

PROJETO COSTA NORTE Volume 2

Capítulo 9

Caracterização do Uso e Cobertura do Solo e da Linha de Costa



Autores do Capítulo

Laboratório de Métodos Computacionais em Engenaria Civil - UFRJ

Dr. Adriano de Oliveira Vasconcelos

Dra. Patricia Mamede da Silva

Bela. Camila Lauria Zenke da Cruz

Bela. Jéssica Brito Gonçalves

Prof. Dr. Luiz Landau

Coordenação Científica do Projeto Costa Norte

Profa. Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz – ESPAÇO/UFRJ

Prof. Dr. Filipe de Oliveira Chaves -NEGEMC/UERJ

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini – PROOCEANO

Prof. Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad – LAMCE/UFRJ

Prof. Dr. Marcelo Rollnic – LAPMAR/UFPA

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares -NEGEMC/UERJ

Coordenação Geral do Projeto

Ma. Maria Eduarda Pessoa- ENAUTA

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini – PROOCEANO

Bela. Anne Goni Guedes - ENAUTA

Bela. Dyellen Soares Queiroz – ENAUTA

Coordenação de Comunicação do Projeto

Frederico Rinaldi - PROOCEANO

Rebeca Kiperman – ENAUTA

Citação Sugerida

VASCONCELOS, A.O., SILVA, P.M., CRUZ, C.L.Z., GONÇALVES, J.B., LANDAU, L. "Caracterização do Uso e Cobertura do Solo e da Linha de Costa", Capítulo 9. Em: Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira. v.2. Rio de Janeiro (BR), 2020.



Sumário

9.	CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO E DA LINHA DE COSTA	
9.1.	Mapeamento do uso e cobertura do solo	
9.1.1.	Objetivos	
9.1.2.	Mapeamento em Escala Regional	
9.1.3.	Levantamento do Uso e Cobertura do Solo na Margem Equatorial Brasileira	915
9.2.	Levantamento da linha de costa	
9.2.1.	Objetivos	
9.2.2.	Metodologia	
9.2.3.	Resultados	
9.2.4.	Considerações Finais	
9.3.	Referências Bibliográficas	
9.4.	Anexos	



Indice de Figuras

Figura 9-1: Recorte espacial para o mapeamento de uso e cobertura em escala regional	Э19
Figura 9-2: Distribuição dos Municípios abrangidos parcialmente e totalmente pelo mapeamento de U	Jso
e Cobertura da Terra da área de estudo	Э2О
Figura 9-3: Fluxograma da metodologia adotada	Э22
Figura 9-4: Mosaico das imagens Landsat-8 adquiridas) 28
Figura 9-5: Mosaico das imagens Sentinel-2A adquiridas.	ЭЗ1
Figura 9-6: Resolução espacial e espectral Sentinel-2. Fonte: Adaptado de ESA (2012)	ЭЗ2
Figura 9-7: Exemplo de Classificação de Imagem com alta cobertura de Nuvens) 33
Figura 9-8: Mosaico Landsat-8 gerado através da seleção e composição dos pixels com menor percent	ual
de nuvens de Imagens Landsat-8) 33
Figura 9-9: Mosaico dos <i>Composites</i> Landsat-8 utilizados	Э35
Figura 9-10: Mosaico das Imagens Sentinel-1A adquiridas.	938
Figura 9-11: Mosaico das Imagens ALOS PALSAR adquiridas.	Э42
Figura 9-12: Exemplo de integração entre os núcleos LABSAR e ESPAÇO em Soure	Э53
Figura 9-13: Exemplo de integração entre os núcleos LABSAR e ESPAÇO em São Caetano de Odivelas. 9	954
Figura 9-14: Exemplo de integração entre os núcleos LABSAR e ESPAÇO em Turiaçu	Э55
Figura 9-15: Exemplo de integração entre os núcleos LABSAR e ESPAÇO em Sucuriju	956
Figura 9-16: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra da Margem Equato	rial
Brasileira identificadas neste estudo	966
Figura 9-17: Proporção no Território das Classes de Uso e Cobertura da Terra na Margem Equatorial	
Brasileira	968
Figura 9-18: Distribuição espacial do Manguezal da Margem Equatorial Brasileira	Э70
Figura 9-19:Distribuição das áreas úmidas e apicuns (a classe foi superdimensionada para facilitar a	
visualização)	Э72
Figura 9-20: Distribuição das classes praias e dunas e banco de areia (as classes foram	
superdimensionadas para facilitar a visualização)	Э74
Figura 9-21:Distribuição espacial da classe floresta	976
Figura 9-22: Distribuição espacial das classes área campestre e vegetação herbácea (as classes foram	
superdimensionadas para facilitar a visualização)	978
Figura 9-23: Distribuição espacial da classe agricultura/pastagem.	980
Figura 9-24: Distribuição espacial das classes áreas urbanizadas e áreas descobertas (as classes foram	
superdimensionadas para facilitar a visualização)	982
Figura 9-25: Distribuição espacial da classe água	984
Figura 9-26: Mapa de Uso e Cobertura da Terra para o Território do Estado do Amapá inserido na área	E
de estudo	986
Figura 9-27: Proporção no Território do Amapá das Classes de Uso e Cobertura da Terra	988



Figura 9-28: Mapa de Uso e Cobertura da Terra para o território do Estado do Pará inserido na área de
estudo
Figura 9-29: Proporção no Território do Pará das Classes de Uso e Cobertura da Terra
Figura 9-30: Mapa Final de Uso e Cobertura da Terra para o território do Estado do Maranhão inserido
na área de estudo
Figura 9-31: Proporção das Classes de Uso e Cobertura no Estado do Maranhão
Figura 9-32: Fluxograma da metodologia adotada no levantamento da linha de costa de bancos de
sedimentos1003
Figura 9-33: Disposição dos frames do Sensor Sentinel-1 sobre a área de estudo
Figura 9-34: Comparação entre as linhas de costa do IBGE e a do Projeto Costa Norte1007
Figura 9-35: Imagem Sentinel-1 em situação de maré alta (A) e o levantamento da linha de costa (B).
Imagem Sentinel-1 em situação de maré baixa (C) e o mapeamento dos bancos de sedimentos (D) 1008
Figura 9-36: Levantamento da Linha de Costa da área de estudo1010
Figura 9-37: Levantamento dos Bancos de Sedimentos1011
Figura 9-38: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para os Frames 9 e 10.
Figura 9-39: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 81013
Figura 9-40: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 7 1014
Figura 9-41: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 61015
Figura 9-42: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 5 1016
Figura 9-43: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 4 1017
Figura 9-44: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 3 1018
Figura 9-45: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 2 1019



Indice de Tabelas

Tabela 9-1: Municípios abrangidos parcialmente e totalmente pelo mapeamento de Uso e Cobertura da
Terra da área de estudo921
Tabela 9-2: Principais características das imagens utilizadas
Tabela 9-3: Características das bandas924
Tabela 9-4: Características da constelação RapidEye925
Tabela 9-5: Características espectrais dos instrumentos imageadores OLI e TIRS
Tabela 9-6: Especificações das imagens Landsat-8 adquiridas929
Tabela 9-7: Especificações das imagens Sentinel-2 adquiridas
Tabela 9-8: Especificações das cenas Sentinel-1A adquiridas
Tabela 9-9: Características do satélite ALOS939
Tabela 9-10: Características do sensor ALOS PALSAR940
Tabela 9-11: Especificações das cenas ALOS PALSAR adquiridas940
Tabela 9-12: Exemplos de satélites com seus respectivos valores numéricos
Tabela 9-13: Notações de cores RGB correspondentes às classes temáticas951
Tabela 9-14: Estrutura de uma matriz de confusão958
Tabela 9-15: Matriz de Confusão para imagens Ópticas960
Tabela 9-16: Matriz de Confusão para imagens de RADAR962
Tabela 9-17: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra identificadas neste
estudo967
Tabela 9-18: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra do território do
Estado do Amapá inserido na área de estudo987
Tabela 9-19: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra do território do
Estado do Pará inserido na área de estudo
Tabela 9-20: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra do território do
Estado do Maranhão inserido na área de estudo997
Tabela 9-21: Datas das cenas Sentinel-1A adquiridas
Tabela 9-22: Resultados obtidos comparados com os dados do IBGE



Lista de Abreviações e Siglas

ANA	Agência Nacional de Águas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
СНМ	Centro de Hidrografia da Marinha
CMMA	Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia
DEM	Modelo Digital de Elevação
DN	Digital Number
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESA	European Space Agency
EVI	Enhanced Vegetation Index
EW	Extra-Wide Swath Mode
GRD	Ground Range Detected
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISA	Índice de Sensibilidade Ambiental
IW	Interferometric Wide Swath Mode
JAROS	Japan Resources Observation System Organization
AXAL	Japan Aerospace Exploration Agency
LabSAR	Laboratório de Sensoriamento Remoto por Radar Aplicado à Indústria do Petróleo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MSI	Multi Espectral Instrument
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OLI	Operacional Land Imager



PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PROBIO	Programa de inovação e transferência de tecnologia em controle biológico
SM	Stripmap Mode
SAR	Radar de Abertura Sintética
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIRS	Thermal Infrared Sensor
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator
WV	Wave Mode



9. CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO E DA LINHA DE COSTA

De acordo com Cavalcante (2018), Zona Costeira é o espaço geográfico de interação do ar, mar e terra, incluindo seus recursos renováveis e não renováveis. Diferentes e importantes ecossistemas compõem a geografia deste território, manguezais, de campos de dunas e restingas, de bancos de corais verdadeiros ou de arrecifes de arenito, de marismas e de áreas úmidas, caracterizando uma rica biodiversidade, abundância de recursos naturais vivos e não vivos, além de paisagens que proporcionam um grande potencial turístico. Neste sentido, é imprescindível o mapeamento e monitoramento dos componentes que integram a paisagem da Zona Costeira do Projeto Costa Norte.

Os limites da Zona Costeira para o Projeto Costa Norte foram definidos a partir da linha de manguezais que faz a interface terra-mar em quase toda extensão litorânea da área de interesse. O limite interior da Zona Costeira foi delimitado sobre uma distância de 40km em média. Uma vez definida a área de estudo, este capítulo se dedica a expor a importância, os objetivos e os resultados da caracterização da Zona Costeira no que tange o uso e cobertura do solo e ao mapeamento da linha de costa e seus bancos de sedimentos.

9.1. Mapeamento do uso e cobertura do solo

O conhecimento das interações entre os tipos de cobertura e uso da terra e seus padrões espaçotemporais é fundamental para orientar a utilização racional do espaço. Este levantamento favorece o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço, constituindo um importante subsídio para a gestão territorial, planejamento e de orientação à tomada de decisão (IBGE, 2013).

Segundo o Sistema de Classificação de Cobertura do Terra da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, a cobertura da terra pode ser definida como a cobertura biofísica observada da superfície da Terra, enquanto o uso da terra é caracterizado pelos arranjos, atividades e insumos que as pessoas realizam em um determinado tipo de cobertura do solo para produzi-lo, alterá-lo ou mantêlo. Sua definição estabelece, portanto, um vínculo direto entre a cobertura da terra e as ações das pessoas em seu ambiente (DI GREGORIO & JANSEN, 2000).

Estes conceitos guardam íntima relação entre si e costumam ser aplicados alternativamente. Geralmente, as atividades humanas estão diretamente relacionadas com o tipo de revestimento do solo, seja ele florestal, agrícola, residencial ou industrial (IBGE, 2013). Portanto, o conhecimento da distribuição espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra é essencial para a compreensão e predição de fenômenos e dinâmicas na superfície terrestre.

No que tange ao seu levantamento, este abrange análises e mapeamentos que subsidiam o monitoramento e a gestão eficaz dos recursos naturais. Ao retratar formas e dinâmicas de ocupação da



terra, estes estudos se materializam em um importante instrumento para a construção de indicadores socioambientais e para a avaliação da capacidade, sensibilidade ou vulnerabilidade de determinado ecossistema. O conhecimento da espacialização de elementos naturais e antrópicos e dos diferentes tipos de manejos e dinâmicas contribuem para a identificação de alternativas promotoras da sustentabilidade e do desenvolvimento socioeconômico.

Seabra e Cruz (2013) afirmam que tal mapeamento fornece as informações necessárias para o reconhecimento da estrutura da paisagem, da organização espacial dos elementos que a compõem e da análise das pressões socioeconômicas. Araújo Filho et. al. (2007) explicam que a obtenção de informações sobre o espaço geográfico é uma condição necessária para as atividades de gestão de território e tomada de decisões e que os mapas de uso da terra constituem-se em mecanismos bastante adequados para o planejamento regional ou local do terreno.

De acordo com Leite & Rosa (2012), uso, ocupação e cobertura da terra sintetizadas através de mapas representam a distribuição espacial da tipologia da ação antrópica, que pode ser identificada pelos seus padrões homogêneos característicos na superfície terrestre através de análise em imagens remotamente sensoriadas. Neste sentido, torna-se importante os estudos e pesquisas que se dediquem em promover avanços metodológicos nestes mapeamentos, principalmente em recortes espaciais que apresentam grande dinamismo socioambiental, tais como as áreas que recebem grandes obras de infraestrutura (SEABRA & CRUZ, 2013) ou sensíveis às atividades de produção e exploração.

Os dados de imagens orbitais são importantes fontes para estes mapeamentos. É possível a utilização e análise a partir de multisensores e multidatas, onde sua definição está relacionada aos objetivos do trabalho, escala de mapeamento, orçamento do projeto e capacidade computacional disponível. Para a análise e interpretação bem-sucedida de imagens oriundas de sensoriamento remoto, três elementos são fundamentais a se considerar: o objeto do estudo, a radiação eletromagnética e a escolha do sensor. O tipo e a quantidade de informação sobre a cobertura e o uso da terra, dependerão das resoluções espacial, radiométrica, espectral e temporal. (IBGE, 2013).

Araújo Filho et. al (2007) apontam que as informações supracitadas estão diretamente relacionadas aos tipos de cobertura natural ou artificial, que é de fato o que as imagens de sensoriamento remoto capturam. Imagens não registram atividades diretamente. Cabe ao intérprete buscar as associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas para derivar informações acerca das atividades de uso, a partir do que é basicamente informação de cobertura da terra.

Diante do desafio de mapear uma grande e complexa área, submetida à presença de intensa cobertura de nuvens, a estratégia de adoção de análise com múltiplas datas e sensores, associada à geração de mosaicos de imagens através de *cloud computing*, foi fundamental para o desenvolvimento do Mapa de Uso e Cobertura da Terra da área costeira das Bacias Pará Maranhão e Foz do Amazonas, em Escala de 1:100.000. Foram usadas como insumos, imagens de média resolução espacial dos Satélites ópticos Landsat-8, Sentinel-2, de Radar de Abertura Sintética (SAR) Sentinel-1, ALOS e Mosaicos (*Composites*)



Landsat-8 associados a Sistemas de Informações Geográficas (SIG), diferentes técnicas de geoprocessamento e de classificação.

Neste contexto, o referido mapeamento em Escala de 1:100.000 da Margem Equatorial Brasileira, aliado a Sistemas de Informações Geográficas, pode contribuir para a identificação e caracterização da vulnerabilidade destes ecossistemas a derramamento de óleo, através da integração das informações de uso e cobertura com modelagem hidrodinâmica de diferentes resoluções espaciais. Este também é um instrumento e fonte primária de informação para a elaboração de estratégias de recuperação e manejo de suas áreas, bem como subsídio a execução de projetos, ações e medidas voltadas para o planejamento ambiental e mitigação de riscos em conjunto com os demais produtos do Projeto Costa Norte, considerando as limitações e potencialidades dos recursos naturais e resultando em uma melhor qualidade de vida para a população.

9.1.1. Objetivos

Desenvolver uma metodologia para o mapeamento de diferentes tipos de uso e cobertura da terra da Margem Equatorial Brasileira e ecossistemas associados, para dar suporte na caracterização em escala regional da vulnerabilidade dos Manguezais à derramamento de Óleo através de Imagens de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas.

9.1.1.1. Objetivos específicos

- Identificar os diferentes tipos de cobertura da terra da Margem Equatorial Brasileira e ecossistemas associados como: Mangue, Floresta, Vegetação herbácea, Vegetação campestre, Praia, Dunas, Banco de Areia, Área úmida, Apicum e Área urbana.
- Identificar os diferentes tipos de uso da terra da Margem Equatorial Brasileira e ecossistemas associados como: Agricultura e Pastagem, Mineração, Atividades extrativistas, Queimadas, Desmatamento, Solo exposto, Unidades de Conservação.
- Realizar análise espacial através de múltiplas datas e sensores com diferentes características, integrando os resultados.

9.1.2. Mapeamento em Escala Regional

Informações espaciais sobre a distribuição, composição e condição dos ecossistemas costeiros em escalas espaciais apropriadas são essenciais para apoiar o seu entendimento, manejo e sua biodiversidade. Contudo, categorizar escalas espaciais é um exercício subjetivo uma vez que dependerá dos fenômenos e objetos que se quer investigar. Além disso, é preciso ter em mente que os processos e as relações tanto ecológicos quanto sociais ocorrem de forma contínua e muitas vezes dialética através de variadas escalas espaciais.



Cada vez mais, plataformas orbitais de sensores remotos como satélites de imagens ópticas e de radar, têm subsidiado mapeamentos mais precisos e atualizados da cobertura vegetal e uso da terra. Com o avanço dos sistemas de informações geográficas e da capacidade computacional, com ganho de velocidade dos processamentos, novas metodologias de interpretação e classificação de imagens vem se estabelecendo, principalmente para média resolução espacial e o mapeamento de grandes áreas.

Contudo, quanto maior a área a ser mapeada, mais complexa se faz a estratégia a ser implementada. É importante que se escolha corretamente a escala a ser adotada, a definição do melhor período e a seleção de processos que atenderão os objetivos estabelecidos, o que implicará na adoção das formas de aquisição de dados/informações à distância. Surgem aí as diferentes técnicas de sensoriamento remoto, dentre as quais as mais usuais têm sido as ancoradas em plataformas orbitais, ou satélites (PROBIO, 2007). No caso do mapeamento do Manguezal e do Uso e Cobertura da Terra da Margem Equatorial Brasileira, foi necessário o uso de sensores orbitais ópticos e de radar-SAR associados à diferentes técnicas de classificação de imagem.

Sendo um mapeamento em mesoescala (1:100.000), adequado para áreas de grande abrangência, foi indicada a adoção de cenas dos satélites ópticos Landsat 8, sensor OLI e Sentinel-2, cujas resoluções espaciais são de 30m e 20m respectivamente (o que significa que o menor detalhe capturado compreende uma área de 20mx20m, ou 400m²). O ano base selecionado para o mapeamento foi 2016, com uma flexibilização de mais ou menos dois anos, definindo-se o intervalo entre 2014 e 2018 para a seleção das cenas. Apesar desta flexibilização, não foi possível atingir uma boa cobertura sem a influência de nuvens para toda a área de estudo. Como complemento, foram utilizadas cenas dos Radares Sentinel-1 e ALOS em complemento com a geração de Mosaicos de imagens Landsat-8 (*Composites*); através da varredura e identificação dos pixels de menor percentual de nuvem de Imagens Landsat-8 no intervalo de 01/01/2016 a 31/12/2016.

Quanto às técnicas de processamento digital de imagens, foram realizadas correções geométricas, atmosféricas e radiométricas. A classificação pixel a pixel não supervisionada foi realizada a partir do algoritmo de classificação ISODATA. Já a geração dos *Composites* Landsat - 8 se deu através de Processamento na Nuvem e algoritmo de *Machine Learning*. A proposta metodológica aqui apresentada é justificada pela dimensão de 85 mil km² da área de estudo, e pela complexidade da legenda final, que foi trabalhada através do estabelecimento de uma hierarquia e agrupamento de classes, baseando-se na terceira edição do Manual Técnico de Uso da Terra de 2013 do IBGE.



9.1.3. Levantamento do Uso e Cobertura do Solo na Margem Equatorial Brasileira

9.1.3.1. Formulação do Problema

Dados de sensoriamento remoto, aliados a métodos de processamento de imagens, têm permitido integrar e melhorar as análises das informações relacionadas a vários processos físicos e biológicos, em diferentes escalas de tempo e espaço (SOUZA FILHO et al., 2004; TEIXEIRA, 2006; SANTOS, 2006; SILVEIRA, 1998; GONÇALVES; SOUZA FILHO, 2005). Organizações como a USGS (*United States Geological Survey*), ESA (*European Space Agency*), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), disponibilizam uma série de imagens gratuitas em suas plataformas. Essas podem ser adquiridas através da seleção de parâmetros e nível de processamento pelo usuário, como: data da imagem, sensor, missão, polarização, percentual da cobertura de nuvens, ângulos máximo ou mínimo de aquisição, inserção de arquivos vetoriais (shapefile ou kmz) e coordenadas geográficas, correção geométrica, correção atmosférica, dentre outros.

Em ambientes de alta complexidade, como a Margem Equatorial Brasileira, as informações extraídas a partir de produtos de sensores remotos são fundamentais para a caracterização de suas feições e entendimento dos seus processos. Tal tecnologia permite a observação de grandes áreas sob diferentes pontos de vista através de sensores diversos, possibilitando o entendimento em múltiplas escalas dos processos que nelas operam. Existe também a capacidade de cada sensor de perceber a resposta, em regiões específicas do espectro eletromagnético, dos elementos que compõem a paisagem (DE FARIA, 2008).

Entretanto, devido a sua localização e dimensão territorial, a Margem Equatorial Brasileira está submetida à condições climáticas que propiciam intensa cobertura de nuvens, o que acarreta dificuldades na disponibilização de imagens ópticas com baixo percentual de nuvens e com especificações que atendam de forma satisfatória o objetivo do estudo. Diante do desafio de mapear uma grande área submetida à presença de muitas nuvens, o estudo se desenvolveu sob as abordagens multisensores e multidatas, que consideraram a utilização de diferentes sensores orbitais (ópticos e radar), cenas de datas distintas e elaboração de mosaicos (*composites*) através de técnicas de *cloud computing*. Assim, o mapeamento e a caracterização dos ecossistemas costeiros foram realizados para aproximadamente 99% (84.102,4 km²) da área de estudo.

