



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**ANÁLISE ESPACIAL E DETECÇÃO DE MUDANÇAS DA COBERTURA
VEGETAL NO MUNICÍPIO DE SANTA RITA DO PASSA QUATRO – SP,
UTILIZANDO OS ÍNDICES NDVI, SAVI, IAF E TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE.**

THAYNA SILVA VILA NOVA

**MACEIÓ, AL
JULHO, 2021**

THAYNA SILVA VILA NOVA

ANÁLISE ESPACIAL E DETECÇÃO DE MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL
NO MUNICÍPIO DE SANTA RITA DO PASSA QUATRO – SP, UTILIZANDO OS
ÍNDICES NDVI, SAVI, IAF E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção
do Grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes

Co-orientador: MSc. Ismael Guidson Farias de Freitas

MACEIÓ, AL
JULHO, 2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Jone Sidney A. de Oliveira – CRB-4 – 1485

V695a Vila Nova, Thayna Silva.

Análise espacial e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Santa Rita do Passa Quatro – SP, utilizando os índices NDVI, SAVI, IAF e temperatura da Superfície. / Thayna Silva Vila Nova. – 2021.

40 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Fábio Barros Gomes.

Co-orientador: MSc. Ismael Guidson Farias de Freitas

Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Meteorologia. Curso de Meteorologia, Maceió, 2021.

Bibliografia: f.: 35-40.

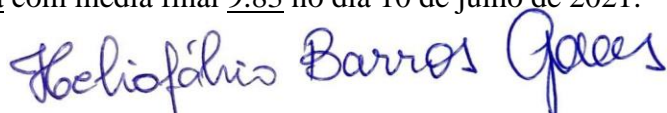
1. Sensoriamento Remoto. 2. Índice de Vegetação. 3. Índice Área Foliar 4. Temperatura de Superfície. I. Título.

CDU: 528.811

THAYNA SILVA VILA NOVA

**ANÁLISE ESPACIAL E DETECÇÃO DE MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL
NO MUNICÍPIO DE SANTA RITA DO PASSA QUATRO – SP, UTILIZANDO OS
ÍNDICES NDVI, SAVI, IAF E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Meteorologia e Aprovada com média final 9.83 no dia 10 de julho de 2021.



Prof. Dr. HELIOFÁBIO BARROS GOMES

Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT/ UFAL

(ORIENTADOR)



Doutorando ISMAEL GUIDSON FARIAS DE FREITAS

Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas – UACA/ UFCG

(CO-ORIENTADOR)

Banca examinadora:



Prof. Dr. FABRICIO DANIEL DOS SANTOS SILVA

Instituto de Ciências Atmosféricas- ICAT/ UFAL

(Examinador interno)



Doutorando LAURIZIO EMANUEL RIBEIRO ALVES

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/ INPE

(Examinador externo)

Agradecimentos

- Primeiramente agradecer a Deus, por me permitir vivenciar tudo isso e me dar sabedoria para os desafios do dia a dia.
- Agradecer aos meus pais, Carluse e Josenilton, por sempre me ajudar, me mostrar que através dos estudos eu poderia ir muito além do que imaginava e conquistar o mundo. Obrigada pai e mãe por tudo, eu amo vocês.
- Agradecer ao meu irmão Nicolas Vila Nova por sempre me ajudar nos meus momentos de “aperreio”, apesar de você ser muito chato eu amo você.
- Agradecer ao meu tio Carlos Alberto por todo apoio e incentivo, pelas conversas que tivemos sobre leitura e tudo sobre o mundo. Saiba que sou muito grata ao senhor por tudo.
- Ao meu primo Júlio César por estar comigo desde o momento que decidi qual curso fazer, por lutar e chorar comigo em cada conquista. Parte desse mérito também é seu, te amo.
- Ao meu namorado Ismael Guidson por sempre estar comigo e me ajudar em tudo na faculdade, pelos momentos de descontração e por nunca me deixar desistir. Sou muito grata a você por tudo, te amo.
- Aos meus sogros, Lucineide e Nilton e aos meus cunhados, Ingrid e Idarlan por vibrarem junto comigo as minhas conquistas, amo vocês.
- A toda minha família por sempre se fazer presente e me ajudar em tudo que precisei, amo vocês
- As minhas amigas Charla Campos, Juliana Sousa e Lua Monteiro, por dividir comigo esses 4 anos de faculdade e termos juntas as melhores manhãs e tardes, agradecer por cada risada, brincadeiras e momentos de descontração. Vocês foram e são a melhor parte da faculdade, amo vocês
- Ao meu amigo Danilo Siden por sempre me ajudar com as disciplinas, além disso ser um grande amigo.
- Ao meu amigo Laurizio por sempre me ajudar na faculdade, tirar minhas dúvidas e me auxiliar tão bem. Os momentos de descontração eram os melhores, valeu Lau.
- Ao meu orientador Heliofabio Barros por me instruir e, além disso, ser um grande amigo.

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização do Município de Santa Rita do Passa Quatro no Estado de São Paulo	21
Figura 2 – Fluxograma das etapas dos procedimentos para obtenção do NDVI, SAVI, IAF e Temperatura da Superfície	23
Figura 3 – Distribuição espacial do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para os dias 23/02/2017 (A), 19/09/2017 (B), 14/03/2018 (C) e 22/09/2018 (D), respectivamente.	28
Figura 4 – Distribuição espacial do índice de vegetação ajustada ao solo (SAVI) para os dias 23/02/2017 (A), 19/09/2017 (B), 14/03/2018 (C) e 22/09/2018 (D), respectivamente.	30
Figura 5 – Distribuição espacial do índice de área foliar (IAF) para os dias 23/02/2017 (A), 19/09/2017 (B), 14/03/2018 (C) e 22/09/2018 (D), respectivamente.	32
Figura 6 – Distribuição espacial da temperatura para os dias 23/02/2017 (A), 19/09/2017 (B), 14/03/2018 (C) e 22/09/2018 (D), respectivamente.	34

Lista de Tabelas

Tabela 1- Característica e recapitulação dos satélites da série Landsat	14
Tabela 2- Especificação radiométricas e espaciais das bandas multiespectrais do satélite Landsat 8	16
Tabela 3 – Descrição das bandas do satélite Landsat 8 utilizadas nesse estudo.....	24
Tabela 4 – Constantes de calibração para extrair informações de TS a partir de imagens do Landsat 8, banda 10.	25
Tabela 5 – Precipitação antecedente acumulada (mm) às datas das passagens do satélite Landsat- 8 – OLI.	26
Tabela 6 – Relação entre os valores de índice de Vegetação e o tipo de cobertura do solo, sugerida por Freitas et al. (2017)	27

Resumo

As mudanças no solo decorrentes das ações humanas vêm há décadas preocupando a sociedade, uma vez que estas alterações resultam em impactos climáticos severos, principalmente dentro das cidades onde as temperaturas aumentam significativamente. Atualmente o monitoramento da cobertura do solo pode ser realizado utilizando técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a imagens digitais de satélites como o Landsat – 8, utilizado neste trabalho. Através de processamento digital nas imagens é possível obter o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, de sua sigla em inglês), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI, de sua sigla em inglês) e o Índice de Área Foliar (IAF), para verificar os impactos decorrentes da mudança da cobertura vegetal. A temperatura da superfície (TS) também foi utilizada para avaliar as mudanças na cobertura do solo. objetivo desse trabalho é analisar diferenças na dinâmica sazonal de índices de vegetação e TS por meio de técnicas de sensoriamento remoto aplicados a quatro imagens orbitais do satélite Landsat 8 em anos subsequentes, duas relativas ao período chuvoso (23/02/2017, 14/03/2018) e duas ao período seco (19/09/2017 22/09/2018). A área de estudo é o município de Santa Rita do Passa Quatro, estado de São Paulo, onde foram utilizadas imagens orbitais (LANDSAT 8) obtidas no *United States Geological Survey* (USGS). Foi utilizado o software QGIS 2.14 para calcular o NDVI, SAVI, IAF e Temperatura da superfície. Os resultados obtidos apresentaram variações significativas, onde os valores de NDVI foram inferiores aos valores do SAVI, devido à correção no solo aplicada. Ao verificar as alterações na vegetação e solo, observou-se que nos dias onde ocorreu precipitação, tanto o NDVI quanto o SAVI apresentaram valores mais elevados, até 0,60, enquanto durante os dias que não apresentaram precipitação os índices foram menores, até 0,45 no NDVI, e 0,75 no SAVI. A análise do IAF complementou as análises do NDVI e SAVI, apresentando maiores valores nos locais onde a vegetação tinha maior biomassa. Na avaliação da TS, estas foram mais amenas nas áreas vegetadas, e nas áreas de malha urbana e solo descampado a TS foi significativamente maior. A TS com a presença de vegetação foi de 22,58°C e na malha urbana e solo descampado foi de até 33,0 °C. Dessa forma, os valores de NDVI, SAVI e IAF em Santa Rita do Passo Quatro – SP variam de acordo com alguns fatores, como por exemplo, a retirada de algumas culturas plantadas, retirada da vegetação nativa, construção de cidades e com a precipitação incidente. E estas mudanças na cobertura do solo impactam em valores elevados de temperatura da superfície.

Palavras-chave: LANDSAT 8, OLI, TIRS, NDVI ,SAVI, IAF, TS.

Abstract

Soil changes resulting from human actions have been worrying society for decades, as these changes result in severe climate impacts, especially within cities where temperatures increase significantly. Currently, land cover monitoring can be performed using remote sensing techniques applied to digital images from satellites such as Landsat – 8, used in this work. Through digital image processing it is possible to obtain the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and the Leaf Area Index (IAF) to verify the impacts arising from the change in vegetation cover. Surface temperature (TS) was also used to assess changes in land cover. The objective of this work is to analyze differences in the seasonal dynamics of vegetation and TS indices through of remote sensing techniques applied to four orbital images from the Landsat 8 satellite in subsequent years, two relating to the rainy season (23/02/2017, 14/03/2018) and two to the dry season (19/09/2017 22/09) /2018. The study area is the municipality of Santa Rita do Passa Quatro, state of São Paulo, where orbital images (LANDSAT 8) obtained from the United States Geological Survey (USGS) were used. The QGIS 2.14 software was used to calculate the NDVI, SAVI, IAF and TS. The results obtained showed significant variations, where the NDVI values were lower than the SAVI values, due to the applied soil correction. When verifying the changes in vegetation and soil, it was observed that on days where there was precipitation, both NDVI and SAVI had higher values, up to 0.60, while during days without precipitation, the indexes were lower, up to 0.45 in NDVI, and 0.75 in SAVI. The IAF analysis complemented the NDVI and SAVI analyses, showing higher values in places where vegetation had greater biomass. In the assessment of TS, these were milder in vegetated areas, and in areas of urban mesh and open soil, TS was significantly higher. The TS with the presence of vegetation was 22.58°C and in the urban grid and open soil it was up to 33.0 °C. Thus, the NDVI, SAVI and IAF values in Santa Rita do Passo Quatro – SP vary according to some factors, such as the removal of some planted crops, removal of native vegetation, construction of cities and incident precipitation. And these changes in land cover impact on high TS values.

