



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO**

SUSANE LAÍS DA SILVA CHAVES

**ESTUDO DA DINÂMICA DUNAR NA REGIÃO DA LAGOA DO PORTINHO
UTILIZANDO DADOS MAPBIOMAS**

**TERESINA
2023**

SUSANE LAÍS DA SILVA CHAVES

**ESTUDO DA DINÂMICA DUNAR NA REGIÃO DA LAGOA DO PORTINHO
UTILIZANDO DADOS MAPBIOMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Geoprocessamento do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí, Campus Teresina Central.

Orientadora: Profa. Dra. Valdira de Caldas Brito
Vieira

TERESINA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Chaves, Susane Laís da Silva

C512e Estudo da dinâmica dunar na região da Lagoa do Portinho utilizando dados mapbiomas / Susane Laís da Silva Chaves. - 2023.
78 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Geoprocessamento) -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central, 2023.

Orientadora : Profa Dra. Valdira de Caldas Brito Vieira.

1. Sensoriamento remoto. 2. Mapbiomas. 3. Dunas. I. Título.

CDD – 621.3678

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

SUSANE LAÍS DA SILVA CHAVES

**ESTUDO DA DINÂMICA DUNAR NA REGIÃO DA LAGOA DO PORTINHO
UTILIZANDO DADOS MAPBIOMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Geoprocessamento do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí, Campus Teresina Central.

Aprovada em: 17/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Valdira de Caldas Brito Vieira (Orientadora)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Profa. Me. Amanda Bezerra Matias
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Esp. Daniel Silva Veras
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

À Deus, aos meus pais, amigos e
professores. A todos que tiveram
paciência e amor nessa jornada
acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus, a Ele acima de tudo e de todos. O que me concede o ar para respirar e sempre me trouxe a memória a importância de finalizar esse ciclo. O que me deu sabedoria para escolher esse curso, escolha a qual não me arrependo, e que me inspirou e fortaleceu nessa produção científica quando ninguém mais viu as lágrimas para gerar esse “filho”.

À minha mãe, Zulmira Maria da Silva, meu maior exemplo de vida, caráter, integridade, fé e dedicação aos estudos, independente das dificuldades. Obrigada por sempre priorizar a fé, a educação e a saúde na minha formação. Ao meu pai, Vilmar Gomes Chaves, que mesmo a distância deu o seu melhor no que estava ao seu alcance. Obrigada por todos os dias me transportar nas idas e vindas do Instituto. As minhas avós, Constância Ferreira e Teresa Chaves, por serem como coluna nas nossas famílias. Obrigada pelas orações. Se cheguei até aqui, vocês chegaram também. Ao meu namorado e parceiro de vida, Victor Coutinho, que teve muita paciência nesse tempo de monografia. Obrigada por sempre me motivar da melhor forma.

Agradeço aos meus amigos, por toda paciência, palavras de motivação e por sempre acreditarem no meu potencial. Não vou citar os nomes para não correr o risco de esquecer de alguém. Porém, agradeço em especial ao meu colega de graduação, Allan Antunes, que sempre me ajudou, orientou, sugeriu, motivou, tirou dúvidas e foi como um mentor no período das aulas. À minha amiga Cláudia Vieira, que também foi um presente nessa passagem pelo IFPI e que me inspira a sempre avançar nas pesquisas acadêmicas.

Agradeço a todos os professores e servidores do Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, pois passar por essa instituição me trouxe um crescimento ímpar num ambiente bem estruturado com profissionais capacitados e solícitos. Pelo incentivo, através da Bolsa de Iniciação ao Trabalho, onde pude ter minha primeira experiência profissional na Academia de Musculação e no Serviço Integrado Empresa-Escola – SIEE, ambos dentro do próprio Instituto, e pelo incentivo nas viagens a congressos e apresentações de artigos científicos.

Agradeço a Companhia de Recursos Minerais do Brasil – CPRM e a Águas e Esgotos do Piauí – AGESPISA, por terem me dado a oportunidade de estagiar e aprender na prática como aplicar as geotecnologias.

Em especial, agradeço a minha orientadora Professora Valdira Brito que me deu todo o apoio necessário para que eu chegasse até aqui. Obrigada por compartilhar do seu amplo conhecimento, pelas sugestões e puxões de orelha para que o trabalho fosse finalizado com excelência.

A todos, muito obrigada!

“Não despreze os pequenos começos.”

Pastor Márcio Valadão

“Um passarinho quando aprende a voar
sabe mais sobre coragem do que sobre voo.”

Lucão Escritor

RESUMO

A dinâmica costeira é influenciada por elementos antrópicos e naturais. Essa situação não difere quando se trata do litoral piauiense. Os ventos alísios afetam esta região do Nordeste que assim experimenta uma geodinâmica dunar intensa a qual pode levar a invasões de areia em estradas, residências e áreas hídricas. Um exemplo é a Lagoa do Portinho, situada na divisa dos municípios de Parnaíba e Luís Correia, no estado do Piauí. Podemos observar que as dunas estão se deslocando do litoral para o interior do continente. Nos últimos anos, este deslocamento tem se intensificado. Utilizamos o sensoriamento remoto neste trabalho para investigar quantitativamente as mudanças nas dunas presentes na paisagem natural da região da Lagoa do Portinho, no período de 1985 a 2020. Através da ferramenta MapBiomias, coleção 6, foi feito o processamento em nuvem das imagens de satélite dos sensores *Landsat* 5, 7 e 8, a fim de gerar a classificação de uso e cobertura da Terra e avaliar as transformações a cada 5 anos no local. Recortamos a área da Lagoa nas imagens de satélite utilizando *shapefiles* de massa de água fornecidos pelo IBGE, com um *buffer* de 2 km. Produzimos os mapas no *software* livre QGis 3.22. Os resultados revelaram que a área ocupada pelos sedimentos eólicos aumentou em 0,47 km² ou 465.300 m² ou 9,31% entre 1985 e 2020, com uma média anual de 13.294 m², migrando do Nordeste para o Sudeste, seguindo a direção dos ventos alísios que atingem essa região. Nesse período, as dunas se expandiram ocupando uma área de 1,18 km², enquanto a sua retração foi verificada em 0,71 km². No ano de 2019, o Estado do Piauí concedeu à região o status de Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE). Consideramos a elaboração e divulgação do plano de manejo pela SEMAR, bem como o envio de recursos para a região. Da mesma forma, a promoção de debates e ações com a comunidade local e a introdução de letreiros informando sobre o uso consciente do meio ambiente por parte dos trabalhadores e usuários.

***Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; MapBiomias; Dunas.

ABSTRACT

Coastal dynamics are caused by anthropic and natural elements. This situation is no different when it comes to the coast of Piauí. The trade winds affect this Northeast region and, therefore, it experiences intense dune geodynamics that can lead to sand invasions in roads, residences, and water areas. An example is Lagoa do Portinho, located on the border of the municipalities of Parnaíba and Luís Correia, in the state of Piauí. We can see that the dunes are moving from the coast to the interior of the continent. In recent years, this displacement has intensified. We used remote sensing in this work to quantitatively investigate changes in the dunes present in the natural landscape of the Lagoa do Portinho region, from 1985 to 2020. We used the MapBiomass tool, collection 6, to process in the cloud satellite images from Landsat sensors 5, 7 and 8, in order to generate the land use and land cover classification and evaluate the transformations every 5 years. We cropped the Lagoon area in satellite images using water mass shapefiles provided by IBGE, with a 2 km buffer. We used the free software QGIS 3.22 to produce the maps. The results revealed that the area occupied by aeolian sediments increased by 0.47 km² or 465,300 m² or 9.31% between 1985 and 2020, with an annual average of 13,294 m², migrating from the Northeast to the Southeast, following the direction of the trade winds that affect this region. During this period, the dunes expanded occupying an area of 1.18 km², while the retraction of the dunes was verified in 0.71 km². In 2019, the State of Piauí granted the region the status of Area of Relevant Ecological Interest (ARIE). We considered the elaboration and dissemination of the management plan by SEMAR, as well as the sending of resources to the region. Likewise, the promotion of debates and actions with the local community and the introduction of signs informing about the conscious use of the environment by workers and users.

Keywords: Remote sensing; MapBiomass; Dunes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Duna Estacionária.....	23
Figura 2	– Duna Migratória.....	23
Figura 3	– Tipos morfológicos de dunas.	24
Figura 4	– Mecanismos de transporte responsáveis por alterar o tamanho do grão durante o transporte sobre uma duna frontal costeira vegetada.	28
Figura 5	– Dunas na região da Lagoa do Portinho - PI.	30
Figura 6	– Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.....	35
Figura 7	– Curva Espectral da Vegetação, Água e Solo.....	37
Figura 8	– Plataforma MapBiomas.....	39
Figura 9	– Organização da rede MapBiomas em biomas e temas transversais para classificação de uso e cobertura da terra no Brasil.....	40
Mapa 1	– Localização da Lagoa do Portinho, Litoral Piauiense.	44
Figura 10	– Esquema da Metodologia desse estudo.	47
Figura 11	– Metodologia MapBiomas.....	48
Gráfico 1	– Métricas do uso e ocupação do solo na região da Lagoa do Portinho – PI (km ²), resultado utilizando metodologia MapBiomas.....	53
Figura 12	– Uso e Ocupação do solo na região da Lagoa do Portinho, 1985 a 2020.....	54
Gráfico 2	– Média do índice pluviométrico (mm) para cada intervalo de tempo, registrado pela estação meteorológica no município	

	de Parnaíba – PI.....	56
Figura 13	– Histórico da área das classes (em km ²) na região da Lagoa do Portinho - PI entre 1985 e 2020, da coleção 6 do MapBiomas.....	61
Gráfico 3	– Série temporal da superfície d'água – Lagoa do Portinho, PI.	62
Gráfico 4	– Série temporal mensal de superfície d'água – Lagoa do Portinho, PI.....	63
Figura 14	– Transições de Classes 1985-2020, na região da Lagoa do Portinho.....	64
Fotografia 1	– Lagoa do Portinho assoreada no ano de 2015.	65
Fotografia 2	– Lagoa do Portinho, maio de 2022.....	67
Fotografia 3	– Lagoa do Portinho, maio de 2022.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Coleções MapBiomas.....	41
Quadro 2	– Sistema de classificação de cobertura e uso da terra para MapBiomas no Brasil.	48
Quadro 3	– Reclassificação da cobertura do solo.	50
Quadro 4	– Definição de Classes de Transição.....	51
Quadro 5	– Ocorrências de El Niño e La Niña, nos últimos anos.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Área Plantada ou destinada a colheita, em ha, nos municípios de Parnaíba e Luís Correia, entre os anos 1985 e 2020.....	58
Tabela 2	– Mudanças de área de classes na região da Lagoa do Portinho - PI entre 1985 e 2020, da coleção 6 do MapBiomass.....	60
Tabela 3	– Total de área de classe de cada transição.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DCE	Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Eólicos
DCEm	Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Eólicos Campo de Dunas Móveis
DCEf	Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Eólicos Campo de Dunas Fixas
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
Ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Km	Quilômetros
LCLU	<i>Land Cover Land Use</i>
LecoS	<i>Landscape Ecology Statistics</i>
MAPBIOMAS	Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
OLI-TIRS	<i>Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor</i>
ONG's	Organizações Não Governamentais
PAM	Pesquisa Agropecuária Municipal
PDA	Praias, Dunas e Areais
PNLM	Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses
RGB	<i>Red-Green-Blue</i>

SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SEMAR	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UC	Unidades de Conservação
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transverso de Mercator
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVO DA PESQUISA	20
1.1.1	Objetivo geral.....	20
1.1.2	Objetivos específicos.....	20
1.2	JUSTIFICATIVA	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	DUNAS	22
2.1.1	Conceito	22
2.1.2	Dinâmica das dunas	25
2.1.3	Dunas no litoral piauiense.....	28
2.2	ECOSSISTEMA DE RESTINGA	30
2.3	IMPORTÂNCIA E DEGRADAÇÃO DOS SISTEMAS DUNARES – ESTUDOS SOBRE DUNAS NO BRASIL	32
2.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE GEOPROCESSAMENTO	34
2.4.1	Sensoriamento Remoto	35
2.5	DESCRIÇÃO MAPBIOMAS	39
3	MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1	ÁREA DE ESTUDO	43
3.1.1	Localização	43
3.1.2	Características da região - Vegetação, Hidrografia, Solo e Clima	44
3.1.3	Lagoa do Portinho	45
3.2	METODOLOGIA	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DAS CLASSES E DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	52
4.2	DINÂMICA DAS CLASSES E SUAS INFLUÊNCIAS.....	57
4.2.1	Agropecuária.....	57
4.2.2	Floresta Natural.....	58
4.2.3	Área Não Vegetada.....	59

4.2.4	Dunas.....	59
4.2.5	Corpos D'água.....	62
4.3	ANÁLISE DAS TRANSIÇÕES DE CLASSES.....	63
4.4	ESTIAGEM E RECUPERAÇÃO DA LAGOA DO PORTINHO.....	64
5	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

As evidências da intensificação do desequilíbrio ambiental terrestre têm desafiado a humanidade nas últimas décadas tornando-se uma preocupação presente em toda sociedade. Haja vista, o meio em que estamos inseridos sofre alterações constantes e complexas em virtude de ações antrópicas e naturais.

O Estado do Piauí, região nordeste do Brasil, possui a menor extensão de litoral de toda costa brasileira. Vários estudos já foram efetuados na região a fim de criar meios para preservar o ecossistema presente e explorar o potencial turístico deste espaço geográfico com toda sua abundância de paisagens naturais.

No entanto, destaca-se que vários trechos do litoral piauiense se encontram ameaçados pela geodinâmica dunar. Essa área do nordeste brasileiro recebe uma atividade eólica bastante intensa o que promove o assoreamento de mangues e lagoas na extensão do delta do Parnaíba, assim como o recobrimento de residências e estradas no município de Luís Correia. Estas ocorrências ocasionam o surgimento de áreas de riscos que podem, ao longo do tempo, gerar soterramentos pela movimentação das areias.

A exploração de dados geoespaciais é um processo amplamente utilizado em estudos ambientais. Com o avanço contínuo da tecnologia nas últimas décadas, as geotecnologias também foram impactadas por essa evolução. Como resultado, as técnicas de investigação nessa área foram aprimoradas visando maior eficiência e velocidade no campo do geoprocessamento.

Estas técnicas têm sido utilizadas na produção de dados a fim de gerar informações relevantes a sociedade em diversas áreas do conhecimento. Estudos do espaço geográfico têm sido feito de forma integrada e interdisciplinar buscando soluções para os problemas da realidade socioambiental e, conseqüentemente, para o exercício da cidadania.

O sensoriamento remoto tem se desenvolvido ao longo das últimas décadas, se tornando uma ferramenta essencial nos estudos ambientais pela abrangência da área captada pelos satélites, a rapidez do processamento dos dados e o baixo custo da operação para o usuário. O projeto Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS) tem sido muito utilizado em estudos de Sensoriamento Remoto por se mostrar inovador ao permitir que o processo de classificação de

imagens seja executado em nuvem com mosaicos *Landsat* que cobrem todo o território nacional e com resolução espacial de 30 metros.

Diante do exposto, esta pesquisa consistirá no monitoramento espacial e temporal das dunas na região da Lagoa do Portinho, divisa dos municípios de Parnaíba e Luís Correia, no estado do Piauí, utilizando-se de ferramentas de sensoriamento remoto. A referida região é conhecida por se tratar de um polo com alto potencial turístico, porém encontra-se ameaçada, dentre outros motivos, pelo avanço das dunas não vegetadas em direção a esse sistema fluvio-lagunar. As consequências desse fenômeno, aparentemente, se intensificaram nos últimos dez anos, fato que atribui maior relevância ao estudo em questão, o qual centra-se em desenvolver um estudo observacional acerca do uso e ocupação do solo nesta região através da mensuração e espacialização da área.

Desta forma, será realizada uma análise espacial e temporal através da classificação de imagens de satélite do projeto MapBiomias Brasil, no período de 1985 a 2020, para a averiguar as mudanças de cobertura do solo na região.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1.1 Objetivo geral

Analisar, temporalmente, a dinâmica dunar da Lagoa do Portinho, localizada no limite entre os municípios de Parnaíba e Luís Correia, estado do Piauí, utilizando dados do MapBiomias.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Adquirir imagens classificadas de uso e cobertura do solo dos arquivos do MapBiomias Brasil, entre os anos de 1985 e 2020 (com intervalos de 5 anos);
- ✓ Identificar os diferentes tipos de uso da terra e suas classes;
- ✓ Verificar a evolução das classes de uso e ocupação do solo temporalmente e espacialmente por meio de imagens de satélite;
- ✓ Estudo sobre as variáveis que influenciam essa dinâmica;

1.2 JUSTIFICATIVA

A avaliação do uso da terra, na área de um corpo d'água, é relevante, pois ela influencia nas características limnológicas deste ambiente, que recebe todo o material e fluxo energético (água, carga sólida e dissolvida) das bacias ou sub-bacias que nele deságuam. Isso ocorre principalmente em áreas de preservação permanente (APP) atingidas pela ação antrópica e natural (TUCCI, 1993; ESTEVES, 1998; PEREIRA FILHO, 2000 apud SARTOR, 2008).

A economia local pode ser diretamente prejudicada pelo deslocamento das dunas costeiras que podem atingir as estruturas que existem em determinado ambiente, as quais geram renda para aqueles que trabalham com o turismo, sendo assim importante serem feitos estudos deste fenômeno (MACHADO, 2011).

Além de que, de acordo com Vieira (2010), existe conexão entre todos os fenômenos terrestres onde um impõe forças no outro e assim se mantém o equilíbrio de todo ecossistema que pode ser instabilizado sempre que as forças se modificam. O conhecimento do uso da terra é primordial para a promoção de debates e soluções que mantenham a sua sustentabilidade perante as questões ambientais, sociais e econômicas.

Destaca-se o interesse de realizar pesquisas e estudos a fim de investigar as dinâmicas de uso e ocupação do solo atuais, principalmente pela importância dos serviços ambientais que a zona costeira presta. Grande parcela dos estudos com sistemas dunares está voltada a investigar quantitativamente, para identificar a direção, padrão morfológico e o deslocamento do areal, através do sensoriamento remoto orbital (HUGENHOLTZ *et al.*, 2012).

Assim, torna-se de extrema relevância espacializar e mensurar as áreas de dunas onde a expansão ocorreu na região da Lagoa do Portinho e verificar o impacto ao ambiente e sociedade, a fim de gerar políticas públicas que desacelerem os prejuízos desse fato.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica embasou-se em estudos anteriores: artigos, monografias, dissertações, teses e livros relacionados à dinâmica das dunas, zona costeira piauiense, geoprocessamento, sensoriamento remoto e a ferramenta MapBiomass. Reportagens, documentários e outras matérias jornalísticas sobre a Lagoa do Portinho também foram utilizadas na pesquisa. Foi realizada busca sobre características físicas da região em sites oficiais de órgãos públicos.

2.1 Dunas

2.1.1 Conceito

Dunas são feições morfológicas resultantes do transporte e da acumulação das partículas com granulometria de areia, geralmente encontradas em ambientes litorâneos ou desérticos (USP, 2017). Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 303/2002:

“Art. 2º, X - as dunas são definidas como unidade geomorfológica de constituição predominante arenosa, com aparência de cômodo ou colina, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação.” (CONAMA, 2002)

Também na Resolução do CONAMA nº 303/2002, Art. 3º, XI, define que todo e qualquer tipo de duna (paleoduna, duna móvel, duna fixa e duna semifixa) como Área de Preservação Permanente (APP). Houve a tentativa de regulamentação através da Resolução nº 341/2003 onde dispõe de uma série de critérios rigorosos em caso de atividades ou empreendimentos turísticos a ser realizada de forma sustentável, porém a resolução foi revogada em outra resolução de nº 488/2018. Desta forma, a ocupação de ambientes de dunas é totalmente irregular, podendo acarretar perda de diversidade local, modificação da permeabilidade do solo, e principalmente na modificação da dinâmica sedimentar litorânea.

Luke e Thomas (2008) afirmaram que, os corpos arenosos são sensíveis às pressões antrópicas e naturais. Oliveira (2004), cita alguns desses fatores que influenciam diretamente na construção da paisagem dunar, tais como: a presença e o

estado de danificação da vegetação, a velocidade e direção dos ventos, a variação sazonal das chuvas, o trânsito de pessoas e veículos e edificações sobre a linha de costa e na zona de acumulação praial.

