vegetal, possibilitando um panorama a respeito das condições das plantas analisadas, servindo para estimativas de produtividade e uma série de outras aplicações que garantem a qualidade do monitoramento das culturas.

Através de uma visão integrada dos elementos anteriormente desenvolvidos, este trabalho objetiva analisar e caracterizar o padrão de perfis temporais de crescimento vegetal em áreas de café, cana-de-açúcar, citrus, pomar, reflorestamento e vegetação natural extraídos a partir de dados obtidos através de imagens Sentinel-2b, Landsat8 e da plataforma SATVeg da Embrapa para uma série temporal de 1 ano, considerando o cenário de 2017.

Assim, torna-se possível a identificação de quais culturas apresentam semelhanças e diferenças expressivas em seus valores de NDVI ao longo de seus respectivos desenvolvimentos vegetativos, evitando conflitos futuros no processo de classificação do uso e ocupação do solo.

Além disso, pretende-se o estabelecimento dos melhores períodos do ano para identificações e distinções das classes estudadas conforme seus comportamentos espectrais, gerando maior grau de confiança em mapeamentos ou monitoramentos apoiados no processo de classificação.

2 HIPÓTESE E OBJETIVOS DA PESQUISA

Considerando a temática exposta anteriormente, em que se busca otimizar um conjunto de dados disponíveis para melhorar os processos de classificação em imagens orbitais, a presente proposta parte das seguintes premissas:

a) O perfil temporal da distribuição de valores de um índice de vegetação qualquer, expressa a curva do crescimento vegetal de uma determinada parcela agrícola.

b) A dinâmica temporal do crescimento vegetal é particular para cada tipo de cultura agrícola ao longo da safra, podendo se estabelecer padrões em função da época de plantio, tempo de permanência no solo, curva de crescimento e maturação da vegetação e colheita.

Assim, assume-se como hipótese de pesquisa que a curva de crescimento vegetal, obtida a partir de séries temporais de sensoriamento remoto, é um bom critério para discriminação e identificação de diferentes alvos agrícolas.

Neste sentido, entende-se que mesmo os alvos agrícolas que apresentam similaridade espectral em suas respostas, como o café e citrus por exemplo, possam ser particularizados ao incorporar atributos temporais como critério de decisão na classificação de imagens orbitais.

Para avaliação da hipótese apresentada, define-se como objetivo principal do trabalho, caracterizar o padrão da curva de crescimento vegetal para diferentes cultivos agrícolas, e avaliar a dinâmica dos comportamentos com vistas à definição de regras para discriminação dos alvos vegetais.

Para consecução dos objetivos propostos, serão obtidos perfis temporais de índice de vegetação (NDVI) das culturas agrícolas mais expressivas economicamente no estado de São Paulo, que de acordo com o IBGE (2016), envolvem o café, cana-de-açúcar, citrus, reflorestamento, pomar e pastagem, sendo que o recorte temporal de análise abrange o ano de 2017.

Apesar do trabalho apresentar um foco na caracterização de alvos agrícola, inclui-se também como classes temáticas para avaliação as áreas de vegetações nativas (arbórea, arbustiva e vegetação de várzea) em função da elevada confusão nas atividades de classificação digital de imagens.

Espera-se que os resultados obtidos contribuam diretamente para a proposição

de uma metodologia simplificada para melhorar a eficiência do mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, viabilizando o monitoramento de extensas áreas agrícolas com maior acurácia e assertividade na estimativa das áreas e culturas mapeadas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Modernização agrícola e seus impactos no território brasileiro

A década de 1980 foi marcada pela intensificação do novo modelo produtivo agrícola instalado no país, iniciado com a Revolução Verde entre as décadas de 1960 e 1970, que possibilitou através de inovações tecnológicas e a mecanização no campo, o desenvolvimento de centros de pesquisa, aprimoramento de técnicas nas universidades e entre outros avanços na produção de conhecimento e pesquisa (MATOS, 2010).

Além disso, ocorreram saltos consideráveis no desenvolvimento agrícola, trazendo destaque ao país em termos de produtividade e exportação. Porém, é importante destacar que essa alteração na matriz produtiva agrícola brasileira também foi capaz de gerar outros impactos no território, como a “... elevação da histórica concentração da propriedade da terra; num processo de oligopolização do setor agropecuário; em transformações das relações sociais de produção; na fragmentação do espaço agrícola e no incremento da urbanização (ELIAS, 2006).

Dessa forma, é possível afirmar que “... a Revolução Verde não é apenas um avanço técnico para aumentar a produtividade, mas também existe uma intencionalidade inserida dentro de uma estrutura e de um processo histórico. ” (ANDRADES; GANIMI, 2007, p. 45). Assim, com as alterações na dinâmica produtiva agropecuária brasileira, surgem também os mercados internacionais e novos modelos de distribuição e consumo dos produtos agropecuários, alterando e gerando novas organizações territoriais, fluxos e padrões nas relações agrícolas presentes no rural e na ponte rural-urbano.

No Brasil, nas últimas quatro décadas, os setores econômicos vêm passando por intensa reestruturação produtiva. Com a globalização da economia verificaram-se profundas transformações no processo produtivo associado à agropecuária e reestruturaram seus sistemas de ação e de objetos (Santos, 1994, 1996) mediante introdução da ciência, da tecnologia e da informação. Resultou, então, um novo modelo técnico, econômico e social de produção agropecuária, ao qual aqui chamaremos, conforme Santos (2000), de agricultura científica, oferecendo novas possibilidades para a acumulação ampliada do capital (ELIAS, 2006).

Com o decorrer dos anos, o setor do agronegócio foi ganhando potencial e se expandindo no território brasileiro e segundo Graziano da Silva (1996,1999), essa mudança na agropecuária brasileira evidencia a desarticulação do complexo rural com a formação dos complexos agroindustriais, ou seja, a substituição da economia natural por atividades agrícolas que se integram às atividades industriais, gerando uma maior complexidade na divisão do trabalho e das trocas entre setores, contando também, com a especialização da produção. Surge assim, segundo Santos (2000), a agricultura científica globalizada.

Entende-se por agricultura científica globalizada, a nova forma de organização do agronegócio brasileiro, emergente na década de 1990, caracterizada principalmente pela incorporação das novas tecnologias da informação ao campo e pela menor intervenção estatal. Trata-se da transição de um período de forte intervenção estatal na agricultura, predominante desde a década de 1960, para uma maior regulação das empresas mundiais do comércio agrícola (*tradings*); e do aperfeiçoamento e uso mais intensivo dos insumos químicos, biológicos e mecânicos difundidos pelo paradigma da Revolução Verde (FREDERICO, 2013).

Assim, esse setor está presente no “Novo Rural”, que abarca três grandes grupos de atividades:

...a) uma agropecuária moderna, baseada em commodities e intimamente ligada às agroindústrias; b) um conjunto de atividades não agrícolas, ligadas à moradia, ao lazer e a várias atividades industriais e de prestação de serviços; c) um conjunto de “novas” atividades agropecuárias, localizadas em nichos especiais de mercados. O termo “novas” foi colocado entre aspas porque muitas dessas atividades, na verdade, são seculares no país, mas não tinham até recentemente importância econômica. Tal valorização também ocorre com as atividades rurais não-agrícolas derivadas da crescente urbanização do meio rural (moradia, turismo, lazer e prestação de serviços) e com as atividades decorrentes da preservação do meio ambiente, além de um outro conjunto de busca de “nichos de mercado” muito específicos para sua inserção econômica (SILVA; GROSSI, 1997, p. 170).

Considerando tais influências históricas para uma melhor base de compreensão do atual panorama agrícola de produção brasileiro, suas relações e fluxos com o meio rural e urbano, podemos compreender a gênese do potencial de produção do país e também do estado de São Paulo em determinados cultivos. O estabelecimento e crescimento da agroindústria continua a modificar o território, com alterações na espacialização dos cultivos condicionados por uma complexa correlação de fatores que envolvem questões produtivas, climáticas, tecnológicas, de transporte, armazenamento e entre outras, gerando impactos socioambientais e

alterando as estruturas econômicas e estratégicas de determinados locais.

3.2 Expressividade brasileira na produção de *commodities* agrícolas

A expressividade brasileira na produção agrícola teve o seu início na década de 1970, conforme mudanças observadas na dinâmica de produção e na incorporação de tecnologias. Desde então, a produção de algumas *commodities* agrícolas foram ganhando espaço e expressividade, sendo hoje um dos vetores da economia do país, que se destaca mundialmente em exportações e produção de produtos agrícolas. Ao se comparar os Censos Agropecuários do IBGE dos anos de 1970 e 2006, é possível observar que a área destinada a culturas permanentes e temporárias dobrou, passando de cerca de 30 milhões para 60 milhões de hectares.

O destaque no comércio mundial em detrimento das culturas do agronegócio é evidente, visto que segundo dados da Organização Mundial do Comércio (OMC), as exportações brasileiras no mercado global sofreram aumento ao se considerar o período de 2007 a 2016, com destaque para oleaginosas, a qual as exportações passaram de 27% para 35%. Em relação ao açúcar, tais dados apontam que embora tenha ocorrido diminuição de suas exportações, passando de 52,2% para 49,3%, o mesmo continua mantendo o país um destaque mundial.

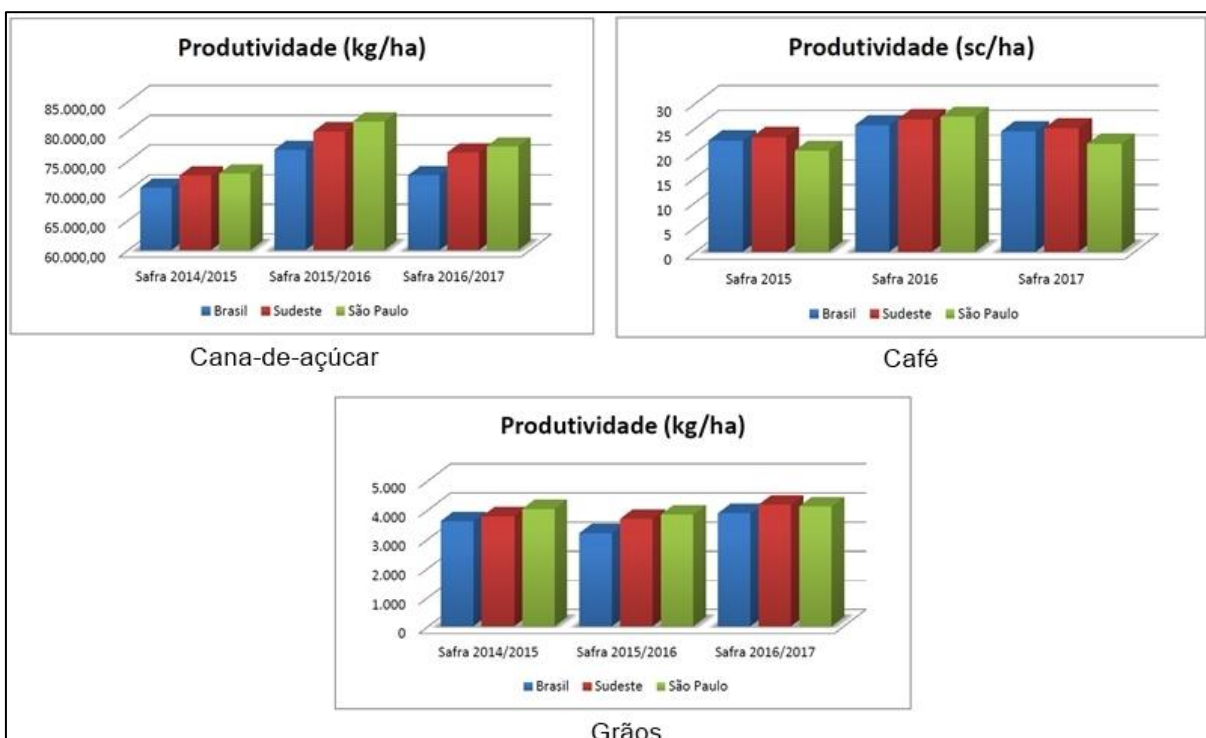
Segundo dados do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), no ano de 2017, as exportações brasileiras de *commodities* agregaram cerca de US\$ 88,93 bilhões à balança comercial brasileira, representando quase metade do total arrecadado, sendo que apenas a soja, contribuiu com 25,7 bilhões.

Tabela 1. Áreas colhidas e quantidades produzidas de lavouras no ano de 2016

Área colhida e quantidade produzida de lavouras selecionadas no Brasil		
	Variável	
Produto das lavouras temporárias e permanentes	Área colhida (em mil ha)	Quantidade produzida (em mil t)
Café (em grão) Total	1994	3019
Cana-de-açúcar	10226	768678
Milho (em grão)	14958	64143
Soja (em grão)	33153	96296
Área colhida e quantidade produzida de lavouras selecionadas na região Sudeste		
	Variável	
Produto das lavouras temporárias e permanentes	Área colhida (em mil ha)	Quantidade produzida (em mil t)
Café (em grão) Total	1677	2708
Cana-de-açúcar	6626	517577
Milho (em grão)	1983	10481
Soja (em grão)	2307	7539
Área colhida e quantidade produzida de lavouras selecionadas no estado de SP		
	Variável	
Produto das lavouras temporárias e permanentes	Área colhida (em mil ha)	Quantidade produzida (em mil t)
Café (em grão) Total	199	340
Cana-de-açúcar	5588	442282
Milho (em grão)	864	4592
Soja (em grão)	848	2791

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal. Elaboração PAIXÃO, B. M.

As culturas de cana-de-açúcar e grãos, (café, soja, milho e entre outros), de acordo com dados referentes ao ano de 2016 da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE se destacam nacionalmente, juntamente com outras culturas, como o algodão e o arroz, em área colhida (hectares) e quantidade produzida (toneladas). Ao analisar os dados referentes a tais culturas (cana-de-açúcar e grãos), é possível observar a importância da região Sudeste e também, do estado de São Paulo na produção nacional das mesmas, visto que os valores totais, quando decompostos para uma menor escala espacial (grande região e unidade da federação), possibilitam observar a alta concentração da produção, conforme ilustra a Tabela 1.

Figura 1. Produtividade da cana-de-açúcar, café e grãos

Fonte: Relatórios Conab. Elaboração: PAIXÃO, B. M.

Ao analisar a produtividade das lavouras em questão, novamente é possível notar o potencial da região sudeste e do estado de São Paulo perante o cenário nacional, conforme ilustra a Figura 1, considerando dados obtidos através de relatórios da Companhia Nacional do Abastecimento (Conab) referentes as safras dos anos de 2014 a 2017. É possível observar que a produtividade da região sudeste e do estado de São Paulo por diversas vezes ultrapassa ou praticamente se iguala a produtividade nacional, o que demonstra a relevância de tais áreas.

Dessa forma, é evidente a necessidade do constante monitoramento do comportamento das culturas citadas considerando sua expressividade, envolvendo também o acompanhamento da consequente ação antrópica no ambiente e as alterações resultantes desse processo. Portanto, questões referentes a técnicas aplicadas, aspectos físicos e principalmente a dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal, possuem grande importância perante esse cenário.

3.3 Importância do monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal

As ações humanas, ao longo da história, sempre foram capazes de gerar impactos ao meio físico, alterando ou condicionando alguns de seus aspectos, de forma positiva ou negativa, sempre movidas de acordo com os seus interesses, necessidades e relações de apropriação estabelecidas. Essa relação de apropriação dos recursos naturais pela sociedade foi se tornando cada vez mais frequente e intensa, estando presente, mesmo que de forma indireta, em uma série de aspectos, processos e produtos hoje indispensáveis para o nosso cotidiano e o seu contínuo desenvolvimento.

No atual contexto brasileiro de expansão de área e potencial de produção agrícola para certas culturas, movidos pela tecnologia e suas novas dinâmicas no rural, bem como a necessidade de suprir a demanda das exportações, torna-se essencial o monitoramento do uso e cobertura vegetal, pois a capacidade humana de intervenção no ambiente foi aumentando gradativamente, sendo que segundo Ross (1992), todas as alterações podem ser capazes de alterar o equilíbrio da natureza.

Nesse contexto, de acordo com o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013), o conhecimento a respeito do uso da terra torna-se importante, visando a sua sustentabilidade de acordo com questões ambientais, sociais e econômicas. O estudo do uso e cobertura da terra, portanto, envolvendo o "... reconhecimento das relações multidimensionais entre mudança ambiental, desenvolvimento, questões sociais e políticas atraiu estudiosos de diversas ciências, marcando o caráter multidisciplinar do campo (LAMBIN et al., 2001; ROSA; YORK; DIETZ, 2004; RUDEL et al., 2005) (CÔRTEZ, D'ANTONA, 2014, p. 192).

"De acordo com Green et al. (1994) apud Petta et ali (2008, p.112), as mudanças da cobertura da terra são uma necessidade para o estabelecimento da sociedade humana e produzem consequências negativas e/ou positivas. " (GONÇALVES, 2011, p. 44).

É possível observar, portanto, a importância da Geografia no uso e cobertura da terra, pois sendo uma ciência multidisciplinar, envolve de forma integrada questões ambientais, econômicas, sociais e entre outras, permitindo análises sobre as mudanças temporais físicas, além de justificar sua disposição no espaço, gerando leituras importantes para a configuração do território e para a identificação de impactos positivos e negativos nas mais diferentes esferas. Segundo Silva e Antunes (2013),

Embora os primeiros conhecimentos da Geografia tenham se distanciado das questões mais atuais, sua importância está no fato de terem sido fundamentais no contexto histórico-evolutivo. Se no passado a Geografia serviu para se conhecer as formas e dimensões, climas e as relações entre o homem e o ambiente em que vivia, hoje a ciência geográfica tornou-se mais útil para a sociedade, pois contribui para análises bastante acuradas do espaço e das questões políticas, econômicas, sociais, ambientais e culturais. Sob estas considerações subtemas foram sendo estudados transformando-se em disciplinas, dentre as quais o Uso da Terra (apud IBGE, 2013, p. 25).

Segundo considerações do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013), o levantamento da Cobertura e do Uso da Terra é capaz de indicar a distribuição geográfica da tipologia de uso através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Esse processo envolve pesquisas de escritório e de campo para que ocorra efetivamente a sua classificação e espacialização por meio de cartas.

O levantamento sobre a Cobertura e o Uso da Terra comporta análises e mapeamentos e é de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço, constituindo importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão. Ao retratar as formas e a dinâmica de ocupação da terra, estes estudos também representam instrumento valioso para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental, frente aos diferentes manejos empregados na produção, contribuindo assim para a identificação de alternativas promotoras da sustentabilidade do desenvolvimento (IBGE, 2013, p. 37).

Estabelecida a importância, utilidade e processos necessários para a realização do levantamento de uso e cobertura da terra, torna-se relevante em seu estudo a consideração das diferentes interpretações teóricas a respeito do termo empregado, que segundo Almeida et al (2005), pode variar de acordo com a finalidade ou contexto em que está inserido.

Ao se analisar as palavras de forma individual, é possível compreender melhor o significado do termo como um todo. “Cobertura” indica o tipo de vegetação presente em uma área específica, como por exemplo, florestas; já o “uso”, retrata o tipo de atividade atuante nessa área, como por exemplo, agricultura (MEYER; TURNER, 1994; SHERBININ, 2002).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO/IIASA, 1993), “uso do solo diz respeito à finalidade para a qual a terra é usada pela população humana local e pode ser definida como as atividades humanas que estão diretamente relacionadas à terra, fazendo uso de seus recursos ou tendo um impacto sobre eles”. De acordo com Briassoulis (2000), mudança de uso do solo “... significa transformações quantitativas na área (aumento ou diminuição) de um dado tipo de uso do solo...”. Ela pode

envolver: a) conversão de um uso em outro; b) modificação de um certo tipo de uso, tais como mudanças de áreas residenciais de alto para baixo padrão (sem alteração física ou quantitativa dos edifícios), etc (ALMEIDA et al, 2005 apud GONÇALVES, 2011, p. 45).

Portanto, é possível afirmar a relevância dos estudos de uso e cobertura do solo na atualidade e dentro do contexto geográfico, tornando-se evidente que as informações a seu respeito devem ser constantemente atualizadas, agregando sempre a sua maior quantidade possível. Tais informações, juntamente com o potencial de análise multidisciplinar e multiescalar (local, região, estado, país...), podem ser capazes de gerar conteúdos cartográficos e diagnósticos essenciais para a compreensão dos fatores que influenciaram as mutações temporais ocorridas na paisagem de acordo com as atividades humanas, além de seus impactos, forma de organização no espaço e a possibilidade de traçar uma perspectiva futura. Sendo assim, se torna um aspecto fundamental a ser analisado quando se trata da agricultura e sua dinâmica espacial, além dos fatores e fenômenos que a condicionam.

3.4 Agricultura de precisão

Considerando o contexto econômico e tecnológico o qual a agricultura está atualmente inserida, bem como a sua importância e conexão direta ou indireta com os demais setores da economia, foi desenvolvido o sistema de Agricultura de Precisão. Tal sistema basicamente envolve um gerenciamento mais adequado das culturas, envolvendo questões referentes ao aumento de produtividade e qualidade, a utilização racional de insumos e bens naturais e a diminuição das perdas. Portanto, é possível a maximização dos lucros aos agricultores, a partir de uma postura mais sustentável e efetiva.

Agricultura de precisão combina as novas tecnologias sustentando a era da informação com uma agricultura industrial madura. É um sistema de manejo de produção integrado, que tenta igualar o tipo e a quantia de insumos que entram na propriedade com as necessidades da cultura em pequenas áreas dentro de um campo da propriedade (TSCHIEDEL; FERREIRA, 1985, p. 160 apud DAVIS, 1998).

Para que esse gerenciamento ocorra com êxito, apresentando resultados positivos perante aos seus objetivos principais, deve ser levada em conta, segundo a Embrapa (1997), a variação espacial e temporal dos cultivos em fatores que afetam sua produtividade. Assim, a tecnologia possui extrema importância no estudo dessa

variação, pois gera dados capazes de fornecer informações voltadas para a tomada de decisão nas áreas agrícolas.

Entre as tecnologias utilizadas é possível citar os sistemas de informação geográfica (SIG) e as técnicas de sensoriamento remoto, que se apoiam na maioria dos casos, no conhecimento espacial e temporal das culturas agrícolas com base nos dados obtidos através das imagens de satélite. Assim, segundo Brandão (2009) é possível realizar a estimativa da biomassa e produtividade da cultura, o monitoramento do seu vigor de fitomassa, a avaliação do estágio fenológico das plantas e entre outros aspectos.

O sensoriamento remoto e seus atributos são fundamentais na agricultura de precisão, guiando de forma mais certa e consciente a dinâmica das culturas. Isso demonstra o seu potencial em estudos temporais e espaciais que envolvem o uso do solo e a cobertura vegetal, bem como os seus consequentes modeladores externos, como os fenômenos naturais e sociais.

3.5 Aplicações de Sensoriamento Remoto na agricultura

O sensoriamento remoto juntamente com os sistemas de informação geográfica (SIG), constituem-se em ferramentas essenciais para o monitoramento da vegetação, gestão ambiental, e também como subsídio para a definição de políticas públicas. Na agricultura são muitas as aplicações, dentre as quais se destacam a identificação e o mapeamento de culturas, facilitando os estudos a respeito do uso e ocupação do solo. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de uma série de técnicas e metodologias capazes de atender as demandas necessárias, que também devem levar em conta dados e fatores ambientais, técnicas de manejo e as características biológicas dos cultivos em questão, ou seja, as particularidades do objeto de estudo e de sua área de abrangência.

“O sensoriamento remoto proporciona uma visão sinóptica de áreas agrícolas, além de possibilitar um monitoramento temporal dos estágios de desenvolvimento da cultura em grandes áreas.” (SIMÕES, ROCHA, LAPARELLI, 2003, p. 2367).