No mapeamento da área de estudo, as imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR) possibilitaram a identificação e diferenciação de elementos associados ao uso e cobertura do solo, como Água, Manguezal, Floresta, Área Campestre, Agricultura e Pastagem e Áreas Descobertas (a descrição de cada elemento se encontra no Item 9.3.3. Resultados). Por ser um sensor ativo, a transmissão de suas ondas eletromagnéticas ocorre independente da iluminação solar, mesmo quando a atmosfera se apresenta



nublada ou durante precipitações, podendo assim gerar imagens sob as condições mais adversas. Contudo, as imagens SAR apresentam ruídos - como o efeito sal e pimenta - que dificultam a interpretação visual dos dados, podendo interferir também na classificação das imagens.

Para a escala do estudo (regional), foi possível adquirir gratuitamente imagens SAR que possuem resolução espacial adequada e que permitiram identificar e caracterizar os elementos supracitados. Para isso, foi realizada uma extensa busca, considerando diversas especificações dos sensores como: modo de aquisição, data das imagens, resoluções espacial e radiométrica e polarização. Cada uma dessas especificações poderia influenciar na qualidade da imagem e, consequentemente, interferir de forma negativa ou positiva no resultado do estudo. Dessa forma, foi realizada a aquisição de diversas cenas dos satélites Sentinel-1 e ALOS Palsar, considerando tais especificações e identificando as melhores cenas para a classificação do uso e cobertura da terra da Zona Costeira Amazônica.

Já os sensores ópticos são passivos, ou seja, não possuem fonte própria de energia eletromagnética. Por esta razão, seu imageamento está suscetível à disponibilidade de luz solar e à interferência de fenômenos atmosféricos, como a formação de nuvens. Suas vantagens em relação ao radar consistem na possibilidade de identificar feições de forma visual e na discriminação de uma maior variedade de alvos, sejam estes naturais ou sociais. Neste estudo, as imagens ópticas utilizadas dos Satélites Landsat-8 e Sentinel-2 possibilitaram a identificação e diferenciação de elementos associados ao uso e ocupação do solo, como: Água, Manguezal, Floresta, Área Campestre, Vegetação Herbácea, Agricultura e Pastagem , Áreas Descobertas, Áreas Urbanizadas, Áreas Úmidas e Inundáveis, Apicuns, Praias e Dunas (a descrição de cada elemento se encontra no Item Resultados).

Com o avanço significativo na disponibilidade de produtos de sensoriamento remoto de variadas resoluções espacial, espectral e temporal, novas técnicas têm sido desenvolvidas para manipulação de dados digitais. Neste cenário, surgem algumas soluções baseadas em MapReduce e apoiadas em *cloud computing*, como a Plataforma de Tecnologia *Google Earth Engine*. Ela oferece um repositório de dados, apoiado por serviço de computação intrinsecamente paralelo e de alto desempenho (GORELICK, 2017), permitindo que usuários realizem análises espaciais cada vez mais rápidas, considerando grandes áreas e/ou trajetórias ao longo do tempo. Neste ambiente, foram desenvolvidos os Mosaicos Landsat-8 (*Composites*) para trechos da área de estudo onde a cobertura de nuvem se manteve superior a 90%, o que comprometeria toda a análise e classificação das imagens.

A continuidade na obtenção de dados de Sensoriamento Remoto, junto ao surgimento de novos sensores orbitais e aerotransportados de diversas resoluções espaciais e espectrais, nano satélites de observação terrestre e disseminação gratuita de dados implicam não só na maior diversidade como também na complexidade das informações. Este cenário acarreta mudanças de paradigma e incorpora um novo desafio denominado *Big Data*.

Para gerenciar os grandes conjuntos de informações, cada vez mais busca-se por soluções eficientes e que suportem suas tarefas analíticas. São necessárias tecnologias para gerir, analisar, apresentar e



disseminar um grande e/ou complexo conjunto de informações. Para Yang et al. (2013) e Câmara et al (2016), o volume crescente de dados espaciais enfrenta os desafios de armazenamento, escalabilidade e integração de informações em um contexto global.

9.1.3.2. Sensoriamento Remoto e o Mapeamento de Manguezal e Ecossistemas Costeiros.

O manguezal, por ser um dos ecossistemas mais importantes em termos de biodiversidade e serviços ambientais, ganha destaque no atual debate socioambiental do país. De acordo com o Atlas de Manguezais (SPALDING et al., 1997), o Brasil apresenta grande extensão de áreas de mangue (13.400 km²). Apesar de sua importância, o manguezal é um ecossistema vulnerável a uma série de ameaças, como a perda e fragmentação da cobertura vegetal e a deterioração da qualidade dos habitats aquáticos; devido, sobretudo, à ocupação irregular, poluição e às mudanças na hidrodinâmica. Esses processos acarretam à menor oferta de recursos dos quais muitas comunidades tradicionais dependem diretamente para subsistência (MMA e ICMBio, 2018).

No Brasil, estudos sobre o mapeamento, distribuição e variabilidade das áreas de manguezal vêm sendo realizados desde a década de 80 (SOUZA FILHO, 2005). Neste contexto, o uso de Geotecnologias vem se tornando cada vez mais relevante e necessário. Através de imagens de Sensoriamento Remoto, dos Sistemas de Informações Geográficas e técnicas cada vez mais sofisticadas de Geoprocessamento, é possível mapear, identificar, caracterizar, classificar, monitorar, atualizar, analisar e quantificar não só o ecossistema manguezal, mas também todo o uso e cobertura da terra de seu entorno.

O sensoriamento remoto, com a seleção adequada de sensores e métodos de processamento, fornece uma fonte eficiente, rápida, precisa e muitas vezes econômica de informações sobre manguezais (GIRI et al. 2007). Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto vêm sendo explorado para mapear vários tipos de informações sobre manguezais, como seu status global (GIRI et al. 2011), extensão e dinâmica regionais (GIRI et al. 2007; BHATTARAI & GIRI 2011), composição de espécies (KAMAL & PHINN 2011; HEENKENDA et al. 2014) e aplicações biofísicas (HEUMANN, 2011).

A área de interesse para o mapeamento de uso e cobertura da terra em escala regional possui aproximadamente 85 mil km² distribuídos pelas Bacias da Foz do Amazonas e Pará-Maranhão. Inserida na Margem Equatorial Brasileira, esta região possui o maior sistema contínuo de mangue do planeta. Os manguezais mapeados em mesoescala pelo Projeto Costa Norte apresentam uma extensão de 8.387,75 km², o equivalente a aproximadamente 10% do total da área de estudo, distribuída pelos Estados do Amapá, Pará e Maranhão. Além das florestas de mangue, são encontrados ecossistemas costeiros altamente dinâmicos, que sofrem a atuação de complexos processos na faixa de transição entre o oceano e a terra firme, constituindo um importante recurso econômico utilizado pelas populações costeiras. A Figura 9-1 apresenta o recorte espacial para o mapeamento de uso e cobertura da terra em escala regional.







Figura 9-1: Recorte espacial para o mapeamento de uso e cobertura em escala regional.



A Figura 9-2 e a Tabela 9-1 apresentam os municípios abrangidos totalmente ou parcialmente pela escala regional do Mapeamento dos Ecossistemas Costeiros da área de estudo, bem como suas identificações neste estudo.



Figura 9-2: Distribuição dos Municípios abrangidos parcialmente e totalmente pelo mapeamento de Uso e Cobertura da Terra da área de estudo.



Tabela 9-1: Municípios abrangidos parcialmente e totalmente pelo mapeamento de Uso e Cobertura da Terra da área de estudo.

UF	Código	Município	UF	Código	Município
AP	1	Oiapoque	PA	31	São João de Pirabas
AP	2	Calçoene	PA	32	Primavera
AP	3	Amapá	PA	33	Capanema
AP	4	Cutias	PA	34	Quatipuru
AP	5	Macapá	PA	35	Tracuateua
AP	6	Itaubal	PA	36	Bragança
PA	7	Afuá	PA	37	Augusto Côrrea
PA	8	Chaves	PA	38	Viseu
PA	9	Ponta de Pedras	MA	39	Carutapera
PA	10	Cachoeira do Arari	MA	40	Luís Domingues
PA	11	Salvaterra	MA	41	Godofredo Viana
PA	12	Soure	MA	42	Cândido Mendes
PA	13	Barcarena	MA	43	Turiaçu
PA	14	Belém	MA	44	Turilândia
PA	15	Colares	MA	45	Bacuri
PA	16	Vigia	MA	46	Apicum-Açu
PA	17	São Caetano de Odivelas	MA	47	Serrano do Maranhão
PA	18	Ananindeua	MA	48	Cururupu
PA	19	Marituba	MA	49	Pinheiro
PA	20	Benevides	MA	50	Mirinzal
PA	21	Santa Bárbara do Pará	MA	51	Porto Rico do Maranhão
PA	22	Santo Antônio do Tauá	MA	52	Cedral
PA	23	São João da Ponta	MA	53	Guimarães
PA	24	Terra Alta	MA	54	Central do Maranhão
PA	25	Curuçá	MA	55	São Bento
PA	26	Marapanim	MA	56	Peri Mirim
PA	27	Magalhães Barata	MA	57	Bequimão
PA	28	Maracanã	MA	58	Alcântara
PA	29	Santarém Novo	MA	59	Bacurituba
PA	30	Salinópolis			

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de instrumentos que possibilitam um maior conhecimento da distribuição espacial dos ambientes costeiros, não só às empresas de Óleo e Gás, mas também ao governo e à sociedade de forma geral, de modo a contribuir para uma maior capacidade e agilidade nos processos de prevenção, mitigação e monitoramento de tais ambientes frente ao risco potencial de derramamento de óleo no mar.

Os produtos adquiridos com a metodologia desenvolvida constituem ferramentas de apoio essenciais e fonte primária de informações para o planejamento de contingência e para a implementação de ações de resposta a incidentes de poluição por óleo, permitindo identificar os ambientes com prioridade de proteção bem como possibilitando o correto direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização adequada das equipes de contenção e limpeza. Além disto, as mesmas têm um enorme potencial para



emprego no planejamento ambiental da zona costeira e marinha, reforçando os instrumentos políticos e administrativos de ordenamento territorial.

9.1.3.3. Metodologia

O Mapeamento dos Ecossistemas Costeiros em escala regional da Margem Equatorial Brasileira foi realizado com imagens de sensoriamento remoto orbital aliadas às técnicas de geoprocessamento, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e análises espaciais. Para isso, as principais instituições de referência em produção e disseminação de dados secundários, em conjunto com iniciativas de mapeamentos em mesoescala, foram consultadas para a obtenção de fundamentos que ajudaram a caracterizar, quantificar, classificar e representar a área de estudo.

Com intuito de possibilitar uma visão geral da metodologia adotada neste trabalho e seu fluxo de desenvolvimento, foi elaborado um fluxograma das etapas do processo de aquisição de imagens e banco de dados, processamento, classificação e análise das informações relativas ao sensoriamento remoto no âmbito do projeto, conforme Figura 9-3.



Figura 9-3: Fluxograma da metodologia adotada.

9.1.3.3.1. Aquisição de dados e informações

O Mapeamento de Ecossistemas Costeiras da Costa Norte teve como etapa inicial a aquisição de imagens orbitais gratuitas e a elaboração de um banco de dados geográficos. O levantamento de dados gráficos e textuais existentes otimizou o tempo das análises, evitando a realização de trabalhos redundantes, além de representar economia de custos. Este levantamento foi efetuado através de consulta às seguintes instituições:



- Base cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, Ministério de Infraestrutura e Exército;
- Banco de Dados Gráficos e Textuais MMA (Ministério do Meio Ambiente), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e ANA (Agência Nacional de Águas).
- Imagens ópticas e de radar-SAR
 - Landsat-8:United States Geological Survey USGS e Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente - MMA,
 - Sentinel-1 e Sentinel-2: European Space Agency ESA,
 - Rapideye: Geo Catálogo MMA e a Empresa Santiago & Cintra Consultoria)
 - ALOS PALSAR: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE;
- Cartas Náuticas: Centro de Hidrografia da Marinha CHM;
- Literatura disponível sobre as características socioambientais da área de estudo.

A Tabela 9-2 a seguir apresenta as características principais das imagens utilizadas no Mapeamento dos Ecossistemas Costeiros em Escala Regional.

Satélite	Óptico/ Radar	Sensor	Resolução Espacial	Bandas Espectrais	Períodos Das Imagens	Forma De Aquisição
Landsat-8	Óptico	OLI	30 metros	B1 (Coastal), B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Red), B5(Near Infrared), B6(SWIR 1). B7(SWIR 2)	201	7Portal Earth Explores – USGS (Serviço Geológico Americano)
Sentinel-2	Óptico	MSI	20 metros	B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Red), B5(Red Edge 1), B6(Red Edge 2), B7(Red Edge 3), B8(Near Infrared), B8A(Red Edge 4), B11(SWIR 1), B12(SWIR 2).	2016 e 201	8Copernicus Open Access Hub – ESA (Agência Espacial Européia)
Sentinel – 1	Radar	C-SAR	10 metros	Banda C	201	6Copernicus Open Access Hub – ESA (Agência Espacial Europeia)
ALOS	Radar	PALSAR	12,5 metros	Banda L	200	8Portal do IBGE
Mosaico Landsat-8	Óptico	OLI	30 metros	B1 (Coastal), B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Red), B5(Near Infrared), B6(SWIR 1). B7(SWIR 2)	201	6Google Earth Engine

Tabela 9-2: Principais características das imagens utilizadas.



Informações Gráficas

Este conjunto de informações englobou todo material adquirido a partir de Bases Institucionais, como imagens de satélite (Radar e Óptica), mapas regionais, fotografias relativas à área de estudo e arquivos vetoriais disponíveis gratuitamente. O processamento, classificação, interpretação, integração de dados e análise dessas informações a partir de *softwares* de aplicação específicos possibilitaram representações em mapas temáticos que buscaram refletir as feições ambientais existentes, assim como definir padrões para uso e cobertura da terra. As informações textuais adquiridas ao longo do estudo permitiram um refinamento dos resultados obtidos.

Informações Textuais

Este conjunto de informações compôs o material selecionado a partir de artigos, relatórios, documentos, tabelas, sites institucionais e todo material bibliográfico relativo à área de trabalho. Seu escopo contribuiu para a realização de análises e interpretações com intuito de subsidiar os produtos gráficos e os relatórios. Buscou-se a integração de um conjunto de informações que refletisse a realidade local e possibilitasse a interpretação dos processos dinâmicos que ocorrem na região.

9.1.3.3.2. Imagens Ópticas

Rapideye

A constelação Rapideye é composta por cinco microssatélites multiespectrais que apresentam as bandas Azul, Verde, Vermelho, Red Edge, Infravermelho Próximo (Tabela 9-3), 12 bits de resolução radiométrica adquirida com 6,5 metros de resolução e ortorretificadas com 5 metros. A configuração dos cinco satélites, idênticos e posicionados em órbita síncrona com o Sol, com igual espaçamento entre si, permite estabelecer novos padrões de eficiência relacionados à repetitividade de coleta e a exatidão das informações geradas sobre a superfície da Terra (Tabela 9-4, Tabela 9-3).

Banda Faixa Espectral Azul 440-510 nm Verde 520-590 nm Vermelho 630-685 nm Red Edge 690-730 nm Infravermelho 760-850 nm 400 nm 500 nm 600 nm 700 nm 800 nm NIR RE Fonte: Eitel et al. 2007.

Tabela 9-3: Características das bandas.



Tabela 9-4: Características da constelação RapidEye.

Número de Satélites	5
Altitude da Órbita	630 km, órbita síncrona com o sol
Hora da Passagem	11:00 hs, horário local (aproximadamente)
Velocidade	27.000 km/h
Tamanho da Imagem	Aproximadamente 77 km de largura com comprimento entre 50 e 300 km, 462 MB/25 km ao longo da órbita para 5 bandas
Tempo de Revisita	Diariamente (off-nadir) 5,5 dias (nadir)
Capacidade de Coleta	4,5 milhões de Km2/dia
Tipo de Sensor	Multiespectral (pushbroom Imager)
Bandas Espectrais	5 (Red, Green, Blue, Redge Edg3e, Near IR)
Resolução Espacial Nominal	6,5 m
Resolução Radiométrica	12 bits

Fonte: Eitel et al. 2007.

Cada satélite efetua 15 voltas por dia em torno do planeta e seus sensores a bordo podem coletar imagens sobre a superfície da Terra ao longo de uma faixa de 77 km de largura por até 1.500 km de extensão (Felix *et al.,* 2009).

O RapidEye também conta com a banda na região da borda do vermelho, comumente conhecida como *Red Edge*, que tem sido utilizada com a finalidade de aperfeiçoar o resultado da classificação do uso do solo (SCHUSTER *et al.*, 2012). Essas características tornam o RapidEye um potencial fornecedor de covariáveis, as quais ajudam no mapeamento digital de solos por inferir a condição dos dosséis de plantas e, dessa forma, predizer variações nas características do solo.

As imagens de satélite RapidEye, coletadas desde 2011, foram adquiridas através do Geo Catálogo MMA e a Empresa Santiago & Cintra Geotecnologias, distribuidora oficial das Imagens, como primeira tentativa de uso das imagens ópticas para o presente estudo. O *download* destas imagens foi realizado em um período de 4 meses, cujo volume de dados zipados totalizou 420.7 GB e a quantidade de cenas adquiridas totalizou 1320 cenas, nível de processamento 3A, tamanho de pixel de 5 metros, sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e *datum* WGS84 (MMA, 2017). O nível de processamento 3A corresponde às imagens ortorretificadas, no caso do Brasil, por meio de modelos digitais de elevação de 90 metros ou 30 metros, quando este último é disponível.

Contudo, devido às condições climáticas da área de estudo, as imagens Rapideye apresentaram intensa cobertura de nuvens e desafios como:

 Menor área imageada quando comparado com imagens Landsat-8 e Sentinel-2, devido a sua maior resolução espacial, sendo necessário uma grande quantidade de imagens para contemplar a área de estudo. • Maior custo computacional, espaço de armazenamento, tempo, etapas de processamento e complexidade da análise devido a necessidade de usar muitas cenas para atender toda a área investigada.

Esses motivos, associados ao fato de as imagens Landsat-8 e Sentinel-2 apresentarem resoluções espaciais compatíveis com a escala regional das análises, foram decisivos para que as imagens Rapideye não fossem utilizadas neste estudo.

Landsat-8

A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: *Operacional Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), lançado em fevereiro de 2013.

Os produtos OLI consistem em nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9). A banda 8 do instrumento OLI é a pancromática e possui resolução espacial de 15 metros. A Nova banda 1 (ultra-azul) é útil para estudos costeiros e aerossol. A Nova banda 9 (cirrus) é útil para a detecção de nuvens (Tabela 9-5).

As faixas térmicas 10 e 11 pertencem ao instrumento imageador TIRS. As faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas e os dados são coletados com pixel de 100 metros. O tamanho aproximado da cena Landsat-8 é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste (USGS, 2017).

Landsat-8 Bands	Wavelength (micrometers)Resol	ution (meters)
Band 1 – Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 – Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 – Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 – Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Band 7 – SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 – Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 – Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 – Thermal Infrared (TIRS 1)	10.60 - 11.19	100
Band 11 – Thermal Infrared (TIRS 2)	11.50 - 12.51	100

Tabela 9-5: Características espectrais dos instrumentos imageadores OLI e TIRS.

Fonte: USGS (2017).

A aquisição das imagens Landsat-8 foi realizada gratuitamente através do portal do *Earth Explorer* da USGS (*United States Geological Survey*) e podem ser visualizadas





Figura 9-4. Foram selecionadas cinco cena, com nível de processamento L1TP, com correção atmosférica e ortorretificação. As especificações das cenas adquiridas podem ser visualizadas na Tabela 9-6.





Figura 9-4: Mosaico das imagens Landsat-8 adquiridas.



Tabela 9-6: Especificações das imagens Landsat-8 adquiridas

Cenas	Data de Aquisição Resolução		Nível de	
		Espacial	Processamento	
LC08_L1TP_221062_20170910_20170910_01	10/09/2017	30 metro	sL1TP	
LC08_L1TP_222061_20170715_20170727_01	27/07/2017	30 metro	sL1TP	
LC08_L1TP_224061_20170729_20170730_01	30/07/2017	30 metro	sL1TP	
LC08_L1TP_223060_20170706_20170706_01	06/07/2017	30 metro	sL1TP	
LC08_L1TP_223061_20170706_20170706_01	06/07/2017	30 metro	sL1TP	

As imagens provenientes dos sensores instalados no satélite Landsat-8 trazem inovações importantes para usuários que demandam mapeamentos em escala regional. O sensor espectral OLI (*Operacional Land Imager*) e o sensor termal TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) apresentam resolução espectral diferenciada de seus antecessores. Além disso, foram adicionadas duas bandas espectrais: a *new coastal* (banda 1), projetada especificamente para estudos dos recursos hídricos e investigação da zona costeira, e, um novo canal de infravermelho (banda 9) para a detecção de nuvens (USGS, 2017).

Os sensores da série Landsat adquiriram milhões de imagens que estão disponíveis em arquivos nos Estados Unidos e em estações de recebimento ao redor do mundo. Estes acervos constituem um recurso indispensável para estudos de mudança global, para pesquisas e aplicações em agricultura, monitoramento espacial, geologia, geomorfologia e meio ambiente, por, entre outros aspectos, apresentarem a maior série histórica contínua.

O Landsat-8 foi a base deste estudo para o mapeamento do uso e cobertura da terra da Margem Equatorial Brasileira. O acervo bibliográfico, que utilizam metodologias com bandas espectrais dos satélites Landsat para este tipo de aplicação, consolidou ainda mais o trabalho de identificação das feições de uso e cobertura encontrados na área de estudo.

Sentinel-2

Foi realizado um esforço em adquirir novas imagens Landsat-8 que pudessem substituir algumas cenas que apresentaram intensa cobertura de nuvens. Porém, apesar dos esforços em monitorar a disponibilidade das imagens Landsat-8 melhores, sem o êxito esperado, fez-se necessário o uso de dados complementares, tais como as imagens do satélite Sentinel-2. Portanto, tendo em vista o período das revisitas das áreas monitoradas, a cada cinco dias sob as mesmas condições de visualização (ESA, 2015), a possibilidade de aquisição de imagens com menor concentração de nuvens aumentou e, desta forma, foi possível complementar as lacunas de dados que o Landsat-8 não pode fornecer.