As dunas podem ser classificadas como migratórias (Figura 1) ou estacionárias (Figura 2), de acordo com sua dinâmica de formação baseada na sua estrutura interna, a qual considera a geometria dos grãos de areia no interior da duna. As dunas estacionárias têm no seu interior uma estrutura mais estratificada, embora exista a dinâmica do vento, os grãos de areia permanecem agregados aos estratos em formação impedindo assim o deslocamento dunar.

Já as dunas migratórias, que também podem ser chamadas de móveis ou transgressivas, se formam a partir do transporte dos grãos do barlavento ao sota-vento. Dessa forma, os grãos migram da base ao topo mergulhando no ângulo de inclinação. Este movimento contínuo causa o deslocamento de todo o corpo da duna (SÍGOLO, 2009). A topografia dunar dinâmica é gerada principalmente pelo movimento das dunas não vegetadas, onde os sedimentos são transportados pelas fortes correntes de vento (CHAVES, LIMA E MELO, 2016).

A parte da duna que recebe o vento (barlavento) possui inclinação baixa, de 5° a 15° normalmente, enquanto a outra face (sota-vento), protegida pelo vento, é bem mais íngreme, com inclinação de 20° a 25° (SÍGOLO, 2009).

Figura 1 – Duna Estacionária



Fonte: Sígolo (2009).

Figura 2 – Duna Migratória

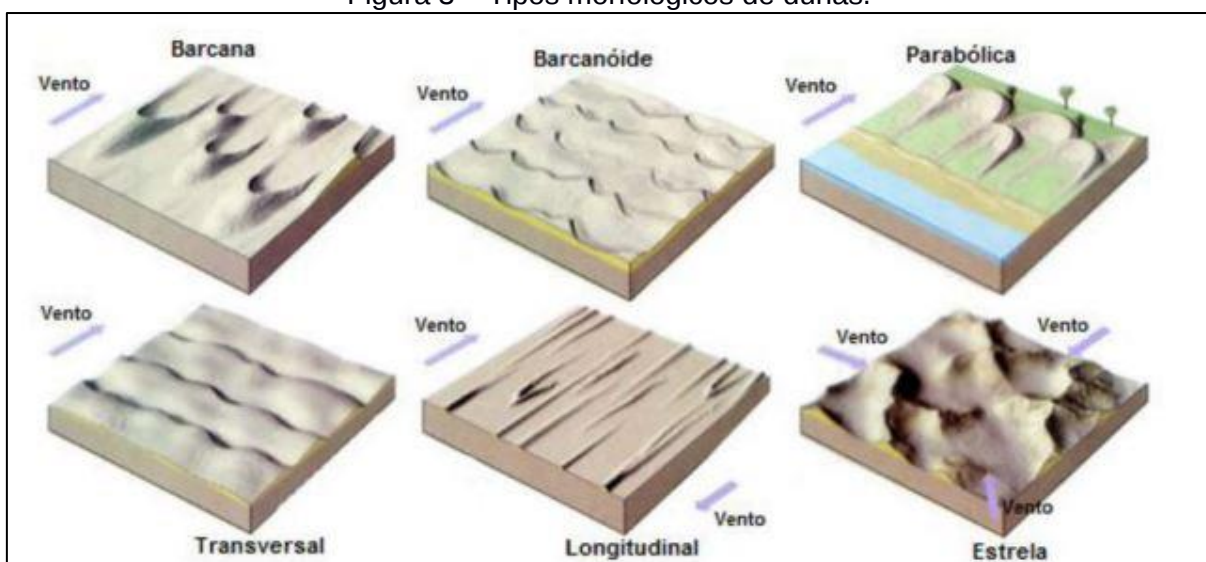


Fonte: Sígolo (2009).

No litoral brasileiro, ventos intensos formam enormes campo de dunas migratórias ou móveis que se deslocam até encontrarem obstáculos como casas, vegetação, fazendas, rodovias, ferrovias e/ou lagos. Para impedir o movimento, técnicas de plantio de vegetação psamofítica e de algumas gramíneas na base da duna tem obtido sucesso para a duna se tornar estacionária ou fixa (SÍGOLO, 2009).

Outra maneira de classificar as dunas é em sua morfologia. Três são as características principais que determinam a forma da duna: a) Velocidade e variação de direção do vento predominante. b) A superfície onde a areia é transportada pelo vento. c) A oferta de areia disponível (Figura 3). As formas mais comuns no litoral brasileiro são as dunas transversais, barcanas, parabólicas e longitudinais.

Figura 3 – Tipos morfológicos de dunas.



Fonte: Adaptado da obra de BROOKFIELD (2011).

Nos estudos de Sígolo (2009), Nascimento (2007) e Araújo (2006), foram levantadas informações sobre os tipos morfológicos de dunas descritos a seguir. As dunas transversais são comuns em regiões litorâneas onde encontra-se grande reservatório de sedimento arenoso e ventos frequentes com direção constante. Elas se formam paralelamente umas às outras de maneira alongada e podem acumular, entre elas, reservatórios de água doce durante a época das chuvas. O nome transversal surgiu por essas dunas apresentarem linha de crista em orientação perpendicular ao sentido preferencial dos ventos. A análise da assimetria das ondas dunares permite definir o sentido do vento que a gerou (do barlavento ao sota-vento).

As dunas barcanas ocorrem em regiões onde os ventos são moderados, unidirecionais e os sedimentos arenosos são limitados. Possui formato de meia lua ou lua crescente com extremidades voltadas para o mesmo sentido do vento. Este tipo não forma campos contínuos e geralmente essas dunas são pequenas chegando até 50m de altura e 350m de largura por ter limitada disponibilidade de areia. São encontradas raramente no Brasil. No litoral, em regiões onde a vegetação limita o fornecimento de areia, podem ser encontradas cadeias de dunas similares as barcanas chamadas de barcanóides, elas se diferenciam das barcanas por serem unidas umas às outras.

As dunas parabólicas se confundem com as barcanas, diferenciando-se pela curvatura, já que são mais fechadas no formato da letra “U” ou “V”, e por possuírem extremidades voltadas ao sentido contrário dos ventos. Podem surgir da destruição das dunas transversais ou se formarem em regiões onde os ventos são fortes e constantes com disponibilidade de sedimento maior que nas áreas de barcanas. A vegetação é um fator importante no controle desse tipo de duna limitando o fornecimento de areia. Existe ainda o tipo parabólica “*hairpin*” que são formadas por dois braços longos e longitudinais na direção dos ventos. Tem formato semelhante a um grampo de cabelo, de onde se originou seu nome. São comuns em áreas de grande abundância de areia, onde o regime unidirecional de ventos é bem definido e existe a presença de arbustos na frente alargada da duna.

As dunas longitudinais também são conhecidas como *seifs*, nome de origem árabe, já que elas foram descritas originalmente no deserto da Arábia. Sua construção se estabelece pela abundante disponibilidade de sedimento e ventos fortes com sentido constante. Podem atingir grande magnitude com dezenas de quilômetros de comprimento e mais de 200m de altura e produzir geoformas semelhantes a cordões de areia, porém em menor escala (SÍGOLO, 2009; NASCIMENTO, 2007; ARAÚJO, 2006).

2.1.2 Dinâmica das dunas

Transporte eólico é o deslocamento de minúsculas partículas de areia que, sendo transportadas pelo vento, sentimos o impacto enquanto caminhamos na areia da praia ou do deserto. Esse processo denomina-se ação eólica ou ação dos ventos na superfície do planeta Terra. O vento é gerado a partir da forma e da quantidade de

energia solar que incide sobre a Terra, a qual modifica a temperatura das massas de ar. Esta diferença de temperatura faz com que ventos saiam de zonas de alta pressão e se direcionem a zonas de baixa pressão atmosférica.

A intensidade dos ventos varia de acordo com a latitude, estação do ano, diferença de albedo - capacidade das superfícies refletirem e/ou absorverem a radiação incidente sobre elas - e (nas regiões costeiras) as trocas de calor entre o mar, continente e atmosfera. As regiões de baixas latitudes são onde mais podemos observar os efeitos dos ventos, pois são lugares onde a precipitação pluviométrica é baixa e as condições de evaporação são muito altas, características que favorecem a formação desértica. A quantidade de material que os ventos podem transportar dependem de sua intensidade, tamanho das partículas e da superfície a qual ele sopra. Quanto maior a velocidade de deslocamento da massa de ar, maior será sua capacidade de transporte (SÍGOLO, 2009).

A ação eólica promove elevada seletividade granulométrica nos materiais transportados, alto grau de arredondamento e seletividade mineral (os materiais transportados e depositados são sempre constituídos de poucas variedades minerais ou de uma única. Eles são chamados de sedimentos eólicos (USP, 2017).

As dunas móveis ou migratórias são geradas a partir de sedimentos arenosos eólicos (geralmente compostos de quartzos), sua formação está essencialmente associada aos processos de erosão, transporte e acumulação promovidos pelo vento, podendo cobrir áreas superiores a 32.000 quilômetros quadrados (km²). Cerca de 85 % das dunas encontram-se nos desertos (MOURA, 2011). As condições para a formação de corpos dunares são:

- a) Intensidade de atuação do barlavento suficiente para erodir, remobilizar, transportar e acumular as partículas sedimentares;
- b) regularidade, isto é, o vento deve soprar ao longo de todo o ano durante períodos temporais alargados e não apenas em sopros ocasionais;
- c) Disponibilidade de sedimento seco inconsolidado para ser erodido e transportado.
- d) Superfície plana de deflação eólica - *fetch* eólico. A superfície deverá estar desprovida de vegetação ou pouco vegetada.

A vegetação e a rugosidade da superfície reduzem a velocidade do vento e por isso o transporte eficiente do sedimento. Em consequência do gradiente vertical da

velocidade do vento, a distribuição vertical do tamanho das partículas sedimentares pode também ser observada numa duna (GOLDSMITH, 1978).

