



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS – CCET**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA – DGEOL**

**Elaboração do mapa de uso e ocupação do solo  
de Pirambu/SE a partir da classificação  
supervisionada de imagem LANDSAT**

**DAVID COSTA ALVES**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS – CCET  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA – DGEOL

**Elaboração do mapa de uso e ocupação do solo  
de Pirambu/SE a partir da classificação  
supervisionada de imagem LANDSAT**

DAVID COSTA ALVES

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Alberto Vedana

COORIENTADORA: Profa. Dra. Neise Mare de Souza Alves

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de Geologia  
da Universidade Federal de Sergipe como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Geologia.

São Cristóvão – Sergipe  
Abril de 2024

DAVID COSTA ALVES

**Elaboração do mapa de uso e ocupação do solo  
de Pirambu/SE a partir da classificação  
supervisionada de imagem LANDSAT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia da Universidade Federal de Sergipe, submetido à Banca Examinadora.

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Luiz Alberto Vedana

Orientador (UFS)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristine Lenz

Interno (UFS)

---

MsC. Filipa Maria Cabrita da Cunha Pereira

Externo (ADEMA)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, em especial a minha tia Neise pela inspiração, motivação e todo apoio que me proporciona nos estudos. Sou grato por ter me mostrado a importância da educação na vida das pessoas e como ela é transformadora na vida de cada pessoa no mundo. Admiro a excelente profissional da educação, tenho um profundo orgulho e me sinto privilegiado por poder chamá-la de tia.

Agradeço ao meu orientador no TCC, Luiz Alberto Vedana, por ter sido meu herói nessa parte decisiva da graduação e toda a ajuda na confecção deste trabalho e todos os ensinamentos transmitidos sobre o assunto. Sou grato pelos incentivos e conversas que manteve meu interesse pela profissão vivo. Meu herói não usa capa, ele bebe chimarrão!

Agradeço a todos os amigos que pude fazer nesta jornada da graduação na Universidade Federal de Sergipe, meu amigo Cristian Vinicius, pelas resenhas e também à Romário Bispo, um amigo que está mais para um irmão, sempre me ajudando nas disciplinas de cálculo “usa L’Hopital que vai dar bom” e pelos conselhos furados que nem ele tinha coragem de seguir.

Agradeço a Filipa Maria Cabrita da Cunha Pereira, que me orientou e foi meu exemplo de profissional ético, honesto, íntegro, respeitoso, responsável e justo durante o meu estágio na Administração Estadual de Meio Ambiente - ADEMA, por todos os momentos vivenciados durante o estágio e todos os ensinamentos obtidos.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*

**Marthin Luther King**

## RESUMO

Este trabalho apresenta a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo de Pirambu/SE, através do método da classificação supervisionada de imagem do satélite LANDSAT08 do ano de 2020. Este tipo de classificação depende das diferenças dos comportamentos espectrais dos alvos e da capacidade do algoritmo de distinguir estas diferenças. Os materiais e métodos utilizados foram os seguintes: pesquisa/revisão bibliográfica; confecção de banco de dados geográficos; levantamentos de campo; pré-processamento das imagens de satélite; classificação das imagens de satélite e validação da classificação. Na classificação supervisionada, através dos algoritmos Distância Mínima Euclidiana (MinDist) e *Spectral Angle*, foram definidas inicialmente, pelo analista as seguintes classes: Água; Duna/Areia; Interduna; Vegetação; Solo úmido; Urbanização; Agropecuária. Os resultados da classificação supervisionada para o uso e ocupação do solo a partir da comparação do mapa com as amostras de campo apresentaram uma exatidão de 58,32% para o algoritmo MinDist e 55,88% para o algoritmo Spectral Angle. A validação dos mapas temáticos com análise de imagem de alta resolução resultou numa exatidão global de 55% para o algoritmo MinDist e 61% para o algoritmo Spectral Angle. O índice Kappa calculado para os 2 algoritmos resultou em uma concordância moderada. Os mapas temáticos apontaram para uma área de quase 50% composta por agropecuária e em torno de 15% de urbanização, enquanto elementos naturais como: água, dunas e faixas arenosas, interduna e vegetação correspondem a cerca de 35% da área do município. Mesmo que sejam considerados possíveis imprecisões nas análises e que as áreas de agropecuária e urbanização estejam superestimadas, os valores são considerados altos, como pode ser atestado em campo. Desta forma, análises temporais posteriores são recomendadas para monitoramento ambiental do município.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, Classificação supervisionada, Uso e ocupação do solo, Pirambu.

## ABSTRACT

This work presents the preparation of the land use and occupation map of Pirambu/SE, using the method of supervised image classification from the LANDSAT08 satellite from the year 2020. This type of classification relies on the differences in spectral behaviors of the targets and the algorithm's capability to distinguish these differences. The materials and methods used were as follows: literature research/review; creation of geographic database; field surveys; pre-processing of satellite images; satellite image classification and classification validation. In the supervised classification, using the Minimum Euclidean Distance (MinDist) and Spectral Angle algorithms, the following classes were initially defined by the analyst: Water; Dune/Sand; Interdune; Vegetation; moist soil; Urbanization; Agriculture. The results of the supervised classification for land use and occupation based on the comparison of the map with field samples showed an accuracy of 58.32% for the MinDist algorithm and 55.88% for the Spectral Angle algorithm. Validation of the thematic maps with high-resolution image analysis resulted in an overall accuracy of 55% for the MinDist algorithm and 61% for the Spectral Angle algorithm. The Kappa index calculated for the 2 algorithms resulted in a moderate agreement. The thematic maps pointed to an area of almost 50% made up of agriculture and around 15% of urbanization, while natural elements such as: water, dunes and sandy strips, interdune and vegetation correspond to around 35% of the municipality's area. Even if possible inaccuracies in the analyzes are considered and the areas of agriculture and urbanization are overestimated, the values are considered high, as can be attested in the field. Therefore, subsequent temporal analyzes are recommended for environmental monitoring of the municipality.

**Keywords:** Remote Sensing, Supervised Classification, Land use and occupancy, Pirambu.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>11</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	11
3.2	COMPONENTES DA DINÂMICA AMBIENTAL DE PIRAMBU .....	13
3.2.1	Clima.....	13
3.2.2	Geologia.....	14
3.2.3	Domínios Hidrogeológicos .....	16
3.2.4	Geomorfologia.....	16
3.2.5	Hidrografia .....	19
3.2.6	Pedologia .....	20
<b>4</b>	<b>EMBASAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
4.1	SENSORIAMENTO REMOTO.....	23
4.2	PRÉ-PROCESSAMENTO.....	24
4.2.1	Calibração radiométrica.....	24
4.2.2	Correção atmosférica.....	24
4.2.3	Correção geométrica.....	25
4.3	REALCE RADIOMÉTRICO.....	26
4.4	HISTOGRAMA .....	26
4.5	OPERAÇÃO DE REALCE EM IMAGENS DIGITAIS .....	27
4.6	CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA .....	28
4.6.1	ISODATA.....	28
4.6.2	K-médias.....	30
4.6.3	Validação da classificação não supervisionada.....	31
4.7	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA .....	31
4.7.1	Classificadores paramétricos.....	31
4.7.1.1	Mínima distância euclidiana.....	32
4.7.1.2	Máxima verossimilhança .....	32
4.7.2	Classificadores não paramétricos.....	33
4.7.2.1	Classificador vizinho mais próximo (kNM).....	34
4.7.2.2	Classificador Random forest.....	35
4.7.2.3	Spectral Angle Mapper (SAM).....	37
4.7.2.4	Validação cruzada .....	37

4.7.2.5	Validação por matriz de confusão e índice Kappa .....	38
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
5.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	39
5.2	CONFECÇÃO DO BANCO DE DADOS .....	40
5.3	LEVANTAMENTO DE CAMPO .....	40
5.4	PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE .....	41
5.5	CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS .....	41
5.6	VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO .....	41
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
6.1	RESULTADOS DE CAMPO .....	42
6.1.1	Uso e ocupação da terra.....	43
6.1.2	Recursos Hídricos em Pirambu.....	49
6.2	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA .....	51
6.2.1	Classificação pelo algoritmo MinDist.....	54
6.2.2	Classificação pelo algoritmo Spectral Angle. ....	56
6.2.3	Avaliação e Validação da classificação.....	57
<b>7</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>61</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O litoral norte do estado de Sergipe é constituído por quatro municípios defrontantes com o mar, sendo um deles Pirambu, que possui uma paisagem composta por praias, dunas, manguezais, restingas e vegetação nativa, tais como Floresta Estacional Semidecidual, Restinga e Cerrado, entre outras. No decorrer do tempo, a paisagem deste município, antes denominada paisagem natural, foi, e continua sendo, alterada pela ação humana, resultando cada vez mais na predominância dos elementos antrópicos sobre os naturais. Isto ocorre por diferentes fatores – crescimento da população, demandas do mercado consumidor e políticas públicas.

Um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de otimizar a distinção e identificação de diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas e outros. Essa distinção e identificação torna-se possível devido ao fato dos materiais superficiais terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, comportamentos esses que podem portanto ser usados para identificá-los (CROSTÁ, 1992).

O produto gerado a partir da interpretação das imagens de satélite, nos permite realizar a interpretação da paisagem, realçar as relações que unem e perturbam seus elementos, delimitar e classificar o tipo e uso do solo através da correlação com a realidade em campo. A tecnologia, com seu desenvolvimento acelerado, proporciona atualmente uma forma de classificação automática de alta precisão e qualidade, mas ainda não substitui a interpretação visual.

A classificação supervisionada é o procedimento utilizado com maior frequência para análise quantitativa de dados de imagens de sensoriamento remoto. Neste processo são utilizados algoritmos para nomear os pixels em uma imagem de forma a representar tipos específicos de cobertura terrestre (LILLESAND e KIEFER, 1994). O objetivo deste trabalho foi utilizar o método de classificação supervisionada, por meio de imagem do satélite LANDSAT8, a fim de comparar a qualidade e acurácia deste método de classificação com a interpretação visual realizada a partir de imagens de alta resolução e dados de campo. Os resultados, no qual parte deles foram coletados durante o projeto de iniciação científica no ano de 2023, pretendem

classificar e expressar à predominância das classes de uso e ocupação do solo no município de Pirambu, Estado de Sergipe.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar a classificação supervisionada do uso e ocupação do solo do município de Pirambu/SE a partir de imagens do satélite LANDSAT8 sensor OLI.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar os componentes biofísicos e antrópico condicionantes da paisagem do município de Pirambu a partir do levantamento de campo;
- Quantificar a classificação através da validação pelo cálculo da exatidão global e do índice Kappa.

## **3 ÁREA DE ESTUDO**

### **3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

O município de Pirambu está localizado na faixa litorânea, no extremo leste do estado de Sergipe, sendo limitado a norte com o município de Japoatã, a noroeste com Japarutuba, a oeste com Carmópolis, a sudoeste com Santo Amaro das Brotas, a sul com Barra dos Coqueiros e a leste com o Oceano Atlântico.

A área município de Pirambu equivale a 208,681km<sup>2</sup> (IBGE, 2022), que está totalmente inserida na folha topográfica Japarutuba (SC.24-Z-B-V), escala 1:100.000, editada pelo Ministério do Interior/SUDENE, 1974. O imite natural entre o município de Barra dos Coqueiros e Pirambu representando pela Foz do rio Japarutuba pode ser visualizado na Figura 1.

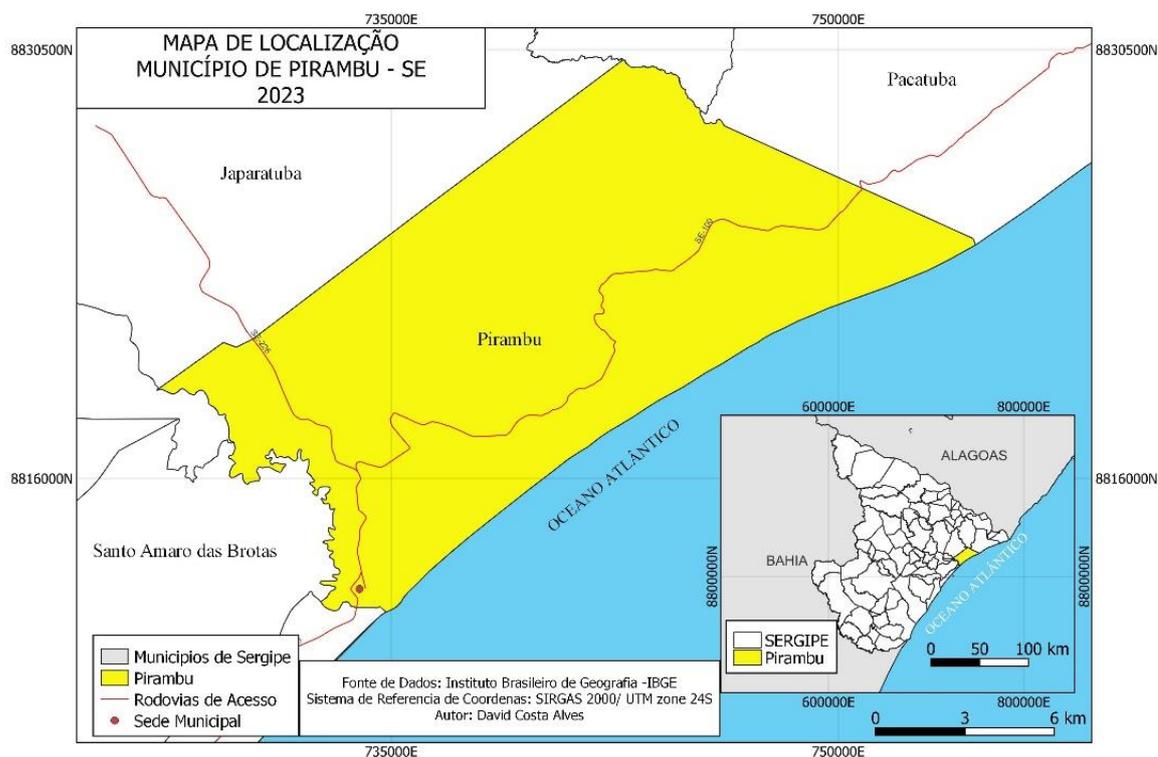
O acesso ao município de Pirambu pode ser através do município de Barra dos Coqueiros acessando a rodovia estadual SE-100 no sentido nordeste; a partir do município de Japarutuba pela SE-226 ou SE-440 no sentido sudeste; e por Pacatuba

pela rodovia SE-100, no sentido sudoeste (Figura 2). O município de Pirambu está localizado a aproximadamente 40 km de distância da capital do estado.

Figura 1 - Limite natural entre o município de Barra dos Coqueiros e Pirambu – Foz do rio Japarutuba.



Figura 2 - Mapa de localização do município de Pirambu – SE.



## 3.2 COMPONENTES DA DINÂMICA AMBIENTAL DE PIRAMBU

O município de Pirambu é diretamente influenciado pela dinâmica da zona costeira, caracterizada como um ambiente de interface continental e marinha, onde ocorre interação dos agentes atmosféricos, oceânicos, continentais e antrópicos. Devido a diversidade de agentes atuantes, apresenta uma dinâmica complexa e variedade de feições de relevo na paisagem.

### 3.2.1 Clima

O clima é um importante fator condicionante geoambiental, por representar as condições atmosféricas de uma região específica através de registros de longos períodos. Os fatores dominantes sobre o clima são circulação atmosférica, localização geográfica, altitude e proximidade com o oceano. A partir dos conjuntos e fatores que constituem o clima, destaca-se a quantidade e distribuição das precipitações pluviométricas e das temperaturas.

O clima de Pirambu, segundo Bomfim, Costa e Benvenuti (2002, p. 4) é “do tipo megatérmico úmido e sub-úmido, com temperatura média anual de 26 °C”.

A partir de dados climáticos do ClimaTempo, a área de estudo registra nos meses de julho, agosto e setembro as temperaturas mais baixas, cerca de 22°C, enquanto o período de temperaturas mais elevadas, 29°C, se encontram nos meses de novembro a março. As temperaturas médias anuais apresentam baixa amplitude térmica, variando em torno de 3,5°C (Quadro 1).

