

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO ESTADO DA
VEGETAÇÃO NO PARQUE FRITZ PLAUMANN
APLICANDO NDVI**

Ayumi Kimberly Knoll

Florianópolis, 2019/2

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Ayumi Kimberly Knoll

**Análise espaço-temporal do estado da vegetação
no Parque Fritz Plaumann aplicando NDVI**

Florianópolis

2019

Ayumi Kimberly Knoll

**Análise espaço-temporal do estado da vegetação
no Parque Fritz Plaumann aplicando NDVI**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.
Orientador: Prof.^a Patricia Kazue Uda Dra.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra

Knoll, Ayumi Kimberly

Análise espaço-temporal do estado da vegetação no Parque
Fritz Plaumann aplicando NDVI / Ayumi Kimberly Knoll;
orientadora Patricia Kazue Uda, 2019.

78 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2019.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Sensoriamento
remoto. 3. NDVI. 4. Índice de vegetação. I. Kazue Uda,
Patricia. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Ayumi Kimberly Knoll

**Análise espaço-temporal do estado da vegetação
no Parque Fritz Plaumann aplicando NDVI**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheira Sanitarista e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 03 de dezembro de 2019.

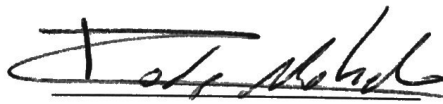


Prof.^a Maria Elisa Magri, Dra.
Coordenadora do Curso

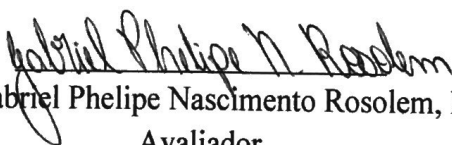
Banca Examinadora:



Prof.^a Patricia Kazue Uda, Dra.
Orientadora
Instituição UFSC



Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.
Avaliador
Instituição UFSC



Eng. Gabriel Felipe Nascimento Rosolem, Me.
Avaliador
Instituição UFSC

Dedico este trabalho à minha avó, Maria Terezinha Knoll, que sempre me incentivou a estudar e assim me ajudou a realizar o sonho de ser engenheira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à família, minha mãe Tina e minha irmã Sarah, que estiveram presentes nos momentos mais importantes da vida, e aos meus colegas de turma e amigos que tornaram mais leves os fins de semana de estudo e as noites em claro. Muito obrigada também aos que me acompanharam nesse último ano, meus colegas de trabalho durante o estágio e à minha orientadora Patricia durante este último semestre.

“Para mim, a fotografia é uma arte de observação. É sobre encontrar algo interessante em um lugar comum. Descobri que isso tem pouco a ver com as coisas que você vê e tudo a ver com a maneira como as vê.”

Elliott Erwitt

RESUMO

Este estudo foi feito com intuito de analisar o estado da cobertura vegetal no Parque Fritz Plaumann através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (do inglês NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) no período de 2000 a 2019. Localizado no município de Concórdia, em Santa Catarina, o Parque constitui uma Unidade de Conservação desde 2003, sendo permitido por lei apenas usos indiretos de seus recursos naturais. Como medida compensatória de danos ambientais, a empresa que opera a usina tem responsabilidade sobre o Parque, sendo uma das condicionantes de renovação da Licença de Operação o monitoramento da cobertura vegetal de áreas de preservação e conservação. Através de técnicas de sensoriamento remoto foi possível fazer uma análise espaço-temporal baseada no processamento digital de imagens multiespectrais do sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat 7, utilizando o software de geoprocessamento ArcGIS. Calculando os valores do índice em todo o Parque com enfoque nas áreas com NDVI menor que 0,6 no início do período, nota-se uma considerável regeneração da vegetação ao longo dos anos, sobretudo nas áreas mencionadas, que passaram de pastagem, arbustos e solo exposto à um estado de floresta densa.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Unidades de Conservação. Índices de vegetação. NDVI. Parque Fritz Plaumann.

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the state of the vegetation cover in Fritz Plaumann Park through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from 2000 to 2019. Located in the municipality of Concórdia, Santa Catarina, the Park has been a Conservation Unit since 2003 and only indirect use of its natural resources is allowed by law. As a compensatory measure for environmental damage, the company that operates the plant has a responsibility towards the Park, and one of the conditions for renewal of the Operating License is monitoring the vegetation cover of preservation and conservation areas. Through remote sensing techniques it was possible to do a spatiotemporal analysis based on the digital processing of multispectral images of the ETM + sensor aboard the Landsat 7 satellite, using ArcGIS geoprocessing software. Calculating the index values throughout the Park focusing on areas with NDVI less than 0.6 at the beginning of the period, there is considerable regeneration of vegetation over the years, especially in the above-mentioned areas, where pastures and bushes turn into dense forest.

Keywords: Remote sensing. Conservation Unit. Vegetation index. NDVI. Fritz Plaumann Park.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Elementos fundamentais do S.R.	19
Figura 2 – Componentes do sistema sensor.	20
Figura 3 – Geometria de coleta de dados a partir de um sensor.	22
Figura 4 – Espectro eletromagnético.	23
Figura 5 – Processo aditivo de formação de cores.	24
Figura 6 - Características espectrais da vegetação.	26
Figura 7 – Absorção da luz visível.	27
Figura 8 – Reflectância em função do número de camadas de folhas.	28
Figura 9 – Comparação da reflectância em plantas.	31
Figura 10 – NDVI e uso do solo.	32
Figura 11- Fluxograma da metodologia.	36
Figura 12 – Localização do Parque em SC.	37
Figura 13 – Vertedouro da Usina de Hidrelétrica de Itá	38
Figura 14 – Localização da UCA na bacia de acumulação	39
Figura 15 – Vegetação típica do Parque.	40
Figura 16 - Ponte pênsil no Parque.	41
Figura 17 - Uso e cobertura do solo em 2013.	42
Figura 18 – Banco de imagens Landsat.	43
Figura 19 – Cena de tomada das imagens.	44
Figura 20- Áreas da UCA.	47
Figura 21 – Reclassificação de arquivo <i>raster</i>	48
Figura 22 – Mapa de localização das áreas críticas.	51
Figura 23 - Mapa do NDVI médio da UCA em 2019.	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características dos satélites Landsat	33
Quadro 2 - Características do sensor ETM +	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área da UCA.....	39
Tabela 2 – NDVI médio da UCA Parque Fritz Plaumann.....	50
Tabela 3 – NDVI médio UCA no período.....	51
Tabela 4 – NDVI médio na área inicialmente crítica.....	52
Tabela 5 – aumento do NDVI.....	52
Tabela 6 – Área em hectares.....	53
Tabela 7 – Área em percentual do total.....	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Origem da fotografia colorida	18
2.2	Sensoriamento remoto	18
2.3	Comportamento espectral de alvos	23
2.3.1	O espectro eletromagnético.....	23
2.3.2	Comportamento espectral da vegetação	24
2.4	Índices de vegetação	29
2.4.1	A missão LANDSAT.....	32
2.5	Unidades de Conservação (UC)	34
2.5.1	Unidades de Proteção Integral	34
2.5.2	Unidades de Uso Sustentável	35
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	Período de estudo.....	36
3.2	Área de estudo	37
3.2.1	Quanto à usina	38
3.2.2	Quanto à UCA Parque Fritz Plaumann	39
3.3	Materiais utilizados.....	42
3.3.1	Imageamento	42
3.3.2	Ferramentas	44
3.4	Procedimentos.....	45
3.4.1	Tratamento e processamento de imagem	45
3.4.2	Análise espaço-temporal da UCA Parque Fritz Plaumann	46

3.4.3	Análise temporal da área crítica	47
3.4.4	Análise espacial da área crítica	48
4	RESULTADOS e discussão	50
4.1	Análise espaço-temporal da UCA	50
4.2	Análise temporal da área crítica	51
4.3	Análise espacial da área crítica.....	53
5	CONCLUSÃO.....	55
6	REFERÊNCIAS.....	57
7	ANEXOS.....	60

1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é ainda mais renovável do que a energética, isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas (EPE, 2018). Segundo o balanço Energético Nacional (BEN, 2018), 62,5% da energia elétrica no Brasil é gerada pela força da água. As hidrelétricas são muito importantes para a geração de energia no nosso país, porém os danos também são consideráveis, o que leva à necessidade de estabelecer medidas compensatórias para mitigar estes impactos ambientais negativos.

Os órgãos ambientais licenciadores solicitam relatórios para renovação da Licença de Operação (L.O.) de um empreendimento. No caso da Usina Hidrelétrica de Itá (UHIT), o IBAMA é responsável pela fiscalização e solicita, anualmente, a revisão do PACUERA – Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial. Dentre as condicionantes, consta a obrigação de dar continuidade à recuperação de áreas degradadas e promover o uso sustentável da flora nas Áreas de Preservação Permanente e nas Unidades de Conservação em área adquirida pela empresa. Para obter dados do estágio de regeneração da vegetação e localizar ocupações irregulares no entorno da usina faz-se uso de técnicas de sensoriamento remoto, dentre elas, a mais usada é a do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Para Elachi (1987), sensoriamento remoto implica na obtenção de informação a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o circundam, sejam estes campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais.

As séries temporais do NDVI são fundamentais no monitoramento dos recursos ecológicos que estão sendo alterados pelos impactos climáticos e humanos. Um número crescente de gestores de recursos naturais usa ferramentas de suporte a decisões geoespaciais que integram séries temporais de dados NDVI derivados de vários sensores para tomar melhores decisões de planejamento e gerenciamento (VAN LEEUWEN et al., 2006, tradução nossa).

Os sensores remotos por satélite podem quantificar qual fração da radiação fotossinteticamente ativa é absorvida pela vegetação. No final da década de 1970, os cientistas

descobriram que a fotossíntese líquida está diretamente relacionada à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que as plantas absorvem.

Para determinar a densidade do verde em um pedaço de terra, os pesquisadores devem observar as cores distintas (comprimentos de onda) da luz do sol visível e no infravermelho próximo refletido pelas plantas. Como pode ser visto através de um prisma, muitos comprimentos de onda diferentes compõem o espectro da luz solar. Quando a luz solar atinge objetos, certos comprimentos de onda desse espectro são absorvidos e outros comprimentos de onda são refletidos. O pigmento nas folhas das plantas, a clorofila, absorve fortemente a luz visível (de 0,4 a 0,7 μm) para uso na fotossíntese. A estrutura celular das folhas, por outro lado, aumenta fortemente a luz infravermelha próxima (de 0,7 a 1,1 μm). Quanto mais folhas uma planta tem, mais esses comprimentos de onda da luz são afetados, respectivamente (NASA, 2000).

O objetivo geral deste estudo é quantificar e qualificar a biomassa presente na Unidade de Conservação Ambiental (UCA) através dos valores e variação do NDVI desde que a Usina Hidrelétrica de Itá (UHIT) entrou em operação até hoje, demonstrando assim a existência de uma cobertura vegetal mais saudável e consolidada atualmente.

As informações levantadas nesta pesquisa devem evidenciar a recuperação natural da vegetação no Parque Fritz Plaumann ao longo dos últimos 20 anos e sua conformidade com exigências do órgão licenciador, pois o IBAMA, como já foi dito, responsabiliza a empresa que opera a usina quanto ao monitoramento e preservação do Parque, já que o monitoramento de APP e de Unidades de Conservação (UC) faz parte das condicionantes da Licença de Operação (L.O.) da Usina Hidrelétrica de Itá.

Apontando a evolução da cobertura vegetal no Parque através de sensoriamento remoto e índices de vegetação, busca-se comprovar que esta se encontra majoritariamente em estado de mata densa atualmente, e como a criação da UC foi importante para viabilizar essa regeneração ao longo do tempo, de tal modo que não é mais necessária nenhuma interferência humano no que diz respeito à trabalhos de reflorestamento ou plantio.

Qualquer cenário resulta em um valor NDVI que, com o tempo, pode ser calculado como média para estabelecer as condições normais de crescimento da vegetação em uma determinada região, em uma determinada época do ano. Em resumo, a absorção e a reflexão de uma região da radiação fotossinteticamente ativa por um determinado período de tempo podem ser usadas para caracterizar a saúde da vegetação (NASA, 2000).

NDVI ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é muito utilizado para estimar biomassa, cobertura vegetal e mudanças de padrão de uso e cobertura da terra. Ele permite comparar a cobertura vegetal numa evolução temporal. À medida que aumenta a quantidade de biomassa verde, aumenta a reflexão na região do infravermelho próximo e diminui a reflexão na região do vermelho, fazendo com que o aumento da razão seja potencializado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise espaço-temporal da cobertura vegetal do Parque Fritz Plaumann por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a distribuição espacial da vegetação no Parque Fritz Plaumann usando Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI);
- Analisar a variação da densidade da vegetação no Parque Fritz Plaumann, usando Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma série de conceitos e fórmulas são necessárias para compreensão de um estudo de sensoriamento remoto. Os tópicos seguintes trazem uma compilação dos principais conceitos dos mais variados autores, da botânica à física, visando elucidar critérios que direta ou indiretamente contribuíram para uso e compreensão do NDVI nos dias atuais.

2.1 ORIGEM DA FOTOGRAFIA COLORIDA

A capacidade do sistema visual humano em discernir tonalidades de cinza não vai além de 30 diferentes níveis. Quando se trata de discernir cores, esse número pula facilmente para algumas dezenas de milhares de cores diferentes, com um máximo supostamente em torno de 7 milhões. Pode-se, portanto, dizer que a cor domina o sistema visual humano (CROSTA, 1992).

As fotografias aéreas coloridas se tornaram disponíveis a partir de 1930. Nesta mesma época já haviam iniciado os estudos para a produção de filmes sensíveis à radiação infravermelha. Com o início da 2ª Grande Guerra começaram estudos sobre o processo de interação da radiação nessa faixa do espectro com os objetos com a finalidade de utilizar filmes infravermelhos para a detecção de camuflagem (NOVO; PONZONI, 2001).

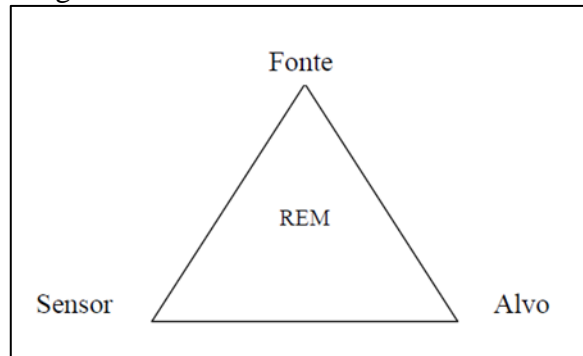
A partir de 1970 teve início o Projeto Radar na Amazônia (RADAM) que permitiu o levantamento de 8,5 milhões de km² do território nacional. Na década de 70 foi lançado o primeiro satélite experimental de levantamento de recursos terrestres). Esse satélite e o sensor multiespectral que leva a bordo tiveram tamanho sucesso, que o seu nome foi modificado para e se transformou no programa de sensoriamento remoto de mais longa duração já existente (NOVO; PONZONI, 2001).

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é a ciência de obter informações sobre objetos ou áreas à distância, geralmente de aeronaves ou satélites (NOAA, 2018).

O termo Sensoriamento Remoto (S.R.) apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960 e significava simplesmente a aquisição de informações sem contato físico com os objetos. Atualmente é definido como um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre estes objetos (NOVO; PONZONI, 2001). A Figura 1 apresenta um esquema dos elementos fundamentais para a geração de informações por sensoriamento remoto.

Figura 1- Elementos fundamentais do S.R.

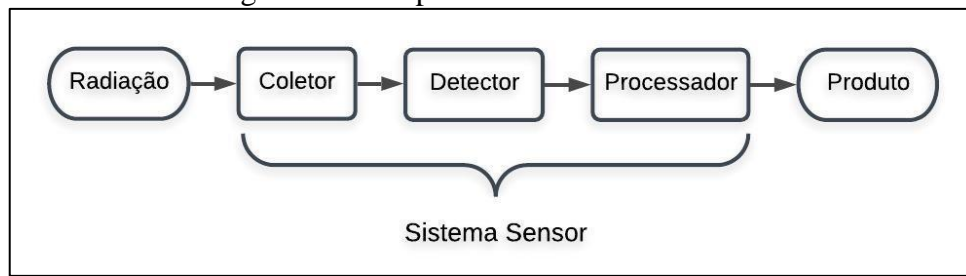


Fonte: Novo e Ponzoni (2001)

No centro do triângulo deste esquema, encontra-se a Radiação Eletromagnética (REM), que é o elemento de ligação entre todos os demais que se encontram nos vértices. São eles, a fonte de REM, que para o caso da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo dos recursos naturais, é geralmente o sol. O sensor é o instrumento capaz de coletar e registrar a REM refletida ou emitida pelo objeto, que também é denominado alvo, e que representa o elemento do qual se pretende extrair informação (NOVO; PONZONI, 2001).

