

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

LEONARDO COSTA PERES

**ANÁLISE CRONOSEQUENCIAL DE ÁREAS DEGRADADAS EM
RESTAURAÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES INDICES DE
VEGETAÇÃO EM IMAGENS DE SATÉLITE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2021

LEONARDO COSTA PERES

**ANÁLISE CRONOSEQUENCIAL DE ÁREAS DEGRADADAS EM
RESTAURAÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES ÍNDICES DE
VEGETAÇÃO EM IMAGENS DE SATÉLITE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Raoni Wainer Duarte
Bosquilia

DOIS VIZINHOS

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Curso de Engenharia Florestal



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE CRONOSEQUENCIAL DE ÁREAS DEGRADADAS EM RESTAURAÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES INDICES DE VEGETAÇÃO EM IMAGENS DE SATÉLITE

por

LEONARDO COSTA PERES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 26 de abril de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Raoni Wainer Duarte Bosquilia
Orientador(a)

Prof. Dr. Álvaro Boson de Castro Faria
Membro titular (UTFPR)

Prof. Dr. Fernando Campanhã Bechara
Membro titular (UTFPR)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

COSTA, Leonardo P. ANÁLISE CRONOSEQUENCIAL DE ÁREAS DEGRADADAS EM RESTAURAÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM IMAGENS DE SATÉLITE. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso II (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2021.

A devastação das áreas naturais para retirada de produtos que suprem a necessidade humana faz com que seja necessária a recuperação de áreas degradadas. Como uma das etapas para se obter uma restauração bem-sucedida, o monitoramento do desenvolvimento dessas áreas é uma prática necessária, e, através do Sensoriamento Remoto, acaba sendo mais prático e viável. Com o objetivo de avaliar o uso dessa tecnologia, o presente trabalho utilizou três índices de vegetação distintos (NDVI, SAVI e EVI) em imagens de satélite para realizar uma análise cronosequencial de doze parcelas em recuperação localizadas na UTFPR, campus Dois Vizinhos, as quais são divididas em três tratamentos diferentes (Restauração Passiva, Nucleação e Reflorestamento com Espécies Nativas). Para isso, foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat 7* e *8* de outubro de 2010 até julho de 2020 (duas imagens por ano, sendo uma no verão e outra no inverno). Essas imagens foram obtidas com a correção atmosférica já realizada e a partir disso foram calculados os índices de vegetação. Para a análise dos resultados, foram comparados os índices em relação aos anos, sazonalidade, tratamentos e também a relação com os dados de vegetação previamente obtidos em campo, com o intuito de conseguir representar a evolução da restauração no decorrer dos anos utilizando índices obtidos por imagem de satélite. Levando em consideração todas as análises feitas entre os índices, apenas o NDVI apresentou diferença em relação ao EVI e SAVI, que por consequência se mostraram bem similares. A utilização dos índices para analisar a área se mostrou competente para visualizar o desenvolvimento da vegetação e sua relação com o fator hídrico na mesma, porém este não apresentou boa correlação com os dados de densidade obtidos em campo. Sugere-se reproduzir esse trabalho em áreas maiores ou até mesmo utilizar sensores com melhores resoluções.

Palavras-chave: NDVI; SAVI; EVI; Landsat; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

COSTA, Leonardo P. CHRONOSQUENTIAL ANALYSIS OF DEGRADED AREAS IN RESTORATION USING DIFFERENT VEGETATION INDEXES IN SATELLITE IMAGES 2021. Course Conclusion Paper II (Undergraduate in Forest Engineering) - Federal Technological University of Paraná, Dois Vizinhos, 2021.

The devastation of natural areas for the removal of products that supply the human need makes the recovery of degraded areas necessary. As one of the steps to achieve a successful restoration, the monitoring of the development of these areas is a necessary practice, and, through Remote Sensing, it turns out to be more practical and feasible. In order to evaluate the use of this technology, the present work used three different vegetation indices (NDVI, SAVI and EVI) in satellite images to perform a chronosequential analysis of twelve parcels in recovery located at the UTFPR, Dois Vizinhos campus, which are divided into three different treatments (Passive Restoration, Nucleation and Reforestation with Native Species). For this, images from the Landsat 7 and 8 satellites from October 2010 to July 2020 were used (two images per year, one in summer and another in winter). These images were obtained with the atmospheric correction already performed and from that the vegetation indices were calculated. For the analysis of the results, the indices were compared in relation to the years, seasonality, treatments and also the relationship with the vegetation data previously obtained in the field, in order to be able to represent the evolution of restoration over the years using indices obtained by satellite imaging. Taking into account all the analyses made between the indices, only the NDVI showed a difference in relation to the EVI and SAVI, which consequently were very similar. The use of the indices to analyze the area showed to be competent to visualize the development of the vegetation and its relationship with the hydric factor in the area, but this did not show a good correlation with the density data obtained in the field. It is suggested to reproduce this work in larger areas or even use sensors with better resolutions.

Keywords: NDVI; SAVI; EVI; Landsat; Remote sensing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	OBJETIVOS	6
2.1	OBJETIVO GERAL	6
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	6
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1	RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	7
3.2	SENSORIAMENTO REMOTO	9
3.3	SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL.....	10
3.4	LANDSAT	12
3.5	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	13
3.5.1	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO (NDVI)	15
3.5.2	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO (SAVI)	16
3.5.3	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO (EVI)	17
4	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	19
4.2	OBTENÇÃO DOS DADOS	22
4.3	ANÁLISE DOS DADOS	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1	ANÁLISE DOS VALORES BRUTOS.....	27
5.2	ANÁLISE DAS MÉDIAS	28
5.3	ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA).....	31
5.4	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	33
5.5	ANÁLISE SAZONAL E SUAS CORRELAÇÕES COM DADOS PLUVIOMÉTRICOS .	34
6	CONCLUSÃO	37
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

Por muito tempo o ser humano vem devastando áreas naturais como meio de retirar delas produtos que supram suas necessidades, devastação que mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias e um maior conhecimento não houve redução. (RODRIGUES, 2013).

Diante disso, tem-se observado, em muitas situações, a necessidade do serviço de recuperação de áreas degradadas. Esse serviço tem o objetivo de recuperar uma área natural que foi degradada por meio de atividades antrópicas, utilizando-se de métodos de restauração ou de reabilitação.

Para ser considerada uma restauração, deve-se recuperar além das funções ecossistêmicas as características fitofisionômicas que anteriormente vigoravam naquele lugar. De acordo com TRENTIN (2018), existem diversos passos para que se tenha uma restauração bem-sucedida, sendo eles: escolha do método de restauração, sua implantação, manutenção e monitoramento.

A utilização de imagens de satélites e todas suas ferramentas demonstram um grande potencial quando se fala em monitoramento de áreas degradadas em restauração, pelo fato de propiciar maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e viabilidade econômica, além de não precisar a ida a campo para realizar certos levantamentos (VAEZA, et al, 2010).

Outra vantagem que se tem na utilização de imagens providas de sensores remotos orbitais é o fato de se aplicar diferentes tratamentos a essas imagens. Essas são formadas por uma combinação de bandas as quais cada uma representa alguma faixa do espectro eletromagnético. Isso faz com que seja possível a formação de imagens que realce algumas características mais interessantes para uma determinada análise.

No caso de estudos de vegetação por meio de imagens, são utilizados índices de vegetação, que são formados por uma composição de bandas que realçam a estrutura celular bem desenvolvida das plantas sadias. Para isso, geralmente, são usadas as bandas que representam a faixa espectral do vermelho e do infravermelho próximo na geração dos índices (ROSENDO, 2005).

Utilizando desses índices de vegetação a partir de duas datas diferentes permite a detecção de mudanças no estado da cobertura vegetal (ROSENDO, 2005). Sendo assim, se torna possível observar as alterações que essas áreas sofreram no decorrer do tempo.

Sabendo disso, o presente trabalho utilizou imagens de nove anos consecutivos para realizar o monitoramento de áreas em restauração, avaliando o desenvolvimento dessas áreas durante os anos estudados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Testar a utilização de diferentes índices de vegetação: Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Vegetação Melhorado (EVI) em imagens de satélites a fim de realizar o monitoramento de áreas degradadas sob diferentes processos de restauração desde o período de 2010 até 2019, localizada na UTFPR – Dois Vizinhos.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Comparar os dados obtidos pelos três índices de vegetação (NDVI, SAVI e EVI) para os três tratamentos existentes (Restauração Passiva, Nucleação e Reflorestamento com Espécies Nativas);
- Avaliar a evolução da recuperação das áreas degradadas desde a sua implantação;
- Comparar os resultados dos índices de vegetação com dados previamente obtidos a campo;
- Avaliar a influência da sazonalidade pluviométrica nos valores dos índices de vegetação.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

O crescimento da população mundial, o aumento da expectativa de vida, junto ao consumo desenfreado dos recursos naturais e suas técnicas de obtenção as quais hoje são empregadas não estão adequadas à manutenção do meio ambiente, comprometendo a qualidade de vida e sobrevivência das futuras gerações (KOBİYAMA; MINELLA; FABRIS, 2001).

De acordo com Almeida (1998), a Mata Atlântica encontra-se reduzida a menos de 5% de sua área (Figura 1), estando ainda fragmentada em pequenos remanescentes. Tal cenário foi construído desde a colonização do Brasil com a exploração de madeira até dias mais atuais onde nessas mesmas áreas foram implantadas pastagens que ocupam cerca de 70% da região.

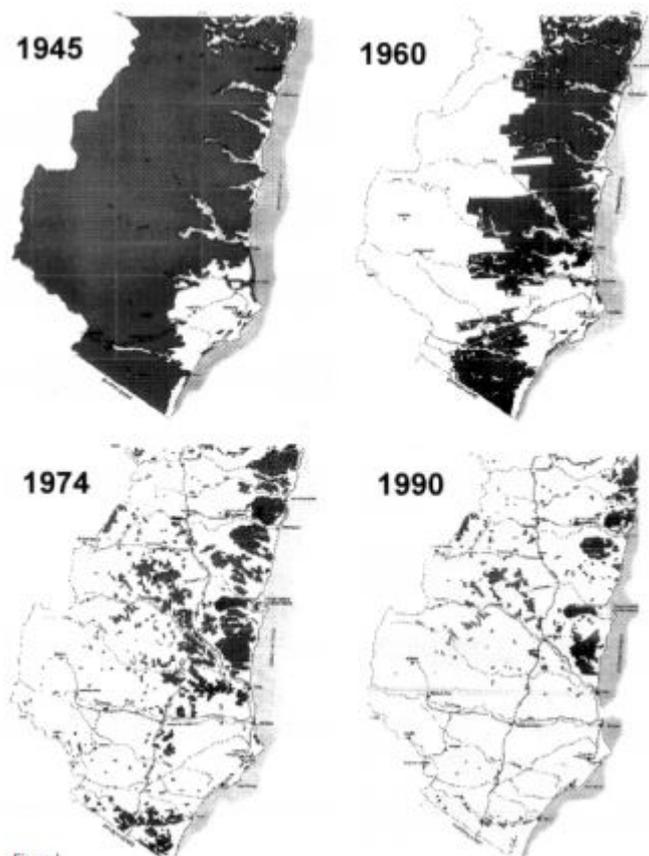


Figura 1: Processo de fragmentação florestal da mata atlântica do extremo sul da Bahia
Fonte: Almeida, 1998.

Áreas degradadas podem ser definidas segundo Dias e Griffith (1998) como todo ecossistema que teve não apenas sua vegetação eliminada, mas que com ela, também foi eliminada seus meios de regeneração biótica, sendo assim, seu retorno ao que já foi um dia pode

não ocorrer de forma natural, ou ser muito lento. Devido a isso, torna-se necessária ações antrópicas para recuperar esta área.