O satélite Sentinel-2 faz parte da missão da *European Space Agency* (ESA) desenvolvido no quadro do programa da União Europeia Copernicus (DRUSCH *et al.*, 2012; HAGOLLE *et al.*, 2015; SEGL *et al.*, 2015). Conta com instrumentos de captura multiespectral e está fundamentada nas missões SPOT (França) e nos



satélites da missão Landsat (Estados Unidos). Foi lançado no dia 23 de junho de 2015 e ainda está em operação.

Sua câmera multiespectral é a mais avançada de seu tipo, de fato é a primeira missão óptica de observação da terra da sua classe, por incluir três bandas no "*red edge*" que proporciona informação chave sobre o estado da vegetação (TAQUIA, 2015). O *design* óptico do telescópio MSI permite um campo de visão de 290 km (FOV) (ESA, 2015). Os dados adquiridos, a cobertura da missão e a alta frequência de visitas, possibilitam a geração de geoinformação em escalas locais, regionais, nacionais e internacionais.

Assim, para este trabalho, foram utilizadas imagens Sentinel-2A adquiridas pelo sensor *Multi Espectral Instrument* (MSI). Estes produtos foram obtidos gratuitamente pelo endereço eletrônico https://scihub.copernicus.eu/ (Figura 9-5). Os dados empregados possuem nível 2C de processamento, que conta com a imagem atmosfericamente e geometricamente corrigida (ortorretificada), e resoluções espaciais de 10, 20 e 60 metros. A resolução radiométrica do instrumento MSI é de 12 bits, permitindo que a imagem seja adquirida num intervalo de 0 a 4095 valores potenciais de intensidade de luz (ESA, 2015).

Os dados SENTINEL-2 são adquiridos em 13 bandas espectrais no VNIR e SWIR, sendo: quatro bandas de 10 metros 490 nm (B2), 560 nm (B3), 665 nm (B4), 842 nm (B8); seis bandas de 20 metros 705 nm (B5), 740 nm (B6), 783 nm (B7), 865 nm (B8a), 1 610 nm (B11), 2 190 nm (B12) e três bandas de 60 metros 443 nm (B1), 945 nm (B9) e 1 375 nm (B10) (Figura 9-6). As especificações das imagens Sentinel-2 adquiridas podem ser visualizadas na Tabela 9-7.





Figura 9-5: Mosaico das imagens Sentinel-2A adquiridas.





Figura 9-6: Resolução espacial e espectral Sentinel-2. Fonte: Adaptado de ESA (2012).

Tabela 9-7: Especificações das imagens Sentinel-2 adquiridas.

Cenas	Data de Aquisição	Resolução Espacial	Nível de Processame nto
S2A_MSIL1C_20180612T133221_N0206_R081_T23MLU_201806 12T151105	12/06/2018	3 20 metros	s 2C
S2A_OPER_PRD_MSIL1C_PDMC_20161102T215335_R124_V2016 1102T134212_20161102T134212	6 02/11/2016	5 20 metro	s 2C

COMPOSITES LANDSAT-8

Em adição aos dados acima mencionados, através de Processamento na Nuvem em larga escala da Plataforma *Google Earth Engine*, foram gerados Mosaicos de Imagens do Satélite Landsat-8 para trechos da área de estudo onde a cobertura de nuvens foi superior a 90%, conforme demonstram as **Figura 9-7** e **Figura 9-8**.





Figura 9-7: Exemplo de Classificação de Imagem com alta cobertura de Nuvens.



Figura 9-8: Mosaico Landsat-8 gerado através da seleção e composição dos pixels com menor percentual de nuvens de Imagens Landsat-8.



Os Mosaicos utilizados no Mapeamento de Uso e Cobertura em Escala Regional correspondem a imagens sintéticas construídas a partir da seleção e composição dos pixels com menor percentual de nuvens do Satélite Landsat-8, de várias cenas e de um período previamente definido pelo usuário, de 01/01/2016 a 31/12/2016, e gerados através do algoritmo *SimpleComposites*, disponível na Biblioteca de Funções da Plataforma *Google Earth Engine*. A Figura 9-9 apresenta a distribuição espacial dos mosaicos (*composites*).





Figura 9-9: Mosaico dos Composites Landsat-8 utilizados.



9.1.3.3.3. Imagens RADAR

Sentinel-1

A missão Sentinel-1 compreende uma constelação de dois satélites (Sentinel-1A e Sentinel-1B) de órbita polar que operam em período diurno e noturno com imageamento SAR (*Synthetic Aperture Radar*) na banda C a uma frequência de 5.405 GHz, permitindo obter imagens sem a interferência de condições atmosféricas. Essa missão foi projetada para imagear a área continental, zonas costeiras e rotas marítimas a nível global com alta resolução espacial e tempo de revisita muito curto. O sistema tem a capacidade de operar nos modos de dupla polarização (HH/HV ou VV/VH) e polarização única (HH ou VV) e possui quatro modos de aquisição distintos: SM (*Stripmap Mode*), IW (*Interferometric Wide Swath Mode*), EW (*Extra-Wide Swath Mode*) e WV (*Wave Mode*). Os modos de aquisição satisfazem os requisitos de diversas aplicações, sendo que alguns modos se adequam mais eficazmente a umas do que outras, conforme (Fonte: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1).

Os sistemas SAR (*Synthetic Aperture Radar*) contrariamente aos sistemas ópticos passivos são sistemas ativos RADAR na região das micro-ondas do espectro eletromagnético, possuindo a capacidade de observar a superfície terrestre a qualquer hora do dia sob quaisquer condições meteorológicas. Tal característica torna os sistemas RADAR altamente viáveis em termos de provisão de dados, especialmente durante os períodos em que os sensores óticos falham (FORKUOR *et al.*, 2014).

Os sinais RADAR são sensíveis às propriedades do solo (umidade e rugosidade) e da vegetação (estrutura e biomassa), proporcionando informação adicional dos tipos de cobertura do solo (JIN *et al.*, 2014).

O modo IW é o modo principal de aquisição de dados sobre a terra e satisfaz a maioria das necessidades dos serviços. Os dados são adquiridos com uma faixa de 250 km e uma resolução espacial de 5m x 20m. Pode-se verificar na um resumo das características dos quatro modos de aquisição da missão Sentinel-1.

Foram utilizadas cenas Sentinel-1A com modo de aquisição IW, dupla polarização VH/VV, resolução espacial de 10 metros e com datas de aquisição em outubro, novembro e dezembro de 2016 (Tabela 9-8 e Figura 9-10). Essas cenas foram adquiridas gratuitamente através do endereço eletrônico <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Desta forma, foi possível identificar os alvos que estavam sob intensa cobertura de nuvens.



Tabela 9-8: Especificações das cenas Sentinel-1A adquiridas.

Cenas	Resolução Espacial (M)	Data De Aquisição	Modo De Aquisição	Polarização
S1A_IW_GRDH_1SDV_FRAME_07_Orb_Ca _CoReg_TC_unit16_v01	10 metro	s 16/11/201	elM	VH + VV
S1A_IW_GRDH_1SDV_FRAME_08_Orb_Ca _Noise-Cor_Stack_TC_unit16_v01	10 metro	s 23/10/201	elM	VH + VV
S1A_IW_GRDH_1SDV_20161208T214248_ 20161208T214317_014294_017225_686A _Orb_Cal_Noise-Cor_Stack_TC_unit16	10 metro	s 08/12/201	бIW	VH + VV
S1A_IW_GRDH_1SDV_20191003T085729_ 20191003T085754_029292_03541F	10 metro	s 08/10/201	9 _{IW}	VH + VV







Figura 9-10: Mosaico das Imagens Sentinel-1A adquiridas.


ALOS PALSAR

O satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) e foi finalizado em 12 de maio de 2011. Possui três sensores com diferentes objetivos e que forneceram diferentes informações da superfície terrestre. Nesses 5 anos de operação forneceu dados de alta qualidade em relação ao mapeamento topográfico, monitoramento ambiental e mudanças climáticas. A Tabela 9-9 mostra as características desse satélite.

Tabela 9-9: Características do satélite ALOS.

Instituições responsáveis	Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA
País/Região	Japão
Satélite	ALOS – Daichi
Lançamento	20/01/2006
Local de Lançamento	Tanegashima Space Center
Veículo Lançador	H-IIA 8
Situação Atual	Desativado em 2011
Órbita	heliossíncrona
Altitude	691,65 km
Inclinação	98,16º
Tempo de Duração da Órbita	98,7 min
Horário da Passagem	10:30 A.M.
Período da Revisita	46 dias
Tempo de Vida Projetado	3 a 5 anos
Instrumentos Sensores	PRISM, AVNIR-2 e PALSAR

Fonte: EMBRAPA (2020).

O sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) forneceu imagens de radar utilizando o imageamento SAR operando na banda L (faixa de comprimento de onda maior que o Sentinel-1) a uma frequência de 1270 MHz. Assim como o Sentinel-1, também pode operar tanto em período diurno quanto noturno e pode fornecer imagens em qualquer condição atmosférica, em uma, duas polarizações (HH ou HV), modo *ScanSAR*, ou modo multipolarimétrico. Este sensor foi desenvolvido pela JAXA em parceria com a JAROS (*Japan Resources Observation System Organization*), com base na mesma tecnologia dos satélites JERS-1. A Tabela 9-10 mostra as características do ALOS PALSAR (EMBRAPA, 2020).



Sensor	Canais/ Bandas Fro Espectrais	equência Â V	ingulo de F isada	Polarização	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica
PALSAR	Fine – single	1270 MHz (Band L)	8° - 60º	HH ou VV	7 — 44 m	5 bits
PALSAR	Fine – dual	1270 MHz (Band L)	8° - 60º	HH+HV ou VV+VH	ı 14 – 88 m I	5 bits
PALSAR	ScanSAR	1270 MHz (Band L)	18º - 43º	HH ou VV	/ 100 m	5 bits
PALSAR	Plarimetric	1270 MHz (Band L)	8º - 30º	HH+HV+VH+VV	24 – 89 m	3 a 5 bits

Tabela 9-10: Características do sensor ALOS PALSAR.

Fonte: EMBRAPA (2020)

Foram adquiridas 19 cenas ALOS PALSAR do satélite ALOS no site do IBGE, possuindo polarização HH/HV, com resolução espacial de 12,5 metros e com diferentes datas de aquisição no ano de 2008 (Tabela 9-11 e Figura 9-11).

Tabela 9-11: Especificações das cenas ALOS PALSAR adquiridas.

CENAS	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)		DATA DE AQUISIÇÃO	POLARIZAÇÃO
ALPSRP125157180		12,5	31/05/2008	HH + HV
ALPSRP125157190		12,5	31/05/2008	HH + HV
ALPSRP125160020		12,5	31/05/2008	HH + HV
ALPSRP125160030		12,5	31/05/2008	HH + HV
ALPSRP125160040		12,5	31/05/2008	HH + HV
ALPSRP125160050		12,5	31/05/2008	HH + HV
ALPSRP125160060		12,5	31/05/2008	HH + HV
ALPSRP125160070		12,5	31/05/2008	HH + HV
ALPSRP126907180		12,5	12/06/2008	HH + HV
ALPSRP126907190		12,5	12/06/2008	HH + HV
ALPSRP126910010		12,5	12/06/2008	HH + HV
ALPSRP126910020		12,5	12/06/2008	HH + HV
ALPSRP129387180		12,5	29/06/2008	HH + HV
ALPSRP129387190		12,5	29/06/2008	HH + HV
ALPSRP129390000		12,5	29/06/2008	HH + HV
ALPSRP129390010		12,5	29/06/2008	HH + HV



ALPSRP129390020	12,5	29/06/2008	HH + HV
ALPSRP127640020	12,5	17/06/2008	HH + HV
ALPSRP127640030	12,5	17/06/2008	HH + HV





Figura 9-11: Mosaico das Imagens ALOS PALSAR adquiridas.



9.1.3.3.4. Processamento Digital de Imagens

Para serem utilizadas no mapeamento do meio físico e do solo, em geral, as imagens de satélite devem passar por pré-processamento, que constituem as etapas iniciais e correções das cenas. As principais correções são as geométricas (georreferenciamento e ortorretificação das imagens) e radiométricas (eliminação de ruídos e correção atmosférica).

Como continuidade no tratamento das imagens de satélite, aliada a interpretação de tais imagens, que é uma fonte direta para se determinar a dinâmica dos processos envolvidos, o processamento digital das imagens assume papel de grande importância, pois seus produtos podem fornecer subsídios para a compreensão dos fenômenos ambientais, além da possibilidade de auxiliar o planejamento estratégico em situações distintas.

As atividades de pré-processamento e processamento foram realizadas ao longo do projeto, assim como a integração dos dados geográficos adquiridos, a classificação das imagens e o mapeamento dos ecossistemas costeiros e planícies de inundação.

As imagens adquiridas foram tratadas com os *softwares* ARCGIS 10.5 e PCI Geomatica, objetivando extrair o maior número possível de informações para melhor tratamento dos dados analisados.

A seguir, serão descritas as etapas pós-aquisição de dados que incluem pré-processamento, determinação dos índices de vegetação, classificação, análise, interpretação das imagens e a integração de dados geográficos adquiridos, a fim de determinar a dinâmica dos processos envolvidos na área de estudo e a compreensão dos fenômenos ambientais.

Pré-processamento das imagens óticas

Para a identificação de feições e padrões espaciais a partir de imagens de sensoriamento remoto, são necessárias diferentes técnicas que correspondem ao Processamento Digital de Imagens. Contudo, para alcançar altos níveis de acurácia e precisão nos mapeamentos e seus resultados, também são necessárias etapas iniciais, denominadas de Pré-processamento, cujo objetivo é tornar as imagens mais apropriadas para uma determinada aplicação. A construção de índices radiométricos, correções geométricas e a realização de álgebra de imagens de diferentes datas são alguns exemplos de etapas correspondentes ao pré-processamento.

Reprojeção e Correção Atmosférica

As imagens Landsat-8 são orientadas ao norte verdadeiro, sendo necessário reprojetá-las para o Hemisfério Sul. Esta reprojeção consiste em uma etapa de pré processamento e foi executada antes de qualquer processamento ou análise

Estes produtos são disponibilizados pelo USGS em Números Digitais (*Digital Number* – DN) pelos imageadores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS), os quais foram redimensionados para as seguintes saídas de dados:

- Radiância espectral no topo da atmosfera (L_{λ}) e



• Reflectância do topo da atmosfera ($\rho\lambda$)

A razão para esta conversão é que as imagens produzidas por sensores em nível orbital sofrem influência da atmosfera. Jensen (2009) lembra que diferentes fluxos de energia radiante derivadas de várias fontes podem penetrar no campo de visada introduzindo ruído no processo de imageamento por sensoriamento remoto. Song *et al.* (2001) afirma que a correção destas distorções atmosféricas pode ou não influir nos resultados alcançados dependendo do tipo de estudo a que se destinam as imagens. Alguns estudos que envolvem a quantificação de algumas propriedades exigem que se faça a caracterização espectral de objetos, o que não pode ser feito mediante o emprego de Números Digitais, que são na realidade proporcionais a valores da radiância aparente de superfície.

Assim, foi realizada a conversão de Números Digitais para Radiância Espectral no Topo da Atmosfera (L_{λ}) das bandas, com base na seguinte equação:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$
 Eq. 9.1

Em que,

 L_{λ} - Radiância espectral no topo da atmosfera (W/m²srad μ m);

M_L - Fator multiplicativo reescalonado da radiância para banda específica (RADIANCE_MULTI_BAND_x), onde x é o número da banda;

Q_{cal} - Número Digital (ND) do pixel e

A_L – Fator aditivo reescalonado da radiância para a banda específica (RADIANCE_ADD_BAND_X), onde x é o número da banda.

Posteriormente, foi realizada a conversão de radiância no topo da atmosfera (L_{λ}) para Reflectância planetária no topo da atmosfera ($\rho\lambda$), com base na seguinte equação:

$$\rho \lambda = M \rho Q_{cal} + A_{\rho}$$
 Eq. 9.2

Em que,

 $\rho\lambda$ – Reflectância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar;

 M_{ρ} - Fator multiplicativo reescalonado da reflectância para a banda específica (REFLECTÂNCIA_MULT_BAND_x), onde x é o número da banda.

Q_{cal} – Número Digital (ND) do pixel e

 $A\rho$ - Fator aditivo reescalonado da reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_ADD_BAND_x), onde x é o número da banda.



Conversão Radiométrica

O princípio do Sensoriamento Remoto é extrair informação da radiação eletromagnética armazenando energia no formato de Número Digital (DN = Digital Number). Durante a passagem ou observação do sensor remoto, diferentes instrumentos imageadores possuem características próprias para aquisição de informação da luz. Na Erro! Fonte de referência não encontrada.Tabela 9-12 abaixo, temos alguns exemplos de satélites artificiais com o total de valores numéricos que podem ser armazenados em cada imagem processada:

Tabela 9-12: Exemplos de satélites com seus respectivos valores numéricos.

Tipo de Dado	Escala	Total de Cores	Satélite
Inteiro não Sinalizado de 8 Bit	0 - 25	5 256	coresLandsat-5
Inteiro não Sinalizado de 11 Bit	0 - 204	7 2048	coresGeoEye-1 / Ikonos / Quickbird
Inteiro não Sinalizado de12 Bit	0 - 409	5 4096	coresRapidEye
Inteiro não Sinalizado de 16 Bit	0 – 6553	5 65536	coresLandsat-8

Desta forma, como parte do pré-processamento, também foi realizada a conversão radiométrica de 16 bits para 8 bits para todas as bandas de cada imagem, pois quanto maior for o número de bits, maior será o espaço necessário para o armazenamento dos dados e a sobrecarga do sistema para o processamento. Além disso, foi realizada a equalização das imagens Landsat-8, onde tal processo modifica as cores da imagem através da alteração das curvas do histograma.

Determinação Dos Índices De Vegetação

Os índices de vegetação são operações algébricas que envolvem faixas de reflectância específicas, permitindo determinar a cobertura vegetal e a sua densidade (CRUZ *et al.*, 2011). Segundo Moreira (2000), tais índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, usualmente, a do vermelho e a do infravermelho próximo, cuja operação matemática obtém um valor adimensional.

O objetivo do emprego de índices de vegetação foi minimizar o total de dados espectrais e realçar a contribuição espectral da vegetação verde, bem como reduzir a contribuição do solo, o ângulo solar, a vegetação senescente e a atmosfera. No presente trabalho foram determinados e utilizados os seguintes índices: NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index,* SAVI - *Soil-Adjusted Vegetation Index e o* EVI - *Enhanced Vegetation Index.*

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

A vegetação absorve maior energia na faixa da luz vermelha (650 nm) que é equivalente à banda 4 do Landsat 8 e a faixa de maior reflectância é a IVP, com comprimento de onda de 760 nm a 900 nm, equivalente a banda 5. A operação entre estas bandas é denominado de Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI, da sigla do inglês: *Normalized Difference Vegetation Index*) expresso pela seguinte equação:



$$NDVI = \frac{\rho IVP - \rho VERM}{\rho IVP + \rho VERM}$$

Eq. 9.3

Onde,

IVP é a banda do infravermelho próximo (near infrared).

RED é a banda do vermelho

Os valores de NDVI variam de -1 a +1 e apresentam comportamento linear, onde a vegetação densa, com pouca radiação na banda do vermelho e do IVP tendem a 1 (Chagas, 2006). E para áreas descampadas com alta radiação, os valores tendem a 0. Para Ponzoni e Shimabukuto (2010) é possível verificar as mudanças na fenologia e na distribuição de biomassa baseado nas variações do comportamento espectral e temporal da vegetação, e na análise do NDVI.

Este índice foi utilizado nas classificações não supervisionadas das imagens Landsat-8, Setinel-2 e Mosaicos Landsat-8.

SAVI - Soil-Adjusted Vegetation Index

Huete (1988) propôs um novo modelo para o caso de coberturas vegetais pouco densas, o SAVI que é calculado a partir da seguinte equação:

$$SAVI = \frac{(\rho IVP + L_2) - (\rho VERM + L_1)}{(\rho IVP + L_2) + (\rho VERM + L_1)}$$
Eq. 9.4

 $L_1 e L_2$ são equivalentes e pode-se utilizar L' = $L_1 + L_2 = 2L$. Desse modo, obtém-se o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), em que L representa um fator de cobertura do solo que varia de 0 a 1, sendo zero o valor correspondente à não-existência de cobertura vegetal e 1 à cobertura total do solo (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). O fator de multiplicação (1+L) impõe que os valores desse índice oscilem de -1 a +1. Assim, obtém-se a Equação:

$$SAVI = \left[\frac{(\rho IVP - \rho VERM)}{(\rho IVP + \rho VERM + L)}\right]. (1 + L)$$
Eq. 9.5

EVI - Enhanced Vegetation Index

O Índice de Vegetação Melhorado (EVI), segundo proposição de Huete *et al*. (1997), busca otimizar o sinal da vegetação, intensificando a resposta em regiões de elevada concentração de biomassa, melhorando as interferências do solo e atmosféricas nas respostas. Além disso, alguns trabalhos sugerem que o EVI apresenta substancial melhora na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI, principalmente em áreas de maior densidade de biomassa (*e.g.* florestas) (HUETE *et al.*, 2002). É um cálculo que leva em consideração o vermelho e infravermelho como o NDVI, mas utiliza a banda do azul para descontar influências atmosféricas no índice.



A formulação do EVI é a seguinte:

$$EVI = \left[\frac{G.(\rho IVP - \rho VERM)}{(L + \rho IVP + C1.\rho VERM - C2.\rho AZUL)}\right]$$

Eq. 9.6

C1 é coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho, C2 é coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do azul, e podem ser alterados de acordo com condições regionais. L é fator de correção para a interferência do solo e G é fator de ganho.

A ideia inicial para o uso dos três índices de vegetação era que a combinação dos três intensificasse a resposta espectral de diferentes coberturas vegetais com intuito de diferenciar, pelos menos, a classe floresta da classe mangue e, ao mesmo tempo melhorar as interferências com as demais classes. No entanto, os resultados não foram muito satisfatórios com o uso do EVI e SAVI, assim, optou-se pelo uso apenas do NDVI.

9.1.3.3.5. Classificação de Imagens: algoritmo ISODATA

Uma das maiores dificuldades encontradas pelos usuários de dados de sensoriamento remoto reside, entretanto, na disponibilidade de método rápido e preciso para mapear áreas para uso e cobertura da terra. Neste sentido, o processamento digital das imagens assume papel de grande importância, pois seus produtos podem fornecer subsídios para a compreensão dos fenômenos ambientais, além da possibilidade de auxiliar o planejamento estratégico em distintas situações.