Key Word: LANDSAT 8, OLI, TIRS, NDVI ,SAVI, IAF, TS..

1- Introdução

Nos últimos anos, devido a necessidade de se avaliar as variações do uso e cobertura da terra foram desenvolvidas diversas ferramentas para agilizar o monitoramento da Temperatura da Superfície (TS) e da cobertura vegetal, possibilitando analisar alterações decorrentes das modificações antropológicas. Um dos meios recorrentes para monitorar estas alterações é o uso do sensoriamento remoto da superfície, uma vez que por meio destes dados coletados por meios de sensores orbitais é possível obter resultados de forma rápida e confiável (FREITAS et al. 2017). Este tipo de estudo possui bastante relevância, uma vez que a análise das mudanças relativas ao uso e cobertura do solo tem se destacado e cada vez mais usadas para avaliação e gerenciamento ambiental em diferentes biomas do território brasileiro.

Diversos autores vêm realizando estudos que possibilitam monitorar a vegetação e temperatura em menor espaço de tempo e grandes extensões territoriais, utilizando os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) a bordo do satélite Landsat 8 (SILVA e SILVA, 2016; ALVES et al., 2017, FREITAS et al., 2017; FRANCISCO e GRUBER, 2018). Estes sensores são ferramentas essenciais para estudar questões relacionadas às mudanças de superfície. Além disso, existem algumas vantagens na utilização desses sensores, como por exemplo, baixo custo aplicação do monitoramento em análises ambientais, as imagens possuem espaço temporal admissível para o mapeamento da superfície terrestre, entre outros.

Informações a respeito dos índices de vegetação NDVI, SAVI, IAF e temperatura da superfície (TS) são extraídas com facilidade das imagens orbitais capturadas por sensores a bordo de satélite Landsat 8 (ALVES et al., 2017, CONCEIÇÃO e TEIXEIRA, 2020; NAGY et al., 2021). As imagens espectrais capturadas no comprimento de onda do infravermelho próximo e visível resultante do sensor OLI permitem o cálculo do NDVI, SAVI e do IAF (TUCKER et al, 1986), para o mapeamento de superfície, seja ela vegetada ou desprovida de cobertura vegetal, como solo exposto, zona urbana, etc. Estes índices são mais usados, e de acordo com Tasumi (2003) são indicadores das condições da densidade da vegetação.

Esses índices de vegetação vêm sendo aplicados em estudos que visam avaliar a cobertura vegetal e verificar impactos decorrentes de ações antrópicas que alteram as características do solo, resultando mudanças significativas no microclima (LISBOA et al., 2012; FAGUNDES et al., 2020; VIEIRA et al., 2021). Estas alterações são

verificadas principalmente no cálculo da TS através do sensor TIRS do Landsat 8, onde devido à substituição e alteração das componentes do solo os fluxos radiativos da região são alterados (GOMES, 2009), resultando num aquecimento urbano ou formação de Ilhas de Calor Urbano (ICU) que podem causar mudanças climáticas locais. Dessa forma a TS influencia a temperatura do ar nas camadas mais baixas da atmosfera urbana e ajuda na determinação do clima interno de edificações, e conseqüentemente afeta o conforto dos moradores das cidades e a qualidade de vida (ALVES et al., 2016; FREITAS et al., 2018; GUHA et al., 2018; LEMUS-CANOVAS et al., 2020).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é analisar diferenças na dinâmica sazonal de índices de vegetação e TS no município de Santa Rita do Passa Quatro (SP), por meio de técnicas de sensoriamento remoto aplicados a quatro imagens orbitais do satélite Landsat 8 em anos subsequentes, duas relativas ao período chuvoso (23/02/2017, 14/03/2018) e duas ao período seco (19/09/2017 22/09/2018).

2- Revisão Bibliográfica

2.1. Sensoriamento Remoto (SR)

O sensoriamento remoto é definido como a aquisição de informações sobre um objeto mediante análise de dados adquiridos por dispositivos que não estão em contato direto com o objeto em investigação (LILLESAND e KEIFER, 1994). Segundo Novoe Ponzoni (2001), a origem do sensoriamento remoto se deu por volta do ano de 1840, porém o termo sensoriamento remoto foi reconhecido nos anos de 1960 por Evelyn L. Pruit e outros pesquisadores, sendo uma das tecnologias bem mais sucedidas de recolhimento automático de dados. O SR iniciou com a invenção de uma câmera de fotografia que foi o primeiro instrumento utilizado para realização das capturas e que, até os dias de hoje são manuseadas para realização de fotos aéreas (MENESES, 2012).

Pode-se definir SR como um conjunto de mecanismos que proporciona o alcance de informações sobre alvos que estão na superfície terrestre sem que exista um contato físico direto com o mesmo e por intermédio de registros da interação da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos, que são provocadas por fontes naturais como a Terra e o Sol, ou pelo radar que é uma fonte artificial (ROSA, 2003).

As informações de SR são obtidas através do comportamento espectral dos objetos, pois fatores químicos, físicos e biológicos podem alterar os valores de refletância dos alvos. Essas informações são essenciais para atingir o máximo proveito das aplicações dos sensores remotos, seja por meio de combinação de bandas (RGB) ou através de índices espectrais (índices de vegetação e/ou úmidade, por exemplo) (NOVO, 1992; GOMES et al., 2020). O uso do Sensoriamento Remoto vem contribuindo bastante quando o assunto é estudos e mapeamento da superfície terrestre. Outro aspecto importante do SR são as características de resolução do sensor remoto, as quais são as resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal (JENSEN, 2009).. Os tipos de resoluções citadas seguem a seguinte definição respectivamente: A resolução espacial refere-se à habilidade do satélite em diferenciar alvos que estejam na superfície terrestre, ou seja, cada pixel apresenta um determinado valor, ou seja, cada pixel apresenta uma unidade de área, sendo assim, objetos que são menores que este pixel não será corretamente imageados pelo sensor e se misturam com outros alvos próximos, sendo assim, objetos que possuam um valor inferior ao do pixel não serão captados pelo sensor; a resolução espectral por sua vez é definida como a habilidade do satélite em operar em vários comprimentos de ondas e bandas distintas; a resolução radiométrica é a capacidade do sensor em compreender as menores variações de energia emitida ou

refletida; A resolução temporal, corresponde ao tempo que o sensor irá passar por uma mesma área, obtendo imagens periódicas.

Dessa forma, a grande evolução do Sensoriamento Remoto é consequência de um grande esforço multidisciplinar que envolveu e envolve até os dias atuais o grande avanço da computação, geociências, biociências, física, química e ciências afins (FIGUEIREDO, 2005).

2.2. Landsat

A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) lançou o primeiro satélite da série Landsat (Tabela 1) em 23 de julho de 1972 com, o objetivo principal de realizar o mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície terrestre. As imagens geradas pelos sensores usados neste sistema são usadas globalmente. .

Originalmente se chamava ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) e hoje se chama Landsat-1, que é o primeiro satélite. Esta famosa sequência de satélites é composta pelo Landsat 2, 3, 4, 5, 7 e a mais recente versão em operação, o Landsat 8. Atualmente, o Landsat 8 é o único satélite desta sequência e tem contribuído bastante para o mapeamento da superfície. De acordo com Bezerra (2006), o fracasso do Landsat 6 que não chegou a entrar em operação, se deu devido a um problema de lançamento.

Tabela 1- Característica e recapitulação dos satélites da série Landsat

Satélite	Data de Lançamento	Sensor	Término de Operação
Landsat 1	23 de julho de 1972	MSS e RBV	Janeiro de 1978
Landsat 2	22 de janeiro de 1975	MSS e RBV	Julho de 1983
Landsat 3	05 de março de 1978	MSS e RBV	Setembro de 1983
Landsat 4	16 de julho de 1982	TM e MSS	Setembro de 1984
Landsat 5	01 de março de 1985	TM e MSS	Janeiro de 2013
Landsat 6	05 de outubro de 1993	ETM	Fracassou
Landsat 7	05 de abril de 1999	ETM +	Mai de 2003
Landsat 8	11 de fevereiro de 2013	OLI e TIRS	Em atividade

Fonte: Engesat, 2016 (Adaptado).

Em relação aos sensores utilizados, nas versões Landsat 1, 2 e 3, o satélite utiliza MSS (*Multispectral Scanner System*) e RBV (*Return Beam Vidicon*), que captam imagens de quatro canais, e dois canais que captam em comprimentos de onda no infravermelho próximo, dois canais na luz visível com resolução temporal de 18 dias e resolução espacial de 80 metros, apenas o Landsat 3 possui banda *full color*, e sua

resolução espacial é de 20 x 25 metros (RUDORFF, MELLO e SHIMABUKURO, 2009).

Em 1982, com o lançamento do Landsat 4, além do sensor MSS foi utilizado um sensor com tecnologia mais avançada, o *Thematic Mapper* (TM), que é um dos sensores de maior sucesso para observação de recursos naturais e pesquisa monitoramento da vegetação, onde o satélite coletou dados em seis bandas espectrais: três no espectro visível, uma no infravermelho próximo, uma na região do infravermelho médio e uma na região do infravermelho térmico com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 30 metros, exceto para as bandas termais com resolução de 120 metros (FLORENZANO, 2007).

No ano de 1982, foi lançado o Landsat 5 sendo o satélite com o maior tempo de operação da série com 29 anos de idade, essa duração do satélite fez com que ele fosse reconhecido pelo *Guines Book of Records* por ser o equipamento mais antigo em órbita de observação remota da história (NASA, 2013). Este satélite inicialmente foi projetado para cumprir uma missão de três anos, ele passou por várias mudanças e isso ajudou que ele atingisse um grande tempo de vida útil. Em dezembro de 2012 através do *United States Geological Survey* (USGS) informou que o Landsat 5 estava inoperante devido a um problema encontrado em um dos giroscópios do satélite (USGS, 2012).