Para Brasil (1989), o conceito de degradação ou áreas degradadas são regiões que sofreram ou sofrem algum tipo de dano ao meio ambiente, causando redução de suas propriedades, tais como as qualidades produtivas dos recursos naturais. Diante disso, existe a necessidade da realização de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas para todos os empreendimentos que resultem em degradação do meio ambiente.

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) deverá reunir informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação ou alteração e a consequente definição de medidas adequadas à recuperação da área (BRASIL, 2011).

Existem diversas propostas para a recuperação de áreas degradadas que são eficientes, porém o sucesso depende de alguns dados que devem ser levantados antes de escolher o método, como exemplo a realização do levantamento das características ambientais e sociais que anteriormente vigoravam naquele local e identificação de quais agentes causaram ou estão causando a degradação (KOBAYAMA; MINELLA; FABRIS, 2001).

A recuperação de áreas, diferente de restauração, busca a restituição de um ecossistema degradado em não degradado, sem a necessidade de ser igual sua formação original, já a restauração busca chegar o mais próximo de sua condição original (BRASIL, 2000).

Espera-se de um ecossistema restaurado características como a diversidade e a estrutura similares às de um ecossistema de referência, apresentando espécies nativas da região, grupos funcionais necessários para um desenvolvimento estável, ambiente favorável para a perpetuação das populações, desenvolvimento normal da comunidade, relação de equilíbrio com a paisagem, sem influências agentes de perturbação e capacidade de suportar períodos de estresse (SER, 2004).

Para evitar que ocorra problemas com a restauração de um ecossistema é necessária uma boa efetividade em todas as etapas de sua implantação, que vão desde o diagnóstico, escolha das espécies, metodologia, implantação, manutenção e monitoramento (TRENTIN, 2018).

Os métodos para realizar a restauração de uma área pode variar de acordo com a intensidade das intervenções humanas, podendo elas serem baixas, priorizando a sua recuperação natural, ou alta, demandando de grande intervenção humana, buscando acelerar os processos da restauração (DELLASALA et al., 2003).

Como uma alternativa intermediária entre o reflorestamento em área total e técnicas de restauração passiva, quando fala-se de intervenção antrópica em suas aplicações, a nucleação vem sendo uma opção a ser utilizada pelo mundo (BECHARA et al., 2016).

De acordo com Trentin (2018), em uma área experimental de 6 anos, pode-se concluir que os métodos de Nucleação usados para restauração de áreas degradadas obtiveram resultados semelhantes aos de restauração passiva, sendo assim, não sendo viável, por se tratar de um método mais custoso. Porém, além de existir outros métodos possíveis para a nucleação, a paisagem de influência na área a ser restaurada pode viabilizar como o contrário.

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto teve seu início juntamente com a invenção da câmera fotográfica as quais são utilizadas até hoje para a obtenção de fotos aéreas (FLORENZANO, 2011), e não diferente de outras tecnologias, os primeiros aparecimentos do sensoriamento remoto foram no uso militar, onde se amarravam em pombas câmeras com captação de fotos automáticas para se ter informações sobre o posicionamento do inimigo. Ainda na escala evolutiva dos transportes utilizados em sensoriamento remoto temos balões, aviões e o surgimento de satélites na década de 70 (FIGUEREDO, 2005).

Sensoriamento Remoto é uma ciência a qual permite a obtenção de dados relacionados a objetos, áreas e fenômenos sem que você entre em contato com os mesmos (LILLESAND, 2007). De acordo com Florenzano (2011), o termo remoto sensoriamento se refere a sensores instalados em alguma plataforma seja ela terrestre, aérea ou orbital, e o termo remoto que significa distância, é usado devido ao fato de não ser necessário ter um contato físico entre sensor e objeto para que se tenha obtenção de imagens.

Esta ciência envolve a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética registradas por sensores remotos (DE MORAES, 2002).

Segundo De Moraes (2002), os sensores remotos são dispositivos os quais permitem detectar a energia eletromagnética refletida por um determinado objeto, transformando-as em um sinal elétrico possibilitando seu armazenamento ou transmissão em tempo real, para que posteriormente seja convertido em informações que descrevem a superfície terrestre.

De acordo com Novo e Ponzoni (2001), existem quatro elementos fundamentais para o funcionamento dos sensores remotos que são: alvo, fonte, sensor e radiação eletromagnética

(REM). A REM é o elemento de ligação entre todos os demais elementos, onde ele proveniente de uma fonte (Sol) atinge a superfície terrestre que é o alvo e é refletido para o sensor remoto.

Os sensores remotos geralmente são avaliados com relação a sua capacidade de obter medidas mais detalhadas da energia eletromagnética as quais caracterizam os sensores com relação a resolução espacial, espectral e radiométrica (FIGUEREDO, 2005).

A resolução espacial representa a capacidade do sensor distinguir objetos, ou seja, a mínima distância entre dois objetos na qual um sensor pode registrá-los como sendo objetos distintos. A resolução espectral refere-se à largura espectral em que opera o sensor. Portanto, ela define o intervalo espectral no qual são realizadas as medidas. A resolução temporal refere-se ao tempo necessário que leva para o sensor voltar a um mesmo ponto ou objeto alvo pelo qual ele já havia passado. A resolução radiométrica é a capacidade de um sensor de detectar e registrar diferenças de refletância e/ou emitância de elementos de uma paisagem (ROSA, 2013).

De acordo com Hentz (2014), o uso do sensoriamento remoto em análises de cobertura vegetal é muito eficiente devido a possibilidade de se acompanhar as contínuas mudanças no crescimento e do acúmulo de biomassa e carbono ocorrentes na dinâmica de um ecossistema florestal natural.

Segundo Matos e Kirchner (2008) o sensoriamento remoto demonstra-se ser importante na quantificação de áreas e na estimativa de biomassa podendo aplicar o resultado de modelos matemáticos em equações desenvolvidas em conjunto de valores digitais dos sensores remotos.

Watzlawick et al. (2009) afirmaram que com o avanço no processamento de imagens de satélites causou um aumento da utilização dessa tecnologia para realizar a caracterização de estruturas florestais, conseqüentemente a caracterização de sua biomassa e quantidade de carbono estocado.

Existem plataformas as quais definem o nível de aquisição dos dados, podendo variar de aéreos (aeronaves, helicópteros), terrestres (torres, sistemas radiométricos de campo) e níveis globais (plataformas espaciais) (NOVO; PONZONI, 2001).

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL

O Sensoriamento Remoto Orbital ocorre por meio de sensores que estão acoplados a satélites artificiais com o intuito de obter dados em nível orbital, permitindo assim uma rota

sistematizada e cíclica, o que permite um melhor monitoramento dos recursos naturais em grandes áreas presentes na superfície terrestre (FIGUEREDO, 2005).

O Sensoriamento Remoto orbital (Figura 2) teve seu início juntamente aos primeiros voos espaciais durante a década de 60 com a finalidade de se obter diariamente dados meteorológicos da Terra (NOVO; PONZONI, 2001), porém, apenas no início dos anos 70 houve o lançamento do primeiro satélite lançado com a finalidade de monitoramento e mapeamento da superfície terrestre que foi o Earth Resource Technological Satellites (ERTS-1), posteriormente denominado Landsat 1, o qual hoje está em seu sétimo satélite sendo considerado o sensor remoto mais bem sucedido (SALOVAARA et al., 2005).

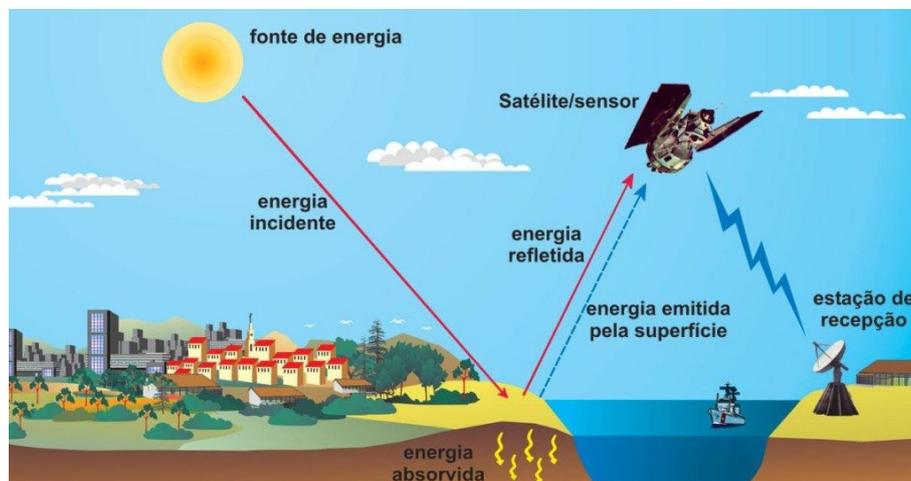


Figura 2. Obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto
Fonte: FLORENZANO, 2011.

Esses satélites são lançados fora do planeta onde não existe resistência do ar e a pequena força gravitacional terrestre é equilibrada pela força centrífuga do movimento orbital do satélite. Estes aparatos espaciais executam um processo contínuo de tomadas de imagens da superfície terrestre coletadas 24 h/dia, durante toda a vida útil dos satélites (FIGUEREDO, 2005).

A utilização de dados coletados por meio de sensores orbitais de alta resolução espacial é vantajosa devido ao fato que permitem a interpretação automática e o controle contínuo de grandes áreas a serem estudadas (IPPOLITI-RAMILO, 1999).

Existem diversos satélites de sensoriamento remoto em operação nos dias de hoje. Entre eles podemos citar como exemplo o Landsat, SPOT, CBERS, Ikonos, Quickbird e Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA) que são satélites destinados ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres, sendo o NOAA um tipo de

satélite meteorológico, destinados principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos, mas é também utilizado no SR (FIGUEREDO, 2005).

3.4 LANDSAT

A Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA), juntamente ao departamento da agricultura e de interiores desenvolveram o primeiro satélite civil de observação da Terra, o Earth Resource Technological Satellites (ERTS-1). Em 23 de julho de 1972 realizaram o lançamento do satélite desse satélite o qual posteriormente foi denominado de Landsat 1 (USGS, 2019).

Os lançamentos do Landsat 2, Landsat 3 e Landsat 4 ocorreram em 1975, 1978 e 1982, respectivamente, porém com o lançamento do Landsta 5 em 1984 ninguém poderia imagianr que durante um período de 28 anos permaneceria ativo gerando dados de alta qualidade da superfície terrestre, sendo esse considerado com o satélite com maior tempo de operação ja lançado (USGS, 2019).

O Landsat 6 concebido para substituir o 5 foi lançado em 1993, porém não conseguiu atingir a orbita. Nos dias atuais temos 2 satélites da série Landsat que permanecem gerando dados que são o Landsat 7 (1999) e o Landsat 8 (2013) e se tem perspectiva do lançamento do Landsat 9 em dezembro de 2020 (USGS, 2019) (Figura 3).