Os sensores podem ser classificados em função da fonte de energia ou do tipo de produto gerado, sendo que, aqueles usados para monitoramento de vegetação são classificados como sistemas imageadores passivos. São imageadores pois o produto obtido da REM refletida é composto de imagens ou fotografias, e não de dados numéricos; e são passivos porque necessitam de uma fonte externa de REM, como o sol.

Figura 2 – Componentes do sistema sensor.



Fonte: Autora.

Independente do tipo de sensor, quando recebemos uma tabela com as especificações de dados desse sensor, temos uma lista de características fornecidas. Entre elas destacam-se as resoluções (NOVO, 2010). A palavra resolução pode ser entendida como a qualidade da imagem ou a capacidade de um computador, por exemplo, de mostrar algo com clareza.

Existem quatro tipos de resolução das imagens orbitais, sendo elas:

- Resolução espacial: determinada pelo tamanho de um pixel na imagem. Pode ser descrita como a capacidade do sensor em enxergar o alvo, e é medida em metros.
- Resolução espectral: definida pelo número de bandas espectrais de um sensor e pelo intervalo de comprimento de onda que compreende cada banda, medido em nm ou μm .
- Resolução radiométrica: é dado pelo número de níveis digitais, representados pelos níveis de cinza o qual expressa os dados coletados pelo sensor, é medida em bits.
- Resolução temporal: refere-se à frequência com que são obtidas imagens de um local por uma determinada plataforma de satélite, é medida em dias (NOAA, 2018, tradução nossa).

O sensoriamento remoto tem uma ampla gama de aplicações em diversos campos:

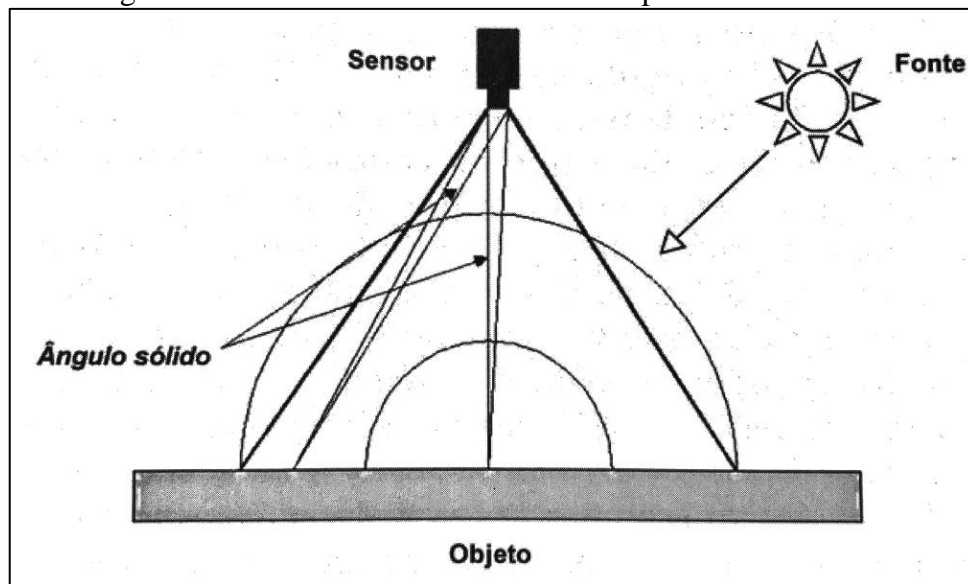
- Aplicações costeiras: monitorar as alterações na costa, rastrear o transporte de sedimentos e mapear os recursos costeiros. Os dados podem ser usados para mapeamento costeiro e prevenção de erosão.
- Aplicações oceânicas: monitore a circulação oceânica e os sistemas atuais, meça a temperatura do oceano e a altura das ondas e rastreie o gelo do mar. Os dados podem ser usados para entender melhor os oceanos e como gerenciar melhor os recursos oceânicos.

- Avaliação de riscos: rastreie furacões, terremotos, erosão e inundações. Os dados podem ser usados para avaliar os impactos de um desastre natural e criar estratégias de preparação a serem usadas antes e depois de um evento perigoso.
- Gerenciamento de recursos naturais: Monitorar o uso da terra, mapear áreas úmidas e mapear habitats da vida selvagem. Os dados podem ser usados para minimizar os danos que o crescimento urbano causa ao meio ambiente e ajudar a decidir como proteger melhor os recursos naturais (NOAA, 2018, tradução nossa).

A intensidade da radiação eletromagnética emitida pelo Sol sofre atenuação devido à interferência de diferentes componentes contidos na atmosfera. Essa intensidade do fluxo radiante é denominada Irradiância (E) e para determinados comprimentos de onda ou regiões espectrais recebe o símbolo λ , representada por E_λ (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Imaginando um sensor localizado sobre a superfície, coletando a radiação eletromagnética refletida por ela, teremos uma situação similar à ilustrada na Figura 3 abaixo. Um sensor “observa” uma determinada porção da superfície e registra a intensidade do fluxo refletido somente dessa porção (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Figura 3 – Geometria de coleta de dados a partir de um sensor.



Fonte: Ponzoni; Shimabukuro (2010)

A intensidade da radiação realmente medida de cada ponto seria aquela contida em um cone imaginário formada pela dimensão (diâmetro normalmente) da óptica do sensor (base do cone) e o ponto localizado na superfície do objeto (vértice do cone). Esse cone é tecnicamente denominado de ângulo sólido. A intensidade média do fluxo radiante refletido, originado então de todas as infinitas intensidades provenientes de cada um dos infinitos pontos existentes na superfície, é denominada Radiância (L). Como pode ser medida para cada comprimento de onda ou para regiões específicas do espectro eletromagnético, também recebe a designação L_λ (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Já a reflectância é a propriedade de determinado objeto em refletir a radiação incidente sobre ele, e é expressa através dos Fatores de Refletância (ρ). Estes podem ser bidirecionais quando existem duas geometrias envolvidas no processo de interação entre a radiação e a superfície do recurso natural, sendo uma caracterizada pelos ângulos zenital e azimutal da fonte (geometria de incidência) e a outra caracterizada pelos ângulos zenital e azimutal do sensor (geometria de visada) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

O cálculo do Fator de Refletância Bidirecional pode ser realizado mediante aplicação da Equação 1 abaixo:

$$\rho_\lambda(\alpha_s, \theta_s; \alpha_f, \theta_f) = \frac{L_\lambda(\alpha_s, \theta_s; \alpha_f, \theta_f)}{E_\lambda(\alpha_f, \theta_f)} \quad (1)$$

Onde α_s e θ_s são respectivamente o ângulo azimutal e zenital do sensor, e α_f e θ_f são os ângulos azimutal e zenital da fonte (Sol).

Zênite é o ângulo complementar da altura, assim 90° menos a altura. Azimute é o ângulo medido sobre o horizonte, no sentido horário, com origem no Norte geográfico e extremidade no círculo vertical do astro. O azimute varia entre 0° e 360° (KEPLER, 2019).

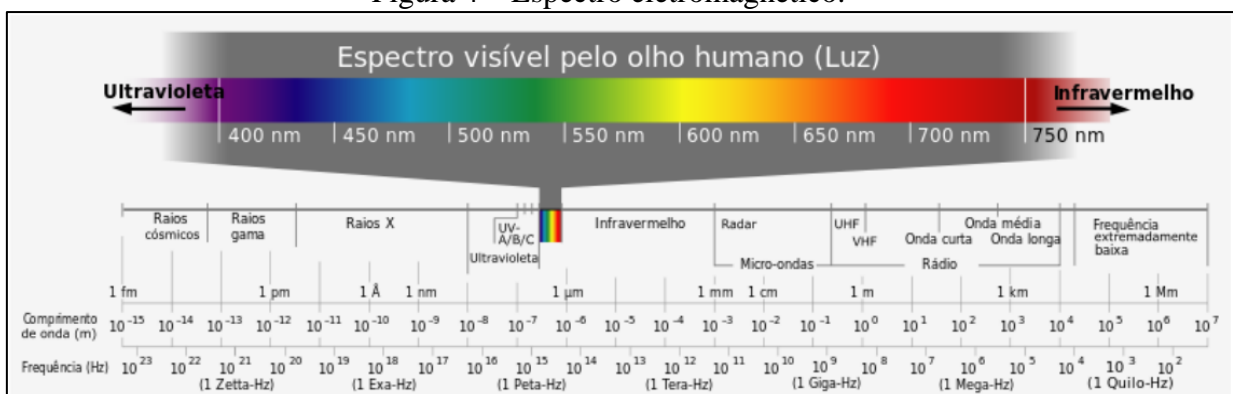
A rigor, a Refletância de um objeto é uma propriedade espectral que é inferida através do cálculo de Fatores de Refletância que relacionam a intensidade da radiação refletida por um objeto com a intensidade da radiação incidente em uma determinada região espectral (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS

2.3.1 O espectro eletromagnético

O produto do sistema sensor, na faixa visível do espectro, pode vir na forma pancromática e/ou multiespectral, para o olho humano, respectivamente, uma imagem em escala de cinza e uma imagem colorida (INPE, 2006). A Figura 4 ilustra o espectro eletromagnético visível aos nossos olhos.

Figura 4 – Espectro eletromagnético.



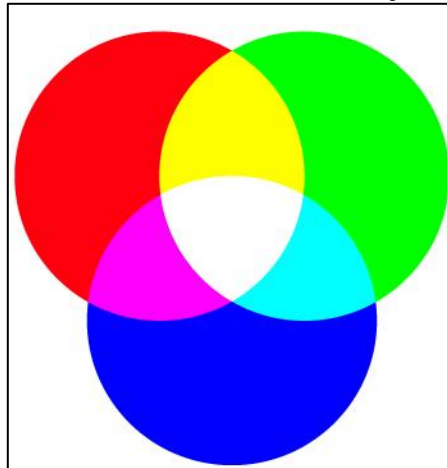
Fonte: HALLIDAY; RESNICK, Fundamentos de Física vol.4 – adaptado.

O espectro visível representa a radiação capaz de produzir a sensação de visão para o olho humano normal, composto por uma pequena variação de comprimento de onda, de 380 a

750 nm. Ele é importante para o Sensoriamento Remoto, pois imagens obtidas nesta faixa, geralmente, apresentam excelente correlação com a experiência visual do intérprete (INPE, 2006).

O processo de geração de cores na tela de um computador é baseado na adição de cores primárias R (do inglês *Red* - vermelho), G (do inglês *Green* - verde) e B (do inglês *Blue* - azul). A Figura 5 ilustra o processo aditivo de formação de cores. Nesse processo, filtros com cores primárias RGB são associados a cada uma das bandas. A intensidade de cada cor será modulada pelo nível digital de cada *pixel* da cena (0 a 255, para uma imagem com resolução de 8 bits). Um *pixel* que tenha nível 0 em todas as três bandas será reproduzido como preto na imagem colorida resultante. Um *pixel* que tenha nível 127 nas bandas associadas à cor vermelha (R) e verde (G) será exibido com a cor amarela e assim sucessivamente (NOVO, 2010).

Figura 5 – Processo aditivo de formação de cores.



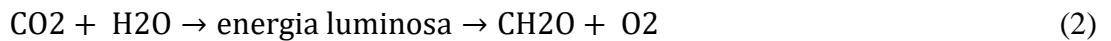
Fonte: Novo (2010)

2.3.2 Comportamento espectral da vegetação

Chamamos de comportamento espectral de alvos aos estudos relacionados com a obtenção de medidas a campo ou em laboratório, utilizando sensores denominados de espectrorradiômetros, com a finalidade de verificar como os alvos ou objetos refletem a energia incidente, em função das suas características bio-físico-químicas ao longo de determinadas faixas do espectro eletromagnético. Estes estudos propiciam definir adequadamente as bandas espectrais de sensores a bordo de satélites, além de permitir um

melhor entendimento sobre a interação da radiação eletromagnética com os objetos e consequentemente identificá-los de forma correta nas imagens dos satélites (INPE, 2001).

A fotossíntese na vegetação terrestre ocorre nas organelas dos cloroplastos, abundantes nas folhas das plantas. O processo de reação da fotossíntese pode ser resumido na Equação 2:



onde CO_2 e H_2O são combinados, estimulados pela absorção de luz para produzir carboidratos e liberar O_2 . Consequentemente, a estrutura das folhas é altamente evoluída para facilitar a fotossíntese. A estrutura das folhas permite regular o contato entre a atmosfera, que é a fonte do CO_2 , e as células mesófilas hidratadas, que contêm a água necessária, mantendo um ambiente óptico no qual a radiação fotossinteticamente ativa incidente pode interagir com as células que contêm cloroplasto onde ocorre a fotossíntese (TUCKER; SELLERS, 1986, tradução nossa).

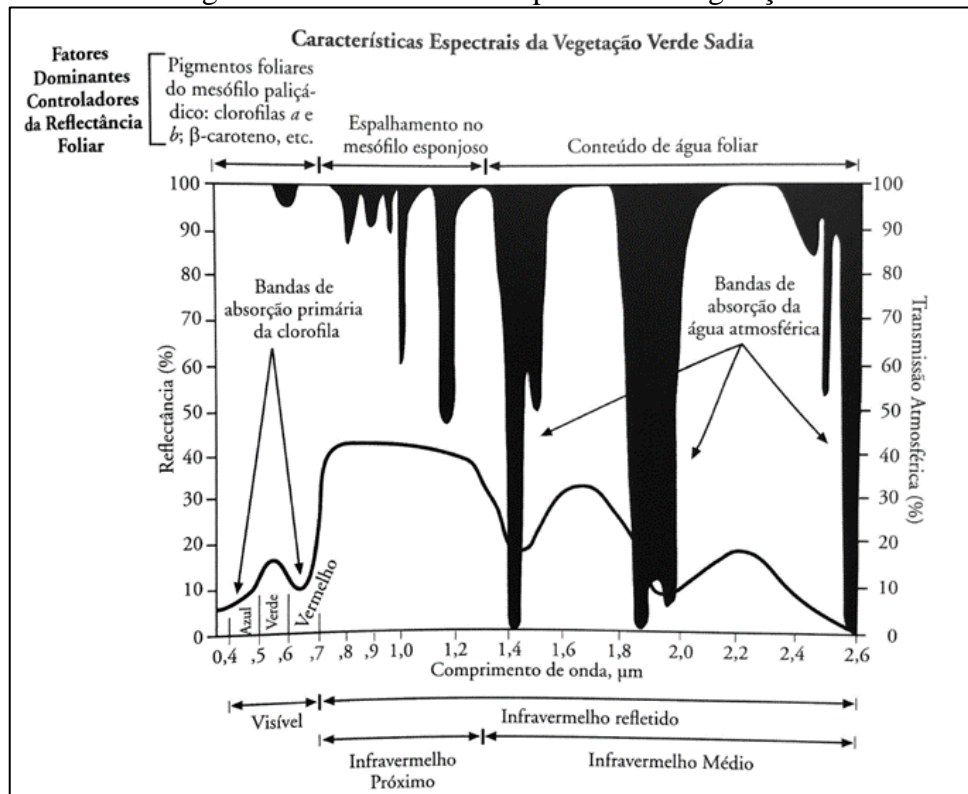
Segundo Thenkabail (2015), a bioquímica explica que a refletância das folhas no espectro visível é determinada por características de absorção dos pigmentos vegetais.

