



**UNISUL**

**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**JOÃO PEDRO GUERREIRO DE SOUZA**

**MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DA ILHA DE  
FLORIANÓPOLIS SANTA CATARINA, GERADO A PARTIR DA FUSÃO DE  
ÍNDICES NORMALIZADOS**

**PALHOÇA**

**2020**

**JOÃO PEDRO GUERREIRO DE SOUZA**

**MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DA ILHA DE  
FLORIANÓPOLIS SANTA CATARINA, GERADO A PARTIR DA FUSÃO DE  
ÍNDICES NORMALIZADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitário.

Orientador: Prof. Eng. Gabriel Cremona Parma, Dr.

Palhoça

2020

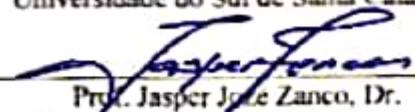
**JOÃO PEDRO GUERREIRO DE SOUZA**

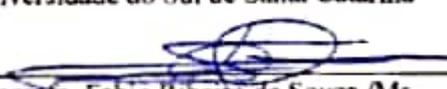
**MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DA ILHA DE  
FLORIANÓPOLIS SANTA CATARINA, GERADO A PARTIR DA FUSÃO DE  
ÍNDICES NORMALIZADOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitário e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 15 de julho de 2020).

  
\_\_\_\_\_  
Professor e orientador Gabriel Cremona Parma, Dr.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Jasper José Zanco, Dr.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Geógrafo, Fabio Ribeiro de Souza /Ms.  
Setor de Geoprocessamento, Empresa MPB Engenharia

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso a minha esposa, familiares e professores que sempre e de muitas formas me incentivaram e ajudaram para que fosse possível a concretização deste sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a minha família e agregados, por sempre me incentivarem a seguir meus estudos dentro da engenharia, sem eles nada disso seria possível talvez se apresentassem apenas como sonhos inalcançáveis. Agradeço a minha esposa Sofia Freitas que nunca me deixou desistir e nem desanimar no decorrer do meu curso.

Agradeço também em específico aos meus pais Jucélia Guerreiro e Carlos Cesar de Souza, por me mostrarem os caminhos da vida e as barreiras. Aos meus sogros, Paulo Freitas e Maristela Farias que sempre me escutaram e me aconselharam, dando sempre apoio as minhas decisões.

A todos meus professores, em especial ao meu orientados Dr. Gabriel Cremona, que me apresentou o mundo da geomática. Bem como ao Dr Jasper Zanco por ter me apresentado nas fases iniciais imagens de satélite, satélite landsat 8 e Sentinel 2, o que me inspirou a concretizar este trabalho de conclusão de curso. Aos professores, além de sempre serem abertos a uma boa conversa, se demonstraram sempre sensíveis as dificuldades dos alunos e sempre muito dedicados na resolução de problemas e dúvidas.

“Quem desce do morro não morre no asfalto, lá vem o Brasil descendo a ladeira. Na bola, no samba, na sola, no asfalto, lá vem o Brasil descendo a ladeira.” (Moraes Moreira, 1975).

## RESUMO

A utilização dos índices espectrais no mapeamento do uso e ocupação do solo demonstra grande importância no monitoramento territorial da ilha de Florianópolis. Nesse sentido, a utilização de técnicas do sensoriamento remoto permite o reconhecimento preciso de alvos em estudo como a vegetação, corpos hídricos, edificações e solo exposto, estes, serão mapeados por meio de cálculos com as bandas contidas nas imagens de satélite Landsat 8 em funcionamento desde 02/2013. Assim sendo, este trabalho objetiva no mapeamento do uso e cobertura do solo da ilha de Florianópolis, Santa Catarina, gerado a partir da fusão de índices normalizados de vegetação, água e infraestrutura. O uso e cobertura do solo será gerado por meio do cálculo de índices físicos como o NDVI (reconhecimento da vegetação), NDWI (corpos hídricos) e NDBI (edificações e solo exposto). Esses índices anteriormente serão fusionados em uma única imagem em composição RGB que facilitara o reconhecimento das classes de uso e ocupação do solo, para posteriormente ser reconhecida as assinaturas espectrais por classificação supervisionada. Com isso será gerado o mapa de uso e cobertura do solo para ilha de Santa Catarina.

Palavras-chave: Landsat 8. Uso e Ocupação do Solo. Índices Físicos, SCP

## **ABSTRACT**

The use of spectral indices in the geographical mapping of land use and occupation shows great importance in the territorial monitoring of the island of Florianópolis. For that matter, the use of remote sensing techniques allows precise recognition of the targets under study such as vegetation, hydric bodies, buildings and exposed soil, these will be mapped by calculations with the bands of the Landsat 8 satellite images in operation since 02/2013. Therefore, this study aims to map land use and coverage of the island of Florianópolis, Santa Catarina, developed from the merger of standard indices of vegetation, water and infrastructure. The calculation of land use and coverage will be produced through physical indices such as NDVI (vegetation recognition), NDWI (hydric bodies) and NDBI (buildings and exposed land). These indices will previously be reclassified and merged into a single image in RGB composition which will facilitate the recognition of the land use and occupation categories, to later be recognized by supervised classification as spectral signatures. Hence, would generate a map of land use and coverage for the island of Santa Catarina.

**Keywords:** Landsat 8. Land use and occupation. Physical indices, SCP

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações técnicas gerais Landsat 8 .....	30
Quadro 2 - Características dos sensores OLI e TIRS .....	31
Quadro 3 – Descrições das composições coloridas do sensor OLI/LANDSAT 8. ....	34

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de Localização Ilha de Florianópolis .....	17
Figura 2 – Representação do mundo real em ambiente computacional. ....	20
Figura 3 – Exemplo das estruturas de dados de um Sig .....	21
Figura 4 - Obtenção das imagens por Sensoriamento Remoto.....	23
Figura 5 - Satélite Landsat 8.....	24
Figura 6 – Assinaturas espectrais .....	27
Figura 7 – Pulguin de classificação supervisionada dzetsaka (QGIS 3.4). ....	35
Figura 8 - Fluxograma de pesquisa .....	36
Figura 9 – Comparativo NDVI LANDSAT 8 e Google Satélite.....	38
Figura 10 – Comparativo NDBI LANDSAT 8 e Google Satélite.....	40
Figura 11 – Comparativo NDWI LANDSAT 8 e Google Satélite.....	42
Figura 12 – Fusão dos Índices Espectrais: R=NDBI, G=NDVI e B=NDWI .....	44
Figura 13 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado .....	46
Figura 14 – Exemplo da avaliação pelo método clássico.....	46
Figura 15 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado .....	47
Figura 16 – Exemplo da avaliação pelo método clássico.....	47
Figura 17 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado .....	48
Figura 18 – Exemplo da avaliação pelo método clássico.....	48
Figura 19 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo – Índices Espectrais (NDBI-NDVI-NDWI) ..	49
Figura 20 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo – Método Clássico .....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Áreas obtidas no mapeamento realizado com os índices .....	50
Gráfico 2 – Áreas Calculadas das Classes do Solo .....	52
Gráfico 3 – Comparação entre áreas obtidas em cada método.....	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	16
2.2 CARTOGRAFIA .....	18
<b>2.2.1 Conceito de Mapa e Cartografia.....</b>	<b>18</b>
2.2.1.1 Cartografia Sistemática .....	19
2.2.1.2 Cartografia Temática .....	19
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	20
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO .....	21
<b>2.4.1 LandSat 8 .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2 Geoprocessamento.....</b>	<b>25</b>
2.4.2.1 Álgebra de mapas .....	25
2.4.2.2 Assinaturas espectrais.....	26
<b>2.4.3 Índices espectrais.....</b>	<b>27</b>
2.4.3.1 NDVI (Índice de vegetação normalizada).....	28
2.4.3.2 NDBI (Índice de acumulado de diferença normalizada).....	29
2.4.3.3 NDWI (Índice de diferença normalizada da água).....	29
<b>3 MÉTODO .....</b>	<b>30</b>
3.1 PRÉ-PROCESSAMENTO .....	31
3.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI).....	31
3.3 ÍNDICE DE ACUMULADO DE DIFERENÇA NORMALIZADA (NDBI).....	32
3.4 ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA ÁGUA (NDWI).....	32
3.5 FUSÃO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS (R-G-B).....	33
3.6 COMPOSIÇÕES COLORIDAS MÉTODO CLÁSSICO LANDSAT 8 (R-G-B).....	33
3.7 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA USO E COBERTURA DO SOLO.....	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
4.1 CÁLCULO DO NDVI.....	37
4.2 CÁLCULO DO NDBI .....	39

4.3	CÁLCULO DO NDWI .....	41
4.4	MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO ILHA DE SANTA CATARINA .....	43
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Mapear as diversas formas de uso e ocupação do solo são de grande importância por demonstrarem diversas interpretações de informações providas de imagens de satélite, podendo reconhecer e distinguir as áreas ocupadas por edificações, solo exposto, vegetação, massa de água dentre outras feições. A análise do uso do solo consiste em buscar conhecer as áreas e monitorar a forma com que a sociedade utiliza a área. Desta forma, é possível realizar a caracterização das interações antrópicas com o meio ambiente, e formalizá-las por meio de mapas temáticos, (SANTOS et al., 2011).

Segundo Moreira (2012), a utilização Sensoriamento Remoto é uma ciência e geotecnologia adequada, eficiente e amplamente utilizada no estudo do comportamento espectral de objetos, seja, temporal e espacial da superfície terrestre. O sensoriamento remoto é composto por técnicas para monitoramento do uso da cobertura da terra, e essa ferramenta assume um papel importante no monitoramento ambiental embasando a tomada de decisão voltada a preservação e conservação ambiental, (MOREIRA, 2012).

Em muitas das técnicas de geoprocessamento de imagens obtidas por meio de satélites, que realizam a interpretação das repostas espectrais de forma manual, acabam por possuir baixa precisão em suas análises, ou demandam muito tempo das rotinas de análises (XU, 2007). Entretanto, Zha et al. (2003) ressalta a importância da automatização dos procedimentos necessários para avaliação do uso da cobertura da terra, e apresenta a utilização de índices espectrais gerados com base na combinação entre as bandas de satélites.

França et al. (2012) apresenta os índices espectrais normalizados como medidas capazes de identificar diversas informações presentes na superfície terrestre por meio dos elementos multiespectrais contidas nas imagens de satélite e desta forma classificá-las entre solo exposto, edificações, cobertura vegetal, massa de água, entre outros.

Estes índices serão obtidos por meio do satélite Landsat 8, sendo este uma continuação da missão Landsat. O satélite Landsat 8 foi lançado ao espaço em 11 de fevereiro de 2013 a partir da Base da Força Aérea de Vandenberg, Califórnia em um foguete Atlas – V. Atuando desde 2013 na obtenção de mais de 1,1 milhões de imagens registradas, estas imagens são destinadas a apoiar estudos sobre agricultura, mapeamento do uso do solo, manejo de florestas, desastres naturais e mudanças da superfície da terra, (USGS,2019).

A utilização dos índices espectrais no mapeamento do uso e ocupação do solo demonstra grande importância no monitoramento de áreas de interesse e auxiliam no mapeamento e reconhecimento dos alvos em estudo – vegetação, corpos hídricos, edificações, edificações e solo exposto - serão mapeados por meio de cálculos sobre as bandas contidas nas imagens de satélite Landsat 8, gerando os seguintes índices espectrais: (i) NDVI (Índice de Vegetação Normalizada) será calculado por meio da razão entre as bandas do infravermelho próximo (Banda 5) e vermelho (Banda 4); (ii) NDWI (Índice de diferença normalizada da água) através da razão entre a reflectância do infravermelho próximo (Banda 5) e verde (Banda 3), por último; (iii) NDBI (Índice de acumulado de diferença normalizada) será obtido por meio da razão entre a reflectância do infravermelho próximo (Banda 5) e infravermelho médio (Banda 6).

Os resultados dos índices radiométricos calculados serão gerados em uma composição RGB o qual reconhecerá as classes de uso e ocupação do solo. Ganan et al (2005) ressalta que uma das formas de identificar e classificar os pixels de uma imagem de satélite é através da classificação supervisionada, com base na fusão dos índices espectrais normalizados, e a identificação de alguns pixels pertencentes às classes desejadas este processo é conhecido por área de treino como ROI (*Region of interest*), e a ferramenta de classificação supervisionada tem o objetivo de localizar todos os demais pixels relacionando com as classes obtidas nas áreas de treino. Uma das ferramentas disponíveis para este tipo de classificação é o *algoritmo Dzetsaka* (PEIXOTO, 2018), o qual, pode ser habilitado como complemento do *software* de uso livre QGIS.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Gerar um mapa do uso e cobertura do solo da ilha de Florianópolis, Santa Catarina, a partir da fusão de índices normalizados de vegetação, água e infraestrutura.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

1. Estudar a aplicabilidade dos índices espectrais normalizados de vegetação, água e Infraestrutura para mapeamento de uso do solo;
2. Gerar os índices espectrais como NDVI, NDWI e NDBI a partir de imagens de satélites;
3. Produzir o mapa de uso e cobertura do solo com base nos índices espectrais gerados;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo refere-se à descrição sobre as temáticas a serem abordadas neste trabalho, com a finalidade de apoiar a base teórica a ser desenvolvida nesta pesquisa. Em resumo os índices espectrais normalizados escolhidos, ou seja, NDVI, NDBI e NDWI, além disso a região de estudo apresenta uma estrutura temática de coberturas de vegetação, solo nu, corpos hídricos, rede viária, ocupações planejadas e irregulares.

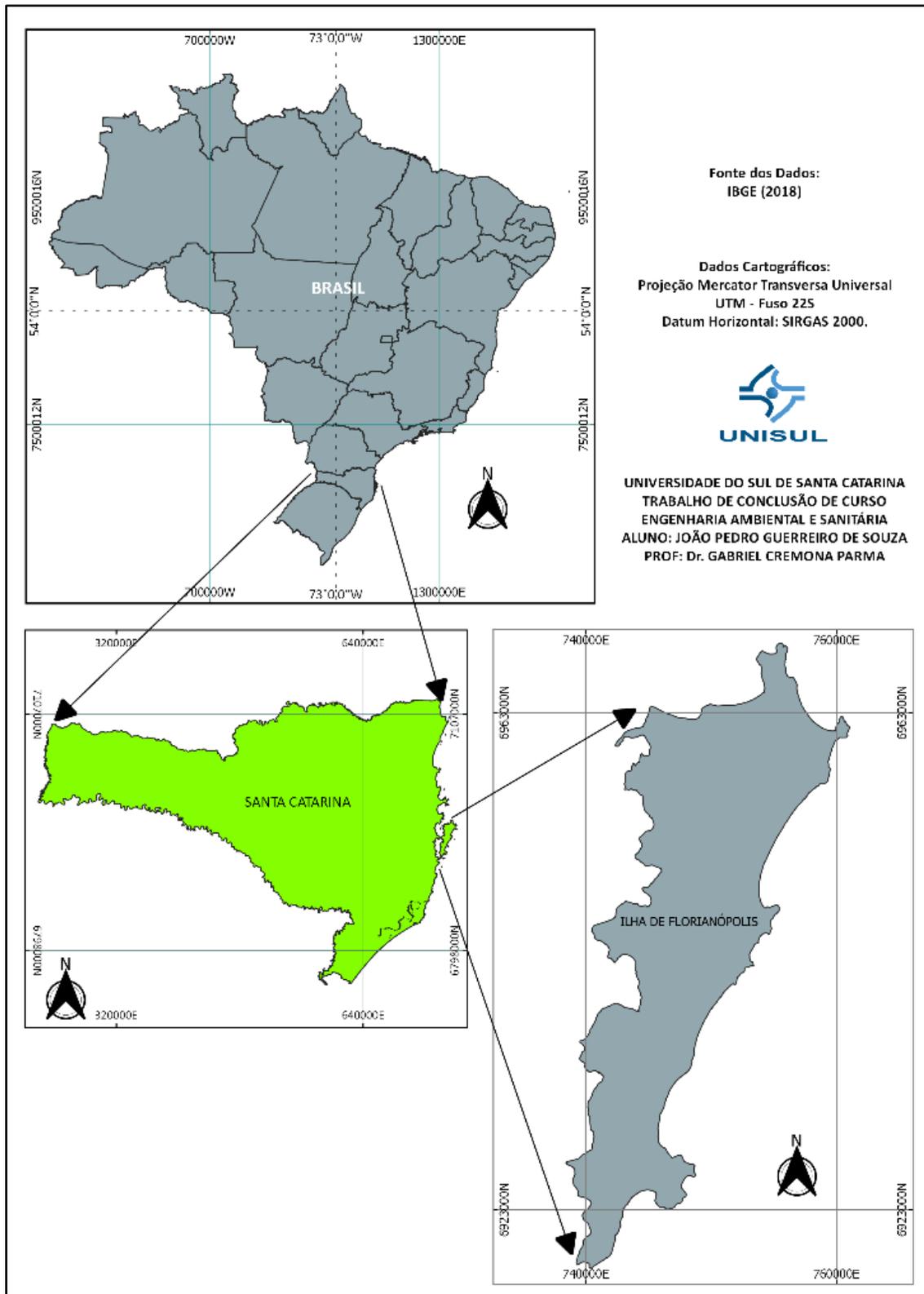
### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Ilha de Santa Catarina pertence ao município de Florianópolis, a capital do Estado de Santa Catarina. É uma ilha costeira de 52 km de extensão, com seus limites nas coordenadas 27 ° 22" S e 27 ° 50" S (Sul do equador) e 48 ° 20' 48 " 35' W (Oeste de Greenwich). A Ilha é interligada ao continente por de pontes construídas no século XX, resultando nos limites populares pode a Ilha pode ser dividida entre Baía Norte e Sul (JUNIOR, 1999).