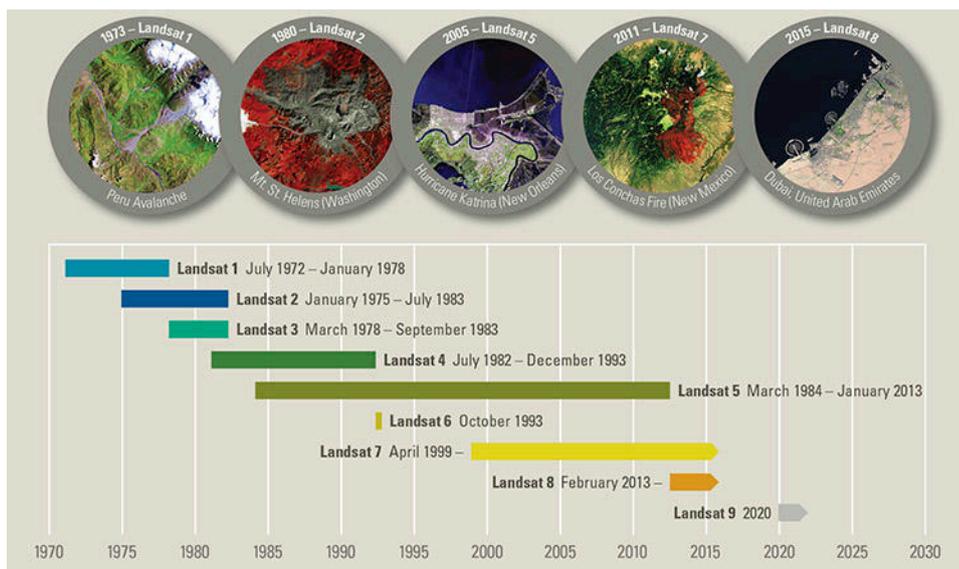


Figura 3. Cronologia das missões Landsat
Fonte: USGS, 2018.

O programa Landsat representa o mecanismo de obtenção de imagens globais, ou seja, a fonte de dados de sensoriamento remoto com maior continuidade de geração desses dados, encontrando-se desde 1972 em operação (IPPOLITI-RAMILO, 1999).

As principais inovações com relação ao Landsat, apareceram junto aos da série 4 e 5 que vieram acompanhados a um sensor TM (Thematic Mapper) que apresenta características como resolução espacial média de 30m, bandas distribuídas no visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, resolução temporal de 16 dias e resolução radiométrica de 8 bits (FERREIRA et al., 2008).

O satélite Landsat 7 possui uma órbita helio-síncrona a uma altitude de 705 quilômetros do globo e possui um ciclo de repetição de 16 dias. Possui um sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) que foi desenvolvido como uma versão melhorada do (TM), gera imagens em 256 níveis de cinza (8bit) e trabalha a uma quantidade de 8 bandas onde possui uma Banda Thermal com resolução espacial de 60 metros e uma banda pancromática com resolução de 15 metros. As demais bandas referentes ao visível, infravermelho próximo e infravermelho médio possuem uma resolução espectral de 30 metros (USGS, 2019).

No dia 11 de fevereiro de 2013 a NASA lançou o Landsat 8 que é o mais recente da série. O Landsat 8 opera a 705 km de altura numa órbita helio-síncrona com inclinação de 98,2° em relação ao equador. O Landsat 8 trabalha com dois instrumentos imageadores, sendo eles o Operational Land Imager (OLI), com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática e o Thermal Infrared Sensor (TIRS) com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros (USGS, 2019).

3.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação permitem que de forma simples e eficiente seja possível realçar sinais verdes em imagens e diminuir as variações sobre os efeitos do solo, atmosfera e irradiação solar no dossel da vegetação (JACKSON; HUETE, 1991).

A lógica por trás dos índices de vegetação baseia-se no fato de que a energia refletida no visível e infravermelho próximo é diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação (FERREIRA, 2008) (Figura 4).

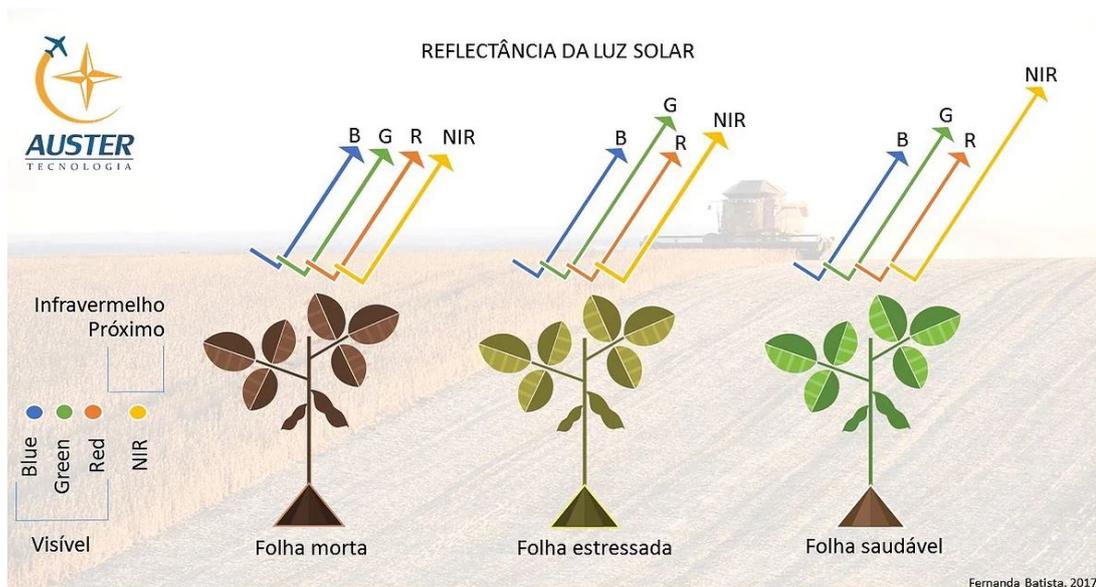


Figura 4. Reflectância da luz solar.
Fonte: BATISTA, 2017.

A utilização de índices de vegetação como por exemplo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) se torna mais fácil a obtenção e modelagem de características biofísicas de áreas vegetadas, como a área foliar, cobertura do solo, biomassa e informações importantes sobre a evapotranspiração por se tratar de índices que trabalham dentro do espectro eletromagnético infravermelho próximo (JENSEN, 2009).

A modelagem desses índices se baseia no comportamento antagônico da refletância vegetal na região do espectro visível, onde quanto maior a densidade de determinada vegetação menor sua refletância devido a absorção da radiação pelos pigmentos da fotossíntese, e quanto maior a densidade vegetal, maior a refletância pela existência de diferentes camadas entre as folhas (DE BORATTO; GOMIDE, 2013).

Combinar faixas de diferentes valores espectrais permite a obtenção de índices de vegetação, os quais podem ser comparados com características ecológicas de uma estrutura e da dinâmica de uma floresta. Esses índices então, são provenientes de um processamento digital, e irão evidenciar certas informações relacionadas à biomassa verde e do desenvolvimento da vegetação (VIGANÓ et al., 2011).

De acordo com Jensen (2009), os índices de vegetação são medidos radiométrica adimensionais as quais indicam atividades da vegetação verde, como o índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação

fotossinteticamente absorvida. Para isso esses índices diminuem os efeitos de iluminação, declividade e outros fatores que influenciam nos valores de refletância da vegetação.

Grande parte dos índices de vegetação segundo PONZONI et al. (2012) se baseiam no comportamento antagônico da vegetação quando se utiliza de bandas presentes nas regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, sendo assim, quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menor será a refletância no vermelho visível e maior será no infravermelho próximo devido a maior presença de pigmentos fotossintetizantes.

3.5.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO (NDVI)

O NDVI é considerado um dos índices de vegetação mais utilizado devido sua praticidade e alta sensibilidade a mudanças na densidade da cobertura vegetal, torna possível a comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, assim como o monitoramento sazonal e de variações de longo prazo de parâmetros relacionados a vegetação em escala global (WANG et al., 2003).

Segundo Rodrigues et al. (2013), O NDVI trabalha na diferença de refletância entre as bandas do vermelho visível e do infravermelho próximo, onde quanto mais saudável estiver a vegetação mais ela irá absorver a luz visível e irá refletir mais o infravermelho próximo, e quando a vegetação está doente, reflete mais a luz visível e menos a luz do infravermelho próximo.

O NDVI baseia-se na alta absorção do vermelho pela clorofila e na alta refletância do infravermelho próximo das estruturas internas das folhas (ROUSE et al., 1973)

Os maiores valores do NDVI correspondem a áreas com seu estado de vegetação vigoroso, e quanto menor os valores representam vegetações em estado de estresse ou muitas vezes solo exposto (POLONIO, 2015).

Os valores do NDVI variam de -1 a +1 (Figura 5), onde, valores negativos representam nuvens ou muita umidade, valores próximos a zero representam solo exposto, sem vegetação e quando os valores são maiores que zero temos uma área vegetada, sendo que quanto maior esse valor maior o grau de verde da superfície, indicando assim uma vegetação mais densa ou em pleno vigor de crescimento (LIU, 2006).



Figura 5. Relação do NDVI com a vegetação
Fonte: FOWLER, 2019.

De acordo com Costa Filho et al. (2007), a escolha das bandas referentes as faixas do espectro eletromagnético vermelho e infravermelho próximo é por serem mais afetadas pela absorção da clorofila presentes nas folhas e conseqüentemente pela densidade dessa vegetação na superfície.

O fato desse índice reduzir efeitos topográficos, faz dele ser um dos índices mais usados. O NDVI tem a função de realçar diferentes fitofisionomias de uma imagem, porém ele sofre muita influência da refletância do solo, o que pode acabar prejudicando as análises da vegetação (DEMARCHI et al., 2011).

Wagner (2011) concluiu que há coerência entre o NDVI em relação a variação climática ao decorrer do ano na região ressaltando que o índice pode ser usado como um indicador da resposta da vegetação aos efeitos das ações antrópicas ou das mudanças climáticas, especialmente de eventos como El Niño e La Niña.

De acordo com BREUNIG; GALVÃO; FORMAGGIO (2011), foi possível com o NDVI obter um melhor acompanhamento das variações temporais de duas florestas localizadas no Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita em Santa Catarina.

3.5.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO (SAVI)

O SAVI, é uma adaptação do NDVI, pois utiliza de um fator de ajuste o qual vai amenizar os efeitos do solo na vegetação, removendo efeitos de solos claros ou escuros (HUETE, 1988).

O SAVI foi criado com a intenção de melhorar os valores que se obtém utilizando o NDVI, sem que haja a necessidade de realizar medições a campo (JENSEN, 2009).

Assim como muitos outros índices de vegetação, o SAVI, se baseia no comportamento antagônico da refletância nas bandas referentes ao vermelho visível e o infravermelho próximo, onde quanto maior a densidade vegetal maior será a absorção do vermelho devido a existência de pigmentos fotossintetizantes (PONZANI; SHIMABUKURO, 2009).

O fato de considerar a influência das características do solo em seu cálculo, o SAVI é um índice que otimiza o sinal da vegetação além de ser eficiente em áreas onde se tem uma grande densidade de biomassa (PONZONI et al., 2012).

O SAVI leva em consideração os efeitos do solo exposto nas imagens como forma de ajuste do NDVI quando a superfície não se encontra inteiramente coberta por área foliar (DE BORATTO; GOMIDE, 2013).

O SAVI se mostrou semelhante e adequado para determinar as diferenças de vegetação de áreas urbanas, quanto à densidade de cobertura e vigor vegetativo, visto que a cobertura vegetal do município é relativamente alta, enquanto os índices SAVI apresentaram valores entre 0,5 e 1,0, além de obter também valores semelhantes ao NDVI (DEMARCHI, 2011).

Os índices de vegetação NDVI e SAVI não foram efetivos nas estimativas dos estoques de biomassa em aérea de um fragmento de floresta estacional semidecidual, em virtude da imagem ter sido obtida referente a uma época onde a maioria das árvores haviam perdido suas folhas (FERRAZ, 2013).

3.5.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO MELHORADO (EVI)

Segundo Jensen (2009), o EVI foi desenvolvido visando reduzir a influência do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel de uma vegetação, sendo assim otimizando e melhorando a sensibilidade em detectar com maior precisão vegetações mais adensadas.

Assim como o NDVI o EVI também reflete parâmetros biofísicos da vegetação, porém o mesmo é mais sensível a variações da biomassa vegetal, além de reduzir as influências da atmosfera e do solo do dossel (SALOMONA, 2019).