- Clorofila a (chl-a): absorve entre 0,41 e 0,43 μm e entre 0,60 e 0,69 μm ;
- clorofila b (chl-b): absorve entre 0,45 e 0,47 μm ;
- Carotenoides (por exemplo, β -caroteno e luteína): pico de absorção em bandas de onda menor que 0,5 μm ; e antocianinas.
- Lignina, celulose, proteína e nitrogênio: refletância relativamente baixa e forte absorção nas bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR, do inglês *Short-Wave InfraRed*) pela água que mascara outras características de absorção.

No entanto, as folhas secas não apresentam forte absorção de água e revelam absorções sobrepostas por compostos de carbono, como lignina e celulose, e outros bioquímicos vegetais, incluindo nitrogênio proteico, amido e açúcares (THENKABAIL, 2015).

A Figura 6 mostra a curva de refletância típica de uma folha verde.

Figura 6 - Características espectrais da vegetação.



Fonte: Jensen (2009)

Mais especificamente, o dossel das árvores e suas folhas utilizam primariamente da energia solar nas faixas do azul e do vermelho (450 e 650 nm respectivamente) para produção de fotossíntese, que ocorre na epiderme superior da planta (TUCKER; SELLERS, 1986).

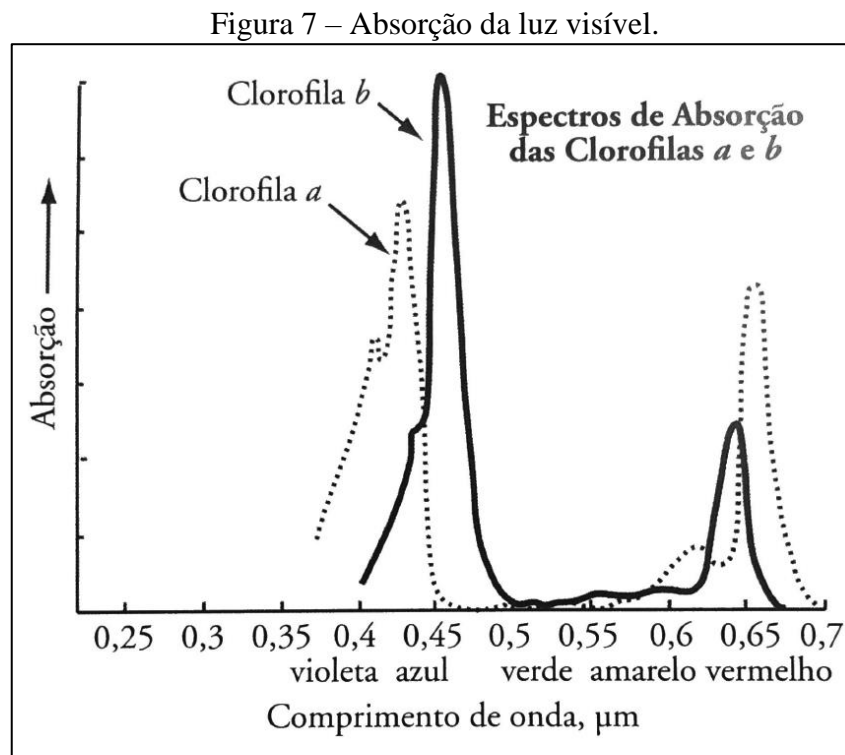
O intervalo espectral é dividido em três, sendo visível (0,4 μm a 0,72 μm), infravermelho próximo (0,72 μm a 1,1 μm) e infravermelho médio (1,1 μm a 2,5 μm). A forma da curva de refletância é definida por diferentes constituintes da folha (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Na região do visível os pigmentos existentes na folha dominam a propriedade em refletir radiação incidente. Geralmente encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%). Os valores percentuais destes pigmentos existentes nas folhas podem variar intensamente de espécie para espécie. A energia radiante interage com a

estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e convertida em calor ou fluorescência. Os pigmentos predominantes absorvem radiação na região do azul (próximo a $0,445 \mu\text{m}$), mas somente a clorofila absorve na região do vermelho ($0,645 \mu\text{m}$). A maioria das plantas são moderadamente transparentes na região do verde ($0,540 \mu\text{m}$) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Shul'gin e Keshnin (1959) estudaram 80 espécies e verificaram que a absorção da energia radiante na região de $0,550 \mu\text{m}$ a $0,670 \mu\text{m}$ aumenta proporcionalmente com o aumento do conteúdo de clorofila. Similar conclusão foi encontrada por Tageeva *et al.* (1960), que estudaram a correlação entre o conteúdo de clorofila e as propriedades ópticas de três espécies distintas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A energia na faixa do verde é menos utilizada, eis porque enxergamos a vegetação em tons esverdeados, como observamos na Figura 7. Este contraste de absorção e reflectância das faixas do vermelho e do infravermelho próximo é um dos motivos pelo qual grande parte dos índices de vegetação utiliza destas bandas para análise.

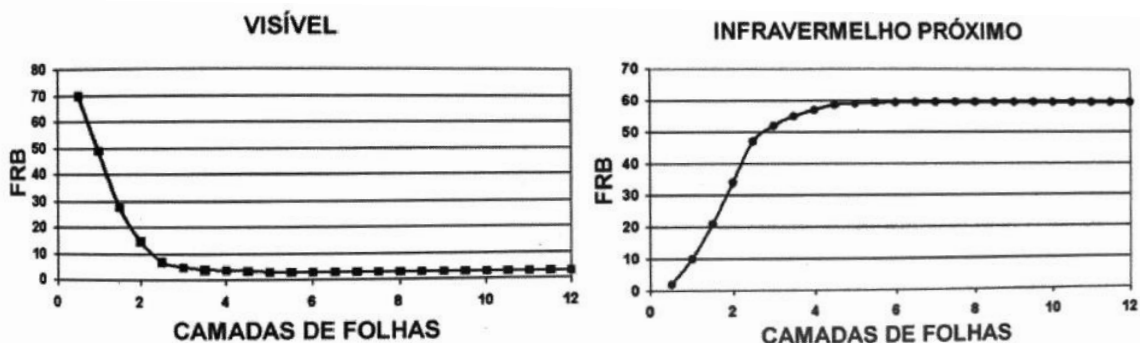


Fonte: Jensen (2009)

Imediatamente após a banda de absorção do vermelho causada pela clorofila, a transmitância e refletância das folhas vegetais aumentam, fazendo com que absorvância caia a valores muito baixos. É interessante observar que este fenômeno acontece em todo intervalo do infravermelho próximo (IVP) onde a luz solar direta incidente sobre as plantas tem o maior volume de energia. Se as plantas absorvessem esta energia com a mesma eficiência que acontece no visível, elas poderiam esquentar muito e, desta forma, as proteínas poderiam ser irreversivelmente danificadas. Assim, as plantas desenvolveram uma adaptação, de tal forma que elas não usam esta grande quantidade de energia do infravermelho próximo, simplesmente refletindo-a ou transmitindo-a para as camadas inferiores da folha ou para o solo (JENSEN, 2009).

Na região do infravermelho ocorre absorção pequena da radiação e considerável espalhamento interno da radiação na folha, a absorção da água é geralmente baixa nesta região, enquanto que a reflectância é quase constante. Fatores externos à folha, como disponibilidade de água podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar quantitativamente a reflectância de uma folha nesta região. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura foliar maior será o espalhamento interno e conseqüentemente, maiores serão os valores dos Fatores de Reflectância, como mostra a Figura 8 abaixo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Figura 8 – Reflectância em função do número de camadas de folhas.



Fonte: Ponzoni; Shimabukuro (2010)

Porém, quando trabalhamos com dosséis de verdade, não expressamos a quantidade de folhas pelo número de camadas e sim por um índice em área de folhas por área no terreno, o IAF (Índice de Área Foliar). Quanto maior o IAF de um dossel espera-se que a sua

reflectância seja menor na região do visível e maior no infravermelho próximo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

A alta refletância difusa da energia do infravermelho próximo (0,7 a 1,2 μm) é devida ao espelhamento interno causado pelas interfaces paredes celulares/ar de dentro da folha (Gausmann et al., 1969; Peterson e Running, 1989). Existe uma banda de absorção causada pelo vapor d'água localizada em 0,92 – 0,98 μm ; conseqüentemente, a região espectral ótima para o sensoriamento no infravermelho próximo é indicada como sendo em 0,74 – 0,90 μm (TUCKER, 1978).

As principais razões pelas quais os dosséis de plantas saudáveis refletem tanto no infravermelho próximo são as seguintes:

- A folha já reflete 40 a 60% da energia do IVP incidente devido ao mesófilo esponjoso;
- Os restantes 45 a 50% da energia penetram (ou seja, são transmitidos) na folha e podem ser refletidos uma vez mais pelas folhas abaixo (JENSEN, 2009).

2.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Desde a década de 1960, os cientistas vêm extraindo e modelando vários parâmetros biofísicos da vegetação com o uso de dados de sensoriamento remoto. Grande parte desse esforço tem envolvido o uso de índices de vegetação, que são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (JENSEN, 2009).

Os índices espectrais de vegetação são índices provenientes de algoritmos matemáticos, desenvolvidos para realçar a presença de vegetação na imagem, sem distorcer o conteúdo original e propriedade físico-química que a reflectância confere. Os índices espectrais podem ser definidos como a relação entre duas ou mais bandas espectrais, selecionados com o objetivo de realçar as diferenças entre estas bandas e identificar alvos específicos. Estes índices realçam o componente espectral da vegetação e correlacionam-se

com os parâmetros biofísicos da mesma, como a biomassa, o índice de área foliar (IAF) e percentagem de cobertura vegetal, entre outros (EPIPHANIO & FOMAGGIO, 1991).

Os índices de vegetação são transformações lineares da refletância do dossel, que podem utilizar algumas faixas do espectro eletromagnético relacionadas às características que se quer avaliar. Nesse sentido, possibilitam comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, facilitando, assim, o monitoramento sazonal, interanual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação (THENKABAIL; SMITH; PAUW, 2000).

Para cálculo de índices de vegetação os espectros mais usados são o do visível e do infravermelho. O infravermelho abrange a radiação com comprimentos de onda entre 0,75 µm a 1,0 µm e é facilmente absorvido pela maioria das substâncias, causando efeito de aquecimento (INPE, 2006).

Rouse *et al.* (1973) normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a +1, propondo o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI). Para alvos terrestres o limite inferior torna-se aproximadamente zero (0) e o limite superior aproximadamente 0,80 (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). A normalização é feita através da Equação 3 abaixo.

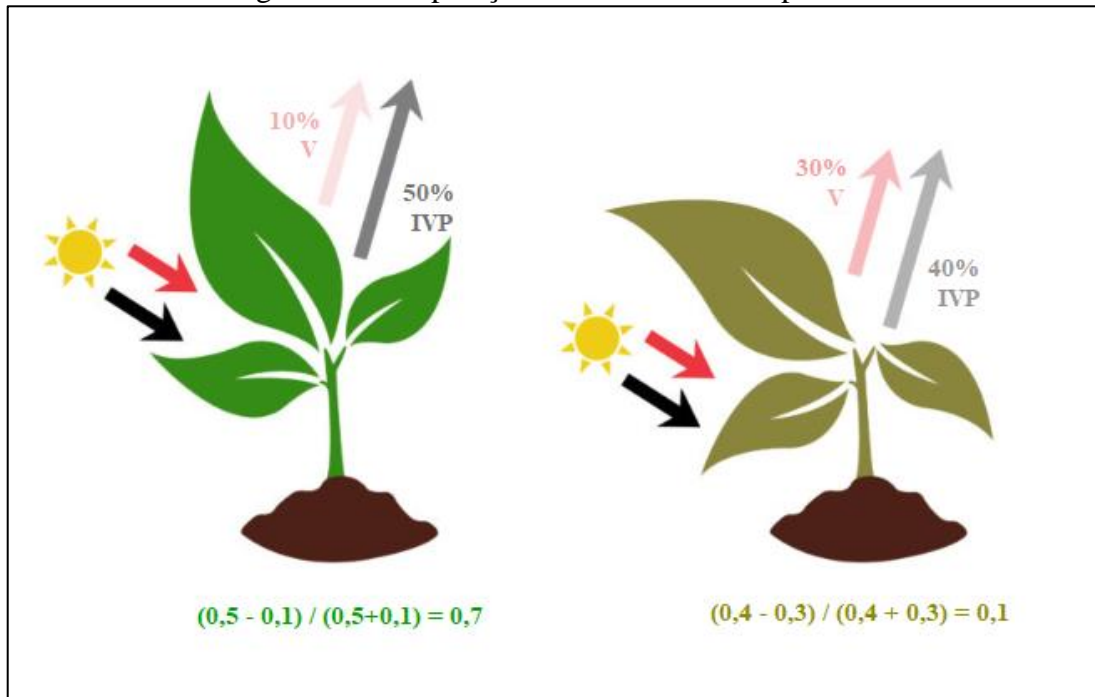
$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (3)$$

Onde $\rho(IVP)$ é o Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) para a banda do infravermelho próximo (IVP) e $\rho(V)$ é o FRB para a banda do vermelho (V). Este índice apresenta valores de -1 e 1, onde, quanto mais próximo de 1, a razão indica presença de uma vegetação vigorosa e saudável, e mais próximo de -1 representa geralmente corpos d'água. O NDVI é utilizado para amenizar as influências do solo, da atmosfera e as variações de ângulo do sol.

As plantas podem ser identificadas como saudáveis ou não com base no seu valor de refletância. Na Figura 9 temos um exemplo de como uma planta saudável, à esquerda, reflete

radiação do intervalo IVP em porcentagem muito maior que a planta estressada à direita, e o contrário se dá para a reflectância no visível.

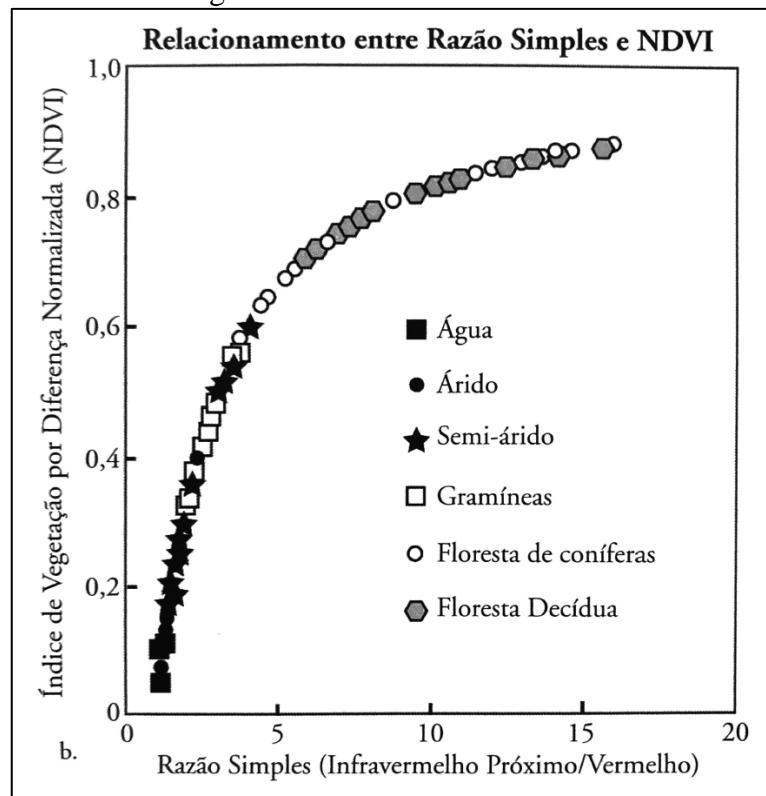
Figura 9 – Comparação da reflectância em plantas.



Fonte: Midwest Optical Systems, adaptado.

Trata-se de um índice amplamente utilizado até os dias atuais, tendo sido explorado em diferentes abordagens em estudos de culturas agrícolas, florestais e climáticos. Vale salientar, entretanto, que apesar do relativo sucesso de sua aplicação em estudos de vegetação, sua interpretação deve levar em consideração vários fatores limitantes (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). A Figura 10 mostra valores comuns do índice para determinados elementos.

Figura 10 – NDVI e uso do solo.



Fonte: Jensen (2009)

Os valores negativos estão associados a massas d'água, nuvens e neve, porque possuem refletâncias maiores na banda do vermelho em relação ao infravermelho próximo, tornando a razão da equação negativa. Valores positivos muito próximos a zero estão relacionados a solos expostos devido aos valores similares de refletância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, e, valores positivos relacionam-se com a vegetação, onde quanto mais próximo de um, mais vigorosa e densa é considerada a vegetação (PASCHOAL, 2010).