Segundo Ferretti (2013), as condições socioeconômicas seguem em crescimento, resultando no aumento progressivo de população e o crescimento de áreas urbanas que ascende sobre sistemas naturais, ameaçando o ecossistema que ainda resta na Ilha de Santa Catarina. Na perspectiva de buscar uma sociedade urbana, que avançam suas moradias e tipo de usos do solo sobre ambientes naturais, desde a década de 1970, vêm sendo criados de forma sistemática espaços de proteção pelo município de Florianópolis, mais específico na Ilha. Sendo que, o nome dado a estes espaços protegidos onde se faz a delimitação das áreas que devem ser preservadas e conservadas.

Por conseguinte, o território da Ilha de Santa Catarina, apresenta-se em uma área de 421,5km<sup>2</sup>, com diversidade de paisagens, por conta de sua condição de ambiente costeiro, também, resultado da ação do tempo geológico e da história de ocupação e transformação dos sistemas naturais pela sociedade, contudo, as formas encontradas são interconectadas, fragmentadas e descontínuas (FERRETTI, 2013).

Figura 1 – Mapa de Localização Ilha de Florianópolis



Fonte: O Autor, (2020)

## 2.2 CARTOGRAFIA

O conceito de Cartografia tem sido empregado por todas as sociedades, pois o ser humano sempre buscou localizar e conhecer o mundo em que ele habita e seu ecossistema. Desta forma, os procedimentos cartográficos, partem da coleta de dados, envolve estudo e principalmente o conhecimento científico da área de estudo, (IBGE, 1999).

O vocábulo CARTOGRAFIA, etimologicamente - descrição de cartas, foi introduzido em 1839, pelo segundo Visconde de Santarém - Manoel Francisco de Barros e Souza de Mesquita de Macedo Leitão, (1791 - 1856). A despeito de seu significado etimológico, a sua concepção inicial continha a ideia do traçado de mapas. No primeiro estágio da evolução o vocábulo passou a significar a arte do traçado de mapas, para em seguida, conter a ciência, a técnica e a arte de representar a superfície terrestre, (IBGE, 1999).

Na atualidade, o conceito de cartografia aceito, foi estabelecido em 1966 pela Associação Cartográfica Internacional (ACI), e posteriormente, ratificado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Desta forma, segundo UNESCO (1966 *apud* IBGE, 1999) define cartografia como:

[...] como o conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que, tendo por base os resultados de observações diretas ou da análise de documentação, se voltam para a elaboração de mapas, cartas e outras formas de expressão ou representação de objetos, elementos, fenômenos e ambientes físicos e sócio-econômicos, bem como a sua utilização.

Para salientar esta expressão do conhecimento humano, Santos (2013) discute que antes do homem descobrir o fogo, já se sentia a necessidade de registrar potencialidades das áreas que essas civilizações habitavam, ou lugares onde se passou anteriormente. E, provido desta necessidade surgiram os primeiros mapas, orientados por pontos advindos de zonas com rios e lagos, rochas dentre outros. Surgiu também, uma ampla divulgação da tecnologia de geoprocessamento e com a com as demandas de serviços no mercado de trabalho, em SIG (Sistemas de Informações Geográficas) e Geoprocessamento.

### 2.2.1 Conceito de Mapa e Cartografia

Segundo Santos (2013), a cartografia é a arte de levantamento, construção, edição, manipulação de dados e trabalhos com cartas de diversas tipologias de informações

cartográficas: (i) devem ser construídas escalas gráficas e numéricas, conceituadas como a relação constante existente nas distâncias lineares medidas sobre o mapa em contrapartida as distâncias lineares medidas sobre o terreno; (ii) a escala numérica convencionalmente deve ser representada por determinada fração, onde o numerador é a medida no mapa e o denominador a medida real correspondente ao terreno.

A escala gráfica pode ser entendida como a representação gráfica de distâncias de uma área sobre uma linha reta graduada, sendo que não há necessidade de transformação matemática (IBGE, 2020).

Pensando nisso, Santos (2013), propõe o conceito de mapa como "a materialização de informações ou representação da realidade geográfica, bem como uma ferramenta de apresentação formal de informações geográficas nas modalidades visual, digital e tátil".

#### 2.2.1.1 Cartografia Sistemática

A cartografia sistemática, de acordo com Santos (2013), está baseada e representada com base em normas técnicas, e como também, em convenções de significância científica internacional. Cabe ressaltar, que as bases científicas deste conceito é a Geodésia com suas projeções, a topografia que segundo Pittela et al. (2020) pode ser o meio que estuda as formas e características da superfície terrestre, ainda o embasamento científico se destaca o Sensoriamento Remoto e Astronomia (SANTOS, 2013)

#### 2.2.1.2 Cartografia Temática

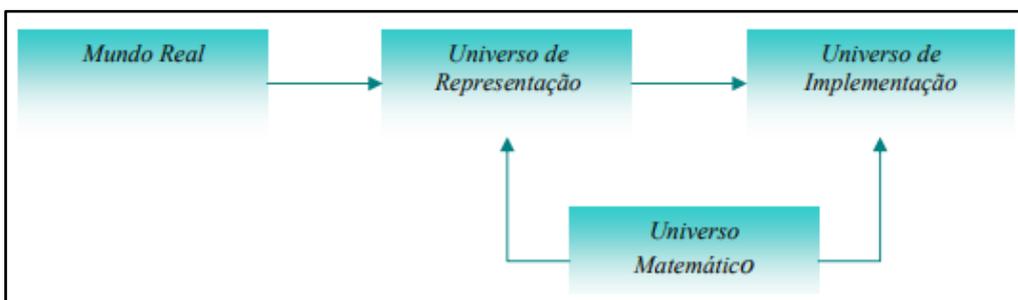
O termo cartografia temática está sustentado em normas de metodologias científicas, estas objetivam na designação de mapas que abordam outros assuntos, ademais a simples representação de um terreno. Também serve de apoio a materialização apresentadas em produtos provindos de conhecimentos geográficos, se destacando sobretudo na compreensão da espacialidade de colossos geográficos, assim como, em representações de resultados obtidos em pesquisas científicas (SANTOS, 2013). Por conseguinte, ainda segundo Santos (2013), as bases científicas da cartografia temática, abarca à teoria da informação, o Sensoriamento Remoto, Semiologia e Estatísticas.

### 2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), são sistemas automatizados utilizados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou sejam dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para poder analisá-la. Segundo Câmara et al. (2005), um SIG é a ferramenta capaz de gerar informações que permitam obter soluções rápidas e precisas para vários problemas, facilitando sempre os processos de tomada de decisões em diversas áreas, tais como: Geologia, Hidrografia, Agricultura, Engenharia Civil, de Transportes, Urbana, de Minas, etc.

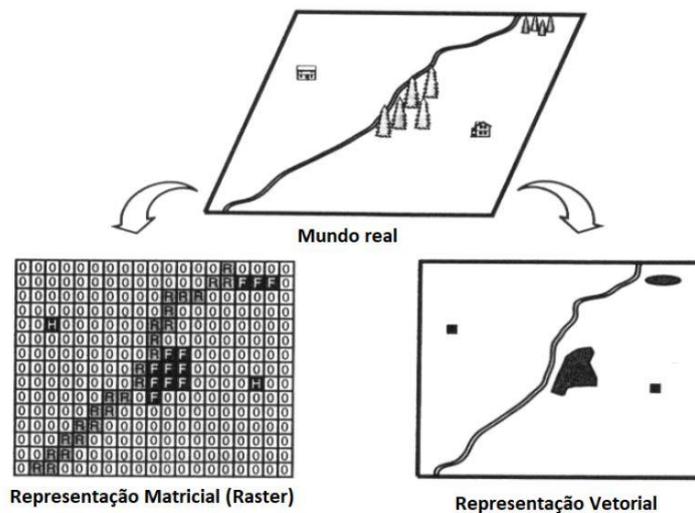
De acordo com Câmara et al. (2015), um SIG pode ser subdividido em três tópicos, o primeiro seria o banco de dados do sistema, na sequência os equipamentos necessários (*hardware*) e por último os operadores espaciais, estes são um conjunto de programas (*software*) dedicados a execução de operações sobre os dados. Os Sistemas de Informações Geográficas, correspondem à ferramentas de geoprocessamento computacionais, permitindo a realização de análises de alta complexidade, ao integrar diversas fontes de dados, bem como a criação de bancos de dados georreferenciados. As análises em SIG possuem diversas aplicações, não sendo considerado apenas a função de manipulação de dados geográficos, porém dentro de um SIG, os dados estruturados representam o mundo real como demonstrado na Figura 2 e Figura 3.

Figura 2 – Representação do mundo real em ambiente computacional.



Fonte: Adaptado de Câmara et al. (2005)

Figura 3 – Exemplo das estruturas de dados de um Sig



Fonte: Adaptado de UFPR, 2016.

Novo (2010) destaca a utilização de hardware em um SIG como um conjunto de equipamentos físicos eletrônicos de trabalho, o hardware pode operar em microcomputadores, dentre outros tipos de computadores tornando sua utilização possível. Por fim, os operadores espaciais são um conjunto de programas computacionais que atuam sobre o banco de dados que seria a base de dados, produzindo e formalizando as informações desejadas.

São infinitas as operações que um SIG pode executar, podendo ser reconhecido em três grupos. (i) no grupo relacionado à cartografia estão inseridos operadores de entrada, conversão e edição de dados como também, ações destinadas ao acabamento visando a apresentação final em formatos variados; (ii) para o grupo de operações de gerenciamento de banco de dados geográficos se insere as operações de montagem, preparação e recuperação. (iii) por último, o grupo de operações que se relacionam com análises espacial dos dados, podem gerar novas informações provenientes da base de dados existente (CÂMERA, 2005)

## 2.4 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma junção entre “softwares” e “hardwares”, esta junção é responsável por coletar e tratar informações espectrais, com o intuito de obter respostas sobre a superfície terrestre.

O INPE (2020) conceitua sensoriamento remoto como o conjunto das atividades relacionadas à aquisição e a análise de dados de sensores remotos. Mas o sensoriamento remoto também pode ser entendido como mecanismo aplicado a obtenção de imagens à distância. Estas imagens são obtidas por aparelhos denominados de sensores remotos que seriam câmeras inseridas em satélites espaciais também chamados de satélite de observação da terra. Ressalta-se que um sensor a bordo do satélite gera um produto de sensoriamento remoto denominado de imagem, diferentemente de uma câmera aerofotográfica, instalada em aeronaves tripuláveis ou não, estas, geram produtos de sensoriamento remoto, porém denominado de fotografia aérea.

Dando continuidade, o sensoriamento remoto é conhecido por utilizar modernos instrumentos, comumente chamados de sensores, incluem-se as câmeras fotográficas, scanners mecânicos e sistemas radares, sejam eles aerotransportados (aviões, balões) ou orbitais (satélites). Outra definição de Sensoriamento Remoto, bastante difundida no meio científico, é apresentada por NOVO (2010) ao apresentar que:

Sensoriamento Remoto consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (aéreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações, (NOVO, 2010).

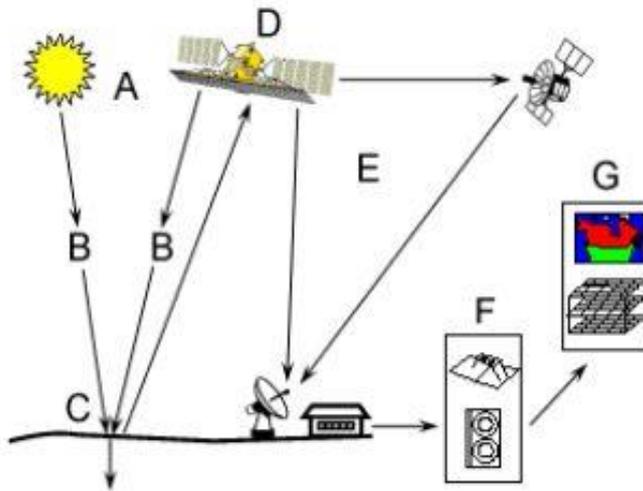
Segundo Moreira (2012), a maioria dos sensores utilizados para quantificar a Radiação Eletromagnética (REM) provindas dos alvos da superfície da Terra, utiliza como fonte a radiação solar, com exceção dos sensores ativos (radares e laser) que possuem suas próprias fontes de radiação.

Por conseguinte, a REM é uma forma de transmissão da energia por meio da aceleração de cargas elétricas que provocam perturbações no campo elétrico (E) e magnético (M) estes se propagando no vácuo, (NOVO, 2010). A REM após atravessar a atmosfera atinge alvos na superfície terrestre e interage com seus elementos. Os resultados dessas interações com a energia incidente são fracionados em três componentes, de formas que parte é absorvida, parte é transmitida e parte é refletida de volta para o espaço, (Figura 4).

Segundo Poelking (2007), os alvos também emitem a REM, resultante de reações físico-químicas que ocorrem ao nível atômico e molecular de acordo com as especificidades de cada alvo, tornando possível o reconhecimento por meio de características espectrais das

condições dos alvos da superfície da terra com o emprego de sensores que captam a radiação refletida ou emitida por eles.

Figura 4 - Obtenção das imagens por Sensoriamento Remoto



Fonte: Batista et al. (2005)

Segundo Batista et al. (2005) de acordo com a (Figura 4) os elementos e fases da aquisição de dados pelo Sensoriamento Remoto se dividem em: A) fonte de radiação, B) atmosfera, C) alvo, D) sensor, E) transmissão e recepção, F) Pré-processamento e disponibilização, G) tratamento, interpretação e geração de mapa temático.

Outra propriedade do sensoriamento remoto são os tipos de resoluções, como a Espectral, que possibilita o estudo e caracterização do comportamento espectral dos diferentes objetos encontrados na superfície. A resolução Espacial é determinada pela menor distância entre dois objetos que o sensor é capaz de identificar como diferentes entre si; como também, a resolução radiométrica é a que define a sensibilidade do sensor, isto é, detecta a variação da radiação eletromagnética em gradações de níveis de cinza; pôr fim a resolução temporal é referente à frequência na passagem do satélite sobre uma mesma área (INPE, 2020).

Por fim, observa-se que os recentes desenvolvimentos tecnológicos no refinamento de hardwares e softwares, componentes de um sistema de informação geográfica (SIG), aliados a técnicas de aquisição de dados, têm por sua vez revolucionado suas possibilidades de aplicação nos estudos dos recursos terrestres. Cabe ressaltar, que o sensoriamento remoto possibilita a obtenção de dados de forma rápida, confiável e repetitiva, em diferentes faixas espectrais e

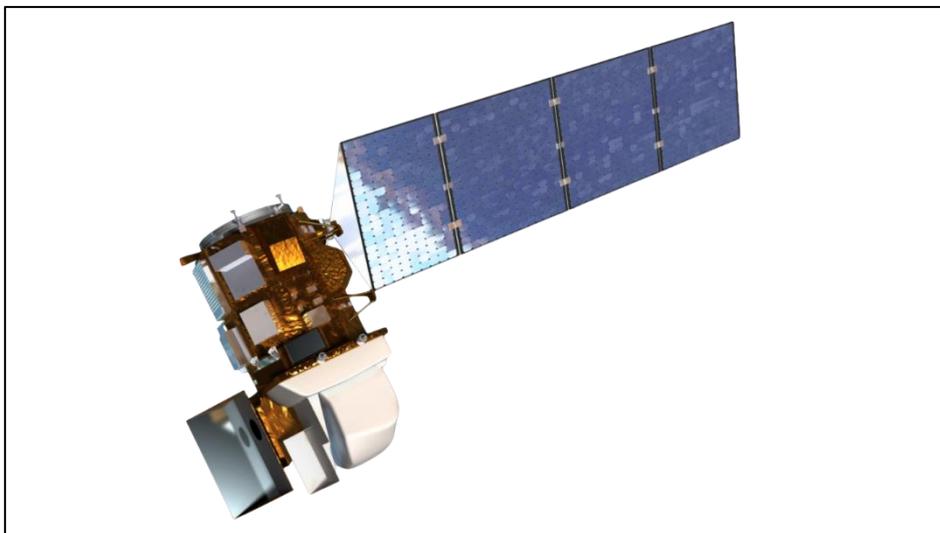
escalas, e os SIG's permitem a ligação destas informações com outros tipos de produtos, tornando as tecnologias de sensoriamento remoto e SIG complementares.