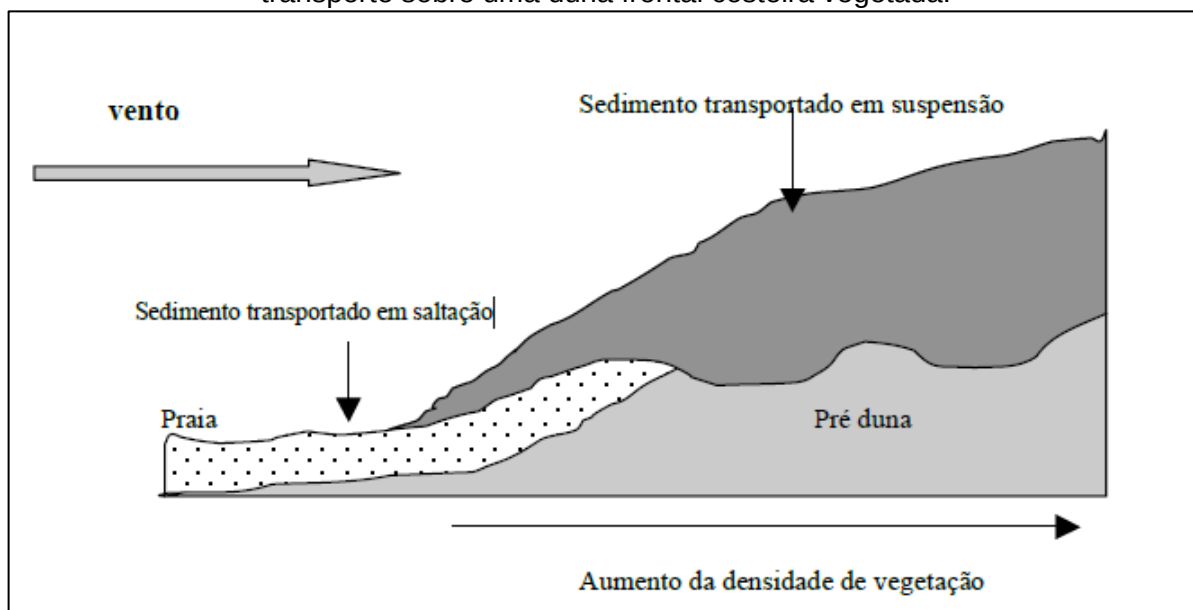
Partículas de até 0,125mm de diâmetro são consideradas poeira. Esse elemento representa o maior percentual de partículas que são transportadas e depositadas pelo vento. Quando deslocadas elas podem permanecer em suspensão em função do fluxo turbulento e da velocidade da massa de ar por longos períodos e assim serem transportadas por grandes distâncias. As partículas ficam em suspensão eólica. Partículas maiores resistem ao vento mais facilmente, provocando turbulência em seu entorno e promovendo a deposição de partículas pouco após o obstáculo.

As partículas maiores com diâmetro entre 0,125mm e 2mm – areia fina a muito grossa – são transportadas de maneira mais lenta, dada a mesma velocidade de vento que age nas partículas menores. Esse deslocamento ocorre pelo impacto da colisão de partículas menores com grãos maiores na superfície através de pequenos saltos. Esse movimento denomina-se saltação.

Partículas de tamanho superior a 0,5mm – areia grossa, muito grossa, grânulos e seixo – comumente se deslocam pela colisão de partículas em deslocamento induzindo o movimento de partículas encontradas na superfície do solo. Esse processo denominado arrasto é o menos significativo em quantidade de material transportado devido a densidade dessas partículas maiores e ao atrito sofrido por elas com o substrato no qual se deslocam.

O vento pode deslocar essas partículas apenas em superfície seca, sedimento ou substrato rochoso (Figura 4). Em superfícies úmidas, esse deslocamento é impossibilitado, pois esses solos são muito coesivos. Assim, ventos fortes em regiões áridas e secas, onde rapidamente a umidade evapora, são ambientes mais propícios ao deslocamento de partículas e formação dunar. As dunas podem tornar-se fixas e vegetadas quando o clima se torna mais úmido e, depois, podem se deslocar novamente quando o clima árido retorna.

Figura 4 – Mecanismos de transporte responsáveis por alterar o tamanho do grão durante o transporte sobre uma duna frontal costeira vegetada.



Fonte: Arens, Van Boxel e Abuodha. (2002).

As zonas costeiras arenosas são um ambiente geológico propício à formação dunar. Diferentemente das dunas desérticas, a morfogênese das dunas litorâneas forma-se com a areia acumulada da costa que é transportada ao interior do continente pelo barlavento. Geralmente, elas são formadas na direção em que a brisa predomina (USGS, 1997). Dominguez (2009) afirma que as regiões em que as épocas de baixa precipitação coincidem com as épocas de maior velocidade dos ventos, estão localizados os maiores campos de dunas. Este é o caso da região estudada neste trabalho.

2.1.3 Dunas no litoral piauiense

De acordo com Sousa (2016a), a unidade geoambiental campo de dunas móveis no litoral piauiense ocupa uma área de 3237,37 hectares (ha), cerca de 3,74% da planície costeira do estado. A praia arenosa é a fonte de alimentação das dunas eólicas costeiras piauienses, as quais começam a se esboçar, paralelas à linha de costa, a partir da preamar e do pós-praia. O vento, soprando sobre a superfície da praia, promove o transporte por saltação das areias que se depositam nas dunas adjacentes. Constitui um depósito eólico holocênico com granulometria fina. A unidade possui morfodinâmica alta, predomínio dos processos erosivos, risco de erosão marinha, soterramentos, deslizamentos e inundações sazonais. As dunas se

movimentam no sentido nordeste-sudoeste conforme característica dos ventos alísios na região.

Os depósitos arenosos possuem cotas que variam de 5 a 40 metros superpondo nas cotas mais altas o Grupo Barreiras. As dunas piauienses em sua maioria são do tipo barcanas, possuem cristas no formato de meia-lua e inclinação maior no lado sotavento, o qual corresponde a única fase de deslizamento. É classificada como unidade instável haja vista a morfodinâmica intensa ocasionada pela forte influência da maré através do transporte e deposição de sedimentos. Sobre lagos de duna, Von Sperling afirma:

“Os lagos formados pela ação do vento também conhecidos como lagos de barragem eólica ou lagos de duna, são normalmente originários do barramento de rios devido ao deslocamento das dunas de areia. Estas formações são mais frequentes em regiões expostas a ventos intensos, estima-se que com ventos com velocidades superiores a 10m/s sejam capazes de provocar o deslocamento da areia.” (VON SPERLING, 1999)

Segundo Pfaltzgraff (2010), os terrenos da região litorânea piauiense estão inseridos na província geotectônica “Costeira”, são originados do Cenozoico, períodos terciários (Grupo Barreiras) e quaternário (depósitos de origens fluvioaluvionar, fluviomarinha, marinha e eólica), este último compõe as feições geológicas e geomorfológicas do Delta do Parnaíba.

O autor afirma que as dunas presentes na região da Lagoa do Portinho – PI pertencem ao Domínio dos Sedimentos Cenozoicos Eólicos (DCE), o qual é constituído por duas unidades geológico-ambientais, onde se encontra a forma de relevo Campo de Dunas (recentes e paleodunas): unidade móvel (DCEm) e a unidade fixa (DCEf). A unidade DCEm é formada por dunas móveis (material arenoso inconsolidado), enquanto a unidade DCEf, também presente no litoral piauiense, é formada por Dunas fixas (material arenoso fixado pela vegetação). A Figura 5 apresenta uma visão da lagoa do Portinho e suas dunas.

Figura 5 – Dunas na região da Lagoa do Portinho - PI.



Fonte: Oliveira M. / Portal Trilhas e Aventuras.

2.2 ECOSSISTEMA DE RESTINGA

O termo restinga, na área de Geologia e Geomorfologia, consiste no espaço geográfico formado por depósitos arenosos instáveis e recentes paralelos a linha de costa. Teve sua formação derivada há milhares de anos na variação do nível do mar ocorrida no período Quaternário, onde grande quantidade de areia das plataformas continentais foram movidas em direção à praia, com isso houve formação das planícies arenosas ou neossolos quartzarênicos. Superfície praticamente sem vegetação ou apenas com vegetação rasteira (SOUZA et al., 2008).

Já na Ecologia, o termo se refere as diferentes formas de vegetação assentadas sob solos arenosos que ocorrem na região da planície costeira. Esses solos arenosos se originam predominantemente da deposição marinha em períodos geológicos onde o nível do mar recua. Sua composição florística é considerada uma extensão da floresta atlântica ou de ecossistemas adjacentes. Em resumo, restinga é sinônimo, na Ecologia, de “vegetação da planície costeira estabelecida sobre solo

arenoso” (AZEVEDO, 2014). De todo modo, a restinga se estende por cerca de 5000 km distribuídos ao longo do litoral brasileiro, cerca de 79 % de sua costa, fazendo parte do bioma brasileiro Mata Atlântica.

O Código Florestal Brasileiro na Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, observando a importância de preservar este ecossistema, classificou a região de restinga como Área de Preservação Permanente (APP).

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

(...)

VI - ... as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

(...)

Art. 7º A vegetação situada em Área de Preservação Permanente deverá ser mantida pelo proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado.

O termo é definido legalmente no Brasil pelo CONAMA, o qual editou algumas Resoluções onde é enfatizado o quadro das restingas. O conceito, sob o aspecto normativo, é encontrado na Resolução n.º 303/2002, Art. 2º, VIII:

“Restinga: depósito arenoso paralelo à linha da costa, de forma geralmente alongada, produzido por processos de sedimentação, onde se encontram diferentes comunidades que recebem influência marinha, também consideradas comunidades edáficas por dependerem mais da natureza do substrato do que do clima. A cobertura vegetal nas restingas ocorre em mosaico, e encontra-se em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, este último mais interiorizado.”

Nesta mesma Resolução 303/2002, Art. 3º, IX, que ordenou sobre parâmetros, definições e limites da APP, estabelecendo que constitui APP a área situada nas restingas:

a) Em faixa mínima de trezentos metros, medidos a partir da linha de preamar máxima;

b) ou em qualquer localização ou extensão, quando recoberta por vegetação com função fixadora de dunas ou estabilizadora de mangues.”

Dentre outras razões, a importância da restinga para o meio ambiente dá-se pela sua função de conter o avanço das dunas pela erosão eólica, o qual, em grande intensidade, se torna um risco para o ambiente costeiro e para a população.

2.3 IMPORTÂNCIA E DEGRADAÇÃO DOS SISTEMAS DUNARES - ESTUDOS SOBRE DUNAS NO BRASIL

Tomazelli et. al. (2008), mostra em seu estudo que os campos de dunas de Cidreira e Itapeva – RS, com significativa importância ecológica, cultural e paisagística, podem ser preservados do avanço da urbanização que tem se instalado ocupando o mesmo espaço físico das dunas. A região do estudo possui elevado potencial de preservação, caso haja a manutenção dos corredores de alimentação responsáveis pelo suprimento de areia nova ao campo de dunas transgressivo de Cidreira – RS. A manutenção está condicionada a evitar a construção de obras urbanas e fixação das areias por vegetação. Na região de Itapeva, a preservação acontecerá também através da contenção do avanço da urbanização da cidade de Torres junto à margem norte do campo de dunas transgressivo do local.