A elaboração de um mapa de uso e cobertura tem como fundamento a interpretação, análise e registro de informações no que concerne a observação da paisagem em foco (IBGE, 2006) e atua como subsídio para avaliação de impactos ambientais. Trabalhar com a classificação dos usos e da cobertura da terra, demanda a consciência de que as modificações ocorridas no meio têm um propósito por parte da ação humana.

Segundo Praksan (2010), os termos uso e cobertura têm significados distintos, onde cobertura refere-se aos componentes que revestem a superfície terrestre, sendo solos, rochas, vegetação e corpo d'água. O uso tem relação com as atividades humanas presentes e executadas sobre a cobertura da terra.

Há diferentes formas na literatura de extração dos dados obtidos de sensores. O objetivo da aplicação de técnicas de classificação automática é substituir a subjetividade da interpretação visual de imagens por técnicas automáticas de identificação, que maximizam a extração de informações, de forma mais rápida e precisa. O processo de classificação consiste em agrupar todos os pixels de uma imagem digital em várias classes ou temas (PCI GEOMATICS, 2013). A classificação automática de imagens de sensores remotos é dividida em técnicas supervisionadas e não-supervisionadas.

A diferença básica entre essas duas técnicas diz respeito à quantidade de informação prévia que o analista possui sobre a área em estudo, uma vez que, na técnica não-supervisionada, o computador classifica a imagem utilizando um algoritmo, baseado no agrupamento de pixels que apresentam respostas espectrais semelhantes no espaço de atributos das bandas utilizadas (JENSEN, 1996). Já na classificação supervisionada, o usuário define áreas de treinamento em função de seu conhecimento prévio sobre a região em estudo, que são representativas das principais unidades de paisagem e que servirão para



modelar a assinatura espectral dos diferentes usos e coberturas do solo. Este procedimento gera parâmetros estatísticos que vão servir como critério de decisão para determinar a que tema determinado pixel pertence (FONSECA *et al.*, 2009).

Nas fases iniciais do projeto, foram utilizadas duas técnicas de classificação não-supervisionada: o classificador Fuzzy K-médias (K-means) e o ISODATA, objetivando avaliar a qualidade da classificação das imagens, considerando a quantidade de classes identificadas e a precisão na identificação destas classes, a priori, apenas visualmente.

Os dois algoritmos apresentaram resultados muito semelhantes na individualização das classes. Assim, estabeleceu-se a utilização de apenas um algoritmo (ISODATA) na referida classificação com intuito de otimizar o trabalho, no que se refere a tempo de processamento, além de melhor aproveitamento de memória.

Aliada à classificação com uso do algoritmo ISODATA, foi utilizada também nas primeiras fases do projeto a classificação Orientada a Objeto, visando agregar maior qualidade nas análises das imagens, considerando a quantidade e precisão das de classes identificadas. Este tipo de classificação baseia-se nos objetos ou segmentos da imagem e não nos pixels individualizados. Assim, foram realizadas segmentações, onde as imagens foram divididas em regiões homogêneas e contíguas, e desta forma, criadas diferentes *layers* contendo os objetos em variadas escalas, de acordo com critérios de tamanho, forma e cor, conectados entre si. Após a segmentação, o processo de classificação foi realizado. Nesta classificação, foram utilizados o *software eCognition* 9.0.1 *Developer*, 7 (sete) bandas espectrais das imagens, juntamente com o índice de vegetação NDVI.

Porém, foi verificado que a classificação ISODATA se mostrou mais apropriada para as imagens que foram utilizadas neste estudo, com diferenciação das classes muito satisfatória.

O algoritmo ISODATA identifica padrões típicos nos níveis de cinza. Esses padrões, denominados *clusters,* são classificados efetuando-se visitas de reconhecimento a alguns exemplos para determinar sua interpretação. Neste tipo de classificação, as classes são determinadas pela análise de agrupamentos (*cluster analysis*). Para tanto, é necessário que o usuário determine o número de classes e a quantidade de interações, bem como configurar o desvio padrão, o erro de distância mínima, entre outros parâmetros, para deixar o algoritmo mais ajustado para o objetivo proposto. Porém, é importante ressaltar que esse algoritmo é muito sensível a esses parâmetros, podendo gerar classificações muito diferentes quando são realizados vários testes para um mesmo conjunto de dados.

Nesta etapa inicial foi determinado o número de classes de interesse a serem obtidas pela classificação não-supervisionada das imagens ópticas, as quais a princípio eram apenas cinco classes (Manguezal, Floresta, Praias, Apicuns e Área úmidos), porém, no decorrer do estudo, foram identificadas as doze classes seguintes

- Manguezal
- Floresta
- Área Campestre



- Agricultura / Pastagem
- Água
- Área Úmida ou inundável
- Áreas Urbanizadas
- Áreas descobertas
- Área Não Classificada
- Banco de Areia
- Praias e Dunas
- Vegetação Herbácea
- Apicum

Em seguida, iniciou-se a classificação utilizando as diferentes bandas espectrais das imagens, juntamente com os índices de vegetação EVI, NDVI e SAVI. O processo todo foi realizado utilizando o módulo *Focus* do programa PCI Geomatica 2018 (PCI GEOMATICS, 2013).

A classificação das imagens de radar (Sentinel-1A e ALOS PALSAR) foi realizada utilizando o mesmo software e o mesmo classificador. Neste caso, foram priorizadas as áreas com alta cobertura de nuvens onde houve dificuldade em identificar as classes através das imagens ópticas. Foi realizado o mesmo procedimento anteriormente descrito para as imagens ópticas, com exceção do uso dos índices de vegetação, também sendo estimado o número de classes de interesse para as imagens de radar na classificação não-supervisionada:

- Manguezal
- Floresta
- Área Campestre
- Agricultura / Pastagem
- Água
- Áreas descobertas

Durante o processo de classificação das imagens de radar, houve a dificuldade de identificar e separar a classe Manguezal da classe Floresta pelo algoritmo ISODATA nas imagens Sentinel-1A. Por isso, a classe Manguezal foi identificada apenas pelas imagens ALOS PALSAR, que são sensores de radar de banda L e possuem uma maior penetração nos alvos do que aqueles que operam na banda C (como o sensor Sentinel-1) permitindo maior diferenciação dos alvos. As cenas do sensor ALOS PALSAR também foram utilizadas em áreas não abrangidas pelas cenas da Sentinel-1A.



Após essa etapa de classificação das imagens óticas e radar, foi realizada uma etapa de pós-classificação que será descrita a seguir, cujos procedimentos incluem uso de ferramentas de edição nas imagens classificadas, tornando-as visualmente mais adequadas para o usuário final.

9.1.3.3.6. Fases de Interpretação

Edição de Classes

Ao longo da fase de interpretação, as classes passaram por algumas revisões e análises com referência no Banco de Dados e Literatura levantados. Além disso, as classes identificadas pelo algoritmo ISODATA passaram por um processo de edição vetorial no *software* ArcGis 10.5, ancorado nos dados secundários, imagens de alta resolução disponíveis na plataforma Google Earth e informações textuais, sendo então ajustadas através de funções de integração de análise espacial, para que estas classes tivessem uma melhor representação da realidade local e, desta forma, pudessem apresentar maior acurácia no produto final.

Legenda do Mapeamento: Cor e Simbologia

O produto final da classificação precisou, ainda, de uma legenda que compreendesse um conjunto de informações relativas às classes de uso e cobertura, de modo a atender o objetivo proposto e as especificações cartográficas necessárias, como notações de cores para as classes temáticas e a simbologia.

Na interpretação de imagens de sensoriamento remoto, a extração de informações visando à identificação e discriminação dos objetos, depende, primordialmente, da forma de apresentação visual da imagem. Uma das formas mais comum e eficiente é por meio de imagens coloridas. Assim, as cores foram usadas como forma de exposição dos resultados visando realçar suas informações para facilitar sua interpretação. A visualização em preto e branco das bandas individuais de um sensor não é a forma mais ideal para se analisar o conteúdo de informação dos dados. A intenção de usar a cor foi propiciar uma alta qualidade de extração de informações para o mapeamento temático. Desta forma, foi empregado o sistema de cor mais usado entre os modelos de cores, o RGB, para distinção das classes temáticas mapeadas no presente estudo, as quais são (Tabela 9-13)



Tabela 9-13: Notações de cores RGB correspondentes às classes temáticas

CLASSE	RGB
Manguezal	R115G115B0
Floresta	R38G115B0
Área Campestre	R211G255B190
Agricultura / Pastagem	R255G170B0
Água	R190G232B255
Área Úmida ou Inundável	R197G0B255
Áreas Urbanizadas	R255G190B232
Áreas descobertas	R168G112B0
Área Não Classificada	R156G156B156
Banco de Areia	R255G211B
Praias e Dunas	R255G235B175
Vegetação Herbácea	R170G255B0
Apicum	R215G176B158

A simbologia ficou limitada apenas em função do seu componente principal e foram plotados em polígonos representantes da área de estudo, dos limites estaduais, limite internacional, Rodovias Federais, Docas e órbita-ponto das imagens orbitais, todos estes distribuídos espacialmente.

Consolidação das Informações: Integração das informações oriundas dos sensores ópticos e radar

Após a etapa de classificação das imagens dos sensores ópticos e radar e edição das classes obtidas, foi realizada a integração dos resultados obtidos de ambos os sensores. Primeiramente, os resultados da classificação das imagens de sensores ópticos (Landsat-8, Sentinel-2 e *Composites* Landsat-8) foram integrados a fim de obter um único produto desta classificação. O mesmo procedimento foi realizado para a classificação das imagens de radar, integrando-se as informações obtidas das imagens Sentinel-1A e ALOS PALSAR.

Posteriormente, foi necessária a integração das informações obtidas de ambas as classificações, radar (Sentinel-1A e ALOS PALSAR) e óptica (Landsat-8 e Sentinel-2), para obter um produto final adequado visualmente de toda a área de estudo. Essa integração consistiu na união das classes obtidas através das ferramentas do *software* ArcGIS: *Erase*, que eliminou toda sobreposição e duplicação de classificação e *Merge, que unificou os dois mosaicos (óptico e radar)*.

O uso integrado desses dois tipos de sensores foi muito importante para a identificação e caracterização dos ecossistemas costeiros, extraindo-se o máximo de informações, pois permitiu a visualização do



produto em escala regional, abrangendo a referida área em toda sua extensão. Ao mesmo tempo, ficou realçado a potencialidade do uso combinado destes sensores para dirimir as dificuldades encontradas em se utilizar apenas um sensor (ou Radar ou Óptico), devido às limitações específicas de cada um. A eficácia desta abordagem ficou refletida nos resultados adquiridos, evidenciado no total da área mapeada e na acurácia global alcançada na análise estatística realizada para validação dos resultados.

9.1.3.3.7. Validação das Classes de Uso e Cobertura da Terra

Após a etapa de finalização de pós-classificação e edição, as classes de uso e cobertura identificadas foram submetidas ao processo de validação.

A etapa de validação da classificação obtida de sensores ópticos e de radar contou com uma revisão das classes de uso e cobertura identificadas conjuntamente com as imagens classificadas e, visando à redução de erros semânticos para um consequente aumento da acurácia do mapeamento. Além de Referências Bibliográfica, esta revisão contou com as seguintes bases de dados institucionais e informações:

- Base cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, Ministério de Infraestrutura e Exército;
- Banco de Dados Gráficos e Textuais MMA (Ministério do Meio Ambiente), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e ANA (Agência Nacional de Águas).
- Imagens de alta resolução disponibilizadas na plataforma Google Earth,
- Projeto Mapbiomas (http://mapbiomas.org/), que consiste no mapeamento de uso e cobertura para todo o território nacional.

Além disso, houve a integração entre os núcleos de Sensoriamento Remoto do Projeto Costa Norte, representados pelos Laboratórios LABSAR e ESPAÇO. Esta atividade ocorreu através da comparação, qualitativa e quantitativa, das classes identificadas nos mapeamentos elaborados através de dados de sensoriamento remoto de média resolução espacial por ambos os laboratórios, para as áreas de interesse Soure (Figura 9-12), São Caetano de Odivelas (Figura 9-13) Turiaçu (Figura 9-14) e, Sucuriju (Figura 9-15). A seguir, serão apresentadas as comparações e compatibilidades das classes identificadas em ambos os mapeamentos, reforçando a consistência dos resultados do método de classificação utilizado no âmbito do Laboratório LABSAR.



	Soure: 1.294 Km ²												
Classe Espace	Classo Labear	Pré Integração						Pós Integração					
	Classe Labour	Área Total Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Espaço	Área Mapeada Labsar e Espaço	Área Mapeada Labsar > Área Mapeada Espaço	Área Mapeada Espaço > Área Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Espaço	Área Mapeada Labsar e Espaço	Área Alterada / Corrigida Labsar	Diferença de Borda e Contorno		
Mangue	Mangue	243 km²	226 km²	188 km²	55 km²	38 km²	226 km²	226 km²	188 km²	17km²	38 km²		
Areia / Área de Colonização	Dunas e Praia	8,3 Km²	8,6 km²	4,4 km²	3,9 km²	4,2 km²						As diferenças encontradas são justificadas pelo uso de diferentes dados e também contorno devido às diferentes técnicas de mapeamento e escala utilizadas pelos dois grupos de pesquisa.	
Área Urbana	Área Urbana	12,8 Km²	13,7 km²	9,6 km²	3,2 km²	4,1 km²	14,5 km²	13,7 km²	11,3 km²	1,7 km²	2,4 km²		
Vegetação Herbácea com Presença de Mangue	Vegetação Herbácea, Floresta, Mangue, Campos	103,4 km²	113,8 km²	103,4 km²	0	10,4 km²			•		-	A diferença de 10,4 km² consiste em Contorno.	
Corpos Hídricos	Água	202,8 km²	220,4 km²	184,4 km²	18,4 km²	36 km²	-					As diferenças encontradas são justificadas pelo uso de diferentes dados e também contorno devido às diferentes técnicas de mapeamento e escala utilizadas pelos dois grupos de pesquisa.	





Figura 9-12: Exemplo de integração entre os núcleos LABSAR e ESPAÇO em Soure.



	São Caetano de Odivelas: 1338,6 km ²											
Classe Espaço		Pré Integração						Pós Integração				
	Classe Labsar	Área Total Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Espaço	Área Mapeada Labsar e Espaço	Área Mapeada Labsar > Área Mapeada Espaço	Área Mapeada Espaço > Área Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Espaço	Área Mapeada Labsar e Espaço	Área Alterada / Corrigida Labsar	Diferença de Borda e Contorno	_
Mangue	Mangue	232, 8 km²	276 km²	207,7 km²	25,1 km²	68,3 km²	270,4 km²	276 km²	245,3 km²	37,6 km²	30,7 km²	
Areia / Área de Colonização	Dunas e Praia	5 km²	54,4 km²	2,8 km²	2,2 km²	51,6 km²	-	-		-	-	Embora a diferença entre seja considerável, esta co dado utilizado, pois foran de areia que nao apa significativa em no
Área Urbana	Área Urbana	11,5 km²	24 km²	8,5 km²	3 Km²	15,5 km²	19,23 km²	24 km²	16,7 km²	7,7 km²	7,3 km²	(. . .
Vegetação Herbácea com Presença de Mangue	Vegetação Herbácea, Floresta, Mangue, Campos	9,9 km²	11,5 km²	9,9 km²	0	1,6 km²	-	-		-	-	A diferença de 1,6 km² c
Corpos Hídricos	Água	519,6 km²	386,5 km²	302,5 km²	217,1 km²	84 km²	518 km²	386,5 km²	302,5 km²	1,6 km²	84 km²	15-5



Figura 9-13: Exemplo de integração entre os núcleos LABSAR e ESPAÇO em São Caetano de Odivelas.

s
e as áreas mapeadas corresponde ao tipo de n identificados bancos areceram de forma ossas imagens.
consiste em Contorno.



	Turiaçu: 1.259 km²												
				Pré Integração			Pós Integração						
Classe Espaço Classe Labsa	Área Total Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Espaço	Área Mapeada Labsar e Espaço	Área Mapeada Labsar > Área Mapeada Espaço	Área Mapeada Espaço > Área Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Espaço	Área Mapeada Labsar e Espaço	Área Alterada / Corrigida Labsar	Diferença de Borda e Contorno			
Mangue	Mangue	533,6 km²	474,7 km²	401 km ²	132,6 km²	73,7 km²	471,32 km²	474,7 km ²	401 km ²	62,3 km²	73,7 km²		
Areia / Área de Colonização	Dunas e Praia	8 km²	121,4 km²	4,8 km²	3,2 km²	116,6 km²	-	-	-	1	-	Embora a dife seja considera dado utilizado de areia q signific	
Área Urbana	Área Urbana	2,9 km²	3,2 Km²	1,7 km²	1,2 km²	1,5 km²	4,3 km²	3,2 Km²	3,1 km²	1,4 km²	0,1 km²		
Vegetação Herbácea com Presença de Mangue	Vegetação Herbácea, Floresta, Mangue, Campos	18,7 km²	24, 6 km²	18,7 km²	0	5,9 km²	Ť	-	-	-	-	A diferença d	
Corpos Hídricos	Água	419 km²	330 Km²	304,4 km²	114,6 km²	25,6 Km²	-	-	-	-	-	A diferença de	



Figura 9-14: Exemplo de integração entre os núcleos LABSAR e ESPAÇO em Turiaçu.





						Sucuriju: 22	5, <mark>2 k</mark> m²					
Pré Integração								Pós Integração				
Classe Espaço Classe Labsar Área Total Área Total Área Total Mapeada La Labsar Espaço Es				Área Mapeada Labsar e Espaço	Área Mapeada Labsar > Área Mapeada Espaço	Área Mapeada Espaço > Área Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Labsar	Área Total Mapeada Espaço	Área Mapeada Labsar e Espaço	Área Alterada / Corrigida Labsar	Diferença de Borda e Contorno	
Mangue	Mangue	174,4 km²	197,3 km²	170 km²	4,4 km ²	27,3 km²	201,9 km²	197,3 km²	197,3 km²	22,9 km²	8,2 km²	
Área Urbana	Área Urbana	13	0,1 km²	-	-	-	0,1 km²	0,1 km²	0,1 km²	-	-	
Corpos Hídricos	Água	16,1 Km²	26,4 km²	15,3 km²	0,8 km²	11,1 km²	-	-		-	-	



Figura 9-15: Exemplo de integração entre os núcleos LABSAR e ESPAÇO em Sucuriju.

Capítulo 9 Caracterização do uso e cobertura do solo e da linha de costa





Acurácia Global

A exatidão de um mapa indica à proximidade de uma determinada medida ao seu valor real, determinando a confiabilidade de um mapeamento. Neste contexto, procedimentos estatísticos são realizados a fim de calcular a acurácia ou exatidão de uma classificação de imagem. Através do cálculo da matriz de confusão, é possível derivar medidas e consequentemente, verificar erros oriundos do processo de atribuição dos pixels a determinadas classes, inserindo graus de confiabilidade aos produtos de sensoriamento remoto. Os procedimentos implementados nesse trabalho para o cálculo da Acurácia Global consistiram sequencialmente em:

1. Estabelecimento dos métodos de coleta e distribuição das amostras, seleção de bases para validação;

- 2. Elaboração da Matriz de Confusão;
- 3. Avaliação dos resultados.

De acordo com Brites *et al*. (1996), entende-se por padrão de amostragem a maneira, em termos espaciais, em que as amostras serão tomadas sobre uma dada área. Em sensoriamento remoto, estes padrões são de fundamental importância, uma vez que, a depender deles, poder-se-á incorrer na incorporação de amostras com alta correlação espacial.

Durante a análise, constatou-se que a complexidade da área estudada está diretamente associada à percepção do classificador e consequentemente aos objetos que se deseja mapear. Assim, pensando-se a construção dos dados para aferir a confiabilidade dos resultados obtidos pelos processos de classificação, o primeiro passo para a construção da matriz, com a finalidade de se obter a concordância entre as classes de referência e as classificadas pelo ISODATA, foi o levantamento randômico de um total de 1.600 pontos amostrais na área de interesse (distribuídos em aproximadamente 1 ponto a cada 53,12 km²) a partir da utilização do *software* ArcGis.

Após lançada a malha de pontos foi realizada a identificação de cada ponto de acordo com a classe sobre a qual este estava localizado. Para isso, utilizou-se imagens de alta resolução do Google Earth como referência, pois como a área em estudo é muito extensa, tornou-se inviável a realização de trabalho de campo. Não obstante, o uso desta alternativa mostrou-se muito eficaz para o entendimento de padrões e objetos geográficos em determinadas áreas de interesse, configurando um importante aparato informacional de apoio e no esclarecimento de dúvidas, que ficou evidenciado no resultado da acurácia global que será discutido mais adiante.

Posteriormente ao levantamento dos pontos amostrais, foi elaborada a matriz de confusão como a forma de representação da qualidade obtida na classificação das imagens, sendo expressa por meio da correlação de informações dos dados de referência (compreendido como verdadeiro) com os dados classificados. Também pode ser expressa, pela análise das amostras de treinamento juntamente com os dados classificados.

Com o produto obtido por meio da classificação utilizada neste estudo, pode-se constatar que este pode variar em função da cena, da área de estudo, da época em que foi adquirida a imagem e dos métodos utilizados para extrair informações da imagem, e estes são fundamentais para o alcance do objetivo



proposto. Diante dessa variação de possibilidades os resultados devem refletir a maioria destes aspectos. Por isso, para validar o que foi constatado visualmente nas classificações é importante construir a matriz de confusão, que representa a distribuição de percentagens de pixel classificados de forma correta ou erroneamente (CONGALTON, 1991).

Segundo Congalton & Green (1999), a matriz de confusão é uma maneira muito eficaz para representar a precisão do mapa. Uma matriz de confusão ou matriz de erros é uma matriz quadrada que expressa a relação do número de unidades de amostra atribuída a uma categoria particular de duas classificações. Nessa matriz, geralmente, as colunas representam os dados de referência (verdade de campo) e as linhas representam a classificação obtida com algum método de classificação utilizado.