#### 2.4.1 LandSat 8

A série Landsat surgiu no final dos anos 60 como parte do levantamento de Recursos Terrestres desenvolvido pela NASA. Tratasse de um programa de satélites voltado ao estudo dos recursos terrestre mais antigos, operando desde 1972 disponibilizando imagens gratuitas desde 1973, este programa apresenta um acervo histórico de suma importância para o desenvolvimento das sociedades, (NASA, 2020).

O Landsat 8 é uma continuação da missão Landsat, sendo lançado ao espaço em 11 de fevereiro de 2013 a partir da Base da Força Aérea de Vandenberg, Califórnia em um foguete Atlas – V. Atuando desde 2013 na obtenção de mais de 1,1 milhões de imagens registradas, a forma do satélite está demonstrada na (Figura 5), estas imagens são destinadas a apoiar estudos sobre agricultura, mapeamento do uso do solo, manejo de florestas, desastres naturais e mudanças da terra, (USGS,2020).

Figura 5 - Satélite Landsat 8



Fonte: NASA, (2020)

Segundo NASA (2020), o satélite Landsat 8 foi desenvolvido por meio da colaboração entre a NASA e o US Geological Survey (USGS), sendo assim, a NASA atuou e coordenou desde as fases de projeto, construção, lançamento e calibração em órbita. Contudo em 30 de

maio de 2013 a USGS assume todas as rotinas de operação, calibração, geração de produtos de dados e arquivamento de dados.

## 2.4.2 Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento refere-se a uma disciplina do conhecimento com o objetivo de tratar dados com informações geográficas, por meio de técnicas matemáticas e computacionais, (CÂMARA et al, 2005). Para Rodrigues (2005), Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, manipulação, tratamento e formalização para apresentação de informações espaciais podendo ser utilizado em diversas áreas das ciências.

De acordo com Xavier (2000), geoprocessamento é entendido como um conjunto de tecnologias capazes de utilizar conhecimentos de diversas áreas da ciência, por meio da axiomática da localização, bem como o processamento de dados geográficos integrando diversos equipamentos, programas, dados metodologias, formas de coletas, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais.

Segundo INPE (2020) o conjunto de tecnologias voltadas para a coleta e tratamento de informações espaciais é conhecido por Geoprocessamento. Sendo as atividades que as compõem executadas por sistemas específicos mais comumente chamado de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os sistemas de geoprocessamento é o destinado para o processamento de dados contendo informações geográficas ou georreferenciadas, desde sua coleta até a geração de mapas convencionais, podendo assumir diversos formatos de extensão.

### 2.4.2.1 Álgebra de mapas

O conceito de álgebra de mapas pode ser entendido como a aplicação de elementos da álgebra tradicional, a ser empregado em conjuntos de operadores sendo possível a manipulação de variáveis pertencentes a campos geográficos. (Berry, 1993).

Tomblin (1990) apresentou seus mapas como elementos que associavam valores qualitativos nominais ou quantitativos (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar) para locais georreferenciados para determinada área de estudo. Defendeu a realização de operações matemáticas entre esses elementos de acordo com a expertise relacionada com o conhecimento

das características da área de estudo para cada modelador. Toblin (op.cit), propôs ainda, o termo "geo-campo", o qual definiu como alusivo a elementos associados a cada local de estudo e a um valor qualitativo ou quantitativo, Em seguida, classificou as operações de geo-campos em (i) zonais, (ii) pontuais e (iii) de vizinhança.

A Álgebra de Mapas compõe uma linguagem especializada para realizar operações que tem tanto um sentido matemático quanto cartográfico e espacial. Estas operações podem ser agrupadas em três grandes classes:

[...]1) Pontuais: a saída da operação é um mapa cujos valores são função apenas dos valores dos mapas de entrada em cada localização correspondente. Podem operar apenas sobre um mapa ou realizar intersecções entre conjuntos espaciais (operações booleanas entre mapas temáticos). 2) Vizinhança: o resultado é um mapa cujos valores dependem da vizinhança da localização considerada. Exemplos são a filtragem espacial de uma imagem e o cálculo de declividade de um modelo numérico de terreno. 3) Zonais: definidas sobre regiões específicas de um mapa de entrada, onde as restrições são fornecidas por outro mapa. Um exemplo seria: “dado um mapa de solos e um mapa de declividade da mesma região, obtenha a declividade média para cada tipo de solo”. (BARBOSA *et al*, 1998).

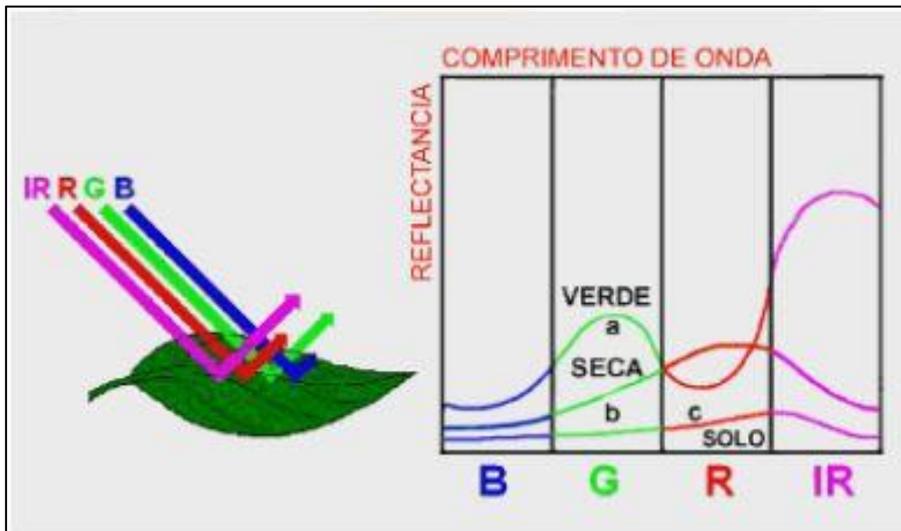
De acordo com Barbosa et al, (1998), as operações de transformações zonais ou porregião operam sobre um mapa de origem e um conjunto de regiões delimitadas por polígonos na forma matricial ou vetorial conforme exemplificado, (Figura 3). Contudo, diferentemente das transformações de vizinhança, onde cada posição geográfica possui sua própria vizinhança representada por uma máscara que se desloca sobre os dados, nas transformações zonais as regiões são estáticas, ou seja, não se deslocam sobre a região geográfica de estudo.

#### 2.4.2.2 Assinaturas espectrais

A radiação recebida pela superfície da terra, interagem com seus objetos, podendo ser refletida, absorvida até mesmo transmitida. Vale ressaltar, que em geral a parte absorvida é transformada em energia como o calor e a parte refletida se converge no espaço. Desta forma, o fator que mede a capacidade de algum objeto em refletir a energia radiante é por meio de sua reflectância, enquanto a capacidade de absorver esta energia radiante é conhecida por absortância, da mesma forma, a capacidade de transmitir energia radiante é indicada pela sua capacidade de transmitância. Estes fatores costumam ser expressos em porcentagem, (INPE, 2020)

Neste contexto, o Inpe (2020) demonstra ser possível medir a reflectância de objetos para cada tipo de radiação componente de seu espectro eletromagnético, conforme exemplificado na (Figura 6).

Figura 6 – Assinaturas espectrais



Fonte: INPE, (2020)

Como pode ser observado na Figura 6, a curva "a" demonstra como uma folha verde tem valores absolutamente diferentes de reflectância para cada comprimento de onda, desde o infravermelho próximo ao azul. Este tipo de curva, para cada comprimento de onda, é denominado de assinatura espectral e varia de acordo com as propriedades de cada objeto, (INPE, 2020).

As imagens de satélite possuem características espectrais e quando provindas de sensoriamento remoto, do tipo coloridas, resultam da combinação de três cores (azul, verde e vermelho), associadas por meio de operadores de filtragem sendo às imagens individuais obtidas em diferentes comprimentos de onda, (INPE, 2020).

### 2.4.3 Índices espectrais

A utilização de índices espectrais para caracterização do uso da cobertura do solo, se torna cada vez mais frequente, devido a sua proposta de realçar determinadas características dos alvos de forma automatizada e precisa, (VAUGHAN, 2010).

Segundo He et al, (2010), demonstra que o monitoramento da urbanização por meio da utilização de imagens de satélite provindas do sensoriamento remoto atuante nas áreas de

estudo, demonstra a possibilidade da visão aérea ou até mesmo panorâmica, como consequência, é possível obter o mapeamento temático da área de estudo.

Estão esquematizadas comparações entre os principais artigos que utilizam as respostas de índices espectrais na revisão e detecção de áreas construídas, bem como o mapeamento do uso da cobertura do solo Tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo da precisão das técnicas para tipos de escala.

<b>Autor</b>	<b>Sensor</b>	<b>Bandas</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Precisão</b>	<b>Escala</b>
Zha, Gao e Ni (2003)	TM	3,4,5	NDVI, NDBI, Classif. Superv. MAXVER	92,6% para o NDBI	1:150000
Jianjun et al. (2005)	TM, ETM +	3,4,5	NDBI, Classif. Superv. MAXVER	98,96% e 78,75%, Maxver e NDBI	1:150000
Chen et al. (2006)	TM, ETM +	7 bandas	NDVI, NDWI, NDBI, NDBal	92,19% e 87,04%, Global e Área construída	1:150000
Qian, Zhou e Hou (2007)	ETM +	6 bandas	NDBI, MAXVER, Classif. Imagem Or. Objeto	Insuficiente, 70,89%; 89,33%	1:150000
Zhang, Odeh e Han (2009)	TM, ETM +	3,4,5,6	LST, NDVI, NDBI	Correlação de 0,87 e 0,74; 0,29 e 0,07, p/ LST-NDBI e LSTNDBI	1:600000 e 1:150000
Liu e Zhang (2011)	TM, Aster	7 TM, L1A Aster	LST, NDVI, NDBI, UTFVI	Correlação de -0,41 e 0,71 para LSTNDVI e LST-NDBI; UTFVI extremos em < 0 e em > 0,02	1:600000; 1:150000; 1:450000
Lee et al. (2011)	TM, ETM +	3,4,5,6	BT e Class. Árvore de decisão com o uso de NDVI, NDWI, NDBI, NDBal	90% para água e área construída e relação direta entre BT e área construída	1:150000

Fonte: (MOREIRA, 2012)

#### 2.4.3.1 NDVI (Índice de vegetação normalizada)

O índice espectral de vegetação normalizada conhecido por NDVI, foi introduzido por Rouse et al. (1973) e vem sendo amplamente empregado para mapear, quantificar e estimar a condição da cobertura vegetal. Como também, este índice é considerado o mais utilizado no processamento de dados provindos de satélites espaciais, (MYNENI et al, 1995)

Segundo Bannari et al (1995), o NDVI pode ser aplicado em numerosos estudos em esferas regionais ou até mesmo globais, para avaliar a saúde da vegetação. Apesar das interferências atmosféricas bem como a degradação radiométrica nas bandas do vermelho e

infravermelho próximo, esta técnica é desenvolvida com sucesso quando normalizada a fim de reduzir os efeitos de degradação das calibrações realizadas nos sensores.

#### 2.4.3.2 NDBI (Índice de acumulado de diferença normalizada)

O índice NDBI foi desenvolvido para identificar construções em áreas urbana, bem como delimitá-las, atua por meio da resposta espectral de áreas contendo edificações por meio da razão entre as bandas do infravermelho médio e próximo (Xu, 2007; FRANÇA et al., 2012)

Segundo Gao *et al* (2003), o índice espectral normalizado conhecido por NDBI tem como objetivo o mapeamento de áreas urbanas construídas, sendo desenvolvido como uma técnica muito eficaz no mapeamento de áreas edificadas com precisão de até 92% para as determinadas áreas de estudo. O autor demonstra, ainda, ser possível atingir a precisão supracitada apenas quando o NDBI é trabalhado em conjunto com o NDVI. Desta forma, demonstram que para as imagens derivadas de NDVI e NDBI os valores dos índices quando positivos representam áreas construídas e vegetação.

#### 2.4.3.3 NDWI (Índice de diferença normalizada da água)

O NDWI foi proposto por Gao (1996), como uma forma de detectar informações de alvos que reservem água ou até mesmo o reconhecimento de corpos hídricos. Este índice é apresentado pelo autor em complemento aos resultados obtidos pelo NDVI, podendo identificar áreas que absorvem mais água ou até mesmo áreas alagadas.

Este método também é utilizado em trabalhos que objetivavam a observação da variação temporal do comportamento de plantações agrícolas por meio das informações de satélites, verificando o teor de humidade nestas culturas, (JACKSON, et al. 2004).

### 3 MÉTODO

Para atingir os objetivos de mapear o uso da cobertura do solo para Ilha de Florianópolis, por meio da utilização de imagens do satélite Landsat-8, este, lançado em fevereiro de 2013, sendo desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) com o intuito de coletar dados valiosos sobre a superfície terrestre. Abordo do satélite Landsat-8 estão dois sensores imageadores, sendo o sensor OLI (*Operational Land Imager*) o possuidor de nove bandas espectrais e uma banda pancromática, e o sensor termal TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), as especificações das bandas de cada sensor conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações técnicas gerais Landsat 8

<b>Bandas</b>	<b>Comprimentos de ondas (µm)</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>
Banda 1 – Ultra-azul	0,433 – 0,453	30
Banda 2 Banda 2 – Azul	0,450 – 0,515	30
Banda 3 Banda 3 – Verde	0,525 – 0,600	30
Banda 4 Banda 4 – Vermelho	0,630 – 0,680	30
Banda 5 – Infravermelho próximo	0,845 – 0,885	30
Banda 6 – Infravermelho Médio/SWIR 1	1,566 – 1,660	30
Banda 7 – Infravermelho Médio/SWIR	2,100 – 2,300	30
Banda 8 – Pancromática	0,500 – 0,680	15
Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,390	30
Banda 10 – Infravermelho Termal/TIRS 1	10,6 – 11,19	100 m é tratada e disponibilizada com pixel de 30m
Banda 11 – Infravermelho Termal/TIRS 2	11,5 – 12,5	100 m é tratada e disponibilizada com pixel de 30m

Fonte: Adaptado de NASA (2019)

Acesso: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>

Para o sensor OLI os dados das imagens são obtidos por meio de 9 bandas espectrais de ondas curtas ao longo de 190 quilômetros de faixa de atuação, com uma resolução espacial de 30 metros para todas as suas bandas, exceto para a banda Pan cromáticas que possui resolução espacial de 15m. Como o OLI, o TIRS é um sensor que utiliza um plano focal em sua varredura, com longas matrizes fotossensíveis detectores de informações. As coletas de dados de imagem TIRS, utiliza duas bandas térmicas com 100 metros de resolução espacial, (USGR, 2020).

As características dos sensores instalados no satélite, estão expostas no (Quadro 2).

Quadro 2 - Características dos sensores OLI e TIRS

<b>Satélite Landsat – 8</b>	
Largura de Faixa	170 x 185 quilômetros
Resolução radiométrica	16 bits
Projeção	Projeção UTM, Datum WGS 1984
Revisita	16 dias
Órbita	Heliossíncrona (altitude de 705 km)

Fonte: Adaptado de (USGR, 2020)

As imagens foram registradas no dia 04/04/2020 por volta das 13h pm, O acesso as imagens de satélite estão disponíveis de forma gratuita, com base no Art. 63 da Portaria MCT (Ministério de Estado da Ciência e Tecnologia) n° 897, de 03/12/2018, a qual atribuí esta competência ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Com base no serão utilizadas ferramentas de classificação supervisionada para correções atmosféricas previamente aos cálculos dos índices espectrais normalizados em estudo.