O Landsat 7 foi lançado em 15 de abril de 1999, mas não foi equipado com sensores TM que foi substituído por ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Em comparação com os sensores TM anteriores, é mais eficiente no monitoramento da vegetação (FREITAS et al., 2016). O sensor ETM+ contém um canal pancromático com uma resolução espacial de 15 metros, canal termal com 60 metros e os canais restantes com resolução de 30 metros. Entretanto, sua operação foi encerrada no ano de 2003 devido a problemas operacionais (FLORENZANO, 2007).

O lançamento do Landsat 8 ocorreu em fevereiro de 2013 e é o único satélite que se encontra em atividade. Além disso, este satélite traz várias informações importantes para os usuários que requerem mapeamentos em mesoescala (KALAF, 2013). Este satélite possui uma órbita heliossíncrona descendente circular percorrendo o Equador de Norte a Sul com inclinação de 98,2° com uma altitude de 705 km, registrando em cada região no horário de 10:00 (órbita solar local). O Landsat 8 possui um período orbital de 99 minutos, resultando em 14 órbitas por dia e envolvendo uma área de 185 x 185 km em cena básica.

O satélite opera com dois sensores de última geração, o sensor espectral OLI (*Operational Land Imager*) e o sensor termal TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), onde a resolução espectral são melhores e positivas em comparação aos sensores que eram utilizados anteriormente na série Landsat. Os produtos que são oferecidos com o sensor OLI representam 9 bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros que é referente as bandas de 1 a 9 e a partir do sensor termal TIRS , foram adicionadas duas bandas espectrais 10 e 11 para o comprimento de onda no infravermelho termal, que antes era coberto por uma única banda nos sensores TM e ETM (USGS, 2013), obtendo informações de temperatura da superfície mais precisas, mas com resolução de 100 metros. Na tabela 2 estão descritos a caracterização de cada banda com seus comprimentos de onda e resolução.

Tabela 2- Especificação radiométricas e espaciais das bandas multiespectrais do satélite Landsat 8.

Bandas- Landsat 8	Comprimento de Onda	Resolução Espacial
Banda 1 – Coastal aerosol	0.43 – 0.45	30
Banda 2 – Blue	0.45 – 0.51	30
Banda 3 – Green	0.53 – 0.59	30
Banda 4 – Red	0.64 – 0.67	30
Banda 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 – 0.88	30
Banda 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Banda 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Banda 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15
Banda 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
Banda 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
Banda 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Fonte: USGS, 2013.

2.3. Índices de Vegetação e Temperatura da Superfície

O Sensoriamento Remoto tem apresentado bom desempenho em estudos relacionados a análises da vegetação. Holanda e Guerra (2010) mencionam a alta importância do uso do sensoriamento remoto em estudo da vegetação, por exemplo, simplifica a supervisão, a previsão de biomassa, bem como estudos fisiológicos e fenológicos da planta, além da possibilidade de analisar o comportamento da vegetação ao longo do tempo. Alguns estudos têm realizado estas avaliações através de alguns

índices, por exemplo, NDVI, SAVI e IAF, e o impacto em variáveis com a temperatura da superfície, segundo Rodrigues et al. (2013) a utilização dos índices tem possibilitado detecção de mudanças no estado da cobertura vegetal; dessa forma, é possível identificar as áreas que sofreram alterações antrópicas, como o desmatamento de áreas de vegetação nativa para áreas de agricultura e crescimento da malha urbana, e aumento da temperatura (SANTIAGO et al., 2009; LEITE et al., 2013; FREITAS et al. 2016; Freitas et al. 2017)..

O NDVI é um índice bastante utilizado nos estudos de resposta da vegetação no Brasil e no mundo, utilizando diferentes sensores e satélites. Por exemplo, Gurgel et al. (2001) que avaliaram a variabilidade do NDVI sobre o Brasil. No qual, foram analisados os dados de NDVI, obtidos no *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) entre janeiro/82 e dezembro/93, por meio da ferramenta estatística de análise de cluster. De acordo com os autores a análise de cluster de dados NDVI, os autores classificaram sete grandes vegetação grupos que aparecem no Brasil e apresentam a variação anual e interanual, bem como esses grupos respondem ao tempo de precipitação. A análise de cluster de NDVI demonstrou a potencialidade desta variável em caracterizar as principais características da vegetação que prevalecem no território brasileiro.

Guegel et al. (2003) realizaram análises da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando a análise de agrupamento, onde as análises foram feitas através de imagens do sensor AVHRR para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 1993. Os resultados apresentaram que na região Amazônica o ciclo anual do NDVI não é bem definido, visto que o máximo tipicamente ocorre em junho, dois meses após o período chuvoso, enquanto o mínimo se dá em dois períodos distintos: entre fevereiro e março e setembro e novembro. Na região central do Brasil, o Cerrado apresenta um ciclo anual definido, com valores máximos de NDVI entre março e maio, e mínimos em setembro, final do período seco. Por outro lado, a vegetação das regiões da zona da mata nordestina e dos campos de Roraima apresentam um ciclo anual nítido, sendo que os maiores valores de NDVI ocorrem em junho e julho e os menores entre fevereiro e março, alguns meses antes do início das chuvas.

Ainda de acordo o estudo no caso da região nordeste do Brasil, a caatinga mostra um ciclo anual bem definido, com um período seco marcante, sendo que os valores mais elevados de NDVI ocorrem entre os meses de abril e maio, que é o final da época das chuvas, e os menores em setembro e outubro. Em parte do Estado de Santa Catarina e

no sul do Paraná, o ciclo anual das formações vegetais dominantes (floresta ombrófila aberta e floresta ombrófila mista) não é muito nítido. No sul do Brasil, a região de estepes não apresenta ciclo anual definido, os valores máximos de NDVI geralmente ocorrem entre março e junho e os valores mínimos no mês de agosto. Além disso, constatou-se que os eventos El Niño, independente da sua intensidade, afetam distintamente os vários tipos de vegetação.

O NDVI também tem sido empregado em estudos em área de degradação, uma vez que, a desertificação tem se tornado um problema, principalmente no Cerrado e Semiárido brasileiro, além disso entender como essas áreas são afetadas é fundamental para desenvolver medidas de mitigação e estratégias sustentáveis de uso da terra (LIU e JUÁREZ, 2001 ;SCHUCKNECHT et al., 2013; ;JÚNIOR et al., 2019). Outros estudos mais regionais avaliaram áreas específicas com satélites de alta resolução como da série Landsat para identificar o uso da terra para fins de produção agrícola e crescimento urbano. Muitos trabalhos realizaram a comparação com os índice SAVI que é recomendado para áreas que possuem muito efeito do solo e o IAF.

Demarchi et al. (2011) teve como objetivo analisar a evolução temporal do uso do solo no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP por meio da classificação supervisionada de imagens de satélite Landsat-5 TM com MAXVER (método de classificação supervisionada de imagens, que identifica regiões homogêneas com verossimilhança), bem como verificar a exatidão do mapeamento pelo coeficiente Kappa, comparar os índices de vegetação NDVI e SAVI e determinar a porcentagem de cobertura vegetal em todos os métodos utilizados, nas datas 26/05/2007, 07/01/2009 e 29/04/2009. As classificações evidenciaram diversas alterações espaciais no uso do solo no período considerado. Os índices de vegetação mais adequados foram NDVI e SAVI, os quais apresentaram valores semelhantes de porcentagem de cobertura vegetal, mas discrepantes em relação ao valor inferido para a classificação MAXVER.

Freitas et al. (2017) com objetivo avaliar o comportamento da vegetação através do NDVI e analisar a interação com a ocorrência de precipitação em Remanso-BA ao longo do ano de 2016. No estudo foram usadas 11 imagens do satélite Landsat 8 para cada mês do ano avaliado. Encontrados Os autores apresentaram resultados com valores de NDVI alto no período chuvoso, enquanto no período seco os valores foram menores. Ficou evidente ainda a diminuição de vegetação densa nos primeiros meses do ano e o aumento das áreas desprovidas de vegetação devido à carência de chuva. Diante do

exposto, os autores concluíram as variações de NDVI se deram em função das ocorrências de precipitação ao longo do período estudado.

Braz et al. (2015) utilizaram sensoriamento remoto para obtenção de dados de índices de vegetação com o objetivo de analisar a da dinâmica da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho no município de Selvíria – MS, os autores avaliaram os anos de 2010 e 2014 com auxílio de imagens dos sensores orbitais da série Landsat (5 – sensor TM e 8 – sensor OLI) para obter NDVI, SAVI e IAF. Os autores apresentaram resultados da espacialização e mudanças ocorridas na cobertura vegetal em toda extensão da bacia hidrográfica, além da influência/importância e eficácia aplicados em análise de utilizando estes índices..

Gameiro et al. (2016) realizou um estudo com foco no desenvolvimento de mapas temáticos para a vegetação (NDVI, SAVI e IAF) para avaliar a cobertura vegetal na Sub-bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, onde utilizou imagens do satélite Landsat 8, adquirido nos dias 15 de maio e 20 de outubro de 2015 para verificar as diferenças entre os períodos úmido e seco. Como resultado, foram obtidos seis mapas de índice de vegetação, três para cada período, sendo classificados em 5 classes, onde foram detectadas diferenças relevantes entre cada um e quantificado a área ocupada por cada um deles e com isso verificaram que a caatinga é a vegetação dominante na região mas vem perdendo espaço para os grandes plantios, principalmente de frutas. Dessa forma, os autores concluíram que o NDVI, SAVI e IAF são importantes nesse tipo de classificação.

Mais recente, outros autores realizaram avaliação com índices de vegetação e temperatura da superfície. Por exemplo, Alves et al. (2020), com objetivo de avaliar NDVI, chuva e a temperatura de superfície nas condições da vegetação, no Parque Nacional da Serra das Confusões (PNSC), Piauí-NEB, utilizou imagens do satélite Landsat 8 para calcular o NDVI e a TS. Os autores observaram que a chuva do PNSC apresentou sazonalidade bem definida, estações seca e chuvosa. Ambas as estações têm papel fundamental nas condições da vegetação da área avaliada. Vale destacar que nos resultados os autores observaram que a classe de NDVI acima de 0,693 apresentou a maior redução da área de cobertura do PNSC próximo de 72,7%, enquanto que as classes (0,347-0,433) e (0,433-0,52) tiveram um aumento de 34,7% e 31,8%, respectivamente. Dessa forma, eles concluíram que as condições da vegetação influenciam na TS da região.