Conforme Celinski (2008), a identificação de um determinado tipo de cultura é a base para cálculos de quantificação da biomassa, determinação da área plantada, previsão de safras, dentre outras aplicações. A utilização de imagens de

sensoriamento remoto tem se mostrado uma forma viável para tais fins devido à rapidez na aquisição e à periodicidade em que são ofertadas, bem como a possibilidade de aplicações tanto em escalas locais quanto globais.

Assim, os aspectos multitemporais e multiespectrais das imagens de sensoriamento remoto e seus alvos devem ser explorados, sendo que cada um influencia e se relaciona com o outro, concomitantemente. É possível observar de forma mais clara o comportamento espectral das culturas e suas variações em diferentes recortes temporais, possibilitando uma análise mais precisa de seus fatores biológicos e agrônômicos, do impacto de agentes externos e das condições físicas presentes na área, que podem influenciar diretamente na resposta espectral das culturas estudadas.

Portanto, é possível afirmar que “... o fato do comportamento temporal dos dados espectrais estarem em conformidade com os dados agrônômicos confirma o potencial de dados de sensoriamento remoto terrestre para o monitoramento das condições das culturas agrícolas” (WIEGAND et al., 1991 apud SIMÕES, ROCHA, LAPARELLI, 2003, p.2371).

O emprego de informações multiespectrais da radiância provenientes de alvos agrícolas, coletada por sensores a bordo de satélites orbitais, tem sido, nos últimos tempos, muito utilizadas para quantificar e acompanhar as condições de culturas agrícolas devido, principalmente, as características de repetitividade do satélite e da visão sinóptica dos sensores. Entretanto, conforme comentam Shimabukuro & Smith (1995), o sucesso na caracterização e mapeamento de um determinado alvo, através de dados orbitais, depende das características do sensor e das características espectral e espacial do alvo que se deseja analisar (MOREIRA *et al.*, 1998, p. 53).

É evidente a importância de se conhecer as culturas estudadas, como suas características de crescimento, desenvolvimento e comportamento biológico. Dessa forma, é possível compreender suas respostas espectrais e suas variações temporais, que podem ser influenciadas principalmente por fatores relacionados ao meio físico em que estão inseridas, alterando valores de coeficiente de variação, refletância e consequentemente, de NDVI. Portanto, a classificação digital e a interpretação visual das imagens multitemporais torna-se mais simples ao se conhecer de forma mais completa o seu comportamento espectro-temporal característico, evitando confusões e otimizando o tempo.

A influência da resposta espectral do solo no comportamento geral de uma área agrícola é função de parâmetros agrônômicos e biofísicos da cultura, tais como porcentagem de cobertura do solo, estágio fenológico, estrutura e arquitetura da cultura, espaçamento de plantio e condições fitossanitárias, portanto altamente relacionados com aspectos temporais do desenvolvimento da cultura (Huete et al., 1985). Conhecendo, portanto, os efeitos da resposta espectral dos solos no comportamento espectral da vegetação, diversos autores vêm se preocupando em separar seus efeitos, a fim melhor caracterizar melhor a vegetação e permitir que dados espectrais, como índices de vegetação, possam ser utilizados no monitoramento temporal das culturas (HUETE, 1988; QI et al., 1994 apud SIMÕES, ROCHA, LAPARELLI, 2003, p.2368).

O índice de vegetação constitui-se em um importante dado espectral, que apresenta variações temporais ao se considerar o comportamento temporal-biológico da cultura em questão, sendo, portanto, um fator de extrema importância quando se trata principalmente da distinção entre culturas agrícolas através do sensoriamento remoto. Torna-se fundamental a definição e compreensão da curva de crescimento vegetativo das culturas, possibilitando o estabelecimento de padrões de comportamento que possam a caracterizar, levando em conta fatores, como por exemplo, o relevo, tipo de solo e clima que atuam no local de estudo. Isso seria capaz de facilitar o processo de distinção e classificação de culturas, dependendo e contatando diretamente os aspectos multitemporais e multiespectrais.

Através do estudo das interações dos parâmetros das culturas com os fatores ambientais, principalmente quando se trata do desenvolvimento, é possível entender a eficiência de seu crescimento e a sua habilidade de adaptação às condições ambientais em que estão submetidas, assim, de acordo com (PEIXOTO, PEIXOTO, 2004, p.1) a “... a análise quantitativa do crescimento é uma ferramenta e o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o desenvolvimento vegetal e a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o seu desempenho, nas diferentes condições agroecológicas a que são submetidos.”.

A tecnologia de exploração de plantas envolve a aplicação de diversas ciências. Na Agronomia, a horticultura e a silvicultura, entre outras, são disciplinas no campo da agricultura que utilizam conhecimentos provindos da Botânica, da Edafologia, da Mecânica, da Zoologia (pragas), da Climatologia e de outros setores do conhecimento, visando a produção agrícola que decorre do crescimento e desenvolvimento das plantas. Um controle da produtividade das plantas só é possível, pois, conhecendo-se os fatores que atuam sobre o crescimento e desenvolvimento nos vegetais (PEIXOTO, PEIXOTO, 2004, p.1).

Quando se trata de aplicações voltadas à identificação e de culturas, algumas etapas possuem ampla importância para que sejam efetivas, como a classificação, que busca rotular cada pixel ou elemento da imagem segundo a ocupação do solo, obtendo-se um mapa de classes temáticas. A categorização é feita por meio de algoritmos de reconhecimento de padrões que utilizam os valores espectrais assim como, outros parâmetros obtidos a partir da assinatura espectral. A classificação, portanto, requer o uso de algoritmos complexos e de técnicas de seleção e extração de características.

No entanto, nas últimas décadas, observa-se o desenvolvimento significativo da área de “reconhecimento de padrões”, promovido de certa forma em função da maior disponibilidade e quantidade de dados de sensoriamento remoto, o que tem permitido o uso de algoritmos de diferentes abordagens para a classificação. Dentre essas abordagens, destacam-se as árvores de decisão, que oferecem maior agilidade e assertividade na classificação dos alvos. Contudo, observa-se que esta abordagem ainda é pouco explorada diante seu potencial de aplicação.

Os algoritmos de AD apresentam vantagens para a classificação da cobertura da terra, entre elas, podem ser citadas: a facilidade de interpretação dos resultados, o baixo tempo de processamento, a capacidade de o modelo trabalhar com dados medidos em distintas escalas, o fato de não demandar distribuição normal dos dados e a capacidade em processar as relações não lineares entre os preditores e as classes de cobertura da terra (FRIEDL & BRODLEY, 1997 apud RUIZ, CATEN, DALMOLIN, 2014, p. 1002).

Quando se considera a expressividade econômica agrícola que o Estado de São Paulo representa no contexto nacional, torna-se relevante o constante aprimoramento dos métodos para monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal, bem como as técnicas referentes a agricultura de precisão, pois a gestão do território pressupõe controle constante das alterações que nele se processam.

As caracterizações e classificações de uso da terra podem ser mais eficientes ao se conhecer os dados de crescimento vegetal, possibilitando a geração de classes temáticas com maior facilidade ao se conhecer a área de estudo e seus componentes de uma forma mais aprofundada, considerando também as tipologias de uso da terra e a cobertura vegetal, que apresentam comportamentos particulares e condicionados pelo meio. As técnicas de sensoriamento remoto e suas complexidades podem claramente auxiliar no levantamento deste uso, principalmente através da abordagem da árvore de decisão, indicando os padrões de organização do espaço agrícola,

identificando suas potencialidades e possibilitando o melhor planejamento e compreensão das alterações ocorridas na dinâmica do local.

O avanço da tecnologia espacial colocou o momento da disponibilidade de produtos de satélites imageadores da terra como marco de uma nova era dos estudos de Uso da Terra, pois ao mesmo tempo em que lhe dá uma nova metodologia de pesquisa, revela a concepção teórica que orienta a apreensão espacial e temporal do uso da terra no seu conjunto para a gestão da apropriação do espaço geográfico global ou local (IBGE, 2013).

Neste sentido, observa-se uma constante lacuna metodológica a ser explorada, em que as classificações de alvos vegetais, como as culturas agrícolas, podem ser abordadas utilizando um número maior de fonte de dados disponíveis, realizando combinações e critérios lógicos que auxiliem na identificação do uso da terra.

É clara a relevância das técnicas de Sensoriamento Remoto para as finalidades citadas, considerando a necessidade de análises multitemporais e multiespectrais das culturas aliadas ao conhecimento a respeito do comportamento biológico das mesmas. Torna-se possível que a dinâmica de uso e ocupação do solo seja compreendida através de uma ótica mais específica, favorecendo diagnósticos e relações puramente geográficas.

3.6 Sistema de satélites

É evidente a importância de imagens obtidas através dos sensores imageadores presentes nos satélites para estudos multitemporais, considerando suas características e padrões de repetitividade temporal e de abrangência de área. Assim, é possível caracterizar alguns dos principais satélites utilizados na atualidade, com a finalidade de entender o seu funcionamento, aplicações práticas e diferenças entre si. Serão abordados os satélites Landsat 8, Sentinel 2, AQUA e TERRA.

Conforme Liu (2015), o primeiro Landsat foi lançado no ano de 1972 nos Estados Unidos e inicialmente era denominado *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS 1). Os responsáveis pelo lançamento foram a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *U.S. Geological Survey* (USGS). Após essa primeira experiência, uma série de outras versões da missão foram por eles lançadas, somando ao todo oito diferentes satélites. É importante lembrar que as versões 1, 2 e 3 já foram desativadas e a versão 6 foi perdida logo após o seu lançamento. Dessa

forma, o autor indica que atualmente estão ativas apenas três versões, sendo que suas aplicações são voltadas para a exploração dos recursos do planeta Terra, como uso do solo, monitoramento da cobertura e aspectos do crescimento vegetal, estimativas de fitomassa e entre outras.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) capta, através de uma antena de recepção presente em Cuiabá/MT, imagens de todo o território do país, formando um acervo muito importante de dados para as mais diversas aplicações e pesquisas (EMBRAPA, 2013).

Na presente pesquisa, foram utilizadas imagens do Landsat 8, que foi lançado no ano de 2013 e inicialmente se chamava *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM). Atualmente, as suas atividades rotineiras e operacionais são de responsabilidade da USGS, que também arquiva os dados na *Earth Resources Observation and Science*. Segundo a NASA (2018), o satélite adquire 550 cenas por dia, o que aumenta a possibilidade de obtenção de imagens sem nuvens da cobertura terrestre. Entre outras características, é possível citar a abrangência da imagem, que é de 185km por 180km e a precisão cartográfica necessária de no mínimo 12m (incluindo compensação para efeitos do terreno) para os produtos gerados.

Ainda de acordo com informações fornecidas pela NASA, é possível destacar que o Landsat 8 contém dois diferentes sensores, o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), que fornecem imagens sobre a cobertura da Terra de forma sazonal em uma resolução de 30 metros (visível, NIR, SWIR), 100 metros (termal) e 15 metros (pancromático). Tais sensores, demonstram avanços tecnológicos ocorridos na série Landsat considerando suas características de funcionamento e atuação.

O sensor OLI atua nas bandas espectrais do infravermelho visível, infravermelho próximo, banda curta e também em uma banda pancromática. Uma característica de grande destaque é o fornecimento de duas novas bandas espectrais com a finalidade de detectar nuvens cirrus (banda 9) e também para observar zonas costeiras (banda 1). Em relação ao sensor TIRS, é possível destacar o transporte de duas bandas infravermelhas extras, atuando dessa forma, na faixa do infravermelho termal e adquirindo dados com 100m de resolução espacial e 12 bits de resolução radiométrica e geométrica ao relacionar os seus dados com os adquiridos pelo sensor OLI, além de contar com a correção de terreno.

Os satélites da missão Sentinel foram desenvolvidos pela Agência Espacial

Europeia (ESA) em uma iniciativa liderada pela Comissão Europeia (CE) para atender as necessidades do programa Copernicus. Conforme informações fornecidas pela própria Esa (2018), esse programa é voltado para a observação da Terra, fornecendo informações de qualidade voltadas para a gestão ambiental, aspectos de mudanças climáticas e também para a segurança da sociedade.

Dessa forma, cada satélite é apropriado para diferentes análises que envolvam as áreas anteriormente citadas, sendo que atualmente a série consiste em diferentes constelações compostas por dois satélites cada, exceto pelo Sentinel 5-P que é individual. Considerando as datas de lançamento, é possível notar que são bastante atuais, sendo que o primeiro da série, Sentinel 1-A, foi lançado em 2014 e o último, Sentinel 5-P, foi lançado em 2017.

Na atual pesquisa, foram coletadas imagens obtidas através do Sentinel 2, que consiste em uma série capaz de gerar imagens multiespectrais de alta resolução. A dupla de satélites que compõe a missão, fornece dados que se caracterizam como uma espécie de continuidade dos obtidos através dos sistemas Landsat e Spot, contribuindo para constantes acompanhamentos multiespectrais voltados para o monitoramento das alterações ocorridas na superfície terrestre, como por exemplo, no gerenciamento de terras, agricultura, mapas de risco e entre outros casos. Essa integração de dados entre as três missões é possível devido à proximidade de seus trajetos de movimentação, assim, é possível o desenvolvimento de uma série histórica de dados a longo prazo.

Os dois satélites (Sentinel 2-A e Sentinel 2-B) se movimentam na mesma órbita, mas com uma distância de 180° entre eles, sendo que a altitude orbital média é de 786 km e a inclinação da órbita é de $98,62^\circ$. Além disso, cada um deles conta com 13 bandas espectrais de 290 km de largura e alta frequência de revisitação considerando as áreas monitoradas na Terra, fornecendo dados para a classificação da cobertura do solo, correção atmosférica e separação de nuvens ou neve. Tais bandas apresentam diferentes valores de resolução espacial: quatro bandas a 10m, seis bandas a 20m e três bandas a 60m.

Outra característica de destaque da missão Sentinel-2 é o fato de sua órbita ser síncrona em relação ao sol, o que garante o ângulo da luz solar na superfície terrestre de forma consistente, além de minimizar o impacto gerado pelas sombras e pelos níveis de iluminação do solo. Esse é um fator de extrema importância quando são avaliados os dados de uma série temporal, pois garante sua consistência e

qualidade.

Cada satélite Sentinel-2 possui um Instrumento Multiespectral (MSI), que é um sensor capaz de coletar dados de imagens “em linhas” através da faixa orbital. Além disso, gera sempre novas linhas de aquisição de imagens a partir do seu próprio movimento de órbita. A luz refletida da Terra e da atmosfera é captada por um telescópio de três diferentes espelhos (M1, M2 e M3) e em seguida, através de um divisor de feixes, focalizada em dois conjuntos de planos focais (FPAs): um para as dez ondas VNIR e o outro para as três ondas SWIR. Os FPAs, VNIR e SWIR possuem 12 detectores escalonados em duas linhas horizontais, sendo que a separação entre as bandas individuais VNIR e SWIR é realizada a partir da utilização de filtros de faixa com a sobreposição de dos detectores.

O satélite AQUA (*Aqua Project Science*), foi lançado no ano de 2002 e de acordo com informações fornecidas pela Embrapa (2013), faz parte do programa *Earth Observation System* (EOS) da *NASA Earth Enterprise* (ESE). O satélite faz parte do grupo A-Train que opera além do AQUA, com os satélites Aura, CloudSat, CALIPSO e GCOM-W1, em ordem cronológica de lançamento.

Apesar de ser um satélite norte americano, o seu processo de desenvolvimento contou com a participação do Japão e do Brasil, sendo que o seu objetivo principal é o de monitoramento dos fenômenos referentes da energia e água na superfície terrestre. Dessa forma, os dados obtidos se relacionam com as interações que ocorrem entre a atmosfera, oceano e continente, como a precipitação, umidade e temperatura da atmosfera, nuvens e entre outros. Os dados obtidos possibilitam a extração de alguns parâmetros, como o fluxo de energia radiante, dinâmicas do uso e cobertura do solo, fitoplâncton, temperatura da água e demais atributos que auxiliam nos estudos de mudanças climáticas na Terra. (EMBRAPA, 2013).

O satélite possui consigo seis instrumentos sensores orbitais: *Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS), *Advanced Microwave Sounding Unit* (AMSU-A), *Humidity Sounder for Brazil* (HSB), *Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS* (AMSR-E), *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (CERES).

O satélite TERRA, foi lançado no ano de 1999 a bordo do AtlasIIAS, um famoso veículo de lançamento e assim como o satélite AQUA, é parte do programa *Earth Observation System* (EOS) da *NASA Earth Enterprise* (ESE). O seu desenvolvimento também envolveu a participação de outros países além dos Estados Unidos da

América, mais especificamente o Canadá e o Japão. Apesar de o lançamento ter ocorrido no ano de 1999, os dados começaram a ser coletados apenas no início do ano seguinte. Possui em sua estrutura cinco diferentes sensores: MODIS, ASTER, CERES, MISR e MOPITT.

A Embrapa (2013) mostra que o objetivo do TERRA seria de fornecimento de dados que auxiliam em estudos referentes as interações da dinâmica atmosférica com a superfície terrestre e oceano, se aproximando das intenções do satélite AQUA. Assim, torna-se possível análises sobre mudanças na cobertura e uso do solo, dinâmica agrícola e das vegetações, fluxo de energia radioativa, aerossóis, fitoplâncton e etc.

Ao analisar as características gerais dos satélites AQUA e TERRA é possível notar que ambos possuem a bordo de suas estruturas o sensor MODIS, que é de extrema importância para análises referentes a agricultura considerando a alta resolução temporal proporcionada pelo mesmo, permitindo o monitoramento das culturas agrícolas. Dessa forma, por ser adequado ao estudo realizado, os dados obtidos a partir dos dois satélites foram originados a partir de tal sensor.

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), foi desenvolvido pela *Goddard Space Flight Center* (NASA) e atua em 36 canais espectrais com comprimentos de onda que oscilam de 0,4 a 14,4 μm , além disso, a resolução espacial pode variar de 250 a 1000 metros. São adquiridas imagens da Terra de 1 a 2 dias a partir do trabalho simultâneo dos dois satélites (TERRA E AQUA) e seus respectivos sensores MODIS, que auxiliam na elaboração de uma base de dados capazes de auxiliar no objetivo principal de monitoramento das interações atmosfera, terra e oceano e seus respectivos estudos temáticos, como no caso das alterações no uso e cobertura do solo (EMBRAPA, 2013).

Objetivando uma síntese das informações desenvolvidas, os Quadros 1 e 2 apresentam um compilado das principais características dos sensores presentes nos satélites citados, favorecendo também, a comparação entre os mesmos.

Quadro 1. Características dos sensores OLI, TIRS, MSI

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
OLI	(B1) COSTAL	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) AZUL				
	(B3) VERDE				
	(B4) VERMELHO				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO				
	(B8) PANCROMÁTICO	15 m			
	(B9) Cirrus	30 m			
TIRS	(B10) LWIR - 1	100 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B11) LWIR - 2				
MSI	(B2) AZUL	10m	10 dias	100 km	12 bits
	(B3) VERDE				
	(B4) VERMELHO				
	(B8) INFRAVERMELHO PRÓXIMO				
	(B5) VERMELHO LIMITE 1	20m			
	(B6) VERMELHO LIMITE 2				
	(B7) VERMELHO LIMITE 3				
	(B8A) VERMELHO LIMITE 4				
	(B11) INFRAVERMELHO SWIR				
	(B12) INFRAVERMELHO SWIR				
	(B1) AEROSSOL	60m			
	(B9) VAPOR D'ÁGUA				
	(B10) CIRRUS				

Fonte: Embrapa. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Quadro 2. Características do sensor MODIS

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área imageada	Res. Radiométrica
MODIS	1	620 - 670 nm	250 m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
	2	841 - 876 nm				
	3	459 - 479 nm	500 m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
	4	545 - 565 nm				
	5	1230 - 1250 nm				
	6	1628 - 1652 nm				
	7	2105 - 2155 nm				
	8	405 - 420 nm	1000m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
	9	438 - 448 nm				
	10	483 - 493 nm				
	11	526 - 536 nm				
	12	546 - 556 nm				
	13	662 - 672 nm				
	14	673 - 683 nm				
	15	743 - 753 nm				
	16	862 - 877 nm				
	17	890 - 920 nm				
	18	931 - 941 nm				
	19	915 - 965 nm				
	20	3660 - 3840 nm				
	21	3929 - 3989 nm				
	22	3929 - 3989 nm				
	23	4020 - 4080 nm				
	24	4433 - 4498 nm				
	25	4482 - 4549 nm				
	26	1360 - 1390 nm				
	27	6535 - 6895 nm				
	28	7175 - 7475 nm				
	29	8400 - 8700 nm				
	30	9580 - 9880 nm				
	31	10780 - 11280 nm				
	32	11770 - 12270 nm				
	33	13185 - 13485 nm				

Quadro 2. Características do sensor MODIS

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área imageada	Res. Radiométrica
	34	13485 -13785 nm				
	35	13785 -14085 nm	1000m	1 a 2 dias	2330 x 5000 km	12 bits
	36	14085 -14385 nm				

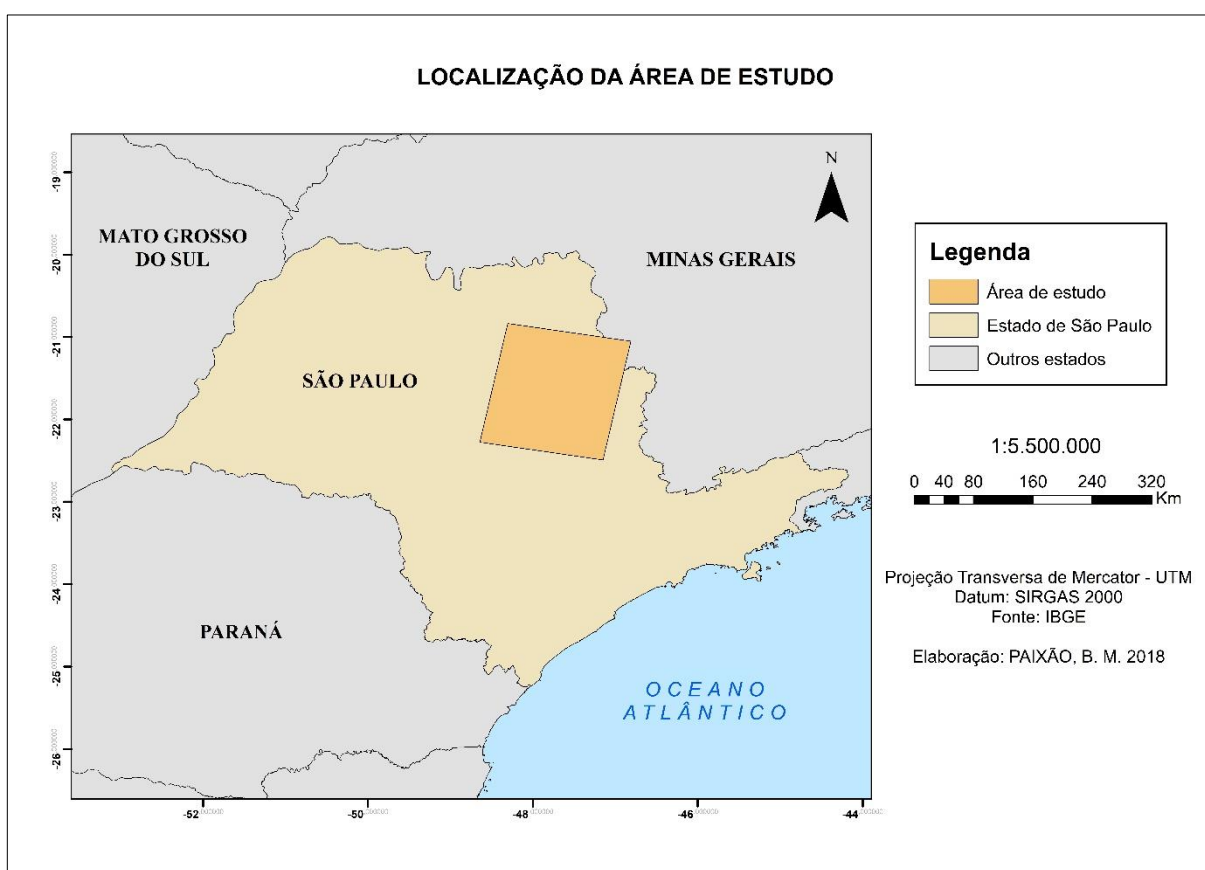
Fonte: Embrapa. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no centro-leste do Estado de São Paulo, abrangendo o município de Rio Claro, Araraquara, São Carlos, Ribeirão Preto e demais municípios de menor porte localizados em seus entornos. Conforme dados do IBGE Cidades, os municípios contidos na área de estudo possuem potencial de produção concentrado na produção de cana-de-açúcar, café e laranja, agregando importância econômica e gerando impactos em outros setores da economia, o que torna a região um destaque agrícola do estado de São Paulo.