Segundo Pinheiro e Laranjeira (2013), demonstram ser possível aproveitar das respostas de diferentes superfícies terrestres a uma determina região do espectro eletromagnético. Desta forma, por meio de combinações entre as bandas das imagens multiespectrais de satélite servirão de base para o desenvolvimento de um conjunto de índices, objetivando reconhecer de forma automática diferentes formas do uso do solo e aspectos de sua cobertura.

### 3.1 PRÉ-PROCESSAMENTO

Segundo Moreira (2018), o pré-processamento das LandSat 8 foi realizado com o auxílio da ferramenta de complemento denominada Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Nesta etapa se realizou as projeções cartográficas e a correção atmosférica das imagens. Com isso, os dados serão reprojatados para Projeção Mercator Transversa Universal (UTM) zona 22S, e georreferenciado no *datum* Sistema de Referências Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

### 3.2 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI)

O índice de vegetação normalizada (NDVI), foi proposto por Rouse et al. (1973), e será utilizado para o reconhecimento da vegetação da área de estudo, por meio da reflectância do

vermelho e a reflectância do infravermelho próximo. Ressaltasse a ampla utilização deste índice para mapear, quantificar e estimar a cobertura da terra e a qualidade da vegetação, o NDVI será calculado a partir da equação abaixo:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Onde:

NIR = infravermelho próximo (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ )

Red = vermelho (0,630 – 0,680  $\mu\text{m}$ )

Além disso, no que se refere ao resultado do NDVI, estes deverão apresentar valores entre -1 e 1 no qual índices próximos de 1 representam vegetação saudável bem como os valores próximos a -1 demonstram vegetações impactadas ou até mesmo solo exposto.

### 3.3 ÍNDICE DE ACUMULADO DE DIFERENÇA NORMALIZADA (NDBI)

Da mesma forma, para o reconhecimento dos espaços edificados da ilha de Santa Catarina, será utilizado o índice NDBI (*Normalized Difference Built-Up Index*; Gao, 1996) que atuará com base na resposta espectral destas áreas, a ser obtidas entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio, (Zha et al., 2003), segue abaixo a equação para o cálculo:

$$NDBI = \frac{(MIR - NIR)}{(MIR + NIR)}$$

Onde:

MIR = infravermelho médio (1,57 – 1,65  $\mu\text{m}$ )

NIR = infravermelho próximo (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ )

### 3.4 ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA DA ÁGUA (NDWI)

Contudo, o último índice a ser calculado objetiva-se no destaque dos corpos hídricos que serão reconhecidos por meio do índice NDWI (índice de diferença normalizada da água), sendo este realizado com base na reflectância do infravermelho próximo e verde. Cabe ressaltar

que este índice também pode ser utilizado para estimar a umidade na vegetação, (França et al, 2012).

Segue abaixo a fórmula utilizada:

$$NDWI = \frac{(VD - NIR)}{(VD + NIR)}$$

Onde: VD = verde (1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$ )

NIR = infravermelho próximo (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ )

### 3.5 FUSÃO DOS ÍNDICES ESPECTRAIS (R-G-B)

Técnicas de fusão de imagens caracteriza um conjunto de operação no qual objetivam a integração de imagens de diferentes características, tais como resolução espectral. Sendo o principal interesse da fusão de dados de imagem de resolução múltiplas é criar imagens compostas para posterior criação de chaves de interpretação aprimorada. A fusão de bandas contida nas imagens de satélite, apresentam muitas vantagens que abrangem sempre o aprimoramento de recursos como, a nitidez de imagens sendo essa técnica muito usada para etapas de processamento de imagem, como a segmentação de imagens, extração de recursos, identificação, detecção de objetos e detecção de alvos (BEZERRA, 2019).

Desta forma, após os três índices calculados, foi realizada a fusão dos três índices normalizados, para criação de um único e novo *raster* a ser chamado de *layer stack*. Neste novo *raster* gerado, irá se utilizar a renderização multibanda colorida por meio da alternância dos canais RGB com a finalidade de atingir a resposta mais condizente com a realidade da área de estudo. A cor de um objeto, em uma imagem pode ser representada pelas intensidades das componentes vermelho R, verde G e azul B, no sistema de cores RGB, será adotado a composição R=NDBI, G=NDVI e B=NDWI (CARDOSO et al.,2014).

### 3.6 COMPOSIÇÕES COLORIDAS MÉTODO CLÁSSICO LANDSAT 8 (R-G-B)

Com o objetivo comparação simples, utilizar diferentes composições que identificasse a melhor resposta espectral no reconhecimento dos alvos que se deseja reconhecer, desta forma poder identificar as classes encontradas na melhor composição R-G-B (MOREIRA, 2018). Sendo realizado a utilização da composição infra vermelha, com as bandas 5-4-3 para

reconhecimento por meio da classificação supervisionada, esta composição é possível gerar um mapa de uso e cobertura do solo com base no novo shape de áreas de treino afim de comparação simples e interativa com o mapa obtido com as composições indicadas, no caso a infra vermelho (USGR,2020)

Quadro 3 – Descrições das composições coloridas do sensor OLI/LANDSAT 8.

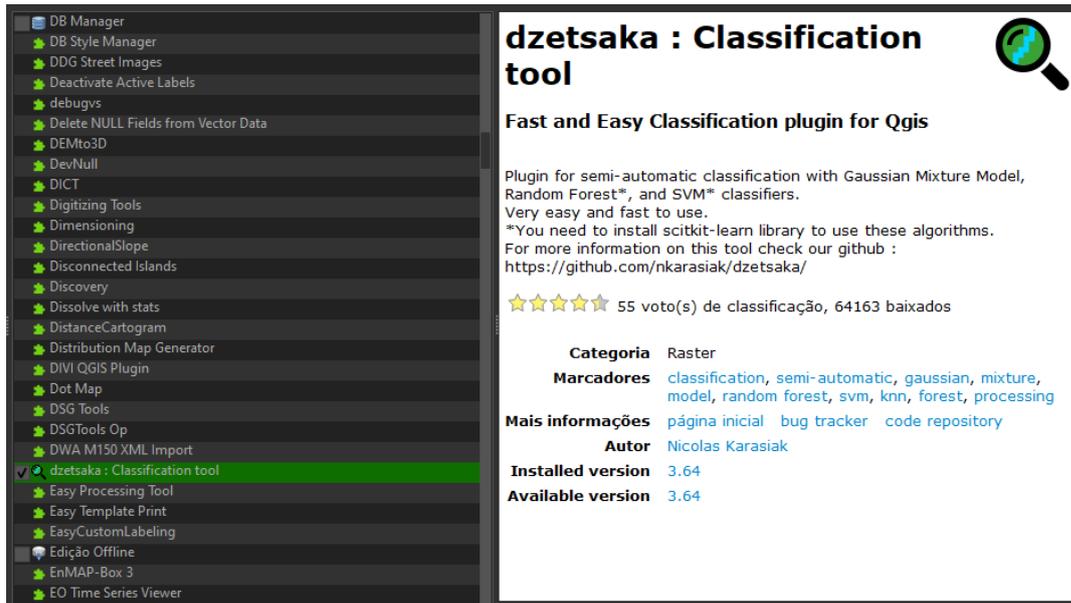
<b>Composição R-G-B</b>	
<b>Resultado</b>	<b>OLI/LANDSAT8</b>
Falsa Cor	7-5-3
Infravermelho	5-4-3
Cor natural	4-3-2

Fonte: Adaptado de (USGR, 2020)

### 3.7 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA USO E COBERTURA DO SOLO

As classificações foram realizadas a partir do algoritmo disponibilizado pelo QGIS, 3.4 conhecido como *Dezetsaka*, Figura 7. Tratando-se de um método de classificação supervisionada desenvolvido por Nicolas Karasiak, em sua rotina utiliza um classificador GMM (*Gaussian Mixture Model*), ou traduzindo para o português, Modelo de Mistura Guassiana. A vetorização das áreas de treino, que são polígonos classificados de acordo com as classes de uso do solo selecionadas através da chave de interpretação com base em observações da área de estudo e conhecimento prévio. Sendo assim, os polígonos iram representar as assinaturas espectrais associados a uma identidade relacionada com as classes de uso de solo a serem utilizadas na reclassificação do *raster* obtido na fusão dos índices espectrais ou pelo método clássico (PORTELA, 2019).

Figura 7 – Pulguin de classificação supervisionada dzetsaka (QGIS 3.4).

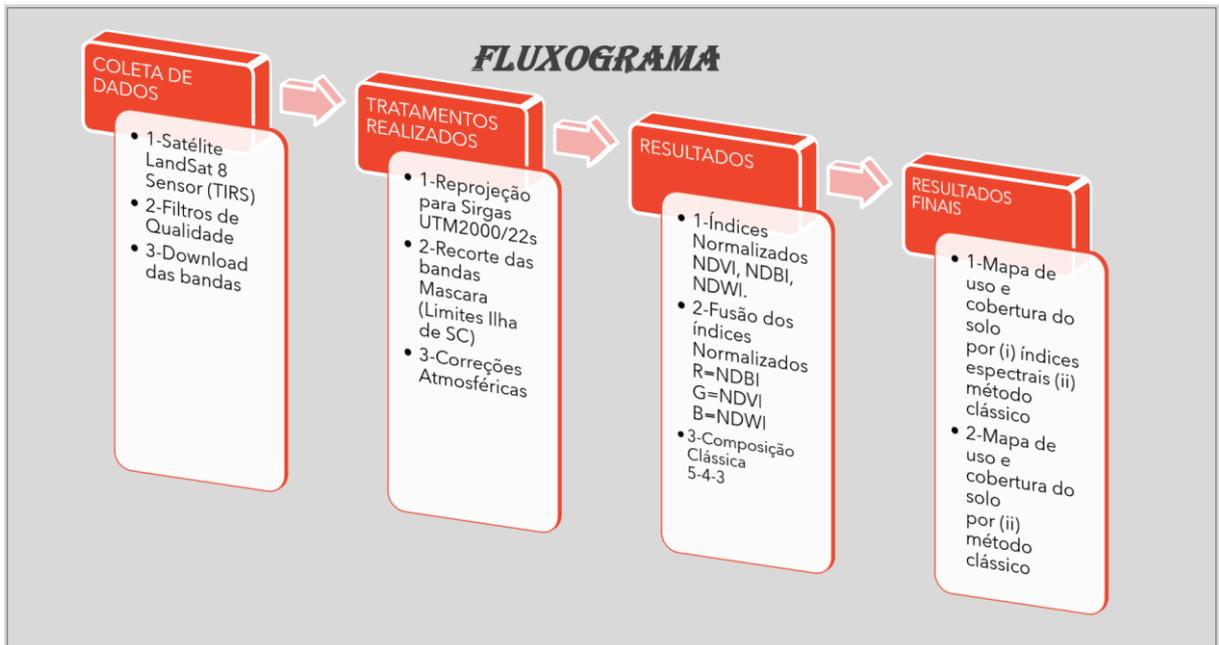


Fonte: O autor-print QGIS 3.4, 2020.

Segundo Fitz (2019), as famílias que se distribuem são formadas pela composição de mais uma distribuição básica, sendo esses modelos formados pela distribuição de probabilidade  $D_1$  com probabilidade  $w_1$ , e pela distribuição de probabilidade  $D_2$  com probabilidade  $w_2$  e seguindo esta lógica. Porém, misturas Gaussianas podem ser entendidas como grupos descritos estatisticamente pelos parâmetros média, e matrizes de covariância.

Após a padronização dos alvos classificados nas imagens, as classes de uso e cobertura do solo geradas a partir interpretação das imagens em estudo. Na sequência, será realizado a vetorização do *raster* obtido com o resultado obtido na classificação supervisionada, onde será possível realizar o cálculo das áreas encontradas na classificação supervisionadas com base nas áreas de treino. O resultado da vetorização será o shape de Uso e Cobertura do Solo da Ilha de Santa Catarina, será apresentado em forma de um mapa cartográfico nos próximos capítulos desse trabalho. Por fim, para uma melhor visão desta metodologia Figura 8 demonstra o fluxograma de pesquisa.

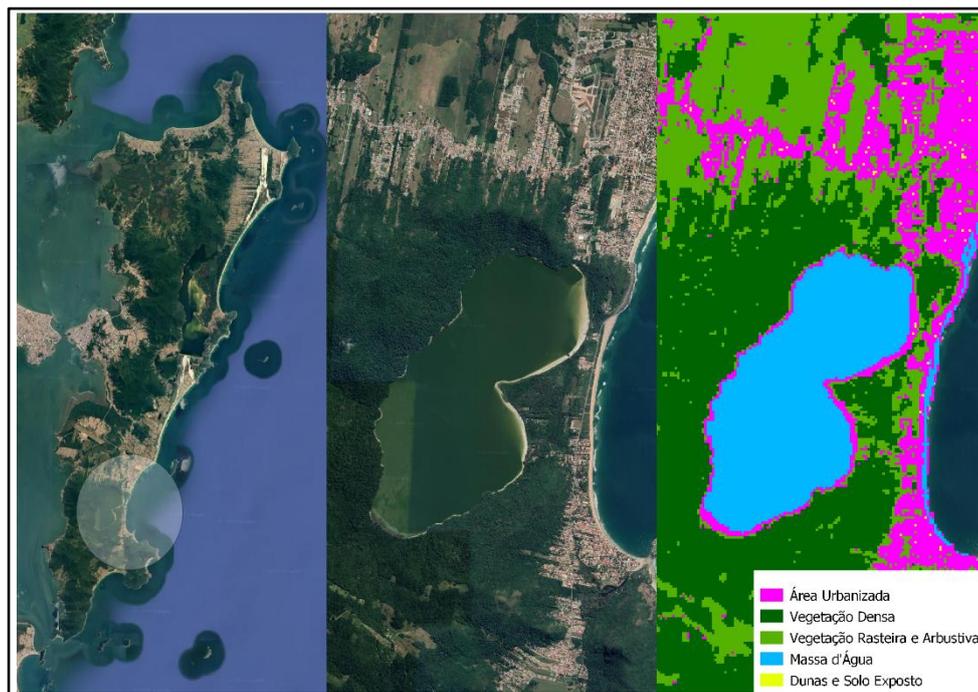
Figura 8 - Fluxograma de pesquisa



Fonte: O autor (2020)

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os produtos advindos do presente trabalho, são dois mapas temáticos na escala de nominal de 1:190.000 a região que compreende a Ilha de Santa Catarina, por meio da integração de composições espectrais dos índices físicos e por método clássico. Desta forma, os índices radiométricos NDVI, NDBI e NDWI foram obtidos por meio de operações algébricas com a combinação de bandas específicas, e na sequência com base no *raster* da Figura 12, também se utilizou um arquivo vetorial em forma de polígonos com o objetivo de identificar os alvos com base nas classes de uso do solo selecionadas através da chave de interpretação com base em observações da área de estudo e conhecimento prévio. Com os dois arquivos supracitado, com a utilização do algoritmo Dezetsaka foi obtido o *raster* de uso e cobertura do solo e sua posterior vetorização podendo se observar no mapa da Figura 17 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado



Fonte: O autor, 2020.

Figura 18 – Exemplo da avaliação pelo método clássico

Fonte: O autor, 2020.