Em uma matriz de confusão, a frequência observada na diagonal (n_{ii}) representa os elementos classificados corretamente. A coluna marginal (n_i+) representa o total de elementos classificados para uma categoria i. A linha marginal (n+i) representa o total de elementos de referência amostrados para uma categoria i (Tabela 9-14). Congalton (1991) afirma que se a matriz for mal construída, toda a análise é insignificante. Portanto, os seguintes fatores devem ser considerados para a construção de uma matriz corretamente: padrão, unidade e número de amostras. Estes fatores fornecem informações essenciais para a avaliação de uma matriz.

		j = Coluna			
		1	2	k	Total de Linhas ni+
(0	1	n11	n12	n1k	n1+
Classificação	2	n21	n22	n2k	n2+
i = Linhas (0	К	n2k	n2k	nkk	nk+
Total de Colunas n+i		n+1	n+2	n+k	n

Tabela 9-14: Estrutura de uma matriz de confusão

Fonte: Adaptada de Congalton & Green (1999).

Nesta matriz de confusão, os resultados da classificação das imagens foram comparados com informações adicionais sobre a região em estudo. Ela identifica a natureza dos erros de classificação, bem como suas quantidades, sendo este o ponto forte de uma matriz de confusão. Além de dizer qual a taxa de acerto geral, a análise de acurácia também revela estimativas das taxas de acerto e de erro para cada classe mapeada.

Na referida matriz, as classes de validação, ou os valores "reais", foram colocados ao longo do eixo **x** e as classes de "Referência", ou de Cobertura / Uso da Terra classificados, ao longo do eixo y (Tabela 9-15). A



matriz produz "acurácia do usuário", "acurácia do produtor" e "Acurácia global". Com base na diferença entre o acordo real na matriz de erros e o acordo de chance indicado pela linha e coluna totaliza um cenário abrangente para análise de imagem. Estas acurácias podem ser explicitadas da seguinte forma:

As acurácias do usuário: São as estimativas das frações de pixels do mapeamento, para cada classe, corretamente classificados. A acurácia do usuário está associada ao erro de comissão, que é o erro cometido ao atribuir um pixel à classe i, quando este pertence a alguma outra classe. A acurácia do usuário para a classe i é estimada por $\widehat{U}_i = \widehat{p_{i,j}} / \widehat{p_{i,*}}$ e o erro de comissão por $1 - \widehat{U}_i$. Essas métricas estão associadas a confiabilidade da de cada classe mapeada.

Acurácias do produtor: São as frações amostrais de pixels de cada classe corretamente atribuídos às suas classes pelos classificadores. A acurácia do produtor está associada ao erro de omissão, que ocorre quando deixamos de mapear um pixel da classe j corretamente. A acurácia do produtor para a classe j é estimada por $\hat{P}_j = \widehat{p_{4,j}} / \widehat{p_{4,j}}$ e o erro de omissão por $1 - \widehat{P}_j$. Essas métricas estão associadas à sensibilidade do classificador, ou seja, a capacidade de distinguir corretamente determinada classe entre demais.

Acurácia global: É a estimativa da proporção de acerto global dos classificadores. A estimativa é dada por $\hat{G} = \sum_{i=1}^{H} \widehat{P_{i,i}}$, a soma da diagonal principal da matriz de proporções. O complementar da acurácia, ou o erro total ainda é decomposto em discordância de área e discordância de alocação. A discordância de área mede a fração do erro atribuída à quantidade de área atribuída incorretamente às classes pelo mapeamento, enquanto a discordância de alocação à proporção de erros de deslocamento (PONTIUS & MILLONES, 2011).

Como resultado, observou-se na Tabela 9-15 que das doze classes mapeadas com o sensor óptico, apenas uma teve desempenho inferior a 60% na acurácia do usuário, sendo Área Úmida ou Inundável 55%. Já na acurácia do produtor, Área Úmida ou Inundável 45,8% e Agricultura/Pastagem 52%. A classe água teve 97% de acerto na acurácia do usuário e na acurácia do produtor devido ao padrão homogêneo de sua assinatura espectral. As classes Apicum, banco de areia, Manguezal, Praia e dunas, Vegetação herbácea e Área Campestre foram as que obtiveram acurácia excelentes do usuário (93,3%, 84,6%, 86,3%, 90,5%, 92,3% e 83,8% respectivamente). Já acurácia do produtor foi excelente para Apicum, Manguezal, Praia e dunas, Vegetação herbácea, Área Campestre, Áreas descobertas e Área urbanizada com 93,3%, 81,7%, 100,0%, 80,0%, 86,1%, 90,9% e 83,3 respectivamente.

As classes que apresentaram melhor desempenho de classificação foram as classes Apicum com 93,3%, Praias e dunas com 90,5%, Vegetação herbácea com 92,3% e Água com 97,0% de exatidão na acurácia do usuário. Já na acurácia do produtor foram Apicum com 93,3%, Praias e dunas com 100%, Água com 97% e Áreas descobertas com 90,9%. Acredita-se que a obtenção destes valores se deve a distinção referente à resposta espectral (água, vegetação, área úmida e areia).

Além disso, verificou-se que a acurácia Global foi de 81,9%, considerado "Excelente", de acordo com Congalton & Green (2009), refletindo quão apropriado foi a quantidade e distribuição de pontos na área de interesse e, o mais importante, a qualidade da classificação.



Tabela 9-15: Matriz de Confusão para imagens Ópticas

	Dados de Referência													
	Agricultur a / Pastagem	Apicu m	Banc o de Areia	Florest a	Manguez al	Praias e Dunas	Vegetaçã o Herbácea	Água	Área Campestr e	Área Úmida ou Inundáve I	Áreas Descoberta s	Área Urbanizad a	Tota I	Acuráci a do Usuário
Agricultura / Pastagem	52	0	0	23	0	0	0	0	1	3	1	0	80	65.0%
Apicum	0	28	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	30	93.3%
Banco de Areia	0	0	11	0	0	0	0	2	0	0	0	0	13	84.6%
Floresta	42	0	0	156	19	0	2	0	1	2	0	2	224	69.6%
Manguezal	2	2	0	10	107	0	0	3	0	0	0	0	124	86.3%
Praias e Dunas	0	0	1	0	0	19	0	1	0	0	0	0	21	90.5%
Vegetação Herbácea	0	0	0	0	1	0	12	0	0	0	0	0	13	92.3%
Água	0	0	2	0	3	0	0	228	0	2	0	0	235	97.0%
Área Campestre	0	0	0	7	0	0	1	0	62	4	0	0	74	83.8%
Área Úmida ou Inundável	1	0	0	1	0	0	0	1	6	11	0	0	20	55.0%
Áreas Descobertas	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	10	0	14	71.4%
Área Urbanizada	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10	14	71.4%
Total	100	30	14	199	131	19	15	235	72	24	11	12	862	
Acurácia do Produtor	52.0%	93.3%	78.6 %	78.4%	81.7%	100.0 %	80.0%	97.0 %	86.1%	45.8%	90.9%	83.3%		81.9%



Ainda considerando os resultados, porém para classes mapeadas com o RADAR (Tabela 9-16), constatouse que das seis classes mapeadas, apenas Florestas obteve um desempenho inferior a 70% na acurácia do usuário, mas na acurácia do produtor seu desempenho foi de 96,6%. As demais classes, Manguezal, Agricultura e pastagem, Água, Áreas descobertas e Áreas campestres, obtiveram desempenho excelente na acurácia do usuário. Na acurácia do produtor as classes Áreas descobertas e Área Campestre tiveram um desempenho baixo, com 57,1% e 38,4% respectivamente, e o restante dessas classes obtiveram desempenho excelente.

Por fim, a classificação realizada nas imagens de Radar foi qualificada como "Excelente", segundo Conglaton & Green (2007), considerando que acurácia Global foi de 81,5%.





Tabela 9-16: Matriz de Confusão para imagens de RADAR

Dados de Referência									
		Manguezal	Agricultura / Pastagem	Água	Áreas Descobertas	Florestas	Área Campestre	Total	Acurácia do Usuário
Classificação da Imagem	Manguezal	61	0	1	0	0	4	66	92.4%
	Agricultura / Pastagem	0	14	0	0	0	0	14	100.0%
	Água	1	0	178	0	0	1	180	98.9%
	Áreas Descobertas	0	0	0	4	0	0	4	100.0%
	Florestas	2	0	7	2	259	101	371	69.8%
	Área Campestre	1	0	2	1	9	66	79	83.5%
	Total	65	14	188	7	268	172	714	
	Acurácia do Produtor	93.8%	100.0%	94.7%	57.1%	96.6%	38.4%		81.5%



Entende-se que esse nível de transparência, traduzido na análise estatística, informa e maximiza o potencial do uso desta ferramenta de classificação para o mapeamento de uso e cobertura como subsídio para tomadas de decisão, uma vez que com os resultados alcançados, constatou-se que tal classificação apresentou um desempenho considerado "Excelente" para acurácia Global, frente a complexidade da cobertura da área em estudo, das culturas temporárias, da sazonalidade da região e das similaridades físicas e assinaturas espectrais das imagens classificadas.

9.1.3.3.8. Elaboração dos Mapas

Após a etapa de integração e validação dos resultados dos sensores óticos e radar, foi realizada a elaboração de mapas temáticos desses produtos a fim de representar graficamente a classificação da área de estudo. A apresentação dos resultados em mapas temáticos é importante para transmitir de forma clara e objetiva as informações obtidas da classificação das imagens. Além disso, constitui uma ferramenta importante no monitoramento da linha de costa do presente estudo.

Alguns elementos essenciais foram considerados na elaboração dos mapas, tais como: classificação do uso e cobertura da terra obtida de sensores óticos e radar ao longo desse projeto e base de dados de cais, rodovias federais, sedes municipais e limites estadual e internacional obtidos do site do IBGE e do Ministério de Infraestrutura e Exército.

Dessa forma, os mapas foram elaborados mostrando a classificação do uso e cobertura da terra em toda a área de estudo, bem como em áreas menores que foram determinadas a partir da delimitação das cenas (*órbita-ponto*) do Landsat-8. A visualização da classificação em *grids* visa mostrar de forma mais detalhada o produto obtido ao longo de toda a área de estudo. Todos os mapas confeccionados podem ser visualizados no Anexo I (9.4).

9.1.3.4. Resultados

Para o uso e ocupação da terra buscou-se através da classificação não-supervisionada, definir as classes de acordo com sua possível finalidade e sua especificidade. O algoritmo ISODATA foi o que melhor separou a vegetação de mangue em relação ao classificador Fuzzy e à classificação Orientada a Objeto.

Durante o processo de classificação não-supervisionada das imagens óticas e radar utilizando o algoritmo ISODATA, algumas classes espectrais geradas coincidiram outras não, com as classes de interesse. Trata-se, portanto de uma operação exploratória para verificar o que é estatisticamente separável ou não, quais as classes mais evidentes e sua relação com as classes de interesse para discriminar. As classes identificadas foram:

Classe 1 - Agricultura e Pastagem: Segundo IBGE (2013), a terra agrícola pode ser definida como terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas, caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas. Podem se constituir em zonas agrícolas heterogêneas ou representar extensas áreas de *plantations*. Encontram-se inseridas nesta categoria as lavouras temporárias, lavouras permanentes e pastagens plantadas. Neste estudo, as áreas agrícolas e de pastagem estão agregadas em



uma única classe – Agricultura/Pastagem – devido à limitação dos sensores de média resolução e dos procedimentos adotados em diferenciá-las.

Classe 2 - Água: Devido a escala de mapeamento adotado, a classe água envolve tanto águas continentais como costeiras. Segundo IBGE (2013), esta classe representa cursos de água e canais (rios, riachos, canais e outros corpos de água lineares), lagos naturais e regulados, reservatórios artificiais, lagoas costeiras ou lagunas, estuários e baías.

Classe 3 - Apicum: De acordo com Bigarella (1947), os apicuns são resultado da deposição de areias finas por ocasião da preamar, sendo parte da sucessão natural do manguezal para outras comunidades vegetais.

Classe 4 - Áreas Campestres: Entende-se como áreas campestres as diferentes categorias de vegetação caracterizadas por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Compreendem diferentes tipologias primárias com diversos graus de antropização (IBGE, 2013). Nesta classe, estão incluídas as formações campestres Savana, Campinarama e Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre.

Classe 5 - Áreas Descobertas: Estas áreas referem-se tanto a ambientes naturais, como rochas quanto a ambientes antrópicos, decorrentes da degradação provocada pelas atividades humanas (IBGE, 2013). Neste mapeamento, as áreas descobertas englobam feições e usos como: Mineração, Queimada, Solo exposto, Área Desmatada, Atividades Extrativistas, Inselberg, Salina, Unidades de Conservação (Proteção Integral e Uso Sustentável) e Áreas militares.

Classe 6 - Áreas Urbanizadas: Foram consideradas as áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), às vilas (sedes distritais) e às áreas urbanas isoladas. Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria: metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas. As áreas urbanizadas podem ser contínuas, onde as áreas não lineares de vegetação são excepcionais, ou descontínuas, onde as áreas vegetadas ocupam superfícies mais significativas. (CENSO DEMOGRÁFICO 2010, 2011; IBGE, 2013).

Classe 7 - Áreas Úmidas ou Inundáveis: Correspondem às áreas costeiras ou continentais submetidas a regimes de inundação. São Pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, com ou sem presença de florestas ou outras formas de vegetação, adaptadas à inundação (MMA, 2018).

Classe 8 - Banco de Areia: Bancos areno-lamosos em condições de intermaré, que podem ser encontrados no meio dos canais estuarinos e praias de macro maré durante o período de baixa-mar (TEIXEIRA & SOUZA FILHO, 2009).

Classe 9 - Floresta: Segundo IBGE (2013), considera-se como florestas as formações arbóreas com porte superior a 5 m. Neste estudo, esta classe abrange as fisionomias da Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua), da Floresta Aberta (estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior, conforme seu tipo (com cipó, bambu, palmeira ou sororoca), da Floresta Estacional (estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável (seca e frio). Devido à limitação dos sensores de média resolução e dos procedimentos



adotados, este título também inclui áreas remanescentes primárias, estágios evoluídos de recomposição florestal e silvicultura.

Classe 10 - Manguezal: Ecossistemas associados às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar, ou diretamente expostos à linha da costa (SCHAEFFER-NOVELL, 2004).

Classe 11 - Praia e Dunas: Referem-se às áreas de praias, dunas e extensões de areia ou seixos no litoral ou no continente, incluindo leitos de canais de fluxo com regime torrencial; dunas com vegetação esparsa ou sem vegetação, desenvolvidas no interior do continente ou nas zonas de praias; áreas de extração abandonadas e sem cobertura vegetal; áreas cobertas por rocha nua exposta (IBGE, 2013).

Classe 12 - Vegetação Herbácea: Correspondem a formações espontâneas secundárias, arbustivas, herbáceas e/ou gramíneo-lenhosas, em diversos estágios sucessionais de desenvolvimento.

Área não Classificada: Corresponde às áreas que não foram mapeadas devido à presença de nuvens ou sombra. Não é caracterizada como uma classe de mapeamento.

Durante o processo de classificação, foram obtidos resultados satisfatórios no mapeamento das principais feições da área em estudo. As Classes Floresta, Água, Manguezal e Área Campestre apresentam as maiores distribuições espaciais. A Figura 9-16, a Tabela 9-17 a Figura 9-17 representam a distribuição dos ecossistemas costeiros e usos da terra na área de estudo.





Figura 9-16: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra da Margem Equatorial Brasileira identificadas neste estudo.



Tabela 9-17: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra identificadas neste estudo.

Classe	Área (Km²)	Proporção das Classes (Aproximadamente)
Agricultura / Pastagem	5114.83	6%
Água	22939,77	27%
Banco de areia	35,50	0%
Apicum	651,54	1%
Áreas Urbanizadas	466,62	0%
Área Campestre	9854,49	12%
Áreas Descobertas	263,51	. 0%
Floresta	34596,71	41%
Praias e Dunas	198,72	0%
Área Úmida ou	1552,11	. 2%
Inundável		
Manguezal	8387,75	10%
Vegetação Herbácea	40,85	0%
Área Total	84.637,78	100%
Área não classificada	535,38	1%
Área Mapeada	84.102,4	99%



CAPÍTULO 9 Caracterização do uso e cobertura do solo e da linha de costa



Classes Uso e Cobertura - Margem Equatorial Brasileira

Figura 9-17: Proporção no Território das Classes de Uso e Cobertura da Terra na Margem Equatorial Brasileira.

Embora a área de estudo esteja submetida a condições climáticas que propiciam intensa cobertura de nuvens, as áreas não mapeadas devido a esses fatores totalizaram 535, 38 km², o que corresponde a aproximadamente 1% da área de estudo. Assim, o Mapeamento dos Ecossistemas Costeiros da Margem Equatorial Brasileira em Escala Regional foi realizado para aproximadamente 99% (84.102,4 km²) da área de estudo, resultado da utilização de multisensores orbitais de média resolução espacial, como os óticos Landsat-8 e Sentinel-2, e de radar ALOS PALSAR e Sentinel-1. Em adição aos dados mencionados, através de Processamento na Nuvem em larga escala da Plataforma *Google Earth Engine*, foram gerados mosaicos (*Composites*) de imagens do Satélite Landsat-8 para trechos da área de estudo onde a cobertura de nuvens foi superior a 90%.

Para a identificação de feições e padrões espaciais a partir de imagens de sensoriamento remoto, foram necessárias diferentes técnicas e modelagens que correspondem ao Processamento Digital de Imagens. O uso do algoritmo de classificação não supervisionada ISODATA demonstrou potencial para a discriminação dos ambientes costeiros tropicais, com base da interpretação das curvas espectrais das características do solo, da água e da vegetação e na análise estatística da variabilidade espectral na reflexão média dos alvos.



Verificou-se que a Acurácia Global foi de 81,9% (ótico) e 81,5% (radar), considerados como "Excelente", de acordo com Congalton & Green (2007), refletindo a qualidade da classificação

O ecossistema manguezal da Margem Equatorial Brasileira corresponde ao maior sistema contínuo de mangue do planeta. Distribuídos pelos Estados do Amapá, Pará e Maranhão, os manguezais apresentam uma extensão de 8.387,75 km², o equivalente a aproximadamente 10% do total da área de estudo (Figura 9-17, Tabela 9-17). Este constitui um importante recurso econômico utilizado pelas populações costeiras, que tiram o seu sustento dos manguezais através da pesca artesanal e de subsistência. Pescadores e catadores de moluscos e crustáceos têm nestas atividades a fonte de renda necessária à sua sobrevivência. Desta forma, a degradação do referido ambiente causa não só modificações no meio ecológico, mas também impactos sociais e econômicos (SILVA, 2006). Por estas razões, os manguezais são usualmente considerados entre os habitats mais importantes das zonas úmidas (DUGAN, 1992).

Em contraste com os manguezais de outras regiões do Brasil, os manguezais da Costa Norte sofrem menores intervenções antrópicas devido à uma pressão populacional ainda menos severa nas regiões costeiras da área de estudo e devido também às dificuldades de acesso (LARA, 2003). No entanto, os manguezais da Costa Norte estão ameaçados pelo crescimento populacional e desmatamento para diversas finalidades, como a crescente demanda por madeira (SENNA *et al.*, 2002; SZLAFSZTEIN, 2003) e o avanço das fronteiras agrícolas. Nesse contexto, cada vez mais se faz necessário iniciativas para a proteção efetiva das florestas de mangue ao longo da Costa Norte brasileira. A Figura 9-18 apresenta o ecossistema manguezal da Margem Equatorial Brasileira mapeado neste estudo.





Figura 9-18: Distribuição espacial do Manguezal da Margem Equatorial Brasileira.



A feição apicum, embora desprovida de vegetação vascular, pertencente ao domínio do ecossistema manguezal. Os apicuns atuam como reservatório de nutrientes e suporte para fases de ciclos biológicos de espécies da fauna associadas ao manguezal, entre inúmeras outras funções imprescindíveis à manutenção da própria zona costeira. Neles, podem ser identificadas associações vegetais de porte herbáceo, e de microorganismos como algas, adaptados a conviver com as condições físico-químicas dominantes (SCHAEFFER-NOVELLI, 2002; SOARES, 1995; HADLICH *et al.*, 2009). Os apicuns da Margem Equatorial Brasil somam 651,54 km², o equivalente a 1% do território da área de estudo (Figura 9-17, Tabela 9-17).

Já as áreas úmidas ou inundáveis correspondem a aproximadamente 2% da área de estudo, apresentando 1.552,11 km² (Figura 9-17, Tabela 9-17). São ambientes costeiros sensíveis, suscetíveis a derramamentos de óleo e representam, os pântanos costeiros e continentais de água salobra ou salgada, brejo de herbáceas, as planícies de inundação fluvial, pântanos de água doce Lagos Intermitentes, Planície de Maré Lamosa e Planície de Maré Arenosa (SOUZA FILHO *et al.*; 2004; BOULHOSA & SOUZA FILHO, 2009, TEIXEIRA & SOUZA FILHO, 2009). A Figura 9-19 a seguir apresenta a distribuição espacial dos Apicuns e das Áreas úmidas ou inundáveis em um trecho da Margem Equatorial Brasileira.





Figura 9-19:Distribuição das áreas úmidas e apicuns (a classe foi superdimensionada para facilitar a visualização).



Os ambientes constituídos por Praias Arenosas de Macromarés e Dunas Vegetadas, Dunas Costeiras Atuais e Interdunas (BOULHOSA & SOUZA FILHO, 2009) integram a classe Praias e Dunas. São ambientes sensíveis à poluição por óleo, uma vez que o agente poluidor pode persistir por um longo período. Conhecer sua distribuição espacial dessa classe pode contribuir com a valoração dos danos, mensuração dos impactos socioambientais e elaboração de plano de contingência. Esses ambientes se distribuem por 198,72 km² da Costa da Área de Estudo conforme Figura 9-17 e Tabela 9-17.

Já os bancos de areia, que surgem com o recuo da maré e a diminuição da vazão dos rios, estão distribuídos por 35,5 km² da área de estudo. Contudo, vale destacar que, por serem, em sua maior parte, feições temporárias e subordinadas às características locais e variáveis da hidrodinâmica, esse quantitativo pode variar de acordo com a época do ano. A Figura 9-20 representa esta distribuição espacial das classes Praias e Dunas e Banco de Areia.





Figura 9-20: Distribuição das classes praias e dunas e banco de areia (as classes foram superdimensionadas para facilitar a visualização)..