Enquanto Freitas et al. (2016), teve como objetivo avaliar as alterações da vegetação (NDVI e SAVI) e da temperatura no perímetro urbano e área do município de Cabrobó no estado de Pernambuco, por meio imagens, uma Landsat 7 - ETM e outra Landsat 5 - TM, onde a passagem de ambos os satélites ocorreu em janeiro em anos diferentes (2003 e 2010), onde o mês de janeiro está inserido na estação chuvosa da cidade. Os resultados mostraram uma correlação dos índices NDVI e SAVI com a temperatura, e a variação da vegetação entre 2003 e 2010. Os autores ressaltam a eficácia dos índices de vegetação utilizados para a avaliação. Dessa forma, fica evidente que o uso dos índices NDVI, IAF e SAVI, e TS permitem compreender o comportamento da vegetação em diferentes áreas e verificar como a variação da mesma impacta nas características da temperatura da superfície. Além disso, vale salientar que o uso de sensoriamento remoto com o emprego de novas de tecnologias se tornou uma das principais ferramentas que possibilitam obter informações confiáveis que demandam de baixo custo de operação.

3- Materiais e Métodos

3.1. Área de Estudo

A área de estudo compreende o município de Santa Rita do Passa Quatro (21°42'37"S; 47°28'41"W; 748 m), no Estado de São Paulo, conforme ilustrado na Figura 1. Destaque-se na área de estudo a existência da reserva Pé-de-Gigante (PDG), uma das seis glebas disjuntas que constituem o Parque Estadual de Vassununga, criado em 26/10/1970 através do Decreto Federal 52.546, sendo administrado pelo Instituto Florestal da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA) do estado de São Paulo. O PDG é constituído por vegetação do tipo Cerrado e parte integrante do município de Santa Rita do Passa Quatro e localiza-se às margens da Rodovia Anhanguera (SP 330), entre os km 255 e 258, sendo circundada por plantações de cana-de-açúcar. O nome Pé-de-Gigante se deve a um rebaixamento no interior da unidade de conservação com o aspecto de uma pegada gigante, provavelmente causado por erosão das cabeceiras do córrego Paulicéia (PIVELLO et al., 1998).

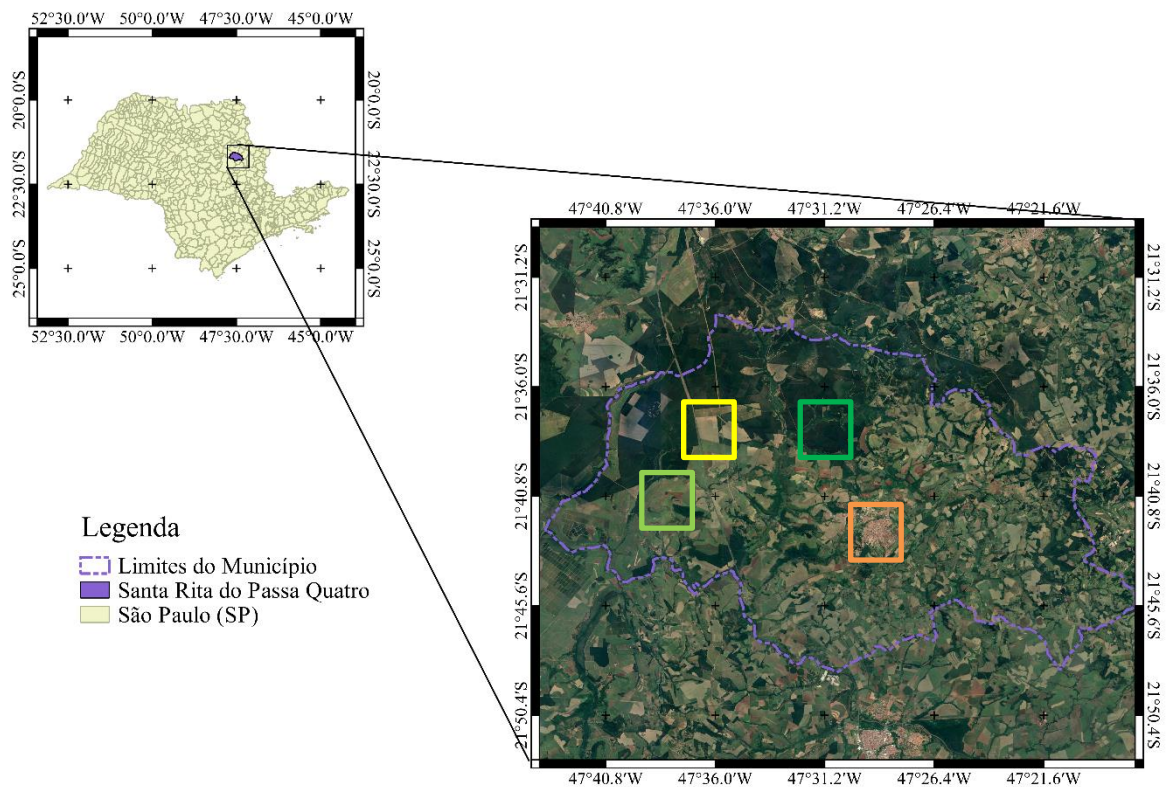


Figura 1 – Localização do Município de Santa Rita do Passa Quatro no Estado de São Paulo.

Na Figura 1 foram identificadas regiões para exemplificar diferentes tipos do uso e cobertura do solo para realizar a análise espacial dos índices de vegetação e TS no município, dessa forma observarem as alterações nas coberturas destacadas, utilizando a composição RGB (banda 5 - *Red*, banda 4 - *Green*, banda 3 - *Blue*) do Landsat 8 através dos mapas temáticos. Na Figura 1 em destaque na cor laranja está representada a malha urbana do município ocupada por casas, prédios e asfalto, na cor amarelo e verde claro área de solo exposto e vegetação rasteira, respectivamente, áreas utilizadas para fins agropecuários, e na cor verde escuro representação da vegetação densa com a presença de espécies arbóreas (GOMES, 2009).

3.2. Dados radiométricos do Satélite Landsat 8

Os cálculos índices NDVI, SAVI e IAF, e TS foram realizadas através do uso de imagens capturadas pelo sensor OLI e TIRS, a bordo do satélite Landsat 8. As imagens do Landsat 8 foram obtidas do site do Serviço Geológico dos EUA (USGS, 2019), no qual compreendem o quadrante 075 e órbita 2020, captadas aproximadamente às 13h10 min (horário local) referente passagens nos dias 23 de fevereiro de 2017, 19 de setembro de 2017, 14 de março de 2018 e 22 de setembro de 2019. Essas datas foram escolhida por apresentar baixa cobertura de nuvens na área de estudo e possuir uma janela espaço-temporal admissível para as análises.

3.3. Processamento das Imagens de Satélite

O processamento das imagens satélites e elaboração da edição do design final dos mapas temáticos foram realizados através do *software* livre QGIS 2.18, onde as operações matemáticas para o cálculo dos índices de vegetação utilizando as bandas espectrais foram realizadas com o uso da ferramenta calculadora raster e para temperatura de superfície a função *Semi-Automatic Classification plugin* no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados (SENSORGEO) do ICAT/UFAL.

3.4. Descrição dos Procedimentos

Para determinar os índices NDVI, SAVI e IAF, e a TS foram realizadas as etapas que estão descritas no fluxograma a seguir (Figura 2), que serão descritos nos subtópicos desta seção.. Todo cálculo é iniciado com imagens de satélite que proporciona obter valores de índices de vegetação e temperatura da superfície que

comumente era obtido através de visitas in situ e instrumentos meteorológicos na superfície, respectivamente.

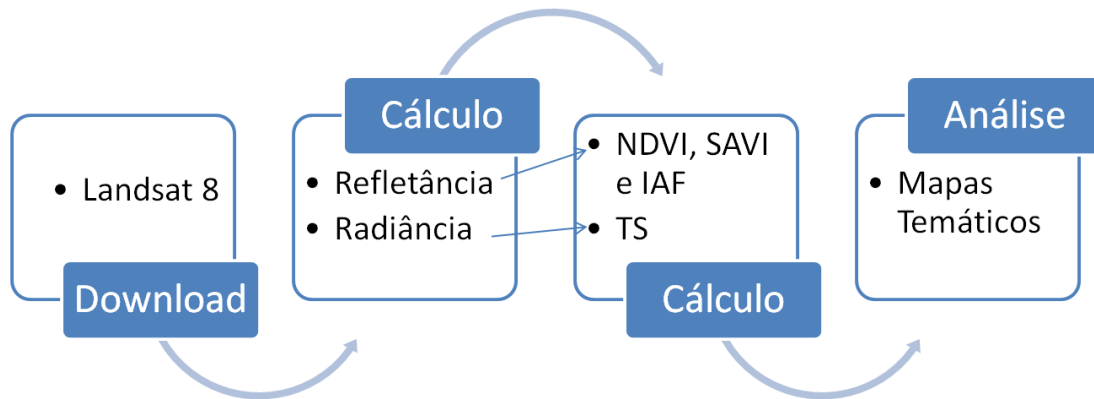


Figura 2 – Fluxograma das etapas dos procedimentos para obtenção do NDVI, SAVI, IAF e Temperatura da Superfície.