2.4.1 A missão LANDSAT

A série LANDSAT (do inglês *Land Remote Sensing Satellite*) teve início na segunda metade da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana e dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Essa missão foi denominada Earth Resources Technology Satellite (ERTS) e em 1975 passou a se chamar Landsat.

A antena de recepção do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) localizada em Cuiabá capta desde os anos 70 imagens de todo território nacional, o que representa um

enorme e único acervo de dados sobre nosso país. Este sistema orbital é ainda utilizado nas pesquisas realizadas pela Embrapa Monitoramento por Satélite (EMBRAPA, 2013).

Quadro 1 - Características dos satélites Landsat

Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey)							
País	Estados Unidos							
Satélite	Landsat 1	Landsat 2	Landsat 3	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 6	Landsat 7	Landsat 8
Lançamento	1972	1975	1978	1982	1984	1993	1999	2013
Instrumento Sensor	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	<u>ETM</u>	<u>ETM+</u>	OLI e TIRS

Fonte: EMBRAPA (2013)

O sensor ETM evoluiu para o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) lançado em 1999 a bordo do Landsat 7, cujas características são detalhadas no Quadro 2. Este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos Landsat, oferecendo a versatilidade e eficiência obtidas nas versões anteriores. O Satélite Landsat-7 foi lançado em 15/04/1999 e continua ativo.

Quadro 2 - Características do sensor ETM +

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Área Imageada
ETM	(B1) Azul	0.45 - 0.52 μm	30 m	16 dias	8 bits	184 km
	(B2) Verde	0.52 - 0.60 μm				
	(B3) Vermelho	0.63 - 0.69 μm				
	(B4) Infravermelho Próximo	0.76 - 0.90 μm				
	(B5) Infravermelho Médio	1.55 - 1.75 μm	60 m			
	(B6) Infravermelho Termal	10.4 - 12.5 μm	30 m			
	(B7) Infravermelho Médio	2.09 - 2.35 μm	15 m			
	(B8) Pancromático	0.52 - 0.90 μm				

Fonte: EMBRAPA (2013)

Em 31/05/2003 o sensor apresentou problemas de funcionamento e a partir dessa data as cenas do Landsat 7 foram enviadas em modo SLC-Off para serem utilizadas

necessitam de correções prévias e análise de acurácia no posicionamento e calibração dos *pixels* (EMBRABA, 2013).

2.5 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC)

O governo brasileiro protege as áreas naturais por meio de Unidades de Conservação (UC) - estratégia extremamente eficaz para a manutenção dos recursos naturais em longo prazo. Para atingir esse objetivo de forma efetiva e eficiente, foi instituído o Sistema Nacional de Conservação da Natureza (SNUC), com a promulgação da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. A Lei do SNUC representou grandes avanços à criação e gestão das UC nas três esferas de governo (federal, estadual e municipal), pois ele possibilita uma visão de conjunto das áreas naturais a serem preservadas (MMA, 2019).

As Unidades de Conservação geralmente possuem algum plano de gestão ou manejo que visa implantar melhorias e proteger a biodiversidade da área, dentro dos diversos objetivos do planejamento estão as ações de recuperação e monitoramento da cobertura vegetal.

O Plano de Manejo é um documento técnico de planejamento que reúne um conjunto de informações sobre a unidade de conservação e sua região e também de diretrizes e orientações para que os gestores e colaboradores alcancem seus objetivos de conservação, cumprindo seu papel perante a sociedade (FATMA, 2014).

As Unidades de Conservação (UC) são espaços territoriais, incluindo seus recursos ambientais, com características naturais relevantes, que têm a função de assegurar a representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, preservando o patrimônio biológico existente (MMA, 2019). As UCs se dividem em dois grupos:

2.5.1 Unidades de Proteção Integral

Nesse grupo é permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais; ou seja, aquele que não envolve consumo, coleta ou dano aos recursos naturais. Exemplos de atividades de uso indireto dos recursos naturais são: recreação em contato com a natureza, turismo ecológico, pesquisa científica, educação e interpretação ambiental, entre outras. As categorias de proteção integral são: estação ecológica, reserva biológica, parque, monumento natural e refúgio de vida silvestre (MMA, 2019).

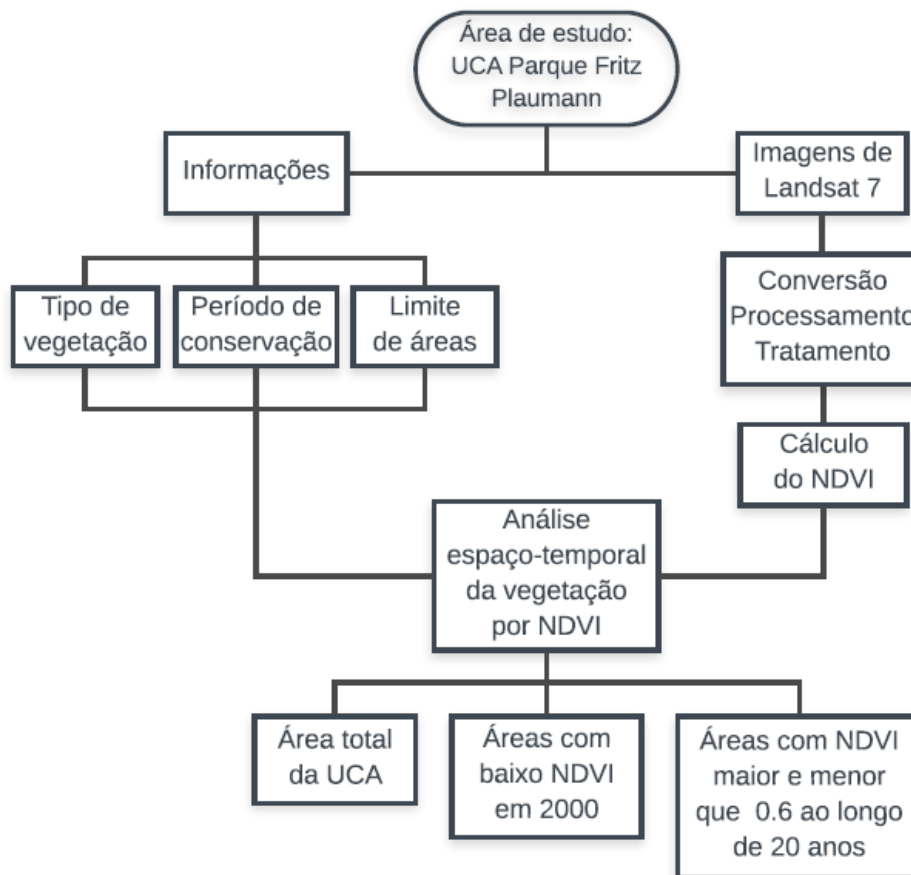
2.5.2 Unidades de Uso Sustentável

Nesse grupo, atividades que envolvem coleta e uso dos recursos naturais são permitidas, mas desde que praticadas de uma forma que a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos esteja assegurada. As categorias de uso sustentável são: área de relevante interesse ecológico, floresta nacional, reserva de fauna, reserva de desenvolvimento sustentável, reserva extrativista, área de proteção ambiental (APA) e reserva particular do patrimônio natural (RPPN) (MMA, 2019).

3 METODOLOGIA

Com o objetivo de apresentar uma visão geral do método, temos na Figura 11 abaixo um fluxograma da metodologia adotada nesta análise espaço-temporal da área de estudo. Os próximos parágrafos abordam todos os dados que foram usados para obter os resultados.

Figura 11- Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autora.

3.1 PERÍODO DE ESTUDO

A Usina de Itá foi a primeira usina hidrelétrica localizada na bacia do Rio Uruguai, a mesma gera energia desde o dia 24 de outubro de 2000, e este ano completou 19 anos em operação. Uma vez alagada, as áreas adjacentes formaram a bacia de acumulação à montante da barragem, alterando o nível d'água e formando ilhas, sendo uma delas a que faz parte do Parque Fritz Plaumann. Para validar esta análise temporal do estado da vegetação foi determinado um período de aproximadamente 20 anos, que abrange o início da operação, a

criação da UCA (em 24 de setembro de 2003) até os dias atuais, sendo a última imagem analisada 14 de agosto de 2019.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é definida pelos limites da Unidade de Conservação Ambiental (UCA) Parque Fritz Plaumann, localizada na cidade de Concórdia, em Santa Catarina. Criada na esfera de governo estadual sob gestão do IMA (Instituto do Meio Ambiente de Estado de Santa Catarina), a UCA pertence ao grupo de Unidades de Proteção Integral, como já mencionado, com normas mais restritivas para uso indireto de seus recursos.

Figura 12 – Localização do Parque em SC.



Fonte: Plano de Manejo - FATMA (2014)

A probabilidade de dias com precipitação em Concórdia varia ao longo do ano. A estação de maior precipitação dura 5,6 meses, de 26 de setembro a 13 de março, com probabilidade acima de 43% de que um determinado dia tenha precipitação. A probabilidade máxima de um dia com precipitação é de 58% em 11 de fevereiro. A estação seca dura 6,4 meses, de 13 de março a 26 de setembro. A probabilidade mínima de um dia com precipitação é de 28% em 13 de agosto (Weather Spark, 2019).

3.2.1 Quanto à usina

Localizada no rio Uruguai, no município de Aratiba (RS), a Usina Hidrelétrica de Itá (UHIT) entrou em operação em 2000. Possui 1.450 MW de capacidade instalada, em cinco unidades geradoras com turbinas verticais tipo Francis de 290 MW cada. Em conformidade com o projeto, a implantação do reservatório a fio d'água de 141 km² da hidrelétrica resultou na construção de uma nova cidade, a nova Itá, em Santa Catarina, atualmente um polo turístico para sua região, que manteve as tradições e arquitetura da que a antecedeu (ENGIE, 2019).

Figura 13 – Vertedouro da Usina de Hidrelétrica de Itá



Fonte: Tractebel (2001)

A concessão da Usina tem validade até 2030 e pertence ao Consórcio Itá, no qual a ENGIE participa majoritariamente com 77,7% da capacidade instalada e dispõe de 564,7 MW médios da garantia física para comercialização. A Usina Hidrelétrica de Itá é operada pela ENGIE e possui certificação segundo as normas de gestão ISO 9001 e 14001, da qualidade e do meio ambiente, e OHSAS 18001, da saúde e segurança no trabalho (ENGIE, 2019).

Por ser um dos maiores empreendimentos da Engie no Brasil, e tendo sido possível visitar esta área, ela foi escolhida como tema desta análise, tendo como foco a UCA Parque Fritz Plaumann, indicada na Figura 14 abaixo.

Figura 14 – Localização da UCA na bacia de acumulação



Fonte: Autora

3.2.2 Quanto à UCA Parque Fritz Plaumann

Criado pelo Decreto Estadual nº 797, de 24 de setembro de 2003 como medida de compensação ambiental pelos impactos ambientais gerados pelo aproveitamento hidrelétrico da Usina Itá, localizada entre os municípios de Itá/SC e Aratiba/RS, na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, o Parque Fritz Plaumann é composto de três grandes áreas (continente, ilha e área remanescente) totalizando 783 ha como mostra a Tabela 1.

Polígono	Área (ha)
Remanescente	58
Continente	493
Ilha	232
Total	783

Fonte: Autora.

O nome da Unidade de Conservação é uma homenagem ao entomólogo alemão Fritz Plaumann pelos trabalhos ambientais entomológicos desenvolvidos na região e com

significativa contribuição para todo o Brasil. A floresta Estacional Decidual é uma das formações florestais mais ameaçadas do Bioma Mata Atlântica e a mais ameaçada no estado de Santa Catarina. Nos remanescentes de florestais do Parque e de seu entorno já foram registradas 232 espécies de aves, 25 espécies de mamíferos de grande e médio porte e 35 espécies de répteis e anfíbios, muitos deles ameaçados de extinção (IMA, 2019).

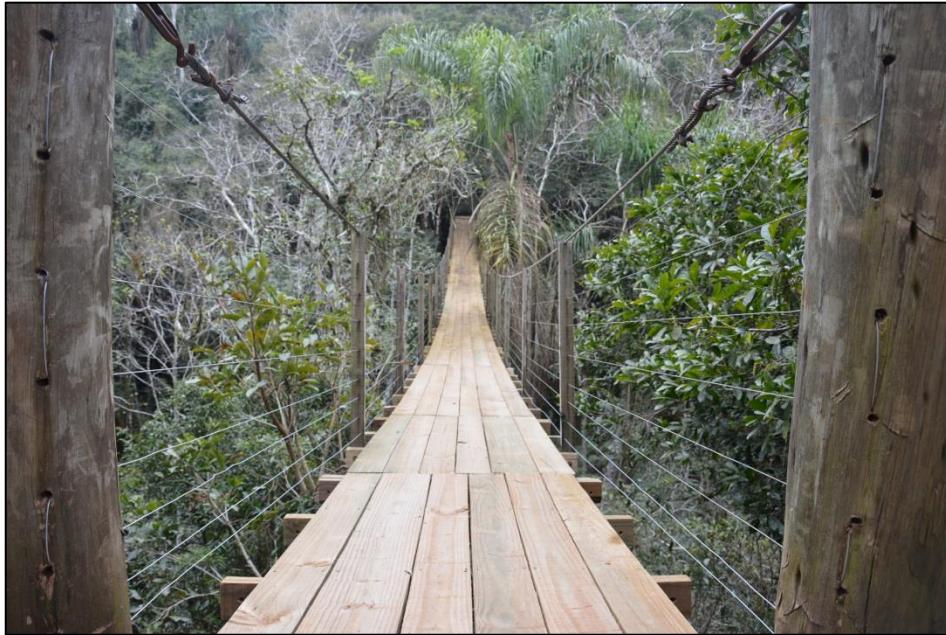
Figura 15 – Vegetação típica do Parque.



Fonte: Galeria do site do Parque (2013)

Em relação à vegetação o Parque abriga espécies típicas como a Canafístula (*Pelthoporum dubium*), Grápia (*Apuleia leiocarpa*), Angico-Vermelho (*Parapiptadenia rigida*) e o Cedro (*Cedrela fissilis*). Ainda resguarda em sua área a bromélia do estreito (*Dyckia distachya*), espécie endêmica da calha do rio Uruguai (IMA, 2019).

Figura 16 - Ponte pênsil no Parque.



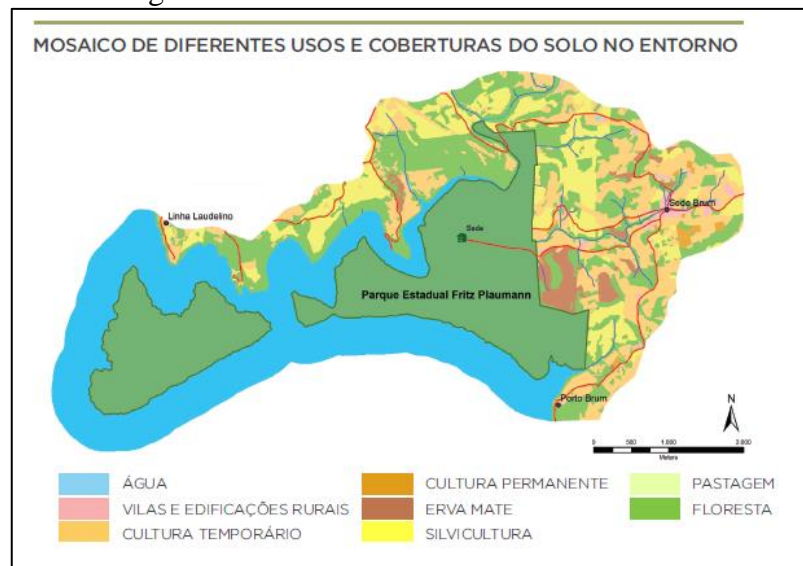
Fonte: IMA (2019)

O objetivo geral da Unidade é contribuir para a conservação, valorização e regeneração da Floresta do Rio Uruguai que existe no Parque e em seu entorno, contando com o envolvimento da sociedade em ações de proteção, educação e interpretação ambiental, pesquisa científica, ecoturismo, esportes de aventura, recreação em contato com a natureza e de desenvolvimento rural sustentável (FATMA, 2014).