Quadro 1 - Temperaturas média, mínima e máxima para o município de Pirambu

Dados de temperatura anual para o município de Pirambu												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp. média (°C)	26.5	27	27	26	25.5	24.5	23.5	23.5	24	25.5	26	26.5
Temp. mínima (°C)	24	25	25	24	24	23	22	22	22	23	24	24
Temp. máxima (°C)	29	29	29	28	27	26	25	25	26	28	28	29

Fonte: [climatempo.com.br/climatologia/6362/pirambu-se](http://climatempo.com.br/climatologia/6362/pirambu-se)

Segundo os dados analisados, estima-se que aproximadamente 55% das precipitações concentram-se entre os meses de abril e julho, sendo o restante do percentual distribuído nos oito meses do ano. De acordo com os dados do ClimaTempo (Quadro 2), o maior índice de precipitação ocorre no mês de maio com cerca de 150mm, os meses com menores índices correspondem a novembro e dezembro com cerca de 44mm. Este pequeno volume de precipitação torna possível observar alterações nos aspectos fisionômicos da vegetação devido a baixa disponibilidade hídrica no solo.

Quadro 2 - Pluviometria anual para o município de Pirambu.

Pluviometria anual para o município de Pirambu												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Chuva (mm)	58	65	91	127	150	142	128	104	74	52	43	44

Fonte: [climatempo.com.br/climatologia/6362/pirambu-se](http://climatempo.com.br/climatologia/6362/pirambu-se)

### 3.2.2 Geologia

O litoral Norte de Sergipe, área onde está inserido o município de estudo, está localizado a leste da Bacia Sergipe. A evolução costeira-continental deu origem a diversos tipos de feições morfológicas formadas por rochas sedimentares. Estas unidades litoestratigráficas compreendem as rochas cretáceas do Grupo Sergipe, representadas pela Formação Riachuelo – Membros Taquari e Maruim; as Formações Superficiais Continentais, do Cenozoico, que compreendem os sedimentos do Grupo Barreiras; as coberturas pleistocênicas e holocênicas e as Formações Superficiais Holocênicas da Plataforma Continental (SANTOS et al., 1998, apud ALVES, 2010).

O Grupo Sergipe encontra-se formado pelas Formações – Riachuelo e Cotinguiba. A Formação Riachuelo está representada por calcários e dolomitos predominantes, arenitos finos a conglomeráticos com intercalações de siltitos e folhelhos, possuindo contatos concordantes na base, com a Formação Muribeca e, na parte superior, com a Formação Cotinguiba. O estudo dos fósseis presentes neste pacote sedimentar permitiu concluir que a idade desta Formação se insere do Aptiano Superior ao Albiano Superior. Sua espessura é de aproximadamente 500 metros e

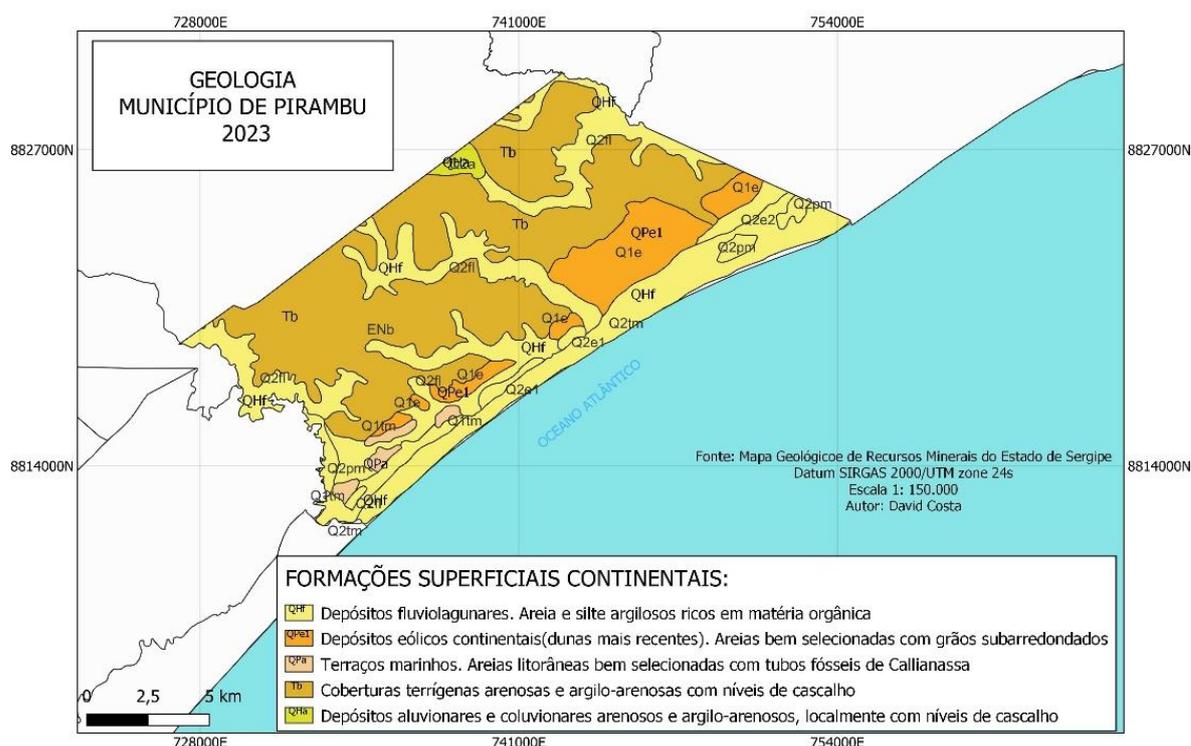
está composta pelos Membros Angico, Taquari e Maruim, que se encontram interdigitados entre si (SANTOS et al., 1998; BRASIL,1983 apud ALVES, 2010).

Feijó (1994 apud SILVA, 2016, p.68) subdivide a Formação Cotinguiba em dois membros: Sapucari composto por calcilutitos maciços e brechóides, e Aracaju formado por folhelhos, margas e calcilutitos.

Os sedimentos do Grupo Barreiras correspondem a um lençol terrígeno que margeia a costa atlântica, composto por “arenitos finos a médios, siltitos e argilas variegadas com níveis caulíníticos e conglomeráticos, às vezes grosseiros, reunidos por cimento ferruginoso consistente, com estratificação horizontal incipiente e indistinta predominante” (BRASIL, 1983, p. 207 apud ALVES, p.88). Este Grupo engloba “coberturas terrígenas arenosas e argilo-arenosas com níveis de cascalho” (SANTOS et al.,1998 apud ALVES, 2010, p. 88).

As Coberturas Pleistocênicas e holocênicas encontradas na referida área são: Depósitos aluvionares e coluvionares arenosos e argilo-arenosos; Depósitos de pântanos e mangues atuais; Depósitos eólicos litorâneos atuais; Depósitos eólicos continentais atuais; Terraços marinhos; Depósitos fluviolagunares; Depósitos de leques aluviais coalescentes (Figura 3).

Figura 3 - Mapa Geológico do Município de Pirambu.



### **3.2.3 Domínios Hidrogeológicos**

O território de Pirambu é ocupado por um único domínio hidrogeológico - as Formações Superficiais Cenozoicas, formadas por rochas sedimentares que recobriram as rochas mais antigas da Bacia Sedimentar, da Faixa de Dobramento Sergipana e do Embasamento Gnáissico. Este domínio hidrogeológico propicia uma excelente condição de armazenamento e fornecimento de água, classificado como aquífero granular, possui elevada permeabilidade e porosidade primária. Este domínio é dotado de potencial exploratório médio a alto, abrangendo os depósitos arenosos de praia, os depósitos arenosos-argilosos do Grupo Barreiras e níveis de calcários da Formação Cotinguiba (BOMFIM, COSTA e BENVENUTI, 2002)

Segundo os autores supracitados as Formações Superficiais Cenozoicas são o único domínio hidrogeológico do município de Pirambu.

Na área do município este domínio está representado pelo Grupo Barreiras e por depósitos eólicos litorâneos, depósitos fluvio-lagunares, terraços marinhos e depósitos eólicos continentais que, a depender da espessura e da razão areia/argila das suas litologias, pode produzir vazões significativas (BOMFIM, COSTA e BENVENUTI, 2002, p. 6).

### **3.2.4 Geomorfologia**

A geomorfologia da área foi caracterizada principalmente com base nos estudos de Alves (2010), Silva (2016), e representada cartograficamente pelas unidades definidas no Banco de Informações Ambientais -BDIA (IBGE, 2022), conforme a Figura 4.

A área de estudo está inserida no Domínio Morfoestrutural – Bacia Sedimentar Sergipe/Alagoas – englobando duas Unidades Morfoesculturais – Planaltos Inundados Litorâneos e Baixadas Litorâneas, que abrange três unidades geomorfológicas – Tabuleiros Costeiros, Planície Costeiro-Deltaica do Rio São Francisco e Planície Litorâneas (ALVES, 2010). As unidades geomorfológicas que compõem a paisagem de Pirambu são: Tabuleiros Costeiros e Planície Costeira, que correspondem aos geossistemas.

Os Tabuleiros Costeiros recebem esta denominação em função de sua ocorrência próximo a linha da costa. apresentam um relevo que varia de plano a suave

ondulado, levemente inclinado em direção ao litoral. Na área de estudo as feições associadas a esta unidade geomorfológica foram esculpidas nos sedimentos do Grupo Barreiras.

No município de Pirambu, os Tabuleiros Costeiros, de acordo com Silva (2016, p.93) “as cotas altimétricas dos Tabuleiros predominantes situam-se entre 50 e 70m e, raramente ultrapassam os 100m de altitude, exceto quando da presença de dunas continentais nos topos”. Este Geossistema pode ser subdividido em três geofácies ou subunidades, de acordo com Silva (2016):

a) Geofácies Superfície Dissecada em Colinas do Topo Plano Convexo

Esta unidade apresenta relevo dissecado englobando interflúvios tabulares, colinas, morros e espigões. A ação erosiva da drenagem fluvial representada pelos rios da região - Japarutuba, Sapucaia, Aningas e Betume, e processos pluviais modelam as vertentes.

b) Geofácies Dunas Continentais

Esta subunidade está caracterizada por feições dunares produzidas pela ação eólica, sobre os sedimentos arenoquartzosos expostos, ou seja, sem cobertura vegetal. As dunas continentais são encontradas nos topos dos Tabuleiros Costeiros. Segundo Silva (2016, p.95) “Do ponto de vista geológico correspondem a depósitos eólicos continentais Quaternários, tendo como características grãos bem selecionados vindos da planície costeira”.

c) Geofácies Superfície Tabular

Caracteriza-se por feições do Grupo Barreiras com superfície tabular, cujo topo apresenta espraiamentos arenosos. A presença de Neossolos Quartzarênico indica baixa fertilidade do solo, favorecendo o cultivo de coco-da-baía (*Cocos nucifera*). Devido a essas características esta unidade possui permeabilidade elevada contribuindo para recarga do aquífero granular em superfície (SILVA, 2016).

A Planície Costeiro-Deltaica do Rio São Francisco tem sua gênese iniciada no Quaternário, no Pleistoceno, estando associada aos eventos paleoclimáticos e, particularmente, às oscilações do nível relativo do mar, à deriva litorânea e aos aportes de sedimentos fluviais do rio homônimo (DOMINGUEZ et al., 1992 apud ALVES, 2010).

A gênese deste geossistema evidencia o passado geológico recente e os processos sucessivos costeiros atuantes, sendo incluso os oceânicos por meio de ação das ondas, marés, correntes litorâneas. A Planície Costeira está situada entre o

oceano e a escarpa de depósitos sedimentares, sendo um espaço de transição entre a interface continental e a interface marinha. Silva (2016) divide este geossistema em cinco geofácies:

a) Geofácies Terraços Marinhos são caracterizados por depósitos de idade quaternária. No município de Pirambu são verificados dois depósitos marinhos de idades distintas: Terraços marinhos pleistocênicos situados na parte mais interna da Planície Costeira. Eles ocorrem no entorno da Lagoa Catu, fazendo contato com a planície fluviolagunar e as dunas costeiras ativas que avançam sobre eles (ALVES, 2010), e Terraços marinhos holocênicos encontrados na parte externa dos Terraços Pleistocênicos, ao longo da faixa costeira do município. Estes são interrompidos pelas desembocaduras dos rios Sapucaia e Aningas.

b) Geofácies Cordões Litorâneos consistem em um depósito praiar - cordão/crista de praia, de orientação paralela à linha de costa ou num depósito de duna frontal - cordão/crista de duna frontal, que são relíquias preservadas pela vegetação. Estes Cordões Litorâneos encontram-se separados uns dos outros por depressões, onde de modo geral, se acumulam águas pluviais durante os períodos chuvosos.

De acordo com Fontes (2007 apud SILVA, 2016, p.100) os cordões litorâneos são arenosos, descontínuos e de extensões variáveis, sendo em alguns pontos intercalados por terrenos argilosos. Nesses locais, nos períodos chuvosos, são formadas as lagoas temporárias e os charcos. Os cordões litorâneos conduzem ao alongamento dos perfis longitudinais dos rios e riachos, criando um problema para a drenagem da planície e resultando no aparecimento de brejos e áreas sujeitas à inundação.

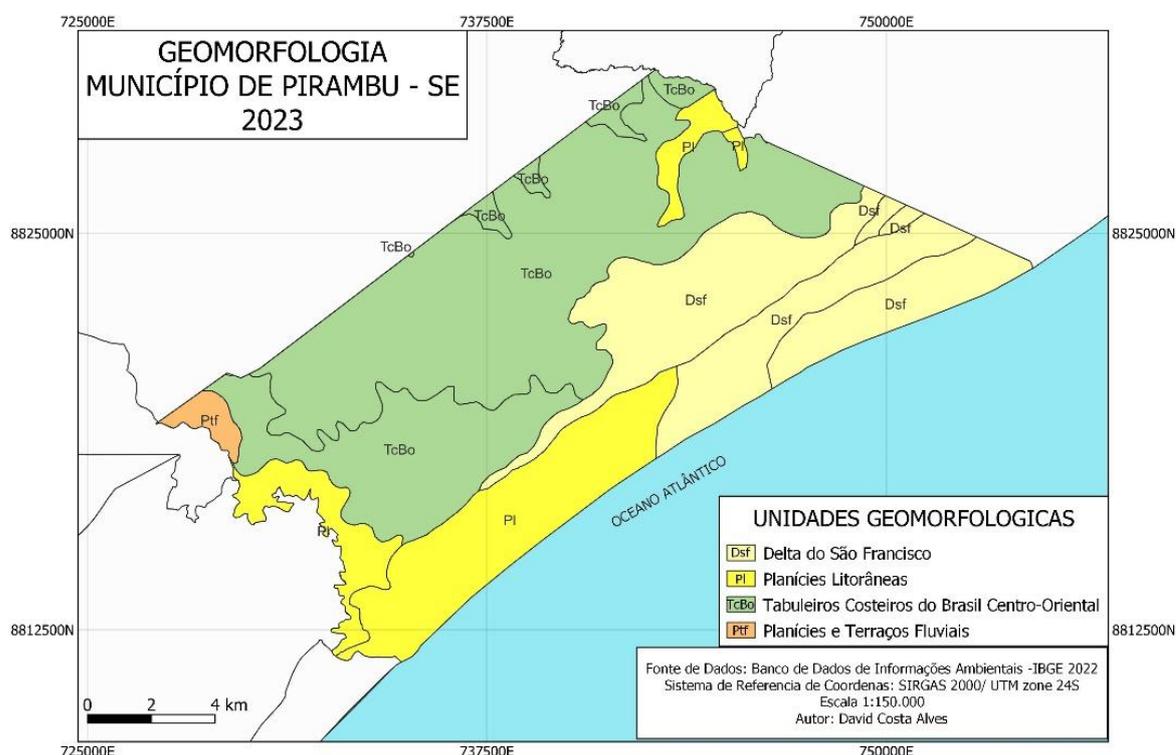
c) Geofácies Dunas Litorâneas são elevações de areia formadas pela ação dos ventos provenientes do mar sobre os sedimentos arenosos finos. Os ventos transportam a areia fina até que um obstáculo retenha os sedimentos, constituindo uma duna. Na área de estudo, esta unidade de paisagem está associada eventos paleoclimáticos do Quaternário. Na Planície Costeira de Pirambu ocorrem dunas semifixas, parcialmente vegetadas e dunas móveis.

d) Geofácies Planície Fluviolagunar unidade formada na interface de processos de sedimentação de ambientes lagunares e fluviais, caracterizados por depósitos argilosos ou argiloarenosos, enriquecidos por matéria orgânica, presentes nos baixos cursos dos vales fluviais. São áreas frequentemente inundáveis.

e) Geofácies Planície Fluviomarinha situa-se em locais de interação entre as águas marinhas e fluviais, que favorecem o desenvolvimento da vegetação de mangue e instalação do ecossistema manguezal devido ao teor de salinidade presente no ambiente resultante das oscilações do nível das marés oceânicas. É caracterizada por depósitos de sedimentos finos em regiões protegidas de ondas, seu substrato é composto por material argilosiltosos ricos em matéria orgânica, não consolidados.