Mapa 1. Área de estudo

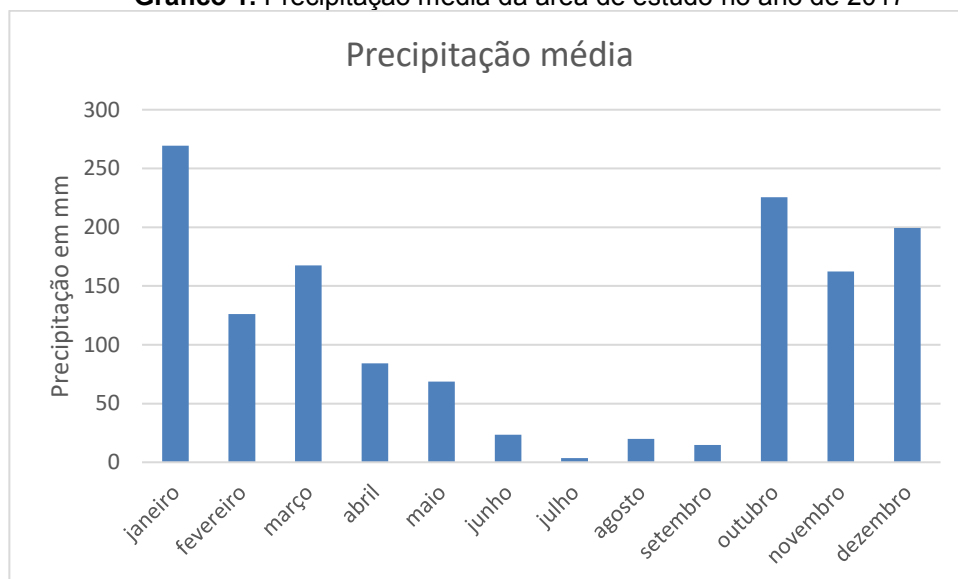


Fonte: IBGE. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o tipo Cwa envolve a área, com o clima tropical de altitude, caracterizado por chuvas no verão e seca no inverno, e temperatura média máxima mensal superior a 22°C (CEPAGRI, 2013).

A precipitação média mensal da área de estudo, calculada a partir de dados obtidos através das estações pertencentes aos municípios por ela abrangidos considerando o ano de 2017, é ilustrado no Gráfico 1. É notável, portanto, a concentração de maior índice de precipitação em meses referentes ao final da primavera e início de verão, enquanto a seca envolve o período de inverno.

Gráfico 1. Precipitação média da área de estudo no ano de 2017



Fonte: INMET; CIIAGRO. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Do ponto de vista geológico, a parte nordeste da Província Paraná está presente na área, sendo que uma das bacias que fazem parte da Província é a Bacia do Paraná, que contém rochas basálticas e sedimentares. Também são encontradas rochas do Grupo Itararé, Formação Tatuí, Irati e Corumbataí. Em outra sequência, encerra-se a sedimentação na Bacia do Paraná, se iniciando a Formação Pirambóia (PUPIM, 2010). Na porção norte da área, também são encontradas as unidades geológicas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral e Formação Botucatu.

Considerando o caráter geomorfológico, podemos citar o Planalto Ocidental e o relevo escarpado, nos limites da Depressão Periférica, seguido por relevos mais suaves. Há, portanto, a presença do reverso das cuestas basálticas, com relevo suave ondulado, que conta com colinas de topo amplo, tabulares e convexas, declividades baixa a moderada e densa rede de drenagem (ROSS & MOROZ, 1997). A textura dos solos predominantes, os latossolos vermelho escuro, roxo e vermelho amarelo, oscila entre média e argilosa, considerando a presença dos argilitos, arenitos, basaltos e siltitos.

4.2 Materiais

Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 8 e Sentinel-2b, que juntas forneceram dados NDVI de todo o ano de 2017. Tais imagens são de média resolução espacial e se encontravam no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e Datum WGS84. As imagens do Landsat 8 pertenciam ao Path/Row 220/075, já as imagens Sentinel 2-b correspondentes ao quadrante do Landsat, pertenciam aos segmentos 22KGA, 22KGB, 22KHA, 22KHB, 23KKR, 23KKS. Todas as imagens foram obtidas de forma gratuita através da plataforma *Earth Explorer* do *United States Geological Survey (USGS)*.

Nas datas indisponíveis para análise em função da presença de nuvem, prejudicando a visualização da cobertura da imagem, foi utilizada a plataforma SatVeg da Embrapa, que fornece séries temporais de valores de NDVI das áreas selecionadas a partir de dados obtidos através do satélite TERRA (sensor MODIS), servindo, portanto, como fonte de dados alternativa e complementar no estudo realizado.

No Quadro 3 é possível observar que a maior fonte de dados foi o SatVeg, com o satélite TERRA (sensor MODIS), com 24 diferentes datas, seguido do Landsat 8 com 4 diferentes datas e do Sentinel 2-b com 3 datas, respectivamente.

Quadro 3. Datas de aquisição e satélites utilizados

DATA DE AQUISIÇÃO	SATÉLITE
01/01/2017	TERRA (sensor MODIS)
17/01/2017	TERRA (sensor MODIS)
02/02/2017	TERRA (sensor MODIS)
02/02/2017	TERRA (sensor MODIS)
18/02/2017	TERRA (sensor MODIS)
23/02/2017	Landsat 8
06/03/2017	TERRA (sensor MODIS)
16/03/2017	Sentinel 2-b
22/03/2017	TERRA (sensor MODIS)
07/04/2017	TERRA (sensor MODIS)
23/04/2017	TERRA (sensor MODIS)
25/04/2017	Sentinel 2-b
09/05/2017	TERRA (sensor MODIS)
25/05/2017	TERRA (sensor MODIS)
10/06/2017	TERRA (sensor MODIS)
26/06/2017	TERRA (sensor MODIS)

DATA DE AQUISIÇÃO	SATÉLITE
01/07/2017	Landsat 8
12/07/2017	TERRA (sensor MODIS)
28/07/2017	TERRA (sensor MODIS)
13/08/2017	TERRA (sensor MODIS)
29/08/2017	TERRA (sensor MODIS)
14/09/2017	TERRA (sensor MODIS)
19/09/2017	Landsat 8
30/09/2017	TERRA (sensor MODIS)
05/10/2017	Landsat 8
16/10/2017	TERRA (sensor MODIS)
01/11/2017	TERRA (sensor MODIS)
16/11/2017	Sentinel 2-b
17/11/2017	TERRA (sensor MODIS)
03/12/2017	TERRA (sensor MODIS)
19/12/2017	TERRA (sensor MODIS)

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Para a seleção de amostras referentes as classes abordadas, foi utilizado o *software Google Earth Pro*, que possibilitou a visualização atualizada da área de estudo, facilitando assim, a delimitação das mesmas. Além disso, a extração dos valores de NDVI, considerando as imagens de satélite e as amostras, foi realizada a partir da utilização do *software ArcMap 10.5* através de ferramentas da aba *Image Analysis*. A manipulação de tais dados em tabelas e a geração de gráficos para melhor ilustrá-los, foram realizados no Excel, possibilitando suas respectivas análises.

4.3 Métodos

As imagens foram adquiridas mensalmente considerando todo o ano de 2017, sendo que o critério de escolha se baseou na presença de nuvens, descartando-se assim, as imagens com interferência de tal fator, prejudicando a visualização das amostras. Dessa forma, os dados obtidos através dos satélites visaram se complementar, evitando lacunas temporais mensais e fornecendo o maior número de dados possíveis para uma análise anual.

Em seguida, foram selecionadas as classes a serem estudadas: café, cana-de-açúcar, citrus, pomar, reflorestamento e vegetação natural. Esta última, dividida em três subclasses: vegetação arbórea, vegetação arbustiva e vegetação de várzea. A

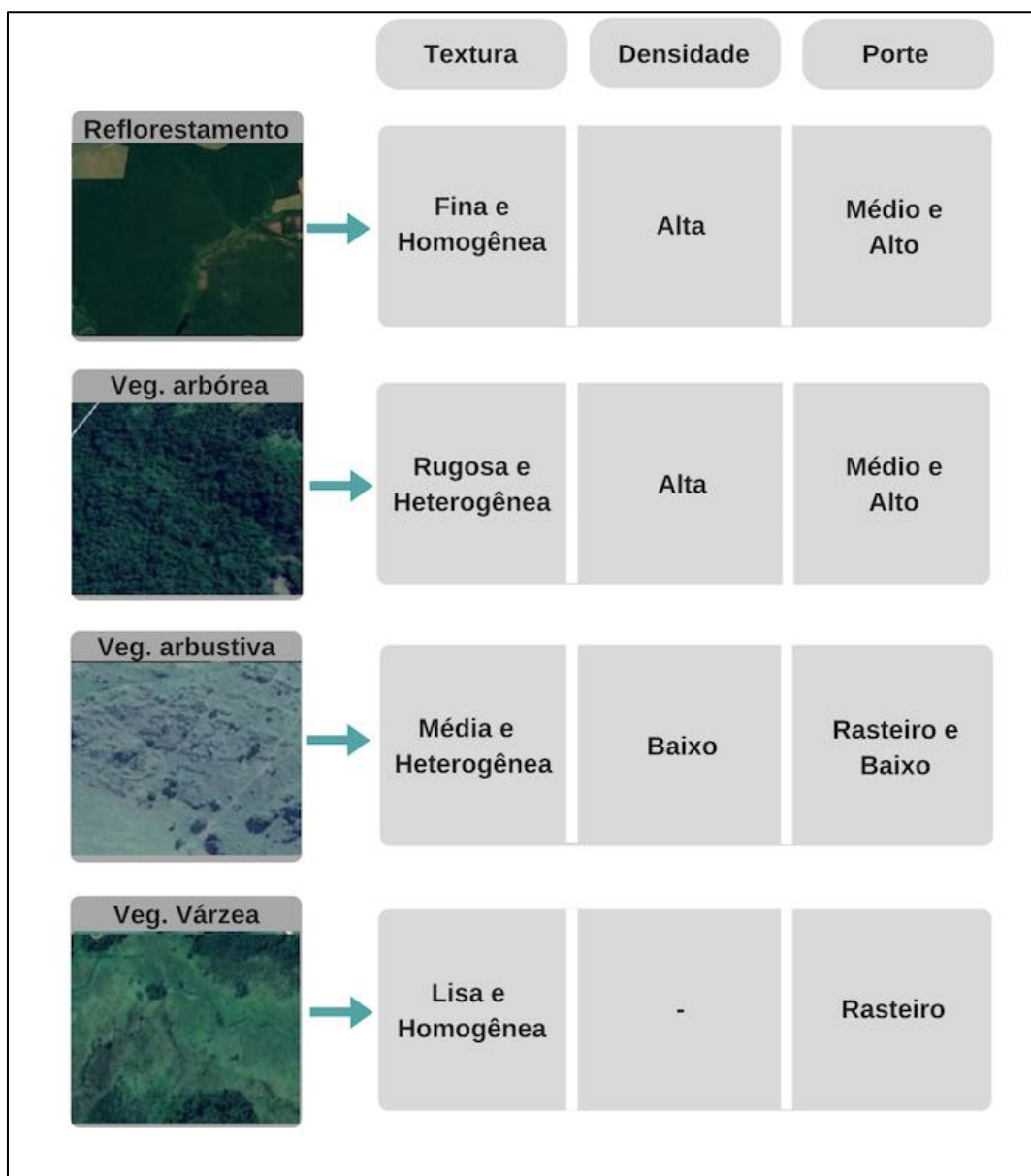
figura 2 apresenta uma chave de interpretação para reconhecimento das classes temáticas.

Figura 2. Esquema de análise de diferentes culturas em imagens de satélite: parte 1

	Textura	Densidade	Porte
Café 	Rugosa e Homogênea	Média a alta	Baixo e Médio
Cana-de-açúcar 	Lisa e aveludada Homogênea	Alta	Baixo e Médio
Citrus 	Rugosa e parcialmente Homogênea	Média a alta	Baixo e Médio
Pastagem 	Lisa e Homogênea	-	Rasteiro a baixo
Pomar 	Rugosa e parcialmente Homogênea	Média a alta	Baixo e Médio

Fonte: Google Earth. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Adaptado de: Pereira e Pinto (2007)

Figura 3. Esquema de análise de diferentes culturas em imagens de satélite: parte 2

Fonte: Google Earth. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Adaptado de: Pereira e Pinto (2007)

4.3.1 Determinação de procedimento para delimitação de tamanho de amostras para extração dos dados do índice de vegetação

Após o reconhecimento visual dos aspectos das culturas no Google Earth, outro importante aspecto foi a metodologia aplicada a delimitação de suas amostras. Assim, tornou-se necessário verificar se os valores de NDVI apresentavam variação em função do tamanho das amostras e também, se seria viável o estabelecimento de amostras generalizadas para representar parcelas específicas, visando uma metodologia mais adequada para os estudos referentes ao uso da terra. Dentro das amostras coletadas, foram delimitadas outras amostras, conforme a Figura 4, estas, em tamanhos reduzidos e considerando em sua totalidade apenas as áreas produtivas dos cultivos, sendo, portanto, mais homogêneas, com a finalidade de possibilitar essa verificação. Serão citadas as culturas de citrus e café, como forma de demonstração dessa comparação que orientou a metodologia de delimitação das amostras.

Figura 4. Delimitação de uma das áreas estudadas e as espacializações de suas respectivas amostras

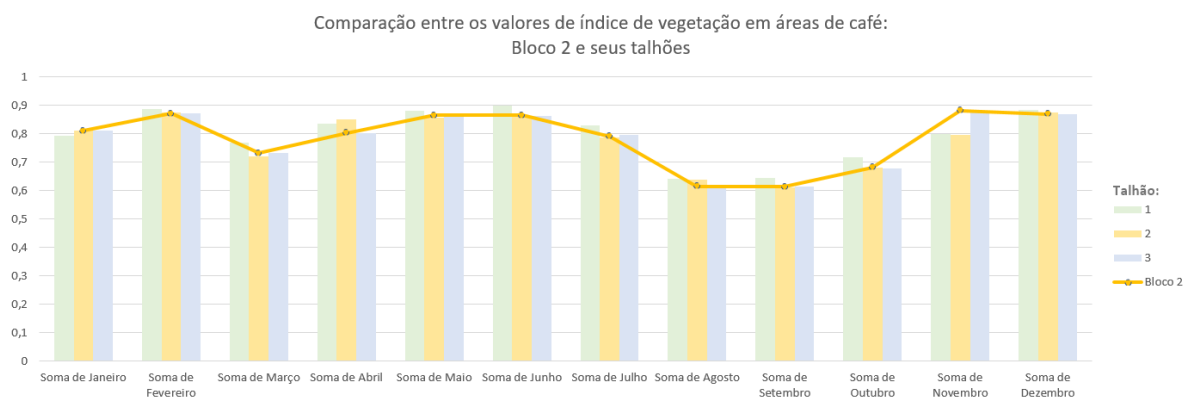


Fonte: Google Earth. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O Gráfico 2 representa os NDVI de um dos blocos de café estudados (Bloco 2), expresso pela linha laranja, que seria a área amostral mais generalizada, ou seja, envolvendo elementos só do cultivo (área produtiva) e outros elementos presentes em seus entornos, como vegetação, carreadores e entre outros. As amostras menores, derivadas desse bloco, ou seja, envolvendo apenas as áreas produtivas do cultivo, são expressas em colunas de acordo com os seus respectivos valores obtidos. É possível observar que na maioria dos meses, os valores obtidos a partir da amostra mais generalizada se assemelha aos valores obtidos pelas amostras menores da mesma área, apresentando apenas uma leve variação, que pode não gerar grandes

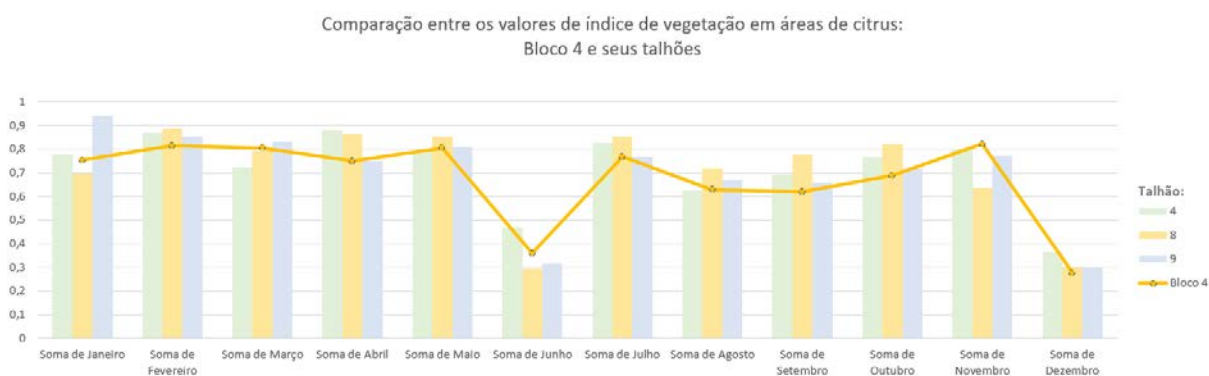
influências em análises finais.

Gráfico 2. Comparação entre os valores de índice de vegetação considerando diferentes tamanhos espaciais de amostra: uma análise do bloco 2 e seus talhões (café)



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Gráfico 3. Comparação entre os valores de índice de vegetação considerando diferentes tamanhos espaciais de amostra: uma análise do bloco 4 e seus talhões (citrus)



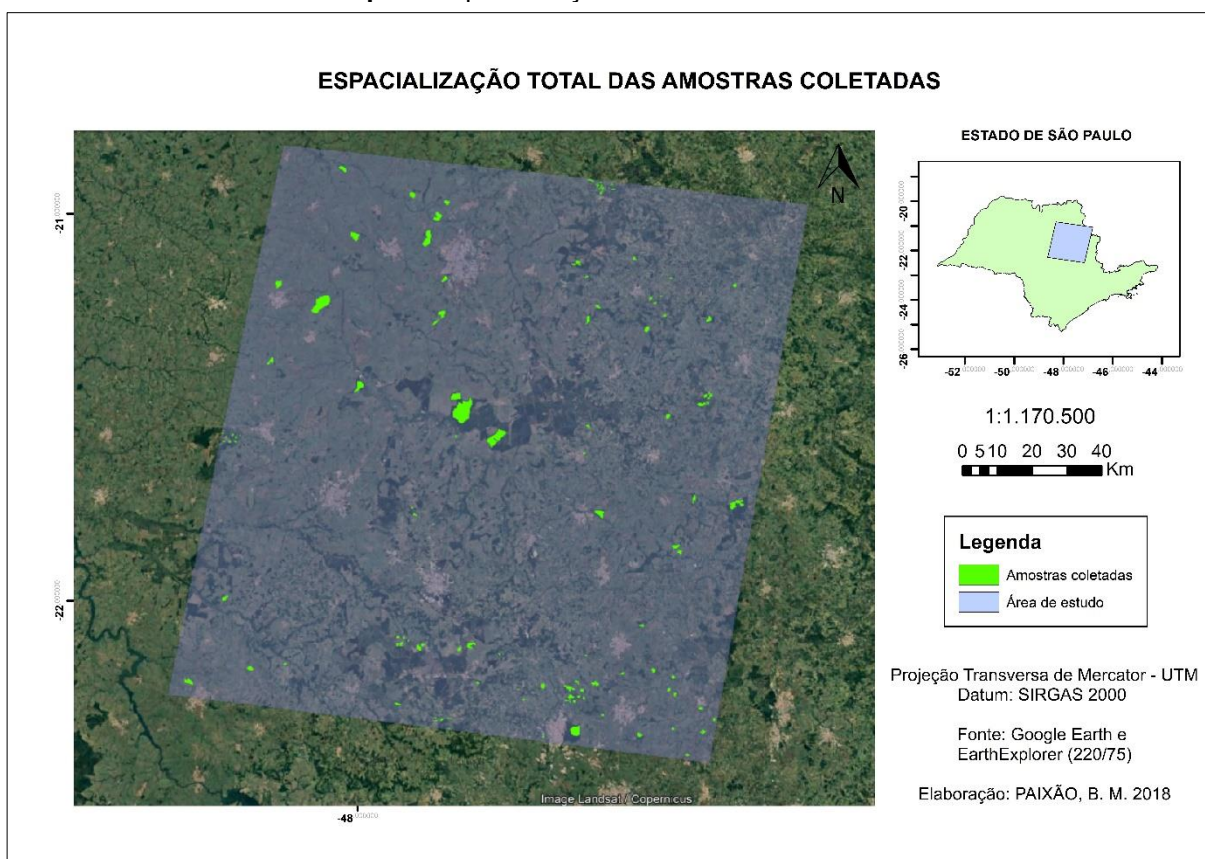
Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Ao analisar o Gráfico 3, referente a cultura de citrus, notamos que os valores obtidos através do bloco generalizado apresentam diferenças consideráveis se comparadas com os valores obtidos com as amostras menores, sendo que o mês mais expressivo de tais diferenças foi junho. É possível observar também, que as amostras menores obtidas nesse bloco apresentam uma variação maior entre si, considerando seus valores, o que pode ter sido influenciado pelo alto índice de nuvens nas datas de obtenção das imagens durante tais meses, gerando dificuldades de visibilidade das amostras selecionadas.

A partir dessa verificação, no caso dos exemplos citados, foi concluído que as áreas delimitadas de forma mais generalizada (blocos), envolvendo elementos só do cultivo (área produtiva) e outros elementos presentes em seus entornos, apresentam comportamento semelhante ao de áreas de tamanhos reduzidos com apenas áreas produtivas, considerando o cultivo de café. Porém, o mesmo não acontece para a cultura de citrus, em que os blocos apresentam valores com diferenças relativamente expressivas se comparados com as amostras menores. Dessa forma, é possível afirmar que a generalização de áreas para geração de NDVI pode ser possível sem interferências no valor final gerado para algumas culturas, como o café, porém, pode não ser favorável para outras, como o citrus. Assim, os alvos estudados são a condição para a generalização das amostras, devendo-se conhecer previamente o comportamento dos mesmos perante tal delimitação, garantindo uma maior precisão dos estudos referentes a caracterização e classificação da cobertura vegetal.

4.3.2 Seleção das áreas amostrais

Considerando as análises demonstradas anteriormente, as amostras foram delimitadas conforme variações de classe temática e espacializadas conforme indicado nas figuras a seguir.

Mapa 2. Espacialização das amostras coletadas

Fonte: Google Earth; Earth Explorer. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Tal seleção se baseou na expressividade de tais culturas no estado de São Paulo, sendo que foram delimitadas um mínimo de 30 amostras por classe, a partir do reconhecimento visual de seus aspectos no Google Earth, conforme as Figuras 2 e 3.

A fim de amenizar a influência dos valores de NDVI condicionado por variações do ambiente físico, principalmente do tipo de solo, as amostras foram distribuídas ao longo de todo quadrante delimitado para área de estudo. Assim, os valores serão mais generalizados por cultura abordada.