Dentre os objetivos específicos do Plano de Manejo estão:

- Conservar amostras da Floresta do Rio Uruguai, formação florestal altamente ameaçada do Bioma Mata Atlântica;
- Promover e acompanhar a regeneração das florestas da Unidade e de seu entorno;
- Preservar e valorizar espécies da fauna e da flora ameaçadas de extinção ou raras.

Figura 17 - Uso e cobertura do solo em 2013.



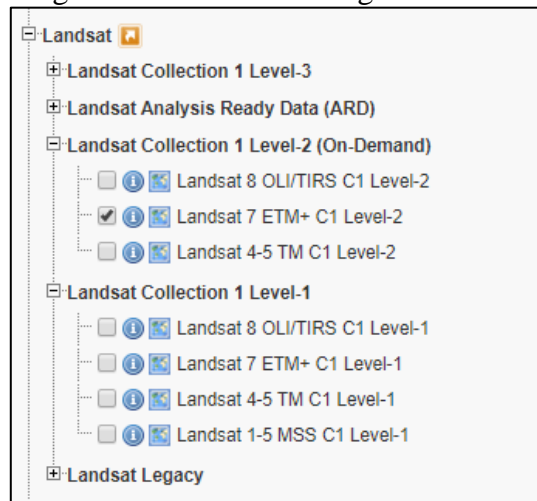
Fonte: FATMA (2014)

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

3.3.1 Imageamento

Dentre as opções de imagens de satélite disponibilizadas gratuitamente nas bandas necessárias para a equação do NDVI, foram colhidas imagens C1 (Coleção 1) do Landsat-7, que estão disponíveis para download na plataforma Earth Explorer da USGS (United States Geological Survey). Os dados do nível 1 da Coleção 1 do Landsat não são corrigidos para as condições atmosféricas, no entanto, os produtos da Landsat Science mostrado na Figura 18, que inclui a refletância da superfície do nível 2 já são corrigidos para as condições atmosféricas (USGS, 2019 – tradução nossa).

Figura 18 – Banco de imagens Landsat.

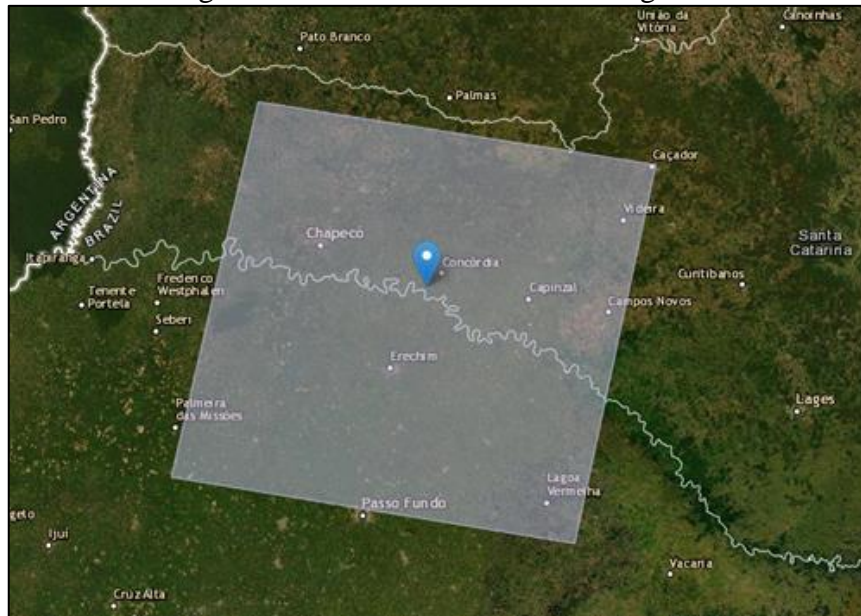


Fonte: Earth Explorer USGS (2019)

As imagens do satélite Landsat 7 são consideradas de baixa resolução espacial (30 metros), ainda assim é possível utilizá-las nesta análise pois a área total da UCA é de 783 hectares. O satélite Landsat 7 está em órbita desde 15/04/1999, ou seja, antes da UHIT entrar em operação, e até hoje é possível obter imagens deste mesmo satélite, de tal modo que fornece imagens suficientes para todo o período de 20 anos de análise da vegetação da UCA.

As imagens do Landsat-7 obtidas através do sensor ETM + consistem em oito bandas espectrais com uma resolução espacial de 30 metros para as bandas 1 a 7. A resolução da banda 8 (pancromática) é de 15 metros (USGS, 2019 – tradução nossa). Como mostrado na Figura 19 abaixo, o tamanho aproximado da cena é de 170 km norte-sul por 183 km leste-oeste.

Figura 19 – Cena de tomada das imagens.



Fonte: USGS Earth Explorer (2019)

As cenas foram tomadas em datas diferentes do ano, sendo possível haver alguns meses de diferença entre uma mesma cena tomada, porém para que não haja tamanha discrepância foram escolhidas imagens da estação seca, já que o teor de umidade é um dos fatores que pode alterar o comportamento espectral da vegetação. Tais alterações na resposta espectral de alvos poderão ser justificadas pela sazonalidade das imagens utilizadas para compor a análise espaço-temporal e também pela oscilação do nível da lamina d'água, que reduz a área visível de vegetação nas bordas da UCA, principalmente na ilha.

Os movimentos de rotação e translação da terra também afetam a quantidade de radiação recebida pela superfície terrestre ao longo do ano. A radiação solar recebida no topo da atmosfera varia entre os períodos de afélio e periélio. Essa variação sazonal e de latitude afeta como a superfície nas margens do reservatório absorvem e refletem a luz solar. Portanto, a aquisição das imagens na mesma época do ano é imprescindível para preservar a consistência radiométrica das imagens obtidas pelo satélite.

3.3.2 Ferramentas

O software ArcGIS 10.2.2 (ArcMap) desenvolvido pela ESRI foi usado para o geoprocessamento, tratamento, ajuste e cálculo de estatísticas das imagens. A análise do NDVI ao longo dos anos foi baseada nas imagens multiespectrais do satélite Landsat-7, mais

especificamente a banda 3 e banda 4, correspondente ao comprimento de onda do vermelho e do infravermelho próximo.

As fotografias em formato .tif (raster) foram manipuladas por diversas ferramentas da extensão Spatial Analyst e Data Management. A caixa de ferramentas Data Management (Gerenciamento de Dados) permite desenvolver, gerenciar e manter classes de recursos, conjuntos de dados, camadas e estruturas de dados rasterizadas, e neste estudo foi usada para compor bandas e recortar imagens no formato da área de interesse. Já a extensão *Spatial Analyst* (Analista Espacial) fornece ferramentas de análise e modelagem espacial para dados rasterizados (baseados em células, ou pixels) e de recursos (vetoriais), foi a ferramenta mais usada, para extrair por máscara, calcular estatísticas do *raster* e estabelecer valores nulos.

3.4 PROCEDIMENTOS

3.4.1 Tratamento e processamento de imagem

Após download das imagens Landsat foi feita a conversão do sistema de coordenadas planas de WGS 1984 para SIRGAS 2000 UTM Zona 22S já que este era o sistema pelo qual foram determinados os limites da área de estudo. A conversão é feita com a ferramenta Projeter Raster.

Primeiramente, foi necessário fazer a composição das bandas através da ferramenta *Composite Bands* combinando azul, verde, vermelho e infravermelho próximo para criar uma única imagem para cada ano no período de 2000 a 2019, assim foi verificado que as imagens de 2004, 2005, 2009, 2016 e 2017 não estavam adequadas, seja devido à cobertura excessiva de nuvens ou presença de ruídos (falhas).

Sobrepondo o perímetro da UCA sobre a imagem Landsat foi verificado um pequeno deslocamento que foi ajustado manualmente pelo Editor de camadas. A janela Análise de Imagem (do inglês *Image Analysis*) dá acesso à diversas ferramentas de processamento, incluindo o cálculo do NDVI.

O NDVI, por difundido pela comunidade científica e também aceito pelos órgãos licenciadores ambientais no Brasil, foi adotado nesta pesquisa para estudo de estado da vegetação dentro dos polígonos que delimitam a UCA Parque Fritz Plaumann. A ferramenta NDVI realiza a subtração entre as bandas do infravermelho e do vermelho para obter o índice, como já explicado na revisão bibliográfica e indicado nas Equações 4 e 5 abaixo.

$$\text{NDVI} = \rho(\text{IVP}) - \rho(\text{V}) / \rho(\text{IVP}) + \rho(\text{V}) \quad (4)$$

$$\text{NDVI} = (\rho(\text{banda 4}) - \rho(\text{banda 3})) / (\rho(\text{banda 4}) + \rho(\text{banda 3})) \quad (5)$$

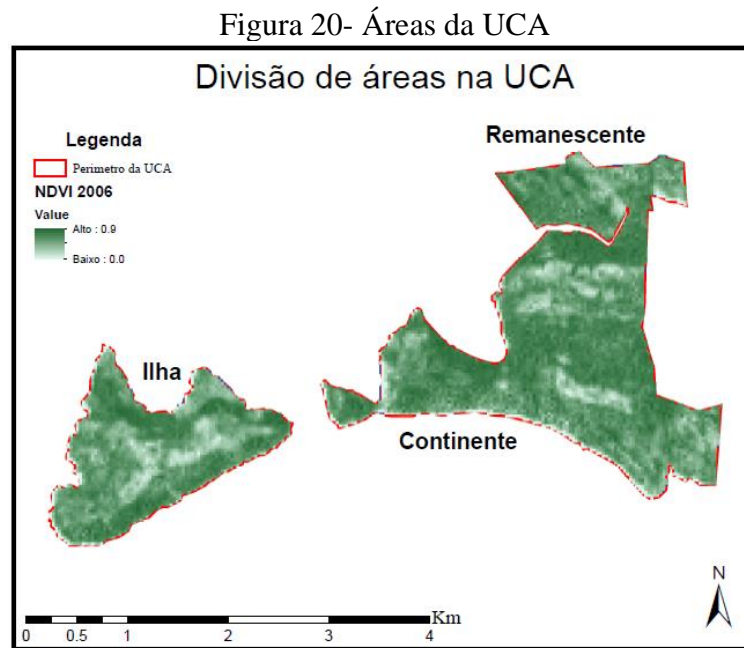
Onde $\rho(\text{IVP})$ representa o Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) do Infravermelho Próximo e $\rho(\text{V})$ o FRB do Vermelho. Sendo a banda 3 do vermelho e banda 4 do infravermelho próximo, de acordo com a configuração do sensor ETM+. Cada sensor possui sua própria configuração de bandas, sendo necessário identificar qual número corresponde a qual intervalo espectral, contudo geralmente a ordem crescente dos números de bandas equivale à ordem crescente em intervalos de comprimento de onda.

O cálculo do NDVI gera um novo arquivo .tif, que geralmente apresenta alguns valores negativos, que logo serão desconsiderados através da ferramenta *Raster Calculator – SetNull ("NDVI.tif" < 0, "NDVI.tif")* - determinando que todos os valores negativos de NDVI sejam considerados nulos (NoData). Essa etapa é necessária, pois a área de estudo é cercada por água, elemento caracterizado por apresentar valores negativos de NDVI.

Para realizar a análise espaço-temporal das variações de biomassa entre 2000 e 2019 foram feitas três abordagens principais, primeiro o cálculo do índice para toda a extensão da UCA e numa segunda perspectiva com foco nas áreas determinadas como áreas mais críticas, que apresentavam NDVI menor que 0,6 no primeiro ano de operação da usina, já que nestas áreas espera-se um aumento mais significativo na regeneração da biomassa ao longo do tempo e espaço.

3.4.2 Análise espaço-temporal da UCA Parque Fritz Plaumann

A análise para toda a extensão da UCA foi através da ferramenta *Zonal Statistics as Table* que permite calcular valores máximos, mínimos, média e desvio padrão para cada atributo dentro de um arquivo de camada (*shape*) e ao final gera uma tabela de resultados. A Figura 20 mostra a localização das três áreas pertencentes ao Parque.



Fonte: Autora

3.4.3 Análise temporal da área crítica

Primeiramente foi feita uma classificação supervisionada e notou-se que não ficou muito preciso, pois a imagem tem resolução espacial de 30 metros, sendo difícil reconhecer a olho nu as classes de cobertura da terra.

Valores muito baixos de NDVI (0.1 e abaixo) correspondem a áreas áridas de rocha, areia ou neve. Valores moderados representam arbustos e pastagens (0,2 a 0,3), enquanto valores altos indicam florestas tropicais temperadas e tropicais (0,6 a 0,8) (NASA, 2000).

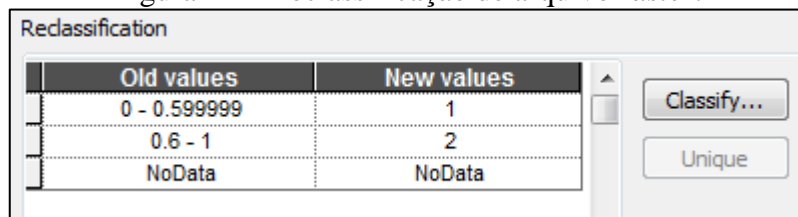
Na análise temporal, o foco do estudo é a evolução do estado da vegetação ao longo do tempo dentro de uma área definida por um limite, este limite foi escolhido considerando que onde se encontra valores de NDVI menores que 0,6 temos a presença de uma cobertura

vegetal mais escassa, sendo assim uma vegetação ainda não consolidada no âmbito de uma Unidade de Conservação.

Logo, numa nova abordagem, o *raster* do NDVI de 2000 foi usado para reclassificar a imagem em duas categorias, uma com todos os *pixels* de valores de NDVI iguais ou maiores que 0,6 e outra com todos os *pixels* de valores de NDVI abaixo de 0,6. Esta análise temporal numa área delimitada permite observar como a vegetação mais degradada do Parque evoluiu ao longo dos 20 anos.

A ferramenta *Reclassify* foi usada para unir os *pixels* com NDVI menor que 0,6 (no ano de 2000) todos em uma única classe, formando assim nova camada para delimitar esta área crítica sobre o arquivo NDVI dos anos seguintes, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Reclassificação de arquivo *raster*.



Old values	New values
0 - 0.599999	1
0.6 - 1	2
NoData	NoData

Fonte: Autora.

A partir deste novo perímetro criado foram recortadas as imagens dos anos seguintes para descobrir o valor médio do NDVI dentro desta área inicialmente crítica. Neste caso a informação do valor médio consta na tabela de propriedades do *raster* recortado, este recorte foi feito pela ferramenta *Extract by Mask* (Extração por Máscara).

3.4.4 Análise espacial da área crítica

Finalmente, o *raster* do NDVI de cada ano foi usado para reclassificar a imagem nas duas categorias já mencionadas no capítulo anterior. Esta análise espacial foi feita para os anos de 2000, 2003, 2007, 2010, 2014 e 2019 visando obter a extensão e porcentagem de área ocupada por cada uma das duas categorias (NDVI médio < 0,6 e NDVI médio > 0,6).

Assim foi necessário usar a ferramenta *Reclassify* ano a ano, além de desconsiderar os *pixels* localizados nas bordas próximas da água (que não representam o valor real do

NDVI, mas acabaram não sendo anulados no tratamento anterior, pois não são negativos, mas sim muito próximos de zero, entrando na categoria $NDVI < 0,6$).