Silva (2012) realizou uma análise histórica da migração das dunas do Peró em Cabo Frio – RJ. Utilizou-se técnicas de geoprocessamento como fotografias aéreas e imagens de satélite do período de 36 anos (1965 a 2001). Fatores como cobertura vegetal, ocupação humana, velocidade e direção do vento e deslocamento dos sedimentos foram avaliados nessa faixa temporal. Os resultados mostraram que a migração não ocorreu de maneira homogênea durante o período e espaço. Nos primeiros anos, o avanço aconteceu por motivos naturais, já nos últimos anos ocorreu por razões antrópicas. As causas humanas devem-se principalmente ao trânsito de pessoas e veículos para ter acesso a praia, assim como a construção de condomínios na região. A redução da dinâmica dunar pode acontecer através do controle do tráfego de pessoas e veículos, tão somente como a revegetação das áreas que são fontes dos sedimentos migrantes.

Silva, Amaro e Matos (2015) fizeram uso de imagens de satélite *Landsat* (TM e OLI) e CBERS-2/CCD, de resolução moderada, no período de 1989 a 2013. O estudo teve o objetivo de medir as alterações na morfologia dos campos dunares no litoral setentrional do estado Rio Grande do Norte, entre os municípios de Macau e Guamaré. As imagens foram georreferenciadas, combinadas em sistema de cores *Red-Green-Blue* (RGB) e ajustadas em seu histograma para realce do limite dunar, o qual foi vetorizado no *software* ArcMap 9.3. Os polígonos foram separados em camadas distintas referentes a cada data e posteriormente sobrepostos para análise das mudanças temporais-espaciais. Os autores afirmam que, no geral, as dunas

expandiram cerca de 6,2 km² na área de estudo, implicando num aumento de 29% de superfície ocupada. Ainda que, tenha-se detectado situações de perda areal no período do levantamento, os autores concluíram que essas dunas eólicas são mega formas em constante processo de expansão rumo ao continente.

Meireles (2011) também realizou estudo da dinâmica espaço temporal dunar, utilizando imagens de satélite e fotografias aéreas, além de estações georreferenciadas com *Global Positioning System* (GPS) geodésico e imagem de radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). O estudo realizado no campo de dunas móveis de Jericoacoara – CE levantou dados do período de 35 anos (1975-2010). As dunas alvo da pesquisa foi a Duna do Pôr do Sol, Duna Papai Noel e Duna Arraiá, escolhidas de acordo com suas relações com os demais componentes morfológicos da planície costeira. Constataram-se mudanças significativas na área, perímetro e tendência de deslocamento das dunas. Detectou-se uma tendência geral de diminuição da área ocupada pelos sedimentos e alterações no contorno do perímetro. As mudanças foram mais significativas nos anos de 2001 a 2005, o que pode ter relação com a intervenção humana devido ao alto fluxo de turistas.

Frota (2017) analisou a planície costeira do estado do Piauí, entre 1994 e 2015. A autora percebeu a existência de uma intensa dinâmica dunar, a qual tem como causas principais: a forte influência das ondas e das marés, a ação eólica e a ação antrópica. Utilizou-se imagens *Landsat* 5, 7 e 8, as quais foram georreferenciadas, reprojetadas e colocadas em composição RGB. Foi utilizado o método de classificação não-supervisionada com a ferramenta *Spatial Analyst Tools*, função *Multivariate - Iso Cluster Unsupervised Classification*, no software ArcMap. As imagens foram vetorizadas e sobrepostas. O estudo concluiu que os campos de dunas móveis apresentaram em 2015 um aumento de 35% em relação ao ano de 1994, totalizando 27,90 km² de extensão. Inferiu-se também um significativo aumento da área de aprisionamento de sedimentos de uma década para outra, com complexas alterações no contorno das dunas, as quais avançam de maneira linear.

Araújo e Fonseca (2016) escolheram o Parque Nacional do Lençóis Maranhenses – MA para realizar o estudo de análise espacial temporal, utilizando imagens de satélite, a fim de avaliar a dinâmica dunar, no período de 1984 a 2014. Foi identificada a expansão das dunas na direção do litoral ao interior do continente, no sentido nordeste-sudoeste, seguindo a circulação dos ventos alísios da região. O sistema dunar apresentou nesse período comportamento tanto de avanço quanto de

retração em diferentes posições, tendo como influência no avanço os ventos alísios, as altas temperaturas, clima seco e a baixa precipitação. Os corpos hídricos volumosos – lagoas e a vegetação, quando estão presentes, são fatores que minimizam o fenômeno. A variação temporal permitiu visualizar, medir e identificar quando e onde ocorreu a movimentação sedimentar, já que toda a borda interna do parque foi vetorizada.

Nos estudos realizados por Pedrosa (2016), foi utilizado o geoprocessamento através da ferramenta do sensoriamento remoto para avaliar a geodinâmica e taxas de migração de dunas no intervalo de 1988, 2004, 2010 e 2013 no município de Canoa Quebrada, estado do Ceará. A pesquisa concluiu que as dunas da região tiveram uma taxa média de migração, nesse intervalo temporal, de 7,25m/ano.

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE GEOPROCESSAMENTO

Segundo Rocha, Fitz e Silva, Geoprocessamento pode ser conceituado como:

“Uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados” (ROCHA, 2002, p. 210).

“Tecnologia, ou mesmo um conjunto de tecnologias, que possibilita a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados” (FITZ, 2008, p. 24).

“Conjunto de técnicas computacionais que operam sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante” (SILVA, 2001, p.12-13).

Muitas são as discussões sobre o conceito do termo Geoprocessamento no meio acadêmico. O fato é que, no Brasil, o termo engloba áreas do conhecimento e uso de tecnologias como a Cartografia, Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Posicionamento (GPS), Modelo Digital de Terreno, Geodésia, Topografia, Modelagem de Redes e Análises Espaciais.

Esse conjunto de tecnologias surgiu da necessidade de representar os dados geográficos em computadores e entender como estruturas de dados geométricos e alfanuméricos se relacionam com os dados do mundo real.

2.4.1 Sensoriamento remoto

Segundo Novo (1989), o sensoriamento remoto pode ser conceituado como:

“Sensoriamento Remoto consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (aéreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 1989).

O termo também pode ser entendido como o conjunto de atividades, sem contato direto, para adquirir informações dos objetos na superfície terrestre. Isso envolve desde a percepção, obtenção, interpretação e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos (MORAES, 2002).

Ou seja, sensoriamento remoto envolve desde a captação e registro de informações a distância por sensores, utilizando a resposta espectral dos alvos (materiais, objetos ou fenômenos) a qual é medida pela emissão e reflexão da energia eletromagnética, até a interpretação e análise desses dados (imagens, gráficos e/ou tabelas). A Figura 6 mostra uma representação do processo de obtenção de imagens por sensoriamento remoto.

Figura 6 – Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.



Fonte: Florenzano (2002)

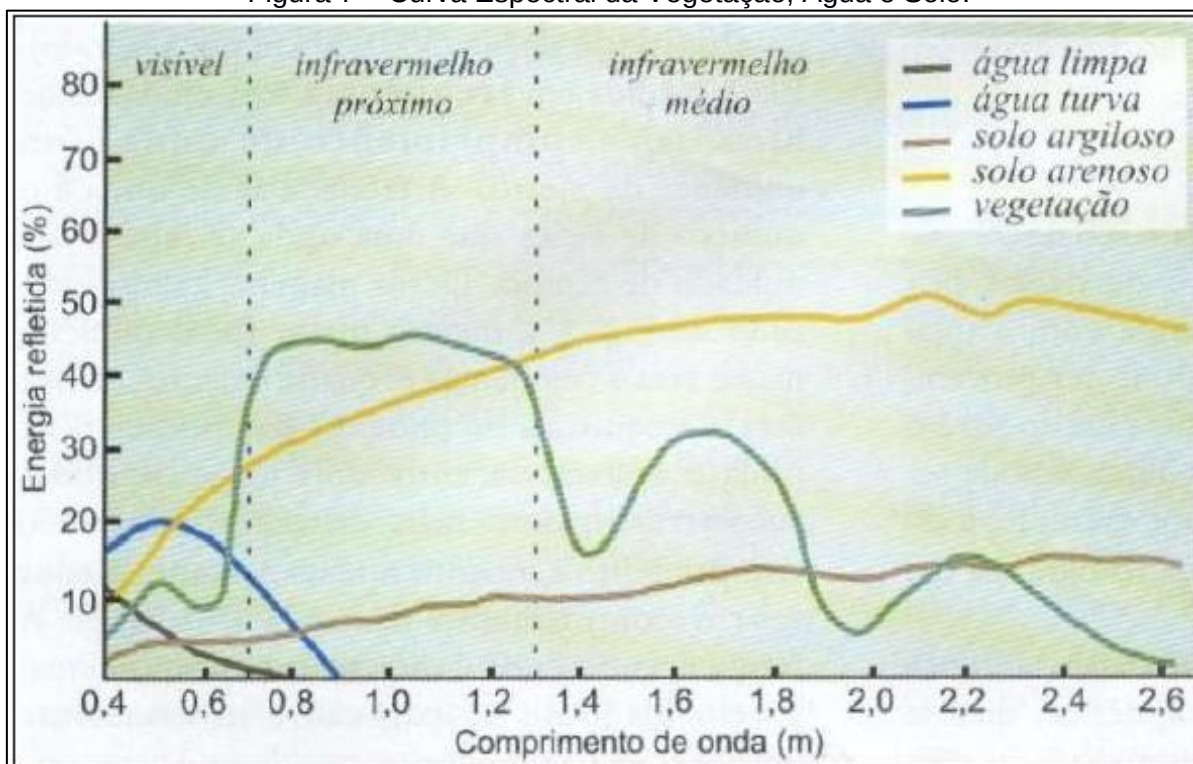
O equipamento que capta e registra a energia eletromagnética emitida e/ou refletida pela superfície terrestre é chamado de Sensor Remoto. Ele pode ser classificado de diversas formas, por exemplo: pela origem da fonte de energia utilizada, quanto ao princípio do funcionamento (varredura ou não-varredura), quanto ao tipo do produto entregue e quanto a região espectral em que atuam.