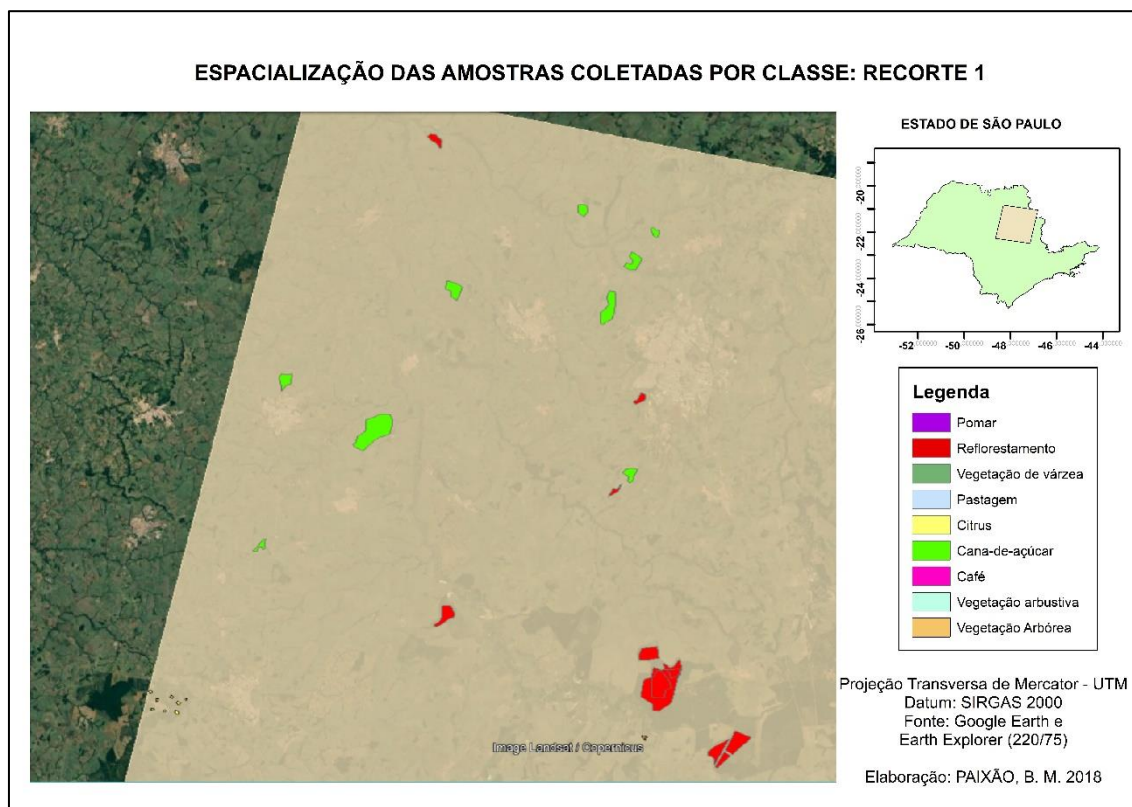
Tabela 2. Síntese das amostras por classe temática

Classe temática	Nº de amostras	Área total (ha)
Cana-de-açúcar	30	2.500,00
Café	53	2.500,00
Citrus	68	2.500,00
Pastagem	50	2.800,00
Pomar	35	1.800,00
Reflorestamento	30	2.000,00
Vegetação arbórea	30	1.800,00
Vegetação arbustiva	30	1.500,00
Vegetação de várzea	30	1.500,00

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

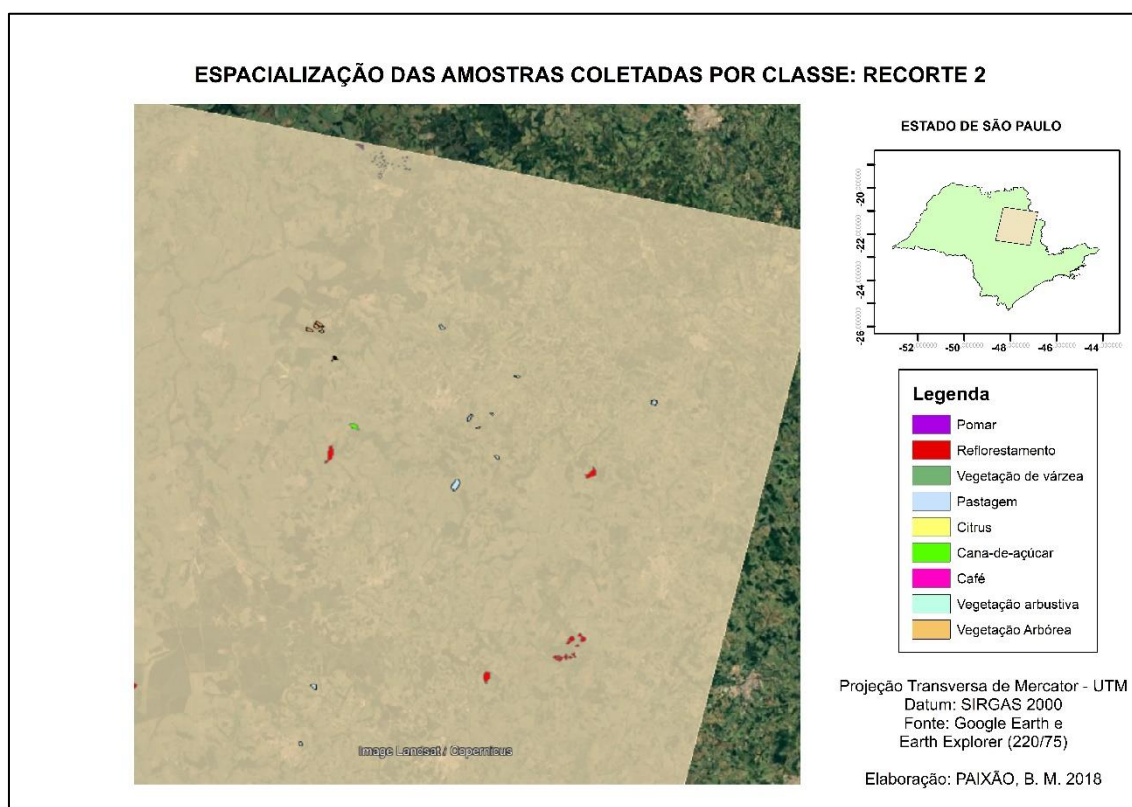
As Figuras 5, 6, 7, 8, ilustram as amostras coletadas especializadas na área de estudo, apresentando distinção de cores de acordo com as classes pertencente. Devido a escala, algumas amostras não estão visíveis e outras apresentam dificuldades de reconhecimento, porém, tais figuras podem expressar as áreas coletadas, que se encontram espalhadas por todo o quadrante.

Figura 5. Espacialização das amostras coletadas por classe: recorte 1

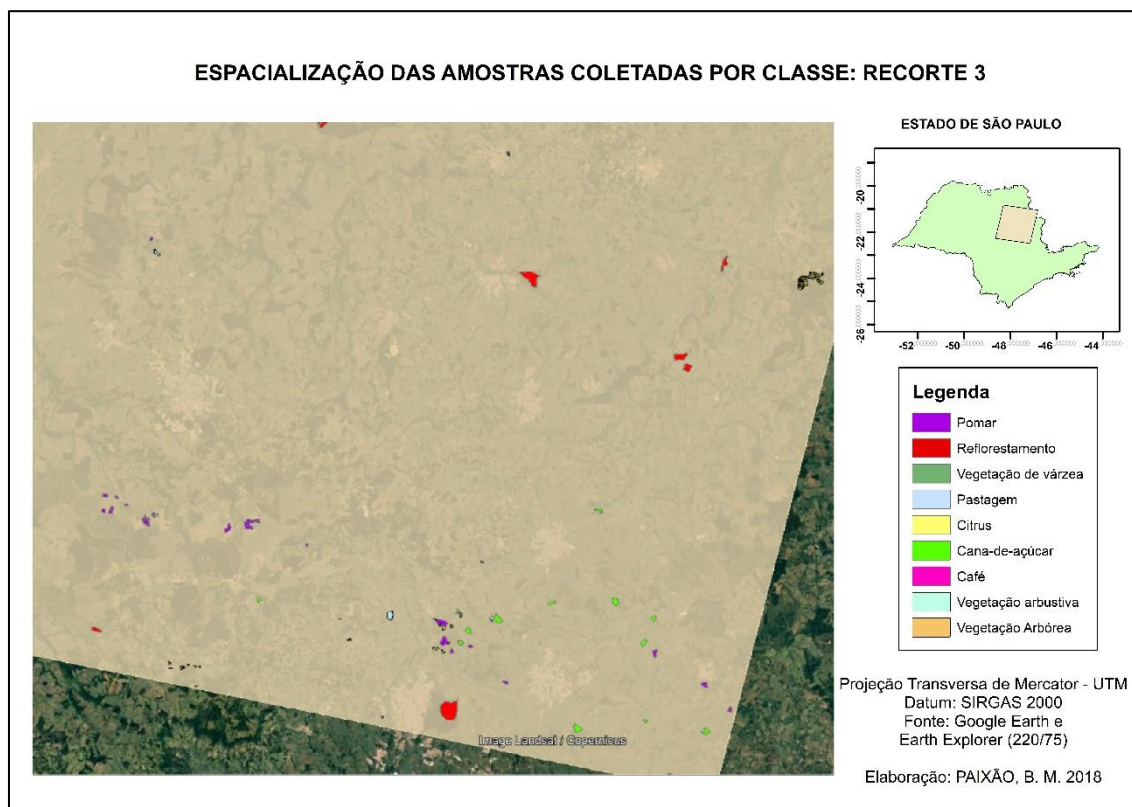


Fonte: Google Earth; Earth Explorer. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

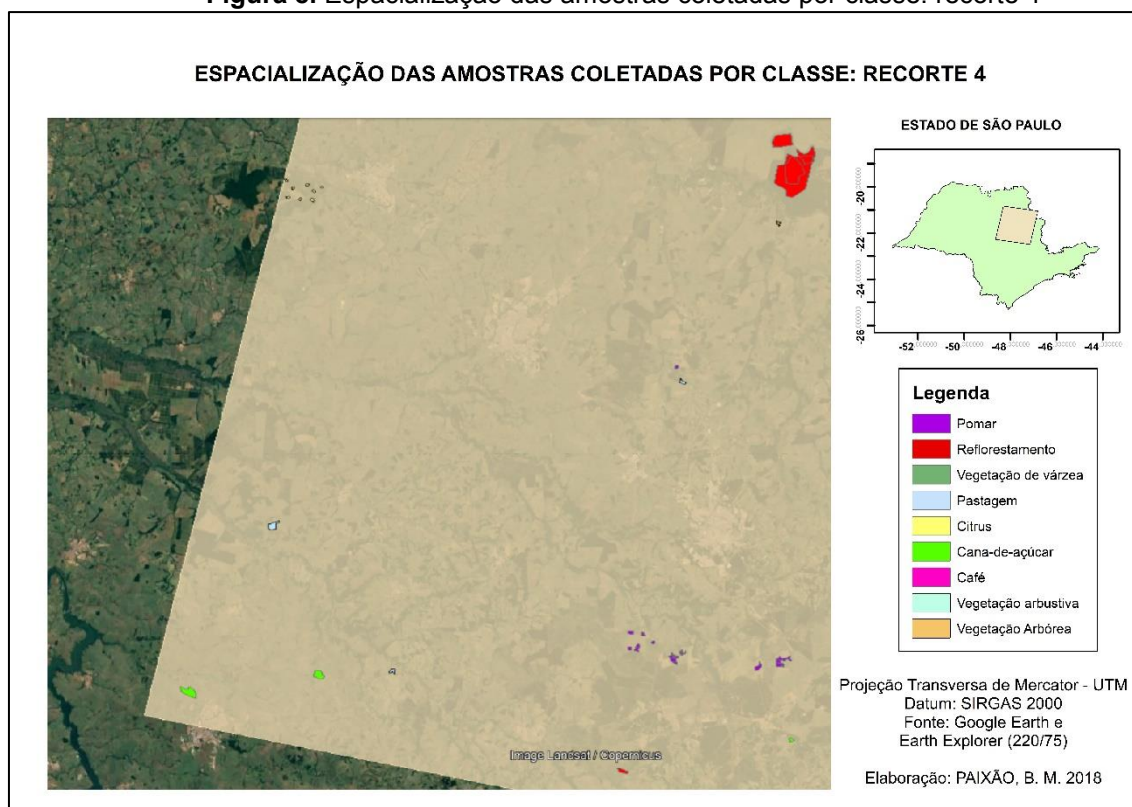
Figura 6. Espacialização das amostras coletadas por classe: recorte 2



Fonte: Google Earth; Earth Explorer. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Figura 7. Espacialização das amostras coletadas por classe: recorte 3

Fonte: Google Earth; Earth Explorer. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

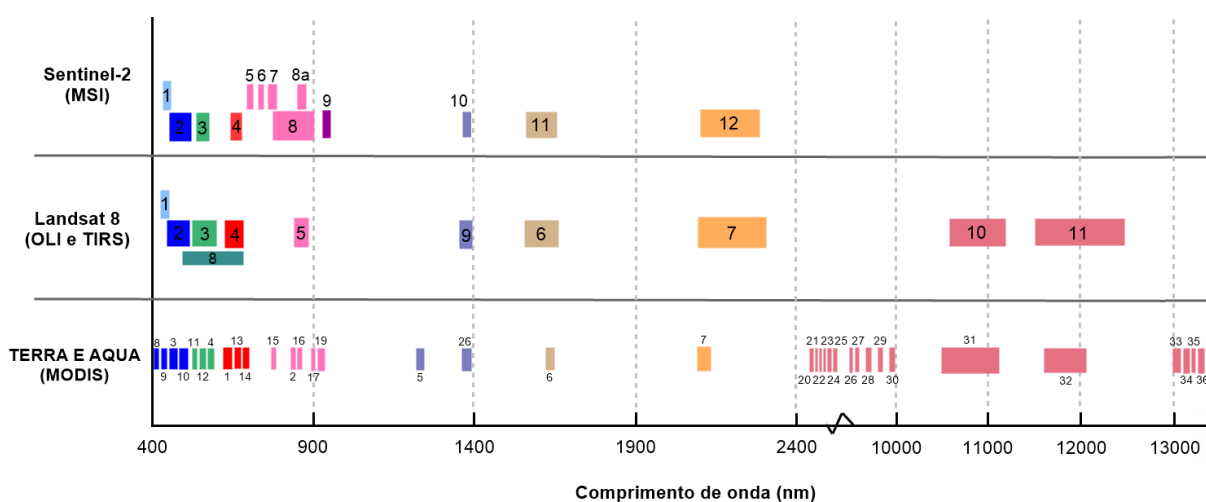
Figura 8. Espacialização das amostras coletadas por classe: recorte 4

Fonte: Google Earth; Earth Explorer. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Considerando as amostras selecionadas, juntamente com as imagens obtidas do ano de 2017, foram gerados também no ArcMap 10.5, os NDVIs para todos os meses. O seu cálculo considera valores de reflectância e absorção das bandas do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR), estimando com qualidade as condições biofísicas das culturas. (ZANZARINI et al., 2013). Os seus valores variam entre -1 e 1, sendo que a vegetação está associada a valores positivos e as nuvens, água se relacionam com valores próximos à zero e negativos. (RIZZI, 2004).

O Gráfico 4, a seguir, ilustra os comprimentos de onda das bandas do vermelho e infravermelho próximo, bem como as demais bandas e suas respectivas correspondências conforme os diferentes sistemas satélites.

Gráfico 4. Comparação entre as bandas dos satélites Sentinel 2, Landsat 8, TERRA E AQUA



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Em seguida os dados referentes aos NDVIs gerados, como a média e satélite de origem, foram exportados e compilados em uma única tabela, possibilitando a geração do padrão do perfil temporal de crescimento vegetal das amostras individualizadas e também dos cultivos a partir de suas médias. Tal padrão foi expresso no formato de gráfico e caracterizado por uma curva contendo a variação das médias temporalmente.

A plataforma SATVeg da Embrapa, já fornece os valores de NDVI das áreas selecionadas, não sendo necessária a etapa descrita anteriormente no ArcMap 10.5. Portanto, os dados obtidos pelo satélite TERRA (sensor MODIS), da plataforma, abarcaram também o período temporal de um ano (2017). Essas informações também

foram exportadas para tais tabelas e copiladas, objetivando a complementação dos dados e evitando lacunas temporais, garantindo um padrão de perfil temporal de crescimento das culturas com maior grau de confiança.

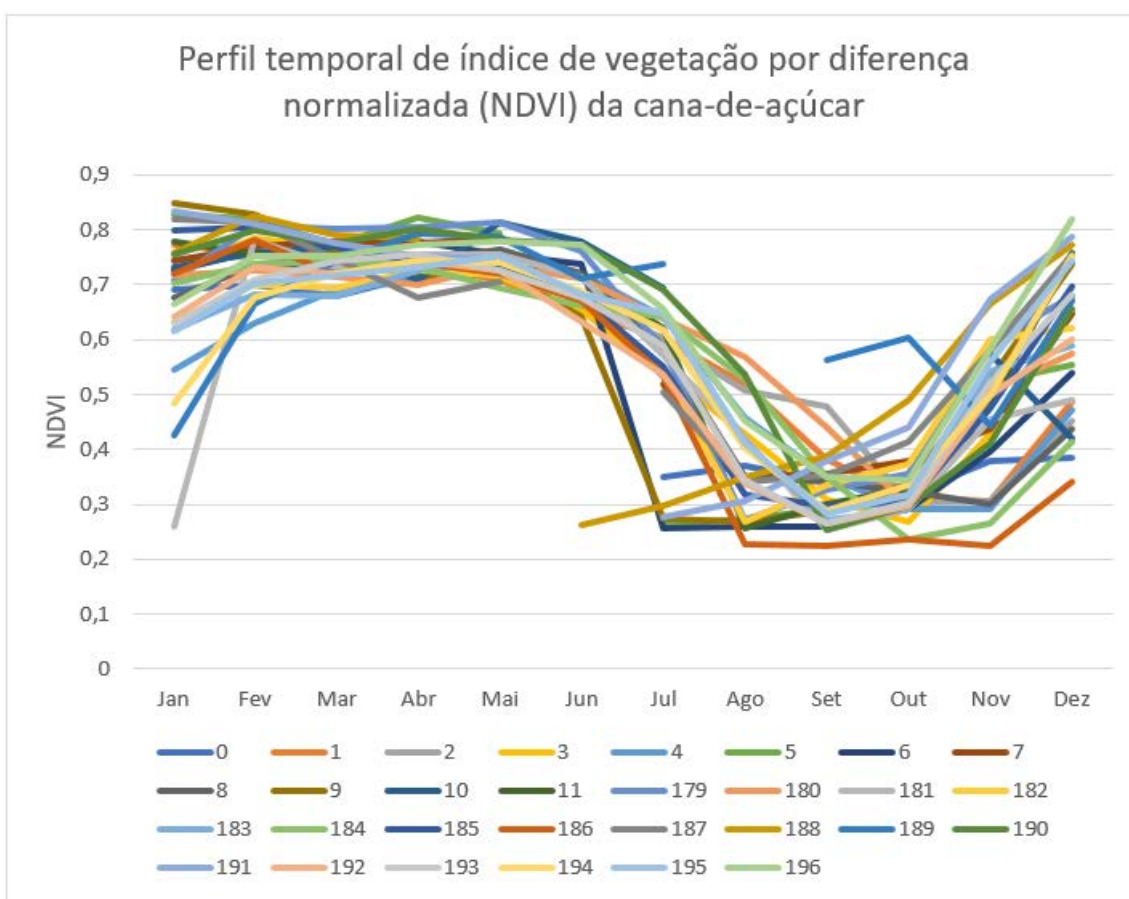
Através dos dados organizados e dos gráficos que deles derivaram, foi possível a caracterização das culturas estudadas, bem como o entendimento a respeito de seu comportamento temporal e espectral.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos indicados a seguir apresentam a sequência temporal do índice de vegetação (NDVI), que simulam a curva de crescimento vegetal das culturas consideradas. Os resultados demonstram as variações dos valores por amostras, que são caracterizadas e diferenciadas entre si por diferentes cores, além de serem identificadas através de diferentes números, sendo que suas médias são representadas para caracterizar a dinâmica anual das as culturas.

5.1 Cana-de-açúcar

Gráfico 5. Perfil temporal de NDVI da cana-de-açúcar



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Ao analisar o perfil temporal de índice vegetativo da cana-de-açúcar, expresso pelo Gráfico 5, notamos a ocorrência de variedades de ciclo médio, ou seja, as que

possuem a sua maturação entre os meses de junho e setembro, pois nesse período há a redução gradativa do NDVI, acompanhado de uma estabilização que se concentra nos valores mais baixos do perfil. Levando em conta o sistema de plantio, foram consideradas a cana-de-ano e a cana-de-ano-e-meio, não havendo, portanto, uma distinção entre tais categorias.

A cana-de-ano possui a plantação concentrada entre setembro e novembro, além disso, a sua colheita ocorre cerca de 12 meses depois, o que explica os índices mais baixos concentrados nesses meses. Dessa forma, é possível afirmar que a plantação concentra suas maiores taxas de crescimento entre novembro e abril, devido aos fatores de fotoperíodo longo, alta temperatura e maior disponibilidade hídrica. No caso da cana-de-ano-e-meio, a plantação ocorre entre janeiro e abril, com colheita entre maio e novembro do ano posterior, podendo permanecer em campo em torno de 18 meses. As maiores taxas de crescimento, também se concentram entre novembro e abril, porém, apresenta-se mais desenvolvido em tal período, apresentando respostas mais rápidas às condições físicas que são favoráveis para si.

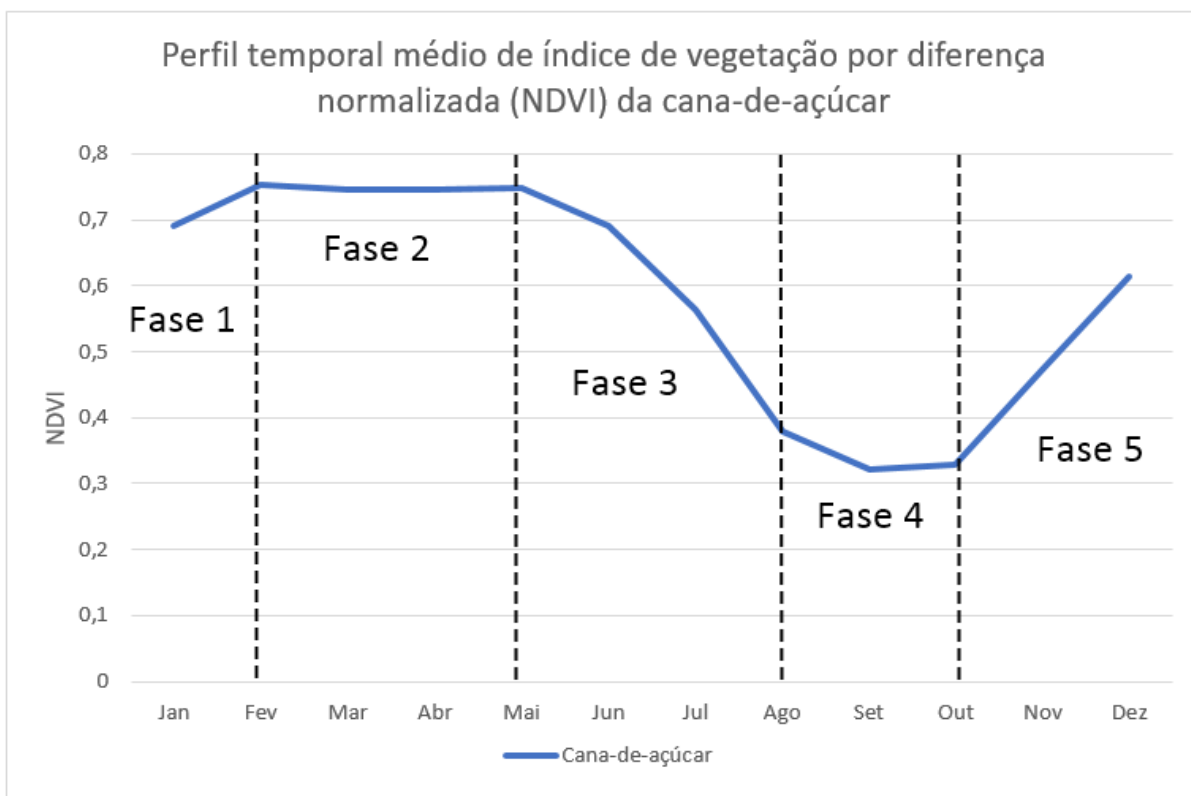
A respeito da fase de crescimento intenso, ou seja, a fase de desenvolvimento vegetativo, considerando as condições climáticas favoráveis ao rápido crescimento, o acúmulo de sacarose é mínimo, porém, quando as condições passam a não ser favoráveis, o desenvolvimento vegetativo enfrenta dificuldades, estimulando o acúmulo de sacarose, dando início à fase de maturação.