3.4.1. Cálculo da Reflectância Monocromática ($\rho_{\lambda,b}$)

O passo inicial foi o cálculo da Reflectância Monocromática ($\rho_{\lambda,b}$) das bandas 4 e 5 dos sensores utilizados nesta pesquisa, onde segundo Allen et al. (2002) é definida como a razão entre a radiação refletida e a radiação incidente, no qual os fluxos caracterizam a reflectância no topo da atmosfera terrestre, a qual é calculada baseado no número digital (ND) decada pixel das bandas espectrais das imagens. Deste modo foi calculado a relectância das bandas (4, e 5), como sugerido por Chander & Markham (2003):

$$\rho_{\lambda,b} = \frac{\text{Add}_{\text{ref},b} + \text{Mult}_{\text{ref},b} \text{ND}_b}{\text{Cos}\theta \cdot d_r} \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde $\text{Add}_{\text{ref},b}$ e $\text{Mult}_{\text{ref},b}$ simbolizam os termos Aditivos e Multiplicativos de relectância, respectivamente, referente a cada banda do satélite utilizada neste cálculo. Os valores de ambos os termos ($\text{Add}_{\text{ref},b}$ e $\text{Mult}_{\text{ref},b}$) estão dispostos através dos arquivos metadata, onde o mesmo acompanha as imagens de satélite após o download. Os valores apresentam valores constantes, -0, 1000 para $\text{Add}_{\text{ref},b}$ e $2 * 10^{-5}$ para $\text{Mult}_{\text{ref},b}$. Informações a respeito das bandas estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição das bandas do satélite Landsat 8 utilizadas nesse estudo.

Bandas	Add _{ref,b}	Mult _{ref,b}	Comprimento de Onda (µm)	Resolução (m)	Sensor
4 - Vermelho	-0, 1000	2 * 10 ⁻⁵	0.64-0.67	30	OLI
5 – Infravermelho Próximo	-0, 1000	2 * 10 ⁻⁵	0.85-0.88	30	OLI
10- Termal Infravermelho	-0, 1000	2 * 10 ⁻⁵	10.60-11.19	30	TIRS

Ainda de acordo com a equação 1, o termo ND_b representa a intensidade de variação dos pixels das bandas em tons de cinza, onde para o Landsat- 8, ND_b varia entre 0 e 65365; O Cosθ é o ângulo zenital pertinente ao vetor terra-sol, que também é obtido no arquivo metadata das imagens; enquanto o dr corresponde ao inverso do quadrado da distância terra sol calculado através da Equação 02.

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{DJ \cdot 2\pi}{365} \right) \quad (\text{Eq.02})$$

3.4.2. Cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

Proposto por Tucker (1979) NDVI é dado pela equação 3, e com ele é possível observar as variações da cobertura do dossel verde, através da razão entre a diferença do infravermelho próximo (banda 5- ρ_{λ,IVP}) e vermelho (banda 4- ρ_{λ,V}) (Allen et al., 2002).

$$NDVI = \frac{\rho_{\lambda,IVP} - \rho_{\lambda,V}}{\rho_{\lambda,IVP} + \rho_{\lambda,V}} \quad (\text{Eq.03})$$

3.4.3. Cálculo do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

Para o prosseguimento do estudo foi calculado o SAVI que é um índice que utiliza fatores NDVI, porém leva em consideração a presença de solo exposto na área, ou seja, tende a diminuir efeitos do solo na superfície, calculado pela equação 04.

$$SAVI = \frac{(1+Ls) \cdot (\rho_{\lambda,IVP} - \rho_{\lambda,V})}{\rho_{\lambda,IVP} + \rho_{\lambda,V} + Ls} \quad (\text{Eq.04})$$

No qual Ls é uma constante que varia de 0,25 a 1, conforme proposto por Huete (1988), que menciona que a constante vai variar de acordo com a cobertura do solo. Para o presente estudo foi determinado o valor para Ls de 0,5 que de acordo com alguns estudos é o utilizado para vegetação com densidade intermediária.

3.4.4. Cálculo do Índice Área Foliar (IAF)

O IAF é uma estimativa da biomassa de toda a parte vegetativa de planta. O IAF é a razão entre a área foliar de toda vegetação pela unidade de área na qual esta vegetação está inserida. Este índice indica a biomassa de cada pixel da imagem, obtido pela equação sugerida por Allen et al. (2002) (Equação 05)

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0.69-SAVI}{0.59}\right)}{0.91} \quad (\text{Eq.05})$$

3.4.5. Cálculo da Temperatura de Superfície (TS)

O cálculo da TS foi realizado utilizando a ferramenta "Semi-Automatic Classification plugin" (ítmlico o que está em aspas). Inicialmente é calculado a radiância monocromática da banda termal 10 do sensor TIRS (Equação 6). Em seguida, é realizado o cômputo da TS (Equação 5), descrito em Jiménez-Mu~noz et al. (2014). O passo inicial do plugin é realizar o cômputo da Reflectância Monocromática (L_λ) da banda termal dos sensor utilizado (banda 10), onde para o TIRS é calculado a radiância espectral através da Equação 06.

$$L_\lambda = \text{Mult}_{\text{ref,b}} \text{ND}_b + \text{Add}_{\text{ref,b}} \quad (\text{Eq.06})$$

Após o cálculo da radiância é computado através da Equação 7 a TS.

$$TS = - \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (\text{Eq.05})$$

Na tabela 4 estão dispostos os valores das constantes de calibração extraídos do metadados das imagens Landsat-8 da banda10.

Tabela 4 – Constantes de calibração para extrair informações de TS a partir de imagens do Landsat 8, banda 10.

Constante	Calibração
K₂	1.321.08 (K)
K₁	774.89 (K)

A temperatura de superfície é dada em Kelvin, dessa forma, é realizada a conversão para Celsius subtraindo 273.15 K das imagens calculadas.

4- Resultados e Discussões

4.1. Precipitação

Em diversas áreas a cobertura vegetal está fortemente relacionada com o volume pluviométrico, deste modo a ocorrência de precipitação antes da passagem do sensor do satélite poderá alterar o vigor vegetativo, resultando em valores maiores de NDVI, SAVI e IAF (FREITAS et al. 2017; ALVES et al., 2020). Na Tabela 5, está apresentada a ocorrência de precipitação antecedente (acumulado de até 7 dias antes) a passagem do satélite, assim, possibilitando analisar a interferência das chuvas nos valores de NDVI, SAVI e IAF. Dessa forma, é possível observar que foi registrado valores de precipitação que interferiram no comportamento da vegetação, em 23/02/2017, 14/03/2018 e 22/09/2018 com 74.2 mm, 64.0 mm e 57.6 mm, respectivamente. Enquanto em 19/09/2017 não apresentou presença de precipitação. Estes dados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019) da estação meteorológica São Carlos- 83726, disponíveis através do Banco de Dados Meteorológico (<https://bdmep.inmet.gov.br/>). Esta estação é mais próxima da área de estudo.

Tabela 5 – Precipitação antecedente acumulada (mm) às datas das passagens do satélite Landsat- 8 – OLI.

Passagem do Satélite	Dias Antecedentes	Precipitação (mm)
23/02/2017	16/02/2017	74.2
19/09/2017	12/09/2017	0.0
14/03/2018	07/03/2018	64.0
22/09/2018	15/09/2018	57.6

4.2. Análises do NDVI

A Tabela 6 lista os intervalos do índice de vegetação, que foram classificados com base na análise entre o cálculo do índice e a composição RGB, onde foram adotadas as mesmas classificações neste trabalho.

Tabela 6 – Relação entre os valores de índice de Vegetação e o tipo de cobertura do solo, sugerida por Freitas et al. (2017).

Tipo de Cobertura	Índice de Vegetação
(Corpo D'Água)	-1,0 – 0,0
Malha Urbana	0,0 – 0,15
Solo Exposto	0,15 – 0,30
Vegetação Rasteira/ Rala	0,30 – 0,45
Vegetação Densa	0,45 – 0,60

Na Figura 3 está representado os resultados obtidos com os valores de NDVI para a cidade de Santa Rita do Passa Quatro, durante as datas referentes à passagem do satélite nos dias 23 de fevereiro de 2017, 19 de setembro de 2017, 14 de março de 2018 e 22 de setembro de 2018. Observa-se que os valores de NDVI foram mais intensos nas datas 23/02/2017 e 14/03/2018 (Figura 3A e 3C), onde variou entre 0,30 – 0,60 indicando a presença de vegetação rasteira e densa com maior vigor vegetal.. Ainda de acordo com as análises anteriores, durante as respectivas datas aconteceram precipitação antes da passagem do satélite, o que pode resultar no aumento do vigor vegetativo.. Nas Figuras 3B e 3D, nota-se que os valores do NDVI alternaram entre 0,0 - 0,30 apresentando uma cobertura de malha urbana localizada nas coordenadas 21°41'24.0" S 47° 31' 12" N (observada em todas as figuras) e de solo exposto/área de cultivo que possivelmente ocorreu a colheita das culturas produzidas no município, onde segundo Gomes (2009) o município é forte produtor de cana-de-açúcar.