A Margem Equatorial Brasileira é composta por diferentes Ambientes Florestais do Bioma Amazônia, que totalizam 34.596,71 km² ou aproximadamente 41% da área de estudo. Segundo IBGE (2004; 2013), as florestas dessa região são compostas pelas seguintes formações: Florestas Ombrófilas Densa e Aberta, Floresta Aberta Submontana, Floresta Densa Aluvial, Floresta Densa das Terras Baixas e Floresta Estacional (Decidual e Semi-decidual). Nesta classe, estão incluídas as áreas especiais, eventualmente associadas a usos antrópicos, e áreas com predomínio de extrativismo vegetal, como a Silvicultura e outros Sistemas Agroflorestais.

A Cobertura Florestal da Margem Equatorial Brasileira é um dos ecossistemas mais atingidos pelas transformações do avanço da fronteira econômica. Seu patrimônio florestal vem sofrendo perdas tanto do ponto de vista do valor comercial de espécies madeireiras e extrativistas, como da perda de espécies de valor ambiental em termos de sua biodiversidade. Isso ocorre devido a intensificação dos processos de transformação de uso e ocupação do solo, tanto pelas queimadas e desmatamentos, como pela atividade florestal ligada à indústria madeireira (IBGE, 2004; 2013). Neste atual cenário, o mapa atualizado dos ecossistemas costeiros constitui um instrumento de análise e avaliação do potencial desses recursos, bem como ferramenta para o planejamento e gerenciamento costeiro da região. A Figura 9-21 apresenta a Distribuição Espacial da Cobertura Florestal na área de estudo.





Figura 9-21:Distribuição espacial da classe floresta.



As áreas constituídas por vegetação campestre e herbácea conforme o sistema de classificação adotado, são áreas de vegetação natural abrangendo campos originais (primários) e alterados, formações florestais espontâneas arbustivas, herbáceas e ou gramíneo-lenhosas, em diversos estágios sucessionais de desenvolvimento. Nestas classes, estão incluídas as formações campestres Savana, Campinarana e Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre (IBGE, 2013).

A classe área campestre corresponde a aproximadamente 12% da área de estudo, totalizando uma área de 9.854,49 km² (Figura 9-17 e Tabela 9-17). A metodologia desenvolvida também permitiu a identificação de uma área de 40 km² de vegetação herbácea nos Estados do Pará e Maranhão. A Figura 9-22 a seguir apresenta a distribuição espacial de ambas as classes.





Figura 9-22: Distribuição espacial das classes área campestre e vegetação herbácea (as classes foram superdimensionadas para facilitar a visualização).



A Classe Agricultura e Pastagem corresponde a aproximadamente 6% do total da área de estudo, o que equivale a 5.114,83 km², conforme Figura 9-17 e Tabela 9-17. No sentido amplo, as áreas agrícolas podem ser definidas como as terras utilizadas para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio (IBGE,2006). A metodologia desenvolvida para o mapeamento de uso e cobertura em escala regional incluiu nesta classe todas as terras caracterizadas pelo delineamento das áreas cultivadas ou em descanso e áreas submetidas à regimes de alagamento. Também se encontram nesta categoria as lavouras temporárias, lavouras permanentes e áreas de pastagem. A Figura 9-23 abaixo representa a distribuição espacial da classe agricultura / pastagem.





Figura 9-23: Distribuição espacial da classe agricultura/pastagem.



A Classe áreas descobertas compreende áreas sem a presença de cobertura vegetal, podendo estar ou não associadas a usos antrópicos. Elas estão espacialmente distribuídas por 263,51 km² (Figura 9-17 e Tabela 9-17).e refere-se os seguintes usos e feições: Mineração (metálicos e não-metálicos), Queimada, Solo exposto, Área Desmatada, Atividades Extrativistas, Inselberg, Salina, Unidades de Conservação (Proteção Integral e Uso Sustentável) e Áreas militares. Já as áreas urbanizadas foram delimitadas por núcleos populacionais mais concentrados, o que corresponde a 466,62 km² (Tabela 9-17). Esta classe corresponde a vilas, cidades, complexos industriais, áreas urbano-industrial e outras áreas urbanizadas. A Figura **9-24** representa a distribuição espacial das classes áreas descobertas e áreas urbanizadas.





Figura 9-24: Distribuição espacial das classes áreas urbanizadas e áreas descobertas (as classes foram superdimensionadas para facilitar a visualização).



Por último, a classe Água compreendeu toda a massa líquida dos rios, canais e lagos, ocupando uma área de 22.939,77 km², ou aproximadamente 27% da área de estudo (Figura 9-17 e Tabela 9-17). De acordo com a metodologia desenvolvida e pela a escala regional do trabalho, a classe Água contempla tanto os corpos d'água continental como corpo d'água costeiro. A rede de drenagem, em toda a extensão da área de estudo, é um importante meio de circulação da população e de bens de produção, bem como proporciona usos diversificados, como: Unidades de Conservação (Proteção Integral e Uso Sustentável) Terras Indígenas ou destinadas à Captação para Abastecimento, Receptor de Efluentes, Pesca, Transporte, Lazer e Turismo e Geração de Energia (IBGE, 2004; 2013). A **Figura 9-25** representa a distribuição espacial da classe água.





Capítulo 9 Caracterização do uso e cobertura do solo e da linha de costa



O Mapeamento de Uso e Cobertura em Escala Regional para o Estado do Amapá, devido à intensa presença de nuvens por um longo período de tempo, foi realizado através de Imagens Orbitais de Radar dos sensores Sentinel-1 e ALOS PALSAR, com resoluções espaciais de 10 metros e 12,5 metros, respectivamente. Tais imagens, assim como as óticas, foram classificadas através do algoritmo ISODATA, sendo identificadas as seguintes classes de Uso e Cobertura da Terra na região: Manguezal, Floresta, Área Campestre, Agricultura / Pastagem, Água e Áreas Descobertas. A Figura 9-26 apresenta o Mapa Final de Uso e Cobertura da Terra para o território do Estado do Amapá inserido na área de estudo.





Figura 9-26: Mapa de Uso e Cobertura da Terra para o Território do Estado do Amapá inserido na área de estudo.

Capítulo 9 Caracterização do uso e cobertura do solo e da linha de costa



O mapeamento das principais feições do Estado do Amapá através de imagens de radar associadas a técnicas de Geoprocessamentos e Sistemas de Informações Geográficas atingiu acurácia Global de 81,5%, considerado como "Excelente" de acordo com Congalton & Green (2007), refletindo a qualidade da classificação. As Classes Floresta, Água e Área Campestre apresentam as maiores distribuições espaciais neste mapeamento. A Tabela 9-18 e a Figura 9-27 representam a distribuição dos ecossistemas costeiros e usos da terra identificados no Amapá.

Tabela 9-18: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra do território do Estado do Amapá inserido na área de estudo.

Caracterização Ecossistemas Costeiros: Amapá					
Classe	Área km²	Proporção das Classes (Aproximadamente)			
Agricultura / Pastagem	24,3	4 0%			
Água	5093,4	0 19%			
Áreas Descobertas	0,6	4 0%			
Área Campestre	3925,9	3 14%			
Áreas Urbanizadas	0,0	0 0%			
Floresta	16303,7	5 60%			
Manguezal	1.817,7	6 7%			
Área Mapeada	27165,8	2 100%			





Figura 9-27: Proporção no Território do Amapá das Classes de Uso e Cobertura da Terra.

O Estado do Amapá sintetiza em seu território grande parte da diversidade dos ecossistemas amazônicos. Na faixa da planície costeira, a presença de corpos hídricos como lagos, várzeas, terrenos alagados e pantanosos, caracterizam a diversificação de ambientes, cuja interação solo-água-clima resultaram na predominância de ambientes de vegetação arbustivas e herbáceas e áreas de manguezais, constituindo-se ainda em um imenso reduto de biodiversidade aquática. (IBGE, 2004).

O ecossistema manguezal do Amapá ocorre numa faixa quase contínua desde a foz do rio Oiapoque até o estuário amazônico (IBGE, 2004). Distribuído por 1.817,76 km², o manguezal ocupa aproximadamente 7% do total do território (Tabela 9-18, Figura 9-27). Por sua riqueza carcinológica e situação em geral acessível, o manguezal é historicamente, um dos ecossistemas brasileiros mais expostos à exploração e a ação predatória. Por sua importância ecológica, sendo principalmente berçário de diversas espécies de anfíbios e peixes, este ambiente precisa ser manejado cuidadosamente, preservando-se antes de tudo o rendimento sustentado.

O ambiente da costa do Amapá, próximo à divisa com a Guiana Francesa, propicia a formação de um amplo bosque de mangues em função da presença dos rios Oiapoque e Caciporé, e seu encontro com o oceano Atlântico. Entre a ilha de Maracá e a capital Macapá, os manguezais ocupam os sedimentos finos carreados pelo delta e a costa é dotada de áreas campestres. A costa do Amapá apresenta manguezais ora



dominados pela maré, ora dominados pelos rios, segundo a classificação das tipologias de costas onde podem ocorrer manguezais do pesquisador australiano Bruce Thom em 1982 (MMA, 2018).

As Áreas Campestres do Estado do Amapá ocupam 3.925,93 km², ou aproximadamente 14% do território do estado inserido na área de estudo (Tabela 9-18, Figura 9-27). Elas são caracterizadas por tipologias de cobertura gramíneo-lenhosas e arbustivo-graminóides da Savana (campo não inundável) e de Formações Pioneiras (campo inundável). O principal uso do Cerrado do Amapá é para a prática de pecuária bovina extensiva, servindo como refúgio do gado na época das cheias e silvicultura (IBGE, 2004). Já nas Formações Pioneiras e os campos inundáveis predomina o uso da Pecuária Extensiva de Búfalos.

Apesar da grande diversidade ecológica, no Estado do Amapá dominam solos de baixa fertilidade, com ocorrência marcante de concreções lateríticas, condicionantes limitantes ao desenvolvimento do setor agropecuário. Há também grande dependência de recursos federais, de importação de calcário e fertilizantes, que são comercializados a preços altos para os pequenos produtores, além da generalizada falta de infraestrutura. O resultado é o baixo desempenho do setor agropecuário no Estado (IBGE, 2004). A identificação do uso agropastoril também não foi favorecida pelos dados disponíveis e metodologia adotada neste estudo. Sendo assim, foram identificadas 24,34 km² (Tabela 9-18) de área referente à agricultura/pastagem no território do Estado do Amapá inserido na área de estudo.

De acordo com IBGE (2004), a cobertura florestal do Estado do Amapá compreende toda a tipologia de Floresta Ombrófila Densa, onde, espacialmente, predominam as seguintes subformações: Densa Submontana, Densa das Terras Baixas e Densa Aluvial, e em menor expressão, Floresta Ombrófila com lianas (cipó) e com palmáceas. Quanto à interferência antrópica, ela é constituída por dois importantes e distintos conjuntos de vegetação: formações primárias, consideradas isentas da ação antrópica, encobrindo a grande maioria da superfície estadual; e as formações secundárias, tipos de revegetação natural comuns de áreas submetidas a algum processo de degradação ou desflorestamento. Devido à metodologia adotada, a silvicultura também foi incluída na classe Floresta. As Florestas ocupam uma área de 16.303,75 km² ou aproximadamente 60% do Território do Amapá inserido na área de estudo (Tabela 9-18, Figura 9-27).

A classe Áreas Descobertas, no Estado do Amapá, corresponde à identificação da feição geomorfológica Inselberg, de aproximadamente 64 ha. Já a Classe Áreas Urbanizadas compreende a cidades/ vilas e totaliza 0,24 ha (Tabela 9-18).

Por último, a classe Água compreendeu toda a massa líquida dos rios, canais e lagos, ocupando uma área de 5093,4 km², ou aproximadamente 19% da área de estudo (Tabela 9-18, Figura 9-27). Esta classe abrange os corpos líquidos continentais representados pelos cursos d'água e lagos de água doce e os costeiros que são os corpos de água salobra e salgada situados junto à costa. Essas áreas cumprem diversas funções e são utilizadas para o desenvolvimento de diferentes atividades que vão desde a pesca até o lazer da população, passando por transporte, conservação ambiental e geração de energia (IBGE, 2013).

O Mapeamento de Uso e Cobertura em Escala Regional para o Estado do Pará, foi realizado através de Imagens Óticas dos sensores Landsat-8 e Sentinel-2, com resoluções espaciais de 30 metros e 20 metros, respectivamente com Imagens Orbitais de Radar dos sensores Sentinel-1 e ALOS PALSAR, com resoluções espaciais de 10 metros e 12,5 metros, respectivamente. Devido a algumas cenas apresentarem percentual



de nuvens superior a 90%, o Mapeamento do Estado do Pará também contou com a elaboração de Mosaicos (*Composites*) Landsat-8, gerados através da seleção dos melhores pixels e com baixa presença de nuvens do ano de 2016.

As imagens óticas, de radar e os mosaicos (*composites*) foram classificadas através do algoritmo ISODATA, sendo identificadas as seguintes classes de Uso e Cobertura da Terra na região: Agricultura / Pastagem, Água, Apicum, Área Campestre, Áreas úmidas ou Inundáveis, Áreas Descobertas, Áreas Urbanizadas, Banco de Areia, Floresta, Manguezal, Praias e Dunas e Vegetação Herbácea. A Figura 9-28 a seguir apresenta o Mapa Final de Uso e Cobertura da Terra para o território do Estado do Pará inserido na área de estudo.





Figura 9-28: Mapa de Uso e Cobertura da Terra para o território do Estado do Pará inserido na área de estudo.



O mapeamento das principais feições do Estado do Pará através de imagens de óticas, de radar e mosaicos (*composites*) associadas à técnicas de Geoprocessamentos e Sistemas de Informações Geográficas atingiu acurácia Global de 81,9% (ótico) e 81,5% (radar), considerados como "Excelente", de acordo com Congalton & Green (2007), refletindo a qualidade da classificação

As áreas não mapeadas devido às condições climáticas totalizaram 454,68 km², o que corresponde a aproximadamente 1% do território do Estado do Pará. As Classes Floresta, Água, Área Campestre e Manguezal apresentam as maiores distribuições espaciais neste mapeamento. A Tabela 9-19 e a Figura 9-29 representam a distribuição dos ecossistemas costeiros e usos da terra identificados no Pará.

Tabela 9-19: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra do território do Estado do Pará inserido na área de estudo.

Classe	Área km²	Proporção das Classes (Aproximadamente)
Praias e Dunas	120,99	09
Agricultura / Pastagem	3221,45	89
Água	12753,04	329
Apicum	139,94	09
Área Campestre	5928,37	159
Área Úmida ou Inundável	690,52	29
Áreas Descobertas	246,53	19
Floresta	12110,07	319
Banco de areia	22,03	09
Áreas Urbanizadas	403,41	19
Manguezal	3483,93	99
Vegetação Herbácea	35,31	09
Área Total	39.610,27	1009
Área não classificada	454,68	19
Área Mapeada	39.155,59	999

Caracterização Ecossistemas Costeiros: Pará





Figura 9-29: Proporção no Território do Pará das Classes de Uso e Cobertura da Terra.

O Estado do Pará pode ser considerado como um dos mais atingidos pelas transformações do avanço da fronteira econômica (IBGE, 2013). Lentini *et al.* (2005) apontam que o Pará respondeu por 64% do volume de madeira exportado da Amazônia no ano de 2004, sendo este estado considerado o terceiro maior exportador de madeira do país em volume exportado. Segundo IBGE (2013), o Pará possui uma taxa de desmatamento superior à média da Amazônia Legal, somente superado pelos Estados do Maranhão, Mato Grosso e Rondônia.

A classe Floresta está distribuída por uma área de 12.110,07 km², o equivalente a aproximadamente 31% do Território do Pará inserido na área de estudo (Tabela 9-19, Figura 9-29). A cobertura florestal do Estado do Pará compreende as formações florestais: Floresta Ombrófila (Densa e Aberta); Floresta Estacional (Decidual e Semi-decidual); Floresta Aberta Submontana, Floresta Densa Aluvial e Floresta Densa das Terras Baixas (IBGE, 2013). Devido à metodologia adotada, a silvicultura também foi incluída na classe Floresta.

Os Manguezais correspondem a 3.483,93 km² ou 9% do Território do Pará inserido na área de estudo, e seus apicuns estão distribuídos por 139,94 km² (Tabela 9-19, Figura 9-29). Na foz do rio Amazonas, os manguezais podem ser observados em um mosaico, misturados à vegetação típica de florestas de várzeas e de terras firmes. A ilha de Marajó apresenta manguezais que podem ser observados entre os igarapés e nas margens dos rios que a drenam e que deságuam nas baías e no Atlântico. A esse complexo à frente da foz do rio Amazonas e do rio Tocantins, o geógrafo Aziz Ab'Sáber deu o nome de Golfão Marajoara. Entre Belém (PA) e São Luís (MA), a costa é extremamente recortada e instável, conhecida como reentrâncias



maranhenses. Nelas, os manguezais encontram ambientes e condições propícias, uma vez que a costa, o regime de macromaré e o clima quente e úmido da Zona Equatorial colaboram para o seu desenvolvimento (MMA, 2018). Esta zona costeira, que constitui o maior sistema contínuo de manguezais do mundo, foi designada por Souza Filho (2005), como Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA).

No que se refere às áreas antrópicas agrícolas, a atividade pecuária se destaca em todas as mesorregiões paraenses, com maior concentração na Mesorregião do Sudeste Paraense. De acordo com IBGE (2013), o estado ocupa o primeiro lugar na criação de bubalinos e o quinto na de bovinos. Muitas vezes a pecuária também está associada a cultivos temporários e/ou permanentes, a reflorestamento, ou ao extrativismo florestal, principalmente no eixo das rodovias BR-230 (Transamazônica), BR-163 (Santarém/Cuiabá), BR-158, PA-150 e na BR-010 (Belém-Brasília) (IBGE, 2013). Neste estudo, identificou-se que as áreas destinadas a agricultura e pastagem ocupam uma área de 3.221,45, o equivalente a 8% do território do Pará inserido na área de estudo (Tabela 9-19, Figura 9-29).

As Áreas Campestres do Estado do Pará inserido ocupam uma área de 5.928,37 km², ou aproximadamente 15% do território inserido na área de estudo (Tabela 9-19, Figura 9-29). Elas são caracterizadas pelas formações campestres Savana, Campinarana e Formações Pioneiras (com influência fluvial e/ou lacustre) e pelas Áreas de Tensão Ecológica. Nelas, encontram-se Unidades de Conservação de Proteção Integral, de Uso Sustentável e Terras Indígenas, extrativismo vegetal, pecuária, mineração, e aos cultivos temporários diversificados (IBGE, 2013). A metodologia desenvolvida também permitiu a identificação de uma área de 35,31 km² de vegetação herbácea no Estado do Pará inserido na área de estudo.

A classe Áreas Descobertas, no território do Pará inserido na área de estudo, correspondem à identificação de feições e usos como: Mineração, Queimada, Solo exposto, Área Desmatada, Atividades Extrativista, Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável. Tais áreas estão distribuídas por 246,53 km², ou aproximadamente 1% do território (Tabela 9-19, Figura 9-29). Já as áreas urbanizadas identificadas correspondem a cidades, complexos industriais e vilas, estando espacialmente distribuídas por 403,41 km² ou aproximadamente 1% do território do Pará inserido na área de estudo (Tabela 9-19, Figura 9-29).

As áreas úmidas ou inundáveis correspondem a aproximadamente 2% da área de estudo, apresentando 690,52 km² (Tabela 9-19, Figura 9-29). De acordo com Boulhosa & Souza Filho (2009) e Souza Filho (2005), essas áreas correspondem a Pântanos Salinos e planícies de inundação fluvial.

Já as Praias e Dunas se estendem por 120,99 km² e compreendem aos ambientes constituídos por Praias Arenosas de Macro marés e Dunas vegetadas, Dunas Costeiras Atuais e Interdunas (BOULHOSA e SOUZA FILHO, 2009). E os bancos de areia estão distribuídos por 22,03 km² do território do Pará inserido da área de estudo (Tabela 9-19, Figura 9-29).

Por último, a classe Água ocupa uma área de 12.753,04 km², ou aproximadamente 32% do território do Pará inserido na área de estudo (Tabela 9-19, Figura 9-29). De acordo com a metodologia desenvolvida e pela a escala regional do trabalho, a classe Água contempla tanto os corpos d'água continentais como corpos d'água costeiros. A rede de drenagem é um importante meio de circulação da população e de bens de produção, bem como proporciona usos diversificados, como: Unidades de Conservação (Proteção Integral e Uso Sustentável) Terras Indígenas ou destinadas à Captação para Abastecimento, Receptor de Efluentes, Pesca, Transporte, Lazer e Turismo e Geração de Energia (IBGE, 2004; 2013).



O Mapeamento de Uso e Cobertura em Escala Regional para o Estado do Maranhão, foi realizado através de Imagens Óticas dos sensores Landsat-8 e Sentinel-2, com resoluções espaciais de 30 metros e 20 metros, respectivamente. Devido a algumas cenas apresentarem percentual de nuvens superior a 90%, o Mapeamento do Estado do Maranhão também contou com a elaboração de Mosaicos (*Composites*) Landsat-8, gerados através da seleção dos melhores pixels e com baixa presença de nuvens do ano de 2016.

As imagens óticas e os mosaicos (co*mposites*) foram classificadas através do algoritmo ISODATA, sendo identificadas as seguintes classes de Uso e Cobertura da Terra na região: Agricultura / Pastagem, Água, Apicum, Áreas úmidas ou Inundáveis, Áreas Descobertas, Áreas Urbanizadas, Banco de Areia, Floresta, Manguezal, Praias e Dunas e Vegetação Herbácea. A Figura 9-30 a seguir apresenta o Mapa Final de Uso e Cobertura da Terra para o território do Estado do Maranhão inserido na área de estudo.





Figura 9-30: Mapa Final de Uso e Cobertura da Terra para o território do Estado do Maranhão inserido na área de estudo.





O mapeamento das principais feições do Estado do Maranhão através de imagens de óticas e mosaicos *(composites)* associadas às técnicas de Geoprocessamentos e Sistemas de Informações Geográficas atingiu acurácia Global de 81,9%, considerado como "Excelente" CONGALTON & GREEN (2007).