Os Terraços Fluviais são antigas planícies de inundação que foram abandonadas após o rio entalhar o talvegue, aumentando a profundidade do canal de escoamento, num período quente e úmido. Os sedimentos foram depositados num período quente e seco, deixando estes patamares em níveis mais elevados como testemunhas destes processos pretéritos.

Figura 4 - Mapa de Geomorfologia do município de Pirambu.



### 3.2.5 Hidrografia

A Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei nº 9433 de janeiro de 1997, instituída no Brasil, reflete a preocupação com os recursos hídricos acentuada pelos

debates sobre meio ambiente e movimentos de reorganização democrática da sociedade. Ela definiu a bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos (ARAÚJO, 2012).

O sistema de uma bacia hidrográfica consiste em uma área de captação natural dos fluxos de água, que tem origem através da precipitação da chuva, tendo como resultado o escoamento convergindo para um único ponto de saída, denominado exutório. A bacia hidrográfica é um sistema de fácil delimitação topográfica, constituída por um rio principal e seus afluentes. Ela pode estar formada por sub-bacias (TUCCI, 1997 apud PORTO, 2008)

A análise de bacias hidrográficas é feita com o intuito de caracterizar seus componentes, assim obtendo o resultado de como as condições da bacia hidrográfica se encontra e torna possível tomar medidas para prevenções futuras ou imediatas de acordo com o nível da problemática encontrado.

No território abrangido pela bacia hidrográfica são desenvolvidas diversas atividades antrópicas - urbanas, rurais e industriais. Tais ações, podem gerar problema ambientais devido ao uso inadequado da terra, levando a utilização indevida da água gerando risco de contaminação ou até mesmo escassez.

O município de Pirambu está inserido na bacia hidrográfica do rio Japarutuba, que é uma das principais do estado de Sergipe. Além desta bacia, existem no seu território as bacias hidrográficas dos rios Sapucaia, Aningas, Brito, Poxim ou Betume e Papagaio. O rio Japarutuba nasce na Serra de Boa Vista, no município de Gracho Cardoso e deságua no Oceano Atlântico, entre os municípios de Pirambu e Barra dos Coqueiros.

No quesito de águas superficiais a bacia do rio Japarutuba é de suma importância para o abastecimento da população e desenvolvimento das atividades humanas. Vale ressaltar ainda as lagoas Catu, Redonda e Grande sendo esta última a segunda maior do estado de Sergipe, e por último a lagoa do Sangradouro que é a maior do estado.

### **3.2.6 Pedologia**

O solo é um produto de alteração, do remanejamento e da organização do material fonte, tais como rochas, sedimentos ou até mesmo outros solos, sendo assim um elemento complexo e heterogêneo. A sua constituição inclui minerais, matéria

orgânica, organismos vivos e água. A composição é diferenciada para cada tipo de classe de solo. Na área de estudo, os solos são oriundos das Formações Superficiais Cenozoicas.

Os solos originados do Grupo Barreiras são compostos por distintos teores das frações areia, argila e silte, representados pela classe dos Argissolos, que costuma ocorrer associada a outras classes.

Os Argissolos Vermelhos-Amarelos apresentam características texturais média/argilosa e texturas arenosas/média. Sua ocorrência é nos topos das morfologias tabuliformes dissecadas. Este tipo de solo é utilizado principalmente para plantio de cana-de-açúcar e coco-da-baía. Estes cultivos se adaptam bem a topografia plana ou sub-horizontal, que favorece a infiltração e o escoamento subsuperficial. Quando associados às vertentes, os Argissolos caracterizam-se por gradiente de declividade elevado e como resultado observam-se processos erosivos como o escamento superficial concentrado e movimentos de massa rápidos e lentos. Assim, os ambientes com este gradiente de declividade são utilizados para pastagens plantadas.

Segundo Alves (2010, p.134)

O uso agrícola deste tipo de solo, quando localizados nas superfícies tabulares, não constitui graves alterações na morfodinâmica. Em alguns setores mais declivosos das vertentes e cabeceiras de drenagem são encontradas manchas de Mata Secundária, Cerrado arbóreo-arbustivo ou remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual.

Apesar das limitações dos Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos representadas pela baixa fertilidade natural, presença de horizonte coeso e problemas nas condições de drenagem, eles são os que reúnem as melhores condições de exploração econômica nos municípios costeiros do Litoral Norte de Sergipe, estando o seu aproveitamento condicionado pela sua posição na paisagem e tipo de manejo adotado.

Os solos da classe Neossolos Quartzarênicos ocorrem nos topos das morfologias dos Tabuleiros Costeiros e nas feições da Planície Costeiras - terraços marinhos, planícies fluviolagunares e campos de dunas. O material de origem desta classe são as formações superficiais arenosas, cujos sedimentos são provindos de origem marinha, fluvial e fluviomarina.

Segundo Alves (2010, p.135):

Os Neossolos Quartzarênicos são solos pouco evoluídos. As características do próprio material de origem concorrem para oferecer maior resistência ao intemperismo e/ou reduzir a atuação dos processos pedogenéticos, que não conseguem produzir alterações expressivas. Segundo os estudos desenvolvidos pela EMBRAPA (1999),

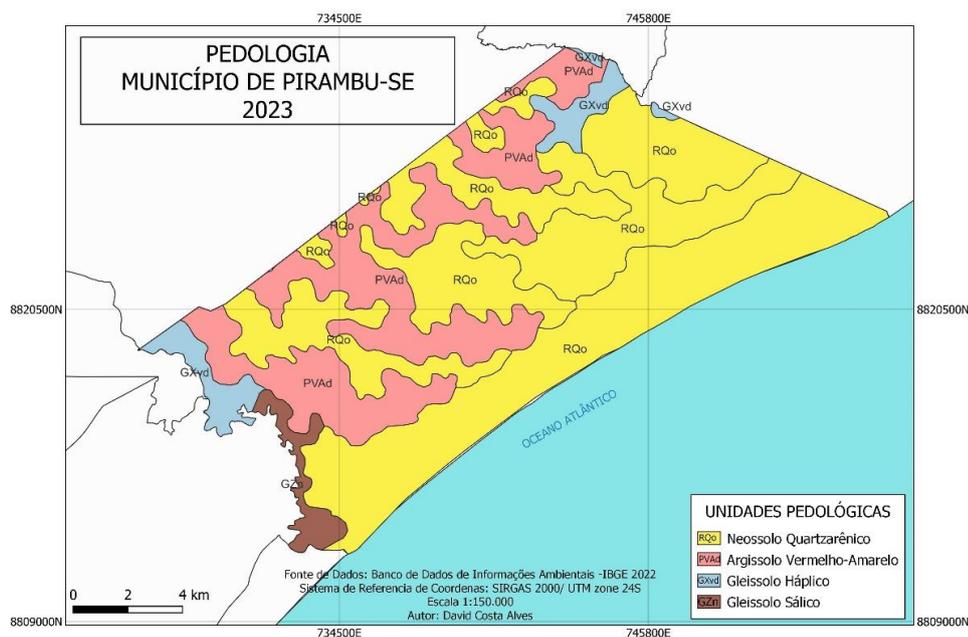
estes solos essencialmente arenoquartzosos, quando associados à baixada litorânea, podem ser originários de depósitos marinhos e fluviomarinhos ou, quando no contexto dos Tabuleiros Costeiros, derivam-se dos sedimentos arenosos do Grupo Barreiras.

As características dos Neossolos Quartzarênicos são: elevada profundidade, bem drenados e textura arenosa, que favorece a infiltração, reduz o escoamento superficial e a retenção hídrica. Eles são classificados como de baixa fertilidade e susceptível a ação eólica. No município de Pirambu encontram-se ocupados por plantações de coco-de-baía, frutíferas e pastagens nativas.

Os Gleissolos são típicos de ambientes que sofrem processos de hidromorfia, ou seja, ambientes onde ocorrem variações do nível do lençol freático com saturação hídrica permanente e/ou temporária. “Essas condições favorecem a formação de um horizonte de subsuperfície com gleização expressiva (mosqueados de cores variegadas em meio a uma massa cinza) que os caracterizam” Alves (2010, p.140).

Os Gleissolos Sálícos estão dispostos em relevo plano de várzea e esporadicamente em terraços, planície fluviomarinha ocupadas por mangues e baixos cursos de rios. Este tipo de solo não apresenta potencial agrícola por possuir uma taxa elevada de sais dissolvidos no solo e a sua dessalinização é inviável economicamente, pois o solo encontra-se descoberto e em sua área com concentração de sais elevada (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de Pedologia do Município de Pirambu – SE.



## 4 EMBASAMENTO TEÓRICO

### 4.1 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto tem como objetivo extrair informações contidas em imagens e codificar em documentos em forma de tabela, gráficos ou mapas que possam ser interpretados. As informações contidas nas imagens são extraídas através de métodos que obedecem a regras objetivas e lógicas para que possam ter seu significado interpretado por qualquer analista.

As regras estabelecem critérios para análise da área alvo, como por exemplo, a paisagem, e os elementos que a compõe, são constituídos pelas propriedades da cor, tonalidade, textura, estrutura, sombras e homologia que são específicas de cada classe alvos, assim está disposto os métodos de interpretação que é concebido através da experiência da fotointerpretação. Fotointérpretes denominam de fotoanálise o domínio do conhecimento sobre todas as características técnicas dos sistemas sensores de aquisição das imagens.

As técnicas de classificação digital de imagens, que automatizam a extração das informações das imagens e diminuem a subjetividade imposta pelo homem, surgiram a partir dos grandes números de bandas associados a uma grande extensão da área de estudo ou a quantidade de análise de imagens multitemporais. O resultado é uma imagem digital que constitui em um mapa digital temático.

Os softwares comerciais de processamento de imagens separam os classificadores em supervisionados e não-supervisionados, devido ser a forma mais comum utilizado entre os usuários de sensoriamento remoto.

O processo de associar os pixels da imagem a um determinado número de classes individuais que represente seus elementos, baseado no seu valor digital estabelecido, resulta na classificação de imagens multiespectrais. O pixel é avaliado por medidas estatísticas e é atribuído à classe que melhor satisfaz os critérios estabelecidos. Segundo o exemplo de MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T.D. (2012)

“se os valores digitais de um pixel nas bandas dos intervalos de comprimento de onda do visível azul, verde e vermelho, do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas são, respectivamente, {15, 25, 14, 115, 23}, eles poderiam ser rotulados à classe de vegetação, porque esses valores digitais são condizentes com o padrão de comportamento de refletância da vegetação. Então, o usuário deve esperar por procedimentos automáticos de

processamentos que possam mapear nas imagens todos os pixels que possuam esses mesmos valores ou valores próximos, resultando em um mapa digital automático de vegetação. O resultado final de um processo de classificação é uma imagem digital que constitui um mapa de "pixels" classificados, representados por símbolos, gráficos ou cores”

após as etapas de pré-processamento, realce e classificação de imagens, obtém por fim um mapa digital temático, onde está implícito que apenas as classes espectrais distinguíveis na imagem vão estar presentes no resultado final.

## **4.2 PRÉ-PROCESSAMENTO**

Imagens adquiridas por satélites costumam conter erros na geometria e nos valores digitais registrados para os pixels. Quando tais erros acontecem associados aos valores dos pixels, é denominado de distorções radiométricas, que podem ser causadas pelos próprios instrumentos utilizados no imageamento ou ainda pela interferência da atmosfera na propagação da radiação. A seguir é apresentado os procedimentos computacionais utilizados para a compensação desta situação.

### **4.2.1 Calibração radiométrica**

A medição da radiação e conversão para o nível de cinza ocorre por um processo automático inerente a aquisição das imagens brutas pelos sensores. Quando a radiação eletromagnética vinda da superfície passa pelo sistema óptico de coleta dos satélites e atinge os detectores, a quantidade de energia correspondente seja integralmente convertida em sinal elétrico sendo medido e registrado como nível de cinza de um pixel.

A conversão de nível de cinza para radiância é conhecida como calibração radiométrica e pode ocorrer de maneira absoluta ou cruzada. A calibração absoluta é realizada de forma direta, criando uma conversão entre o contador digital e a radiância que chega ao sensor. A calibração cruzada envolve dois sensores, sendo um deles calibrado em relação ao outro, denominado de sensor de referência.

### **4.2.2 Correção atmosférica**

Para corrigir as imagens quanto ao efeito da interação da radiação com a atmosfera terrestre, é preciso modelar os processos de dispersão e absorção da

radiação definindo como eles influenciam os valores registrados para os pixels. A irradiância solar que se propaga atmosfera dentro apresenta reflexões parciais de volta para o espaço, espalhamento de Rayleigh e Mie e também absorção.

Os métodos de correção baseados na modelagem atmosférica, são os procedimentos de correção dos efeitos atmosféricos que visam compensar o espalhamento e a absorção causada pela radiação ao longo de toda a sua trajetória. Busca simular uma situação ideal com a ausência de atmosfera, podendo a radiação se propagar livremente, sem obstáculos.

A normalização de imagens é um método que coloca duas imagens de um mesmo sensor adquiridas em datas distintas em um mesmo referencial radiométrico, sendo útil em estudos de detecção de mudanças que não exigem uma correção atmosférica absoluta, mas podem sofrer correção relativa para fins de comparação. Esta técnica consiste em calcular a média entre todos os pixels de uma das cenas, banda por banda, utilizada como referência, e depois subtrair o valor encontrado dos pixels na outra imagem nas respectivas bandas. Esse método minimiza os efeitos da diferença de iluminação e condições do sensor, além das diferenças atmosféricas.

#### **4.2.3 Correção geométrica**

Qualquer imagem bruta de satélite é afetada por distorções geométricas, devido tentar representar a superfície tridimensional da Terra através de uma imagem plana. As fontes de distorções geométricas responsáveis são – Movimento de rotação da Terra; Distorção panorâmica; Curvatura da Terra; Instabilidade da plataforma; Topografia da superfície.

A correção de distorções geométricas é feita pelo processo de ajuste geométrico de imagens, onde é reposicionando os pixels em seus verdadeiros locais de acordo com um dado de referência. Os processos de correção definidos como:

Registro: refere-se ao alinhamento geométrico entre duas cenas que cobrem a mesma área. Pode ser realizado a partir de imagens de um mesmo sensor, mas tomadas em datas diferentes, ou a partir de imagens de sensores diferentes.

Georreferenciamento; é o alinhamento geométrico de uma imagem com a utilização de um mapa de referência a fim de ajustá-la de acordo com o terreno.

Ortorretificação: é a correção da imagem para os efeitos da topografia. Após a ortorretificação, cada objeto da cena deve aparecer na imagem como visto de um ponto imediatamente cima, por meio de uma projeção ortográfica.

O registro é diferenciado do georreferenciamento devido a fonte utilizada para referência; no primeiro caso, é uma imagem sem coordenadas e, no segundo, um dado (mapa ou imagem) com coordenadas geográficas corretas.

### **4.3 REALCE RADIOMÉTRICO**

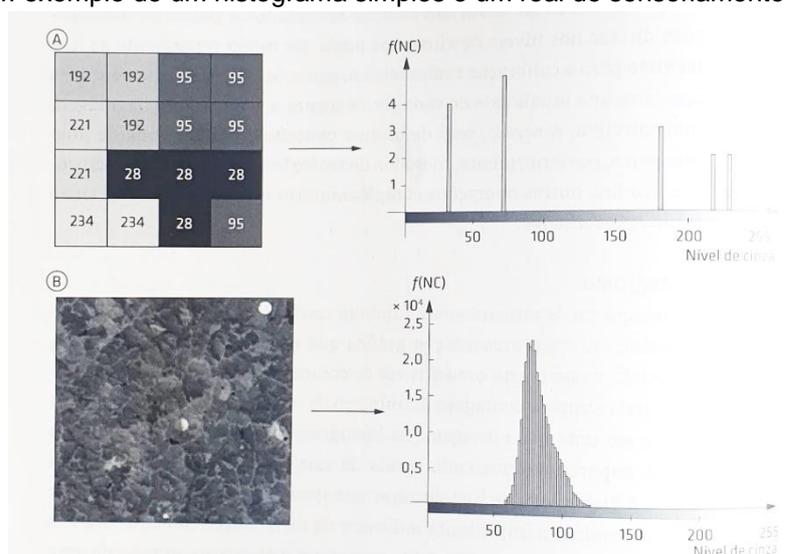
Quando aplicado nas imagens originais, o método de realce radiométrico, facilita a interpretação visual da imagem de sensoriamento remoto. Assim é possível identificar diferenças sutis nos níveis de cinza (NCs) do pixels, que resulta numa classificação mais precisa quando é feita a classificação das classes, como por exemplo distinguir vegetação de solo. Os processos que envolve o realce utilizam os seguintes procedimentos – Histograma; Realce em imagens digitais; Casamento e Fatiamento de histogramas. Abordados a seguir:

### **4.4 HISTOGRAMA**

O histograma de uma imagem é a representação gráfica que descreve os níveis de cinza dos pixels presentes na cena através de colunas verticais, que é determinado pela contagem do número de vezes que um nível de cinza ocorre na imagem. A construção é feita banda a banda, separadamente, sendo cada uma possuindo seu próprio histograma. Como a construção do histograma possui caráter preliminar, é necessário ter um indicador de distribuição radiométrica dos dados.