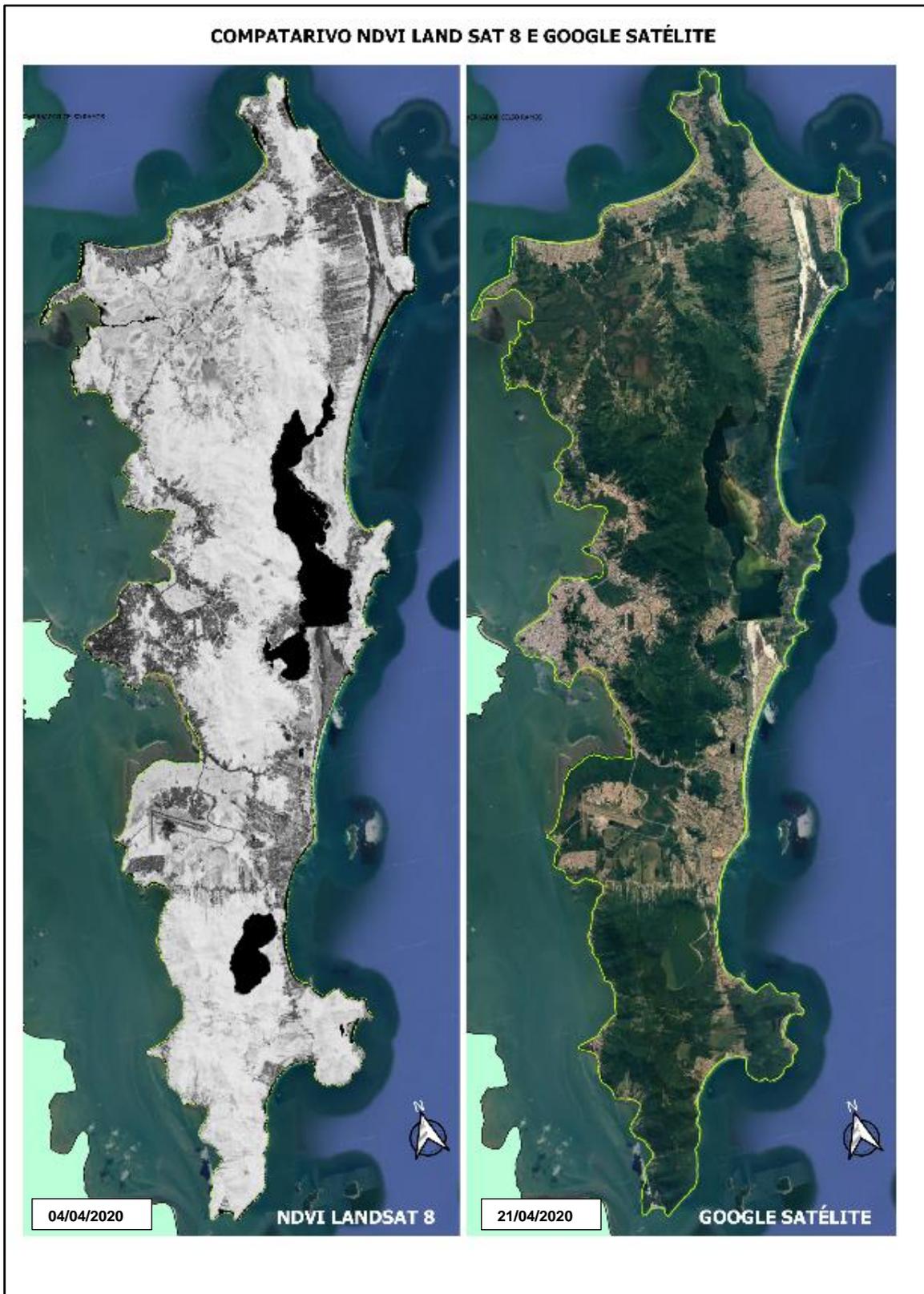
Figura 19. Em comparação aos resultados obtidos no uso e cobertura do solo obtido pelos índices radiométricos, foi gerado o uso do solo através do método clássico, por meio da composição 5-4-3 infra vermelho no qual realça a vegetação, fim de verificar se ocorreria maior separação entre dunas e áreas urbanas ou solo exposto e áreas urbanizadas Figura 20.

#### 4.1 CÁLCULO DO NDVI

O cálculo do NDVI conforme a Figura 9, demonstram que para a Ilha de Florianópolis na ausência de atividade fotossintética a coloração fica mais escura, por conseguinte, quanto maior a atividade fotossintética indica que a coloração será mais branca. Contudo, a água, por apresentar maior reflectância em regiões verdes diferente do infravermelho próximo. E de acordo com a Figura 9, se mostra perceptível a relação do resultado obtido com o NDVI e contrapartida a imagem do Google Satélite.

Cabe ressaltar, que o NDVI possui seu principal destaque está nas áreas contendo diversos tipos de vegetações, assim como no entorno da Ilha de Santa Catarina e em regiões onde a presença de vegetação está aparente. Por fim, o NDVI tem como alvo o reconhecimento da vegetação, sendo o maior destaque, contudo as zonas urbanas e solo exposto se confundem.

Figura 9 – Comparativo NDVI LANDSAT 8 e Google Satélite



Fonte: O autor, 2020.

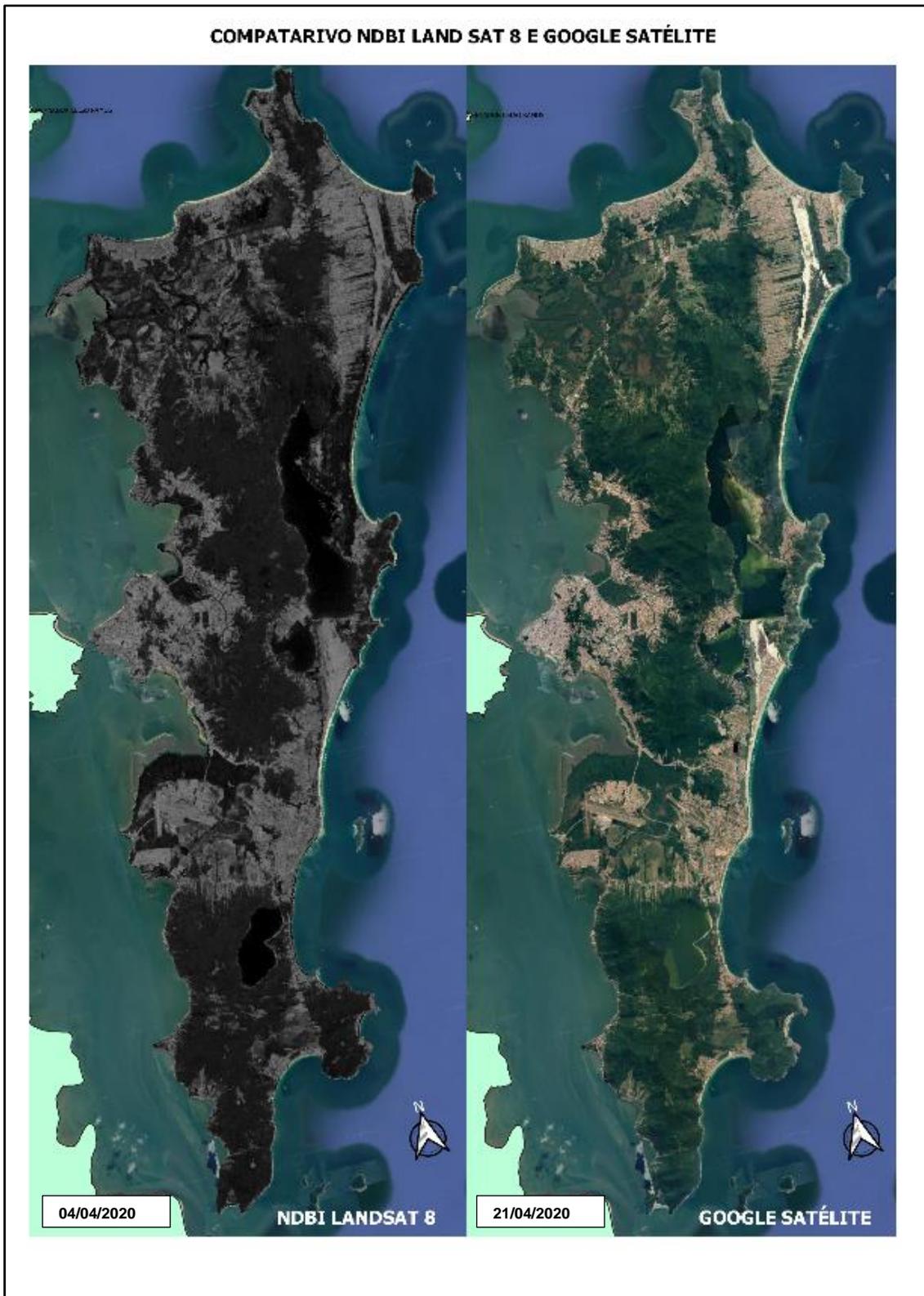
## 4.2 CÁLCULO DO NDBI

O cálculo do NDBI possui potencialidade para mapeamento de áreas urbanas, conforme observado na Figura 10, os dados mais claros correspondem ao reconhecimento das áreas urbanas, porém ressaltasse que as praias e áreas antropizadas aparentemente se confundem. Observasse também, que a vegetação é reconhecida entre o claro “vegetação” e escuro “água”, porém os dados analisados de acordo com a Figura 10, também confundem vegetação densa de arbustiva e ou campos e pastagens (PINHEIRO et al., 2013; ZHA et al., 2003).

Da mesma forma que Zha et al. (2003) os resultados obtidos na Figura 10, demonstram que os problemas nos solos destinados a campos e pastagens ou a áreas em início de construção podem tendenciosamente, quando observados apresentam resposta espectral similar a áreas construídas. Isso foi observado nas dunas da Ilha de Florianópolis, solo exposto e alguns campos e pastagens apresentam mesma resposta espectral que as áreas urbanizadas.

Por conseguinte, ainda no tocante ao NDBI, normalmente quando há mais radiação refletida em comprimentos de onda do infravermelho próximo do que em comprimento de onda visíveis, o NDBI apresenta a vegetação reconhecida, mais densa, podendo conter tipos variados de florestas. No entanto, verificando a existência de baixa intensidade da reflectância entre comprimentos de onda visíveis e, no infra vermelho próximo pode representar uma vegetação escassa ou formada por gramíneas (WEIER et al, 2000).

Figura 10 – Comparativo NDBI LANDSAT 8 e Google Satélite

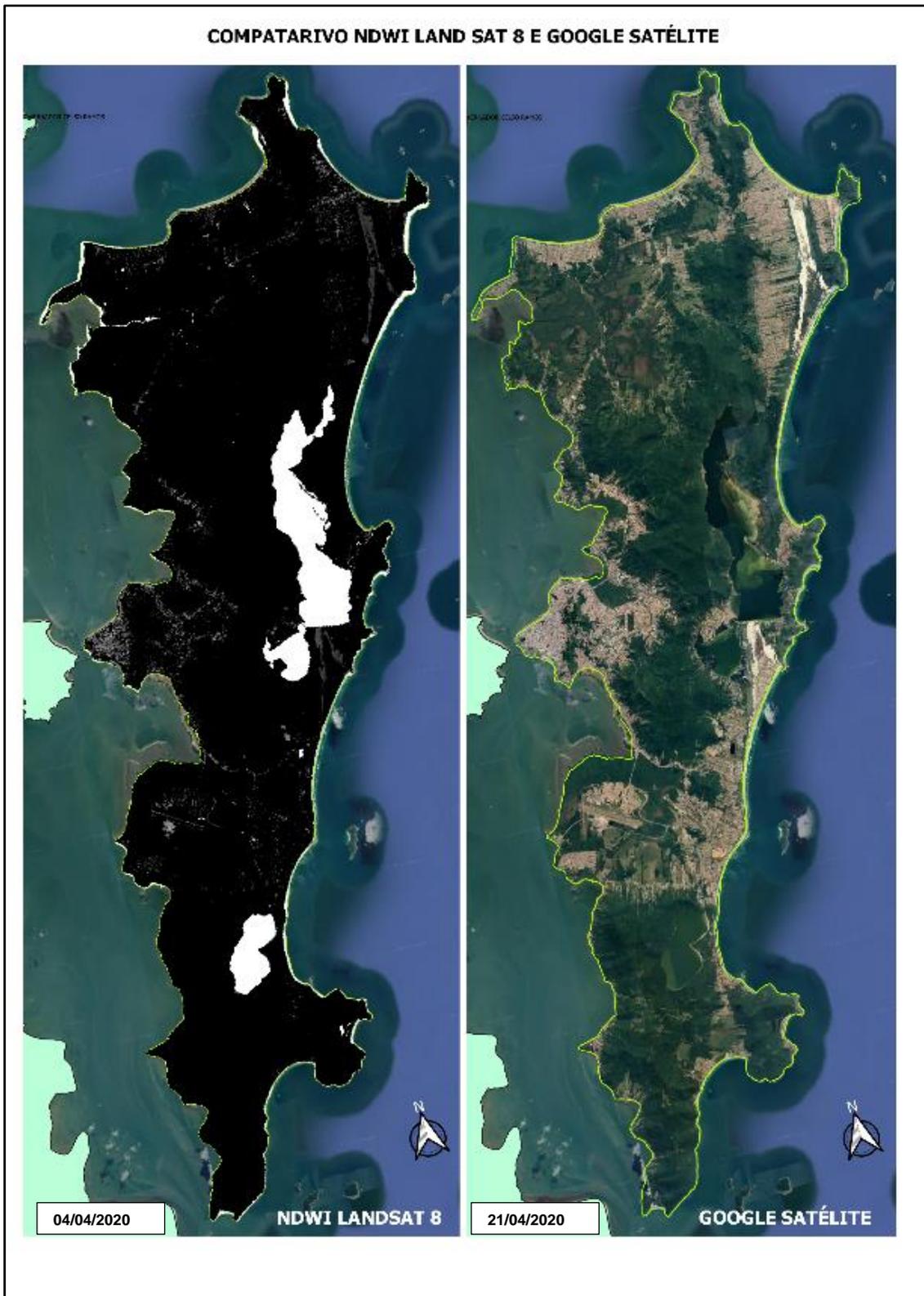


Fonte: O autor, 2020.

### 4.3 CÁLCULO DO NDWI

Segundo Xu (2007), mesmo o NDWI tendo a capacidade de destacar e posteriormente delimitar cursos d'água que se apresentam em coloração branca, porém apresenta dificuldades para remover completamente possíveis efeitos da refletância contida no solo. É possível identificar na Figura 11, que os corpos d'água realmente apresentam-se em coloração branca, porém, por mais que as áreas urbanizadas se apresentem bem sucinta, neste caso foi de fácil reconhecimento e assertividade provindos do resultado do cálculo deste índice.

Figura 11 – Comparativo NDWI LANDSAT 8 e Google Satélite

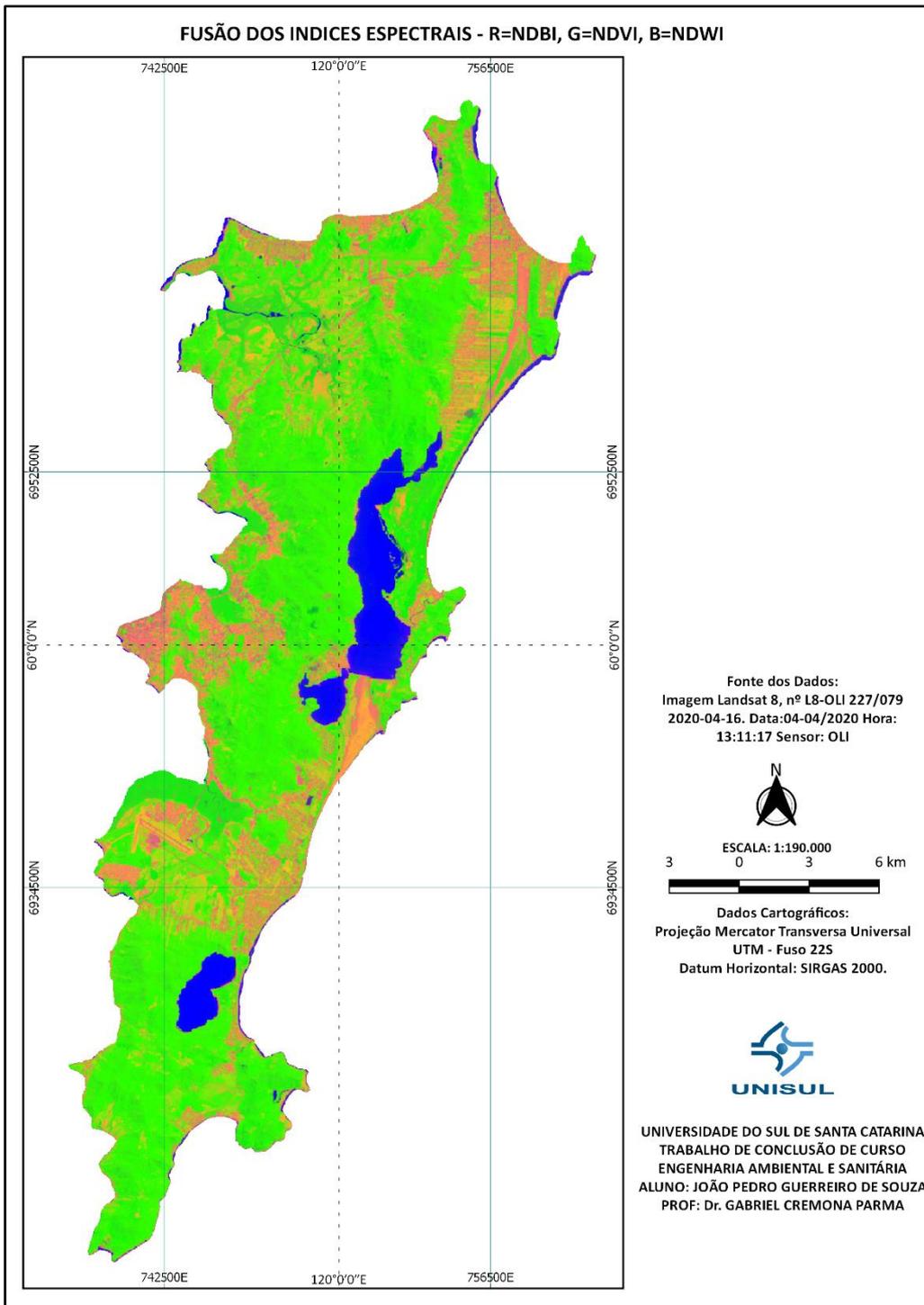


Fonte: O autor, 2020.