As áreas não mapeadas devido às condições climáticas totalizaram 80,67 km², o que corresponde a aproximadamente 1% do território do Estado do Maranhão inserido na área de estudo. As Classes Floresta, Água, Agricultura/Pastagem e Manguezal apresentam as maiores distribuições espaciais neste mapeamento. A Tabela 9-20 e a Figura 9-31 representam a distribuição dos ecossistemas costeiros e usos da terra identificados no Maranhão.

Tabela 9-20: Área e Proporção aproximada das classes de uso e cobertura da terra do território do Estado do Maranhão inserido na área de estudo.

Classe	Área km²	Proporção das Classes (Aproximadamente)	
Praias e Dunas	77,87	0%	
Agricultura / Pastagem	1875,89	11%	
Água	5039,97	28%	
Apicum	512,14	3%	
Área Úmida ou Inundável	862,77	5%	
Áreas Descobertas	16,42	0%	
Floresta	6192,77	35%	
Banco de areia	13,57	0%	
Áreas Urbanizadas	63,44	0%	
Manguezal	3097,83	17%	
Vegetação Herbácea	5,55	0%	
Área Total	17.838,89	100%	
Área não Classificada	80,67	1%	
Área Mapeada	17.758,22	99%	

Caracterização Ecossistemas Costeiros: Maranhão





Figura 9-31: Proporção das Classes de Uso e Cobertura no Estado do Maranhão.

Os manguezais do Estado do Maranhão são considerados os mais estruturalmente complexos do Brasil (Rebelo-Mochel, 1997). Este aspecto é atribuído em parte às diversas características da linha de costa, às grandes quantidades de água doce, provenientes de extensos rios, às altas taxas de precipitação, bem como às altas amplitudes de maré (Kjerfve & Lacerda, 1993). Esta zona costeira, que constitui o maior sistema contínuo de manguezais do mundo, foi designada por Souza Filho (2005) como Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA).

Os Manguezais correspondem a 3.097,83 km² ou 17% do Território do Maranhão inserido na área de estudo, e seus apicuns estão distribuídos por 512,14 km², ou 3% da área mapeada (Tabela 9-20, Figura 9-31). Os manguezais do Maranhão foram descritos em 1614 com o nome de "apparituriers", ou florestas à beira-mar (D'Abbreville, 1975). As descrições fazem referência à rica fauna associada, incluindo o peixeboi, diferentes espécies de caranguejos, insetos e, particularmente, a presença de grandes e palatáveis ostras (MMA, 2018). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2019), é no Maranhão que os manguezais alcançam sua extensão máxima, formando uma costa muito mais irregular e endentada - reentrâncias maranhenses.

O Maranhão é o estado da Amazônia Legal que possui o menor grau de ocupação do espaço com áreas protegidas (LIMA JÚNIOR, 2015), apresenta alto grau de desmatamento e fragmentação florestal e um dos menores índices de desenvolvimento humano (MARTINS & OLIVEIRA, 2011). De acordo com os autores, a degradação da floresta decorre, principalmente, em função do desmatamento, da falta de prática de

manejo sustentável das áreas, de queimadas e da fragmentação do ecossistema. A degradação ambiental inclui a perda de biodiversidade, redução da ciclagem da água e reciclagem de nutrientes, redução da qualidade de vida, dentre outros.

A classe Floresta está distribuída por uma área de 6.192,77 km², o equivalente a aproximadamente 35% do Território do Maranhão inserido na área de estudo (Tabela 9-20, Figura 9-31). A cobertura florestal do Estado do Maranhão compreende as formações florestais: Floresta Ombrófila (Densa e Aberta); Floresta Estacional Decidual Submontana e Floresta Densa das Terras Baixas (IBGE, 2012). Devido à metodologia adotada, a silvicultura também foi incluída na classe Floresta. Também foi identificada uma área de 5,55 km² da classe vegetação herbácea.

As atividades relacionadas à agricultura e pecuária têm assumido importância decisiva nas mudanças do uso da terra da região em conjunto com e extração de madeira, principalmente para exportação. A pecuária bovina é a principal atividade econômica do setor agrícola do estado. As principais lavouras são as de arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, com o incremento da e banana, com incremento da produção de soja para exportação nos últimos anos. Neste estudo, identificou-se que as áreas destinadas a agricultura e pastagem ocupam uma área de 1.875,89 km², o equivalente a 11% do território do Maranhão inserido na área de estudo (Tabela 9-20, Figura 9-31)

As áreas úmidas ou inundáveis correspondem a aproximadamente 5% da área de estudo, apresentando uma extensão de 862,77 km² (Tabela 9-20, Figura 9-31). No Estado do Maranhão, elas são representadas pelos seguintes ecossistemas costeiros (TEIXEIRA & SOUZA FILHO, 2009): Pântanos Salinos, Pântanos de Água Doce, Lagos Intermitentes, Planície de Maré Lamosa e Planície de Maré Arenosa. Já os ambientes constituídos por Praias Arenosas de Macromarés, Dunas móveis e Paleodunas (TEIXEIRA & SOUZA FILHO, 2009) integram a classe Praias e Dunas, e estão distribuídos por 77,87 km² do território Estado do Maranhão inserido na área de estudo, enquanto que os Bancos de areia foram encontrados para uma área de 13,57 km² (Tabela 9-20).

As áreas urbanizadas identificadas correspondem a cidades, complexos industriais e vilas, estando espacialmente distribuídas por 63,44 km². (Tabela 9-20), enquanto as áreas descobertas, que correspondem a Mineração, Queimada, Solo exposto, Área Desmatada, Atividades Extrativistas, Salina, ocupam uma área de 16,42 km² do território do Estado do Maranhão inserido na área de estudo.

Por último, a classe água está distribuída por 5039,97 km² ou 28% (Tabela 9-20, Figura 9-31) da área de estudo, contemplando toda a massa líquida dos rios, canais e lago. De acordo com a metodologia desenvolvida e pela a escala regional do trabalho, a classe Água contempla tanto os corpos d'água continentais como corpos d'água costeiros. A rede de drenagem, em toda a extensão da área de estudo, é um importante meio de circulação da população e de bens de produção, bem como proporciona usos diversificados, como: Unidades de Conservação (Proteção Integral e Uso Sustentável) Terras Indígenas ou destinadas à Captação para abastecimento, Receptor de Efluentes, Pesca, Transporte, Lazer e Turismo e Geração de Energia (IBGE, 2004; 2013).



9.1.3.5. Considerações Finais

Diante do desafio de mapear uma grande e complexa área, distribuída pelos Estados do Amapá, Pará e Maranhão e submetida à presença de intensa cobertura de nuvens, a estratégia de adoção de análise com múltiplas datas e sensores, associada à geração de mosaicos de imagens através de *cloud computing*, foi fundamental para o desenvolvimento do Mapa de Uso e Cobertura da Terra da área costeira das Bacias Pará Maranhão e Foz do Amazonas.

Sendo um mapeamento em mesoescala (1:100.000), adequado para áreas de grande abrangência, o processo metodológico adotado apresentou vantagens. Em relação à escolha dos métodos, o pré processamento das imagens seguido pela classificação não supervisionada através do algoritmo ISODATA, permitiu o reconhecimento de padrões espectrais de forma automatizada. Assim, a segmentação das classes foi muito satisfatória, possibilitando a caracterização e quantificação dos diferentes tipos de uso e cobertura, apresentados ao longo deste estudo.

A interpretação visual levou em consideração o arranjo espacial dos alvos nas imagens ópticas e a análise da textura, forma, tons e tamanho nas imagens radar. Em conjunto à consulta de informações em fontes reconhecidas pela comunidade científica de dados secundários, de diferentes bases institucionais, tal etapa resultou na melhor delimitação das classes e melhoria da acurácia dos produtos obtidos por meio do processamento digital de imagens.

Com estes procedimentos e os resultados alcançados, o uso de produtos oriundos de múltiplos sensores e datas sugerem uma opção promissora para mapeamentos de áreas de grande abrangência e submetidas à condições climáticas que dificultam a obtenção de imagens ópticas. Considerando que os dados utilizados no presente estudo podem ser adquiridos gratuitamente em diferentes bases de dados e o tipo de classificação não-supervisionada pixel a pixel pode ser realizada em diferentes Sistemas de Informações Geográficas e plataformas gratuitas, a metodologia aqui desenvolvida tem grande potencial de replicação.

Diferentes Mapeamentos foram realizados previamente para a Margem Equatorial Brasileira, tanto por Instituições Governamentais (MMA, EMBRAPA, IBGE, IBAMA e ANA), Científicas (SOUZA FILHO et al., 2004; TEIXEIRA, 2006; SANTOS, 2006; SILVEIRA, 1998; GONÇALVES) e outras iniciativas (Projeto MAPBIOMAS), e utilizados neste estudo como referência. Estes mapeamentos abordam diferentes objetivos, recortes espaciais, dados, técnicas, recursos financeiros e consequentemente, resultados. O Mapeamento dos Ecossistemas Costeiros desenvolvido no âmbito do Projeto Costa Norte pode ser acrescentado à essas referências como uma nova e atualizada base de dados primários para a Margem Equatorial Brasileira, uma vez que, neste único mapeamento, concentram diversificadas informações espaciais oriundas da sua legenda temática, com metodologia consistente, alto nível de exatidão e grau de confiabilidade considerado excelente segundo Congalton & Green (1999).

No atual cenário de desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas para a aquisição, gestão e compartilhamento de dados de Sensoriamento Remoto, mapeamentos temáticos de grandes áreas



serão cada vez mais viabilizados. Técnicas de *Machine Learning* e Inteligência Artificial apoiadas em Processamento na Nuvem permitem que usuários manipulem grandes e complexos conjuntos de dados, processem mais imagens em menos tempo e invistam menos recursos financeiros em *hardwares* e *softwares*. Esse novo paradigma tende a incrementar a elaboração de trabalhos e estudos para áreas cada vez maiores e complexas, permitindo ainda mais abordagens com múltiplas datas e sensores e integração com diferentes tipos de dados.

No que diz respeito à escala 1:100.000, considerada adequada para representação de uma área que abrange três dos principais estados que compõem a Costa Norte Brasileira, em se tratando de regiões com ambientes tão complexos como estes, foi importante a integração dos dados adquiridos conjuntamente com as abordagens mais pontuais dos demais produtos do Projeto Costa Norte para melhor definição espacial de algumas classes. Assim, o conjunto das técnicas de sensoriamento e de sistema de informações geográficas mostrou-se eficaz no mapeamento da zona costeira, possibilitando a geração de produtos na referida escala, com boa acurácia e precisão cartográfica, conforme foi apontado nos resultados.



9.2. Levantamento da linha de costa

O mapeamento da linha de costa é fundamental para diversos aspectos de planejamento territorial, avaliação do equilíbrio ambiental e mudanças climáticas. O planejamento territorial previne ocupações indevidas em locais onde há riscos de inundações eventuais e para tal, o conhecimento da posição da linha de costa é essencial para prover melhor gerenciamento. O levantamento da linha de costa também é importante para avaliar o equilíbrio ambiental da região. Não é raro os casos em que a vazão de grandes rios passa a ser controladas por hidrelétricas e isso afeta diretamente a dinâmica do balanço sedimentar costeiro, o que pode acarretar em erosão ou acreção da linha de costa. Por fim, a mudança climática traz como consequência o aumento do nível médio dos oceanos e, por conseguinte, pode refletir na posição da linha de costa de uma determinada região.

De acordo com Dolan et al. (1980), a definição de linha de costa é aquilo que coincide com a interface física entre terra e a água. Os autores destacam que apesar da simplicidade, aplicar esta definição é um desafio, pois a posição da linha de costa muda constantemente em função os movimentos dos sedimentos costeiros, especialmente devido a dinâmica natural do nível do mar (ondas, marés, ventos etc.). Portanto, existe um componente temporal implícito na definição da linha de costa. Contudo, no Projeto Costa Norte, pela dimensão da Zona Costeira e pelo cronograma de execução, o levantamento da linha de costa não abordará seu aspecto temporal. Ressalta-se, porém, que duas situações de marés foram consideradas neste estudo: o mapeamento da linha de costa, propriamente, foi realizado em condições de maré alta; e o mapeamento de bancos de sedimentos foi realizado em condições de maré baixa, pois quando emersos são mais propícios para serem sensoriados por imagens orbitais. Portanto, tanto o mapeamento da linha de costa quanto dos bancos de sedimentos serão os primeiros esforços de identificar suas posições baseado em imagens de satélites com resolução espacial entre 5 e 10 metros.

O Sensoriamento Remoto através das imagens de satélites oferece um meio eficiente e confiável de identificar feições costeiras como se pretende neste Capítulo. Entretanto, para a área de estudo, tal triunfo se deve aos sensores SAR, em especial, ao sensor europeu Sentinel-1, pois além de prover imagens gratuitamente, possui características operacionais que permitiram realizar o mapeamento da linha de costa e dos bancos de sedimentos.

9.2.1. Objetivos

O objetivo central deste tópico é identificar a posição da linha de costa, considerando a definição de Dolan et al. (1980), em situação de maré alta, bem como mapear os bancos de sedimentos em situação de maré baixa.

9.2.1.1. Objetivos específicos

• Adquirir imagens Sentinel-1 em função das condições de maré no momento da passagem do sensor em uma determinada área;



- Processar as imagens de forma a adequá-las para a extração da linha de costa e bancos de sedimentos;
- Classificar as imagens Sentinel-1 para separar as feições pretendidas;
- Gerar mosaicos de todos os trechos de linha de costa e bancos de sedimentos;
- Prover os resultados para equipes de modelagem hidrodinâmica.

9.2.2. Metodologia

O mapeamento da linha de costa e dos bancos de sedimentos foi realizado com o uso de imagens de RADAR do sensor orbital SENTINEL-1, aliado com técnicas de processamento digital de imagens, geoprocessamento e análises espaciais. A Figura 9-32 apresenta o fluxograma metodológico do levantamento da linha de costa e bancos de sedimentos.



Figura 9-32: Fluxograma da metodologia adotada no levantamento da linha de costa de bancos de sedimentos.

As aquisições das imagens Sentinel-1 foram realizadas em função das previsões de maré sincronizadas para o dia e horário da passagem do sensor na área de estudo. O Sentinel-1 tem um ciclo de 12 dias para revisita em locais na linha do equador, sendo frequente passar na área de estudo entre 8h30min e 9h15min da manhã (UTC). Com essa limitação de dias e horário, não foi possível adquirir imagens no momento de estofa de maré, tanto para maré alta quanto para maré baixa. A área de estudo precisa de nove imagens Sentinel-1 para ser totalmente sensoriada, totalizando 18 imagens (duas por frame - uma para maré alta e outra para maré baixa). A Figura 9-33 apresenta a disposição dos frames do sensor Sentinel-1 sobre a área de estudo. Todas as características do sensor Sentinel-1 foram apresentadas no item 9.1.3.3.3. A imagens utilizadas foram do tipo IW (*Interferometric Wide Swath Mode*), nível de processamento L1 GRD (*Ground Range Detected*). De acordo com a ESA (2020), os produtos GRD consistem em dados SAR focados, projetados para um alcance no terreno utilizando o modelo de elipsoide terrestre e processados através de *multilooking*. A altura do modelo de terreno utilizada varia



em azimute, mas é constante no alcance. Os valores dos pixels representam a magnitude do sinal detectado. Não há informação de fase. A Tabela 9-21 exibe as datas das cenas do sensor Sentinel-1 utilizadas no estudo.



Figura 9-33: Disposição dos frames do Sensor Sentinel-1 sobre a área de estudo.

Datas de Aquisição					
Frame	Maré Alta	Maré Baixa			
2	13/03/2017	18/01/2016			
3	10/02/2017	05/01/2017			
4	30/09/2016	26/07/2016*			
5	30/09/2016	26/07/2016			
6	11/10/2016	16/11/2016*			
7	11/10/2016	16/11/2016			
8	29/09/2016	23/10/2016			
9	13/01/2017	08/12/2016			
10	07/04/2016	21/11/2016			

Tabela 9-21: Datas das cenas Sentinel-1A adquiridas.

*Estas cenas são de ambientes predominantemente fluviais e não houve registro de bancos de sedimentos nestas imagens. Isso pode ocorrer por diversas razões, como alta vazão fluvial, maré meteorológica, ou maré não baixa o suficiente para expor os bancos de sedimentos.



Uma vez as imagens adquiridas, iniciou-se o processamento digital de imagens (PDI) do Sentinel-1. Todo processamento foi realizado no *software* gratuito SNAP 6.0 através do módulo Sentinel-1 Toolbox. A sequência de PDI obedeceu a seguinte ordem: **correção radiométrica** para obter os coeficientes de retroespalhamento de cada pixel da cena e de cada polarização (VH/VV); **aplicação do filtro speckle** de Lee (5x5); **Coregistro** da imagem de maré alta com a imagem de maré baixa, resultando uma única imagem com quatro canais (2VH/2VV); por fim, a **correção geométrica do terreno** baseado no modelo disponível no próprio *software*. Ressalta-se que o Modelo Digital de Elevação (DEM) disponível no *software* (SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)) para a correção geométrica do terreno não é o mais adequado para esse tipo de aplicação. No entanto, devido à ausência de morros e montanhas na área de estudo, o uso de tal DEM não compromete o resultado do trabalho.

Depois do PDI, as imagens estão próprias para a classificação. Diversos métodos de classificação foram testados, desde a classificação orientada a objetos até classificação supervisionada com amostras de treinamento para as classes. No entanto, o algoritmo utilizado foi o não supervisionado ISODATA, suas características foram descritas no item 9.1.3.3.5 deste Capítulo. Este classificador apresentou melhor separabilidade das classes desejadas. Na sequência, realizou-se a vetorização dos resultados da classificação. Isso permitiu fazer os ajustes manuais de alguns trechos das feições em estudo.

Concluindo o processo de edição, entra a fase de integração dos resultados. Isso passa por um processo de mosaicagem dos resultados de todas as 18 cenas classificadas. Uma revisão geral é realizada de forma minuciosa e, por fim, faz-se a integração dos metadados (origem e características de cada trecho de linha de costa e banco de sedimentos). Todo trabalho foi publicado no site oficial do Projeto Costa Norte.

9.2.3. Resultados

Para o melhor entendimento dos resultados é necessário fazer uma breve explicação sobre o Paradoxo do Litoral. Como observado por L. F. Richardson (1881 – 1953) e aprofundado por Mandelbrot (1983), o paradoxo do litoral é a observação contraintuitiva de que o litoral de uma massa terrestre não tem um comprimento bem definido. Isso resulta das propriedades semelhantes aos fractais das linhas costeiras, ou seja, o fato de que um litoral tipicamente tem uma dimensão fractal (o que de fato torna a noção de comprimento inaplicável). Em outras palavras, uma régua mais curta mede mais a sinuosidade de baías e entradas costeiras do que uma régua maior, portanto, o comprimento estimado continua a aumentar à medida que o comprimento da régua diminui.

A partir dessa premissa, considerou-se buscar a extensão da linha de costa da área de estudo de acordo com dados oficiais do IBGE e comparar com os dados produzidos no presente estudo. A Tabela 9-22 apresenta dos resultados obtidos, bem como os dados oficiais do IBGE (2019).

Observa-se claramente a disparidade dos valores de extensão da linha de costa entre o IBGE e o produzido neste estudo. No Estado do Amapá, a diferença ficou em um pouco mais de quatro vezes



maior do que os dados do IBGE, no Estado do Pará a diferença aumenta para mais de 6 vezes e, no Estado do Maranhão, considerando o mesmo trecho analisado, a diferença é ainda maior, mais de oito vezes. Isso demostra que o método adotado neste estudo possui alta capacidade de distinguir as sinuosidades da linha de costa.

É importante ressaltar que a assimetria dos valores expostos não significa que os dados tanto do IBGE quanto produzido no Costa Norte estejam errados. Tudo depende do nível de generalização cartográfica intrínseca na escala de análise adotada. Provavelmente a escala de análise do IBGE seja de âmbito nacional e que, portanto, os pormenores da linha de costa não sejam prioritários para o que o IBGE pretende. Por outro lado, este estudo priorizou as minúcias da linha de costa, proporcionado pelas imagens SAR com resolução espacial de 5x10m.

Extensão dos Alvos Analisados						
UF	Linha de Costa (km) (IBGE, 2019)	Linha de Costa (km)	Banco de Sedimentos (km²)			
Amapá	693,37	3.025,66	175,75			
Pará	1.836,70	11.289,72	565,87			
Maranhão (Baía de São Marcos)	1.525,77	12.731,52	455,93			
Total	4.055,85	27.046,90	1.197,55			

Tabela 9-22: Resultados obtidos comparados com os dados do IBGE.

De acordo com IBGE (2019), o Pará tem um litoral maior do que Maranhão (considerando apenas o trecho analisado). No entanto, no estudo do Projeto Costa Norte essa lógica se inverte. Maranhão possui cerca de 12.700 km, enquanto Pará apresentou quase 11.300 km. Amapá tem o menor trecho litorâneo na área de estudo, com cerca de 3.000 km.

A Figura 9-34 apresenta a disposição da linha de costa do IBGE em comparação com a linha de costa produzida neste estudo. Aparentemente as linhas possuem boas semelhanças, mas existem alguns pontos de divergências, principalmente na foz do rio Amazonas, onde há um complexo de ilhas que dificulta a delimitação do que é fluvial ou marinho. O IBGE adotou um critério puramente político-administrativo, ou seja, delimitou o limite máximo externo dos municípios que compõem a zona costeira. Apesar das diferenças conceituais em alguns trechos das linhas em análise, fica claro que o fator decisivo para a grande diferença entre os comprimentos das linhas foi o nível de detalhamento considerado neste estudo.





Figura 9-34: Comparação entre as linhas de costa do IBGE e a do Projeto Costa Norte.

Os bancos de sedimentos, por sua vez, servem como parâmetro para avaliar o equilíbrio ambiental da área de estudo, além de servir como referência para navegação. Neste estudo não houve a pretensão de discernir sobre a granulometria do material sedimentar, podendo, portanto, o banco de sedimento ser arenoso ou lamoso. Da mesma forma, não houve espaço para o aprofundamento da pesquisa para estimar sua volumetria. Com isso, o estudo se limitou em fazer apenas uma análise planimétrica dos bancos.