Podemos observar na imagem da figura 6 uma imagem-exemplo de um histograma simples que contém 4x4 pixels que contêm cinco níveis de cinza diferente, na mesma figura o seguinte o exemplo apresenta um histograma mais elaborado contendo diversos pixels e uma variedade maior de níveis de cinza.

Figura 6 - Imagem-exemplo de um histograma simples e um real de sensoriamento remoto.



Fonte: Zanotta et al, 2019.

#### 4.5 OPERAÇÃO DE REALCE EM IMAGENS DIGITAIS

Essas operações consistem em reposicionar as colunas do histograma original, assim fazendo ocupar uma região mais abrangente na paleta de cores, o número de coluna deste novo histograma será o mesmo do antigo, será modificado apenas o brilho e impossibilita que parâmetros físicos possam ser extraídos das cenas resultante.

Uma maneira mais comum de melhorar o aspecto visual da imagem, é através do contraste linear que é feito pela manipulação do histograma onde reposiciona as colunas e expande seus valores de mínimo e máximo de forma que ocupem seus extremos da paleta de cores (do preto ao branco), impondo posições proporcionais para os níveis de cinza intermediário.

As operações de contraste linear nem sempre produzem resultados satisfatórios em imagem de sensoriamento remoto, as vezes ocorre da separação das colunas do histograma não seja feita da maneira adequada e comisso não tenha um bom aproveitamento da paleta de cores. A operação a ser utilizada neste tipo de situação deve ser a equalização de histograma, que realiza um realce de forma não linear ao longo do histograma, empregando contrastes mais significativos em regiões que apresentam altas concentrações de nível de cinza, visando assim obter um resultado mais otimizado nos níveis de cinza na imagem.

## 4.6 CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA

Nesta classificação o analista tem pouca ou até mesmo nenhuma participação no processo de classificação de imagens, devido a dois cenários. O primeiro é a falta de conhecimento do número de classes de alvos e sua natureza presentes na área de estudo, e o segundo ocorre ao tentar realizar uma classificação exploratória da imagem de uma maneira rápida e sem esforço para saber as possíveis classes de alvos que a imagem pode conter. Nesta segunda situação cabe ao analista depois da classificação associar um significado a cada classe, pois neste cenário não é possível estimar o centro das classes utilizando áreas de treinamento que represente cada classe. Assim, o resultado da classificação só tem utilidade somente quando as classes podem ser interpretadas apropriadamente.

O treinamento não-supervisionado tem a maior parte automatizada pelo computador, onde agrupam os pixels com característica espectrais (*clusters*), baseados em parâmetros que o computador usa para descobrir padrões que são inerentes aos dados. Em alguns casos, separa os pixels em classes reconhecidas não é tão importante quanto identificar os grupos de pixels com características espectrais similares.

O método da classificação não-supervisionada, de amplo uso no sensoriamento remoto, possui dois algoritmos principais: ISODATA e K-médias, onde ambos são realizados através do agrupamento de pixels por similaridade e são feitos através da técnica de distância mínima. Este método também é conhecido como *clustering*, devido a técnica usada, onde um algoritmo *clustering* usa frequentemente todos os pixels da imagem de entrada para dar início a análise.

### 4.6.1 ISODATA

*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique* – ISODATA, é um *clustering* interativo e que após realizar várias vezes uma classificação, tendo como resultado uma imagem temática de saída, também recalcula as estatísticas. Este método *clustering* usa a distância espectral que é realizado em três etapas: (i) classifica interativamente os pixels; (ii) define os critérios para cada classe; (iii) reclassifica a imagem até encontrar padrões de distância espectral nos dados.

Todos os agrupamentos pertencentes a imagem devem ser compactados, com todos os pixels em volta da média, ocupando uma região esférica no espaço, este o princípio no qual o classificador ISODATA se fundamenta. Segundo Mather, 1987 Apud MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T.D. (2012) “Um valor de desvio-padrão deve ser tomado como a medida desta compacidade” sendo assim caso o desvio-padrão do agrupamento, que representa a classe de alvo, ultrapasse o valor estabelecido, ele será dividido.

Divisão de agrupamento é um processo típico do ISODATA, porém existe a fusão de agrupamento que acontece quando os centros dos agrupamentos são separados por uma distância mínima maior do que o valor de entrada, caso esta distância entre os centros for menor que o valor de entrada ocorrerá a fusão dos agrupamentos.

O processo de classificação, pode ser dividido em duas etapas, a primeira a partir de um número aleatório de médias de agrupamentos arbitrários uniformemente distribuídos no espaço de dados, que são possíveis representantes de centros de agrupamentos, então as distâncias mínimas são calculadas para cada pixel da imagem e reunidos nos agrupamentos mais próximos pela menor distância ao centro dos agrupamentos, conhecida como técnica de distância mínima.

A segunda etapa consiste em usar a média dos valores de todos os pixels, alocados em seu devido agrupamento, de forma arbitrária computando estes pixels para cada uma das bandas, assim obtendo coordenadas dos centros de cada cluster. Através desses novos centros uma interação é realizada onde recalcula as médias e os pixels são reclassificados de acordo com as novas médias. Durante este processo pode ocorrer divisão ou fusão de cluster, isso vai depender dos parâmetros impostos pelo analista, sendo algum deles solicitados pelos software de processamento de imagens como:

- i) Número máximo de agrupamentos considerados, pois cada um é a base de uma classe, sendo este o número o número máximo de classes a ser formada. Alguns agrupamentos com poucos pixels podem ser eliminados;
- ii) Limiar (*threshold*) de convergência, que é a porcentagem máxima de pixels cujos valores de classe irão permanecer sem mudança entre iterações;
- iii) Um número mínimo de pixels em cada classe e caso houver um menor número de pixel na classe ela é desconsiderada e os pixels vão para a classe mais próxima;

- iv) Número de iterações;
- v) Divisão de classe caso o seu desvio-padrão seja menor que o *threshold*, caso alguns pixels não sejam classificados é por ele não estar dentro dos parâmetros selecionados, assim finalizando a classificação ao atingir o número máximo de interações.

O ponto positivo deste tipo de classificação é sua grande taxa de sucesso ao descobrir os agrupamentos espectrais inerentes aos dados; não precisa se preocupar onde se encontram os agrupamentos iniciais, desde que um número suficiente de interações seja permitido. Porém, as desvantagens são: demanda de tempo, devido ao processo se repetir diversa vezes; o método não leva em consideração a homogeneidade espacial dos pixels; gasto desnecessário de processamento devido a fusão de agrupamentos se eles tiverem um alto número de agrupamento pré-definido.

#### **4.6.2 K-médias**

O algoritmo k-médias utiliza para a classificação, a distância da amostra ao centro do grupo e busca minimizar o somatório de todas as distâncias entre as amostras e o centroide mais próximo. O objetivo deste algoritmo é realizar o agrupamento iterativo onde particiona certo conjunto de amostras em k grupos (clusters), através do sensoriamento remoto onde as amostras são os pixels da imagem e o resultado obtido será a distribuição dessas amostras para seu respectivo grupo.

O analista, ao utilizar o algoritmo k-média, deve fornecer parâmetro de entrada e o número de grupos a serem obtidos. Pois o algoritmo funciona da seguinte forma: Seleciona aleatoriamente k amostras do conjunto a ser classificado, essas amostras são entendidas como vetor e tomados como estimativa dos centroides das classes a ser obtida pelo algoritmo.

Em seguida classifica por meio da distância entre observação e centroides para classificar cada observação de dados na classe cujo centroide esteja próximo.

Após a primeira classificação, é feito recálculo da posição dos centroides, que passara a ser o valor médio das observações classificadas em cada grupo. É repetida a classificação iterativamente, reclassificando as amostras e computando o novo centro dos clusters. O processo segue até um critério de convergência seja atingindo.

Isso ocorre quando as amostras não mudam de classe, as posições do centroide permanecem estáveis, ou número máximo de interações tenha sido atingido. Assim todas as amostras são obrigatoriamente classificadas em algum grupo.

#### **4.6.3 Validação da classificação não supervisionada**

No contexto do sensoriamento remoto, o usuário pode não conhecer a verdade sobre o terreno ele pode inferir regiões da imagem com resposta espectral semelhante. Frequentemente a validação ocorre de forma qualitativa. Segunda Canty (2010) Apud MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T.D. (2012) nota que, em última instancia, a validação qualitativa da classificação não supervisionada é quase questão de estética.

### **4.7 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA**

A classificação supervisionada visa extrair informações de dados coletados por um sensor instalado a bordo de uma plataforma remota. Neste tipo de classificação, o analista é capaz de prover/coletar exemplos de amostras representativas para as categorias contidas na massa de dados a ser classificada, visando treinar um modelo estatístico para reconhecer padrões semelhantes. O objetivo é predizer a qual classe pertencem os novos dados a serem analisados, a partir de classificadores paramétricos e não paramétricos.

#### **4.7.1 Classificadores paramétricos**

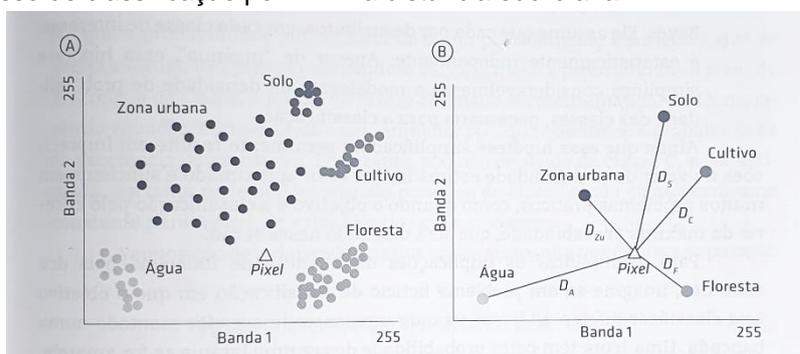
Segundo Russel; Norving, 2009. “classificadores paramétricos são aqueles que modelam fronteiras decisão entre classes de treinamento com um número fixo de parâmetros, independentemente do número de amostras disponíveis”, a fronteira de decisão de classificação é computada utilizando-se certo número de parâmetros que definem o tamanho do modelo adotado. Geralmente os classificadores paramétricos fazem uma suposição inicial sobre a forma da distribuição de probabilidade das classes disponíveis no problema. A seguir será apresentado dois dos principais classificadores: Mínima distância euclidiana e Máxima Verossimilhança.

#### 4.7.1.1 Mínima distância euclidiana

Este classificador trata-se de um procedimento de classificação supervisionada que utiliza a distância euclidiana para associar um pixel a uma determinada classe levando em consideração apenas a média de cada classe no espaço de atributos das amostras colhidas pelo analista.

As fronteiras de decisão são posicionadas nas linhas equidistantes entre pontos médios das diversas classes presentes no problema da imagem da figura 7 a seguir:

Figura 7 – Processo de classificação por mínima distância euclidiana.



Fonte: Zanotta et al, 2019.

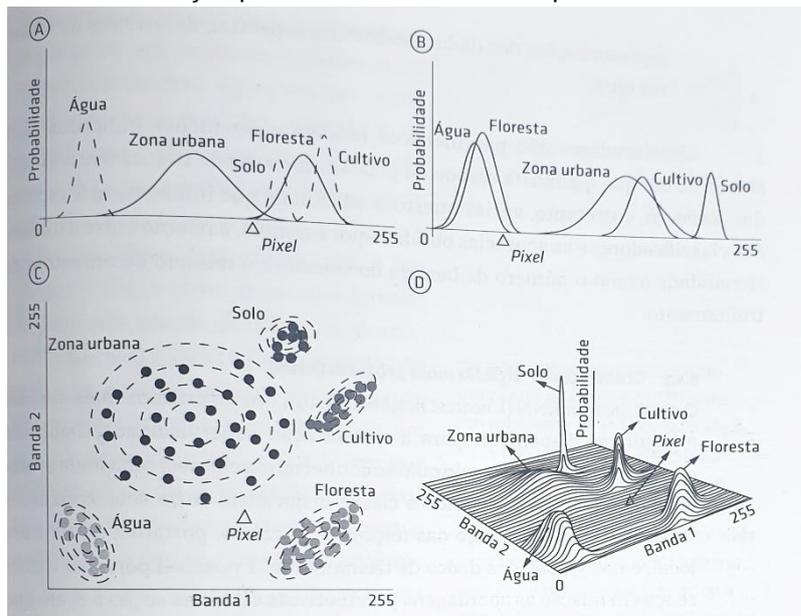
A figura (a) mostra um diagrama onde consta as amostras de treinamento de cinco classes (solo, floresta, zona urbana, cultivo, agrícola e água), representadas no diagrama confrontando duas bandas de uma imagem genérica com a posição respectivas das médias em cada classe calculadas para essas bandas. A figura (b) mostra que a classificação de um pixel genérico na imagem é realizada pela determinação de qual classe apresenta menor distância euclidiana (linha reta) entre sua média e a posição do pixel no gráfico.

#### 4.7.1.2 Máxima verossimilhança

Também conhecido com MaxVer, este classificador tem um caso particular da análise discriminante quadrática que assume que as probabilidades a priori sejam idênticas para todas as classes. Assim, além do vetor média, as variâncias das classes (matriz de covariância) também são utilizadas na definição das classificações. Deste modo, a variância das amostras pode exercer um papel determinante na definição da classe vencedora.

Para entender melhor, vamos usar como exemplo, cinco classe (solo, floresta, zona urbana, cultivo agrícola e água) nas quais será analisado a partir de duas bandas de uma imagem genérica, onde será verificado as probabilidades das ocorrências de cada classe a partir dos dados na figura 8 a seguir:

Figura 8 - Processo de classificação por análise discriminante quadrática.



Fonte: Zanotta et al, 2019.

A imagem mostra o processo de classificação por análise discriminante quadrática. Nestes Gráficos é possível observar as probabilidades a posteriori da ocorrência de cada uma das cinco classes envolvidas no problema: (A) banda 1; (B) banda 2; (C) vista bidimensional das probabilidade conjuntas das duas bandas; (D) visão em três dimensões das probabilidades a posteriori para as cinco classes nas duas bandas.

Pode-se observar que a classe vencedora para um dado pixel será aquela que apresentar a maior probabilidade conjunta entre todas as bandas analisada.

#### 4.7.2 Classificadores não paramétricos

Os classificadores não paramétricos focam na estrutura (local) dos dados, sem assumir a priori uma forma específica da função que será ajustada aos dados para separar as distintas classes.

Esses classificadores são uma boa escolha quando o usuário dispõe de muitas amostras de treinamento e nenhum conhecimento a priori sobre a distribuição das classes a serem analisadas. Como essa família de classificadores não faz suposições iniciais que devem ser respeitadas pelos dados de treinamento, os algoritmos discriminantes resultantes se tornam convenientes, como por exemplo:

Na classificação do uso do solo cuja distribuição seja claramente multimodal. A definição de uma classe única agrícola, composta por distintas respostas espectrais correspondentes plantações de soja e milho, ou então de uma classe urbana, contendo distintas superfícies impermeáveis, vegetação, etc.

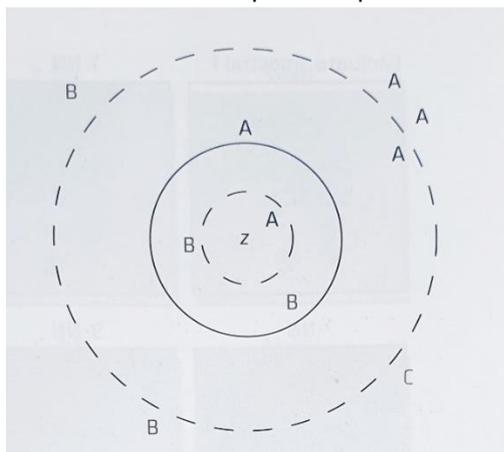
Os classificadores não paramétricos tendem a ser pouco indicado para situações onde o analista disponha de pequenas quantidades amostra de treinamento rotuladas. A seguir serão descritos alguns dos principais classificadores não paramétricos.