O florescimento da cana-de-açúcar tem início quando as taxas de crescimento começam a diminuir devido à redução no fotoperíodo, ou seja, após o solstício de verão. A formação da flor ocorre nos meses de fevereiro, março e abril, sendo que o florescimento é abundante nos meses de abril, maio e junho, época que concentra os valores de NDVI mais altos. Além disso, Pereira et al. (1983) mostra que o florescimento depende das condições de umidade do solo, fotoperíodo e temperatura do ar para seu sucesso.

A fase de maturação envolve os últimos meses do ciclo da cultura, quando algum estresse ambiental, como por exemplo, a deficiência hídrica, a redução na irradiância solar ou o frio, são pontos desfavoráveis para o desenvolvimento vegetativo. Esse processo se inicia no mês de maio, com o seu ápice no mês de outubro. Em tal período, é possível notar a queda gradativa dos valores de NDVI. As condições climáticas dessa época, com a queda gradativa da temperatura e redução das taxas de precipitação, até a seca total do meio do ano, são importantes nesse

processo. A queda na temperatura é responsável pela redução do ritmo vegetativo e quando esse fenômeno não ocorre, é necessário o surgimento de uma leve seca para gerar essa redução.

Gráfico 6. Perfil temporal médio de NDVI da cana-de-açúcar

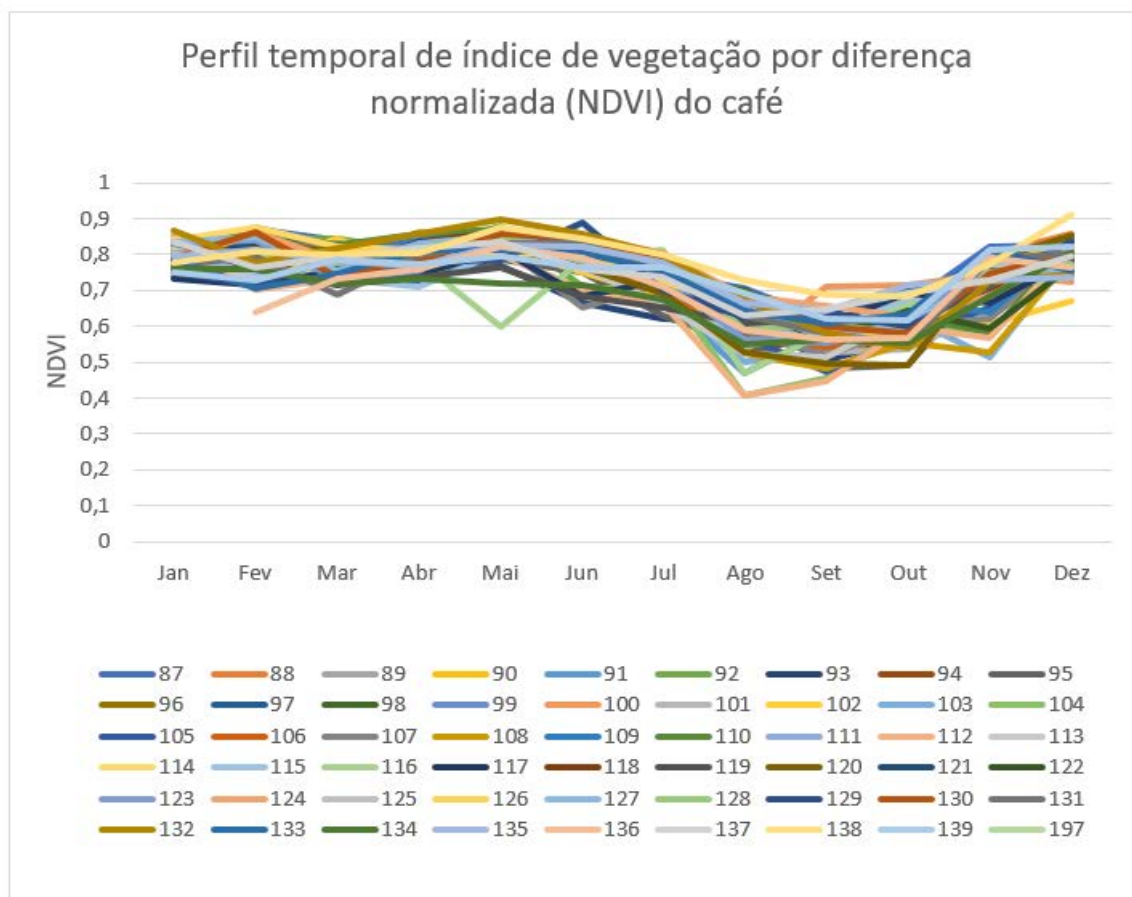


Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O Gráfico 6 retrata o comportamento da cana-de-açúcar considerando a média entre os valores mensais de NDVI de todas as amostras coletadas, que são expressos na figura anterior. Considerando o comportamento temporal e espectral de forma simultânea é possível a delimitação de cinco diferentes fases. Há o crescimento gradativo dos valores de outubro a dezembro (fase 5), em seguida os valores continuam progredindo de janeiro até fevereiro (fase 1). De fevereiro a maio se concentram os valores mais altos, que não possuem variações abruptas entre si, se apresentando de forma contínua (fase 2). Os valores vão decaindo de maio a agosto (fase 3), sendo que há uma pequena continuidade de queda e estabilização dos valores em seus estados mínimos (fase 4). O valor máximo é de 0,75 e se encontra no mês de fevereiro, durante o verão. Já o valor mínimo, é de 0,32, no mês de setembro, em que há a transição entre inverno e primavera.

5.2 Café

Gráfico 7. Perfil temporal de NDVI do café



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O ciclo de desenvolvimento do café, conforme Camargo; Camargo (2001), intercala fases vegetativas e reprodutivas, durando cerca de dois anos. O seu perfil temporal de índice vegetativo, conforme o Gráfico 7, apresenta certa estabilidade de altos valores, apresentando uma leve queda no período compreendido entre junho e outubro.

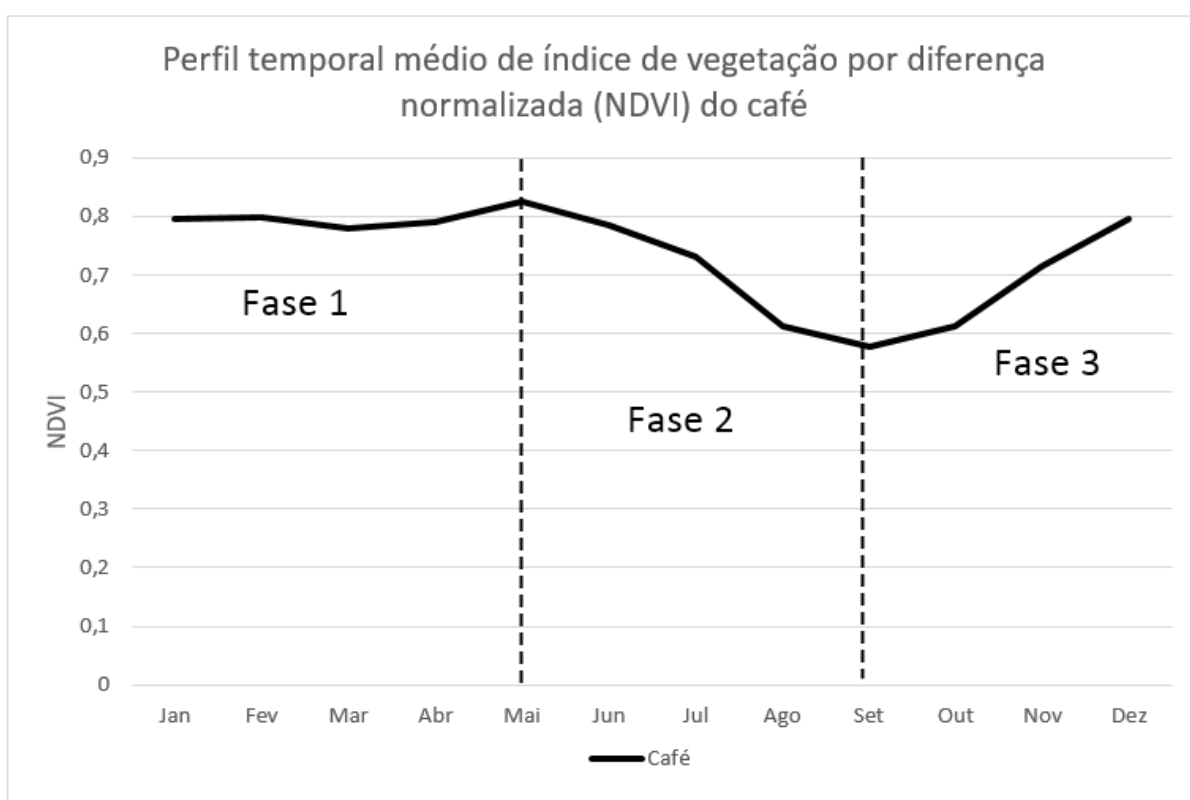
No primeiro ano de ciclo, a florada principal se concentra nos meses de setembro e outubro, sendo que esse processo é bem delineado com um período de restrição hídrica durante o período de repouso das gemas. Essas gemas ao amadurecerem, entram em uma fase de dormência, estando preparadas para maturação com as chuvas.

O segundo ano de ciclo tem inícios com a florada, o que justifica a concentração dos valores mais altos nos meses iniciais. Em seguida ocorre a formação dos

chumbinhos e o crescimento dos grãos, sendo que a estiagem e o estresse hídrico irão impactar no crescimento dos frutos, que ocorre no verão, de janeiro a março. Depois, ocorre a maturação dos frutos, a partir de abril, possuindo relação com a acumulação de energia solar. Já no período de julho a agosto, alguns ramos produtivos secam e morrem, limitando o crescimento do cafeeiro, o que é expresso através da queda gradativa dos valores do índice nesses meses.

A disponibilidade hídrica é muito importante para a produtividade do cafeeiro, sendo que há a necessidade de regulação da umidade do ar e solo, considerando as chuvas. Porém, entre os meses de julho a agosto, a carência hídrica pode ser benéfica, pois favorece o surgimento de uma melhor florada nas chuvas de setembro. A redução do crescimento do cafeeiro ocorre no período do verão e as temperaturas maiores, concentradas nos meses de outubro e novembro, geram o surgimento das flores. Além disso, a época de florescimento do cafeeiro pode ter relação com o fotoperíodo em casos os quais as áreas de cultivo são climaticamente favoráveis.

Gráfico 8. Perfil temporal médio de NDVI do café

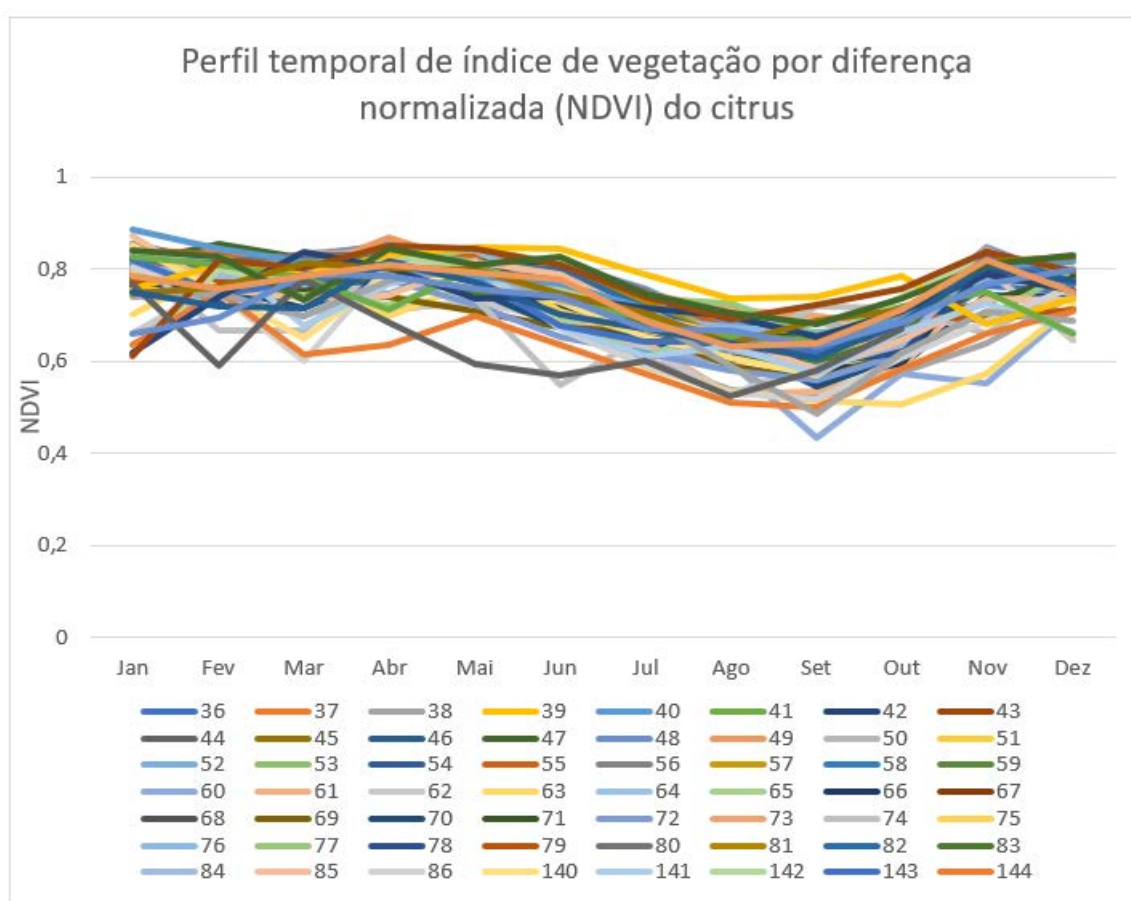


Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O Gráfico 8 retrata o comportamento do café considerando a média entre os valores mensais de NDVI de todas as amostras coletadas, que são expressos na figura anterior. Considerando o comportamento temporal e espectral de forma simultânea é possível a delimitação de três diferentes fases. Há a concentração dos valores mais altos de janeiro a maio (fase 1), sendo que há uma queda gradativa de maio a setembro (fase 2), seguido do crescimento dos valores, também gradativo até dezembro, em que há a retomada dos valores altos (fase 3). O valor máximo é de 0,82 e se encontra no mês de maio, durante o outono. Já o valor mínimo, é de 0,57, no mês de setembro, em que há a transição entre inverno e primavera.

5.3 Citrus

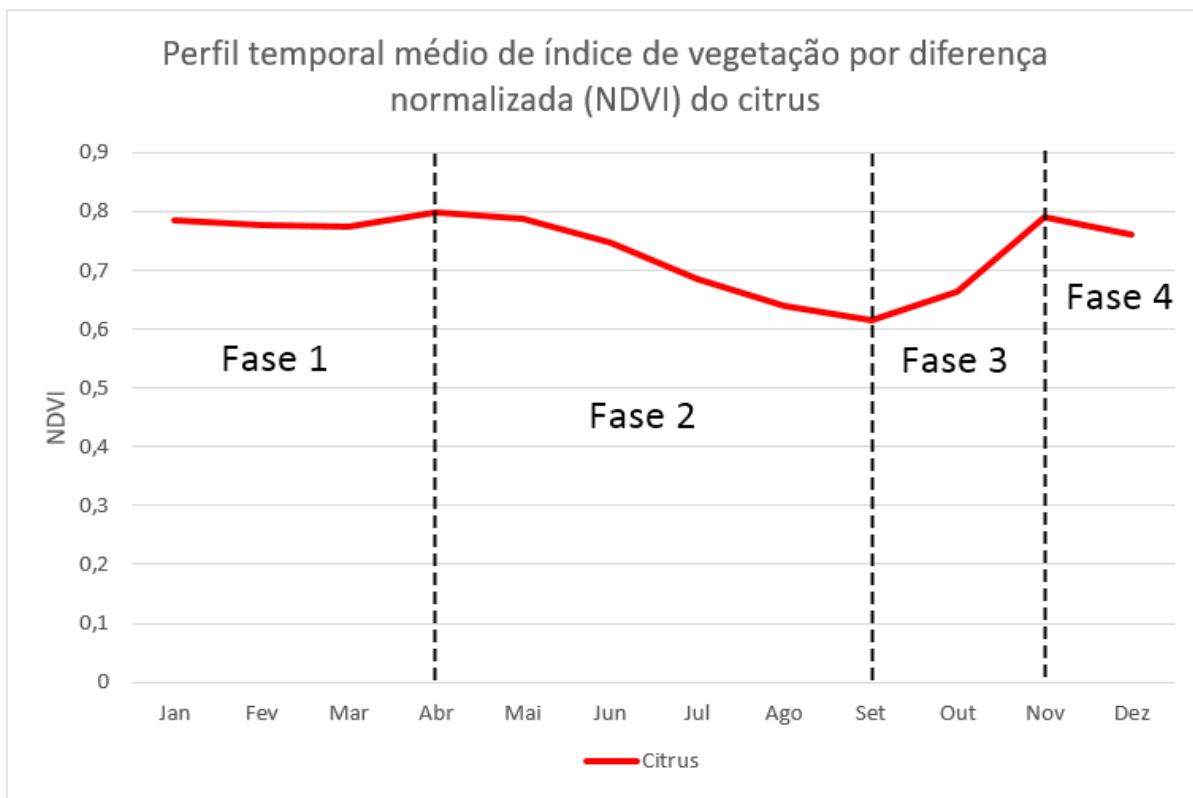
Gráfico 9. Perfil temporal de NDVI do citrus



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

As culturas de citrus, de acordo com o Gráfico 9, apresentam quase que uma uniformidade temporal ao se considerar os valores de índice de vegetação, sendo que até mesmo o período de queda dos valores não apresenta variações expressivas. O período de crescimento vegetativo ocorre durante os meses do verão, que apresentam os valores mais altos. A estagnação do crescimento vegetativo ocorre devido ao frio ou seca, estimulando a geração de reservas, para a época de florada e desenvolvimento das estruturas reprodutivas, ou seja, a deficiência hídrica e as baixas temperaturas caracterizam esse período, justificando a queda gradativa dos valores nos meses do inverno.

Há um período de queda dos frutos remanescentes, sendo que o início do verão finaliza esse processo. A maior necessidade envolve o período entre a floração e a queda, em novembro. A partir da floração, se inicia o crescimento vegetativo, juntamente com o estabelecimento e crescimento do fruto, sendo, portanto, uma fase de alta demanda de energia e de necessidade hídrica. A principal florada do citrus provavelmente ocorre entre setembro e novembro, considerando o retorno gradativo do perfil aos índices mais altos. As chuvas a partir do mês de dezembro, contribuem para o aumento da produção durante o período de desenvolvimento do fruto, o que pode ser demonstrado a partir dos seus altos valores de índice, que se mantém nos meses seguintes.

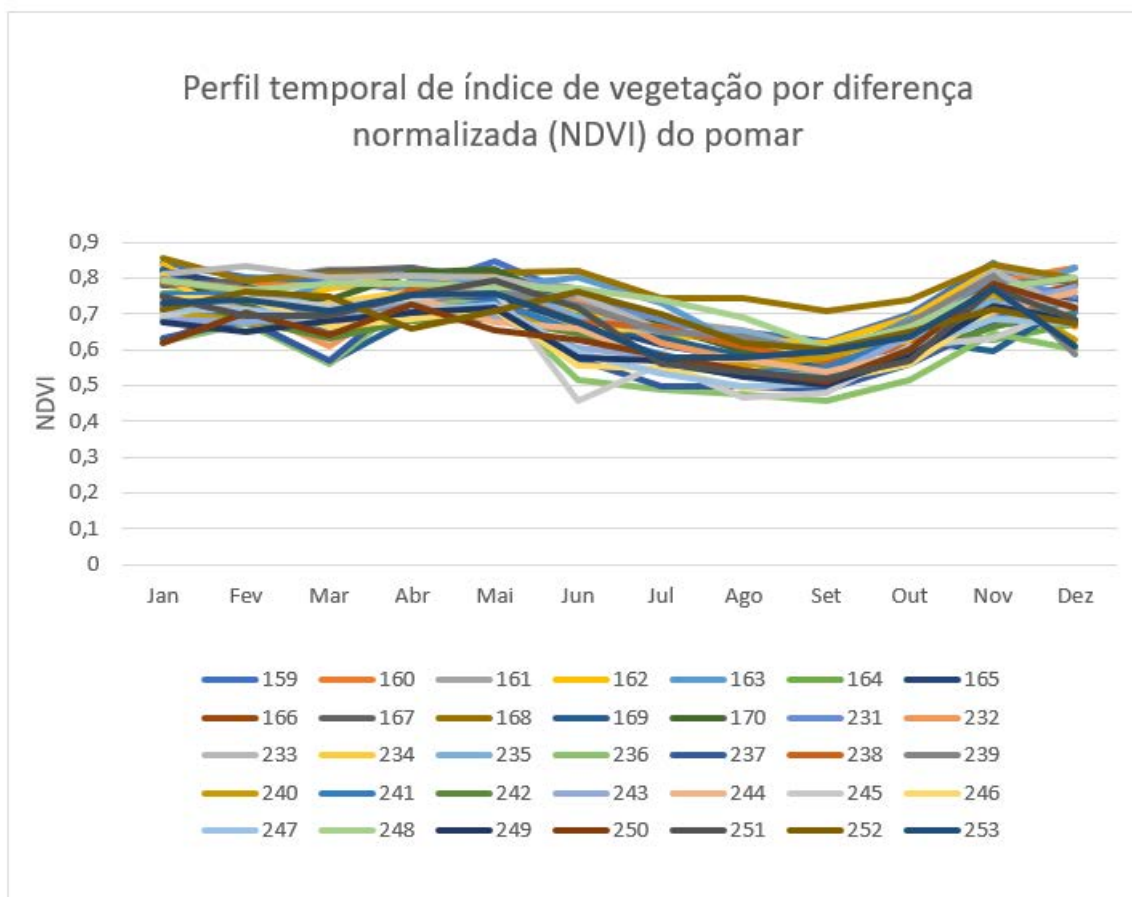
Gráfico 10. Perfil temporal médio de NDVI do citrus

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O Gráfico 10 retrata o comportamento do citrus considerando a média entre os valores mensais de NDVI de todas as amostras coletadas, que são expressos na figura anterior. Considerando o comportamento temporal e espectral de forma simultânea é possível a delimitação de quatro diferentes fases. Há a estabilização dos valores mais altos, com um leve aumento durante o período entre janeiro e abril (fase 1). Em seguida ocorre a queda gradativa dos valores, de abril a setembro (fase 2). Os valores sobem progressivamente de setembro a novembro (fase 3), seguindo novamente pela queda de valores, dessa vez com pouca variação, de novembro a dezembro (fase 4). O valor máximo é de 0,79 e se encontra no mês de abril, durante o outono. Já o valor mínimo, é de 0,61, no mês de setembro, em que há a transição entre inverno e primavera.