Foram selecionados somente os pixels que não estavam nas bordas para gerar a tabela de atributos que foi usada no cálculo da área, garantindo que estes valores de reflectância realmente representavam a vegetação, e não a água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA UCA

Como resultado do cálculo do NDVI para a toda a extensão da UCA temos os seguintes valores médios apresentados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - NDVI médio da UCA Parque Fritz Plaumann

Mês	Ano	Área			
		Remanescente	Continente	Ilha	UCA
Maio	2000	0.7414	0.7253	0.6799	0.7130
Agosto	2001	0.6903	0.6958	0.6424	0.6795
Junho	2002	0.7156	0.7026	0.6829	0.6977
Agosto	2003	0.6662	0.7159	0.6653	0.6972
Maio	2006	0.7620	0.7458	0.7316	0.7427
Setembro	2007	0.6955	0.7219	0.7011	0.7138
Agosto	2008	0.7540	0.7674	0.7341	0.7565
Setembro	2010	0.7353	0.7389	0.7028	0.7279
Agosto	2011	0.7597	0.7509	0.7146	0.7408
Agosto	2012	0.7336	0.7136	0.6970	0.7101
Setembro	2013	0.7252	0.7210	0.7008	0.7153
Julho	2014	0.7765	0.7636	0.7500	0.7605
Abril	2015	0.8235	0.8103	0.8074	0.8104
Agosto	2018	0.7812	0.7724	0.7523	0.7671
Agosto	2019	0.7737	0.7742	0.7598	0.7697

Fonte: Autora.

É notável um aumento mais acentuado na média do NDVI de 2003 para 2006, o primeiro sinal de aumento da biomassa após a criação do Parque. Já de 2000 a 2003 temos uma queda no valor do índice que se dá possivelmente pelo fato da área não estar sob proteção da legislação ambiental nesses três primeiros anos.

Contudo alguns anos apresentam uma diminuição mesmo após criação do Parque, o que pode ser um efeito do regime de chuvas, teor de humidade sazonalidade já que nem todas as imagens são do mesmo mês. No geral, analisando o período entre 2003 e 2019, temos um acréscimo de 0,0725 no NDVI médio da UCA inteira como mostra a Tabela 3, com destaque para o valor de 0,7697 para NDVI médio geral em 2019.

Tabela 3 - NDVI médio UCA no período

Ano	Remanescente	Parque	Ilha	Geral
2000	0.7414	0.7253	0.6799	0.7130
2003	0.6662	0.7159	0.6653	0.6972
2019	0.7737	0.7742	0.7598	0.7697
Queda	0.0751	0.0094	0.0147	0.0158
Aumento	0.1075	0.0582	0.0945	0.0725

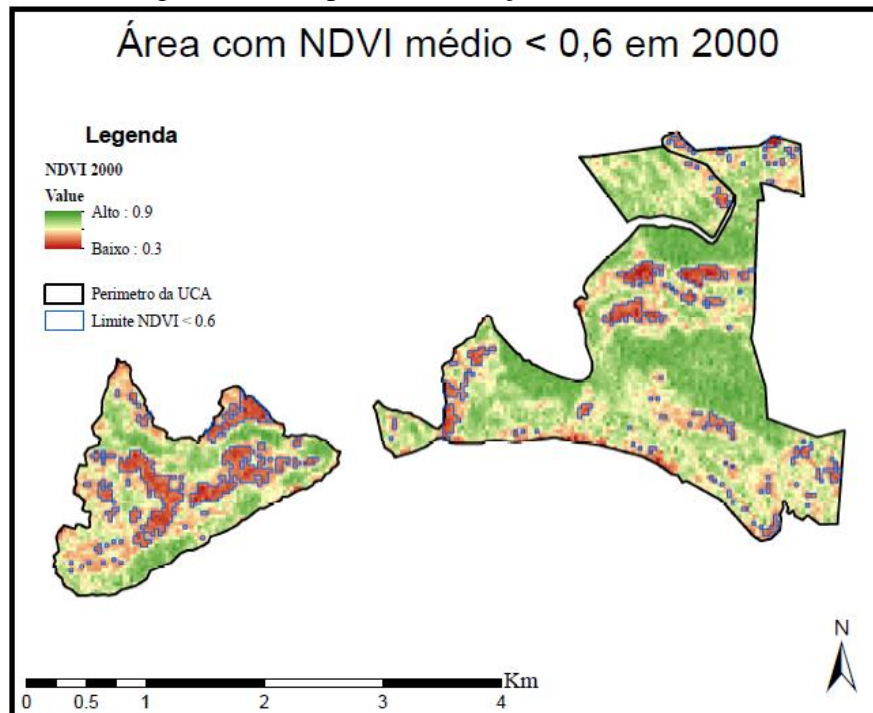
Fonte: Autora.

Subtraindo o valor do índice de 2003 de 2000 notamos uma queda de 0,0158 em três anos dessa área sem proteção, seguindo nessa tendência poderia haver redução de 0,0842 no NDVI médio da área total até 2019, resultando em um valor de 0,6130 na extensão total e de 0,4750 nas áreas mais degradadas.

4.2 ANÁLISE TEMPORAL DA ÁREA CRÍTICA

Delimitadas pela linha azul, temos a localização das áreas críticas no mapa da Figura 22 abaixo. Esta área representava em 2000, aproximadamente 10% do total do Parque quando ainda não era uma UCA.

Figura 22 – Mapa de localização das áreas críticas



Fonte: Autora.

Os valores médios do índice na área identificada com NDVI abaixo de 0,6 no ano de 2000 são apresentados na Tabela 4 abaixo, onde houve um aumento de 0,1647 no NDVI médio ao longo dos 20 anos de operação da UHIT. Houve um aumento significativo a partir de 2003 quando foi implantada a Unidade de Conservação, comparando com o resultado de 2006.

Tabela 4 – NDVI médio na área inicialmente crítica.

Mês	Ano	NDVI médio
Maio	2000	0.5634
Agosto	2001	0.5672
Junho	2002	0.6062
Agosto	2003	0.5592
Maio	2006	0.6492
Setembro	2007	0.6065
Agosto	2008	0.6426
Setembro	2010	0.6282
Agosto	2011	0.6495
Agosto	2012	0.6349
Setembro	2013	0.6272
Julho	2014	0.7107
Abril	2015	0.7763
Agosto	2018	0.7185
Agosto	2019	0.7239

Fonte: Autora.

Destaque para a pequena queda de 2000 para 2003 e o grande aumento no índice de 2003 a 2019, nas áreas inicialmente críticas na Tabela 5.

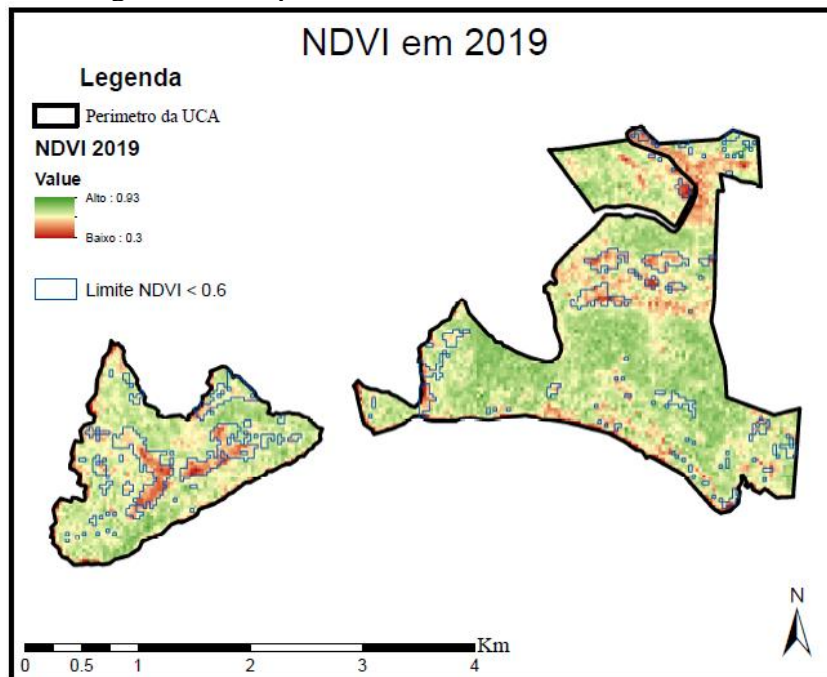
Tabela 5 – Aumento do NDVI

Ano	NDVI
2000	0.5634
2003	0.5592
2019	0.7239
Queda	0.0042
Aumento	0.1647

Fonte: Autora.

Na Figura 23 é possível notar um deslocamento e diminuição das áreas com baixo valor de NDVI nas áreas inicialmente críticas.

Figura 23 - Mapa do NDVI médio da UCA em 2019.



Fonte: Autora.

4.3 ANÁLISE ESPACIAL DA ÁREA CRÍTICA

A área em hectares e em porcentagem identificada com NDVI abaixo de 0,6 nos anos de 2000 a 2019 é apresentada na Tabela 6 e Tabela 7 abaixo, onde há uma diminuição da extensão ocupada por vegetação de baixo NDVI, inversamente a um aumento de área ocupada por alto NDVI, em hectares.

Tabela 6 – Área em hectares

Ano	Área (ha) NDVI < 0.6	Área (ha) NDVI ≥ 0.6
2000	83.14	687.87
2003	138.78	622.89
2007	66.87	694.44
2010	37.62	721.80
2014	3.15	744.57
2019	0.81	766.62

Fonte: Autora.

Vemos na Tabela 7 que a área ocupada por vegetação densa só aumentou ao longo dos anos e hoje o que resta nessa condição representa apenas 0,81 ha, ou seja, equivalente a

0,11 % do Parque. A cobertura do solo com $NDVI < 0.6$ foi reduzida a uma área quase 100 vezes menor.

Tabela 7 – Área em percentual do total

Ano	Área (%) NDVI < 0.6	Área (%) NDVI ≥ 0.6
2000	10.78	89.22
2003	18.22	80.79
2007	8.78	91.22
2010	4.95	95.05
2014	0.42	99.58
2019	0.11	99.89

Fonte: Autora.

Os mapas de cada ano e as tabelas de atributos extraídas o ArcGIS para os cálculos podem ser consultados no Anexo.

5 CONCLUSÃO

Houve considerável regeneração na vegetação de toda a área de estudo. Em sua maior parte já se caracterizava como floresta densa, e se manteve neste estado, o ganho foi no aumento dos valores médios de NDVI dentro da mesma classe. Já as áreas inicialmente críticas se destacaram, pois nelas o aumento do índice foi suficiente para mudança de vegetação escassa para densa, além do notável ganho em extensão de cobertura vegetal considerada densa.

Apresentar os resultados em diferentes abordagens é muito importante para evidenciar a regeneração que ocorreu no Parque, pois vemos um aumento muito maior no índice, logo no incremento de biomassa, quando se calcula o NDVI somente nas áreas inicialmente mais degradadas, ou ainda no último tópico quando se mede a redução da área ocupada pela vegetação no pior estado.

Pode-se dizer que atualmente o Parque está coberto por vegetação densa em toda sua extensão, e consolidada, pois não somente em 2019, mas ao longo dos últimos anos não teve redução no valor do índice nem na distribuição espacial da vegetação densa. Mesmo no pior cenário, a área inicialmente crítica não apresentou valores médios de NDVI menores que 0,6 desde o ano de 2006, e, além disso, nos últimos cinco anos se manteve acima de 0,7 como foi mostrado na Tabela 4.

Os dados obtidos neste estudo podem ser úteis para as seguintes aplicações:

- Elaboração de mapas e relatórios para órgão ambiental, além de compor uma base de dados para monitoramento ambiental e renovação da L.O, podendo ser definido como método para as outras usinas da empresa.
- Tomada de decisão na gestão ambiental, como exemplo a destinação de áreas remanescentes de uma usina e os PRAD (Programas de Recuperação de Áreas Degradadas), compondo uma base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico.

A partir do cálculo do NDVI do Parque para datas distintas pode-se quantificar biomassa e constatar que houve uma variação positiva e significativa nos valores do índice, mesmo sem nenhuma interferência humana para reflorestamento ou plantio. Isso sugere que

nas condições climáticas existentes no local, esse tipo de vegetação se regenera rapidamente quando se limita o uso de seus recursos criando uma Unidade de Conservação. Assim, os dados aqui expostos podem contribuir e servir de exemplo para estudos de regeneração natural de Unidades de Conservação com vegetação similar, sabendo que, no intervalo correspondente à criação da UCA até hoje (2003 a 2019) houve um aumento de 0,1647 no NDVI médio da área considerada no pior estado em 2000 e, no cenário geral, um aumento de 0,0725 desde a criação da UCA até hoje (de 2003 a 2019) como foi mostrado na Tabela 3.

Uma vez consolidada, a cobertura vegetal do Parque pode contribuir para o enriquecimento do solo, aumento do número de espécies vegetais e animais, diminuição da erosão no solo, entre diversos outros fatores benéficos para manutenção da biodiversidade.

6 REFERÊNCIAS

TUCKER, C.; SELLERS, P. **Satellite remote sensing of primary production**. International Journal of Remote Sensing. NASA Goddard Space Flight Center, U.S.A. 1986.

NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. **Apostila de Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos, 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 10ª ed. São José dos Campos, 2010.

VAN LEEUWEN, W. J. D. et al. **Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications**. Remote Sensing of Environment, v. 100, p. 67–81, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **LANDSAT**. 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>. Acesso em: 27 ago. 2019.

INPE Cursos, 2019. **Processamento Digital de Cores**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~carlos/Academicos/Cursos/Pdi/pdi_cores.html> Acesso em: 02 set. 2019.

INPE. **Tutorial de Geoprocessamento: Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 2006. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html>. Acesso em: 05 set. 2019.

ENGIE, 2019. **Usina Hidrelétrica Itá**. Disponível em: <<https://www.engie.com.br/complexo-gerador/usinas/usina-hidreletrica-ita/>>. Acesso em: 25 set. 2019.

Departamento de Engenharia de Biosistemas – USP. **Sistemas Sensores**. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Topo/LEB5838/Peterson/SISTEMAS_SENSOR ES.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019.

Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 08 out. 2019.

NOVO, E. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, 1989.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **What is remote sensing?** Disponível em: <<https://oceanservice.noaa.gov/facts/remotesensing.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 1992.

ESA – European Space Agency. **Sentinel-2 MSI Overview**. 2019. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

THENKABAIL, P. S.; SMITH, B. B.; PAUW, E. **Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics**. Remote Sensing of Environment, v. 71, p. 158- 182, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236019248_Hyperspectral_vegetation_indices_for_determining_agricultural_crop_characteristics>. Acesso em: 18 out. 2019.

THENKABAIL, P. S. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation: Some Recent Advances in Data and Methods**. Alemanha, 2013. 83 slides. Disponível em: <<https://prod-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/A8-thenkabil-uav-germany-final1b.pdf>> Acesso em: 21 out. 2019.

PASCHOAL S. S, L.; DA SILVA F. M. **Variação Espaço-Temporal do Índice De Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em área sob o risco de desertificação no Rio Grande Do Norte**. 62ª Reunião Anual da SBPC, 2010.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4;

Midwest Optcal Systems, Inc. **Healthy Crop**. 2019. Disponível em: <<https://midopt.com/healthy-crop/>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

USGS – United States Geological survey. **What are the band designations for the Landsat satellites? 2019**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products>. Acesso em: 18 nov. 2019.