De acordo com Huete et al. (2002), o índice de vegetação EVI é menos suscetível a ocorrência de saturação quando se tem uma densa cobertura vegetal e é mais sensível a variação da estrutura, arquitetura do dossel e fisionomia da planta que o NDVI.

As condições desfavoráveis de contaminação de nuvens no Estado do Mato Grosso, faz com que as imagens disponíveis dificilmente forneçam informações diretas, e nesse contexto a utilização de series temporal do EVI, apresentaram resultados satisfatórios como

informação complementar para o mapeamento e melhor compreensão da dinâmica do uso da terra (ROCHA, 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

As etapas do presente trabalho estão apresentadas na Figura 6.

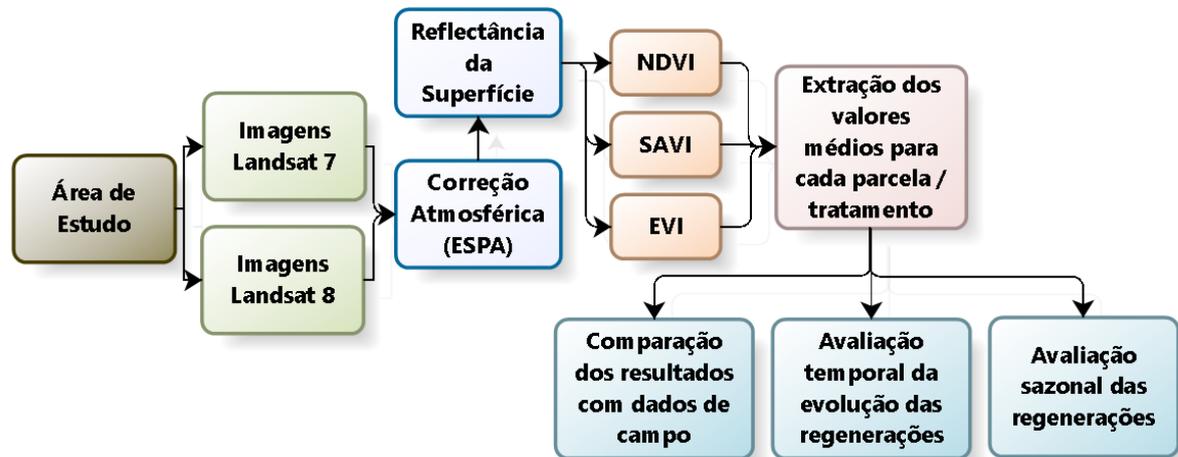


Figura 6. Fluxograma das etapas de trabalho
Fonte: O autor, 2019.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área utilizada para a realização do trabalho (Figura 7) é uma Unidade de Ensino e Pesquisa (UNEPE) de recuperação de áreas degradadas que está sob responsabilidade e orientação do professor Dr. Fernando Campanhã Bechara. Esta UNEPE está situada dentro do campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná da cidade de Dois Vizinhos (25°41'44"-25°41'49"S e 53°06'23"-53°06'07"W), a uma altitude que varia de 475 a 510 metros do nível do mar, sendo essa uma região de ecótono entre a Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual (TRENTIN et al, 2018).

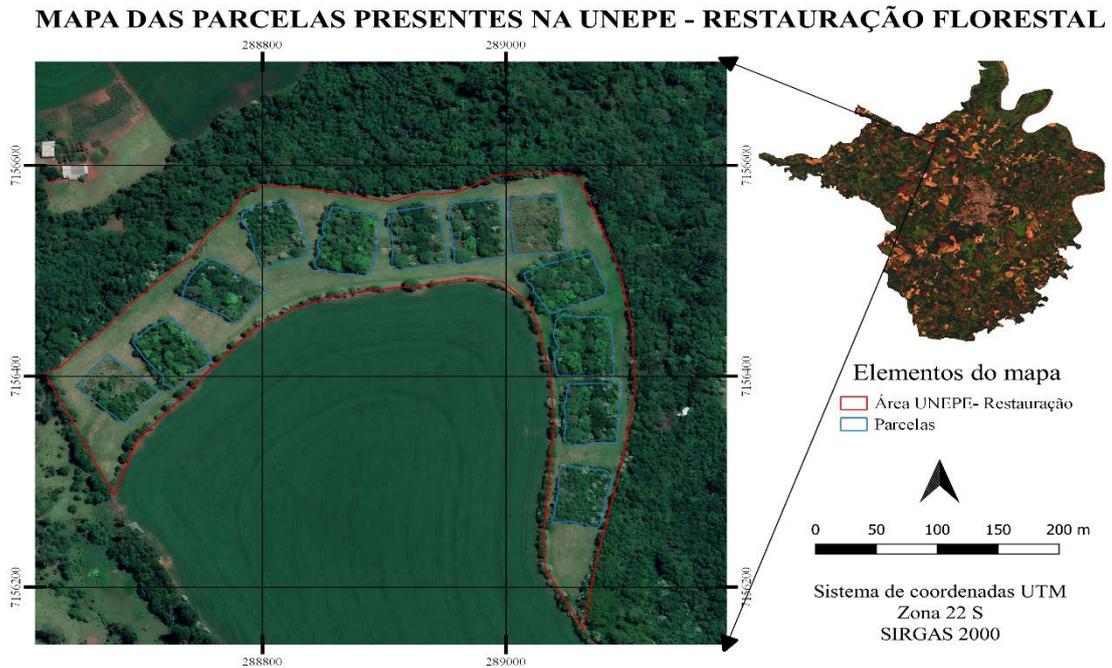


Figura 7. Mapa de identificação da área de estudo utilizando imagem do Google Earth Pro.

Fonte: O autor, 2021.

O clima predominante na região segundo Köppen (1948) é o subtropical úmido (Cfa) o qual se caracteriza por possuir temperaturas maiores que 22°C no verão e com uma precipitação superior a 30 mm no mês mais seco.

A UNEPE possui cerca de 7,2 hectares e nela se tem um experimento com 3 tratamentos diferentes de restauração florestal onde cada tratamento possui 4 repetições somando 12 parcelas de 40x54m cada, ou seja, 0,216 hectares por parcela. Esse experimento foi implantado em outubro de 2010 onde foi utilizado técnicas de Restauração Passiva, Nucleação e Reflorestamento com Espécies Nativas com o intuito de testar e comparar o método de nucleação em relação as demais técnicas (TRENTIN et al, 2018).

A técnica de restauração passiva consiste no isolamento dos agentes de perturbação, para isso realiza-se o cercamento da parcela para permitir que ocorra a regeneração em sua área total.

Já a técnica de reflorestamento com espécies nativas baseou-se no plantio de 360 mudas (Figura 8) por parcela em um espaçamento de 3x2m, utilizando uma variedade de 70 espécies arbóreas nativas as quais foram divididas em 10 espécies de sombreamento e as outras 60 de diversidade (TRENTIN et al, 2018).

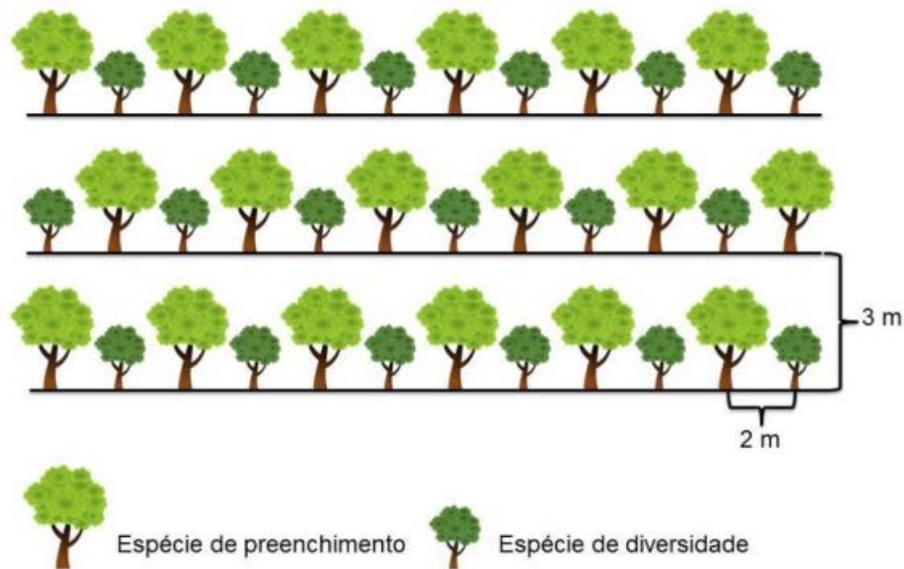


Figura 8. Esquema da técnica de reflorestamento exemplificando a distribuição das espécies entre linha
Fonte: Trentin, 2018

Por fim, a nucleação (Figura 9) pode-se considerar como uma técnica intermediária ao compararmos com as demais técnicas, pois o fato de não se ter o plantio em área total, permite que possua núcleos onde se ocorrer a regeneração natural. Para essa técnica foram implantados poleiros artificiais, abrigos para mamíferos, plantio de placas de mudas procedentes de banco e chuva de sementes, plantio de árvores em 24 ilhotas por parcela, utilizando 5 mudas com espaçamento de 1x1 variando entre 12 espécies pioneiras e outras 24 não pioneiras. Todo esse conjunto de técnicas foram aplicados em faixas de 3 x 40 m espaçadas por seis metros entre faixas (TRENTIN et al, 2018).

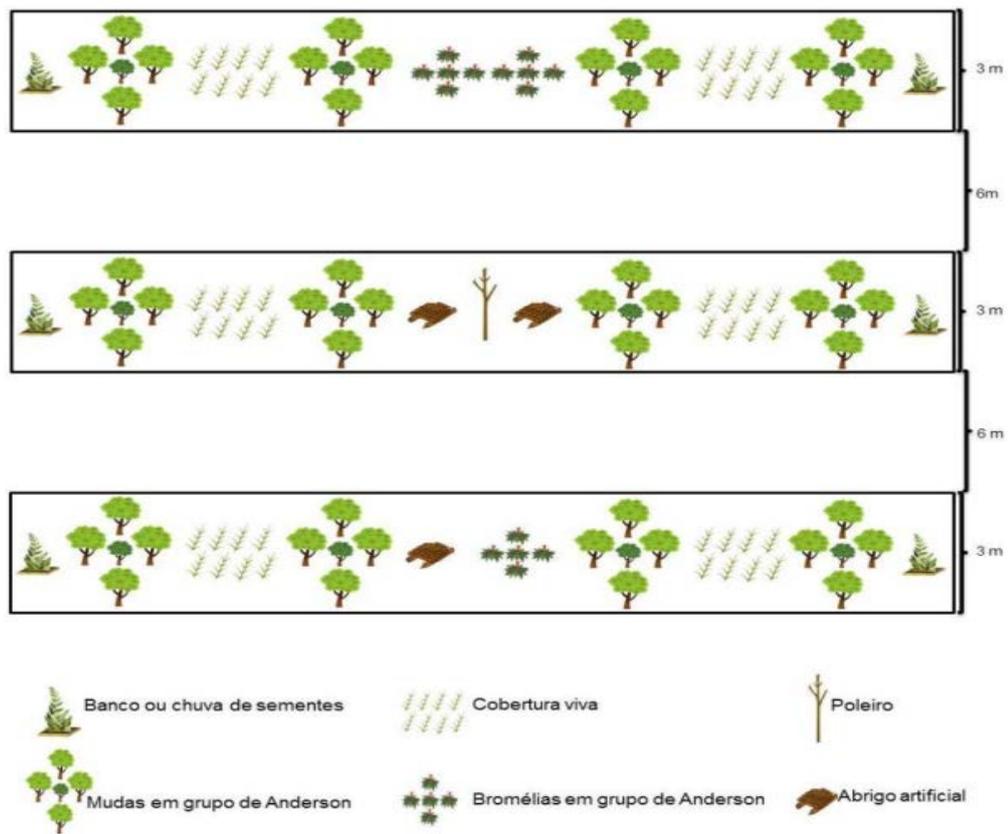


Figura 9. Esquema do tratamento de nucleação exemplificando as diferentes técnicas adotadas por modelos de faixa
 Fonte: Trentin, 2018

4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

Para a realização das análises foram utilizadas imagens provenientes dos satélites Landsat 7 e Landsat 8, onde, nos anos de 2010-2013, foram imagens do Landsat 7 e nos anos de 2013-2020 do Landsat 8.