5.4 Pomar

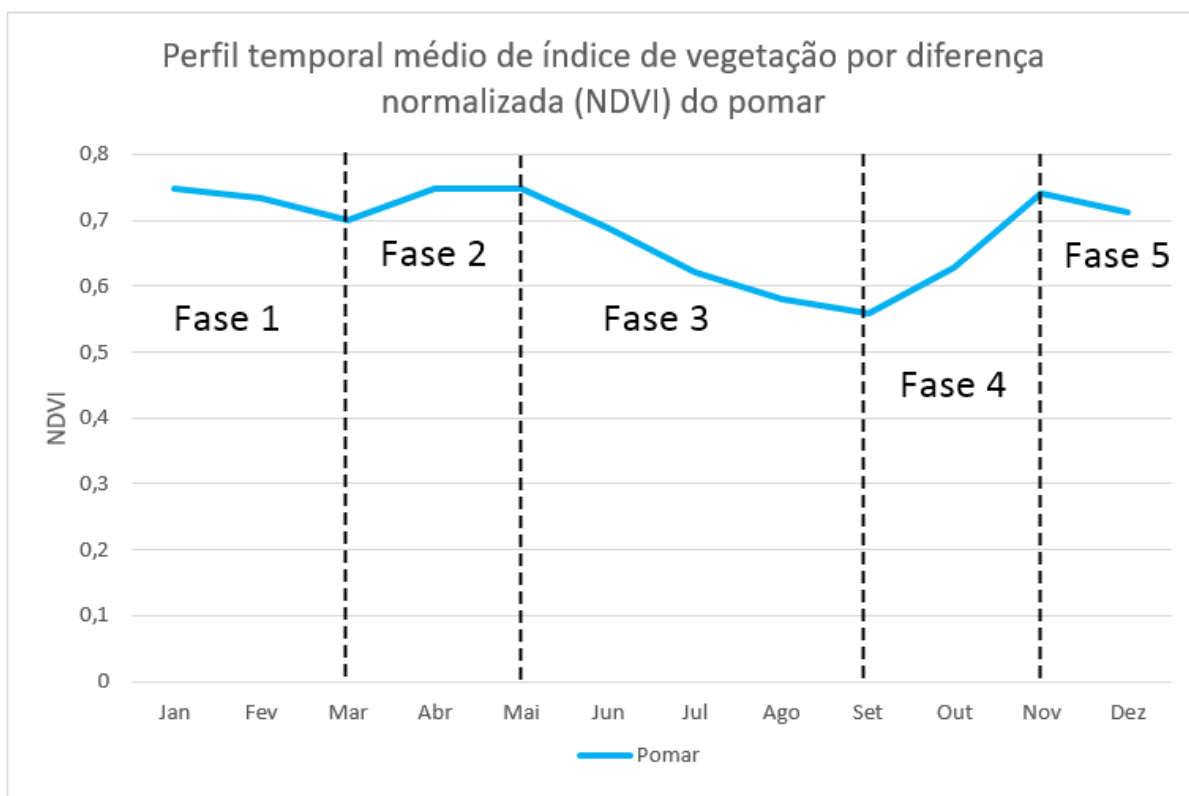
Gráfico 11. Perfil temporal de NDVI do pomar



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

A classe referente ao pomar considerou um conjunto de diferentes árvores frutíferas a partir da identificação visual de seus padrões no Google Earth em uma forma mais generalizada, ou seja, sem distinções entre si. Dessa forma, o perfil de índice de vegetação, expresso no Gráfico 11, se caracteriza pela produção de frutas durante todo o ano, visto que cada espécie possui uma época apropriada para tal finalidade e foram consideradas uma variedade delas.

Devido a esse comportamento constante, os valores de índice de vegetação são altos e apresentam certa homogeneidade durante todo o ano, sofrendo uma leve queda no período de inverno, devido as baixas temperaturas e seca. Tal queda, de junho a setembro, ocorre de forma gradativa e suave, sem variações bruscas.

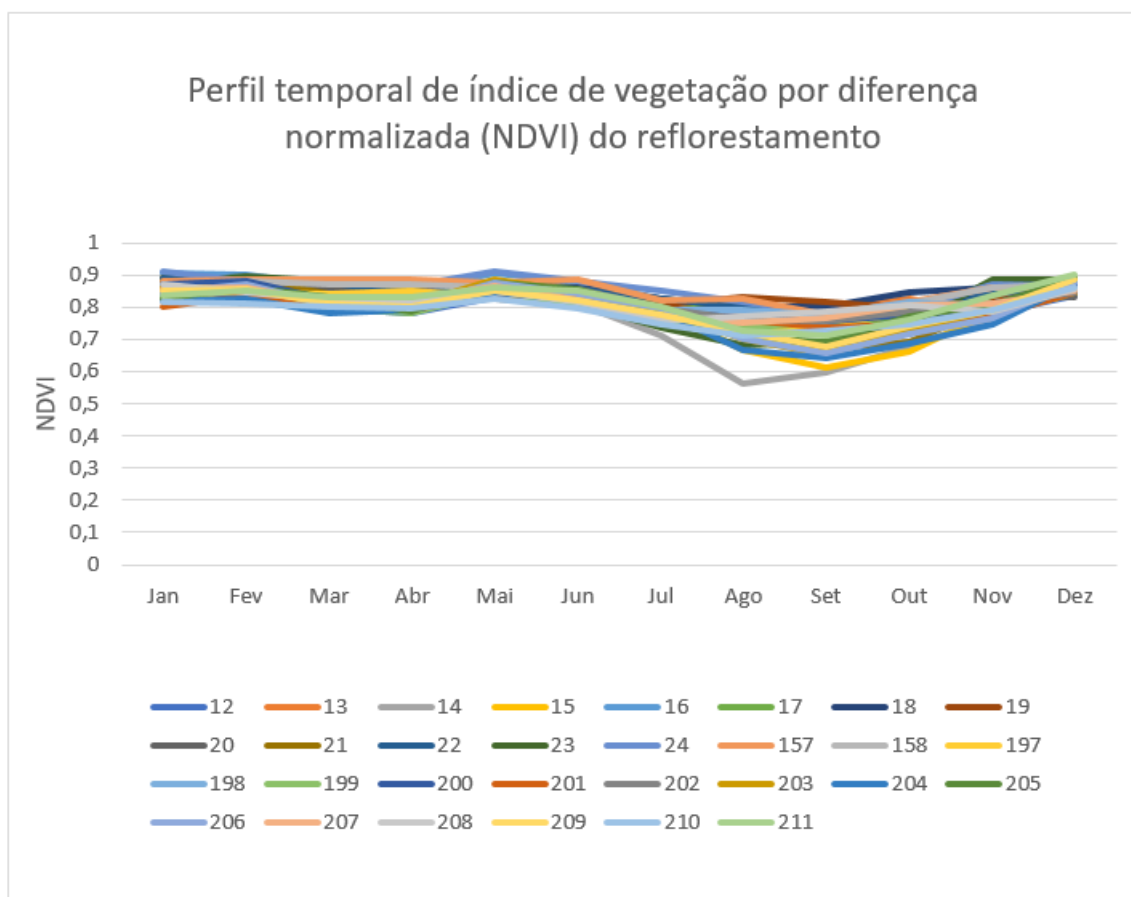
Gráfico 12. Perfil temporal médio de NDVI do pomar

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O Gráfico 12 retrata o comportamento do pomar considerando a média entre os valores mensais de NDVI de todas as amostras coletadas, que são expressos na figura anterior. Considerando o comportamento temporal e espectral de forma simultânea é possível a delimitação de cinco diferentes fases. Entre os meses de janeiro e março temos a presença de altos valores que vão decaindo de forma gradativa (fase 1). Em seguida, entre março e maio, a presença dos altos valores ainda é marcante, ocorrendo dessa vez a progressão e estabilização dos mesmos (fase 2). Os valores caem gradativamente de maio a setembro, sendo que agosto e setembro concentram os valores mais baixos (fase 3). Entre setembro e novembro os valores sobem rapidamente até o auge, em novembro (fase 4). Há novamente a queda de valores, dessa vez entre novembro e dezembro, porém, com pouca variação entre si (fase 5). O valor máximo é de 0,74 e se encontra no mês de janeiro, durante o verão. Já o valor mínimo, é de 0,55 no mês de setembro, em que há a transição entre inverno e primavera.

5.5 Reflorestamento

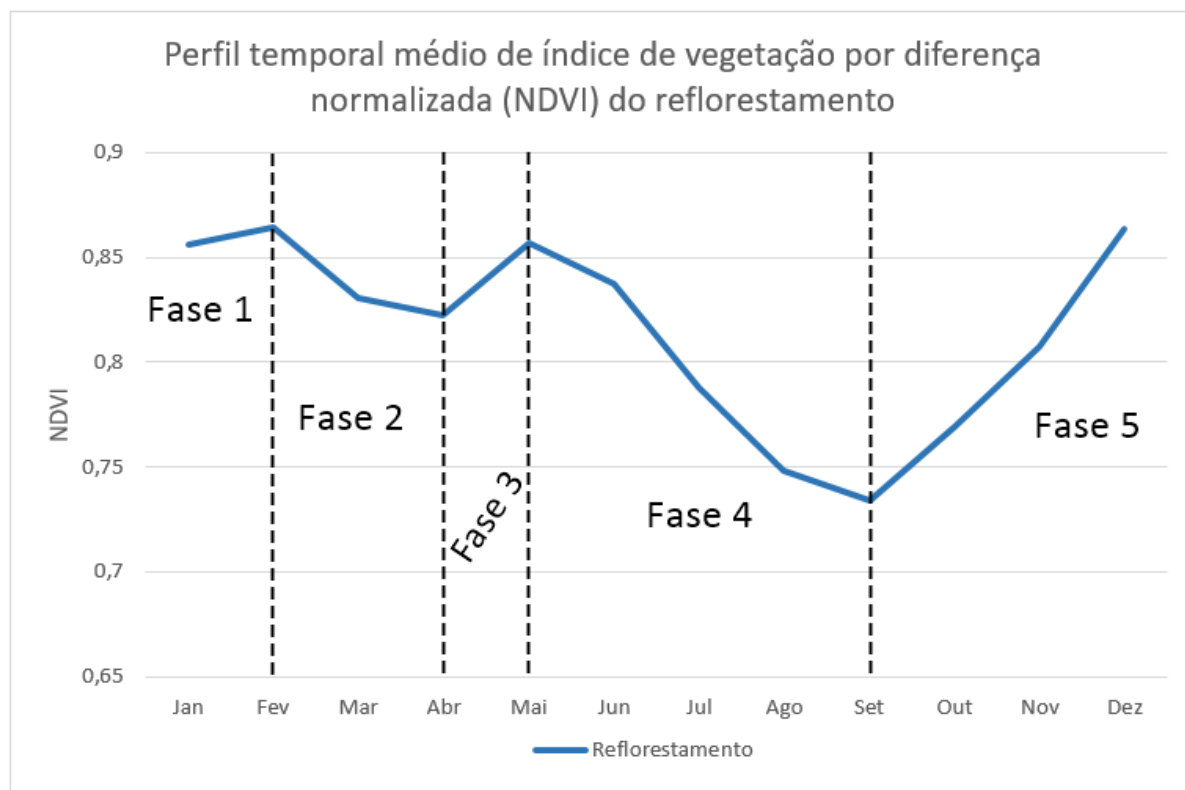
Gráfico 13. Perfil temporal de NDVI do reflorestamento



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O reflorestamento apresenta pouca variação em seu perfil temporal de índice de vegetação, conforme indica o Gráfico 13, o que conferindo ao mesmo, um aspecto visual quase linear, concentrado em altas taxas. Isso caracteriza o seu comportamento de elevado vigor vegetativo na maior parte do ano.

A queda dos valores ocorre durante os meses de inverno, devido a questões referentes a seca. Porém, apesar da redução do vigor da vegetação em tal período, as taxas reduzidas do índice não apresentam variações abruptas.

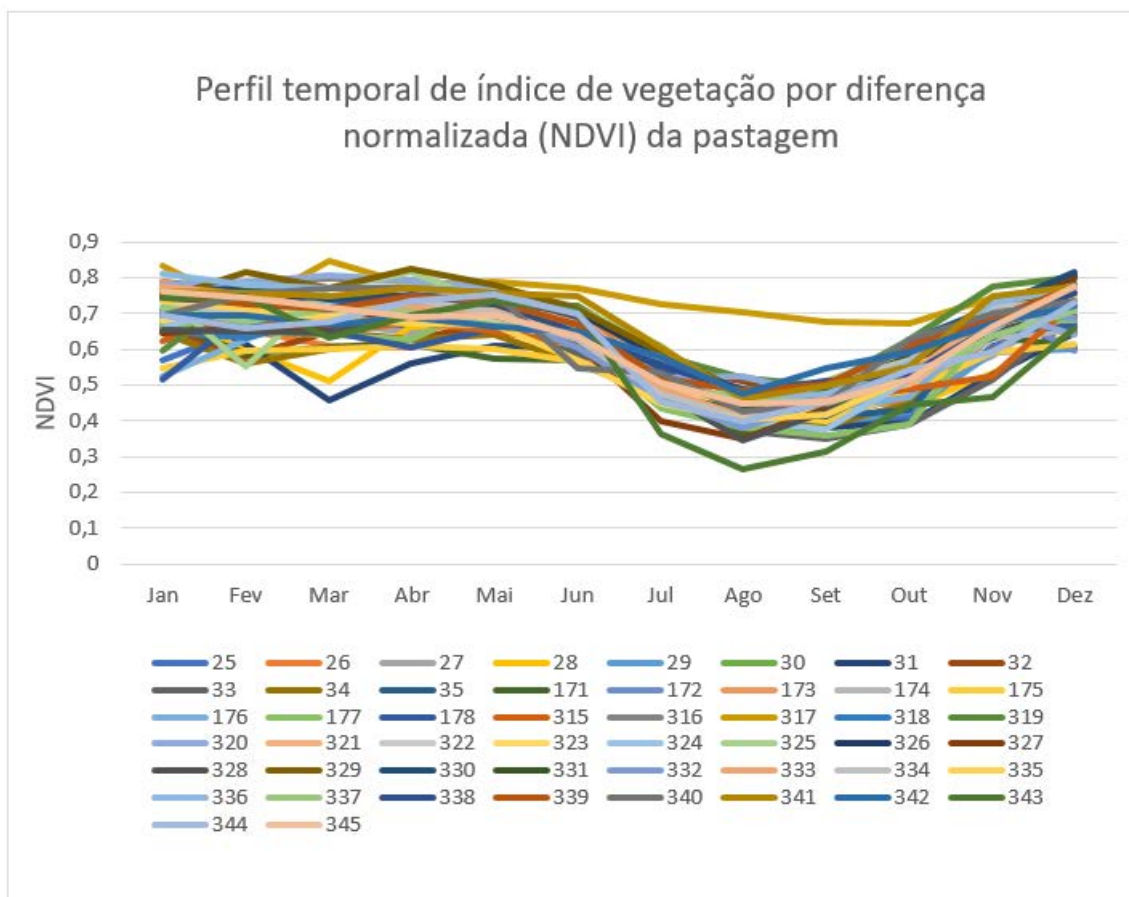
Gráfico 14. Perfil temporal médio de NDVI do reflorestamento

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O Gráfico 14 retrata o comportamento do reflorestamento considerando a média entre os valores mensais de NDVI de todas as amostras coletadas, que são expressos na figura anterior. Considerando o comportamento temporal e espectral de forma simultânea é possível a delimitação de cinco diferentes fases. Entre os meses de janeiro e fevereiro temos a concentração dos valores altos, que vão progredindo (fase 1). Há a queda gradativa de valores entre fevereiro e abril (fase 2), sendo que os valores voltam a subir de abril a maio, apresentando um dos picos de valores (fase 3). Em seguida, é perceptível uma queda mais duradoura e expressiva dos valores, de maio a setembro (fase 4). Entre setembro e dezembro os valores voltam a subir, apresentando alta discrepância entre si (fase 5). O valor máximo é de 0,86 e se encontra no mês de fevereiro, durante o verão. Já o valor mínimo, é de 0,73 no mês de setembro, em que há a transição entre inverno e primavera.

5.6 Pastagem

Gráfico 15. Perfil temporal de NDVI da pastagem



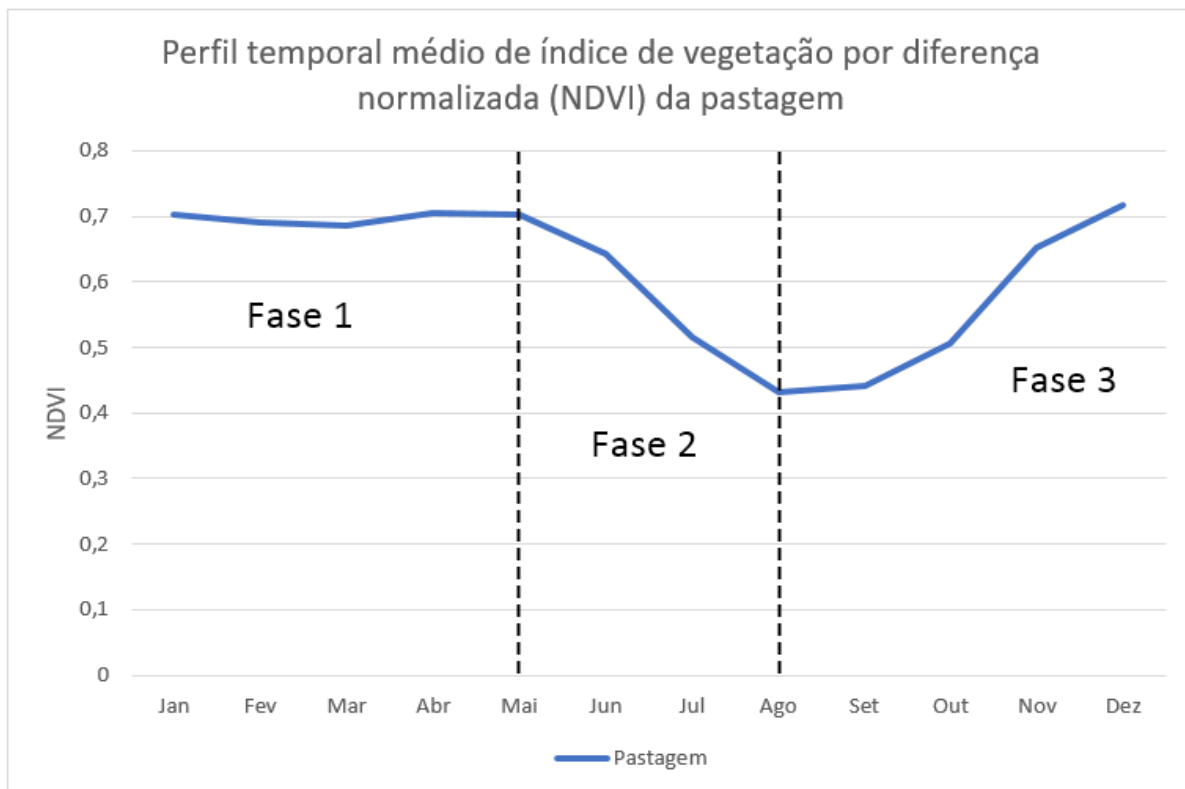
Elaboração: PAIXÃO, B.M.

A pastagem apresenta, de acordo com o Gráfico 15, índice de vegetação uniforme e uma queda de seus valores entre os meses de junho e setembro, ou seja, no período de inverno. O comportamento espectral é quase constante, evidenciando o alto vigor da vegetação durante todos os períodos, exceto no inverno, conforme citado anteriormente, devido as características de seca e pouca disponibilidade hídrica.

Após a mudança de estação, com as chuvas presentes nos meses finais do ano, a pastagem deixará de apresentar aspecto degradado devido a sua vegetação fotossinteticamente ativa, que irá proporcionar a ela aspectos mais esverdeados. Nesse período, entre outubro e dezembro, seu índice de vegetação sobe gradativamente até alcançar os valores mais altos, que se permanecem até a chegada

do inverno seguinte.

Gráfico 16. Perfil temporal médio de NDVI da pastagem



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

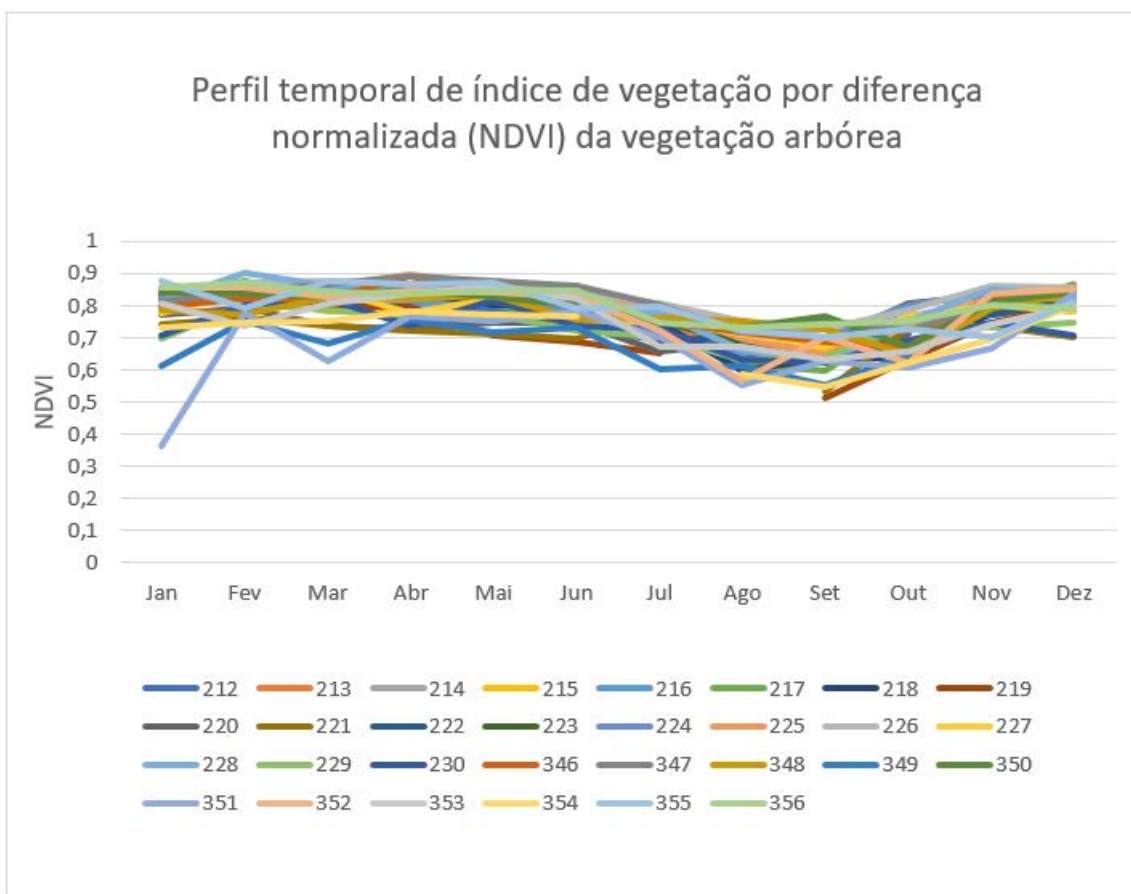
O Gráfico 16 retrata o comportamento da pastagem considerando a média entre os valores mensais de NDVI de todas as amostras coletadas, que são expressos na figura anterior. Considerando o comportamento temporal e espectral de forma simultânea é possível a delimitação de três diferentes fases. Há a concentração dos valores mais altos, de forma estabilizada, de janeiro a maio (fase 1), sendo que há uma queda gradativa de maio a agosto (fase 2), seguido do crescimento dos valores, também gradativo até dezembro, em que há a retomada dos valores altos (fase 3). O valor máximo é de 0,71 e se encontra no mês de dezembro, em que há a transição entre primavera e verão. Já o valor mínimo, é de 0,43, no mês de agosto, durante o inverno.