IMA – Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina. **PARQUE ESTADUAL FRITZ PLAUMANN**. 2014. Disponível em: <<http://www.ima.sc.gov.br/index.php/ecosistemas/unidades-de-conservacao/parque-estadual-fritz-plaumann>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação. 2019.** Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

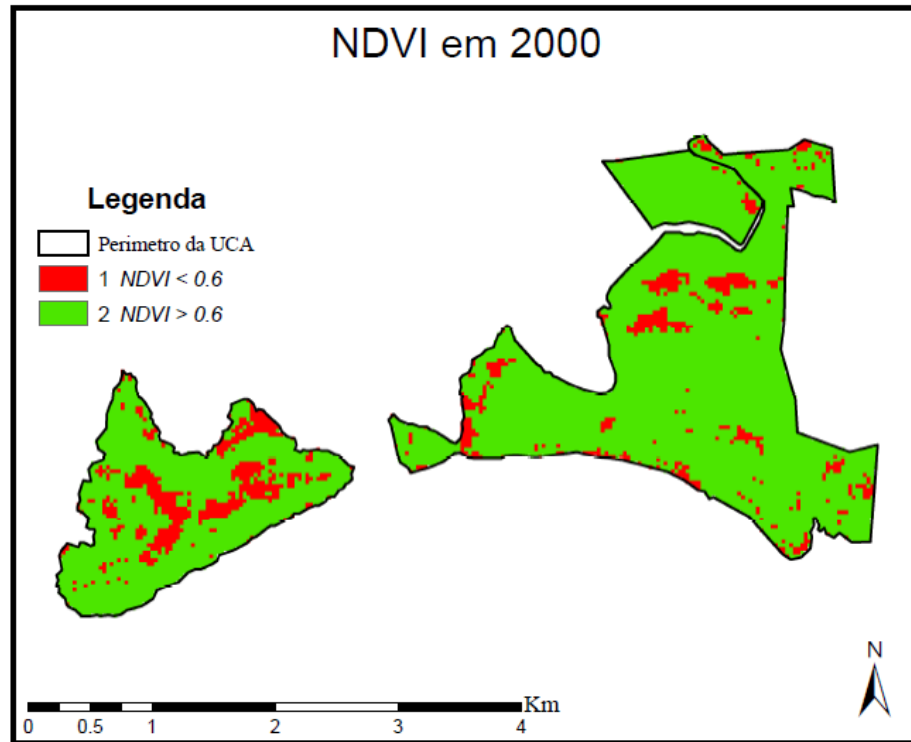
Weather Spark. **Condições meteorológicas médias de Concórdia.** 2019. . Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29625/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Conc%C3%B3rdia-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

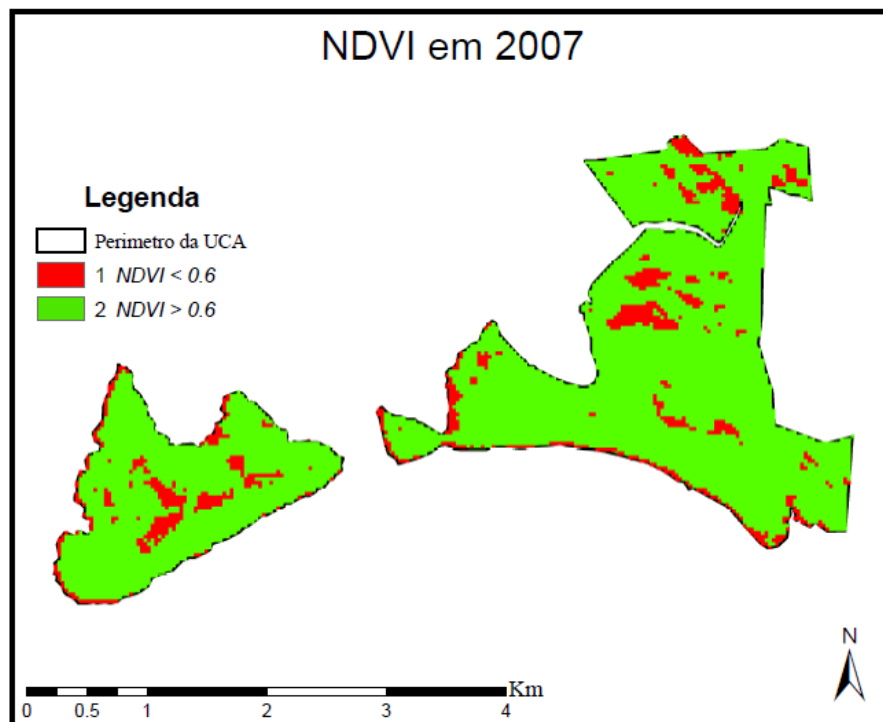
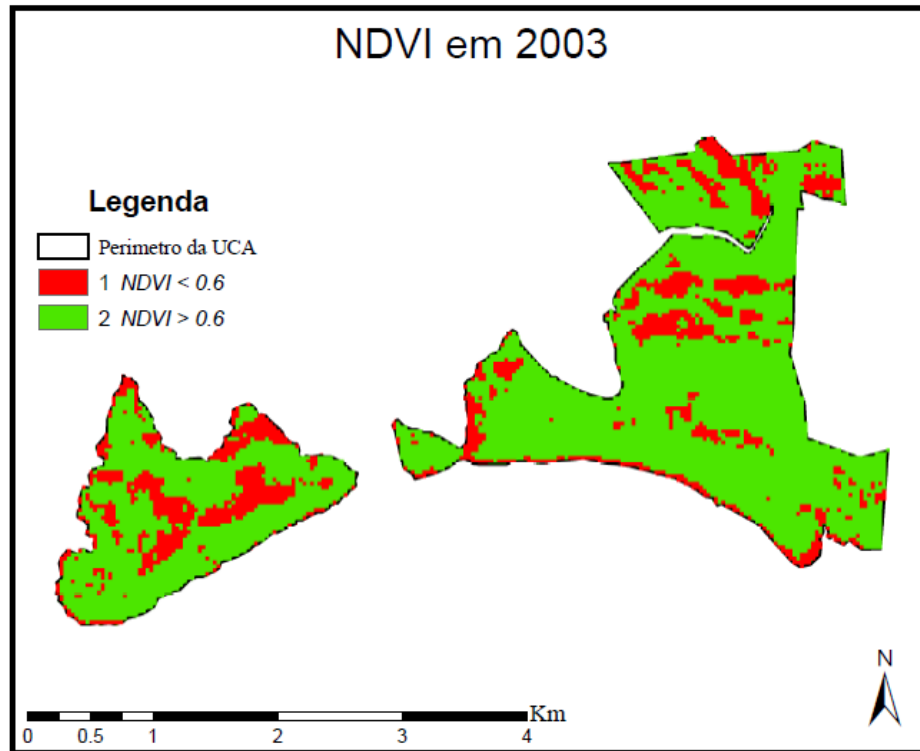
Consórcio Itá. **UHE Itá completa 19 anos em operação.** 2019. Disponível em: <<http://www.consorcioita.com.br/imprensa/uhe-ita-completa-19-anos-em-operacao.html>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

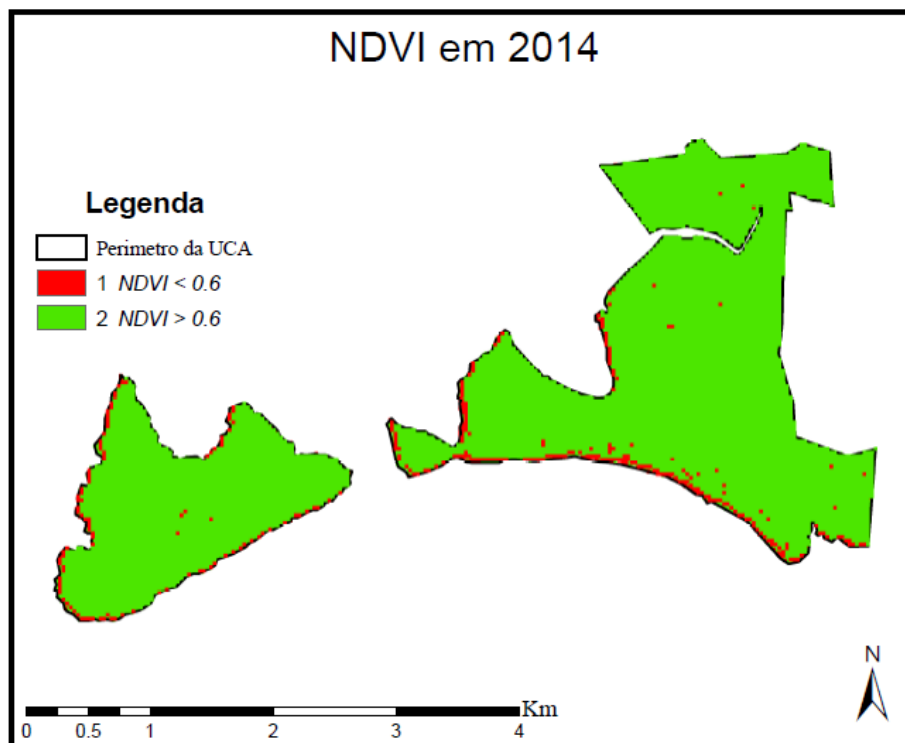
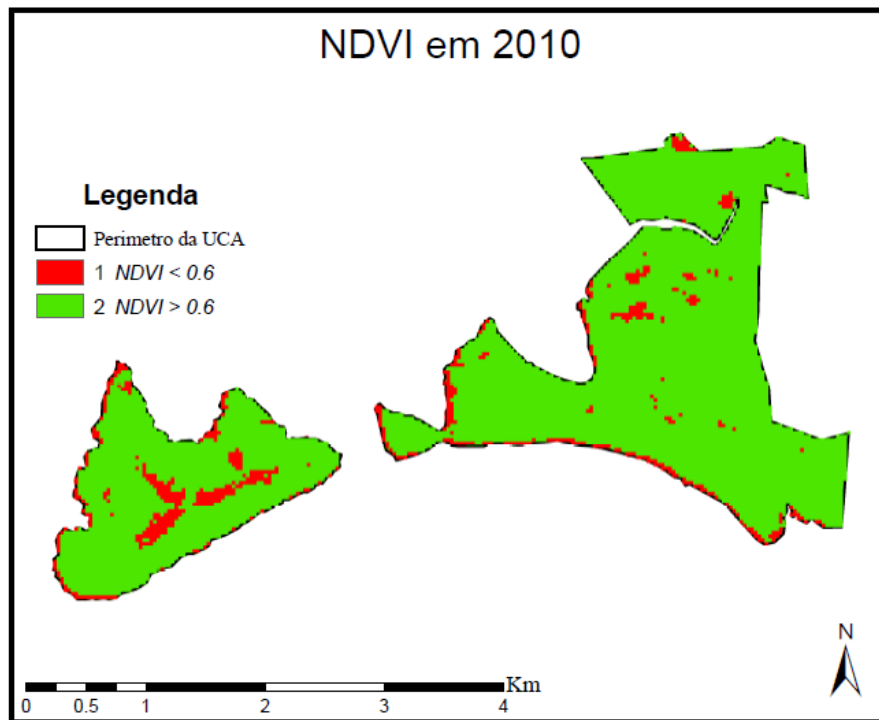
UFRGS Astronomia. **Sistemas de Coordenadas.** 2019. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

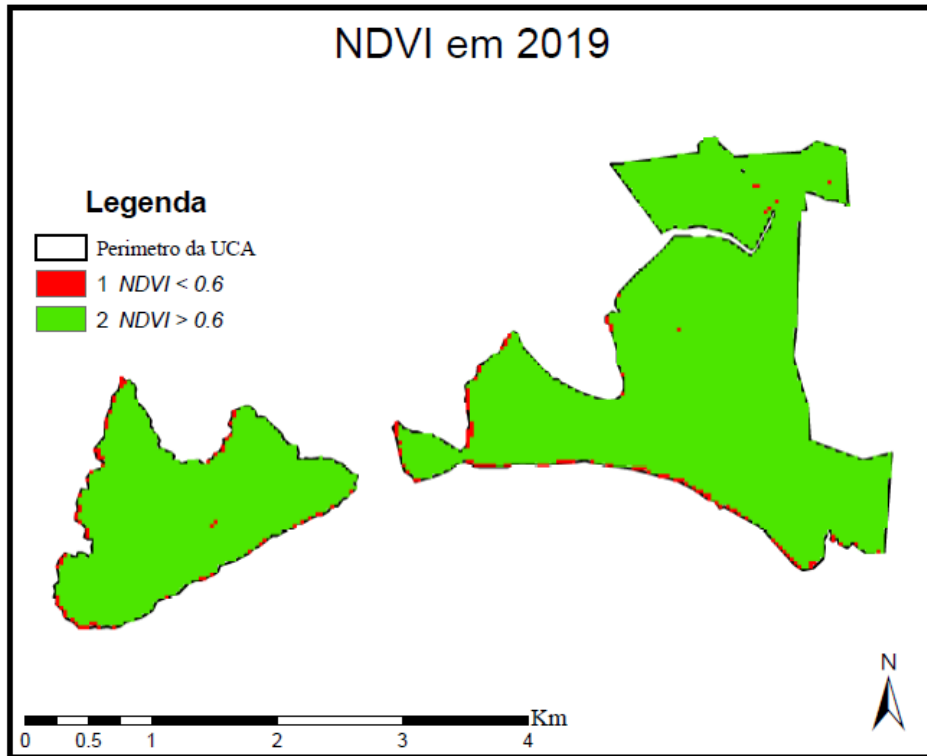
7 ANEXOS

Anexo 1 – Mapas de reclassificação do NDVI









Anexo 2 – Tabelas de cálculo de áreas na reclassificação.

2000		
Polígono	Área (ha)	Área (%)
NDVI < 0.6	83.14	10.78
NDVI ≥ 0.6	687.87	89.22
0 < NDVI < 1	771.01	100

Polígono	Área (ha)	Área (%)
UCA	783	100
Pixel nulos	11.99	1.53

2007		
Polígono	Área (ha)	Área (%)
NDVI < 0.6	66.87	8.78
NDVI ≥ 0.6	694.44	91.22
0 < NDVI < 1	761.31	100

Polígono	Área (ha)	Área (%)
UCA	783	100
Pixel nulos	21.69	2.77

2014		
Polígono	Área (ha)	Área (%)
NDVI < 0.6	3.15	0.42
NDVI ≥ 0.6	744.57	99.58
0 < NDVI < 1	747.72	100

Polígono	Área (ha)	Área (%)
UCA	783	100
Pixel nulos	35.28	4.51

2003		
Polígono	Área (ha)	Área (%)
NDVI < 0.6	138.78	18.22
NDVI ≥ 0.6	622.89	80.79
0 < NDVI < 1	761.67	100

Polígono	Área (ha)	Área (%)
UCA	783	100
Pixel nulos	21.33	2.72

2010		
Polígono	Área (ha)	Área (%)
NDVI < 0.6	37.62	4.95
NDVI ≥ 0.6	721.80	95.05
0 < NDVI < 1	759.42	100

Polígono	Área (ha)	Área (%)
UCA	783	100
Pixel nulos	23.58	3.01

2019		
Polígono	Área (ha)	Área (%)
NDVI < 0.6	0.81	0.11
NDVI ≥ 0.6	766.62	99.89
0 < NDVI < 1	767.43	100

Polígono	Área (ha)	Área (%)
UCA	783	100
Pixel nulos	15.57	1.99

Anexo 3 – Tabelas de atributos para calculo de área no ArcGIS

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI < 0.6 (ano 2000)					
OBJECTID	ID	GRIDCODE	Shape_Length	Area da camada (m ²)	Area da camada (ha)
1	1	1	120	900	0.09
2	2	1	420	7200	0.72
3	3	1	420	9000	0.9
4	4	1	120	900	0.09
5	6	1	120	900	0.09
6	7	1	120	900	0.09
7	8	1	120	900	0.09
8	9	1	300	4500	0.45
9	10	1	240	2700	0.27
10	12	1	120	900	0.09
11	13	1	120	900	0.09
12	14	1	180	1800	0.18
13	15	1	180	1800	0.18
14	16	1	120	900	0.09
15	17	1	120	900	0.09
16	18	1	120	900	0.09
17	19	1	180	1800	0.18
18	20	1	120	900	0.09
19	21	1	120	900	0.09
20	22	1	180	1800	0.18
21	24	1	660	13500	1.35
22	27	1	180	1800	0.18
23	28	1	300	4500	0.45
24	29	1	1440	40500	4.05
25	30	1	120	900	0.09
26	31	1	180	1800	0.18
27	32	1	1320	42300	4.23
28	33	1	120	900	0.09
29	34	1	120	900	0.09
30	35	1	120	900	0.09
31	36	1	480	9000	0.9
32	37	1	120	900	0.09
33	39	1	420	7200	0.72
34	40	1	120	900	0.09
35	46	1	1980	56700	5.67
36	47	1	120	900	0.09
37	48	1	180	1800	0.18
38	50	1	180	1800	0.18
39	51	1	660	16200	1.62
40	54	1	120	900	0.09
41	55	1	120	900	0.09
42	57	1	120	900	0.09
43	59	1	180	1800	0.18
44	60	1	1200	21600	2.16
45	61	1	120	900	0.09
46	62	1	120	900	0.09
47	63	1	300	4500	0.45
48	66	1	120	900	0.09
49	72	1	240	2700	0.27
50	75	1	480	9000	0.9
51	76	1	180	1800	0.18
52	77	1	540	8100	0.81
53	80	1	120	900	0.09
54	81	1	240	2700	0.27
55	82	1	120	900	0.09
56	83	1	120	900	0.09
57	86	1	120	900	0.09
58	87	1	120	900	0.09
59	88	1	120	900	0.09
60	90	1	180	1800	0.18
61	92	1	120	900	0.09
62	93	1	960	26100	2.61
63	95	1	1080	18900	1.89
64	96	1	2700	72000	7.20
65	101	1	120	900	0.09
66	102	1	300	4500	0.45
67	104	1	120	900	0.09
68	105	1	240	3600	0.36
69	107	1	120	900	0.09
70	108	1	120	900	0.09