A necessidade de se utilizar dois satélites diferentes se dá pelo fato de se tratar de uma análise desde 2010, não sendo possível realizá-la com apenas o Landsat 8, que iniciou sua missão a partir de 2013.

O Landsat 7 é um satélite com características parecidas com as do Landsat 8 e possui abrangência de imagens nos anos de interesse quais ainda não se tinha imagens de seu sucessor.

Foram obtidas 2 imagens por ano, sendo que a primeira a ser obtida, será referente ao mês de outubro de 2010, data em que ocorreu a implantação das parcelas e tratamentos da UNEPE e a última imagem de julho de 2020, totalizando-se, assim, 19 imagens, sendo 5 do Landsat 7 e 14 do Landsat 8.

Essas imagens foram obtidas de forma gratuita, georreferenciadas e com as bandas necessárias para realização do cálculo de cada índice de vegetação que foi utilizado para análise, os quais foram: NDVI, SAVI e EVI. Para a obtenção dessas imagens, foram utilizadas duas ferramentas gratuitas disponíveis online: Earth Explore e o projeto da USGS denominado Center Science Processing Architecture (ESPA).

Quanto mais distante estiver o sensor da superfície da terra, como no caso de sensores acoplados a satélites, maior será interferência de efeitos da atmosfera nas imagens dificultando que a energia eletromagnética refletida pela superfície alcance o sensor (FLORENZANO, 2011).

Devido a isso, a correção atmosférica das imagens foi realizada para se obter a refletância de superfície (RS), que apresentou uma imagem sem a influência dos efeitos da atmosfera, garantindo cenas que se aproximam mais da realidade daquela superfície. O projeto ESPA possui um sistema online que facilita a solicitação de imagens processadas sob demanda para os satélites Landsat, e é essa interface que foi utilizada para solicitar as imagens corrigidas atmosféricamente para esse trabalho.

Para imagens do Landsat 7 é utilizado o Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS), um software desenvolvido pela NASA, que aplica correção atmosfera às imagens de nível 1 (consideradas, cruas, sem serem trabalhadas), e aumentam nelas os níveis de refletancia de superfície e diminuindo a refletancia de vapor de água, ozônio, altura geopotencial, espessura óptica do aerossol e elevação digital (USGS, 2019).

Para realizar a correção de imagens do Landsat 8 utiliza-se o Landsat Surface Reflectance Code (LaSRC) que utiliza a faixa de aerossol costeira para realizar testes de inversão de aerossol, usa dados climáticos auxiliares do MODIS e usa um modelo de transferência radiativa exclusivo além de usar angulos zenitais para parte dos calculos de correção (USGS, 2019).

As imagens foram obtidas originalmente com DATUM WGS84 no sistema de coordenadas projetadas Universal Transversa de Mercator (UTM) correspondente a zona 22 Sul. Posteriormente, realizou-se uma reprojeção do DATUM para SIRGAS2000.

Ainda foram utilizados três índices de vegetação diferentes (NDVI, SAVI, EVI), com o objetivo de realçar as áreas vegetadas e ter uma análise mais eficiente com relação a mesma.

Para determinação do NDVI segundo Rouse et al. (1973), faz-se um cálculo utilizando as bandas referentes às regiões do vermelho e infravermelho próximo conforme a Equação 1.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

$$IVP + V$$

Onde: IVP = Infravermelho próximo; V = Vermelho visível

O resultado dessa razão irá variar de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal sadia, enquanto mais próximo de -1, maior a tendência de existirem nuvens, água e objetos inorgânicos.

O cálculo do SAVI é muito parecido com o do NDVI porém temos um fator de ajuste (L) para amenizar o efeito do solo.

Para calcular o SAVI utilizou-se da Equação 2 proposta por Huete et al. (1997).

$$SAVI = \frac{IVP - V}{IVP + V + L} \quad (2)$$

Onde: IVP = Infravermelho próximo; V = Vermelho visível; L = Fator de ajuste.

Segundo DEMARCHI et al. (2011), para cobertura vegetal de menor densidade o fator L é 1,0; para cobertura densidade vegetal intermediária o fator será 0,5, e para altas densidades, fator 0,25. O índice SAVI equivalerá ao índice NDVI quando o fator L for igual a zero.

Já para o cálculo do EVI segundo Huete et al, (2002), foi utilizada a Equação 3.

$$EVI = G * \frac{IVP - V}{(IVP + C1) * (V + C2) * (A+L)} \quad (3)$$

Onde: IVP = Infravermelho próximo; V = Vermelho visível; C1 = Correção dos efeitos atmosféricos para banda do vermelho; C2 = Correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul; G = Fator de ganho; L = Fator ajuste.

Nesse caso, além das bandas no vermelho e no infravermelho próximo, temos o A que representa a banda do azul. Tem-se, também, o valor C1 que corresponde ao coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho, C2 que corresponde ao coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul e o valor G que corresponde ao fator de ganho (RISSO et al., 2009).

Os valores de C1; C2; G e L são constantes, e possuem os respectivos valores: 6; 7,5; 2,5 e 1 (RISSO et al., 2009).

Após geradas essas imagens, a média dos valores dos pixels correspondentes à cada área de regeneração foi obtida, permitindo-se, assim, a realização de todas as análises e discussões propostas no presente trabalho.

Ainda para as análises foram coletados dados pluviométricos do Grupo de Estudos em Biometeorologia (GEBIOMET) da UTFPR campus Dois Vizinhos, nos quais realizou-se o levantamento da quantidade de chuva acumulada por mês analisado. Também foram coletados dados de densidade da vegetação, ou seja, a quantidade de indivíduos presentes na parcela, que foram levantados a partir de inventários realizados pelo projeto: Tecnologias de Restauração Ecológica de Matas Ciliares CNPQ: 575081/2008-2, nas parcelas em estudo durante os anos de 2011, 2012, 2013 e 2017.

4.3 ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados, as imagens obtidas foram rodadas no software gratuito QGIS 3.6.2, que é um sistema de referência geográfica (SIG). Segundo Fitiz (2008), o SIG possui quatro funções principais, sendo elas: aquisição e edição de dados, gerenciamento de banco de dados, análise geográfica de dados e representação de dados.

Foram geridas as informações que foram obtidas a partir de cada índice de vegetação em cada imagem para a elaboração de gráficos ou análises de valores brutos a fim de serem comparados os resultados, tanto entre parcelas quanto entre tratamentos, para análise temporal, e de comparação com os dados de campo.

Dentro de cada imagem trabalhada existem 12 parcelas, as quais cada uma será analisada individualmente, sendo assim cada tratamento terá 4 valores diferentes. Além disso, uma média aritmética será realizada dentre esses 4 valores para que se tenha apenas um resultado para cada tratamento tornando-se possível compará-los entre si.

Foram comparados cada tratamento por data de coleta, para que fosse possível avaliar o desenvolvimento que cada um obteve ao decorrer do tempo, como também a sensibilidade dos índices com relação ao tempo de implantação.

Os valores dos índices ainda foram comparados com as médias pluviométrica de seus respectivos meses a fim de verificar a reação dos valores em relação a sazonalidade.

Os resultados foram comparados estatisticamente entre tratamentos, para analisar se houve diferença nos índices de vegetação de cada método de restauração e com os dados coletados a campo para verificar se os índices se correlacionam e se podem ser utilizados como forma de monitoramento dessas áreas.

A fim de verificar a existência de diferença significativa entre os tratamentos foi realizada ANOVA em duas situações diferentes, uma entre os valores dos índices para cada método de restauração adotado e outra entre os índices de vegetação (NDVI, SAVI, EVI) utilizados para as análises das parcelas.

Para os tratamentos que apresentaram diferença significativas entre eles na ANOVA foi realizado o teste de *Tukey*, o qual é feito pela diferença entre as médias dos valores dentro do grupo pelo valor de DMS para cada tratamento.

Foi realizado também, a correlação de *Pearson* comparando os valores dos diferentes índices de vegetação utilizados e de dados de densidade de vegetação que foram levantados em campo. Para tentar obter uma melhor correlação as datas das imagens usadas para gerar os índices foram próximas as dos levantamentos feitos à campo. O mesmo foi feito com os índices de vegetação e os dados pluviométricos.

5 RESULTADOS E DISCUSÕES

5.1 ANÁLISE DOS VALORES BRUTOS

Considerando os dados brutos, ou seja, um universo de todos os índices obtidos, apenas subdivididos pelos índices de vegetação, data da imagem e parcelas a que se referem respectivamente, possibilitou de forma geral obter em qual data e qual parcela apresentou o maior valor de cada índice de vegetação (Tabela 1 e 2).

Tabela 1 - Datas em que os índices apresentaram maiores valores

Índice de vegetação	Data	Parcela	Valor
NDVI	fev/18	P10	0,8852
SAVI	fev/18	P9	0,6466
EVI	fev/18	P9	0,7152

Ao averiguar esses dados, foi possível verificar uma maior correspondência entre os índices provenientes do SAVI e do EVI, por possuir seu maior valor na mesma data e na mesma parcela. Houve, também, correspondência com o NDVI, que teve seu maior valor em fevereiro de 2018, assim como nos outros índices.

Tabela 2 - Datas em que os índices apresentaram menores valores

Índice de vegetação	Data	Parcela	Valor
NDVI	ago/11	P6	0,3831
SAVI	fev/12	P8	0,1399
EVI	fev/12	P8	0,1309

Seguindo o mesmo raciocínio da tabela anterior, porém levando em consideração os menores valores de cada índice, é possível observar a mesma correspondência entre os valores referentes ao SAVI e o EVI. Ambos os resultados ainda permitem visualizar uma tendência crescente dos três índices em relação ao tempo, em que os maiores valores estão em datas posteriores às datas que apresentam menores valores.

Ainda utilizando os dados brutos, foi elaborado um ranking o qual expõe a frequência das parcelas que representam o maior e menor índice em suas respectivas datas de coleta (Tabela 3 e 4)

Tabela 3 – Ranking da frequência com que as parcelas apresentavam valores maiores que as demais

Ranking		1°		2°		3°	
Índice de vegetação	Parcela	Repetições	Parcela	Repetições	Parcela	Repetições	
SAVI	P9	7	P10	4	P11	4	
EVI	P9	7	P10	3	P11	5	
NDV	P10	10	P11	5	P9	8	

Tabela 4 – Ranking da frequência com que as parcelas apresentavam valores menores que as demais

Ranking		1°		2°		3°	
Índice de vegetação	Parcela	Repetições	Parcela	Repetições	Parcela	Repetições	
SAVI	P1	9	P8	6	P6	2	
EVI	P1	9	P8	6	P6	2	
NDV	P1	7	P8	4	P6	2	

Analisando as Tabelas 3 e 4, observa-se que a frequência das parcelas que apresentam menores valores possuem maior similaridade entre os índices testados que os valores mais altos. Isso acontece devido diferença da sensibilidade dos índices testados em relação a vegetação, que quanto maior a vegetação maior a variação entre eles.

5.2 ANÁLISE DAS MÉDIAS

Para a presente análise, foram calculadas as médias aritméticas dos valores dos índices das parcelas referentes a um tratamento em suas respectivas datas (Tabela 5). A partir dessas médias, foram gerados gráficos que ilustram o valor médio de cada índice pelo seu respectivo tratamento (Figura 9, 10 e 11).