O litoral do Pará foi onde houve maior área de bancos de sedimentos, com cerca de 565 km² e a costa do Maranhão aparece logo em seguida com 455 km². Por último, o litoral do Amapá registrou 175 km². Embora o Amapá em números absolutos tenha menor área aparente de bancos de sedimentos, proporcionalmente é o onde mais se concentra os bancos. Para cada 1000 km de linha de costa, Amapá apresenta 58 km² de banco de sedimentos, enquanto o Pará aponta cerca de 50 km² e o Maranhão cerca de 36 km². Faz-se a ressalva de que esta análise é um retrato dentro de um filme, ou seja, os bancos de sedimentos possuem alta mobilidade espacial e volumétrica em função das condições naturais como marés, vazão fluvial e sua carga de sedimentos transportados, e a batimetria. Portanto, todos os dados de bancos de sedimentos empostos na Tabela 9-22 devem ser observados em um contexto bem específico para o momento em que foi analisado.

Para ilustrar os resultados obtidos, a Figura 9-35 apresenta duas imagens Sentinel-1: a primeira do dia 13 de março de 2107 (A) em condições de maré alta (277 cm), e a segunda do dia 18 de janeiro de 2016 (C) em situação de maré baixa (-174 cm). As imagens (B) e (D) exibem os resultados da linha de costa e



do mapeamento dos bancos de sedimentos, respectivamente. A linha de costa foi extraída essencialmente pelo contraste direto entre a água (mar e rios) e o mangue. Portanto, a linha de borda do mangue foi o indicador adotado para o levantamento da linha de costa neste trecho da área de estudo. Já o mapeamento dos bancos de sedimentos foi extraído pela resposta característica do sinal do sensor com a textura dos bancos de sedimentos. Em um ambiente marinho de águas calmas ou abrigadas, qualquer protuberância sobre o corpo aquoso, torna-se passível de ser captado pelo sensor SAR, especialmente o Sentinel-1 que possui alta resolução espacial. Logo, a tonalidade magenta observada na imagem (C) é a disposição dos bancos de sedimentos expostos pela maré baixa.



Figura 9-35: Imagem Sentinel-1 em situação de maré alta (A) e o levantamento da linha de costa (B). Imagem Sentinel-1 em situação de maré baixa (C) e o mapeamento dos bancos de sedimentos (D).

Destaca-se que as imagens de RADAR apresentam seus pixels originais em tonalidades baseadas exclusivamente no espectro de tons de cinza (do preto ao branco). As imagens expostas na Figura 9-35 são resultados de composição colorida RGB utilizando os dois canais polarimétricos disponíveis no Sentinel-1 (R=VV, G=VH, B=VV).

A Figura 9-36 exibe toda linha de costa levantada no presente estudo. Da mesma forma, a Figura 9-37 apresenta o mapeamento dos bancos de sedimentos. Observa-se os valores de maré no momento em que o sensor passou pelo local. A visão geral da área de estudo evidencia o quanto o litoral entre Pará e



Maranhão é sinuoso, recortado e dominado por manguezais. Já o litoral entre Pará e Amapá mostra uma costa mais longilínea do que o primeiro trecho.

A sequência de imagens entre a Figura 9-38 e a Figura 9-45 apresentam os detalhes da linha de costa e dos bancos de sedimentos para cada cena (ou frame) que compõem a área de estudo.





Figura 9-36: Levantamento da Linha de Costa da área de estudo.




Figura 9-37: Levantamento dos Bancos de Sedimentos.





Figura 9-38: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para os Frames 9 e 10.





Figura 9-39: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 8.





Figura 9-40: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 7.





Figura 9-41: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 6.







Figura 9-42: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 5.





Figura 9-43: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 4.





Figura 9-44: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 3.





Figura 9-45: Detalhes do mapeamento da linha de costa e bancos de sedimentos para o Frame 2.



9.2.4. Considerações Finais

O presente estudo procurou demonstrar a importância e benefícios de ter a linha de costa sempre atualizada. Apesar das tecnologias disponíveis facilitarem a identificação de todas as feições da superfície terrestre, mapear a linha de costa não é um procedimento trivial, pois envolve o entendimento de todas as forçantes que atuam na área de estudo que influenciam diretamente na posição da linha de costa. O mesmo desafio se aplica no mapeamento dos bancos de sedimentos. Nos últimos anos, foram lançados diversos sensores orbitais ampliaram as alternativas de estudar a morfologia dos bancos de sedimentos. No entanto, o sensor Sentinel-1 permitiu o avanço desejável neste tema ao oferecer gratuitamente cenas com dados polarimétricos, alta resolução espacial e operacionalidade que independe das condições atmosféricas.

Este estudo não pretendeu esgotar o assunto analisado, pelo contrário, procurou apresentar as dificuldades e as lacunas que ainda precisam ser desenvolvidas para ter uma linha de costa mais precisa, sobretudo considerando seu aspecto temporal. Da mesma forma, o estudo apresentou resultados promissores, com dados bem próximos da realidade atual, servindo de base para outros grupos de pesquisa como a Modelagem Hidrodinâmica. Outro proveito gerado pelo estudo foi o desafio de mapear uma área contínua tão extensa. Isso envolveu não apenas disponibilidade de imagens SAR devidamente celebrada na pesquisa, mas também uma equipe qualificada para entender a complexidade da área de estudo e dominar técnicas de processamento digital de imagens de sensores SAR. Os resultados apresentados foram um primeiro esforço de estudar de maneira integrada o posicionamento da linha de costa e dos bancos de sedimentos.

De acordo com o exposto, a extensão total da linha de costa da área de estudo foi cerca de 27.000 km, algo quase 7 vezes maior do que o valor considerado pelo IBGE. Essa diferença se explica pelo nível de detalhe adotado neste estudo e como explicado neste capítulo, quanto menor a régua que mede a linha de costa, maior tende ser a sua extensão. Maranhão foi onde se observou maior extensão litorânea, seguido do Pará e Amapá.

No que tange aos bancos de sedimentos, Pará exibiu maior área de bancos, seguido de Maranhão e, com área bem menor, vem o Amapá. Entretanto, proporcionalmente, Amapá possui maior concentração de bancos de sedimentos por 1.000 km de costa, seguido do Pará e, por último, o Maranhão.

Avaliando a linha de costa e os bancos de sedimentos de forma agregada na área de estudo, observa-se primeiramente, em uma escala macro, uma diferença quanto ao recorte do litoral no trecho entre a Baía de São Marcos (MA) até a Baía de Marajó (PA) e o segundo trecho entre a Baía de Marajó até o Cabo Orange (AP). No primeiro trecho, a linha de mangue é mais recortada com bosques destacados do continente, formando ilhas de manguezais. Esse tipo de ambiente indica que os bancos de sedimentos atuam como barreiras protetoras ou amortizadoras das ondas oceânicas, permitindo que o manguezal se desenvolva com contornos sinuosos. Entretanto, no segundo trecho, existe a linha de mangue tal como no primeiro trecho, porém, é predominantemente retilínea, indicando que existe um controle oceânico ou das águas da foz do Rio Amazonas sobre os limites da linha de mangue. Os bancos de



sedimentos existem ao longo deste trecho da linha de costa, porém acompanham a linha de costa, sugerindo que possuem um papel igualmente importante na proteção do manguezal.

O estudo também apontou lacunas de estudos que podem e devem ser aprofundados em um momento oportuno, são estas: monitoramento contínuo da linha de costa, integrando o aspecto temporal ao conceito de linha de costa; medição em campo dos bancos de sedimentos identificados nas imagens, a fim de estabelecer uma relação entre sinal do sensor com volume do sedimento; monitoramento dos bancos de sedimentos para entender o padrão de acúmulo, mobilidade e transporte de sedimentos. Tudo isso são linhas de pesquisas promissoras que podem atender uma demanda por este tipo de informação, a luz das novas tecnológicas embarcadas em satélites lançados em orbitas recentemente.



9.3. Referências Bibliográficas

- ARAÚJO FILHO, M. C., MENESES, P. R. SANO, E. E. 2007. "Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite". Revista Brasileira de Cartografia No 59/02.
- BHATTARAI, B., GIRI, C. 2011. "Assessment of mangrove forests in the Pacific region using Landsat imagery". Journal of Applied Remote Sensing, vol. 5, pp. 053509-053511. 2011.
- BRITES, R.S.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. 1996. "Comparação de desempenho entre três índices de exatidão aplicados a classificações de imagens orbitais". In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, BA. Anais. São José dos Campos: INPE, p.813-821.
- BOULHOSA, M.B.M., Souza Filho, P.W.M, 2009, "Reconhecimento e Mapeamento dos Ambientes Costeiros para a Geração de Mapas de ISA ao Derramamento de Óleo, Amazônia Oriental". Revista Brasileira de Geofísica, 27(Supl.1):23-37.
- CÂMARA, G., QUEIROZ, G., Assis, L.F.F.G., Ferreira, K.R. 2016."Big Earth Observation Data Analytics: Matching Requirements to System Architectures". International Workshop on Analytics for Big Geospatial Data. San Francisco, CA, USA.
- CAVALCANTE, J. S. I. 2018. Áreas costeiras: gestão, problemáticas e percepções ambientais no município de Areia Branca, Rio Grande do Norte, Brasil. 2018. 183f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- CHAGAS, C. S. 2006. "Mapeamento Digital de Solos por Correlação Ambiental e Redes Neurais em uma Bacia Hidrográfica no Domínio de Mar de Morros".Tese (Doutorado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química,) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CONGALTON, R.G. 1991. "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data". Remote Sensing of Environment, 37(1): 35-46.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K, 1999. "Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices". Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K, 2009. "Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices" / Russell G. Congalton and Kass Green. -- 2nd ed., Boca Raton, FL, 2009. ISBN 978-1-4200-5512-2.
- CRUZ ET AL., 2011 Cruz, M. A. S.; Souza, A. M. B.; Jesus, J. S. 2011. "Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japaratuba-Mirim em Sergipe."



In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, Brasil. Anais. São José dos Campos: INPE, p. 1357-1365.

- D'ABBREVILLE, C. 1975. "História da missão dos padres capuchinhos na Ilha do Maranhão e terras circunvizinhas (1614)". Livraria Itatiaia Editora/EDUSP.
- DE FARIA ALMEIDA, E., 2008, "Sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo dos Ecossistemas Costeiros da Região do Cabo Norte, Amapá: A Contribuição do Sensoriamento Remoto". Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 202p.
- DI GREGORIO, A., AND JANSEN, L.J.M, 2000." Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual.Environment and Natural Resources Service", GCP/RAF/287/ITA Africover - East Africa Project and Soil Resources, Management and Conservation Service. 179 pages, 28 figures, 3 tables and including CD-ROM. FAO, Rome.
- DOLAN, R.; HAYDEN, B.P.; MAY, P., AND MAY, S.K., 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. Shore and Beach, 48(4), 22–29.
- DRUSCH, M. et al, 2012. "Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services". Remote Sensing of Environment, v. 120, p. 25-36.
- DUGAN, P. J, 1992. "Conservación de Humedales Un análisis de temas de actualidad y acciones necessárias (ed)". UICN, Gland, Suiza, 1992, 100 p.
- EMBRAPA, 2020. Acesso em 20/01/2020. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_alos.html>.
- ESA European Space Agency, 2015. "Sentinel-2 User Handbook" Document.Technical Report, issue 1 revision 2.: European Space Agency Disponível em https://sentinel.esa.int/documents/ 247904/685211/Sentinel2_User_Handbook>. Acesso em: 22/06/2018.
- ESA European Space Agency, 2017. "Sentinel-1 User Handbook". Disponível em: https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-1. Acesso em 06/02/ 2017.
- FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, G. M, 2009. "RapidEye: a nova geração de satélites de observação da Terra". In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. Natal, RN. Anais São José dos Campos: Inpe, p. 7619–7622, 2009.
- FONSECA, R. F.; PEREIRA, T. D.; DUTRA, L.V.; PANTALEÃO, E.; FREITAS, C. DA C.,2009. "Comparação entre classificadores por pixel e por região com imagem SPOT- para o estado de Minas Gerais". Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 959-966.



- FORKUOR, G.; CORAND, C.; THIEL, M.; ZOUNGRANA, E. 2014. "Integration of Optical and Synthetic Aperture Radar Imagery for Improving Crop Mapping in Northwestern Benin, West Africa". Remote Sensing, Vol. 6, № 7, pp. 6472-6499.
- GIRI, C., PENGRA, B., ZHU, Z., SINGH, A., TIESZEN, L.L., 2007 "Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000".
 Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 73, pp. 91-100. 2007.
- GORELIK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R., 2017. "Google Earth Engine: Planetary - scale Geospatial Analysis for everyone". Remote Sensing of Environment. V. 202.. P.18-27.
- GONÇALVES, F.D., SOUZA FILHO, P.W.M., 2005, "Integração digital de imagens RADARSAT-1 e Landsat-7 para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Baía de Guajará (Belém-PA)". 2005. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 1789-1796.
- HADLICH, G. M.; UCHA, J. M. & OLIVEIRA, T. L., 2009. "Distribuição de apicuns e de manguezais na Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 4606- 4714.
- HAGOLLE, O. et al., 2015 "SPOT-4 (Take 5): simulation of Sentinel-2 time series on 45 large sites". Remote Sensing, v. 7, n. 9, p. 12242-12264.
- HEENKENDA, M., JOYCE, K., MAIER, S., BARTOLO, R., 2014. "Mangrove species identification: comparing WorldView-2 with aerial photographs". Remote Sensing, vol. 6, pp. 6064-6088.
- HEUMANN, B.W. Satellite remote sensing of mangrove forests: recent advances and future opportunities'. Progress in Physical Geography, vol. 35, pp. 87-108. 2011.
- HUETE, A. R., 1988. "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)". Remote Sensing of Environment, 25:295-309.
- HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; van Leeuwen, W., 1997 "A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS." Remote Sens. Environ, n.59, p.440-451.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G., 2002. "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices". Remote Sensing of Environment, n. 83, p. 195-213.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2004. "Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra. Relatório Técnico Uso da Terra no Estado do Amapá". IBGE.



- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. "Manual Técnico de Uso da Terra". Manuais Técnicos em Geociências. no 7, 2º edição. Rio de Janeiro.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2013. "Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra." Relatório Técnico Uso da Terra no Estado do Pará. Rio de Janeiro/RJ.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Municípios defrontantes com o mar | 2018. Malha Municipal Digital. Site. Acesso em abril de 2020: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/24072municipios-defrontantes-com-o-mar.html?=&t=o-que-e
- JENSEN, J. R., 1996. "Introdutory digital image processing". New Jersey, 1996.
- JENSEN, J. R., 2009. "Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres". São José dos Campos: Parêntese. 604 p.
- JIN, H.; MOUNTRAKIS, G.; STEHMAN, S.V. 2014. "Assessing integration of intensity, polarimetric scattering, interferometric coherence and spatial texture metrics in PALSAR-derived land cover classification". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 98, pp. 70- 84.
- KAMAL, M., PHINN, S.R., 2011. "Hyperspectral data for mangrove species mapping: a comparison of pixel-based and object-based approach". Remote Sensing, vol. 3, pp. 2222-2242. 2011.
- KJERFVE, B.; LACERDA, I.D. 1992. "Mangroves of Brazil". in: lacerda, I.D. (org.) Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in latin America and Africa regions. Part I. Latin America. Vol. 2. isMe
- LARA, R.J. 2003. "Amazonian mangroves a multidisciplinary case study in Pará state, north Brazil": introduction. Wetlands Ecology and Management 11:217-221.
- LEITE, E.F., ROSA, R., 2012 "Análise do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins". OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, v.4, n.12, p. 90-106, dez. 2012.
- LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R., 2005. "Fatos Florestais da Amazônia". Belém, 2005. Disponível em www.imazon.org.br (acesso em julho de 2007).
- Lima Júnior, E. M., 2015. "Análise da Degradação da Cobertura Florestal em Povoados Quilombolas da Baixada Maranhense (Amazônia) e seu entorno". Dissertação de Mestrado. UFMA.
- MARTINS, M,B., OLIVEIRA, T.G., 2011. "Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação". Belém, PA.
- MANDELBROT, B. B., 1983. "How Long Is the Coast of Britain." Ch. 5 in The Fractal Geometry of Nature. New York: W. H. Freeman, pp. 25-33.



MMA e ICMBIO. "Atlas dos Manguezais no Brasil". Brasília. 2018.

- MMA, 2017. Geo catálogo MMA. Disponível em: http://geocatalogo.mma.gov.br/index.jsp. Acessado em Dezembro de 2017.
- MOREIRA. R. C., 2000. "Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação". Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, São José dos Campos. 2000.
- PCI Geomatics, 2013. "PCI Geomatics releases Geomatica 2013". Disponível em: http://www.pcigeomatics.com/pressnews/2012_PCI_Geomatica2013_Release1.pdf. Acessado em Novembro de 2017.
- PONTIUS, R. G.; MILLONES, M., 2011. "Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment". International Journal of Remote Sensing, New York, v. 32, n. 3, p. 44074429, 2011.
- PONZONI, F. J.; Shimabukuro, Y. E., 2007. "Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação." São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. v.1. 140 p.
- PONZONI, F. J.; Shimabukuro, Y. E., 2010. "Sensoriamento remoto no estudo da vegetação". São Jose dos Campos: Parêntese, 2010. 127p.
- PRAKASAM, C., 2010. "Land use and land cover change detection through remote sensing approach: A case study of Kodaikanal taluk, Tamil nadu". International Journal of Geomatics and Geosciences, v.1, n. 2, p. 150-158.
- PROBIO, 2007. "Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica". Relatório Final. Rio de Janeiro.
- REBELO-MOCHEL, 1997 REBELO-MOCHEL, F. 1997. "Mangroves on São Luis Island, Maranhão, Brazil". In: Kjerfve, B.; Lacerda, L.D.; Diop, E.H.S. (eds.). Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa. Paris, UNESCO Publication. 349 p. p. 145-154.
- EITEL, J; LONG, D.; GESSIER, P.E.; SMITH, A.M.S. 2007. "Using in-situ measurements to evaluate the new RapidEye[™] satellite series for prediction of wheat nitrogen status". Article in International Journal of Remote Sensing 28(18):4183-4190 · September 2007.
- SCCON, 2017. "Santiago & Cintra Consultoria: Imagens RapidEye. Disponível em: http://www.sccon.com.br/produtos/imagens/rapideye. Acessado em 15/05/2017.



- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 2002. "Manguezal: ecossistema que ultrapassa suas próprias fronteiras". In: Congresso Nacional de Botânica, 53, 2002, Recife, p. 34-37.
- SCHUSTER, C.; FOSTER, M.; KLEINSCHMIT, B. 2012. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data. International Journal of Remote Sensing. V. 33, n.17, p. 5583-5599.
- SEABRA, V.C., Cruz, C.B.M. 2013. Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São Joao, RJ. Revista Sociedade e Natureza, ed 25 (2), p. 411-426. Uberlândia.
- SEGL, K. et al. 2015. An end-to-end modeling tool for the simulation of Sentinel-2 image products. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 53, n. 10, p. 5560-5571, 2015.
- SENNA, C.; MELLO, C.F.; Furtado, l.g. 2002. impactos naturais e antrópicos em manguezais do estado do Pará. in: Furtado, l. and Quaresma, h.D.A.B (eds). Gente e ambiente no mundo da pesca artesanal. Museu Paraense emílio goeldi. Belém, Pará, Brazil. 258pp.
- SILVA, J. B. da. 2006 Territorialidade da pesca no estuário de Itapessoca- PE: Técnicas, Petrechos, espécies e impactos ambientais. Dissertação (Mestrado em Geografia). UFPE. CFCH. Recife. 103p.
- SILVA, P.M., CRUZ, C.L.Z., VASCONCELOS, A.O., LANDAU, L. Utilização de Classificação Semiautomatizada em Imagem Sentinel-2 para o Mapeamento de Floresta de Mangue da Margem Equatorial Brasileira. Anais do XIX Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São Paulo. 2019.
- SILVEIRA, 1998 Silveira, O.F.M., 1998, "A Planície Costeira do Amapá. Dinâmica de Ambiente Influenciado por Grandes Fontes Fluvais Quaternárias". Tese (Doutorado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará/Centro de Geociências. Belém. 215p.
- SOARES, M. L. G. 1995. Zonação e as Marés. In: Schaeffer-Novelli, Y. Manguezal Ecossistema Entre a Terra e o Mar. Caribbean Ecological Research. São Paulo, 61p.
- SONG, C.; WOODCOCK, C. E.; SETO, K. C.; LENNEY, M. P.; MACOMBER, S. A., 2001. CLASSIFICATION AND CHANGE detection using LANDSAT TM Data: When and how to correct atmospheric effects? Remote Sensing of Environment, v. 75, n. 2, p. 230-244, 2001.
- USGS. U.S. Geological Survey. Disponível em: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php. Acessado em 15/05/2017.
- SANTOS, V.F., 2006 Ambientes Costeiros Amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto. Tese de Doutorado, Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, 2006.



- SOUZA FILHO, P.W.M. et al., 2004. Environmental sensitivity mapping for oil spill in the Amazon coast using remote sensing and GIS technology. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003, Anchorage (USA). Conference paper, Anchorage: IEEE, p. 1-5.
- SOUZA FILHO, P.W.M., 2005. Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia: Cenários Morfológicos, Mapeamento e Quantificação de áreas usando dados de Sensores Remotos. Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, n. 4, pp. 427-435, 2005.
- SPALDING, M., BLASCO, F., Field, C., 1997. "World mangrove atlas". ISME, Okinawa, pp. 178.
- SZLAFSZTEIN, C. 2003. Vulnerability and response measures to natural hazards and sea level rise impacts: long-term coastal zone management, NE of the state of Pará, Brazil. zMT Contributions 17. Center for Marine Tropical ecology (zMT). Bremen, germany. 192pp.
- TAQUIA, A. A. L., 2015. Producto Sentinel-2. Disponível em: <<https://es.slideshare. net/AlejandroLesentinel2-espaol>>. Acesso em: 22/11/2015.
- TEIXEIRA, S.G., SOUZA FILHO, P.W., 2009. "Mapeamento de Ambientes Costeiros Tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando Imagens de Sensores Remotos Orbitais". Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 27, p. 69-82.
- YANG, C., XU, Y., NEBERT, D., 2013. Redefining The Possibility of Digital Earth and Geosciences with Spatial Cloud Computing. International Journal of Digital Earth. Ed 6:4, p. 297-312. 2013.



9.4. Anexos

ANEXO I Mapas dos Ecossistemas Costeiros da Margem Equatorial Brasileira



- ANEXO I -

Mapas dos Ecossistemas Costeiros da Margem Equatorial Brasileira





















