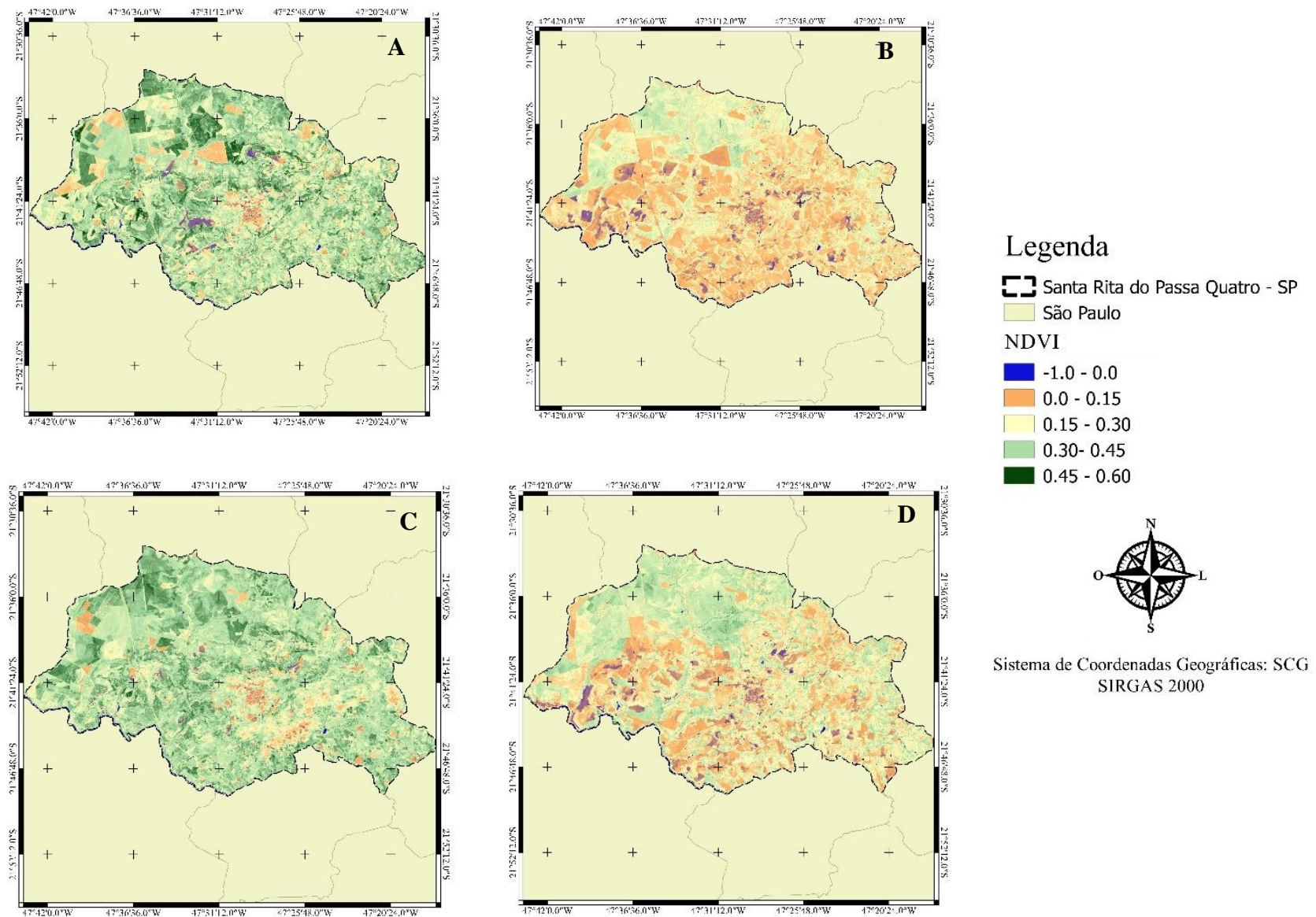


Figura 3 – Distribuição espacial do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para os dias 23/02/2017 (A), 19/09/2017 (B), 14/03/2018 (C) e 22/09/2018 (D), respectivamente.

4.3. Análises do SAVI

Semelhante a Figura 3, a Figura 4 apresenta resultados do cálculo do SAVI. Observa-se que os resultados foram semelhantes aos discutidos nas análises anteriores, porém ocorreu o aumento significativo nos valores de índice de vegetação correspondente a utilização do cálculo do SAVI, onde a classe entre 0,45 – 0,60 foi maior distribuída espacialmente nas datas 22/03/2017 e 14/03/2018 (Figura 4A e 4C) decorrente do solo encontrar-se saturado após a precipitação que ocorreu dias antes a passagem do satélite. Ao realizar a comparação entre as datas, nota-se que os valores de SAVI foram menores nas Figuras 4B e 4D, mostrando a presença de solo exposto que possui maior sensibilidade nos computos do SAVI, resultando maior destaque da classe 0.0 – 0.15. Na classe que representa as vegetações rasteiras (0.30 – 0.45) também resultou em maior destaque, uma vez que a presença do solo apresenta maior influência, nas áreas de cultura agrícola. Vale ressaltar que a malha urbana apresenta sempre os menores valores junto à áreas de estrada e ao solo exposto, com intervalo de 0.0 – 0.15.

Estes resultados, NDVI e SAVI, corroboram com Freitas et al. (2016), Freitas et al. (2017), Alves et al., 2017 e Francisco e Gruber (2018) que investigaram as variações em diferentes tipos de superfície e cobertura vegetal, observando diferenças nos valores de NDVI e SAVI, resultante dos efeitos do fator do solo (Ls), dessa forma, os autores recomendaram o uso do SAVI para superfícies que existem maior presença de solo exposto.

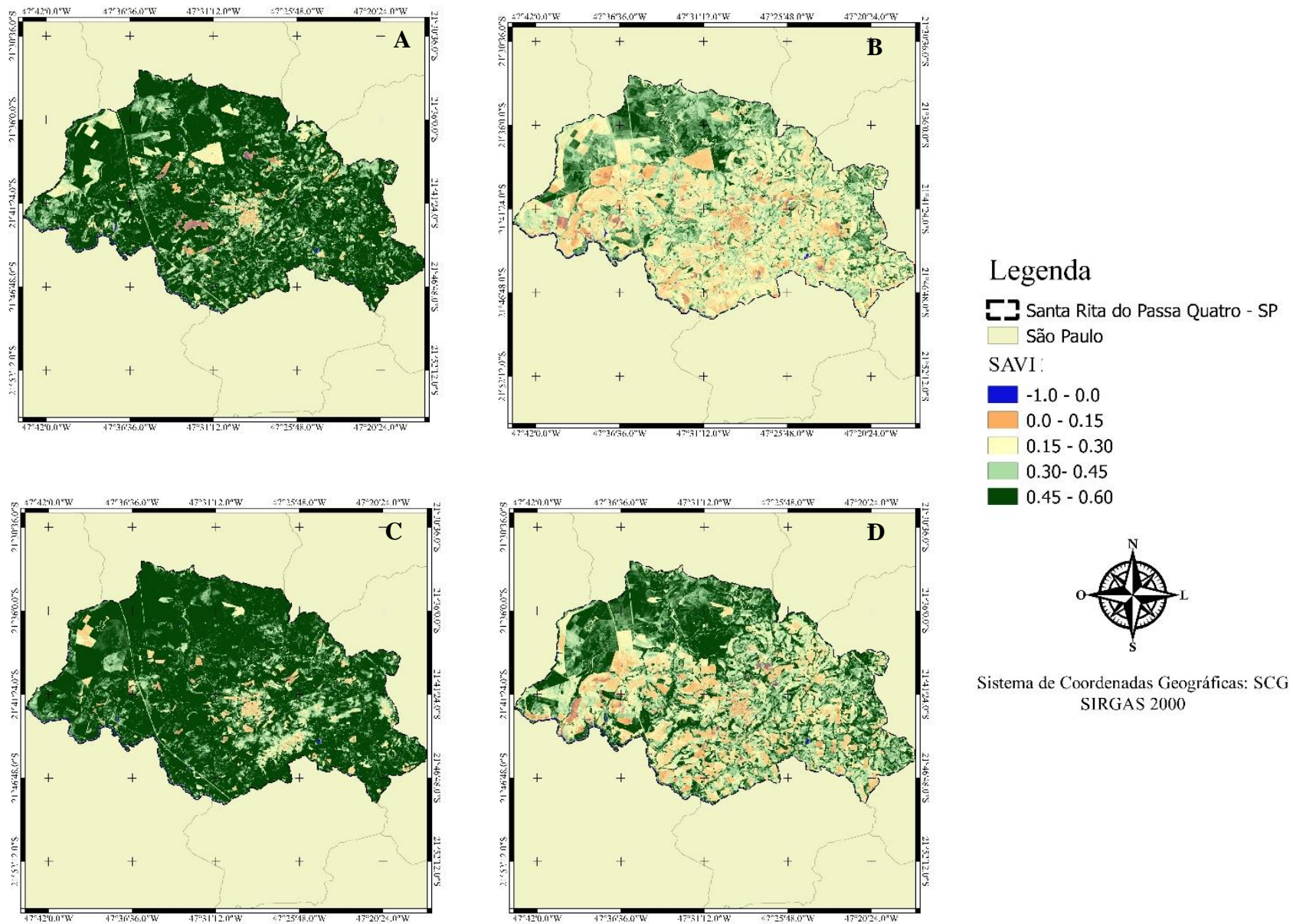


Figura 4 – Distribuição espacial do índice de vegetação ajustada ao solo (SAVI) para os dias 23/02/2017 (A), 19/09/2017 (B), 14/03/2018 (C) e 22/09/2018 (D), respectivamente.

4.4. Análise do IAF

O IAF é um subproduto do NDVI e SAVI, as análises dos resultados obtidos para esse índice são muito semelhantes aos resultados mostrados nas análises anteriores das Figuras 3 e 4. A Figura 5 apresenta os mapas das imagens processadas referentes aos cálculos do IAF, para as datas analisadas. Os resultados indicam que nas imagens dos dias 23/02/2017 e 22/09/2018 (Figuras 5B e 5D), as áreas de vegetação rala representada pela cor vermelho apresentou IAF entre 0.0 e 0.76, devido a vegetação não está desenvolvida e, por isso, a área de vegetação por pixel é menor. Já nas áreas de vegetação densa os valores ficaram entre 1.52 – 2.28, vale ressaltar que este período é considerado seco, apesar de ter ocorrido precipitação antecedente a passagem do satélite os valores de IAF foram menores que os observados para as Figuras 5A e 5C..

Nas datas 23/02/2017 e 14/03/2018 (Figura 5A e 5C) que correspondem o período úmido, os valores de IAF foram maiores com predominância das classes entre 2.28 – 3.04. Nesse contexto, os valores de IAF foram maiores no período úmido em relação ao período seco, devido à maior disponibilidade hídrica no solo; conseqüentemente essa condição contribuiu para o aumento da biomassa do dossel e maior vigor da vegetação, vale destacar que estes resultados complementamos que foram encontrados nas análises do NDVI e SAVI.