Tabela 5 – Exemplo da tabela criada gerando as médias dos índices por suas respectivas datas. Neste caso o tratamento evidenciado foi o de restauração passiva.

Parcela	n° Pixels	ago/11	fev/12	ago/12	dez/12	jul/13	jan/14	...
P1	3	0,4366	0,5471	0,4908	0,6196	0,5702	0,8120	...
P5	2	0,4485	0,5552	0,6097	0,6149	0,6387	0,8399	...
P9	3	0,5695	0,5725	0,6731	0,6016	0,6278	0,8567	...
P12	3	0,5018	0,5916	0,5840	0,7212	0,6605	0,8649	...
MÉDIA T	2,75	0,4891	0,5666	0,5894	0,6393	0,6243	0,8433	...

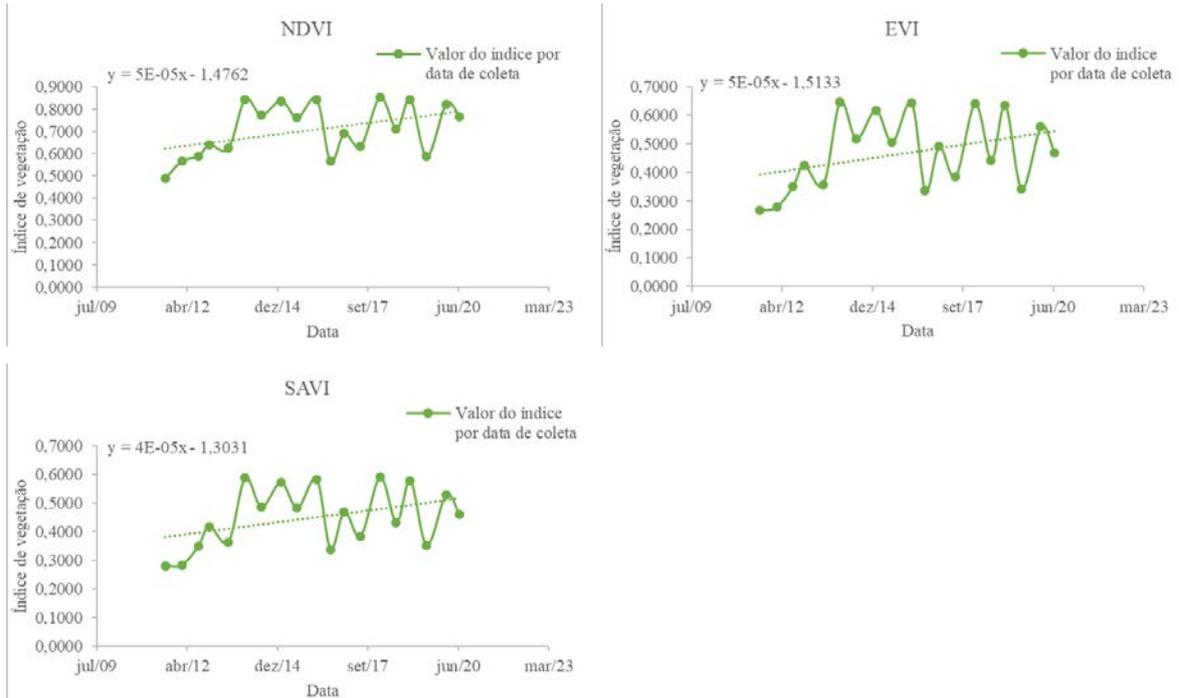


Figura 9. Gráficos gerados a partir das médias de cada  ndice para suas respectivas datas nas parcelas de Restauração Passiva
Fonte: O autor, 2020.

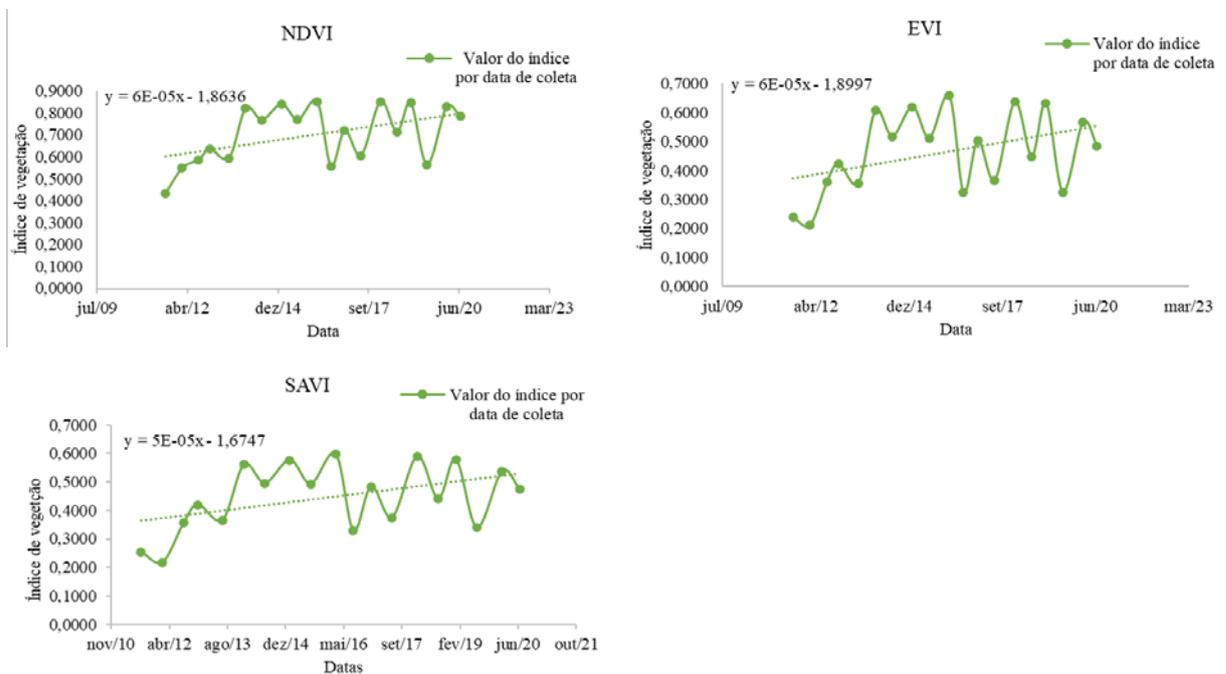


Figura 10. Gráficos gerados a partir das médias de cada  ndice para suas respectivas datas nas parcelas de Nuclea o
Fonte: O autor, 2020.

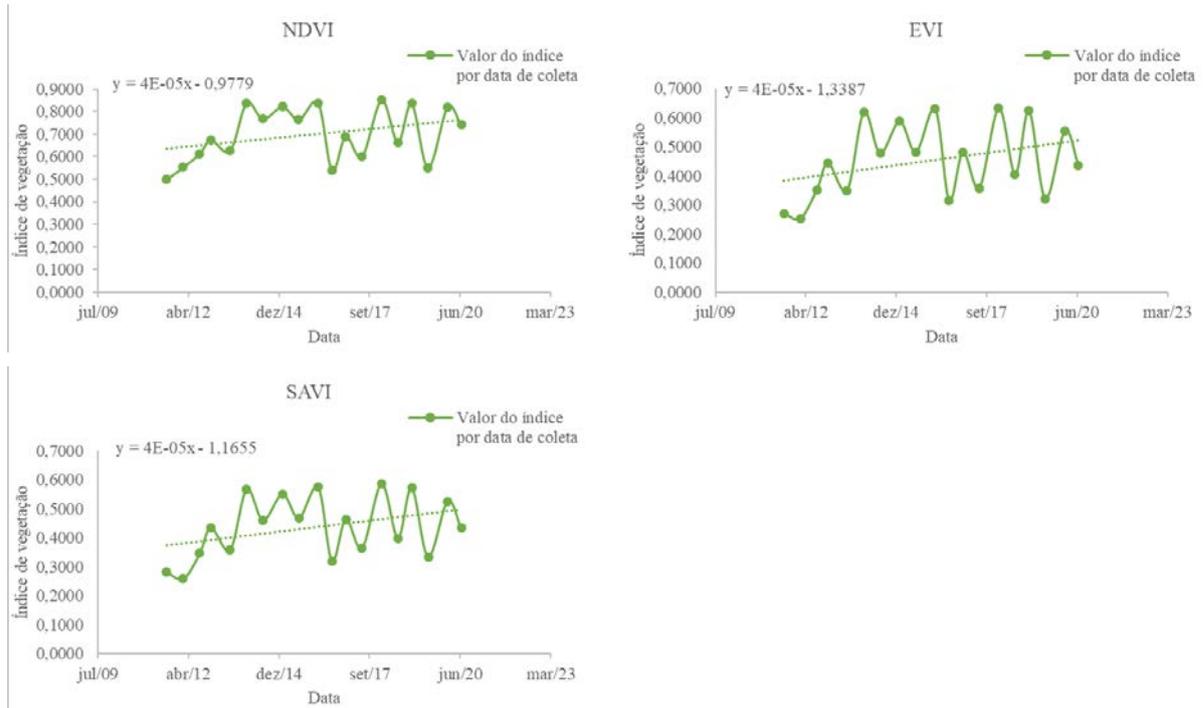


Figura 11. Gráficos gerados a partir das médias de cada índice para suas respectivas datas nas parcelas de Reflorestamento

Fonte: O autor, 2020.

De acordo com as figuras de 9 a 11, verifica-se uma tendência ascendente semelhante para todos os tratamentos, demonstrando um desenvolvimento da vegetação analisada ao decorrer do tempo. Ainda é possível observar variações entre um ponto e o ponto sucessor. Segundo Rodrigues (2009), em estações mais chuvosas, os índices de vegetação tendem a ter valores mais altos que em épocas secas. Esse padrão expressado pela sazonalidade é um forte indicador da fitofisionomia estuda, onde no caso da floresta estacional semidecidual, perde parte de suas folhas em períodos mais secos, refletindo diretamente nos valores dos índices obtidos (Konig et al., 2002).

Também foram obtidos resultados similares aos da primeira fase, como o maior e o menor valor obtido por data de cada índice testado (Tabela 6) e o tratamento que mais vezes apresentou maiores e menores valores em cada data (Tabela 7).

Tabela 6 – Data e tratamento que apresentaram maiores e menores valores para as médias de cada índice de vegetação

Índice de vegetação	Maiores valores			Menores valores		
	Data	Tratamento	Valor	Data	Tratamento	Valor
NDVI	fev/18	Passiva	0,8521	ago/11	Nucleação	0,4338
SAVI	mar/16	Nucleação	0,5993	fev/12	Nucleação	0,2180
EVI	mar/16	Nucleação	0,6585	fev/12	Nucleação	0,2111

De acordo com a Tabela 6, os índices de vegetação SAVI e EVI seguiram apresentando uma maior correspondência e continuaram apresentando uma tendência ascendente, mesmo trabalhando com as médias. Adicionalmente, é possível afirmar que, durante o período de menor valor até chegar no maior valor, a nucleação foi o tratamento que apresentou maior desenvolvimento levando em consideração o SAVI e o EVI, por estar presente nos dois extremos dos valores.

Tabela 7 – Frequência que cada tratamento apresentou maiores e menores valores

Índice de vegetação	EVI		SAVI		NDVI		Totais	
	Maior valor	Menor valor	Maior valor	Menor valor	Maior valor	Menor valor	Soma maior	Soma menor
Passiva	8	1	6	1	8	1	22	3
Nucleação	9	4	11	3	7	6	27	13
Plantio	2	14	2	15	4	12	8	41

Considerando as vezes em que cada tratamento apresentou maiores valores em cada data, pelos índices testados como demonstrado na Tabela 7, a restauração por meio da nucleação foi o tratamento que mais vezes apresentou maiores valores em decorrer das datas das imagens, sendo que em 24 dos testes, a nucleação apresentou valores superiores aos demais tratamentos enquanto a restauração passiva segue com 22 vezes e o plantio com 8. Já levando em consideração os menores valores, o plantio de mudas nativas esteve presente em 41 dos casos, a nucleação em 13 e a restauração passiva em 3.