#### **4.7.2.1 Classificador vizinho mais próximo (kNM)**

Neste classificador kNM (*k nearest neighbor*), após dado um conjunto de treinamento do qual se conhecem as classes, cada nova amostra será classificada segundo a classe majoritária entre seus k vizinhos mais próximos nos espaços das feições. É priorizado a estrutura local, e não a global, dos dados de treinamento.

Este algoritmo funciona através do processo de classificar cada amostra a ser analisada levando em consideração a classe majoritária entre os k vizinhos mais próximos no conjunto de treinamento, onde o analista deve testar os parâmetros para k serem positivos. Para evitar problemas, como por exemplo caso tenha duas classes o analista deve optar por um valor ímpar para evitar o empate entre elas. Podemos ver na imagem 9 a seguir o exemplo da classificação usando o algoritmo kNM:

Figura 9 – Exemplo utilizando o classificador kNM para um problema de três classes.



Fonte: Zanotta et al, 2019.

Neste exemplo podemos observar a existência de três classes (A, B, C). A classificação da amostra (z) varia conforme a classe majoritária entre os k vizinhos mais próximos. Podemos perceber quando o valor atribuído a  $k=1$ , o vizinho mais próximo de z (na fronteira interna com a linha tracejada) será a classe A recebendo apenas 1 voto, logo  $z=A$ . No caso de  $k=3$  (fronteira com a linha cheia) a classe A recebe apenas um voto, a classe B dois votos, por tanto  $z=B$ . Já para  $k=5$  (na última fronteira tracejada) há três votos para classe A e dois para a classe B, logo  $z=A$ , a classe C recebe apenas um voto e desta maneira não contribui para a classificação por não estar entre os cinco vizinhos mais próximos.

#### 4.7.2.2 Classificador Random forest

Segundo Breiman, 2001 o classificador Random Forest (florestas aleatórias) é um método comumente utilizado na aprendizagem de máquina para solução de problemas de classificação supervisionada e regressão. Este classificador tem como ideia combinar classificações provenientes de árvores de decisão, treinadas individualmente em distintos subconjuntos de dados, para obter a classificação desejada.

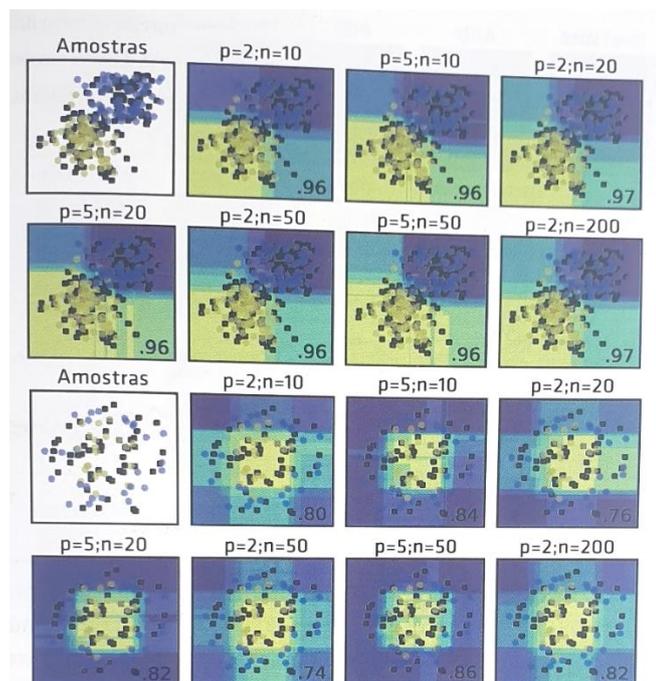
O Random Forest utiliza duas estratégias para treinar várias árvores de decisão distintas: seleciona aleatoriamente subconjuntos de amostras de treinamento e seus respectivos atributos para produzir um conjunto grande de árvores de decisão individuais. Isso introduz diversidade nos classificadores, quando combinados tendem a fornecer elevadas exatidões. Em seguida, os dados de entrada são inseridos

simultaneamente em todas as árvores criadas, obtendo uma sequência de resultados, onde a classe vencedora é a que aparecer mais vezes (processo de votação por maioria).

O classificador utiliza uma versão modificada da árvore de decisão, em cada nó é selecionado aleatoriamente um subconjunto das feições originais para computar a melhor partição. Cabe ao analista escolher parâmetro o número de feições a serem selecionadas no método.

No exemplo a seguir (figura 10) podemos observar que a classificação ao variar-se de profundidade máxima de cada árvore e o número de árvores utilizadas no random forests, a acurácia é mais sensível à profundidade máxima das árvores de decisão do que ao número de árvores utilizadas. É selecionado uma feição aleatória por nó, para cada árvore que é individualmente treinada.

Figura 10 – Classificador Random forest aplicado na discriminação de duas classes presentes em dois conjuntos.



Fonte: Zanotta et al, 2019.

Nesta imagem é visto o classificador random forests aplicado na discriminação de duas classes presentes com três conjuntos de dados simulados, onde as amostras apresentem padrões de separação linear, circular e meia-lua. As cores amarelo e azul indicam áreas classificadas com 100% de probabilidade de pertencer a classe 1 e 2,

as cores intermediárias corresponde aos distintos níveis de probabilidade de ocorrência nas classes.

#### **4.7.2.3 Spectral Angle Mapper (SAM)**

O SAM é um método de classificação supervisionada que verifica a semelhança entre as assinaturas espectrais de alvos de referência e as assinaturas espectrais dos pixels de uma imagem. Os valores do SAM são expressos em ângulos, de modo que quanto menor for o ângulo para um pixel classificado, maior será sua semelhança com a amostra de referência (KRUSE et al., 1993).

Os alvos de referência para a classificação foram selecionados considerando, por um lado, as classes de cobertura da terra dominantes na área de estudo e, por outro lado, as premissas de análise espectral, que buscam maior participação de um material no pixel (WILLIAMS; HUNT JUNIOR, 2002). Dessa forma, quanto maior for o número de alvos e a sua abundância na cena, melhor será a identificação dos alvos de interesse.

#### **4.7.2.4 Validação cruzada**

A validação cruzada é uma estratégia alternativa pensada para a avaliação de classificadores em situações onde o número de amostras rotuladas é pequeno. Ela consiste em particionar aleatoriamente o conjunto de dados subconjuntos distintos, de tamanho aproximadamente idênticos, e utilizá-los em maneira rotativa, sempre treinando o classificador em conjuntos e testando-o no conjunto deixado de fora.

A partição das amostras em três conjuntos independentes (treinamento, validação e teste) pressupõe que p número de amostras rotuladas seja elevado. Na maioria dos problemas de classificação em sensoriamento remoto, não é fácil conseguir um elevado número de amostras cuja verdade do terreno seja conhecido com precisão, já que a princípio a obtenção de amostras rotuladas requer visita a campo, o que implica movimentação de equipes com custos associados.

#### 4.7.2.5 Validação por matriz de confusão e índice Kappa

Na validação por matriz de confusão é computado, para cada classe, uma fração de amostras que são corretamente pertencentes desta classe e um número erroneamente também classificadas a mesma.

A matriz de confusão trata-se de uma tabela quadrada que compara os erros e os acertos por cada classe de acordo com os dados de referência. A seguir na Figura 11 mostra o exemplo para o classificador QDA (*Quadratic Discriminant Analysis*), onde é computado três medidas:

- A exatidão do produtor: é a probabilidade de um pixel em uma determinada classe ser classificado corretamente.
- A exatidão do usuário: é a probabilidade de um pixel atribuído a uma classe realmente pertencer a essa classe.
- A exatidão global: é calculada somando o número de pixels corretamente classificados e dividindo-o pelo número total de amostras.

Figura 11 – Matriz de confusão para o classificador QDA.

Verdade de terreno	Classificado como			Total	Ex. do produtor	%	Ex. do usuário	%
	Floresta	Pastagem	Solo					
Floresta	457	7	0	464	457/464	98,5	457/460	99,3
Pastagem	3	402	2	407	402/407	98,8	402/415	96,9
Solo	0	6	204	210	204/210	97,1	204/206	99,0
Total	460	415	206	1.081	Exatidão global (457 + 402 + 204)/1.081 = 98,3%			

Fonte: Zanotta et al, 2019.

O coeficiente Kappa (Cohen,1960) trata-se de um método estatístico para avaliar o nível de concordância ou reprodutibilidade entre dois conjuntos de dados. É calculado utilizando a fórmula abaixo:

$$\hat{K} = \frac{\hat{p}_o - \hat{p}_e}{1 - \hat{p}_e}$$

onde

$$\hat{p}_0 = \sum_{i=1}^r \frac{n_{ii}}{n} \quad \hat{p}_e = \sum_{i=1}^r \frac{n_{i.} * n_{.i}}{n^2}$$

Onde o

- r representa as categorias de avaliação (exemplo: floresta, pastagem, solo na tabela da figura 11.)
- n.i representa o total de elementos classificados na categoria i (exemplo: floresta 460 na tabela da figura 11);
- ni. representa a quantidade de elementos da verdade terrestre na categoria i (exemplo: floresta 460 na tabela da figura 11);
- n representa o total de elementos amostrais avaliados (exemplo: 1081 na tabela da figura 11).

Landis e Koch (1977) classificam os diferentes níveis de concordância (ou reprodutibilidade) – menor que 0 não existe concordância; de 0 a 0,20 é considerado concordância mínima; 0,21 a 0,40 concordância razoável; 0,41 a 0,60 concordância moderada; 0,61 a 0,80 concordância substancial; 0,81 a 1,0 concordância perfeita.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O plano de trabalho foi realizado baseado no sensoriamento remoto, tendo por base o Processamento de imagens de satélite (Zanotta, D. C., Ferreira, M. P., & Zortea, M. 2019), onde aborda o sensoriamento remoto, os tipos de classificações de imagens, métodos e a funcionalidade dos algoritmos.

A realização deste estudo envolveu as seguintes etapas e procedimentos, dentre os quais encontram-se:

### 5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Consultas no acervo da biblioteca central da UFS, bibliotecas virtuais de instituições de nível superior – dissertações e teses que abordam as temáticas: uso e ocupação da terra e recursos hídricos, pesquisa documental sobre o histórico de ocupação do município de Pirambu. Também foram consultados artigos que tratam das temáticas de análise da paisagem e sensoriamento remoto.

## 5.2 CONFECÇÃO DO BANCO DE DADOS

Os produtos cartográficos interpretados foram: Folha topográfica Japarutuba (SC.24-Z-B-V) – SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste), Mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Sergipe de Teixeira, L. R. (2014), e mapas temáticos de Alves (2010).

Levantamento de materiais cartográficos e manuais disponibilizados nas páginas de órgãos públicos do estado de Sergipe e Federais, entre outros. As informações e shapefiles referentes à malha rodoviária, limite municipal e redes de drenagem foram obtidas através do banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

As bandas da imagem do satélite LANDSAT08 foram adquiridas através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), sendo adquirida a imagem datada de 10/10/2020 correspondente ao *Path* 215 e *Row* 067 da Coleção 1 nível 1. Todo o pacote com as bandas e arquivos de metadados foram baixados, contudo só foram utilizadas as Bandas: 01, 02, 03, 04, 05, 06 e 07, conforme a descrição abaixo:

Quadro 3 – Bandas e resoluções do sensor OLI utilizadas.

Bandas	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica
B1 – Costal	0,433 – 0,453 $\mu\text{m}$	30m	12 bits
B2 – Azul	0,450 – 0,515 $\mu\text{m}$		
B3 – Verde	0,525 – 0,600 $\mu\text{m}$		
B4 – Vermelho	0,630 – 0,680 $\mu\text{m}$		
B5 – Infravermelho Próximo	0,845 – 0,885 $\mu\text{m}$		
B6 – Infravermelho Médio	1,560 – 1,660 $\mu\text{m}$		
B7 – Infravermelho Médio	2,100 – 2,300 $\mu\text{m}$		

Fonte: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>

## 5.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO

O levantamento de campo foi realizado na data de 24 de abril de 2023, pela iniciação científica, com objetivo analisar, corrigir e atualizar as informações e dados sobre uso e ocupação da terra e recursos hídricos, que se encontram disponíveis nas páginas de instituições públicas e/ou publicações de trabalhos acadêmicos. Durante a etapa de campo foram visitados diversos alvos presentes no município que tiveram os seus pontos cartografados e fotografados.

#### 5.4 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Após a escolha da imagem de satélite, do LANDAST8, sensor OLI com menor cobertura de nuvens da área de estudo foram realizadas as seguintes etapas no software QGIS versão 3.22 Białowieża

- Pré-processamento:

- Reprojeção das bandas para coordenadas UTM Datum SIRGAS2000 Fuso 24S;
- Confecção de um buffer de 100m a partir de um do limite municipal de Pirambu para executar o recorte da área de interesse com objetivo de diminuir o processamento;
- Utilização do *plugin* SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) para empilhamento das bandas e confecção das composições de cor natural e falsa cor para melhor visualização dos alvos a serem classificados;

#### 5.5 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

Para a classificação das imagens, processadas, foi realizada a coleta de amostras de treinamento para a classificação supervisionada dentro do plugin SCP.

Em seguida foi executado os algoritmos de classificação supervisionada Mínima Distância e *Spectral Angle* para confecção dos mapas de classificação supervisionada.

#### 5.6 VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO

A validação da classificação supervisionada foi feita com a utilização do plugin ATACAMA para validação e medição da acurácia dos mapas temáticos de classificação supervisionada. Esse complemento calcula a quantidade mínima de amostras aleatórias para serem geradas na área de estudo de forma que possa ser construída a matriz de confusão para validação dos resultados. Após a geração das amostras de validação, pode ser feita a comparação do pixel classificado pelo classificador com uma imagem de satélite de alta resolução da área de interesse.

O complemento ATACAMA também gera a matriz de confusão para cada mapa temático classificado, gerando a acurácia global e permitindo o cálculo do índice Kappa como descrito no embasamento teórico.

## 6 RESULTADOS

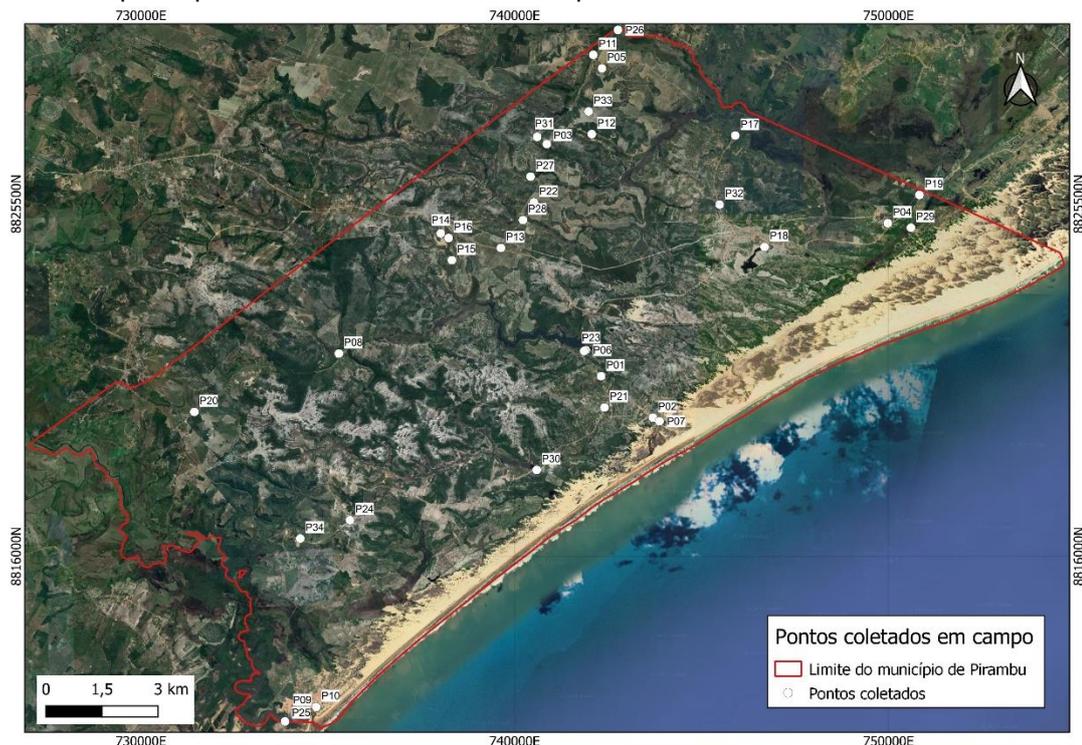
### 6.1 RESULTADOS DE CAMPO

No Brasil, os municípios costeiros tendem a apresentar uma grande concentração populacional, que implica em intervenções antrópicas nos componentes naturais e conseqüentemente, na transformação na paisagem.