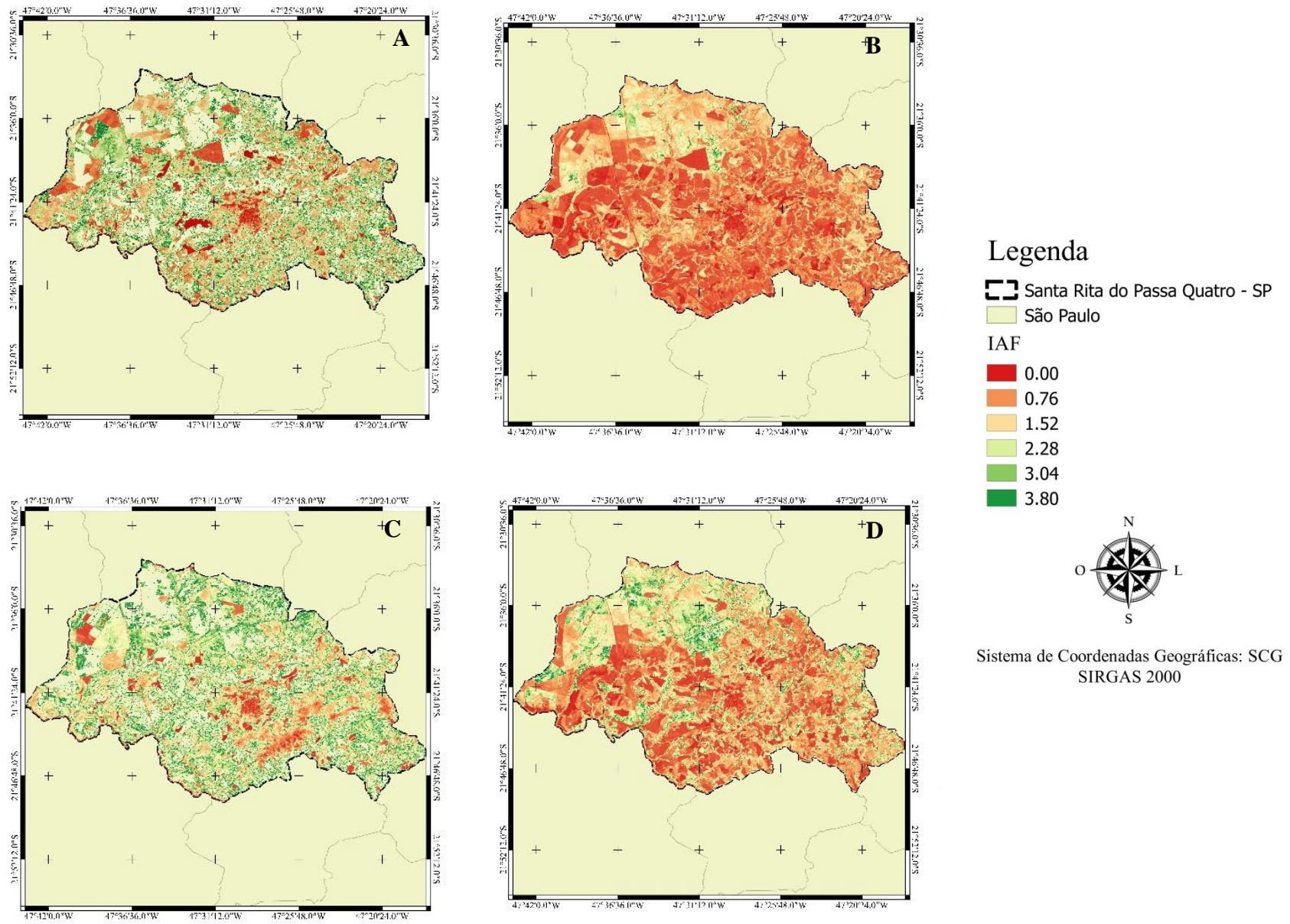


Figura 5 – Distribuição espacial do índice de área foliar (IAF) para os dias 23/02/2017 (A), 19/09/2017 (B), 14/03/2018 (C) e 22/09/2018 (D), respectivamente.

4.5. Análise da TS

Na Figura 6 estão apresentadas as cartas de temperatura da superfície calculadas a partir da utilização do plugin Semi-Automatic Classification, onde foi possível confrontar a TS com o índice de vegetação, verificou-se alterações na TS resultante da mudança na cobertura vegetal. Observa-se na Figura 5 que os valores mínimos de TS foram $22,5^{\circ}\text{C}$ em todas as datas, onde no dia 14/03/2018 (Figura 6C) a mesma temperatura apresentou maior distribuição espacial, resultado da maior biomassa observada (IAF) e maior vigor da vegetação (NDVI e SAVI) que resultaram em redução da TS..

Ainda Figura 6A são observados os mesmos resultados, porém a TS apresenta maior espacialização entre $22,5^{\circ} - 29,5^{\circ}\text{C}$, uma vez que a presença da vegetação não é intensa. A influência da cobertura vegetal na TS é observada com maior intensidade nas datas 19/09/2017 e 22/09/2018 (Figura 6B e 6D), onde a maior presença de solo exposto/áreas sendo preparadas para plantio resultaram em TS entre $29,5^{\circ} - 33^{\circ}\text{C}$. Nota-se que nas áreas de malha urbana a temperatura apresentou variação entre $25,9^{\circ} - 29,9^{\circ}\text{C}$ durante as datas 23/02/2017, 14/03/2018 e 22/09/2018 (Figuras 6A, 6C e 6D, respectivamente), enquanto na data 19/09/2017 (Figura 6B) a mesma área apresentou variação entre $29,5^{\circ} - 33^{\circ}\text{C}$.

As diferenças de TS analisadas para as quatro datas nas áreas de malha urbana reforçam a importância da cobertura vegetal e da precipitação no controle térmico das cidades, onde a influência da precipitação tende a interferir na densidade da vegetação que aumenta o vigor vegetativo e a biomassa do dossel,, resultando em baixas temperaturas nas cidades que apresentam maior área verde. Nesse sentido, parques ecológicos e ruas arborizadas contribuem para a redução da TS em centros urbanos que pode implicar em melhora do conforto térmico local (Alves et al., 2016; Alves et al., 2019)..

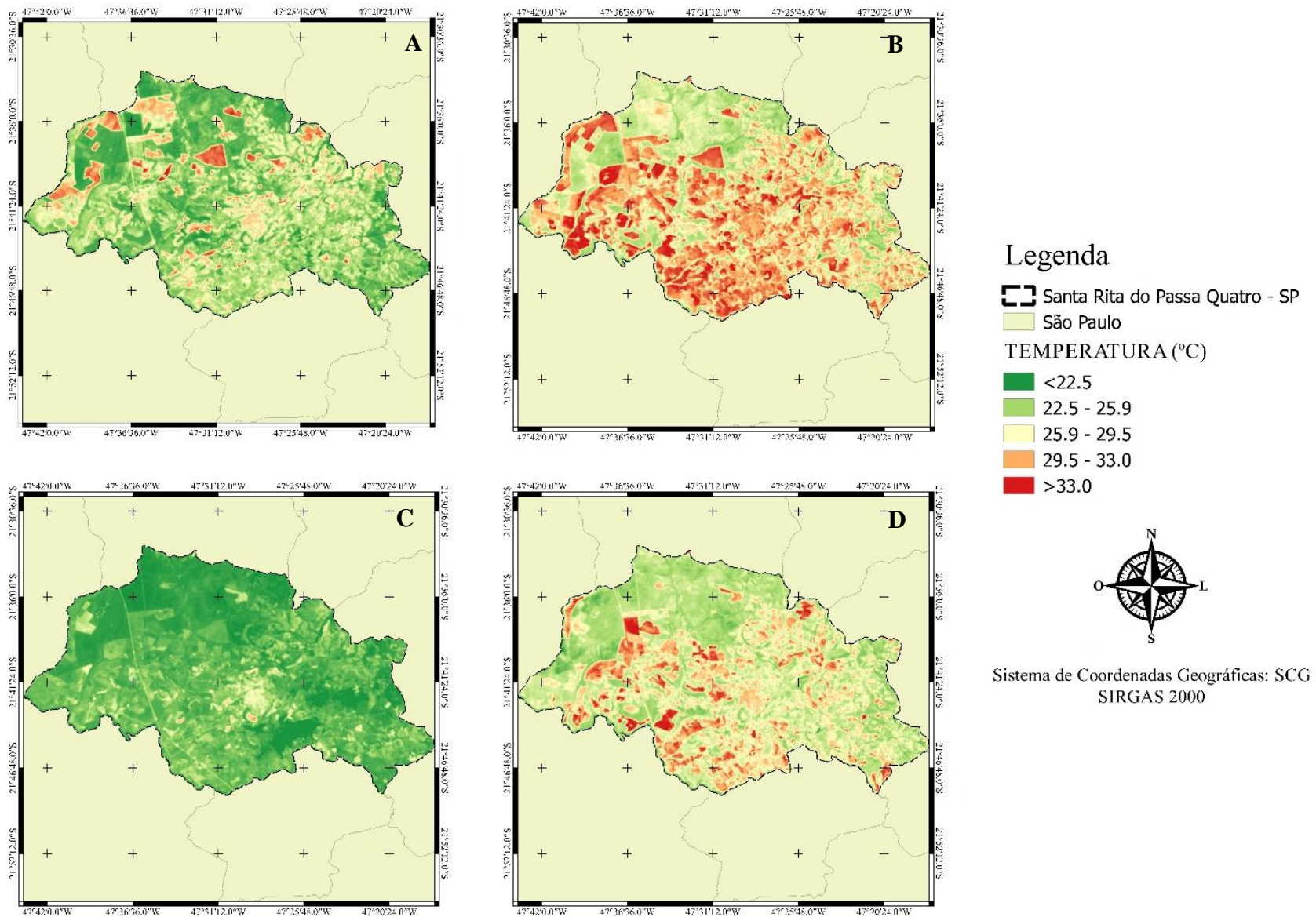


Figura 6 – Distribuição espacial da temperatura para os dias 23/02/2017 (A), 19/09/2017 (B), 14/03/2018 (C) e 22/09/2018 (D), respectivamente.

5- Conclusões

O objetivo deste trabalho foi realizar análises em imagens orbitais do Landsat – 8, aplicando técnicas de sensoriamento remoto, e comparar a configuração da cobertura vegetal obtida por meio do NDVI, SAVI e IAF, e através do cálculo da temperatura de superfície, durante as datas de 23/02/2017, 19/09/2017, 14/03/2018 e 22/09/2018.

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas apresentaram valores coerentes a respeito da cobertura de vegetação no solo em Santa Rita do Passa Quatro – SP. Os índices de NDVI, SAVI e IAF apresentaram bom desempenho na análise de mudanças nas características do solo, além de verificar mudanças de cobertura do uso e cobertura do solo de forma satisfatória e verificar as consequências decorrentes das alterações, como o aumento da temperatura observado em áreas que tiveram maior alteração de sua cobertura vegetal e também dentro da cidade, uma vez que são retiradas as vegetações nas adjacências.

Os valores de NDVI, SAVI e IAF em Santa Rita do Passa Quatro – SP foram alterados com a ocorrência de precipitação pluviométrica, onde as datas que apresentaram maior volume de precipitação os índices de vegetação foram mais intensos, enquanto nas datas em que a precipitação apresentou menores volumes pluviométricos os índices de vegetação também foram menores, assim apresentando a forte relação da vegetação e a precipitação, onde existe uma necessidade hídrica para manter o verdor da vegetação.