Segundo Rouse et al. (1973), quanto maior os valores dos índices de vegetação, maior é a qualidade do fragmento em relação a vegetação representada nele. Sendo assim, ao considerarmos os valores previamente discutidos, os índices alegam que a vegetação presente na restauração passiva em média se encontra mais desenvolvida que os demais tratamentos.

5.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

A Tabela 8 indica os resultados da ANOVA realizada para analisar se há diferença entre os resultados apresentados para cada índice, apontado em todos os três casos estudados valores de F crítico menores que os de F calculado, fazendo com que haja a necessidade do cálculo da diferença mínima significativa (DMS) e posterior realização do teste de Tukey para localizar quais grupos aceitarão h_0 e quais não.

Tabela 8 – Resultados obtidos a partir da aplicação da análise de variância ANOVA sobre os diferentes índices de vegetação para os diferentes tratamentos

Tratamento	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	DMS
Passiva	Entre grupos	0,782872144	2	0,391436072	28,16960438	4,17758E-09	3,168245967	0,093029715
	Dentro dos grupos	0,750367225	54	0,013895689				
	Total	1,533239369	56					
Nucleação	Entre grupos	0,766691326	2	0,383345663	23,20838762	5,31939E-08	3,168245967	0,1014272
	Dentro dos grupos	0,891947607	54	0,016517548				
	Total	1,658638933	56					
Plantio	Entre grupos	0,823988024	2	0,411994012	29,73535006	1,96232E-09	3,168245967	0,092894621
	Dentro dos grupos	0,748189499	54	0,013855361				
	Total	1,572177523	56					

Tabela 9 – Resultados obtidos ao aplicar o teste *Tukey* comparando os diferentes índices

Tratamento	Grupos comparados	NDVI	SAVI	EVI
Passiva	NDVI	-	b	b
	SAVI	b	-	a
	EVI	b	a	-
Nucleação	NDVI	-	b	b
	SAVI	b	-	a
	EVI	b	a	-
Plantio	NDVI	-	b	b
	SAVI	b	-	a
	EVI	b	a	-

Para todos os casos, os índices de vegetação SAVI e EVI não demonstraram diferença significativas entre eles, sendo assim ambos aceitaram h_0 , diferentemente do NDVI, que se diferencia de forma significativa dos demais índices testados.

A Tabela 10 aponta os resultados da ANOVA para os diferentes tipos de tratamentos utilizados nas parcelas de restauração, os quais indicaram que não existiu diferença entre os métodos utilizados para restauração com relação aos índices, pois F crítico foi maior que F calculado em todos os casos testados.

Tabela 10 - Resultados obtidos a partir da aplicação da análise de variância ANOVA sobre os diferentes tratamentos para os diferentes índices de vegetação

Tratamento	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
NDVI	Entre grupos	0,000722103	2	0,000361051	0,024125383	0,976173824	3,168245967
	Dentro dos grupos	0,80814382	54	0,014965626			
	Total	0,808865923	56				
SAVI	Entre grupos	0,001887584	2	0,000943792	0,0792253	0,923938939	3,168245967
	Dentro dos grupos	0,643289113	54	0,011912761			
	Total	0,645176698	56				
EVI	Entre grupos	0,002823248	2	0,001411624	0,089094368	0,914901302	3,178799292
	Dentro dos grupos	0,808051453	51	0,015844146			
	Total	0,810874702	53				

Tal fato pode ter ocorrido pois em nenhuma das parcelas observou-se grandes incidências de solo exposto, além da resolução espacial das imagens ser de 30m (cada pixel cobrindo uma área de 900m²) e que foram utilizadas em parcelas com 2100m², ou seja, dentro de cada parcela havia no máximo 3 ou 4 pixels da imagem, os quais ainda abrangiam áreas de pasto em torno das mesmas, fazendo com que os valores dos índices dentro da parcela sofressem influência das áreas de pastagem.

5.4 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Aplicando os dados obtidos nas imagens ao coeficiente de correlação de *Pearson* obteve-se os resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Aplicação da correlação de *Pearson* sobre os dados referentes aos diferentes índices e dados referentes a densidade da vegetação na área.

Tratamento	Nucleação	Reflorestamento	Passiva
Parâmetros comparados	Correlação de Pearson	Correlação de Pearson	Correlação de Pearson
NDVI/Densi	0,123397792	-0,532785547	0,377452184
SAVI/Densi	-0,476408649	-0,684358888	0,370504469
EVI/Densi	-0,41769844	-0,66240612	0,438585095
NDVI/EVI	0,780127357	0,895843813	0,871008966
NDVI/SAVI	0,759040152	0,882361737	0,862240974
SAVI/EVI	0,997078359	0,996564852	0,996265298

Diante dos resultados, todas as correlações feitas entre os índices de vegetação (NDVI/EVI, NDVI/SAVI e SAVI/EVI) se mostraram altas e diretas, de forma que ao decorrer do tempo os valores de ambos os índices aumentam de forma semelhantes, mostrando assim um desenvolvimento positivo da vegetação em decorrência do tempo, além de apresentarem padrões bem definidos de dispersão, demonstrando que os valores fazem referência ao mesmo objeto de estudo. Observa-se também uma correlação quase que perfeita entre os índices SAVI e EVI, onde os seus valores chegam quase próximo de 1.

Segundo Dos Santos (2019), essa forte correlação entre EVI e SAVI se dá pois os dois coeficientes para ajustes de variáveis que influenciam na resposta de cada comprimento de onda utilizado, situação que não ocorre com o NDVI.

Ao correlacionar os índices com os dados de campo houve, em muitos dos casos, uma correlação negativa, isso mais frequentemente nos tratamentos da nucleação e reflorestamento, pois as mesmas durante os três primeiros anos sofreram certas atividades de manutenção, como roçadas para limpar a área mantendo apenas os indivíduos arbóreos/arbustivos nas parcelas.

Este cenário permite supor que nessas áreas existem uma maior influência dos indivíduos arbóreos nos valores dos índices, sendo que, em mês com a eliminação da vegetação rasteira e forrageira, os valores dos índices seguiram aumentando.

Já nas parcelas de restauração passiva, obteve-se uma correlação positiva entre os dados de campo e os índices de vegetação, isso provavelmente aconteceu pois nessas parcelas não foram feitas capinas afins de manter apenas os indivíduos arbóreos e arbustivos de interesse nas áreas. Sendo assim, conforme o tempo passa, a vegetação se desenvolveu juntamente ao aumento dos índices de vegetação (Figura 12).

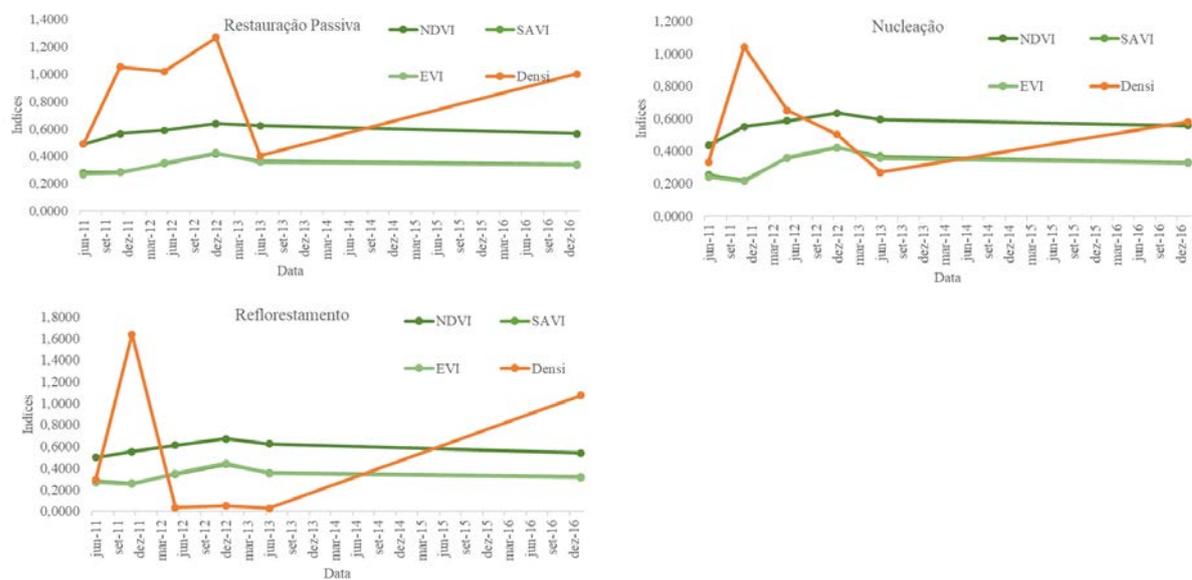


Figura 12. Gráficos gerados a partir das médias de cada índice para as datas correlacionadas aos levantamentos de densidade da vegetação em campo em seus respectivos tratamentos.
Fonte: O autor, 2020.

5.5 ANÁLISE SAZONAL E SUAS CORRELAÇÕES COM DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Visualizando a Tabela 12, pode-se analisar qual o período mais chuvoso na região de Dois Vizinhos – PR dentre as datas estudadas.

Tabela 12 – Precipitação acumulada para cada mês de análise

Ano	Mês	Precipitação (mm)
2011	ago-11	251,0
2012	fev-12	162,0
	ago-12	1,4
2013	dez-12	350,2
	jul-13	58,0
2014	jan-14	187,6
	jul-14	185,6
2015	fev-15	217,4
	ago-15	75,2
2016	mar-16	165,0
	ago-16	14,2
2017	jan-17	131,2
	jul-17	7,2
2018	fev-18	186,2
	ago-18	94,4
2019	jan-19	97,6
	jul-19	10,0
2020	fev-20	116,4
	jun-20	182,8

Na maioria dos anos, os meses mais chuvosos se apresentaram mais próximos ao mês de janeiro e os menos chuvosos próximos a junho, com exceção de 2020 que choveu 182,8 milímetros em junho e 116,4 em fevereiro. Esta análise corrobora com os resultados dos índices de vegetação, em que, em todos os tratamentos, obteve-se maiores valores dos índices levantados em meses próximos a janeiro, enquanto os menores valores estavam datados em meses próximos a julho (Figura 13).

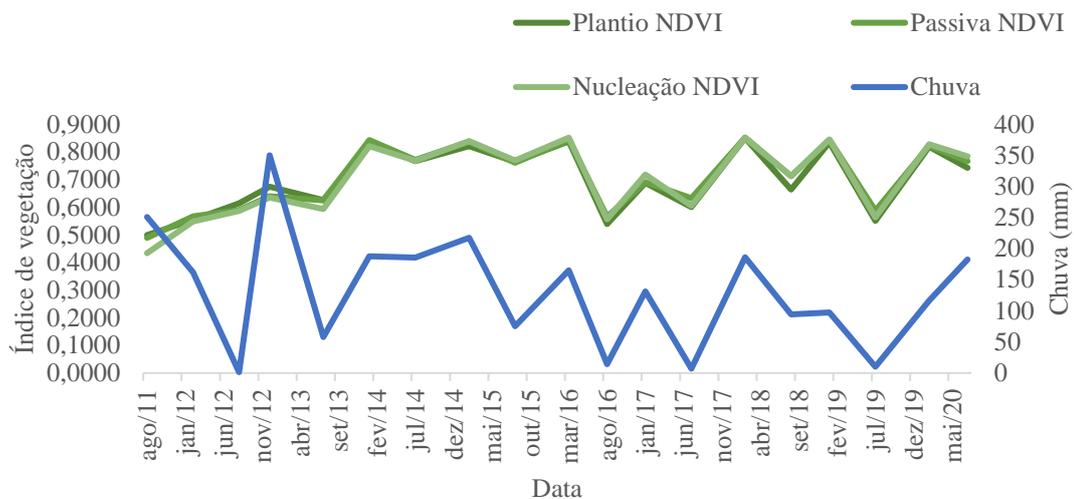


Figura 13. Gráfico gerados a partir das médias do índice de vegetação (NDVI) para suas respectivas datas por tratamento, e acúmulo de chuva em (mm) para cada mês de análise.