Em Pirambu, tal situação não é diferente, os reflexos dos tipos de uso e ocupação marcam a paisagem devido a ocupação, quase sempre sem planejamento, colocando em risco o equilíbrio do sistema ambiental e gerando possíveis conflitos socioambientais.

Foram visitados 34 pontos em campo para a análise do uso e ocupação do solo conforme a figura 12 e tabela 1 abaixo:

Figura 12 – Mapa de pontos do levantamento de campo.



Fonte da imagem: Google Earth.

Tabela 1: Descrições e coordenadas dos pontos visitados.

Número do ponto	Localidade/Referência	Coordenada UTM N	Coordenada UTM E
P1	Rio do Camping Lagoas Bar	742314	8820860
P2	Estrada do povoado que acessa rio e o Campo TTG- Tartaruga	743699	8819741
P3	Estrada de acesso ao assentamento papagaio	740861	8827118
P4	Estrada de acesso a estação coletora Robalo	749984	8824984,
P5	Solo exposto para agropecuária	742337	8829159
P6	Estrada pavimentada com contenção de Duna	741901	8821564
P7	Povoado onde fica o Campo TTG	743876	8819646
P8	Acampamento Padre Geraldo	735298	8821471
P9	Saída de esgoto na desembocadura do rio para o mar	734130	8811772
P10	Sede municipal	734691	8811941
P11	Margem do rio Papagaio	742106	8829524
P12	Estrada com vista para tanques para viveiros	742066	8827386
P13	Cocoicultura	739632	8824316
P14	Estrada com vista para solo exposto do Grupo Barreiras	738021	8824710
P15	Estrada próximo a tanques de viveiros	738321	8823988
P16	Estrada próximo a tanques de viveiros	738232	8824586
P17	Praça do povoado Alagamar	745904	8827349
P18	Povoado próximo a lagoa	746687	8824346
P19	Estrada próxima a vegetação de restinga e dunas	750831	8825744
P20	Cocoicultura	731431	8819897
P21	Cocoicultura	742404	8820017
P22	Vegetação nativa ou temporária	740516	8825545
P23	Ponte sobre o rio Sapucaia	741861	8821537
P24	Duna e vegetação arbustiva arbórea	735594	8816977
P25	Ponte de acesso do município, próximo ao mangue	733856	8811552
P26	Margem do rio Betume	742765	8830195
P27	Solo exposto para agropecuária	740425	8826241
P28	Margens do afluente do rio Brito	740223	8825070
P29	Estrada próximo as margens do vale do riacho Santa Isabel	750604	882486
P30	Estrada pavimentada próximo ao rio Aninguas	740592	8818331
P31	Estrada do assentamento papagaio próximo a agropecuária	740603	8827312
P32	Reserva ambiental	745485	8825487
P33	Assentamento papagaio	741978	8827996
P34	Povoado Aguilhadas	734263	8816481

### 6.1.1 Uso e ocupação da terra

#### a) Agropecuária

Na área de estudo, a cocoicultura é dominante na paisagem (Figura 13). Constatam-se também lavouras de cana-de-açúcar e de subsistência, pastagens nativas e plantadas. Estas atividades produtivas estão distribuídas de acordo com as características das feições do relevo, do solo e da disponibilidade hídrica necessárias para o seu desenvolvimento. Em Pirambu atualmente está desenvolvendo a aquicultura – piscicultura e carcinicultura em setores dos canais fluviais com a construção de viveiros.

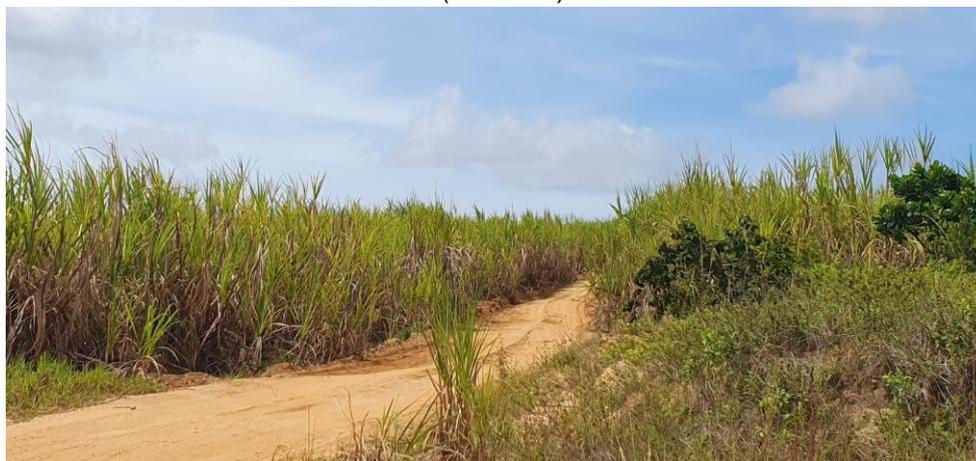
A cocoicultura se destaca nos topos das morfologias tabuliformes onde ocorrem os Neossolos Quartzarênicos relacionados aos espraimentos arenosos. A lavoura canvieira também ocupa as áreas de suave declividade que permitem o manejo do solo com o uso de mecanização. A cocoicultura é um tipo de lavoura permanente de grande importância econômica para o município, em função de possuir diversas finalidades.

Figura 13 - Plantação de coco-da-baía. Pirambu – SE (Ponto 20).



A cultura da cana-de-açúcar (Figura 14) tornou-se importante na agricultura brasileira devido a produção do açúcar, de combustível para veículos – etanol, e geração de energia através do bagaço. Em Pirambu, esta lavoura temporária é desenvolvida por possuir bom mercado consumidor. No ano de 2017, a área plantada no município correspondia a dois hectares, equivalente a 0,7% do total de produtos de lavoura temporária do estado de Sergipe.

Figura 14 - Lavoura canvieira. Pirambu – SE (Ponto 27).



Os principais cultivos de subsistência são produzidos por mão de obra familiar - feijão, milho e mandioca, e consumidos pelas próprias famílias pois fazem parte da base alimentar. O excedente é vendido nas feiras locais. Em Pirambu no ano de 2017, a maior área colhida e maior produção foi a de mandioca, seguida do feijão e do milho.

Atualmente a aquicultura vem se estabelecendo como uma alternativa econômica para os municípios do Litoral Norte de Sergipe (Figura 15). Na área deste estudo, os viveiros são utilizados principalmente para criação de peixes, sendo a tilápia (*Oreochromis niloticus*) a espécie mais produzida, no ano de 2016, equivalendo a 12,5% da produção total do estado. Entre 2016 e 2021, a produção sofreu uma diminuição considerável, correspondendo a apenas 6,2% da produção estadual. Esse fato pode estar relacionado a fatores do cenário mundial na época do COVID-19, que gerou grande impacto econômico. No ano de 2020, a produção de tilápia em Pirambu obteve o número mais baixos de todos os tempos, 21.340 kg, porém os dados demonstram uma retomada positiva.

Figura 15 - Aquicultura - viveiros destinados a criação de peixes. Pirambu – SE (Ponto 16).



Nos dias atuais, segundo relato de moradores locais, há uma expectativa para instalação de novos viveiros (Figura 16), que serão destinados ao desenvolvimento da carcinicultura, ou seja, para a criação de camarões. A carcinicultura no município, segundo dados do IBGE entre 2013 e 2016 obteve produção média acima de 50.000 kg, que corresponde a aproximadamente 2,3% da produção estadual.

Figura 16 - Instalações de novos tanques destinados para criação de camarão. Pirambu – SE (Ponto 15).



A criação de gado bovino no município de Pirambu ocupa as áreas das vertentes dos tabuleiros, ocupadas por pastagem plantada ou nativa. O pisoteio do gado em alguns pontos propicia a degradação da cobertura vegetal, expondo o solo. Conseqüentemente, se desenvolvem feições erosivas – sulcos e ravinas. De acordo com Alves (2010, p.185)

Na área de estudo observa-se o predomínio das pastagens nativas, formadas por gramíneas que brotam aleatoriamente sobre os solos após os desmatamentos; enquanto nas áreas ocupadas por pastagens plantadas as espécies principais são o capim braquiária e o capim pangola.

O município apresenta pequeno efetivo de rebanho bovino, esta não é uma de suas principais atividades econômicas, os rebanhos incluem cerca de 2.000 cabeças, uma taxa aproximada de 0,2% do total do estado de Sergipe.

A área de estudo apresenta pequenos núcleos urbanos, a exceção da sede municipal que está instalada na Planície Costeira. Pirambu possui os povoados Santa Isabel, Alagamar, Marimondo, Aguilhadas, Bebedouro, Lagoa Redonda, Baixa Grande, Aguilhadas e Água Boa.

A interpretação das imagens de satélite permitiu identificar estes núcleos urbanos (Figura 17), áreas de solo exposto em corte de estradas (Figura 18) e outras áreas identificadas como áreas de lavouras temporárias recém colhidas (Figura 19).

Figura 17 - Núcleo urbano, Povoado Alagamar – Pirambu – SE (Ponto 17).



Figura 18 - Solo exposto em corte de estrada, sendo possível observar sedimentos do Grupo Barreiras. Pirambu – SE (Ponto 14).



Figura 19 - Área de lavoura temporária. Pirambu – SE (Ponto 5).

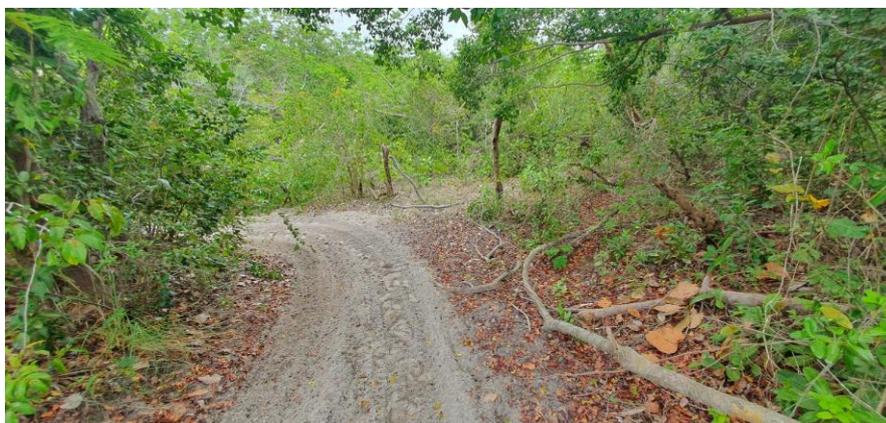


Na área de estudo, os tipos de uso através do tempo implicaram em forte impacto sobre a vegetação original. Em Pirambu, as principais formações vegetais são - Floresta Estacional Semidecidual; Restinga; Campos de Várzea; Cerrado; e

Mangues - que apresentam um papel fundamental na paisagem, disponibilizando de matéria orgânica e proteção para o solo, reduzindo a erosão.

A Floresta Estacional Semidecidual ocupava originalmente os Tabuleiros Costeiros, área mais elevadas que recebem as brisas oceânicas. Ela está adaptada ao ambiente climático, marcado por duas estações, chuvosa e seca, que podem apresentar duração de até sete meses. Esta vegetação foi substituída por plantações de cana-de-açúcar, coco-da-baía e culturas diversas. A formação florestal Cerrado também tem como característica a ocorrência em ambientes com duas estações, igualmente como a Floresta Estacional Semidecidual (Figura 20).

Figura 20 - Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em topo de tabuleiro. Pirambu – SE (Ponto 3).



A Restinga corresponde a uma formação vegetal associada às morfologias da Planície Costeira. No município de Pirambu, espécies da restinga ocorrem nos topos dos Tabuleiros Costeiros onde se encontram espriamentos arenosos e dunas continentais. A sua constituição florística compreende espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas que tendem a alcançar uma faixa próxima a 15 metros de altura.

Em Pirambu, as espécies de restinga em zona de praia são comumente do tipo herbácea e arbustiva, já nos ambientes de dunas as ocorrências são das espécies arbustiva e arbórea, e nos Tabuleiros Costeiros a vegetação da restinga encontra-se intercalada com a Floresta Estacional Semidecidual.

O desmatamento da restinga atualmente vem se intensificando devido a expansão urbana, que utiliza a área que a vegetação ocupa, para loteamentos ou expansão do plantio de coco-da-baía (*Cocos nucifera*) e da cana-de-açúcar, entre outras atividades de retorno econômico.

Os Campos de Várzea ocorrem onde domina a influência fluvial, em particular nas planícies de inundação. No município de Pirambu seu ambiente de ocorrência é em áreas periféricas a curso d'água e locais úmidos onde ocorre o acúmulo das águas de chuva, rio e riachos.

Os mangues são vegetação característica de zonas de transição entre ambiente marinho e terrestre, as espécies que se desenvolvem são as que estão adaptadas aos solos do tipo halófitos compostos, por sedimentos finos, ricos em matéria orgânica e sujeitos a inundação diária pelas marés oceânicas.

No município de Pirambu os mangues têm domínio nas margens do rio Japarutuba, próximo a foz (Figura 21). É importante ressaltar que, na área, a ação antrópica sobre essa vegetação deve-se a ocupação por moradias, que não só degrada como prejudica o padrão hidrodinâmico do ecossistema manguezal.

Figura 21 - Área de mangue localizado na margem do rio Japarutuba. Pirambu – SE(Ponto 25).



### 6.1.2 Recursos Hídricos em Pirambu

Estudos afirmam que o planeta Terra é constituído por 25% de terras emersas e 75% de água, sendo assim conhecido como “planeta azul”. Porém esta porcentagem total de água não corresponde a água doce própria para consumo. Dentre os 75% de água do planeta – 97% são salgadas; 2,2% encontram-se nas geleiras; 0,6% corresponde às águas subterrâneas, referidas também como recursos hídricos subterrâneos; 0,1% está na atmosfera e apenas 0,1% está disponível nos rios e lagos. (EMBRAPA, 2022)

O recurso hídrico é definido como toda água proveniente da superfície ou subsuperfície da Terra, e que pode ser empregada em um determinado uso ou atividade, podendo também passar a ser um bem econômico. Todo recurso hídrico é água, mas nem toda água é recurso hídrico. (EMBRAPA, 2022)

Os recursos hídricos são classificados em dois tipos, águas superficiais e águas subterrâneas. A primeira tipologia está disposta em bacias hidrográficas tanto para uso quanto para consumo humano. As águas subterrâneas, denominadas aquíferos, encontram-se em subsuperfície, e são os maiores e principais reservatórios de água doce do planeta.

#### a) Recursos Hídricos Superficiais

Os recursos hídricos superficiais estão relacionados aos rios, lagos, lagoas e riachos que possuem como fonte de abastecimento as águas pluviais.

Em hidrologia, existe uma equação bastante conhecida que é denominada de balanço hídrico, pois através dela é possível quantificar a chuva de determinada região, que representa a disponibilidade hídrica, subtraída das águas que sofreram infiltração nos solos e/ou evapotranspiração. As reservas hídricas disponíveis em superfície estão associadas com o “run off”, ou seja, com o processo de escoamento das águas pluviais.

No quesito de águas superficiais no município de Pirambu, é de suma importância ressaltar a ocorrência das lagoas Catu, Redonda, Lagoa Grande e do Sangradouro, além dos rios Japarutuba, Aningas, Sapucaia, Betume ou Poxim, Papagaio e Brito (Figura 22).

Estes recursos hídricos superficiais são utilizados pela população para o desenvolvimento socioeconômico: aquicultura – piscicultura e carcinicultura, dessedentação de animais, lazer e uso doméstico.

Figura 22 - Recurso hídrico superficial – canal do rio Sapucaia. Pirambu – SE (Ponto 1).



## b) Recursos Hídricos Subterrâneos

O estudo das águas subterrâneas envolve o conhecimento da hidrogeologia, que nos permite melhor explorar estes recursos e prover uma gestão apropriada, evitando a degradação ou possibilitando a sua restauração, decorrente de problemas ocasionados por poluição ou utilização imprópria das águas.

Segundo Fontes (2007) as águas subterrâneas representam cerca de um terço do volume total das águas dos continentes, são a principal reserva de água doce no planeta, ocorrendo em quase todos os ambientes geológicos e nos mais diversos tipos de rochas, preenchendo espaços entre grãos e nos fraturamentos.

O fator permeabilidade é determinado pelo meio, seja por um solo com alta porosidade ou rocha fraturada. Ele é medido por cm/s, que expressa a capacidade da água em migrar no ambiente subterrâneo. Isso ocorre devido as bacias hidrográficas possuírem característica favoráveis, como solo ou rochas subjacentes, que possibilitam a interação entre rios e lençóis freáticos ou até mesmo aquíferos adjacentes.