5.7 Vegetação natural

A vegetação natural pode apresentar variações em suas características físicas

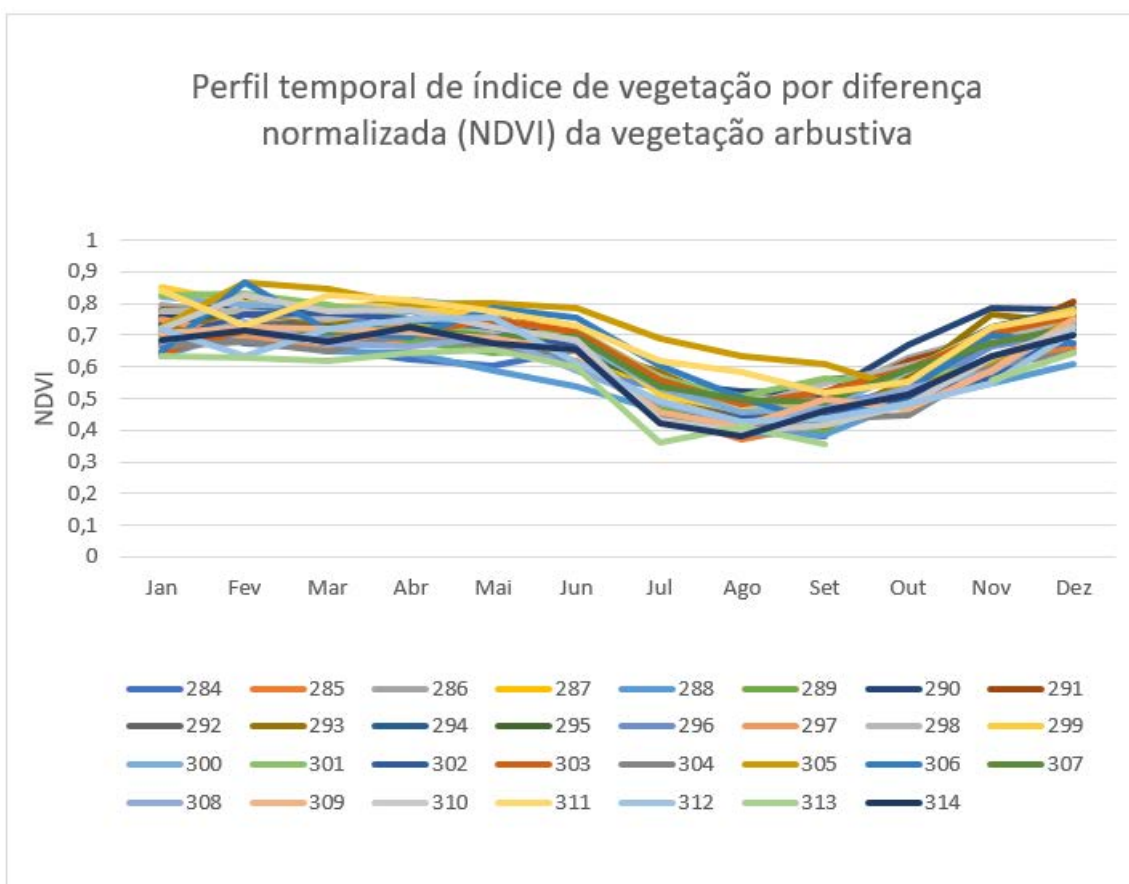
e visuais conforme o seu tipo. A partir disso, foram gerados perfis temporais de índice vegetativo para três diferentes classes: a vegetação natural, arbórea, arbustiva e de várzea.

Gráfico 17. Perfil temporal de NDVI da vegetação arbórea



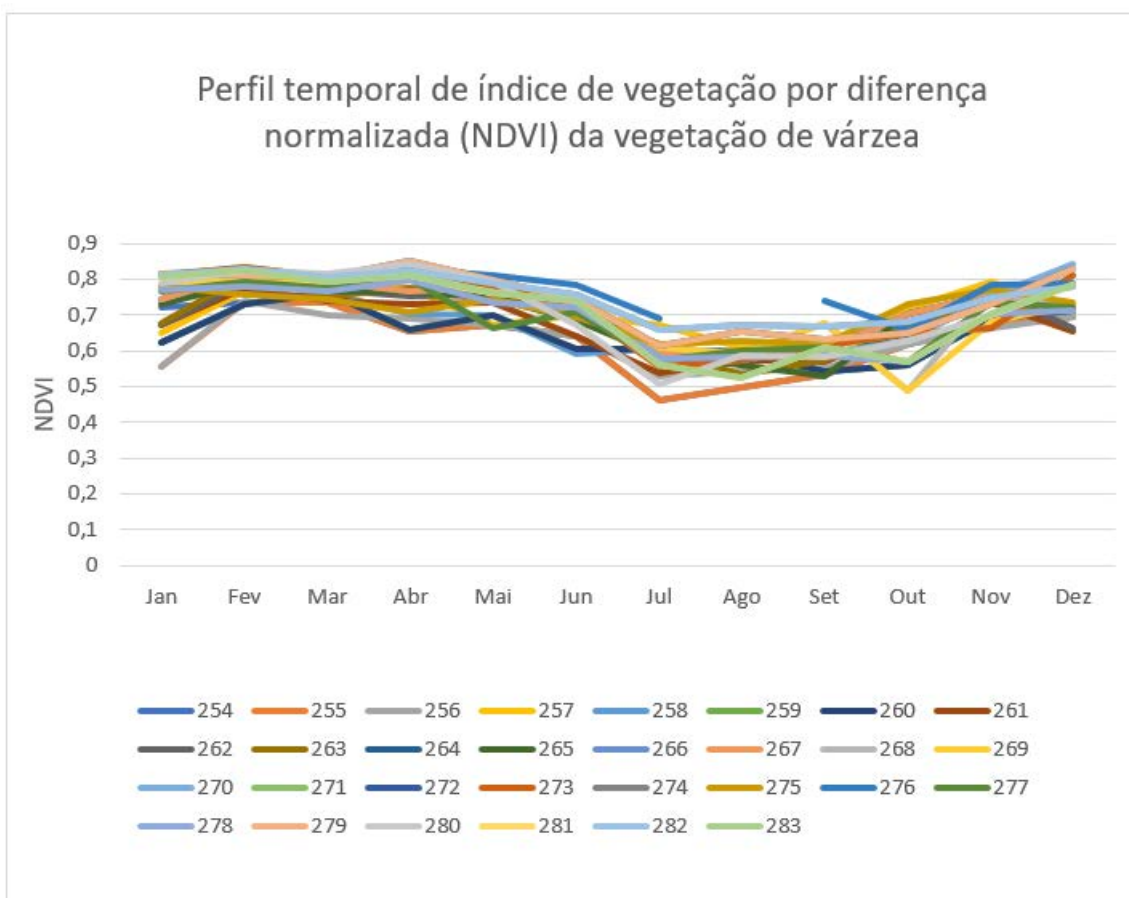
Elaboração: PAIXÃO, B.M.

A vegetação arbórea, de acordo com o Gráfico 17, apresenta elevado vigor vegetativo, com valores de índice altos. Dessa forma, ela se apresenta fotossinteticamente ativa na maior parte do tempo, sofrendo uma queda não muito significativa de valores nos meses de inverno, entre junho e agosto, porém, nada muito significativo. O mesmo comportamento é observado em relação a vegetação arbustiva, no Gráfico 18, porém, a queda de valores dos meses de inverno é mais abrupta, se concentrando em valores menores em relação a vegetação arbórea.

Gráfico 18. Perfil temporal de NDVI da vegetação arbustiva

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Devido à proximidade em relação a corpos hídricos, a vegetação de várzea, apresenta em seu perfil, no Gráfico 19, valores muito altos de índice de vegetação ao longo de todo o seu perfil, em que a leve queda de valores também se relaciona com o período de inverno e suas características de seca, se mantendo praticamente estável em todas as épocas do ano.

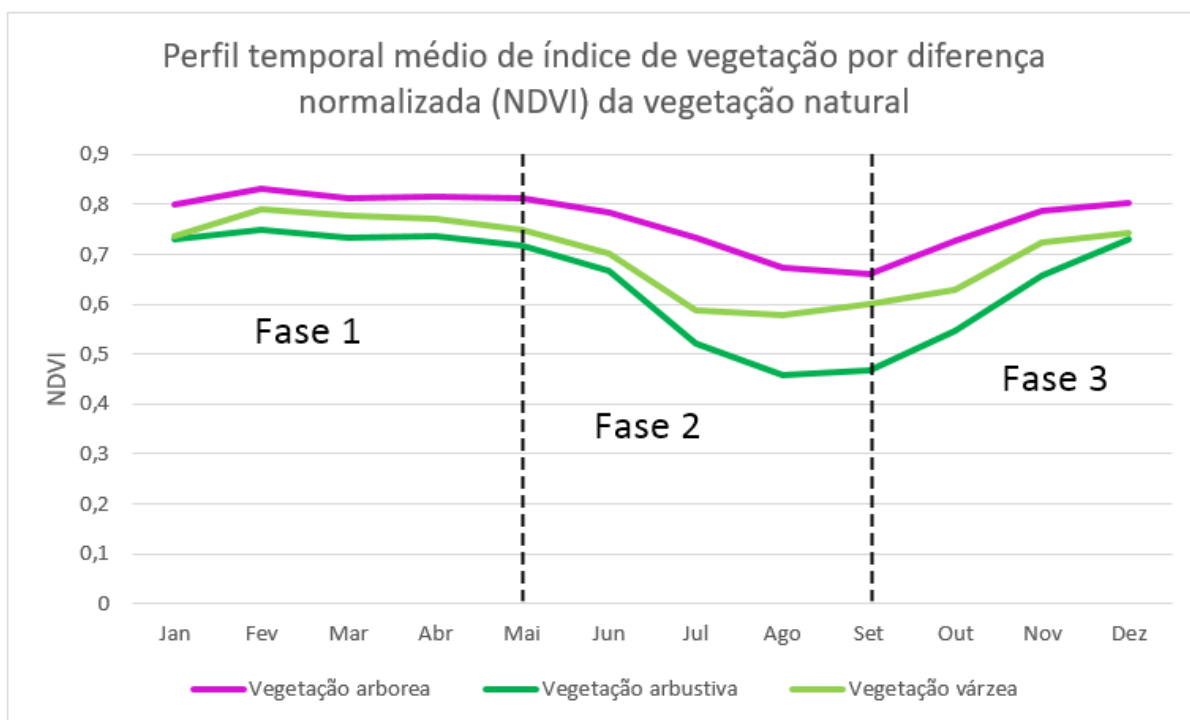
Gráfico 19. Perfil de NDVI da vegetação de várzea

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O Gráfico 20 retrata o comportamento da vegetação natural considerando a média entre os valores mensais de NDVI de todas as amostras coletadas, que são expressos nas últimas três figuras anteriores. Considerando o comportamento temporal e espectral de forma simultânea é possível a delimitação de três diferentes fases. De janeiro a maio ocorre a concentração dos valores mais altos, que se mantêm estáveis (fase 1). Em seguida, os valores apresentam queda, se mantendo estáveis em seus valores mínimos entre os meses de maio e setembro (fase 2). Os valores voltam a subir de setembro a dezembro (fase 3), sendo este, o mês em que se inicia a estabilidade apresentada na fase 1. Os valores máximos são de 0,83 para vegetação arbórea, 0,74 para vegetação arbustiva e 0,79 para vegetação de várzea; sendo que todos se encontram no mês de fevereiro, durante o verão. Já os valores mínimos, são de 0,66 para vegetação arbórea, 0,45 para vegetação arbustiva e 0,57 para vegetação de várzea. No caso da vegetação arbórea, o valor mínimo se encontra no mês de setembro, em que há a transição entre inverno e primavera. Tanto a vegetação

arbustiva quanto a vegetação de várzea, apresentam seus valores mínimos no mês de agosto, durante o inverno.

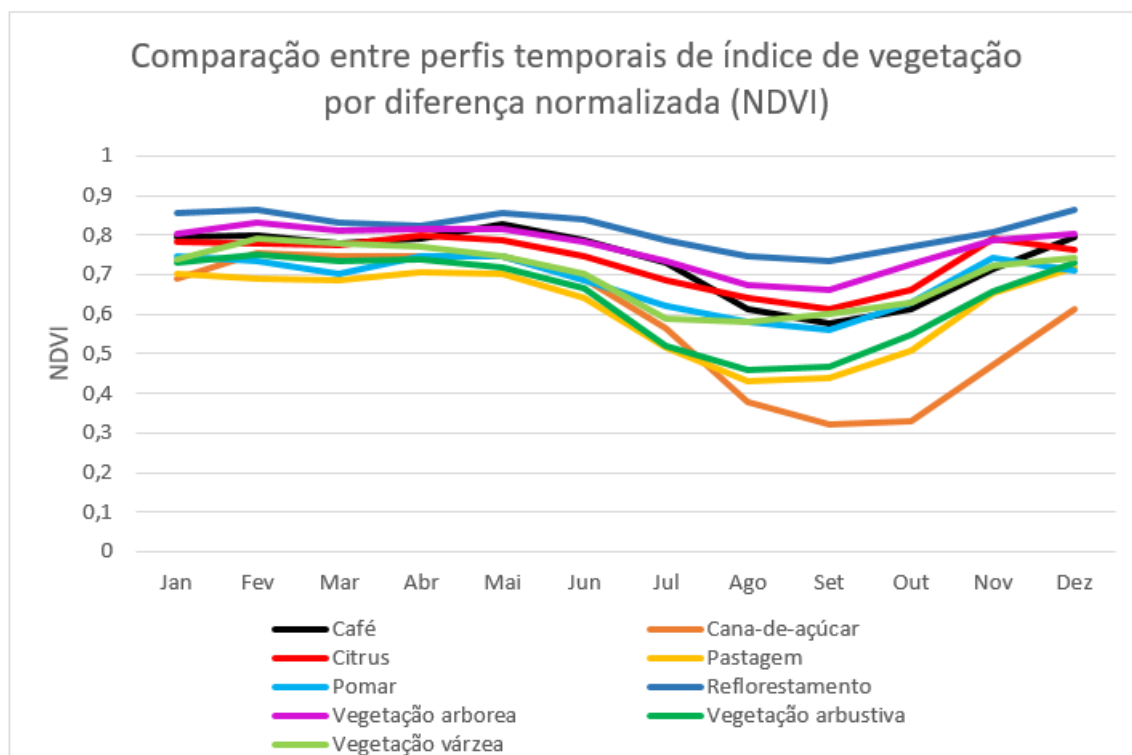
Gráfico 20. Perfil de NDVI médio da vegetação natural



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

5.8 Comparação entre os perfis de crescimento vegetal

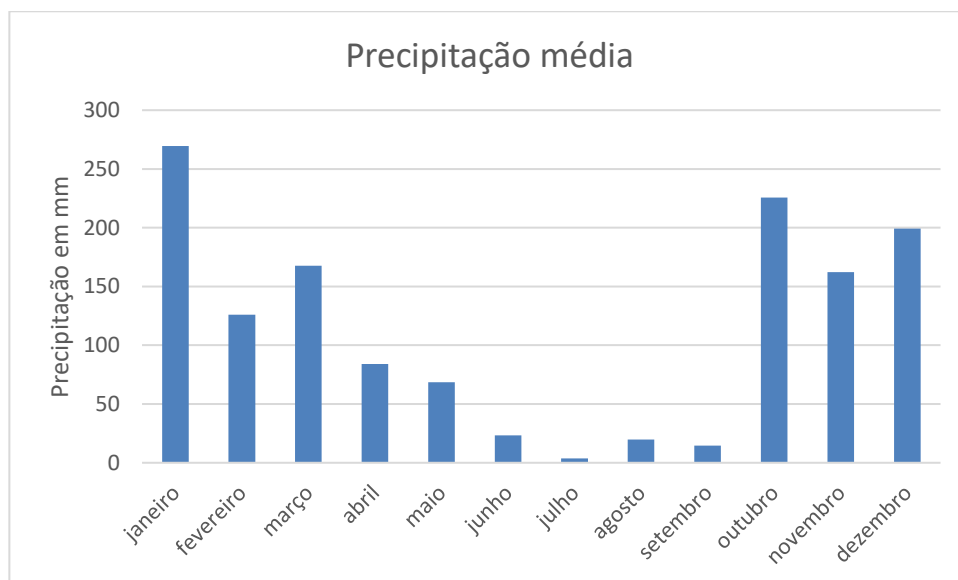
Ao analisar as curvas de crescimento vegetal geradas de uma forma compilada, é possível identificar semelhanças e distinções comportamentais, e dessa forma, selecionar os meses adequados para a classificação sem que haja expressivas confusões.

Gráfico 21. Comparação entre perfis temporais de NDVI

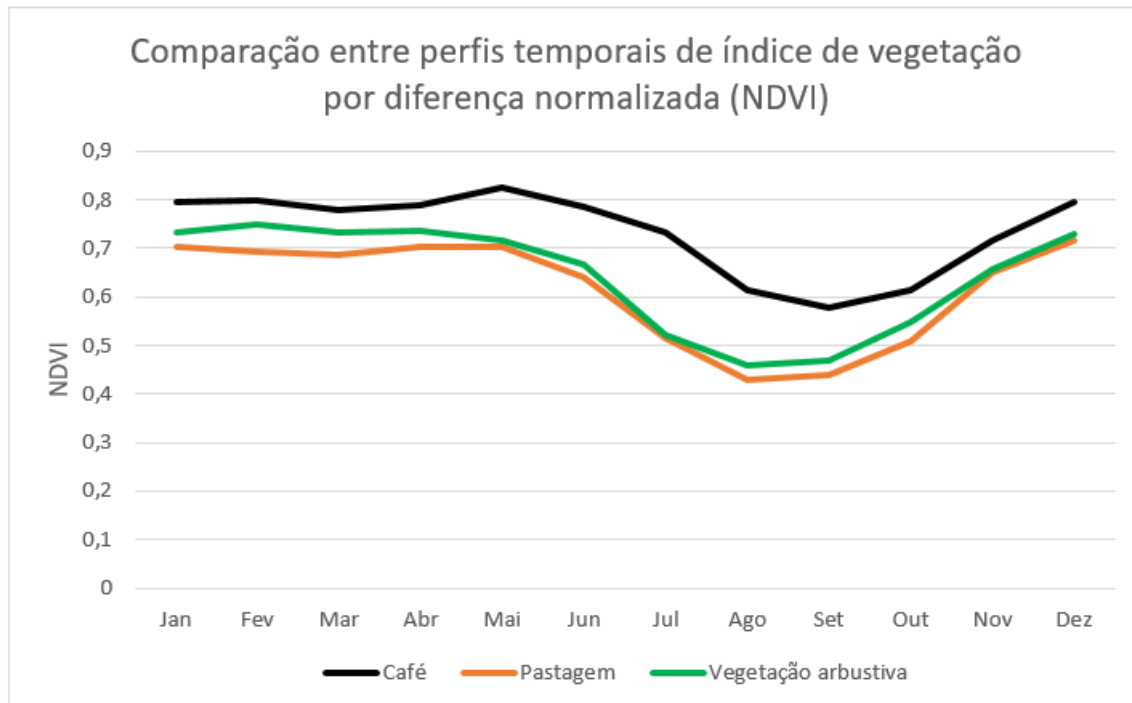
Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Assim, ao analisar o Gráfico 21, no período entre dezembro e maio, torna-se complexa a diferenciação entre as diferentes classes de culturas estudadas devido à alta incidência de chuvas e radiação presente em tais meses. Isso leva a um comportamento mais padronizado e homogêneo entre as culturas em si, visto que todas apresentam altos índices de vegetação devido ao elevado vigor vegetativo.

No Gráfico 22, é possível analisar a média de chuvas para o ano de 2017, considerando valores obtidos mensalmente em diferentes municípios presentes no quadrante da área de estudo. Dessa forma é possível aprimorar leituras dos desenvolvimentos vegetais, visto que a definição de épocas de seca (junho a setembro) e chuva intensa (dezembro a março) se tornam mais visíveis.

Gráfico 22. Precipitação média da área de estudo

Fonte: INMET; CIIAGRO. Elaboração: PAIXÃO, B.M.

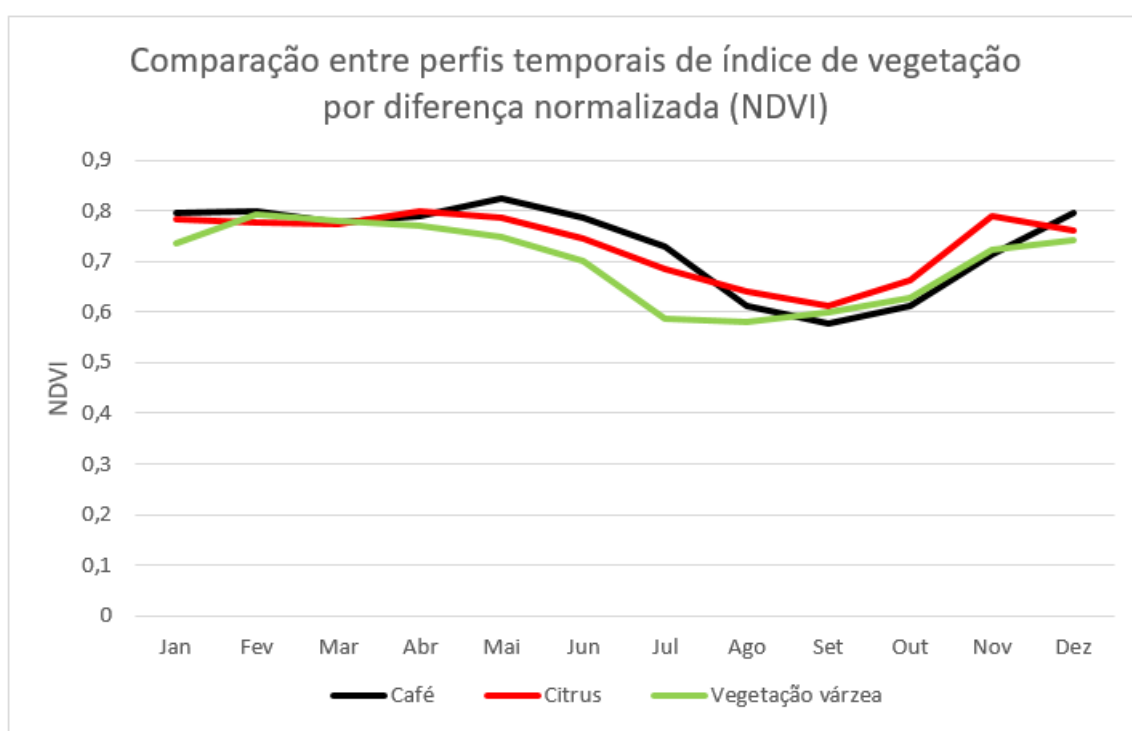
Gráfico 23. Comparação entre perfis temporais de NDVI entre café, pastagem e vegetação arbustiva

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

A vegetação arbustiva e a pastagem, conforme melhor expresso no Gráfico 23, possuem a curva de crescimento vegetal semelhantes, visto que possuem durante

todo o ano uma vegetação ativa de alto vigor, que sofre impactos somente no período de seca. A pastagem possui curva semelhante à de café, devido ao fato de concentrarem os índices mais altos nas épocas de chuva, entre dezembro e março; e os mais baixos no período de seca, entre setembro e outubro, devido à perda de vigor vegetativo, além da maturação e colheita, no caso do café. Esse comportamento ocorre também com o restante das culturas, considerando a relação entre época chuvosa e alto vigor vegetativo.