#### 4.4 MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO ILHA DE SANTA CATARINA

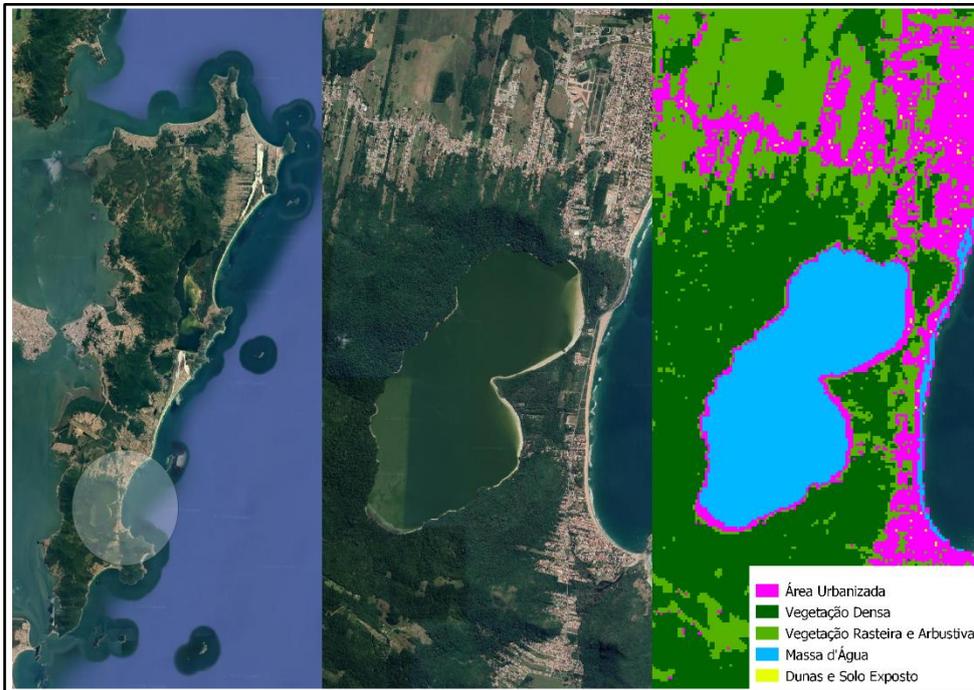
Com base nos resultados obtidos nos cálculos dos índices, sendo através da fusão dos índices radiométricos alternados em composição RGB, que foi utilizada nas áreas treino da Classificação Supervisionada, a composição consistiu em R=NDBI, G=NDVI, B=NDWI, cabe destacar, que esta composição foi utilizada na reclassificação, com base em dois arquivos de extensão diferentes *raster* e *shape-file*. A fusão serviu como ferramenta na obtenção de contrastes mais condizentes com as classes de uso e cobertura do solo destacando-se o azul da água Figura 12, as classes são posteriormente selecionadas e serão apresentados no mapa de uso e cobertura do solo reclassificado.

Figura 12 – Fusão dos Índices Espectrais: R=NDBI, G=NDVI e B=NDWI



Fonte: O autor, 2020.

As classes escolhidas para as áreas de treino utilizadas para geração do *raster* de uso e ocupação do solo, também observadas no mapa a seguir Figura 17 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado

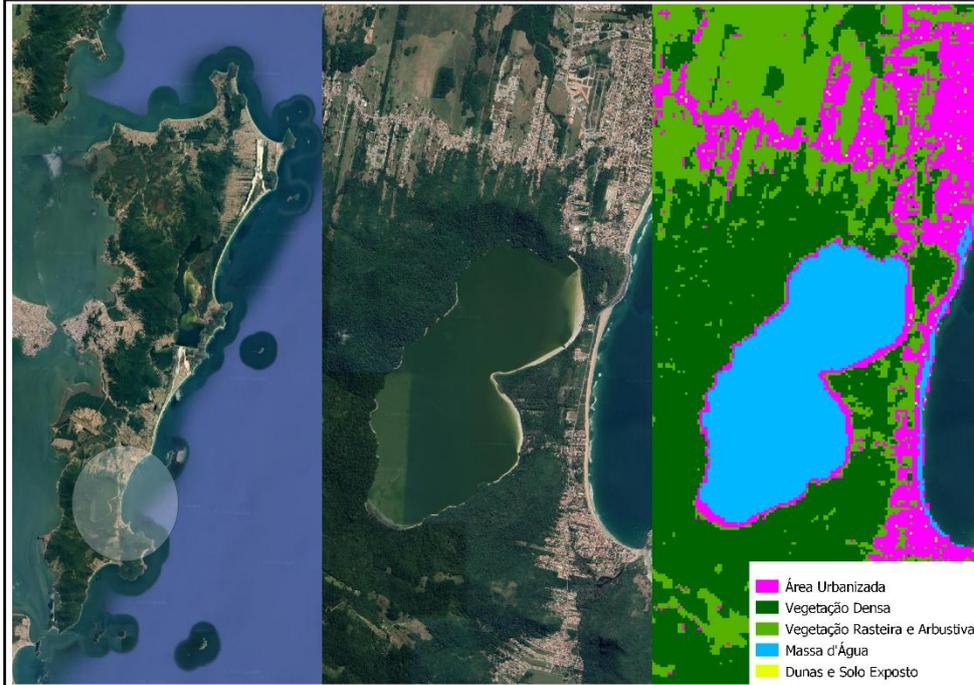


Fonte: O autor, 2020.

Figura 18 – Exemplo da avaliação pelo método clássico

Fonte: O autor, 2020.

Figura 19, são, áreas urbanas e solo exposto, vegetação densa, vegetação rasteira e arbustiva, massa d'água e áreas antropizadas e praias. As avaliações e discussões dos resultados foram com base na avaliação visual onde o mapeamento é sobreposto a imagem do Google Earth, essa imagem é de 21/4/2020, está data possui diferença de 15 dias em relação a imagem LandSat 8 de 04/04/2020, isso foi decisivo para a essa comparação para poder fazer essa comparação visual. Os mapas de uso e cobertura do solo gerados com os índices Figura 17 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado



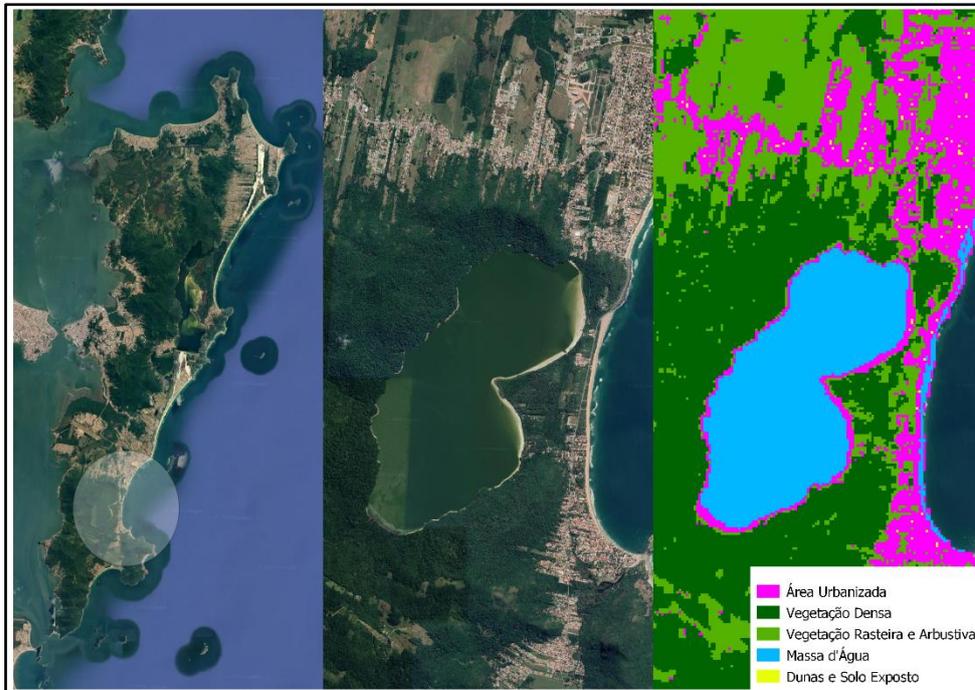
Fonte: O autor, 2020.

Figura 18 – Exemplo da avaliação pelo método clássico

Fonte: O autor, 2020.

Figura 19 e pelo método clássico Figura 20 serão avaliados e comparados.

O mapa principal do estudo obtido por meio dos índices espectrais, não demonstrou contrastes mais interessantes comparado as classes levantadas, que o mapa realizado pelo método clássico Figura 20. Na Figura 17 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado



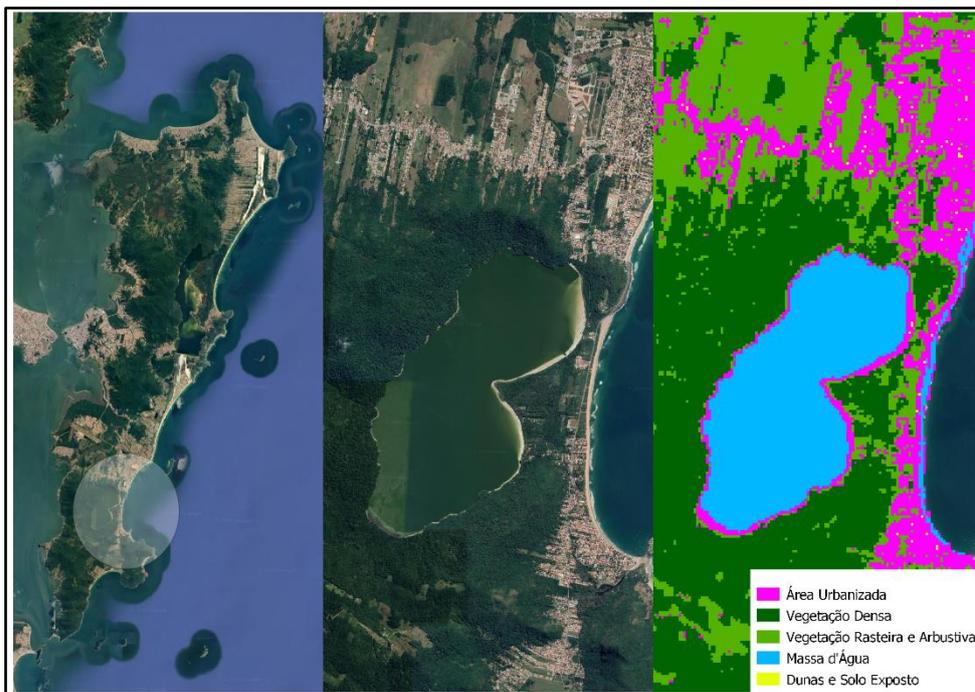
Fonte: O autor, 2020.

Figura 18 – Exemplo da avaliação pelo método clássico

Fonte: O autor, 2020.

Figura 19 isso ocorreu, por conta de limitações encontradas na visualização das assinaturas espectrais de alguns alvos. As áreas urbanas foram reconhecidas juntas do solo exposto, porém pode ocorrer uma parcela pequena de solo exposto junto da vegetação rasteira e arbustiva, contudo, com relação a classe massa d'água foi identificado corretamente, conforme Figura 13, Figura 15 e Figura 17. Em contrapartida, as classes do mapeamento realizado com o método clássico na composição 5-4-3, se demonstrou ter mais aptidão para levantamentos de uso e cobertura do solo por classificação supervisionada, pois o único problema que não se sabe, é se o solo exposto se confundiu com as áreas urbanas, ou com a vegetação rasteira e arbustiva, conforme Figura 14, Figura 16 e Figura 18.

Não foi possível distinguir as áreas antropizadas e praias, estas foram confundidas com áreas urbanas e solo exposto, esta observação levou em consideração que a Ilha de Florianópolis possui muitas praias e antropizações Figura 17 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado



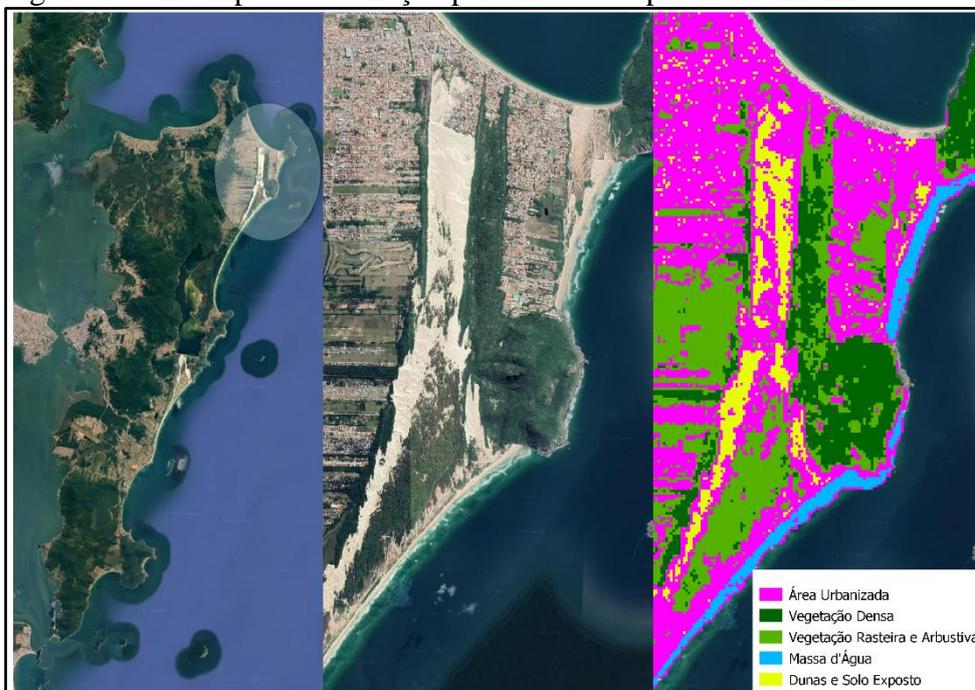
Fonte: O autor, 2020.

Figura 18 – Exemplo da avaliação pelo método clássico

Fonte: O autor, 2020.