Em Pirambu os recursos hídricos subterrâneos apresentam elevado potencial em razão das características hidrogeológicas das Formações Superficiais Cenozoicas, que correspondem a aquíferos granulares (Figura 23).

Figura 23 - Poço artesiano utilizado para captar recursos hídricos subterrâneos. Assentamento Padre Geraldo ou Sambaíba – Pirambu – SE (Ponto 8).



## 6.2 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Após o pré-processamento das imagens foram realizadas diversas composições de cor verdadeira e falsa cor para realçar os alvos de interesse com

base na referência 2024 EOS Data Analytics, Inc e do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) Figura 24.

Figura 24 – Composições típicas para o sensor OLI do Satellite LANDSAT8.

USO / ÊNFASE	BANDAS L-8
Cor Natural	4 3 2
Falsa Cor (Urbano)	7 6 4
Infravermelho (vegetação)	5 4 3
Agricultura	6 5 2
Penetração atmosférica	7 6 5
Saúde Vegetal	5 6 2
Terra/Água	5 6 4
Natural com Atmosfera removida	7 5 3
Infravermelho Curto	7 5 4
Análise de Vegetação	6 5 4

Fonte: Modificado de <https://www.usgs.gov/media/images/common-landsat-band-combinations>.

Acesso em 06/04/2024

Foram confeccionadas as seguintes composições: 432 (figura 25a - cor natural), 543 (figura 25b - vegetação) para ressaltar a vegetação nativa e densa das demais e 562 (figura 25c – saúde vegetal) auxiliando no destaque das áreas de interduna e solos úmidos. Composição 652 (figura 25d - agricultura) para melhor visualização das áreas cultivadas, 564 (figura 25e terra/água) para facilitar a identificação da interface entre os corpos d'água e solo.

A partir das composições anteriormente citadas foram criadas 7 classes de uso e ocupação do solo para o município descritas abaixo:

1 – Água. Esta classe contém todos os tipos de corpos d'água, a parte oceânica presente na imagem, os rios e pequenos corpos d'água dispersos na área.

2 – Areia. Comporta a parte das dunas presentes na linha de costa bem como sedimentos arenosos presentes no interior do município na forma de manchas esparsas.

3 – Interduna – Representa as áreas entre as dunas compostas por sedimentos arenosos úmidos e vegetação rala com refletância espectral diferente das areias.

4 – Vegetação – Todo o tipo de vegetação nativa e densa foi incluída nesta classe.

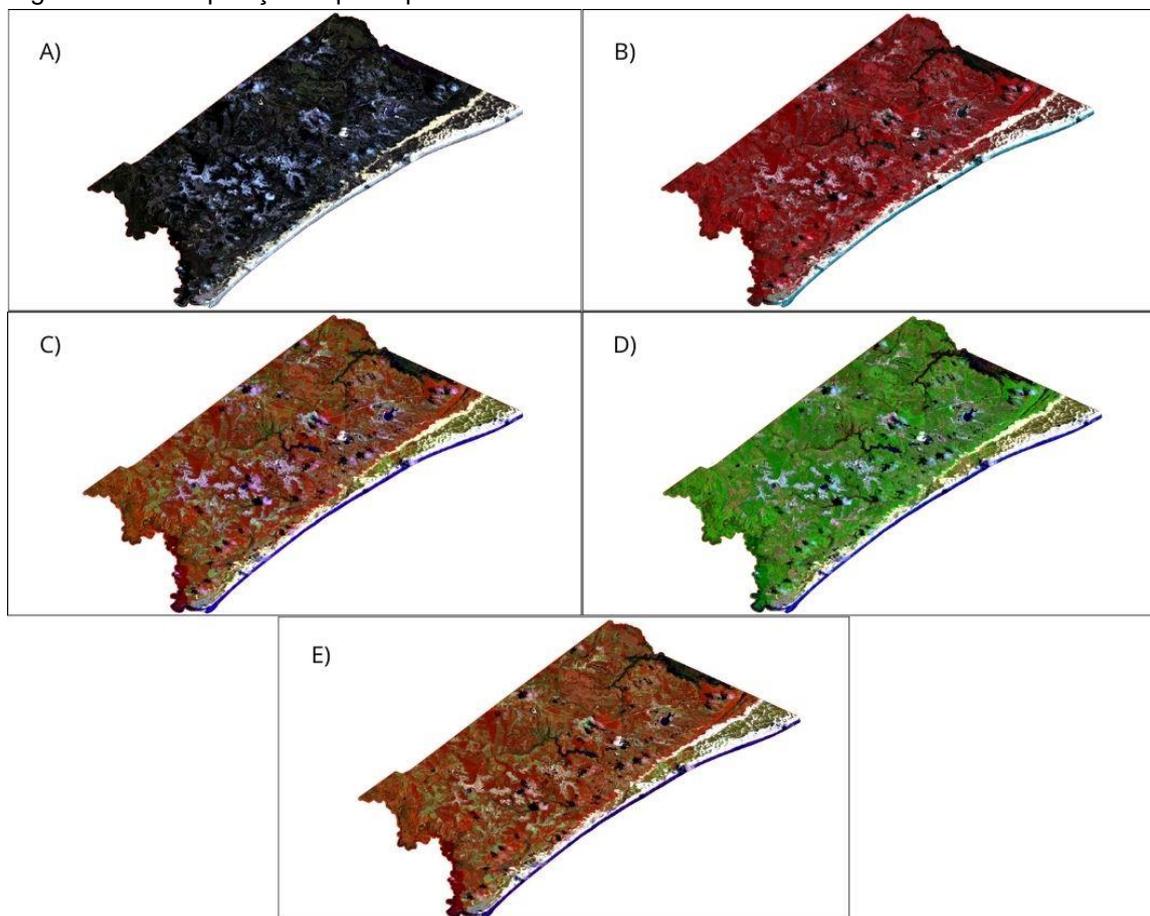
5 – Solo úmido – Parte da vegetação não densa, próximo aos corpos d'água típicos de várzeas, restingas e mangues.

6 – Urbanização – Principalmente solo exposto devido a edificações, estradas e desmatamentos.

7 – Agropecuária – Área tipicamente sem vegetação nativa, com diferentes culturas ou solo exposto aguardando o uso.

Observou-se antes mesmo de fazer a classificação com os algoritmos que muitas classes apresentam similaridades nas diferentes composições, por exemplo: a classe urbanização e areia, a classe agropecuária (para algumas culturas) e vegetação, entre outras.

Figura 25 – Composições típicas para o sensor OLI do Satellite LANDSAT8.



Após a definição das classes foram coletadas 73 amostras de treinamento de diferentes tamanhos e em localidades variadas nas imagens, para favorecer a classificação pelo algoritmo (figura 26).

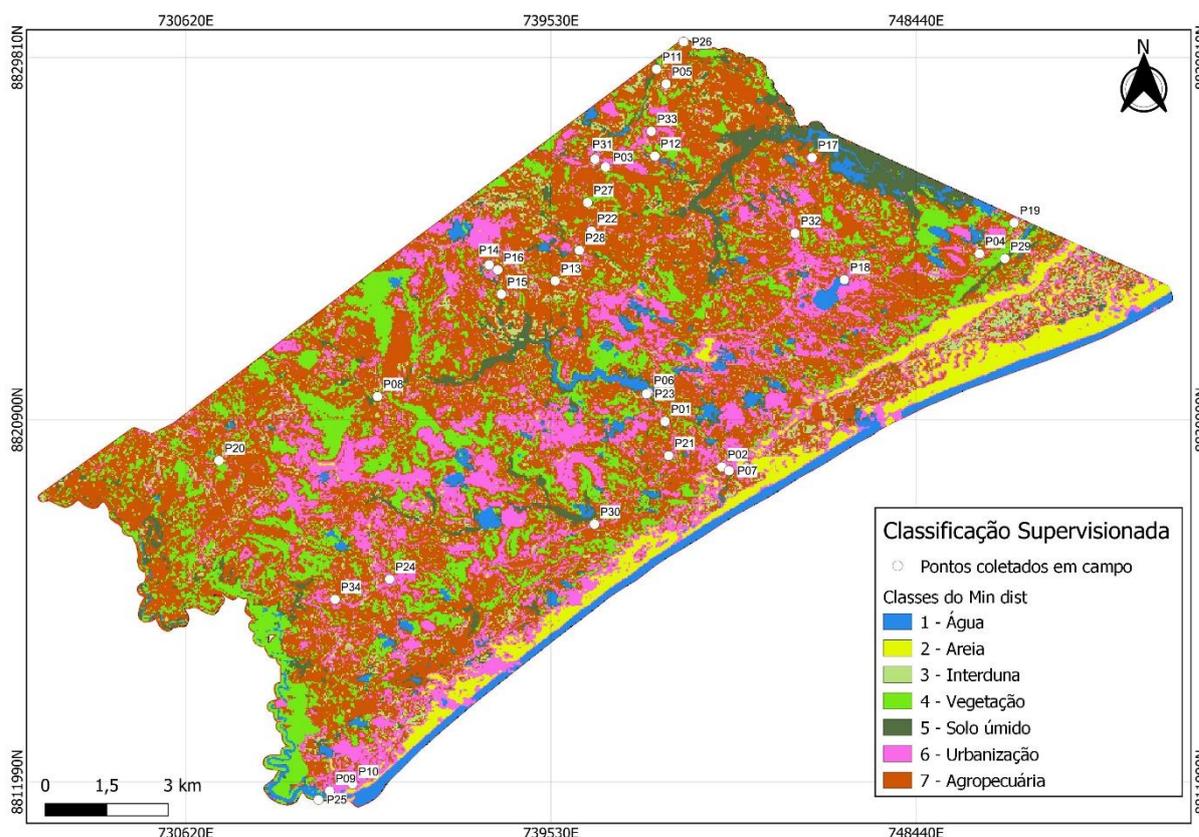
Figura 26 – Localização das amostras de treinamento.



### 6.2.1 Classificação pelo algoritmo MinDist.

O mapa temático de uso e ocupação do solo com base nas classes selecionadas a partir do classificador MinDist do município de Pirambu resultou na figura 27 abaixo.

Figura 27 - Mapa de uso e ocupação de solo a partir do algoritmo MinDist.



A análise preliminar da imagem evidenciou que grande parte da imagem foi classificada como Agropecuária compondo 48,52% da área do município. O detalhamento da área classificada para cada alvo e o percentual considerando a área em km<sup>2</sup> de Pirambu está na tabela 2.

Tabela 2 – Percentual, de cada classe classificada (MinDist), de área em km<sup>2</sup>.

Classe	Área em km <sup>2</sup>	Percentual
Água	10,05	4,63%
Areia	10,50	4,84%
Interduna	11,26	5,19%
Vegetação	32,68	15,08%
Solo úmido	12,21	5,63%
Urbanização	34,89	16,10%
Agropecuária	105,17	48,52%
Total	216,74	100%

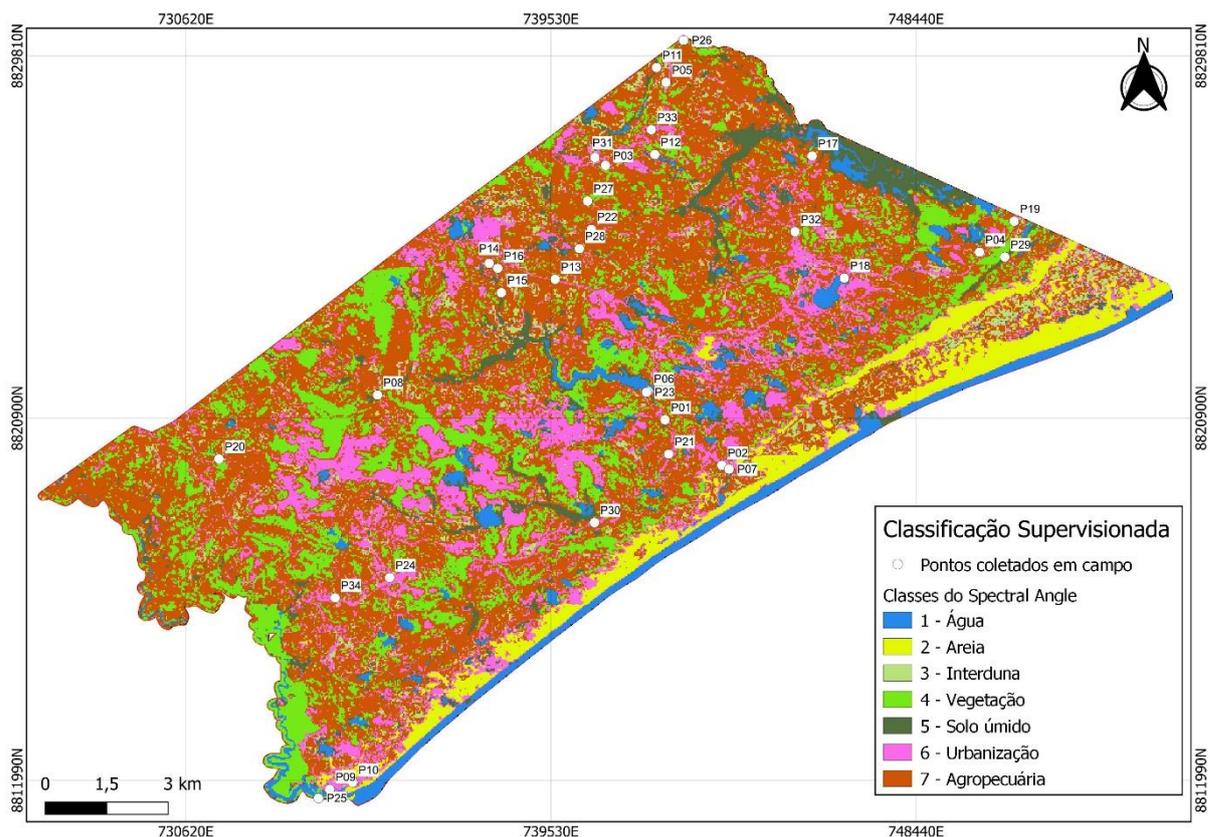
Como será observado adiante, na etapa de validação, a classe de agropecuária teve muita comissão de outros alvos, como por exemplo, vegetação e

até mesmo em áreas de areia e interduna. Isto se deve à similaridade de reflectância em alguns pontos o que dificulta a classificação com precisão. O mesmo pode ser observado com relação à classe urbanização que possui uma correlação expressiva com a classe de areia, e nota-se na faixa de areia próxima ao mar muitos pixels classificados erroneamente como urbanização.

### 6.2.2 Classificação pelo algoritmo Spectral Angle.

O mapa temático de uso e ocupação do solo com base nas classes selecionadas a partir do classificador *Spectral Angle* do município de Pirambu resultou na figura 28 abaixo.

Figura 28. Mapa de uso e ocupação de solo a partir do algoritmo Spectral Angle.



O segundo classificador utilizado (*Spectral Angle*) apresentou resultados muito semelhantes ao anterior, com a classe Agropecuária compondo quase 50% da área do município. O detalhamento da área classificada para cada alvo e o percentual considerando a área em km<sup>2</sup> de Pirambu está na tabela 3.

Tabela 3 – Percentual, de cada classe classificada (Spectral Angle), de área em km<sup>2</sup>.

Classe	Área em km <sup>2</sup>	Percentual
Água	10,44	4,82%
Areia	12,18	5,62%
Interduna	9,09	4,19%
Vegetação	34,90	16,10%
Solo úmido	12,19	5,62%
Urbanização	29,68	13,69%
Agropecuária	108,26	49,95%
Total	216,74	100%

O destaque é uma menor classificação da área de urbanização e maior de vegetação

### 6.2.3 Avaliação e Validação da classificação

A validação da classificação foi realizada de 2 maneiras. A primeira foi feita a comparação dos classificadores a partir dos dados coletados em campo. O procedimento foi comparar o pixel classificado por cada algoritmo com a descrição do ponto coletado em campo através das coordenadas do GPS (tabela 1) e plotados no mapa. O resultado de cada algoritmo de classificação pode ser observado na Tabela 4 abaixo.