Gráfico 24. Comparação entre perfis temporais de NDVI de café, citrus e vegetação de várzea



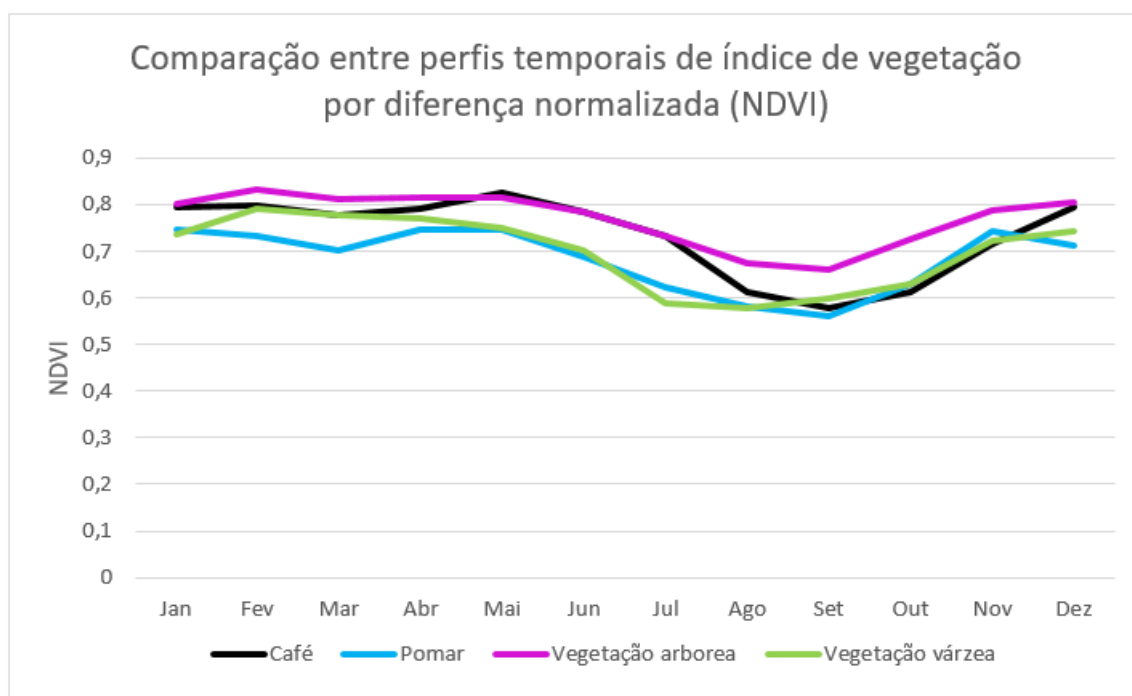
Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Conforme o Gráfico 24, durante os meses de fevereiro e março, a vegetação de várzea, café e citrus apresentam as maiores chances de se confundir. Em maio e junho, essa possibilidade se apresenta mais forte entre vegetação arbórea e café e entre pomar e vegetação de várzea, segundo o Gráfico 25. O mesmo ocorre entre pastagem e vegetação arbustiva (Gráfico 23).

Essas expressivas semelhanças se estendem até o mês de junho, sendo que setembro e outubro demonstram-se como os meses potenciais para a diferenciação entre as culturas, pois há leves variações de valores, que tendem a valores mais baixos devido ao período de seca e baixas temperaturas, que podem ser importantes

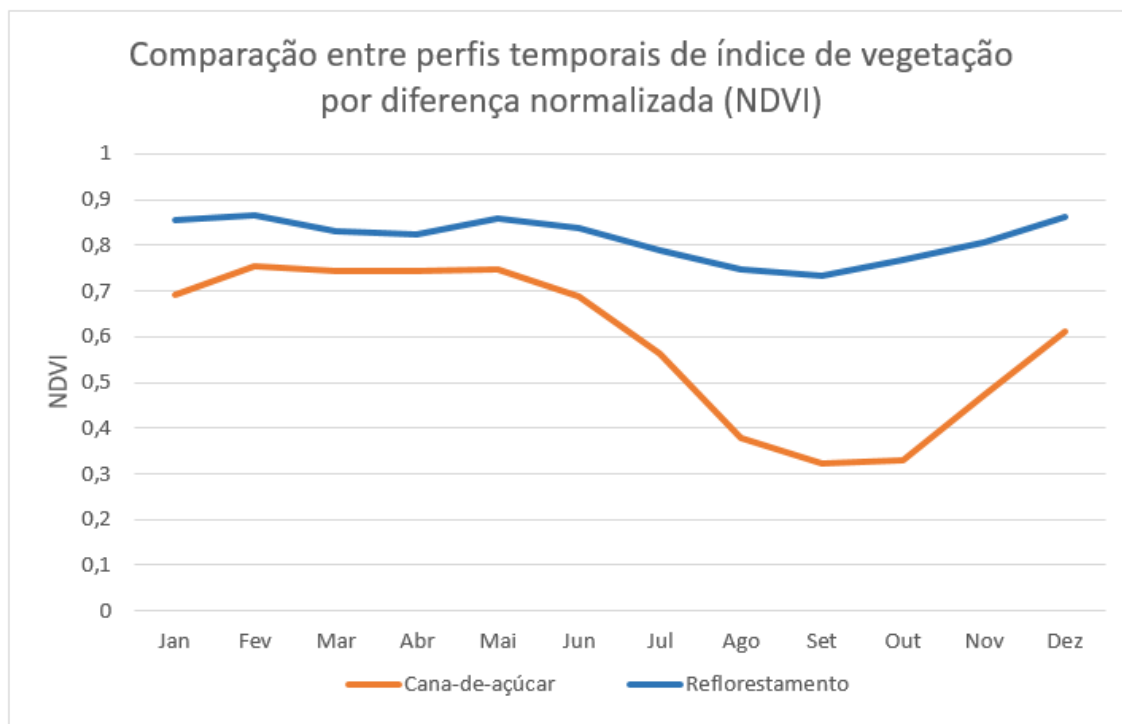
para a possibilidade de distinção dos alvos. Apesar disso, em tais meses pode ainda haver confusão entre o café, pomar e vegetação de várzea, que apresentam leves distinções de valores entre si.

Gráfico 25. Comparação entre perfis temporais de NDVI de café, pomar, vegetação arbórea e vegetação de várzea



Elaboração: PAIXÃO, B.M.

O Gráfico 26 mostra que nos meses adequados para a distinção (setembro e outubro), as culturas que mais se diferenciam das demais em questões de comportamento, considerando seus índices são a cana-de-açúcar e o reflorestamento, aumentando a possibilidade de sucesso em suas classificações. Além disso, a diferença entre os valores de índice de vegetação das culturas que se assemelham em tais meses, embora seja mínima, devem ser levados em conta na distinção entre as mesmas, sendo um importante atributo para tais fins.

Gráfico 26. Comparação entre perfis temporais de NDVI da cana-de-açúcar e reflorestamento

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

Todas as análises realizadas e padrões de comportamento observados a respeito das culturas se tornam importantes atributos para aprimorar a inteligência computacional da árvore de decisão. Assim, a classificação do uso do solo é possível de uma forma mais confiável e certa a partir de um método alternativo.

5.9 Critérios para discriminação dos alvos agrícolas

A partir das análises realizadas e o estabelecimento dos meses mais adequados para a discriminação dos alvos agrícolas, bem como os meses menos adequados para diferenciação entre alguns desses alvos, foi possível a geração de tabelas capazes de reduzir o universo de dados apresentados, simplificando variáveis e apoiando-se no número de fases das culturas e seus respectivos valores de NDVI na tentativa de encontrar um maior número de diferenças entre as classes semelhantes, facilitando suas distinções.

A Tabela 6, apresenta as médias de NDVI para cada fase de desenvolvimento das culturas, facilitando a visualização do comportamento NDVI em cada uma delas. É possível reforçar que entre dezembro e maio são encontradas dificuldades de

distinção entre as culturas em si devido à proximidade dos valores, época que concentra as primeiras e últimas fases de caracterização das culturas. Porém, a variação entre os valores torna-se um pouco mais expressiva, o que pode ser importante no processo encontrar comportamentos diferentes.

Utilizando tais critérios para a possibilidade de diferenciação entre culturas semelhantes, notamos que os meses que concentram grande parte segunda fase de desenvolvimento das culturas, entre junho e agosto são adequadas para tais fins, apresentando a maior variação entre seus valores médios. A diferenciação por fases de desenvolvimento facilita a distinção entre pastagem e café, que apresentavam valores próximos nos meses de setembro e outubro. O mesmo acontece entre os meses e maio e junho, que se encontram associados a diferentes fases e eram meses que de forma individualizada apresentavam semelhanças entre vegetação arbórea e café, pomar e várzea e pastagem e arbustiva.

Tabela 6. Médias de NDVI por fases de caracterização das culturas

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pastagem	0,70						0,53				0,58	
Café	0,80						0,68				0,71	
Vegetação arbórea	0,81						0,71				0,77	
Vegetação arbustiva	0,73						0,53				0,64	
Vegetação várzea	0,77						0,62				0,70	
Citrus	0,78				0,69				0,73			0,76
Cana-de-açúcar	0,72	0,75			0,54			0,33	0,54			
Reflorestamento	0,86	0,83		0,86	0,78			0,81				
Pomar	0,73		0,75		0,61			0,69			0,71	
	Fases de análise					Valores de NDVI						
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Média						

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

A Tabela 7, apresenta os valores mínimos e máximos de NDVI para cada cultura e em qual fase de desenvolvimento os mesmos se encontram, com a finalidade de gerar maior quantidade de dados capazes de auxiliar no processo de distinção entre amostras, facilitando assim, futuramente, as suas respectivas classificações.

Grande parte dos valores mínimos se concentram nos meses de agosto e setembro, que abrangem um início de período de seca, sendo que a cana-de-açúcar e apresenta o índice baixo e o reflorestamento o mais alto dentre os valores mínimos, sendo um importante atributo de distinção. Porém, a pastagem, citrus e vegetação arbustiva são bastante semelhantes, o que pode ser um obstáculo.

Entre os valores máximos, a maioria concentra-se na primeira fase de

desenvolvimento das culturas, época de vigor vegetativo, sendo que o mês de fevereiro apresenta o maior número de índices máximos. Isso pode ser um importante dado considerando a semelhança apresentada anteriormente entre vegetação arbustiva e pastagem e entre pastagem e café. Há uma exceção no caso da pastagem, única cultura que apresenta valor máximo no mês de dezembro, período inicial do verão.

Tabela 7. Dinâmica temporal dos valores máximos e mínimos de NDVI por cultura

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pastagem								0,43				0,71
Café					0,82				0,57			
Vegetação arbórea		0,83							0,66			
Vegetação arbustiva		0,74						0,45				
Vegetação várzea		0,79						0,57				
Citrus				0,79					0,43			
Cana-de-açúcar		0,75							0,32			
Reflorestamento		0,86							0,73			
Pomar	0,74								0,55			

Fases de análise					Valores de NDVI	
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Mínimo	Máximo

Elaboração: PAIXÃO, B.M.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da hipótese de que a curva de crescimento vegetal, obtida a partir de séries temporais de sensoriamento remoto, é um bom critério para discriminação e identificação de diferentes alvos agrícolas, foram analisadas as particularidades das culturas agrícolas e estabelecidos os seus respectivos padrões de comportamento através de médias e valores máximos ou mínimos de NDVI, possibilitando a segmentação por fases.

De todo o universo de dados analisado, o valor máximo de NDVI foi de 0,86, no mês de fevereiro, durante o verão e refere-se a classe de reflorestamento. O valor mínimo foi encontrado na classe de cana-de-açúcar, sendo de 0,32, no mês de setembro, durante a transição entre inverno e primavera. Além disso, a maioria das classes apresentam três fases de caracterização, exceto pelo citrus, que apresenta quatro fases e as culturas de cana-de-açúcar, reflorestamento e pomar, que contam com cinco fases.

Foi identificado que os melhores meses para distinção das classes analisadas são setembro e outubro, porém, durante tal período, ainda há a possibilidade de confusão, como no caso do café, vegetação de várzea e pomar. Assim, é necessário o estabelecimento de diferentes recortes temporais de acordo com as semelhanças entre alguns cultivos, para evitar que os mesmos sejam identificados como pertencentes a mesma classe.

A distinção por valores médios referentes a fase de desenvolvimento pode evitar, por exemplo, a confusão entre pastagem e café, que apresentavam valores próximos nos meses de setembro e outubro. Ou até mesmo considerando os meses de maio e junho, que se encontram associados a diferentes fases e apresentavam de forma individualizada semelhanças entre vegetação arbórea e café, pomar e várzea e pastagem e arbustiva.

A análise dos valores máximos e mínimos pode também ser relevante, visto que no caso dos valores máximos, há sua concentração no mês de fevereiro, sendo importante dada a semelhança entre vegetação arbustiva e pastagem e entre pastagem e café em alguns meses.

A curva de crescimento vegetal gerada a partir do comportamento temporal e espectral das culturas pode ser considerada um relevante atributo para suas

respectivas distinções e identificações, visto que é capaz de identificar as melhores épocas do ano para evitar confusões entre as culturas semelhantes em questões estéticas e físicas, principalmente durante os períodos de seca e alto vigor vegetativo.

Dessa forma, futuras classificações do uso do solo e cobertura vegetal podem se tornar mais eficientes ao combinar tais informações com as técnicas adequadas para realizar esses procedimentos. Além disso, foram abertos horizontes para metodologias pouco exploradas para o processo de classificação do uso da terra e cobertura vegetal.

7 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Explorando tais formas de distinção e caracterização de culturas a partir de suas curvas de crescimento vegetal para a classificação do uso do solo e cobertura vegetal, surge a necessidade de realizar novas análises, considerando os demais cultivos expressivos do estado de São Paulo, como por exemplo, a soja e o milho e suas comparações com as demais culturas já abordadas, tornando a classificação mais completa ao considerar demais atributos.

A classificação, portanto, requer o uso de algoritmos complexos e de técnicas de seleção e extração de características. O desenvolvimento da área de reconhecimento de padrões, intensificado nas últimas décadas, juntamente com a disponibilidade de grande quantidade de informação, tem permitido o uso de algoritmos de diferentes abordagens para a classificação. Dentre essas abordagens, destacam-se os algoritmos estatísticos, as redes neurais e as árvores de decisão (CELINSKI, 2008).

Dessa forma, a classificação através do método de árvore de decisão, que permite que as análises dos produtos de sensoriamento remoto sejam enriquecidas a partir de fontes externas de informação e integração com diferentes bases de dados, aumentando a eficiência na distinção de classes e gerando uma classificação de maior grau de confiança.

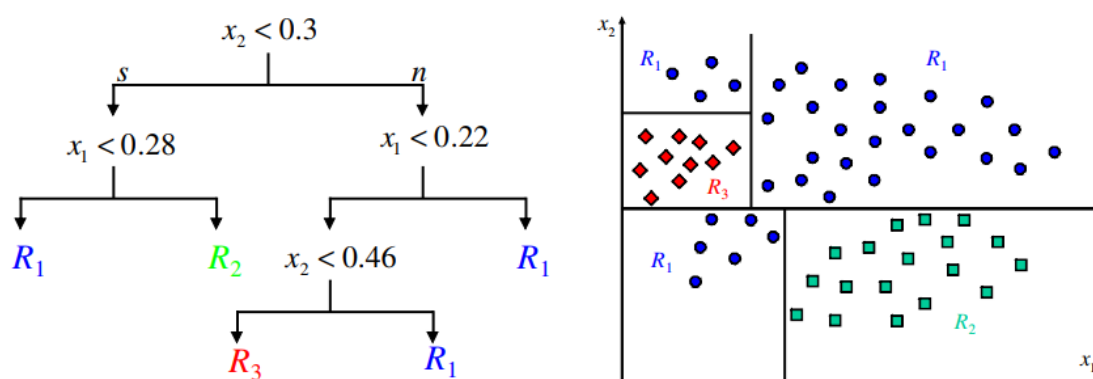
No contexto do sensoriamento remoto, principalmente nos trabalhos dedicados à discriminação de alvos vegetais, a abordagem por árvore de decisão tem promovido resultados satisfatórios, demonstrando acurácia de 94% na diferenciação das classes (FIGUEIREDO, 2006), valores significativos entre os algoritmos estatísticos de classificação supervisionada normalmente utilizados.

Em termos de estrutura, WITTEN et al. (2011) descreve que a árvore de decisão é composta por uma divisão de um conjunto de dados em subconjuntos de forma recursiva. A separação dos dados ocorre até que cada subconjunto esteja homogêneo, com casos de uma única classe.

Assim, uma árvore de decisão pode ser entendida como um fluxograma de estrutura em ramificações, constituída internamente de: (a) nós de decisão, que particionam o espaço de atributos através de superfícies de decisão, e (b) nós terminais, ou “folhas”, que permitem associar uma classe a cada objeto. A Figura 10

ilustra a estrutura conceitual da árvore de decisão, juntamente com o conjunto de dados e seus atributos distribuídos no espaço.

Figura 10. Fluxograma: Estrutura da árvore de decisão, e os atributos correspondentes distribuídos no espaço.



Fonte: Adaptado de Duda et al. (2001)

Neste fluxo, a decisão para classificação é admitida após execução de uma sequência de testes. E os testes são orientados por uma lógica de agrupamento dos atributos, que podem ser definidas a partir de experiências práticas do pesquisador para separação dos grupos (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Algoritmos de árvores de decisão têm se mostrado uma referência no desenvolvimento e análise de novas propostas para classificação da cobertura da terra a partir de dados de sensoriamento remoto (CELINSKI, 2008). Este fato decorre de características importantes das árvores de decisão, como boa acurácia na classificação rapidez no treinamento e na execução (FIGUEIREDO, 2006, DAVRACHE et al., 2012,), além da fácil interpretação dos seus resultados, pois a classificação é obtida de forma explícita, simplificando a sua interpretação.

APOIO

Programa PIBIC/Reitoria do CNPq através do financiamento do projeto de pesquisa "Modelagem dinâmica geoespacial para caracterização do uso da terra e cobertura vegetal", processo 48486, desenvolvido com a orientação do Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto (UNESP Rio Claro) e Dr. Luiz Henrique Pereira (IDGeo).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C.M.; MONTEIRO, A.M.V.; CÂMARA, G. **Modelos de simulação e prognósticos de mudanças de uso do solo urbano: instrumento para o subsídio de ações e políticas públicas urbanas**. In: Anais do XI Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ANPUR, Salvador, Brasil, 2005.
- ANDRADES, T. O.; GANIMI, R. N. **Revolução verde e a apropriação capitalista**. Juíz de Fora - MG: CES Revista, 2007, p.43 - p.56.
- BRANDAO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) -Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- BRASIL, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços – MDIC, **Estatísticas de Comércio Exterior**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/>. Acesso em: 30 de mai. de 2018.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. **Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil**. Bragantia, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CELIINSKI, T. M. **Classificação de cobertura do solo utilizando árvores de decisão e sensoriamento remoto**. Tese de Doutorado, 2008, 136p. Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp. Botucatu, 2008.
- CEPAGRI – CENTRO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos Municípios Paulista**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br>. Acesso em 24 de setembro de 2018.
- CÔRTEZ, J. C.; D'ANTONA, A. O. **Dinâmicas no uso e cobertura da terra: perspectivas e desafios da Demografia**. *R. bras. Est. Pop.*, Rio de Janeiro, v. 31, n.1, p. 191-210, jan./jun. 2014.
- DUDA, R.O.; Hart, P.E.; Stork, D.G. **Pattern Classification**. 2nd ed. John Wiley & Sons. NY. 2001. 513p.

ELIAS, D. **Globalização e fragmentação do espaço agrícola do Brasil**. Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2006, vol. X, núm. 218 (03).

EMBRAPA. **Tecnologia em mecanização no Brasil: Equipamentos e sistemas para o futuro**. In: SEMINÁRIO TEMÁTICO PARA PROSPECÇÃO DE DEMANDAS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL, 1997, Sete Lagoas-MG.

_____. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 jun. 2018

ESA. **Sentinel Online**. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>> Acesso em: 10 jun. 2018

FREDERICO, S. **Agricultura científica globalizada e fronteira agrícola moderna no Brasil**. *Confins*: Revista Franco-Brasileira de Geografia, 2013, núm. 17.

FIGUEIREDO, S. M. de M.; CARVALHO, L. M. T. de. **Avaliação da exatidão do mapeamento da cobertura da terra em capixaba, acre, utilizando classificação por árvore de decisão**. *Cerne*, Lavras, MG, v. 12, n. 1, p. 38-47, jan./mar. 2006.

GONÇALVES, E. F. **O uso de geotecnologias na construção das relações entre as mudanças na paisagem rural da bacia do rio São João – RJ e a dinâmica socioeconômica regional**. 2011. 159p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, **Censo Agropecuário 1970**, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 de mai. de 2018.

_____, **Censo Agropecuário 2006**, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 de mai. de 2018.

_____, **Produção Agrícola Municipal**, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 de mai. de 2018.

_____, **Manual Técnico de Uso da Terra**, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 25 de mai. de 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

MATOS, A.K.V. **Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas**. Cadernos da FUCAMP, Monte Carmelo/MG, v.10, n.12, p.1-17/2010.

MEYER, W. B.; TURNER, B. L. **Changes in land use and land cover: a global perspective**. Crambridge: Cambridge University Press, 1994.

MOREIRA, M. A.; AULICINO, L. C. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; RUDORFF, B. F. T.; YI, J. L. R.; SOUZA, I. M. **Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. Anais... Santos, 1998, p. 53 – 57.

NASA. **Landsat Science**. Disponível em: < <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/>>. Acesso em: 10. Jun. 2018

Organização Mundial do Comércio – OMC. Disponível em: <<https://www.wto.org/>>. Acesso em: 30 de mai. de 2018.

PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. **Dinâmica do crescimento vegetal (princípios básicos)**. Cruz das Almas, nov./2004, 20p.

PEREIRA, A. R.; BARBIERI, V; MANIERO, M. A. Condicionamento climático da indução ao florescimento em cana-de-açúcar. **Revista dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 4, n. 6, p. 56-59, 1986.

PEREIRA, L. H.; PINTO, S. A. F. **Utilização de imagens aerofotográficas no mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do rio Corumbataí – SP, com o suporte de sistemas de informações geográficas**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2007, p. 1321-1328.

PONTES, P. P. B. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**. Goiânia. INPE. p.217 –224. 2005.

PUPIIM, F. N. **Fisiografia do município de Rio Claro – SP**. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 212 p. 2004.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia, MG: EDUFU, 2007.

Ross, J. L. S. **O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia, n. 6, 1992.

_____. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia. n.8, p.63-74. 1994.

ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. 1997. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000**. Geografia-FFLCH-USP, IPT/ Fapesp, São Paulo, v. 1.

RUIZ, L. F. C; CATEN, T. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Árvore de decisão e a densidade mínima de amostras no mapeamento da cobertura da terra**. Ciência Rural, Santa Maria, v.44, n.6, p.1001-1007, jun, 2014.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 1040 p. Tradução da 2. ed. (ISBN 8535211772).

SANTOS M. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**, Rio de Janeiro, Record, 174 p., 2000.

SHERBININ, A. de. **A CIESIN Thematic Guide to Land-Use and Land-Cover Change (LUCC)**. Palisades: CIESIN, September 2002. Disponível em: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/tg/guide_main.jsp>. Acesso em: 20 de mai. de 2018.

SILVA, J. G. da. **A nova dinâmica da agricultura brasileira**. Campinas: Unicamp, 1996.

_____. **Tecnologia e agricultura familiar**. Porto Alegre: EUFRGS, 1999.

SILVA, J. G. da.; DEL GROSSI, M. E. **O novo rural brasileiro**. Nova Economia., v. 7, n. 1, p. 43-81, 1997.

SIMÕES, M. D. S.; ROCHA, J. V.; LAPARELLI, R. A. C. **Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2003, p. 2367 – 2374.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. **Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 32, n. 1, p.159-163, 2002

ZANZARINI, F.V.; T.C.T, PISSARRA; F.J.C, BRANDÃO; D.D.B TEIXEIRA, 2013. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 608 – 614, 2013.