Fonte: O autor, 2020.

Tendo em vista estes resultados e afim de entender melhor esta relação entre os índices e a chuva, foi realizada a correlação de Pearson correlacionando os valores dos índices com os de chuvas para cada tratamento (Tabela 13).

Tabela 13 – Correlação de Pearson entre as médias dos índices e os valores acumulados de chuva por mês

Parâmetros	Correlação de Pearson		
	Passiva	Nucleação	Plantio
Chuva/NDVI	0,227246	0,211778	0,302365
Chuva/SAVI	0,264474	0,225827	0,300346
Chuva/EVI	0,267243	0,238475	0,302708

De acordo com os resultados obtidos, todos os parâmetros correlacionados apresentaram uma correlação positiva entre eles. Apesar da correlação ter sido positiva, esta apresentou valores baixos, variando de 0,21 até 0,302, indicando uma baixa dependência entre os índices e a quantidade de precipitação nos meses avaliados.

Esta baixa correlação provavelmente ocorreu, pois, os valores dos índices, por estarem relacionados às estruturas vegetais, se desenvolvem de forma ascendente devido ao desenvolvimento natural das plantas, desenvolvimento este que não ocorre com a precipitação. Porém, a correlação existente está ligada a sazonalidade e o estado atual da vegetação.

Vale ressaltar que de acordo com o GEBIOMET (2016), em 2016 a precipitação acumulada foi de 227,6 mm abaixo da média da região, o que pode justificar a diminuição dos valores dos índices de vegetação no referente ano.

6 CONCLUSÃO

De acordo com todas as análises realizadas neste trabalho, observa-se uma maior similaridade entre os índices de vegetação EVI e SAVI, sendo que esses apresentaram resultados semelhantes na maioria das análises, não apontando diferença significativa em nenhum resultado da análise ANOVA realizada, além de apresentarem um coeficiente de correlação de Pearson maior que 0,99. O NDVI, por mais que tenha diferença significativa em relação aos outros índices, apresentou um coeficiente de correlação de Pearson maior que 0,8 entre os demais índices, valor que já é considerado alto para a correlação. Isso ocorre pois tanto o EVI quanto o SAVI utilizam como base o NDVI para seu cálculo, junto a fatores de ajustes e correções que são aplicadas em suas equações.

Ao analisar os diferentes tratamentos de restauração (Passiva, Nucleação e Reflorestamento), não se obteve diferença significativa entre eles, mostrando que, de acordo com os índices, os tratamentos se assemelharam entre si.

Em contrapartida, ao se relacionar os dados obtidos pelos índices com dados de densidade nas parcelas, não se obteve relação entre eles, porém, os dados de densidade além de serem levantados indivíduos de todos os hábitos (herbáceas, lianas, arbustos e arvores), essas áreas sofreram em períodos prévios ao inventário roçadas para limpeza das mesmas. Assim, observa-se a necessidade de se realizar um novo estudo, possivelmente considerando apenas levantamentos de espécies arbóreas dentro da área experimental.

Quanto à dependência dos índices em relação a pluviosidade acumulada no mês, observa-se uma baixa correlação positiva variando de 0,21 a 0,302, que provavelmente se apresentou como uma correlação baixa devido ao desenvolvimento da vegetação ao decorrer dos anos, considerando assim como correlação apenas as quedas de vegetação/pluviometria nos valores nos períodos mais secos a aumentos nos períodos mais chuvosos.

Tendo em vista os resultados obtidos podemos afirmar que a utilização dos índices de vegetação para monitoramento de vegetações nativas não substitui o trabalho de campo, porém esta ferramenta se demonstra muito eficiente como um auxílio ao monitoramento, trazendo com seus resultados diversos indicadores do estado atual e temporal da vegetação estudada.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALMEIDA, D. S. Recuperação ecológica de paisagens fragmentadas. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 99-104, 1998.

ANTONIO R. F.; ATHOS R. S.; BERNARDO F. T. R.; CLÁUDIA M. A.; LÊNIO S. G. São José dos Campos: Parêntese, p. 672, 2009.

BATISTA, L. B. Sensoriamento Remoto, Índices de Vegetação e Agricultura de Precisão. Disponível em: <<https://www.austertecnologia.com/single-post/2017/05/27/Sensoriamento-Remoto-%C3%8Dndices-de-Vegeta%C3%A7%C3%A3o-e-Agricultura-de-Precis%C3%A3o>> Acesso em: outubro de 2019.

BECHARA, F. C.; DICKENS, S. J.; FARRER, E. C.; LARIOS, L.; SPOTSWOOD, E. N.; MARIOTTE, P. SUDING, K. N. Neotropical rainforest restoration: comparing passive, plantation and nucleation approaches. *Biodiversity and Conservation*, v. 25, n. 11, p. 2021-2034, 2016.

BORATTO, I. M.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7345-7352., 2013.

BRASIL. Decreto n. 97.632 - 10 abr. 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2o, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.

BRASIL, Lei. 9.985, de 18 de julho de 2000. **Regulamenta o art**, v. 225, n. 1, 2000.

BRASIL. Instrução Normativa Nº. 4, de 13 de Abril de 2011. Distrito Federal. 2011.

BREUNIG, Fábio Marcelo; GALVÃO, Lênio Soares; FORMAGGIO, Antonio Roberto. Caracterização espectral e temporal da vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita-RS, com produtos MODIS. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 15, p. 1765-1772, 2011.

COSTA FILHO, J. F. et al. Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na microrregião de Sousa - PB utilizando imagens do CBERS2. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju - SE. Anais... 2007.

DELLASALA, D. A.; MARTIN, A.; SPIVAK, R.; SCHULKE, T.; BIRD, B.; CRILEY, M.; VAN DAALEN, C.; KREILICK, J.; BROWN, R.; APLET, G. A citizen's call for ecological forest restoration: forest restoration principles and criteria. *Ecological Restoration*, v. 21, p. 14–23, 2003.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. 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. *Revista Ra'ega*, v.21, p.234-271, 2011.

DIAS, L. E; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. **Recuperação de áreas degradadas**, v. 1, 1998.

DOS SANTOS, Marcos Augusto Gomes; PEREIRA FILHO, Waterloo; KUPLICH, Tatiana Mora. CORRELAÇÃO ENTRE INDICES DE VEGETAÇÃO GERADOS A PARTIR DE DADOS DE ESPECTRORRADIÔMETRO.

FERREIRA, L. G; FERREIRA, N. C; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30, n. 4, 2008.

FERRAZ, A. S., et al. Uso de imagens do satélite IKONOS II para estimar biomassa aérea de um fragmento de floresta estacional semidecidual. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 16, p. 2794-2801, 2013.

FIGUEREDO, D. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. São Paulo, 2005.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto - 3ª edição ampliada e atualizada, Oficina de textos, São Paulo, 2011

FOWLER, J. NDVI: Conheça tudo sobre a tecnologia que vem ajudando agricultores. Disponível em: <<https://tecnologianocampo.com.br/ndvi/>> Acesso em: junho de 2019

GBIOMET. UTFPR - Boletim Agrometeorológico – Suplemento Especial de 2016, 2016.

HENTZ, A. M. K. et al. Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2810, 2014.

HUETE, A. D. L. et al. Comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, n. 59, p. 440-451, 1997.

HUETE, A. D. L. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, v.83, p.195-213, 2002.

IPPOLITI-RAMILO, G. A. et al. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. Agricultura em São Paulo, v. 46, p. 89-101, 1999.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. Prev. Vet. Med., Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 185-200, 1991.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2ª edição por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphânio (coordenador);

KOBIYAMA, Masato; MINELLA, Jean Paolo Gomes; FABRIS, Ricardo. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe agropecuário**, v. 22, n. 210, p. 10-17, 2001.

Konig, F. G.; Schumacher, M. V.; Brun, E. J. et al. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta Estacional Decidual no município de Santa Maria-RS. Revista Árvore, Viçosa, v.26, n.4, p. 429-435, 2002.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. Remote Sensing and Image Interpretation. Nova Iorque/EUA. 2007.

LIU, W. T. H. Aplicações de sensoriamento remoto. 1. ed. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908 p.

MATOS, F. D. A.; KIRCHNER, F. F. Estimativa da floresta ombrófila densa de terra firme na amazônia central com o satélite Ikonos II. FLORESTA, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 157 - 171. 2008.

MORAES, E. C. CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2002.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, Flávio Jorge. Introdução ao sensoriamento remoto. Instituto Nacional, 2001.

POLONIO, V. D. Índices de vegetação na mensuração do estoque de carbono em áreas com cana-de-açúcar. 2015.

PONZONI, F. J.; SHIMBUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento Remoto da Vegetação. São José dos Campos, SP, Oficina de Textos, 2ª edição, 176 p., 2012.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 136p.

RISSO, J. et al. Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto (SBSR), Natal–RN. Anais, São José dos Campos: INPE, p. 379-386, 2009.

ROCHA, D. R.; ROCHA, J. V.; DI GREGORIO, T. C. Análise da mudança de cobertura e uso da terra, com base em imagens LandSat e LISS III, e o produto EVI/MODIS para o município de Sinop-MT, 2015.

RODRIGUES, T. S. et al. Avaliação do desempenho de dois Índices de Vegetação (NDVI e SAVI) por meio de Índice de Qualidade de Imagens. Anais XVI simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto SBSR, Foz do Iguaçu, 2013.

RODRIGUES, Joseilson O. et al. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. Engenharia Agrícola, v. 29, n. 3, p. 452-465, 2009.

ROSA, R. Introdução ao geoprocessamento. Uberlândia: Universidades Federais de Uberlândia, 2013.

ROSENDO, J. dos S. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari-MG-utilizando dados do sensor Modis. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: NASA ERTS SYMPOSIUM. v. 3, 1973. p. 309-17.

SALMONO, Yuri. EVI, O que é? Como interpretar? Disponível em:<<https://www.espectrogeo.com.br/evi-o-que-e-como-interpretar/>> Acesso em: junho de 2019.

SALOVAARA, K. J. et al. Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. Remote Sensing of Environment, v. 97, n. 1, p. 39-51, 2005.

SER - Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group. 2004. The SER primer in ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, v.2, pp. 1-15.

TRENTIN, B. E. A nucleação como alternativa à restauração passiva e ao reflorestamento com nativas para a restauração florestal. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018. 115p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Landsat Mission Timeline. 2018. Disponível em: < <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-missions-timeline>> Acesso em: junho. 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat Satellite Mission. Disponível em: < https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con> Acesso em: junho de 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat 7. Disponível em: < https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con> Acesso em: junho de 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat 8. Disponível em: < https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con> Acesso em: junho de 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con>. Acesso em: junho de 2019

VAEZA, R. F., et al. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. *Floresta e Ambiente*, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 15, p. 1828-1834, 2011.

WAGNER, A. P. L., et al. Variabilidade Temporal do NDVI/MODIS na Análise de Remanescentes da Ecorregião das Savanas Uruguaias. In: **SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 2011. p. 5600-5606.

WANG, Z. X. et al. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. *Acta Ecologica Sinica, Amsterdam*, v. 23, n. 5, p. 979-988, 2003.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com Araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II. *Ciência Florestal*, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2009.