De acordo com Moraes (2002), a qualidade de um sensor geralmente é especificada pela sua capacidade de obter medidas detalhadas da energia eletromagnética. Suas características estão relacionadas a quatro tipos de resoluções. A resolução espacial define-se pela capacidade do sensor em distinguir objetos. Ela indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor. Em relação a largura espectral em que opera o sensor, denomina-se Resolução Espectral. Quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda melhor será a resolução espectral da coleta.

A habilidade do sistema de sensor para identificar e gravar variações na energia refletida e/ou emitida pelos alvos presentes na cena é referida como Resolução Radiométrica. Por fim, o intervalo de repetição na coleta, em que um mesmo sensor adquire informações de uma mesma área de interesse, atribuímos o nome de Resolução Temporal.

Florenzano (2002) afirma que, de acordo com as características bio-físico-químicas dos objetos na superfície terrestre (como a vegetação, água e solo), a radiação eletromagnética é refletida, absorvida e transmitida em proporções que variam com o comprimento de onda. Essa variação pode ser representada através de curvas (Figura 7), as quais, conseqüentemente, permitem distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens coletadas.

Figura 7 – Curva Espectral da Vegetação, Água e Solo.



Fonte: Florenzano (2002)

Para Rocha (2002), a evolução do Sensoriamento Remoto com o desenvolvimento e aplicação de sensores mais potentes possibilitando a geração de dados cada vez mais específicos associados a técnicas de extração de informações advindas do processamento de imagens atingiu diversas áreas do conhecimento com aplicações no Levantamento de Recursos Ambientais, Análise Ambiental, Geologia, Agricultura, Florestas, Estudos Urbanos, dentre outros.

As imagens coletadas pelos sensores são processadas por técnicas cada vez mais apuradas que trazem eficiência e rapidez aos estudos nas quais elas podem ser aplicadas. Para filtrar informações importantes das imagens é preciso definir metodologias de análises com parâmetros lógicos e claros, a fim de possibilitar a reprodução por qualquer intérprete que analisar o significado do dado.

De acordo com Meneses *et. al.* (2012) e IBGE (2001), entre várias técnicas para extrair informações de uma imagem, destaca-se a Classificação. Essa abordagem engloba métodos de interpretação de imagem, nos quais informações espectrais são vinculadas a objetos reais utilizando propriedades de cor, textura, tonalidade, estrutura, sombras e contexto, específicas para cada tipo de objeto. As diferentes categorias de objetos identificadas na imagem são denominadas classes.

A classificação automatizada pode ser supervisionada ou não supervisionada. Na abordagem supervisionada, o analista seleciona *pixels* que melhor representam as classes que deseja classificar, em seguida o algoritmo agrupa os demais *pixels* não classificados com base em sua semelhança com as classes definidas pelo usuário. Na classificação não supervisionada, o analista define apenas a quantidade de classes desejadas e eventuais parâmetros de sensibilidade do algoritmo. O algoritmo, por sua vez, determina a divisão mais adequada para representar os *pixels* da imagem, e através de similaridade, atribui cada *pixel* aos seus respectivos grupos.

A classificação automatizada pode ser definida ainda como classificação por *pixel* ou por regiões. A maioria dos classificadores executa a classificação por *pixel*, dentre elas, a classificação *pixel a pixel* que utiliza da informação espectral individual de cada *pixel* para identificar áreas com características semelhantes. Isso é alcançado através de avaliações de distância ou de probabilidades que um *pixel* pertença a uma categoria específica.

O resultado da classificação é uma imagem digital que se configura de um mapa temático com *pixels* agrupados por categorias, delineando os padrões uniformes de elementos-alvo, os quais podem representar diferentes tipos de cobertura terrestre, como florestas, corpos d'água, áreas urbanas, cultivos agrícolas etc. A imagem classificada é frequentemente representada por meio de cores ou tons distintos para cada classe, permitindo a visualização clara das áreas correspondentes a cada categoria (mapa digital temático).

A interpretação correta da imagem classificada é crucial, e frequentemente requer uma análise visual para verificar se as classes foram atribuídas de forma precisa e coerente com a realidade no terreno. A validação dos resultados é um passo importante para garantir a qualidade da classificação. Ao longo dos anos, a técnica de classificação tem sido cada vez mais automatizada, com o desenvolvimento de novos métodos e tecnologias para aprimorar a sua precisão e eficácia.

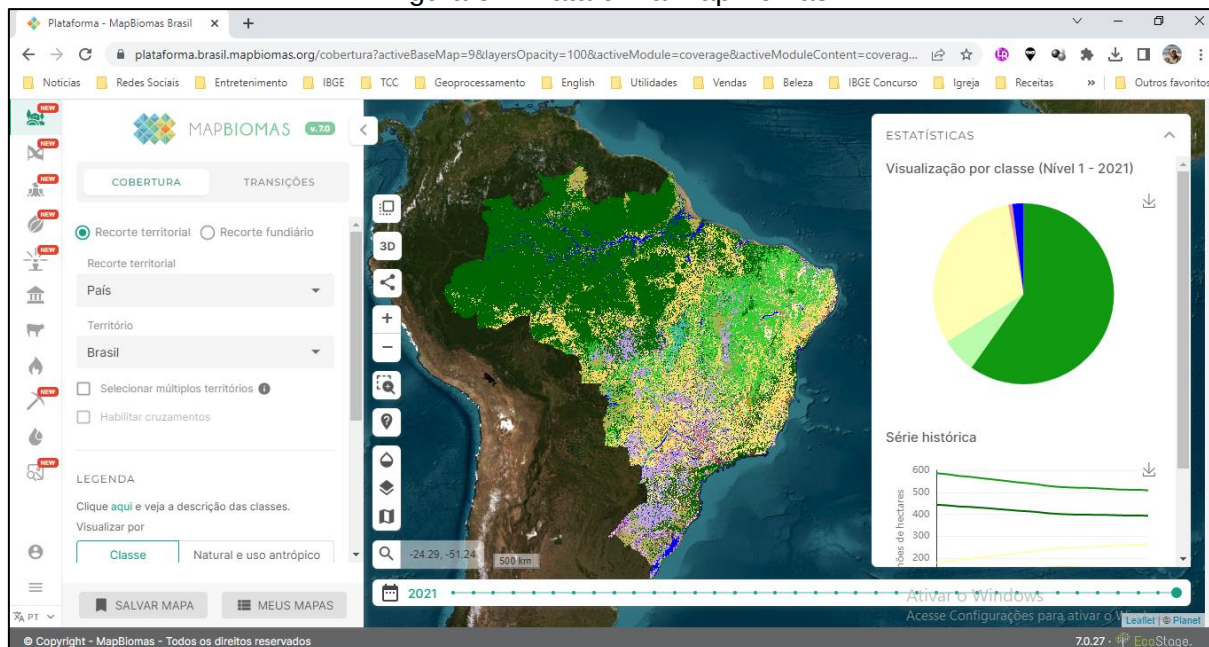
Estudos geoambientais tem gerado excelentes resultados quando o Sensoriamento Remoto é utilizado para o estudo do uso e cobertura da Terra, degradação da terra e índices de vegetação. Assim, o sensoriamento remoto constitui-se uma das mais bem sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para o levantamento e monitoração do ambiente terrestre em escala global (MENESES *et al.*, 2012).

2.5 DESCRIÇÃO MAPBIOMAS

O projeto Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS) é uma iniciativa do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima e é produzido por uma rede colaborativa de cocriadores, dentre eles Organizações Não Governamentais - ONG's, universidades e empresas de tecnologia.

O projeto nasceu em 2015 como solução de baixo custo, rápida e atualizada de como tornar acessíveis dados da transformação do território brasileiro através do mapeamento do uso e cobertura da terra, a fim de buscar conservação e combater mudanças climáticas. Ao todo, sete coleções já foram lançadas com mapas digitais anuais de cobertura e uso da Terra ou, em inglês, *Land Cover Land Use* (LCLU) de todo território nacional. Os métodos e algoritmos de classificação de imagens foram se desenvolvendo ao longo dos anos e todos os dados estão disponíveis, gratuitamente, no site da Plataforma MapBiomas (Figura 8).

Figura 8 – Plataforma MapBiomas.



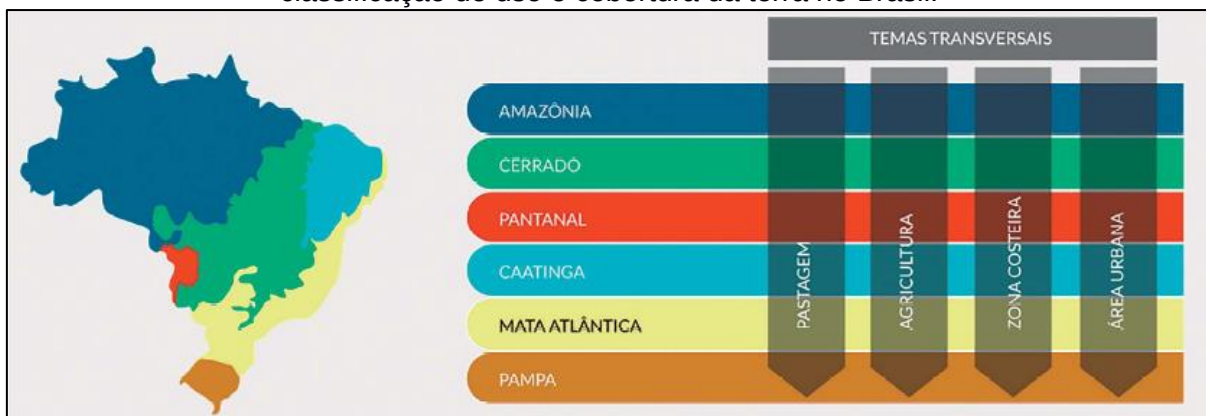
Fonte: MapBiomas (2023).

As informações disponibilizadas anualmente são obtidas pelos sensores *Landsat Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) e o *Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor* (OLI-TIRS), a bordo do *Landsat 5*, *Landsat 7* e *Landsat 8*, respectivamente. As coleções de imagens *Landsat* com

resolução de *pixel* de 30 metros foram produzidas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *United States Geological Survey* (USGS). O processamento é feito *pixel a pixel* em nuvem de forma automatizada através da plataforma *Google Earth Engine - GEE*. O Google define o *Google Earth Engine* como: “uma plataforma para análise científica em escala de *petabytes* e visualização de conjuntos de dados geoespaciais, tanto para benefício público quanto para usuários empresariais e governamentais” (MAPBIOMAS, 2022).