Ponto	Descrição	MinDist	Spectral Angle
P01	Água	Urbanização	Urbanização
P02	Água/Dunas/urbanização	Urbanização	Agropecuária
P03	Vegetação	Agropecuária	Agropecuária
P04	Urbanização	Agropecuária	Urbanização
P05	Solo exposto	Agropecuária	Agropecuária
P06	Urbanização / Duna	Urbanização	Urbanização
P07	Urbanização	Agropecuária	Agropecuária
P08	Urbanização	Agropecuária	Agropecuária
P09	Urbanização / Solo úmido	Urbanização	Solo úmido
P10	Urbanização	Urbanização	Urbanização
P11	Água / Solo úmido	Solo úmido	Solo úmido
P12	Água / Urbanização	Interduna	Interduna
P13	Agropecuária	Agropecuária	Agropecuária
P14	Areia / Urbanização	Urbanização	Agropecuária
P15	Água / Urbanização	Agropecuária	Agropecuária
P16	Água / Urbanização	Solo úmido	Agropecuária
P17	Urbanização	Urbanização	Urbanização
P18	Urbanização / Água	Urbanização	Urbanização
P19	Vegetação/Dunas / Urbanização	Urbanização	Urbanização
P20	Agropecuária	Interduna	Agropecuária
P21	Agropecuária	Agropecuária	Agropecuária
P22	Vegetação	Agropecuária	Agropecuária
P23	Urbanização / água	Urbanização	Urbanização
P24	Duna/vegetação	Urbanização	Urbanização
P25	Mangue / Urbanização	Solo úmido	Solo úmido

P26	Água / Vegetação / Solo úmido	Vegetação	Vegetação
P27	Solo exposto/agropecuária	Agropecuária	Agropecuária
P28	Água / Solo úmido	Solo úmido	Urbanização
P29	Água / Solo úmido / urbanização	Agropecuária	Agropecuária
P30	Água / Urbanização	Urbanização	Urbanização
P31	Agropecuária / Urbanização	Urbanização	Agropecuária
P32	Vegetação	Urbanização	Urbanização
P33	Urbanização	Agropecuária	Agropecuária
P34	Urbanização	Urbanização	Urbanização
<b>Total de Acertos</b>		<b>20 - 58,32%</b>	<b>19 - 55,88%</b>

É importante destacar que alguns pontos da tabela contêm mais de uma classe devido ao fato de o ponto estar situado em um pixel de 30m que contêm mais de uma classe, e, portanto, característico de um pixel de mistura, ou seja, vai possuir uma média uma predominância a uma determinada classe. Também se pondera, que, frequentemente o algoritmo classificou o pixel de forma errada, porém os vizinhos de forma correta, diminuindo assim a precisão. Pela análise de campo, o classificador MinDist obteve melhor acurácia na classificação dos alvos que o *Spectral Angle*.

Considerando que, 34 pontos podem ser insuficientes para a classificação de uma área do tamanho do município de Pirambu, foi realizada outra técnica de validação, baseada na geração aleatória de aproximadamente 400 pontos. Para a verificação destes pontos foi utilizada uma imagem de satélite de alta resolução presente no complemento *QuickMapService* que permite visualizar a imagem do Google Satélite como uma camada.

Para cada algoritmo foram geradas amostras aleatórias (figuras 29 e 30) que serão confrontadas com os respectivos mapas temáticos.

Figura 29 - Amostras aleatórias geradas para validação do algoritmo Minist.

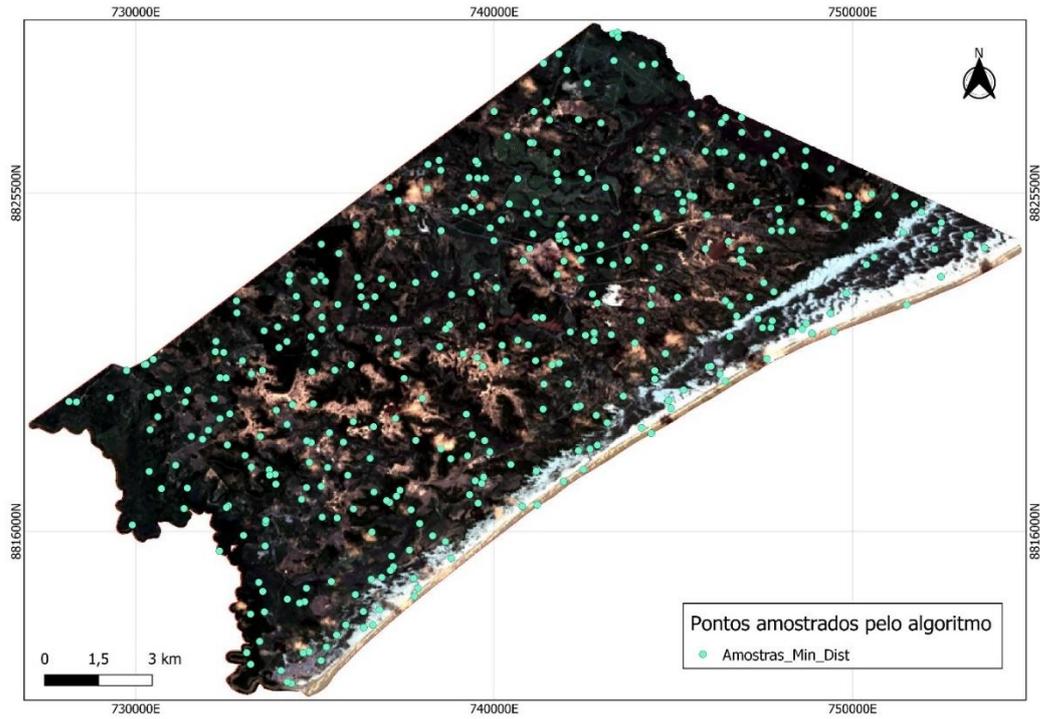
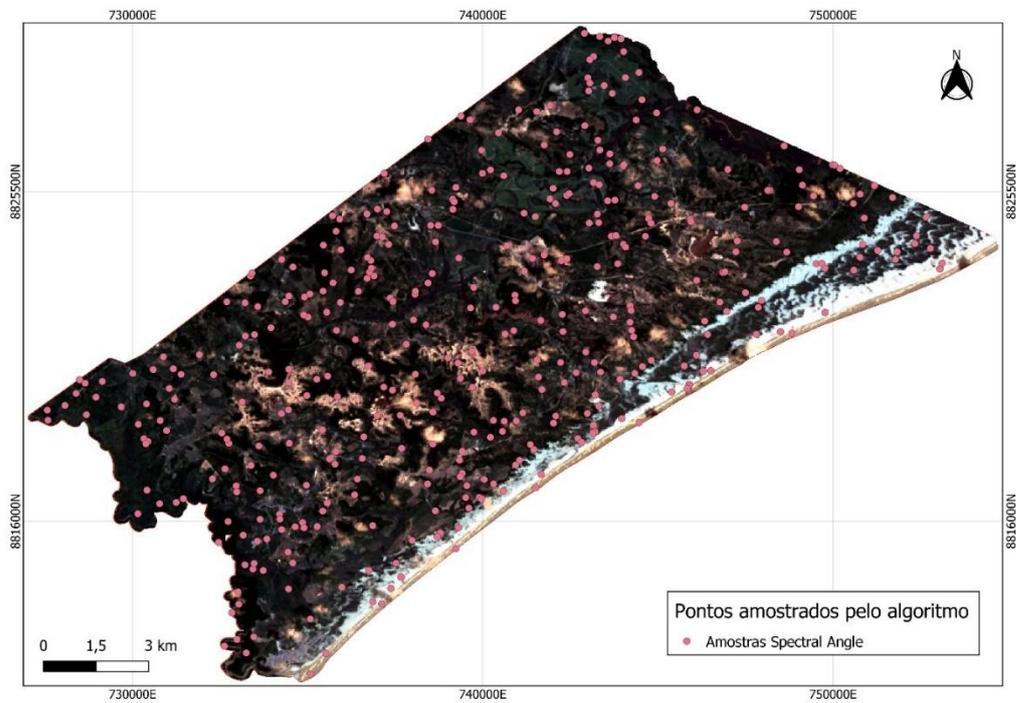


Figura 30 - Amostras aleatórias geradas para validação do algoritmo Spectral Angle.



Após a classificação de cada um dos 396 pontos foi possível gerar a matriz de confusão para análise dos resultados e cálculo da acurácia geral e do índice Kappa. A matriz de confusão gerada pelo algoritmo MinDist está na tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Matriz de confusão gerada pelo algoritmo MinDist, onde as colunas representam a verdade terrestre e as linhas o classificado. As classes são 1 – Água 2 – Areia 3 – Interduna 4 – Vegetação 5 – Solo úmido 6 – Urbanização 7 – Agropecuária.

	1	2	3	4	5	6	7	Total	Exatidão do Usuário
1	11	0	0	4	1	0	2	18	0.611
2	0	19	0	0	0	0	0	19	1.0
3	0	0	6	2	1	2	10	21	0.285
4	0	0	0	58	0	0	2	60	0.966
5	0	0	1	4	15	1	1	22	0.681
6	2	18	3	7	1	24	9	64	0.375
7	1	2	4	83	5	12	85	192	0.442
Total	14	39	14	158	23	39	109	396	
Exatidão do produtor	0.789	0.490	0.423	0.365	0.655	0.614	0.781		
Exatidão Global	0.55092	Desvio Padrão		0.02243					

A análise da matriz de confusão mostra uma exatidão global de 55% do mapa temático. Destaca-se que a exatidão do produtor foi alta para a classe água e agropecuária, enquanto a exatidão do usuário foi alta para areia e vegetação. O cálculo do índice Kappa resultou em 0,42 que representa uma qualidade moderada do mapa segundo Landis e Koch (1977).

Tabela 6. Matriz de confusão gerada pelo algoritmo Spectral Angle, onde as colunas representam a verdade terrestre e as linhas o classificado. As classes são 1 – Água 2 – Areia 3 – Interduna 4 – Vegetação 5 – Solo úmido 6 – Urbanização 7 – Agropecuária.

	1	2	3	4	5	6	7	Total	Exatidão do Usuário
1	12	0	0	5	0	0	2	19	0.63158
2	0	22	0	0	0	0	0	22	1.0
3	0	0	6	0	1	2	8	17	0.35294
4	0	0	0	57	0	0	7	64	0.89062
5	0	1	0	2	14	2	3	22	0.63636
6	0	8	3	7	0	24	12	54	0.44444
7	1	5	4	62	4	14	108	198	0.54545
Total	13	36	13	133	19	42	140	396	
Exatidão do produtor	0.923	0.613	0.455	0.427	0.740	0.573	0.771		
Exatidão Global	0.61394	Desvio Padrão		0.02305					

A análise da matriz de confusão mostra uma exatidão global de 61% do mapa temático. Destaca-se que a exatidão do produtor foi alta para a classe água, solo úmido e agropecuária, enquanto a exatidão do usuário foi alta para areia e vegetação. O cálculo do índice Kappa resultou em 0,48 que representa uma qualidade moderada do mapa segundo Landis e Koch (1977).

## 7 DISCUSSÕES

A elaboração de mapas temáticos de uso e ocupação do solo representam uma importante ferramenta na análise ambiental. Através deles podemos calcular áreas com diferentes características naturais ou antrópicas avaliando a evolução temporal destas características e auxiliar na propositura de soluções.

O município de Pirambu possui uma variedade de elementos naturais e antrópicos interconectados e em constante evolução o que torna difícil a escolha de classes e suas subdivisões para a elaboração de um mapa temático.

O resultado dos mapas confeccionados a partir dos algoritmos de Mínima Distância e *Spectral Angle* se mostraram razoáveis para agrupar as 7 classes selecionadas. Destaca-se que a validação de campo obteve um resultado muito semelhante a validação através de máquina o que corrobora a exatidão encontrada.

Apesar de uma possível superestimação da classe agricultura e urbanização em detrimento de classes naturais com vegetação e solo úmido, nota-se uma quantidade grande de área modificada devido às atividades antrópicas.

Os resultados muito parecidos dos algoritmos permitam a suposição que uma melhor exatidão só poderia ser encontrada modificando outros parâmetros como: uma qualidade melhor de imagem e/ou maiores pontos de amostragem e/ou melhor definição de classes. É importante ressaltar também que a validação por máquina utiliza uma imagem de alta resolução que não necessariamente corresponde ao mesmo estado da imagem classificada, tendo em vista que foram coletadas em espaços temporais diferentes.

## 8 CONCLUSÕES

Os Sistemas de Informação Geográfica proporcionam um amplo ferramental para a aplicação do Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. A classificação de imagens permite a obtenção e extração de informações úteis para análises geológicas e ambientais principalmente quando combinadas com levantamentos direto de campo.

O levantamento de campo aliado ao Geoprocessamento no município de Pirambu, litoral de Sergipe, permitem listar as seguintes conclusões:

- A paisagem natural do município é composta por praias, dunas, manguezais, restingas e vegetação nativa propicia ao ambiente, tais como Floresta Estacional Semidecidual, Restinga e Cerrado, entre outras.

- As atividades antrópicas do município são compostas principalmente de agropecuária (cocoicultura, lavoura canavieira e cultivos de subsistência), aquicultura (psicultura e carcinicultura), expansão urbana e uso dos corpos d'água (rios e lagos) para lazer.

- A elaboração de composições e da classificação supervisionada a partir de imagem do satélite LANDSAT08, sensor OLI permitiu agrupar o município de Pirambu em 7 classes de uso e ocupação do solo: água, areia, interduna, vegetação, solo úmido, urbanização e agropecuária

- A validação dos mapas a partir da comparação do com as amostras de campo resultou numa exatidão de 58,32% para o algoritmo MinDist e 55,88% para o algoritmo *Spectral Angle*.

- A validação dos mapas a partir de análise de imagem de alta resolução do *Google Satellite*, resultou numa exatidão de 55% para o algoritmo MinDist e 61% para o algoritmo *Spectral Angle*.

- O percentual das áreas de cada classe a partir dos classificadores ficou relativamente semelhante, onde o cálculo da média ficou em água: 4,72%; areia: 5,23%; interduna: 4,69%; vegetação: 15,59%; solo úmido 5,63%; urbanização 14,90% e agropecuária: 49,23%.

- Apesar de uma possível superestimação das áreas de agropecuária e urbanização, os mapas podem ser um indicativo de alerta de como a paisagem do município pode estar sendo alterada.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, N. M. S. **Análise geoambiental e socioeconômica dos municípios costeiros do litoral norte do estado de Sergipe – diagnóstico como subsídio ao ordenamento e gestão do território.** 2010. Tese de doutorado (Doutorado em Geografia) – NPGeo, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.
- BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas.** Petrópolis: Vozes, 1968.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Revista RA'E GA**, Curitiba: Editora UFPR, 2004, n. 8. p. 141-152.
- BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. et al. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 13, nº 2, p. 93-97, jun. 1983.
- BOMFIM, L. F. C; COSTA, I. V. G. da; BENVENUTI, S. M. P. **Projeto Cadastro da Infraestrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe Diagnóstico do Município de Pirambu.** Aracaju: CPRM, 2002.
- BREIMAN, Leo. **Random forests.** Machine learning, v. 45, p. 5-32, 2001.
- CAMARGO, L. H. R. de. **A ruptura do meio ambiente: conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: a Geografia da complexidade.** São Paulo: Bertrand Brasil, 2005.
- CROSTÁ, Alvaro Penteado. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** UNICAMP/Instituto de Geociências, 1992.
- FEIJÓ, F. J. **Introdução.** **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, 1994.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário de 2017.** Rio de Janeiro, 2017.
- KRUSE, Fred A. et al. **The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data.** Remote sensing of environment, v. 44, n. 2-3, p. 145-163, 1993.
- LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. **An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers.** Biometrics, p. 363-374, 1977.
- LILLESAND, Thomas M.; KIEFER, Ralph W. **Remote sensing and image interpretation.** 1994.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PORTO, Monica FA; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008.

RUSSELL STUART, J.; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence: a modern approach**. Prentice Hall, 2009.

SILVA, Adriano Ezequiel. **Análise da vulnerabilidade e risco como subsídio ao planejamento urbano: município de Pirambu (SE)**, 2016.

SANTOS, R. A. dos. (Org.). et al. **Geologia e recursos minerais do estado de Sergipe**: texto explicativo do mapa geológico do estado de Sergipe. Brasília: CPRM; Aracaju: CODISE, 107 p. 1998. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

SANTOS, Vera Maria dos Geografia de Sergipe / Vera Maria dos Santos, Hélio Mário de Araújo. – São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, **CESAD**, 2012.

WILLIAMS, Amy Parker; HUNT JR, E. Raymond. **Estimation of leafy spurge cover from hyperspectral imagery using mixture tuned matched filtering**. Remote Sensing of Environment, v. 82, n. 2-3, p. 446-456, 2002.

ZANOTTA, Daniel Capella; FERREIRA, Matheus Pinheiro; ZORTEA, Maciel. **Processamento de imagens de satélite**. Oficina de Textos, 2019.