71	113	1	240	2700	0.27
72	116	1	240	2700	0.27
73	117	1	120	900	0.09
74	122	1	660	10800	1.08
75	123	1	360	4500	0.45
76	125	1	120	900	0.09
77	126	1	120	900	0.09
78	127	1	180	1800	0.18
79	128	1	360	5400	0.54
80	129	1	120	900	0.09
81	130	1	180	1800	0.18
82	132	1	300	3600	0.36
83	133	1	120	900	0.09
84	134	1	180	1800	0.18
85	135	1	540	9900	0.99
86	138	1	120	900	0.09
87	140	1	120	900	0.09
88	141	1	120	900	0.09
89	142	1	240	2700	0.27
90	144	1	120	900	0.09
91	145	1	120	900	0.09
92	146	1	600	10800	1.08
93	147	1	180	1800	0.18
94	148	1	120	900	0.09
95	149	1	180	1800	0.18
96	150	1	120	900	0.09
97	151	1	120	900	0.09
98	153	1	180	1800	0.18
99	156	1	120	900	0.09
100	157	1	240	2700	0.27
101	159	1	180	1800	0.18
102	160	1	240	2700	0.27
103	161	1	720	14400	1.44
104	163	1	120	900	0.09
105	165	1	120	900	0.09
106	166	1	3960	121500	12.15
107	167	1	120	900	0.09
108	168	1	180	1800	0.18
109	169	1	180	1800	0.18
110	172	1	480	6300	0.63
111	173	1	420	8100	0.81
112	177	1	120	900	0.09
113	178	1	120	900	0.09
114	180	1	120	900	0.09
115	183	1	3540	134100	13.41
116	185	1	660	10800	1.08
117	188	1	120	900	0.09
118	191	1	120	900	0.09
119	192	1	120	900	0.09
120	193	1	120	900	0.09
121	194	1	540	10800	1.08
122	195	1	300	3600	0.36
123	196	1	120	900	0.09
124	197	1	120	900	0.09
125	198	1	120	900	0.09
126	199	1	120	900	0.09
127	200	1	120	900	0.09
128	201	1	120	900	0.09
129	202	1	120	900	0.09
			SOMA	851400	85.14

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI > 0.6 (ano 2000)					
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Area da camada (m ²)	Area da camada (ha)
1	1	2	120	900	0.09
2	2	2	120	900	0.09
3	3	2	120	900	0.09
4	4	2	120	899.9999999	0.09
5	5	2	120	900	0.09
6	6	2	840	25200	2.52
7	7	2	120	900	0.09
8	8	2	120	900	0.09
9	9	2	120	900	0.09
10	10	2	360	6300	0.63
11	11	2	120	900	0.09
12	12	2	120	900	0.09
13	13	2	2460	139500	13.95
14	14	2	120	900	0.09
15	15	2	120	900	0.09
16	16	2	180	1800	0.18
17	17	2	120	900	0.09
18	18	2	180	1800	0.18
19	19	2	120	900	0.09
20	20	2	120	900	0.09
21	21	2	120	900	0.09
22	22	2	41760	4889700	488.97
23	23	2	26100	1800000	180.00
			SOMA	6878700	687.87

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI < 0.6 (ano 2003)					
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)
4	4	1	120	900	0.09
5	5	1	120	899.9999999	0.09
6	6	1	180	1800	0.18
7	7	1	240	2700	0.27
8	8	1	720	14400	1.44
9	9	1	780	16200	1.62
10	10	1	120	900	0.09
11	11	1	120	900	0.09
12	12	1	180	1800	0.18
13	13	1	1080	23400	2.34
14	14	1	120	900	0.09
15	15	1	1380	40500	4.05
17	17	1	1860	45000	4.5
18	18	1	2700	102600	10.26
19	19	1	300	4500	0.45
20	20	1	120	900	0.09
21	21	1	420	7200	0.72
22	22	1	540	8100	0.81
25	25	1	1800	61200	6.12
26	26	1	120	900.0000001	0.09
27	27	1	1320	54000	5.4
28	28	1	660	15300	1.53
30	30	1	120	900.0000001	0.09
31	31	1	840	19800	1.98
32	32	1	240	2700	0.27
33	33	1	180	1800	0.18
34	34	1	600	17100	1.71
35	35	1	360	4500	0.45
38	38	1	300	4500	0.45
39	39	1	300	3600	0.36
40	40	1	360	5400	0.54
41	41	1	180	1800	0.18
44	44	1	2700	104400	10.44
45	45	1	120	900	0.09
46	46	1	240	3600	0.36
47	47	1	120	899.9999999	0.09
50	50	1	480	8100	0.81
51	51	1	900	27000	2.7
53	53	1	120	900.0000001	0.09
54	54	1	120	900	0.09
55	55	1	360	5400	0.54
56	56	1	300	4500	0.45
59	59	1	120	900.0000001	0.09
60	60	1	120	900	0.09
61	61	1	1140	20700	2.07
63	63	1	120	899.9999999	0.09
64	64	1	120	900	0.09
65	65	1	120	900	0.09
67	67	1	120	900	0.09
68	68	1	180	1800	0.18
70	70	1	300	4500	0.45
71	71	1	1020	19800	1.98
72	72	1	120	900.0000001	0.09
74	74	1	420	8100	0.81
75	75	1	120	899.9999999	0.09
77	77	1	180	1800	0.18
78	78	1	900	20700	2.07
79	79	1	120	899.9999999	0.09
80	80	1	540	12600	1.26
82	82	1	180	1800	0.18
83	83	1	600	12600	1.26
84	84	1	120	900	0.09
87	87	1	180	1800	0.18
88	88	1	720	12600	1.26
90	90	1	2640	90000	9
91	91	1	2220	59400	5.94
95	95	1	420	7200	0.72
100	100	1	300	4500	0.45

101	101	1	540	7200	0.72
102	102	1	120	900	0.09
103	103	1	120	900.0000001	0.09
104	104	1	120	900	0.09
105	105	1	960	24300	2.43
106	106	1	120	899.9999999	0.09
107	107	1	120	900	0.09
108	108	1	240	2700	0.27
109	109	1	120	899.9999999	0.09
111	111	1	420	8100	0.81
113	113	1	300	3600	0.36
114	114	1	180	1800	0.18
117	117	1	120	900	0.09
118	118	1	120	900	0.09
120	120	1	120	900	0.09
125	125	1	420	7200	0.72
126	126	1	420	6300	0.63
130	130	1	300	5400	0.54
131	131	1	120	900	0.09
132	132	1	120	900	0.09
135	135	1	120	900	0.09
139	139	1	180	1800	0.18
141	141	1	1080	23400	2.34
142	142	1	3360	156600	15.66
145	145	1	480	9900	0.99
154	154	1	420	6300	0.63
162	162	1	180	1800	0.18
163	163	1	540	7200	0.72
164	164	1	240	2700	0.27
165	165	1	120	900	0.09
166	166	1	120	900	0.09
167	167	1	120	900.0000001	0.09
172	172	1	4740	170100	17.01
174	174	1	420	5400	0.54
175	175	1	180	1800	0.18
176	176	1	120	900	0.09
177	177	1	180	1800	0.18
178	178	1	180	1800	0.18
180	180	1	120	900	0.09
181	181	1	180	1800	0.18
182	182	1	120	899.9999999	0.09
				SOMA	138.78

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI > 0.6 (ano 2003)						
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)	
1	1	2	300	3600	0.36	
2	2	2	360	4500	0.45	
3	3	2	180	1800	0.18	
4	4	2	420	9900	0.99	
5	5	2	120	900	0.09	
6	6	2	120	900	0.09	
7	7	2	240	2700	0.27	
8	8	2	600	11700	1.17	
9	9	2	7980	424800	42.48	
10	10	2	180	1800	0.18	
11	11	2	360	5400	0.54	
12	12	2	120	900	0.09	
13	13	2	120	900	0.09	
14	14	2	720	19800	1.98	
15	15	2	120	900	0.09	
16	16	2	240	2700	0.27	
17	17	2	120	900.0000001	0.09	
18	18	2	120	899.9999999	0.09	
19	19	2	2280	129600	12.96	
20	20	2	120	900	0.09	
21	21	2	120	899.9999999	0.09	
22	22	2	120	900	0.09	
23	23	2	180	1800	0.18	
24	24	2	240	2700	0.27	
25	25	2	180	1800	0.18	
26	26	2	39780	3945600	394.56	
27	27	2	24120	1649700	164.97	
				SOMA	622.89	

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI < 0.6 (ano 2007)					
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)
1	1	1	960	25200	2.52
4	4	1	180	1800	0.18
5	5	1	180	1800	0.18
6	6	1	480	9000	0.9
7	7	1	120	899.9999999	0.09
8	8	1	420	8100	0.81
9	9	1	780	18000	1.8
10	10	1	780	14400	1.44
11	11	1	2340	62100	6.21
14	14	1	300	4500	0.45
15	15	1	120	900.0000001	0.09
16	16	1	300	4500	0.45
17	17	1	360	6300	0.63
18	18	1	120	899.9999999	0.09
19	19	1	1200	40500	4.05
20	20	1	120	900.0000001	0.09
21	21	1	780	16200	1.62
22	22	1	120	899.9999999	0.09
23	23	1	300	3600	0.36
24	24	1	120	900	0.09
26	26	1	120	900	0.09
28	28	1	2220	87300	8.73
29	29	1	120	900.0000001	0.09
30	30	1	120	899.9999999	0.09
31	31	1	300	3600	0.36
32	32	1	180	1800	0.18
35	35	1	600	11700	1.17
40	40	1	240	3600	0.36
41	41	1	300	3600	0.36
46	46	1	180	1800	0.18
47	47	1	540	8100	0.81
50	50	1	300	3600	0.36
51	51	1	720	15300	1.53
54	54	1	120	899.9999999	0.09
55	55	1	180	1800	0.18
57	57	1	1500	34200	3.42
58	58	1	900	20700	2.07
61	61	1	780	16200	1.62
63	63	1	120	900	0.09
78	78	1	120	900	0.09

81	81	1	360	4500	0.45
83	83	1	120	900.0000001	0.09
85	85	1	480	8100	0.81
86	86	1	120	900	0.09
87	87	1	240	2700	0.27
88	88	1	120	900	0.09
89	89	1	240	2700	0.27
92	92	1	660	17100	1.71
95	95	1	120	900	0.09
97	97	1	120	899.9999999	0.09
98	98	1	240	2700	0.27
100	100	1	180	1800	0.18
101	101	1	180	1800	0.18
102	102	1	1140	19800	1.98
104	104	1	120	900	0.09
105	105	1	120	900	0.09
106	106	1	120	900	0.09
114	114	1	480	9000	0.9
116	116	1	360	6300	0.63
119	119	1	1200	31500	3.15
124	124	1	120	900	0.09
126	126	1	240	2700	0.27
132	132	1	360	4500	0.45
137	137	1	2760	82800	8.28
138	138	1	780	12600	1.26
141	141	1	480	9900	0.99
				SOMA	66.87

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI > 0.6 (ano 2007)					
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)
1	1	2	120	900	0.09
2	2	2	240	2700	0.27
3	3	2	120	900	0.09
4	4	2	120	900.0000001	0.09
5	5	2	120	899.9999999	0.09
6	6	2	120	900	0.09
7	7	2	40560	4919400	491.94
8	8	2	19200	2017800	201.78
				SOMA	694.44

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI < 0.6 (ano 2010)						
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)	
1	1	1	720	17100	1.71	
2	2	1	120	900	0.09	
3	3	1	600	13500	1.35	
5	5	1	120	900	0.09	
6	6	1	120	900.0000001	0.09	
7	7	1	180	1800	0.18	
8	8	1	360	5400	0.54	
9	9	1	120	899.9999999	0.09	
10	10	1	780	16200	1.62	
12	12	1	120	900	0.09	
13	13	1	180	1800	0.18	
14	14	1	120	900	0.09	
16	16	1	420	7200	0.72	
20	20	1	1320	29700	2.97	
21	21	1	180	1800	0.18	
26	26	1	300	3600	0.36	
27	27	1	600	8100	0.81	
29	29	1	480	7200	0.72	
30	30	1	120	900	0.09	
31	31	1	120	899.9999999	0.09	
33	33	1	420	7200	0.72	
34	34	1	120	900	0.09	
35	35	1	120	900	0.09	
37	37	1	120	900.0000001	0.09	
39	39	1	240	2700	0.27	
41	41	1	120	900	0.09	
43	43	1	300	3600	0.36	
44	44	1	300	3600	0.36	
46	46	1	1380	27900	2.79	
47	47	1	240	2700	0.27	
49	49	1	120	900	0.09	
50	50	1	120	900	0.09	
53	53	1	660	10800	1.08	
65	65	1	120	900.0000001	0.09	
69	69	1	120	900	0.09	
72	72	1	120	900	0.09	
74	74	1	120	900.0000001	0.09	
75	75	1	600	16200	1.62	
77	77	1	120	900	0.09	
81	81	1	120	900	0.09	
84	84	1	1260	27000	2.7	
90	90	1	300	3600	0.36	
94	94	1	120	900	0.09	
95	95	1	120	899.9999999	0.09	
96	96	1	1140	36900	3.69	
103	103	1	120	900	0.09	
122	122	1	3540	99900	9.99	
				SOMA	37.62	

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI > 0.6 (ano 2010)						
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)	
1	1	2	240	2700	0.27	
2	2	2	120	900	0.09	
3	3	2	180	1800	0.18	
4	4	2	120	900	0.09	
5	5	2	120	900	0.09	
6	6	2	120	900	0.09	
7	7	2	120	900	0.09	
8	8	2	180	1800	0.18	
9	9	2	29820	5192100	519.21	
10	10	2	17880	2015100	201.51	
				SOMA	721.8	

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI < 0.6 (ano 2014)						
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)	
1	1	1	120	900	0.09	
2	2	1	120	900	0.09	
3	3	1	120	899.9999999	0.09	
4	4	1	120	900	0.09	
8	8	1	120	900	0.09	
11	11	1	180	1800	0.18	
35	35	1	120	900.0000001	0.09	
38	38	1	180	1800	0.18	
39	39	1	120	900.0000001	0.09	
43	43	1	120	900	0.09	
47	47	1	300	3600	0.36	
57	57	1	120	899.9999999	0.09	
63	63	1	120	900	0.09	
66	66	1	120	899.9999999	0.09	
67	67	1	120	899.9999999	0.09	
70	70	1	120	900	0.09	
71	71	1	120	900	0.09	
72	72	1	120	899.9999999	0.09	
74	74	1	120	900.0000001	0.09	
78	78	1	120	900.0000001	0.09	
82	82	1	120	900	0.09	
89	89	1	120	899.9999999	0.09	
91	91	1	120	900	0.09	
94	94	1	120	900	0.09	
96	96	1	120	900	0.09	
99	99	1	120	900.0000001	0.09	
101	101	1	120	900	0.09	
108	108	1	120	899.9999999	0.09	
126	126	1	180	1800	0.18	
				SOMA	3.15	

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI > 0.6 (ano 2014)					
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)
1	1	2	120	900	0.09
2	2	2	120	900	0.09
3	3	2	26400	5243400	524.34
4	4	2	10560	2200500	220.05
				SOMA	744.57

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI < 0.6 (ano 2019)					
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)
1	1	1	120	900	0.09
2	2	1	180	1800	0.18
3	3	1	120	900	0.09
4	4	1	120	900	0.09
5	5	1	120	900	0.09
9	9	1	120	900	0.09
69	69	1	120	899.9999999	0.09
71	71	1	120	900	0.09
				SOMA	0.81

Tabela dos pixels inicialmente com NDVI > 0.6 (ano 2019)					
OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area da camada (ha)
1	1	2	120	900	0.09
2	2	2	23520	5412600	541.26
3	3	2	10620	2252700	225.27
				SOMA	766.62