A iniciativa MapBiomas está organizada por biomas (Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Amazônia, Pampa e Pantanal) e por temas transversais (pastagem, agricultura, plantação florestal, zona costeira, mineração e área urbana) contando com a colaboração de uma ampla equipe multidisciplinar (sensoriamento remoto, geografia, geologia, ecologia, engenharia ambiental e florestal, ciência da computação, ciências humanas, jornalista e *designers*), conforme Figura 9. No site oficial, desde janeiro de 2019, relatórios são gerados anualmente sobre o desmatamento no Brasil e é realizado o monitoramento mensal da superfície da água e cicatrizes de fogo, desde 1985, (Quadro 1) (MAPBIOMAS, 2019).

Figura 9 – Organização da rede MapBiomas em biomas e temas transversais para classificação de uso e cobertura da terra no Brasil.



Fonte: MapBiomas (2023).

Quadro 1 – Coleções MapBiomias.

Coleção	Lançamento	Período de Cobertura	Resumo dos Avanços de cada Coleção
1	Abril/2016	2008-2015	Sete classes: floresta, agricultura, pastagem, plantação florestal, mangue e água.
2	Abril/2017	2000-2016	Treze classes: floresta, savana, pastagem, mangue, praia e infraestrutura urbana e muito mais. A coleção 2.3 foi baseada em uma nova abordagem de aprendizado de máquina de floresta aleatória para superar a calibração empírica dos parâmetros de entrada para classificação de imagens.
3	Agosto/2018	1985-2017	Incluiu um desenho de amostragem mais robusto para treinar o classificador;
4	Agosto/2019	1985-2018	1) Aprendizado profundo no mapeamento da aquicultura; 2) Análise baseada em cena para o bioma Amazônia; 3) Coleta de 100 mil amostras para avaliação de precisão e estimativa de área; 4) Redução e melhor seleção de variáveis de espaço de características.
5	Agosto/2020	1985-2019	1) As áreas úmidas foram mais bem mapeadas ao longo dos anos no bioma Pantanal e incluídas no bioma Mata Atlântica; 2) O bioma Amazônia incluiu as novas classes Cerrado e Formações Camponesas na classificação; 3) Na Agricultura, foram separadas as culturas perenes e temporárias, acrescentando-se as novas classes soja, cana-de-açúcar, outras culturas temporárias e culturas perenes. 4) Lançamento da versão beta dos mapas de agricultura irrigada de 2000 a 2019;
6	Agosto/2021	1985-2020	1) 25 classes LCLU mapeadas; 2) Novos mosaicos <i>Landsat</i> foram processados usando dados de refletância de superfície (SR); 3) Usando todas as imagens de cada ano, 90 métricas espectrais e temporais foram geradas. 4) Filtros espaciais e temporais foram aplicados não apenas nos mapeamentos de biomas e temas transversais, mas também no final, em mapas integrados.
7	Agosto/2022	1985-2021	1) Novas imagens de refletância de superfície do USGS <i>Landsat</i> (Coleção 2, <i>Tier 1</i>) foram usadas na classificação. 2) A análise de avaliação de precisão baseada na aquisição de 85.000 amostras independentes foi atualizada e revisada adicionando os anos 2019, 2020, 2021.

Fonte: MapBiomias (2023).

Nos estudos feitos por Rosa (2016), foram comparadas as premissas, metodologias e produtos do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica

produzido pela SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e imagens da coleção 1 do MapBiomas. Uma análise de concordância espacial revelou que o MapBiomas incluiu 79% das florestas mapeadas pelo Atlas da SOS/INPE. O valor indica uma boa consistência entre os mapeamentos. Houve um tipo de diferença por conta da técnica de classificação e do conceito de floresta interpretada. O autor se certificou de que o MapBiomas é mais inclusivo no padrão geral de distribuição das florestas, concluindo que o mesmo pode ser utilizado para identificação de áreas plantio e recomposição da floresta nativa para criação de corredores locais, análises de fragmentação dos remanescentes florestais e análises da situação ambiental de bacias hidrográficas e proteção de corpos d'água. As diferenças encontradas nos produtos apontam para usos distintos e complementares, com a base do Atlas mais indicada para identificação de desmatamentos e análise da conservação da biodiversidade.

Neves *et. al.* (2020), avaliou as concordâncias entre mapas de uso e cobertura da terra gerados pelo MapBiomas e *TerraClass* usando, como área de estudo, o estado do Pará. As classificações foram comparadas *pixel a pixel* e uma matriz de confusão foi criada a partir das concordâncias e discordâncias entre as classes. A concordância entre eles foi de 84,40%. O autor destacou a vantagem da automatização na geração de dados do MapBiomas, mas pontuou a importância de adaptação das legendas na definição das classes.

Cruz (2021), comparou *pixel a pixel* os Mapas de Uso e Cobertura da Terra, do estado do Rio de Janeiro, feitos pelo MapBiomas e SEA / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), para o ano de 2015. Sendo que, o mapeamento SEA / 2015 atingiu 100% da identificação de classes, pois adicionou-se trabalhos de campo, um rigoroso processo de avaliação e criteriosa validação envolvendo intérpretes para as regiões de interesse. A área de estudo escolhida foram as regiões hidrográficas do Médio Vale do Paraíba do Sul (RH-III) e da Baía de Guanabara (RH-V). A análise foi realizada através da ferramenta “*Combine*” no software ArcGis 10.5. As autoras constataram que, no geral, os mapeamentos do projeto MapBiomas possuem alto grau de confiabilidade, atendendo às especificações normalmente esperadas para o uso de produtos temáticos, principalmente considerando as abrangências espacial e temporal dos dados gerados.

Em estudo realizado no município de Uruçuí, estado do Piauí, Rocha, Vieira e Silva (2022) analisaram a evolução do cultivo de soja, no período de 1985 a 2020,

utilizando dados da Pesquisa Agrícola Municipal – PAM, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE e mapas de uso e cobertura do solo com dados estatísticos da coleção 6 do MapBiomas e constataram diferenças entre os valores mapeados pelo MapBiomas e as informações do IBGE. No entanto, considerando a acurácia global do sensoriamento remoto aplicado pelo MapBiomas, estas diferenças estavam dentro dos valores esperados e não foram significativas em prejuízo às análises realizadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

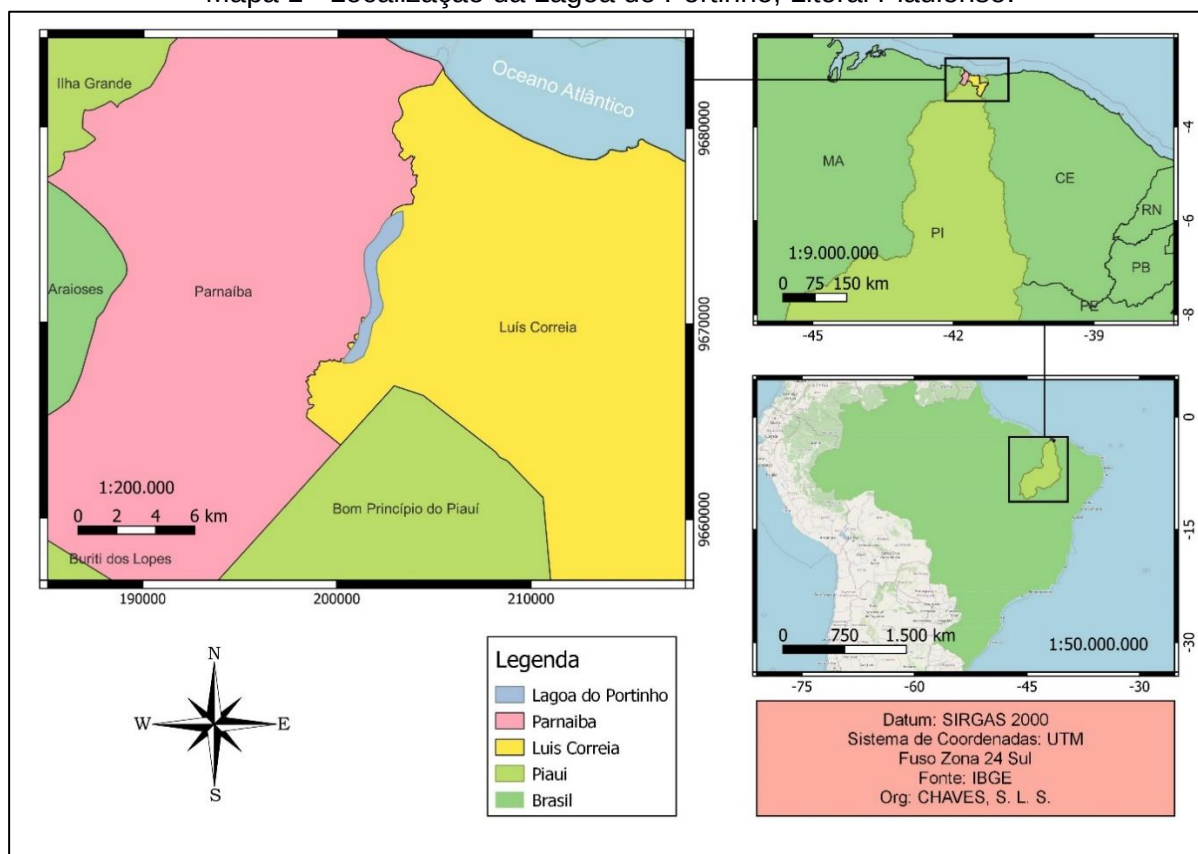
3.1.1 Localização

O estado do Piauí, localizado na região Nordeste do Brasil, possui o menor comprimento de litoral com 66 km de extensão no sentido leste - oeste que vai desde a baía das Canárias, no Delta do Parnaíba, até o limite geográfico com o Ceará, na baía formada pela foz dos rios Ubatuba e Timonha. A linha de costa do estado é dividida entre quatro municípios que fazem parte da microrregião do Litoral Piauiense, mesorregião do Norte Piauiense: Ilha Grande, Parnaíba, Luís Correia e Cajueiro da Praia.

A Lagoa do Portinho divide Parnaíba do município de Luís Correia. A maior porção das margens desse corpo hídrico se situa no território parnaibano, a 15 km do centro urbano, entre os povoados de Carpina, Gameleira, Portinho e Santo Antônio (município de Parnaíba) e Cearazinho (município de Luís Correia) (SEMAR, 2015).