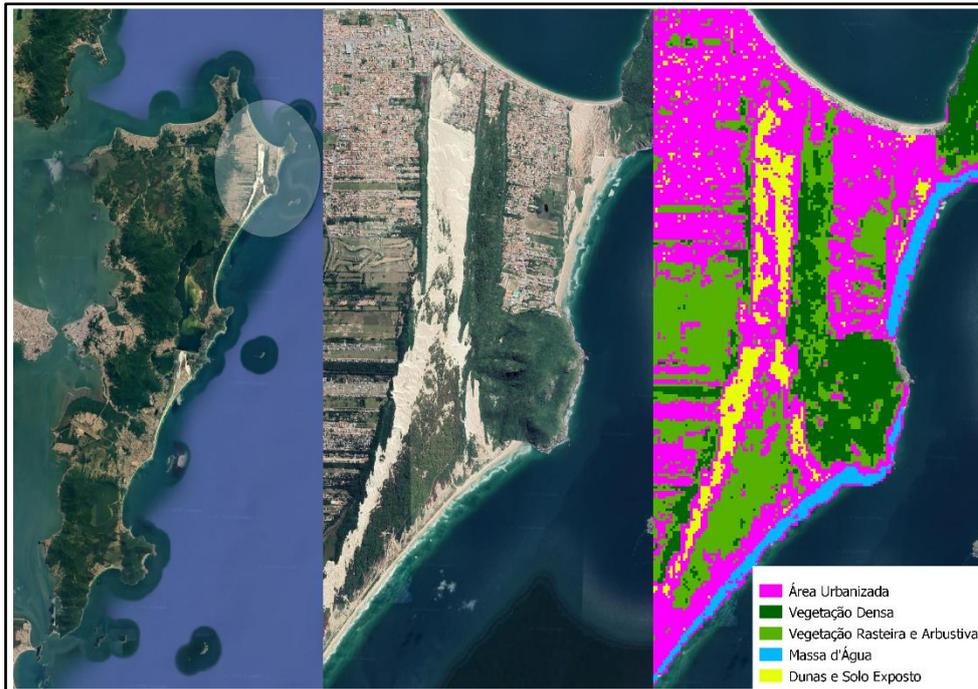
Figura 19. Cabe destacar, que as áreas calculadas com base no arquivo shape resultantes da vetorização do *raster* reclassificado de uso de e cobertura do solo foram demonstradas no Gráfico 1, e como supracitado, foi possível identificar que as áreas antropizadas e praias representaram 0,43% do mapeamento, porém a vegetação rasteira pode estar compondo boa parte das áreas antropizadas Figura 13, Figura 15 e Figura 17. Com relação ao mapeamento pelo método clássico com base do Gráfico 2 foi possível observar que as áreas antropizadas e praias foram mais bem reconhecidas demonstrado também na Figura 20, contudo como supracitado não se sabe se o solo exposto se confundiu com as áreas urbanas ou com a vegetação rasteira e arbustiva, porem este método se comportou melhor no mapeamento de uso e cobertura do solo para ilha de Santa Catarina, de acordo com as Figura 14, Figura 16 e Figura 18.

Figura 13 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado



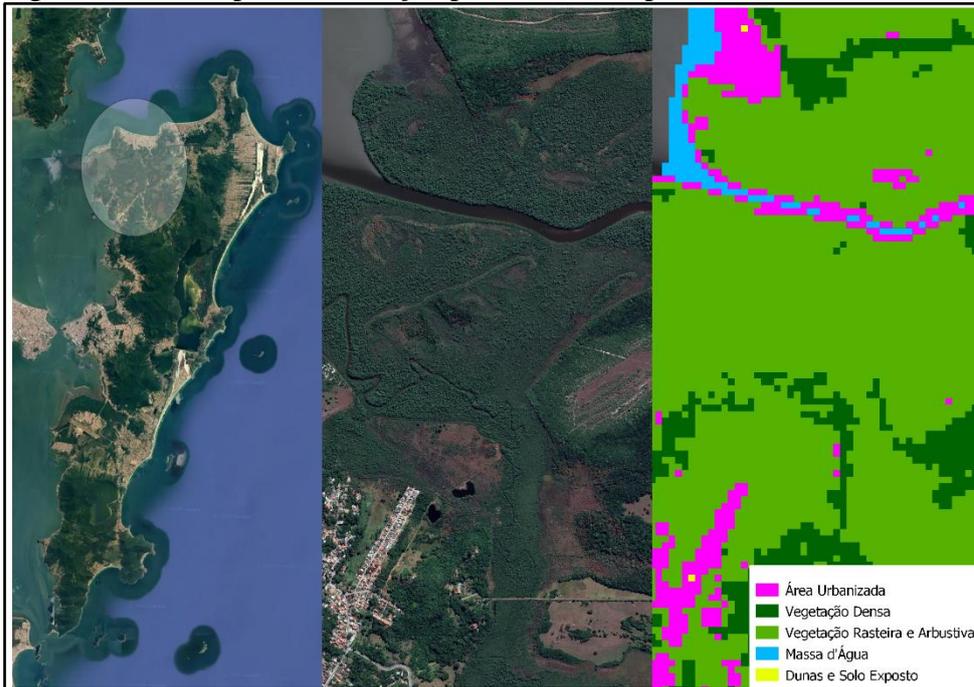
Fonte: O autor, 2020.

Figura 14 – Exemplo da avaliação pelo método clássico



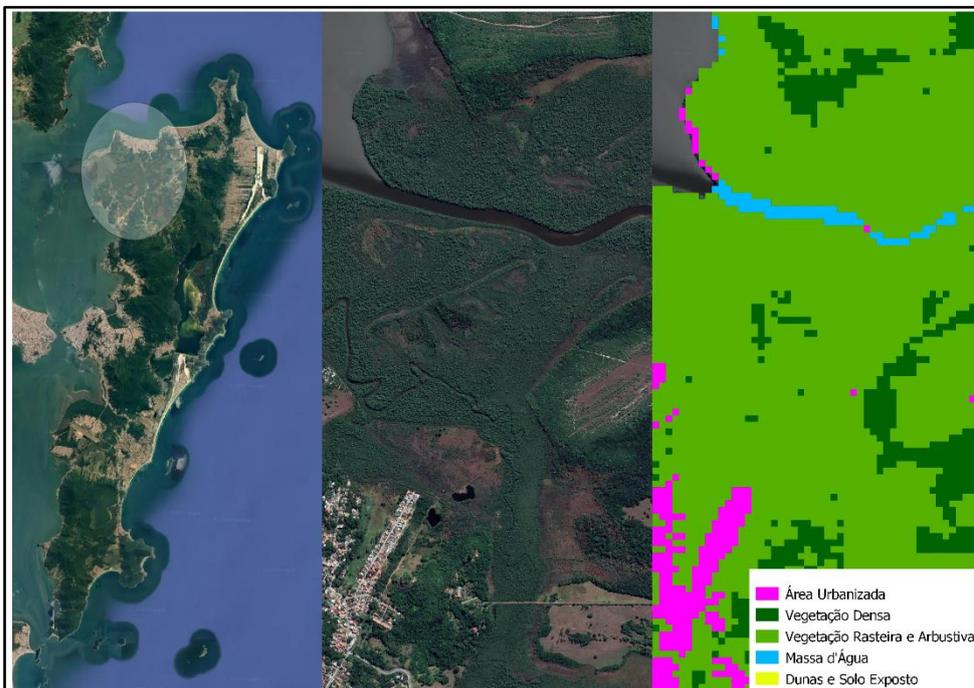
Fonte: O autor, 2020.

Figura 15 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado



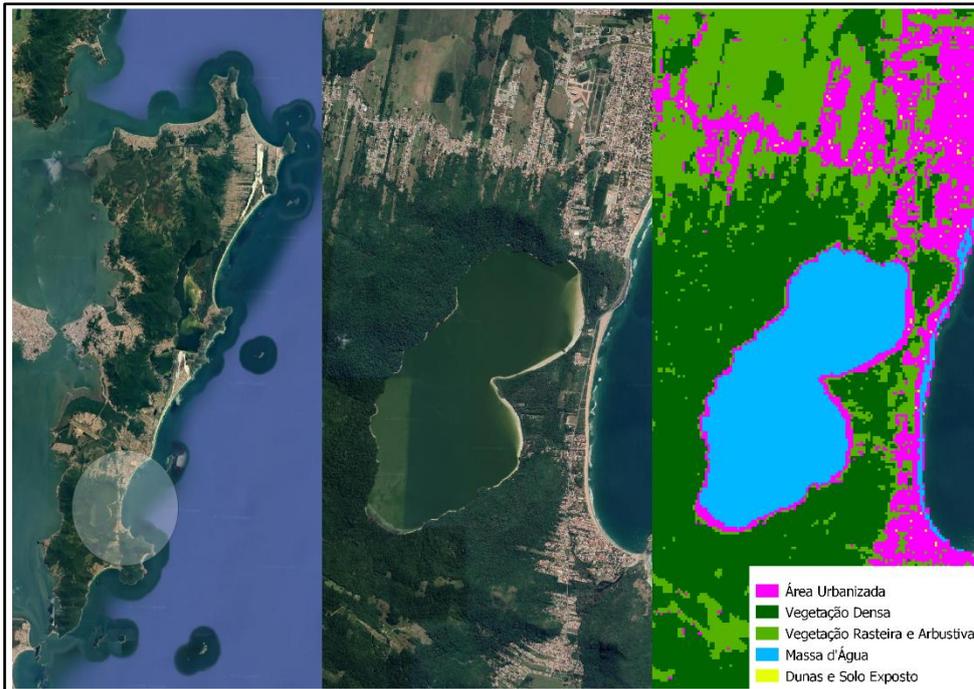
Fonte: O autor, 2020.

Figura 16 – Exemplo da avaliação pelo método clássico



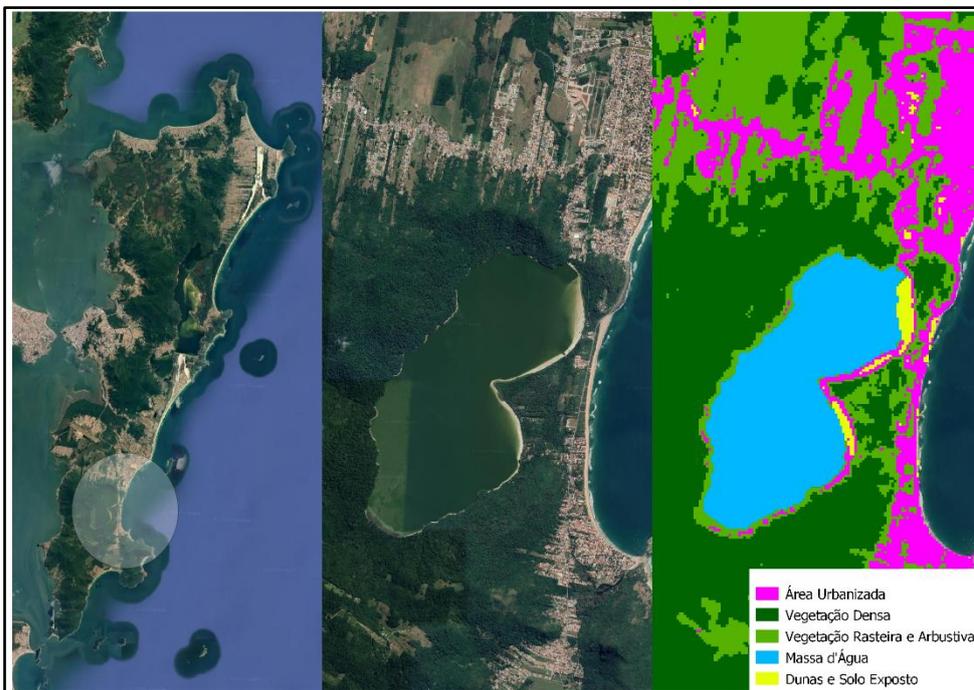
Fonte: O autor, 2020.

Figura 17 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado



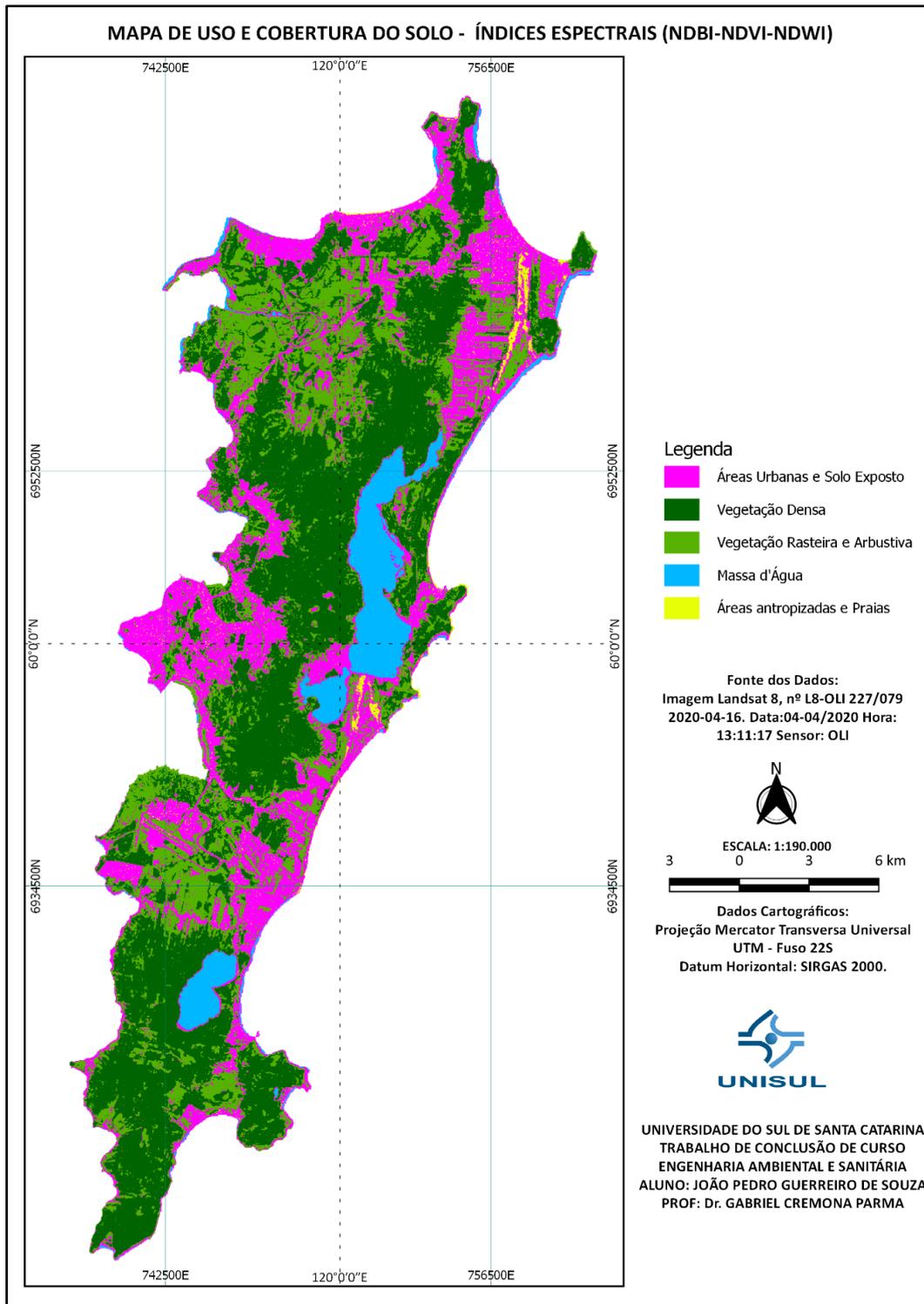
Fonte: O autor, 2020.

Figura 18 – Exemplo da avaliação pelo método clássico



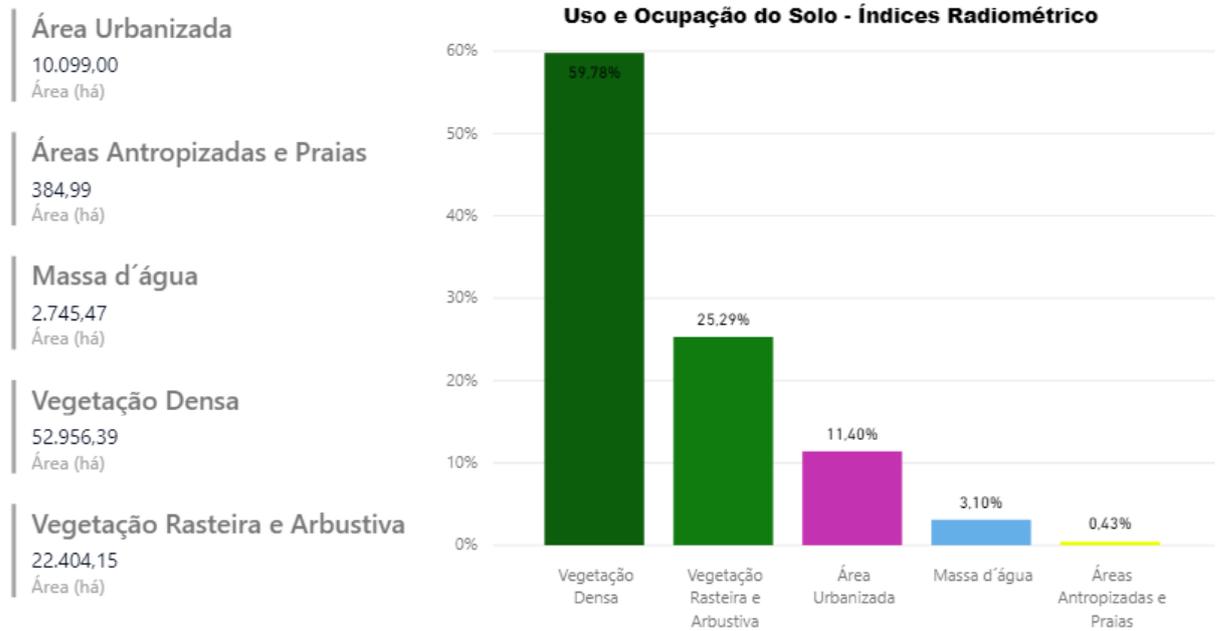
Fonte: O autor, 2020.