Além disso, na região existe bastante cultivo de cana-de-açúcar e as alterações mais significativas, podem ser devido ao período de colheita. Estas mudanças na cobertura do solo foram melhor observadas através dos valores de temperatura da superfície. Concluiu-se que nas áreas onde ocorreu redução da área dossel, tal como áreas de cana-de-açúcar que foram colhidas, impactou no aumento significativa da TS o mesmo foi observado quando áreas de vegetação nativa perdeu vigor vegetativo. Dessa forma,, preservar a vegetação nativa poderá reduzir as temperaturas no entorno da malha urbana, resultando em melhor conforto térmico.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R., TASUMI, M. & TREZZA, R. SEBAL Surface Energy Balance Algorithm for Land – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0. 2002.

ALVES, L. A. et al. Balanço de radiação através do satélite Landsat-8 na bacia do Rio Pajeú. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 117-127, 2017.

ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B. ; SANTOS, M. N. ; FREITAS, I. G. F. ; SILVA, E. F.. Análise dos índices de conforto térmico (ITU e ID) para último quadrimestre de 2014 para o município de Maceió-AL. In: Lucas Barbosa Cavalcante. (Org.). **4º Geolagoas**. 4ed.Maceió: Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio, 2016, v. 1, p. 97-103.

ALVES, L. E. RIBEIRO ; FREITAS, I. G. F. ; GOMES, H. B. ; SANTOS, M. N. . Using Landsat-8 images in the estimation of the surface radiation balance. **JOURNAL OF HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING**, v. 7, p. 91-100, 2017.

ALVES, Laurizio Emanuel Ribeiro et al. Parâmetros Biofísicos Aplicados no Parque Nacional da Serra das Confusões, Piauí-Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. AHEAD, 2020.

ALVES, L. E. R.; CORREIA FILHO, W. L. F. ; GOMES, H. B. ; OLIVEIRA JUNIOR, J. F. ; SANCHES, F. O. ; TEODORO, P. E. . Space-temporal evaluation of changes in temperature and soil use and cover in the metropolitan region of baixada santista. *Bioscience Journal*, v. 35, p. 1438-1449, 2019.

BEZERRA, B, G, **Balanço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL**, 127f, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2006.

BRAZ, Adalto Moreira; DE ANDRADE ÁGUAS, Thiago; GARCIA, Patricia Helena Miranda. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego ribeirãozinho, município de Selvíria–MS. **Revista Percursos**, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING**, v. 41, n. 11, 2003.

CONCEIÇÃO, Adriana Fantinati; TEIXEIRA FILHO, José. Espacialização do NDVI, SAVI e temperatura de brilho obtidos por sensoriamento remoto nas Bacias Hidrográficas Atibainha e Cachoeira (Sistema Cantareira). **Anais ABEP**, p. 1-6, 2020.

DEMARCHI, Julio Cesar; PIROLI, Edson Luís; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo–SP usando imagens LANDSAT-5. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, 2011.

DO VALLE JÚNIOR, Renato Farias et al. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 20-33, 2019.

Engesat. Landsat 5 TM - Ficha Técnica Resumida. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>>. Acesso em 03 abril de 2021. (Adaptado).

FAGUNDES, Leonardo Teixeira et al. Análise do fenômeno de ilhas de calor em um município da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul–BR. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 2012-2019, 2020.

FIGUEIREDO, D. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. Brasília-DF**, 2005.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento remoto**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FRANCISCO, C.; GRUBER, N. Índices de vegetação obtidos de imagens multiespectrais aplicados na discriminação da cobertura vegetal em relevo montanhoso. **Geo UERJ**, n. 32, p. 16931, 2018.

FREITAS, I. G. F.; ALVES, L. E. R. ; GOMES, H. B. ; SILVA JUNIOR, J. R. ; SANTIAGO, D. B. ; SILVA, R. A. . Analysis of Behavior of Vegetation in the Year of 2016 for the Municipality of Remanso- BA. **Revista Geama**, v. 10, p. 41-48, 2017.

FREITAS, I. G. F.; GOMES, H. B. ; ALVES, L. E. R. ; SANTOS, F. S. ; NOVA, T. S. V. . ANÁLISE DAS MUDANÇAS DE COBERTURA VEGETAL NA GERAÇÃO DE ILHAS DE CALOR. In: XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2018, Maceió. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2018. p. 4149-4162.

FREITAS, I. G. F.; GOMES, H. B. ; MOURA, M. A. L. ; ALVES, L. E. R. ; SILVA JUNIOR, J. R. ; SANTOS, M. N. . Estudo dos índices de vegetação e temperatura em anos de El Niño para o município de Cabrobó- PE com uso de imagens de Satélite.. In: Lucas Barbosa Cavalcante. (Org.). **4º Geoalagoas**. 4ed.Maceió: SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO GESTÃO E PATRIMÔNIO, 2016, v. 1, p. 328-339.

GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C.P.B.; SILVA NETO, T.A.; LOPES, M.F.L.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; ZIMBACK, C.R.L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. *Terræ*, 13(1-2), 2016, p.15-22.

GOMES, H. B.. Balanços de Radiação e Energia em Áreas de Cultivo de Cana-de-Açúcar e Cerrado no Estado de São Paulo Mediante Imagens Orbitais:UFCG,2009.125p. **Tese de Doutorado em Meteorologia**.

GOMES, H. B.; ALVES, L. E. R.; SANTOS, F. S. dos; BARROS, G. V. P. de; SILVA, R. A. da. Geotecnologias: Princípios e aplicações meteorológicas. In: ANDRÉ BECKER NUNES; GLAUBER LOPES MARIANO (ORG.). Maceió: Clube dos Autores, 2020. v. 7, cap. 4, p. 166–199.

GUHA, Subhanil et al. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. **European Journal of Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 667-678, 2018.

GURGEL, H. da C.; FERREIRA, Nelson Jesus; LUIZ, AJB. Análise da variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. Separata de: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1-8, 2001.

GURGEL, Helen da C.; FERREIRA, Nelson J.; LUIZ, Alfredo JB. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003.

HOLANDA, A. S.; GUERRA, C. E. Monitoramento da região do Eixo- Forte no município de Santarém – PA utilizando imagens dos índices de vegetação de NDVI e NDWI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., Recife. Anais [...]. Recife: UFOPA, 2010. p.001-005.

HUETE, A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment. Remote sensing of environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2 ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 672 p. 2009.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. et al. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. **IEEE Geoscience and remote sensing letters**, v. 11, n. 10, p. 1840-1843, 2014.

KALAF, R.; BRASILEIRO, R.; CARDOSO, P.V.; CRUZ, C.B.M. Landsat8: **Avanços para mapeamento e mesoescala**. In. 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. 2013. Rio de Janeiro, 2013.

LEITE, Ana Paula; SANTOS, Glaucia Regina; SANTOS, Jannaylton Éverton Oliveira. Análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na Estação Experimental de Itatinga utilizando imagens Landsat 8. **Revista brasileira de energias renováveis**, v. 6, n. 4, p. 606-623, 2017.

LEMUS-CANOVAS, Marc et al. Estimating Barcelona's metropolitan daytime hot and cold poles using Landsat-8 Land Surface Temperature. **Science of the Total Environment**, v. 699, p. 134307, 2020.

LILLESAND, M.T. & KIEFER, F.W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc. 3a ed. 1994.

LISBOA, V. S.; OLIVEIRA, L. S.; CINTRA, D. P. Proposta metodológica de análise de microclima urbano por bandas termais do satélite Landsat. **Cadernos UniFOA**, v. 7, n. 1 Esp, p. 346, 2012.

LIU, W. T.; JUÁREZ, RI Negrón. ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 17, p. 3483-3501, 2001.

MENESES, P. R. et al. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UNB/CNPq, 2012.

NAGY, Attila et al. Wheat Yield Forecasting for the Tisza River Catchment Using Landsat 8 NDVI and SAVI Time Series and Reported Crop Statistics. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 652, 2021.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). Spectral Characterization. 2013. Disponível em: < http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/inst_cal/prog_sect8_2.html>. Acesso em: 05 de maio 2021.

NOVO, E.M.L. de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações, **INPE**, 1992.

NOVO, E.M.L. de M.; PONZONI, F. J. Introdução ao sensoriamento remoto. **São José dos Campos: INPE**, v. 61, 2001.

PIVELLO, V. R. et al. Proposta de zoneamento ecológico para a reserva de cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP). **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, n. 2, p. 108-118, 1998.

RODRIGUES, Evandro Luís et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na sub-bacia do vale do Rio Itapecerica, alto São Francisco. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 16, p. 1472-1479, 2013.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia, EDUFU.5.ed.109p.2003.

RUDORFF, B. F. T.; MELLO, M. P.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélites de sensoriamento remoto no Brasil. **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal (GEOPANTANAL)**, v. 2, p. 1077-1083, 2009.

SANTIAGO, M. M. et al. Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no entorno da Barragem do Botafogo-PE. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 14, p. 3003-3009, 2009.

SCHUCKNECHT, Anne et al. Assessing vegetation variability and trends in north-eastern Brazil using AVHRR and MODIS NDVI time series. **European Journal of Remote Sensing**, v. 46, n. 1, p. 40-59, 2013.

SILVA, J.; DA SILVA, R. Mapeamento e comparação entre índices de vegetação utilizando imagem OLI/Landsat 8 na bacia do Rio Bacanga, São Luís (MA). **XVIII Encontro nacional de geógrafos**, 2016.

TASUMI, M. Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. 2003. PhD **thesis**, (Biological and Agricultural Engineering) – University of Idaho. Idaho. 2003.

TUCKER, C. J; JUSTICE, C. O.; PRINCE, S. D. Monitoring the grasslands of the Sahel 1984-1985. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1571-1581, 1986.

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

United States Geological Survey (USGS), 2013. Landsat Project Description. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php> Acesso em: 10 de maio de 2021

USGS, 2012. Landsat Missions: Landsat 5- TM. U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey – NASA. Disponível em: < <https://landsat.usgs.gov/landsat-5> >. Acesso em: 10 de maio de 2021.

USGS, 2019. Earth Explorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 de novembro de 2020.

VIEIRA, Denise Pereira Canedo Meira et al. Investigação do Uso de Parâmetros Biofísicos na Influência do Microclima Dentro de Áreas Urbanas. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 1, p. 16-20, 2021.