Figura 19 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo – Índices Espectrais (NDBI-NDVI-NDWI)



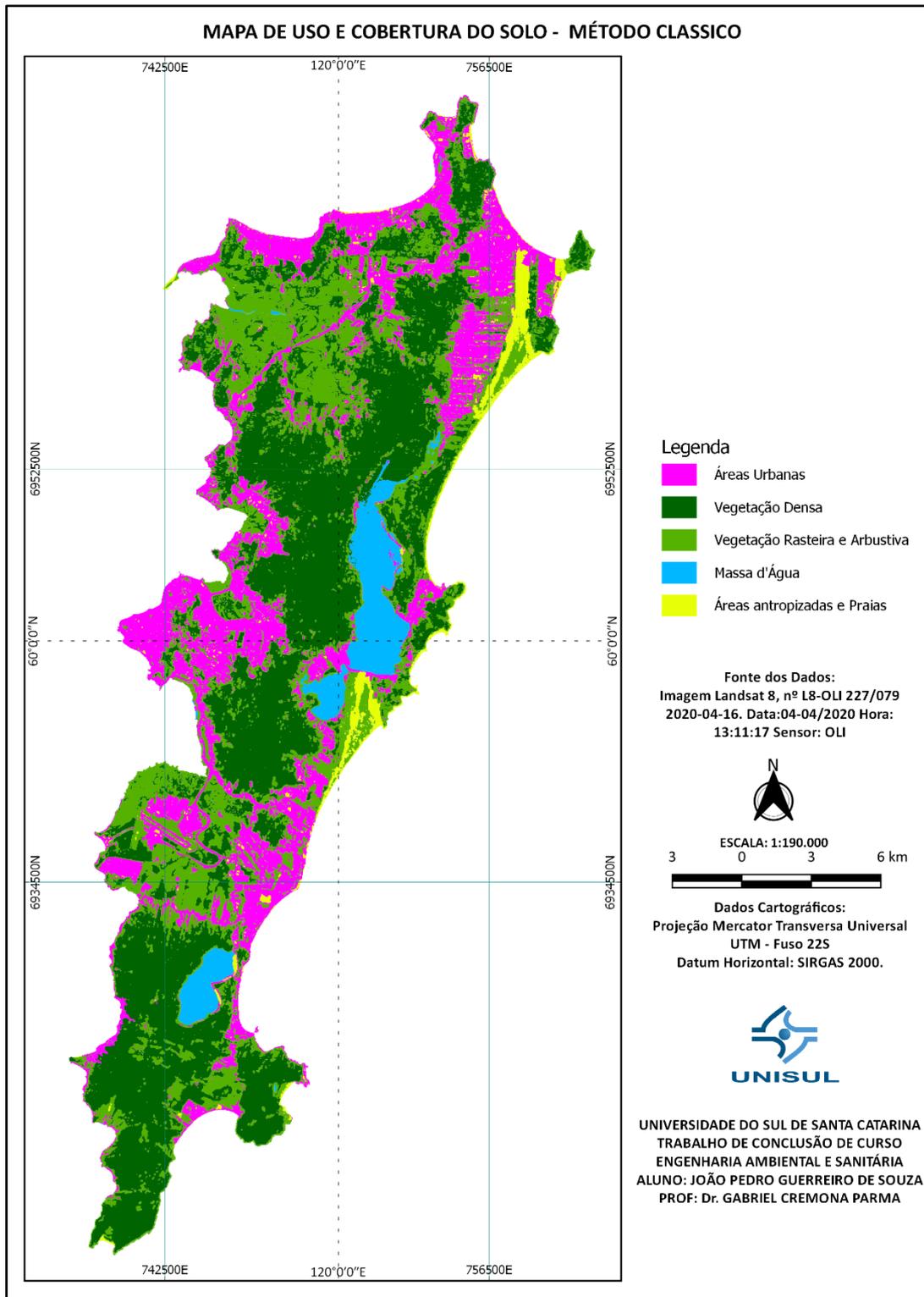
Fonte: O autor, 2020.

Gráfico 1 – Áreas obtidas no mapeamento realizado com os índices



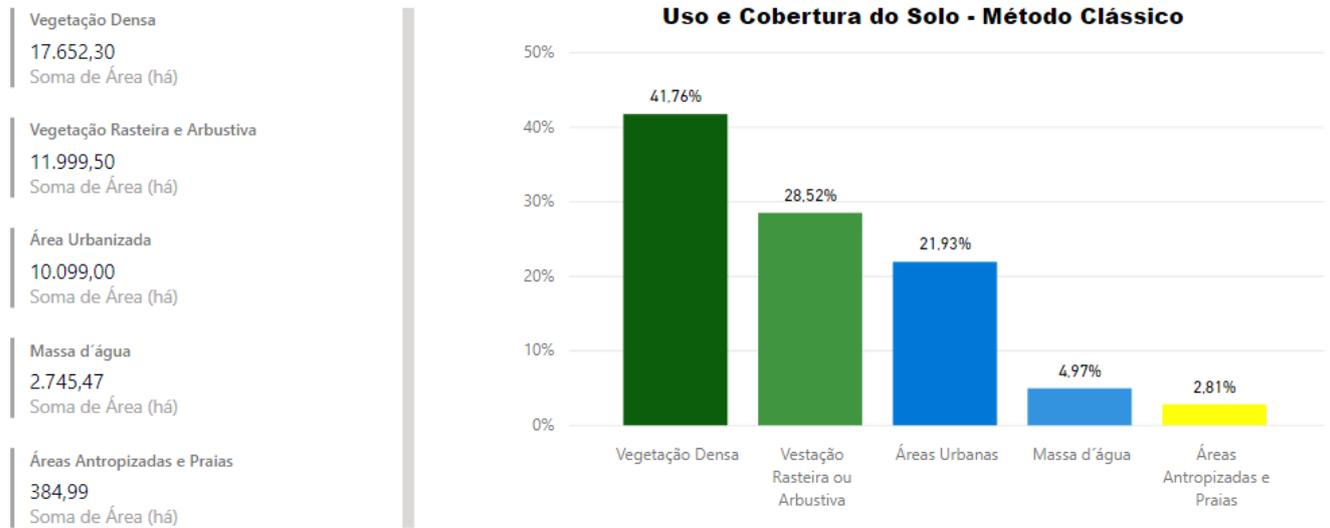
Fonte: O autor (2020)

Figura 20 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo – Método Clássico



Fonte: O autor, 2020.

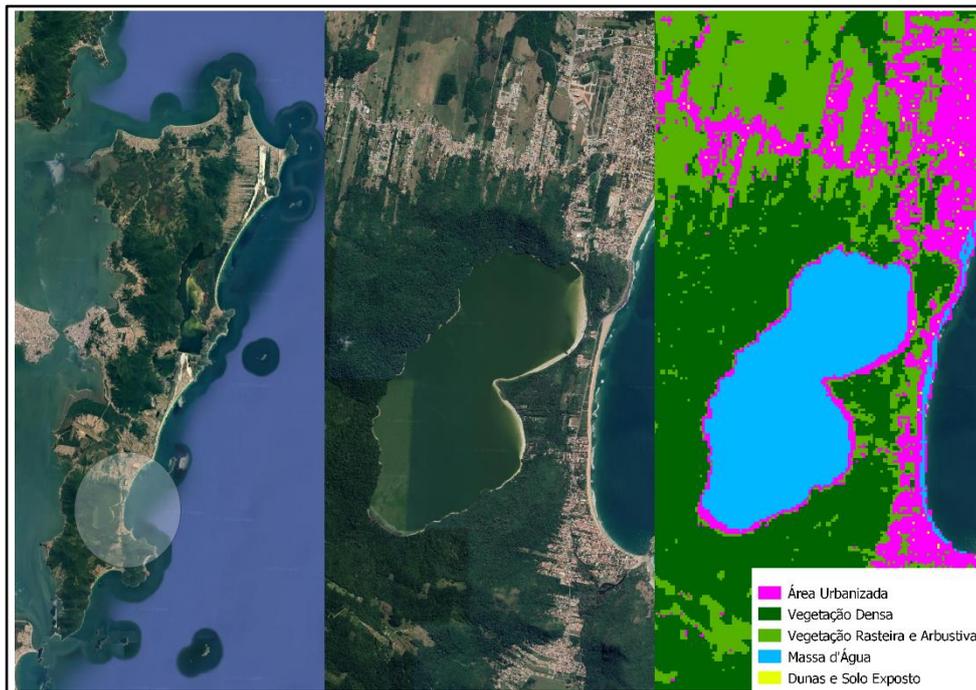
Gráfico 2 – Áreas Calculadas das Classes do Solo



Fonte: O autor, 2020.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso e cobertura do solo obtido por índices espectrais, desenvolveu a mistura de índices para formação de uma composição, apresentou um resultado razoável em comparação com o método clássico, pois na formação das composições, para a classificação supervisionada com a utilização dos índices nos canais RGB, aumentam as confusões espectrais dos alvos classificados. Desta forma, a Figura 17 – Exemplo da avaliação pelo método espectral normalizado



Fonte: O autor, 2020.

Figura 18 – Exemplo da avaliação pelo método clássico

Fonte: O autor, 2020.

Figura 19 mostra uma percepção aguçada de cada índice, comparando com a percepção dos alvos e a Figura 20 apresentados na composição 5-4-3. O mapa obtido pelo método clássico, e o mapa com os índices em exposição individual demonstraram eficiência na visualização das principais características de cada alvo. Como forma de comparação, conforme o Gráfico 3. Ressalta-se que o mapa obtido no método clássico representou uma melhora na qualidade comparado ao mapa obtido com os índices.

Gráfico 3 – Comparação entre áreas obtidas em cada método.



Fonte: O autor, 2020.

Os resultados apresentam a temática de sensoriamento remoto e geoprocessamento, sendo que apesar de a aplicação dos índices NDVI, NDBI e NDWI para a imagem de satélite Landsat 8 apresentarem confusões entre alvos com comportamento espectral semelhantes, por conta disso observou-se que existe correspondência significativa com os alvos destacados por cada índice e o posterior refinamento por classificação supervisionada resultaram no mapa de uso e cobertura do solo bem como a demonstração dos resultados graficamente. Contudo, a composição RGB (R=NDBI, G=NDVI, B=NDWI) se demonstrou inferior para o mapeamento temático e automatizado, porém recomenda-se o uso deste quando utilizado em áreas urbanas e semiurbanas.

A muito o que se explorar nos temas abordados, podendo resultar em diversos trabalhos futuros. O uso da geoestatística para verificações de acurácia, podendo ser avaliada a qualidade temática frente aos mapeamentos oficiais, ou pela aplicação de tipos variados de metodologias para pós processamentos que demonstrem significância estatística. Na pesquisa em questão não foi possível a execução de trabalhos de campo para confirmação dos dados, para tanto pode ser um tema importante a ser abordado em trabalhos futuros. Assim sendo, a aplicabilidade dos dados que resultam na compreensão do espaço geográfico da Ilha de Santa Catarina, podendo ser avaliada a temporalidade do crescimento e como a população faz uso dos espaços, e comparadas as legislações pertinentes a ocupação dos espaços.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, C, CAMARA, G, MEDEIROS, J, CREPANI, E, NOVO, E, CORDEIRO, J. **Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico e Econômico**, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 2005.
- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE (Comp.). **NOÇÕES BÁSICAS DE CARTOGRAFIA**, 1999. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20%20RJ/ManuaisdeGeociencias/Nocoos%20basicas%20de%20cartografia.pdf>>. Acesso em: 23 setembro de 2019.
- BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F. **A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews**, Taylor & Francis, Sherbrooke, Canadá, v. 13, n. 1, p. 95–120, 1995.
- BEZERRA, U. A.; **Índices espectrais utilizando os sensores OLI/LANDSAT-8 e MSI/SENTINEL-2**, na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2019.
- BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Introdução ao sensoriamento remoto e processamento de imagens. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005-04-02. (INPE ePrint [sid.inpe.br/ePrint@80/2005/04.01.14.06](http://sid.inpe.br/ePrint@80/2005/04.01.14.06)).
- CÂMARA, G., THOMÉ, R., FREITAS, U. e MONTEIRO, A. M. **Interoperability In Practice: Problems in Semantic Conversion from Current Technology to OpenGIS**. 2nd. INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEROPERABLE OPERATING SYSTEMS, Zurique, 2005.
- CARDOSO, R.S.; AMORIM, M.C.C.T.; **Avaliação dos índices NVVI, NDBI e NDWI como ferramentas ao mapeamento do uso e cobertura da terra**; anais VII Congresso Brasileiro de Geógrafos, 2014.
- FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. **Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água**, em Jabotão dos Guararapes – PE. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE, 06 – 09 de maio de 2012.
- FERRETTI, E. F. **Os espaços de natureza protegida da Ilha de Santa Catarina – Brasil**, Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013.
- FITZ, P.R.; VIEIRA, J.C.; SOARES, M.C.; **O uso de amostragem em classificações supervisionadas de imagens de satélite**; V. 10, nº19 - ISSN 2176-9559, 2019.

GAO, B. **Ndwi a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space**. Remote Sensing of Environment, v. 58, n. 3, p.257 – 266, 1996. ISSN 0034-4257.

GANAN, J. R. et al. **Mapeamento da cultura da soja com imagens Landsat 5/TM utilizando algoritmos de classificação supervisionada**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005.

HE, C.; SHI, P.; XIE, D.; ZHAO, Y. **Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach**. Remote Sensing Letters, v. 1, n. 4, p. 213–221, 2010. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2010.481681>>.

INPE. Bernardo F. T. Rudorff. Brasil (Org.) **PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 04 março 2020.

JUNIOR, A.G. **Mapeamento Hidro geológico da Ilha de Santa Catarina utilizando Geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis, 1999.

MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A. L.. **The interpretation of spectral vegetation indexes**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE, Greenbelt, EUA, v. 33, n. 2, p. 481–486, 1995.

MOREIRA, J.C.C.F; **Análise espectro-temporal de índices físicos e classificadores de imagens de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.

NOVO, E. M.L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

PEIXOTO, C.S; **Mudanças no uso das terras na cabeceira do rio Miranda (MS): estudo de caso da sub-bacia do rio São Francisco (1986, 2000, 2018)**. Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS, 20 a 24 de outubro 2018 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 619-626.

PINHEIRO, C.; LARANJEIRA, M. **Análise do ambiente térmico e das condições de ventilação para a definição das funções climáticas na área urbana de Guimarães**. Revista de Geografia e Ordenamento do território (GOT), 2013, pag. 240 – 273.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A; DALMOLIN, R. S. D. **Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em períodos de estresse hídrico**. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21 – 26 abril de 2007, INPE, pag. 4145 – 4150. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.18.33/doc/4145-4150.pdf>>. Acesso em 16/09/2019.

PORTELA, N. M., **Modelo de mistura de gaussianas fuzzy contextual**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. UFPE: Recife, 2015.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: um retrato atual. Revista Fator GIS. Sagres Cartografia e Editora, Curitiba, PR, 2005, Ano 1, no 2, pág. 20-23.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, no. NASA SP-351, p. 301-317, 1974.

SANTOS, B. A.; PETRONZIO, J. A. C. **Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia** – MG utilizando técnicas de Geoprocessamento. Sensoriamento remoto, classificação supervisionada, map. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6185.

SANTOS, A.R. **Apostila de Elementos da Cartografia**. Apostila, UFES (Universidade Federal do Espírito Santo), CCA (Centro de Ciências Agrárias) – Departamento de Engenharia Rural, 2013.

Tomlin, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling**. Prentice Hall, New York, 1990.

WEIER, J., HERRING, D. **Measuring Vegetation (NDVI & EVI)**. Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>. Acesso em 12 abr. 2020.

XU, H. **Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic-oriented Index Combination Technique**. Photogrammetrie Engineering e Remote Sensing Vol.73, December 2007.

XAVIER DA SILVA, J. **Sensoriamento Remoto. Curso de Especialização em Geoprocessamento**. UFRJ, IGEO, Dep. Geografia, LAGEOP, Rio de Janeiro, 1999, Volume 2, Mídia CD.

Zha, Y. ; Gao, J.; Ni, S. (2003). **“Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery”**. International Journal of Remote Sensing 2.