Parnaíba fica localizada entre as coordenadas: latitude 02°54'17" e longitude 41°46'36", a 338 km da capital Teresina. Possui altitude de cerca de 5 metros nas regiões do centro urbano e a topografia é bastante regular. Já o município de Luís Correia está delimitado na Latitude 02°52'45" e Longitude 41°40'01", a 350 km de Teresina (Mapa 1).

Mapa 1 - Localização da Lagoa do Portinho, Litoral Piauiense.



Fonte: Autora (2023).

3.1.2 Características da Região – Vegetação, Hidrografia, Solo e Clima.

. O litoral piauiense localiza-se na zona de transição entre os biomas caatinga e cerrado (IBGE, 2023a). Segundo o Atlas Escolar do IBGE (2023b), a formação de relevo presente é planície litorânea. Na região do município de Parnaíba, predominam a vegetação de igarapés e mangues nas margens dos rios e de caatinga, litorânea e da mata dos cocais no restante do território. Seus recursos hídricos são o oceano atlântico, rios Parnaíba, Portinho, Igarçu e lagoas do Prado, do Portinho e da Prata. O solo é constituído por areias quartzosas distróficas, solos aluviais eutróficos e laterita hidromórfica associados a latossolos vermelho-amarelo distróficos

Na região de Luís Correia, predomina a vegetação de restinga, dunas, caatinga arbórea e arbustiva. Seus recursos hídricos são o oceano Atlântico, rios Carpina, Portinho, São Miguel, Ubatuba e lagoas das Mutucas, do Sobradinho, da Santana, Portinho e do Jabuti. O solo é constituído por areias quartzosas marinhas, areias quartzosas distróficas e solos aluviais eutróficos.

Os dois municípios pertencem ao território de desenvolvimento da planície litorânea localizados em terreno do cenozoico quaternário. O clima no litoral piauiense é classificado como do tipo Aw' - Clima Tropical Chuvoso, quente e úmido, segundo a classificação de Koppen. A duração do período seco é de seis meses (CEPRO, 2013). A temperatura do ar média é de 28°C e a precipitação média anual da região é da ordem de 1.019,20 mm prevalecendo nos meses de janeiro a maio, com base nos dados da estação meteorológica do município de Parnaíba entre 1978 e 2019. A umidade relativa média anual é de aproximadamente 74,90% e a evaporação medial anual é de 1.750 mm, e a evapotranspiração potencial é estimada em 5,2 mm/dia (BASTOS *et. al.*, 2021).

As regiões Norte e Nordeste do Brasil possuem um regime anual de chuvas influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Essa zona é formada pelo acúmulo de nuvens que se posicionam na região equatorial e, durante ano, percorrem o globo nessa faixa de baixa latitude, entre 14 graus norte e 2 graus sul da linha do equador, interferindo nas condições climáticas. Ventos alísios de sudeste e nordeste se concentram nessa região de baixa pressão atmosférica e promovem intensa nebulosidade. Além da convergência dos ventos alísios, as altas temperaturas da superfície do mar também influenciam no posicionamento da ZCIT e em sua intensidade.

Durante o ano, no Oceano Atlântico, a ZCIT migra em alguns períodos mais ao norte e em outros mais ao sul. Quando se posiciona ao norte, os ventos alísios de sudeste são mais intensos, o que ocorre nos meses de agosto a outubro. Conforme a ZCIT se aproxima do equador, os ventos alísios de sudeste reduzem sua velocidade até atingirem seu potencial mínimo anual, durante os meses de março e abril (Quadro *et al.* 1997; Marengo e Uvo, 1997 e Maia *et al.*, 1996 *apud* Meireles, 2011).

O fenômeno El Niño favorece a posição da ZCIT mais ao norte por um período maior, ocasionando o prolongamento da estiagem pluviométrica nordestina. Enquanto o La Niña concentra a ZCIT mais ao sul, em duração maior que o padrão, gerando ciclo pluviométrico acima da média da região (Carvalho; Maia e Dominguez, 2006).

3.1.3 Lagoa do Portinho

Segundo Nascimento (2007), existem dois tipos que classificam os ambientes lacustres: as lagoas intermitentes, ou temporárias, e as lagoas perenes. Mendes

Júnior (2012) diz que as lagoas intermitentes se formam decorrentes da percolação das águas e ascensão do lençol freático nos períodos de maior precipitação pluviométrica. As perenes se formam pelo desaguar das águas de rios e riachos e pelas águas que afloram do subsolo e se situam com frequência no tabuleiro, próximo às dunas, como acontece com a Lagoa do Portinho.

Essa massa de água tem origem fluvial e é formada pelo barramento natural do Rio Portinho pelas dunas de areia. Sua bacia hidrográfica possui área estimada de 41 mil ha, o volume aproximado estimado é de cinco milhões de m³, enquanto a vazão média natural afluyente corresponde a 2 m³/s (PORTAL UOL, 2015). Possui cerca de 9 km de extensão Norte-Sul e largura variável em torno de 0,2 km e 1,6 km. Há muitos anos constitui um dos principais cartões-postais do Piauí (MENDES JUNIOR, 2012).

O corpo d'água é abastecido pelos riachos Portinho e Brandão, sendo o primeiro o canal de conexão que até alguns anos atrás transpassava as dunas de areia e se interligava com o Rio Igaraçu, o qual deságua no Oceano Atlântico. Possui em seu entorno pontos de lazer para banhistas, restaurantes de moradores nativos da região, dunas móveis e semifixas. Na direção sul, onde correm os riachos Portinho e Brandão, existem pequenas plantações à margem e identifica-se vegetação de mangue, residual.

3.2 METODOLOGIA

A análise espacial temporal por imagens de satélite evoluiu a partir da combinação de dados de múltiplas imagens de satélite adquiridas em diferentes períodos. Essa abordagem permite detectar padrões de mudança ao longo do tempo, identificar tendências, avaliar impactos ambientais e apoiar a tomada de decisões. Diversos autores e pesquisadores contribuíram para o desenvolvimento e aplicação deste método, ao longo dos anos, como Jensen (2015) e Moreira (2011).

Para analisar a dinâmica das dunas, como pode ser observado na Figura 10, a primeira etapa metodológica da pesquisa foi coletar informações vetoriais do limite físico da massa de água da Lagoa do Portinho, no formato *shapefile*, disponíveis no banco de dados gratuito e online do IBGE (Hidrogeologia/Massa de água). O segundo passo foi adicionar esse arquivo, em pasta, na plataforma online do *GEE*. Foram realizadas tentativas para verificar qual seria a área de abrangência ideal a ser estudada em torno da Lagoa. Após testes com *buffer* de 5 km e 1 km, decidiu-se que

2 km seria a distância mais adequada para pesquisar as influências compartilhadas entre a região e o corpo hídrico.

Figura 10 – Esquema da Metodologia desse estudo.



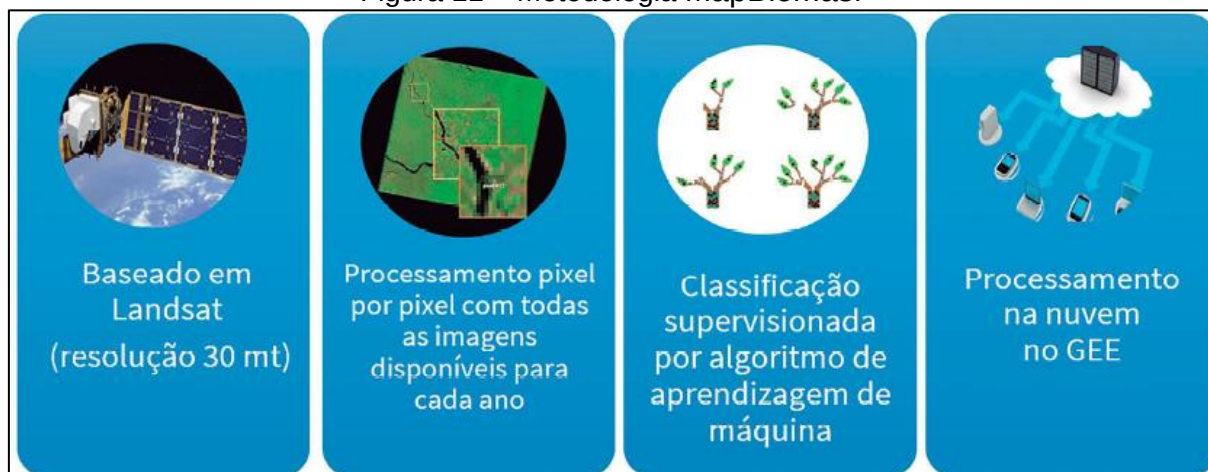
Fonte: Autora (2023).

A partir dessa *shapefile*, com *buffer* de 2 km, o próximo passo foi selecionar imagens classificadas de uso e cobertura do solo da coleção 6.0 do MapBiomias no formato *GeoTiff*, a partir dos mosaicos *Landsat*, no período de 1985 a 2020, com intervalos de 5 anos e escala de *pixel* de 30 metros (Figura 10).

O MapBiomias trabalha com mosaicos de recursos pré-processados gerados a partir de coleções de arquivos *Landsat* (*Landsat 5*, *Landsat 7* e *Landsat 8*), selecionando os melhores *pixels* dentre as imagens disponíveis para o período

selecionado. Os *pixels* escolhidos não contêm a incidência de nuvens, fumaça ou outras interferências que possam impedir uma melhor visualização (Figura 11).

Figura 11 – Metodologia MapBiomias.



Fonte: MapBiomias (2023).

As imagens tiveram suas coordenadas reprojetadas no *software* QGIS 3.22 para a Projeção Cônica Equivalente de *Albers*, personalizada para o Brasil pelo IBGE (Figura 10). A reprojeção é necessária a fim de converter as coordenadas de graus decimais para metros, sendo assim possível realizar cálculos de áreas em imagens *raster* que ocupam grandes áreas ou mais de um fuso, que é o caso da Lagoa do Portinho, a qual ocupa os Fusos 23 e 24 Sul no Sistema de Projeção Universal Transverso de Mercator - UTM. A próxima etapa (Figura 10) foi realizar a reclassificação das classes, com as imagens reprojetadas, de acordo com o código de legenda do próprio MapBiomias e sua paleta de cores de referência da coleção 6.0 nos gráficos e mapas gerados. A seguir, o Quadro 2 mostra como o MapBiomias classifica o uso e cobertura da terra no Brasil.

Quadro 2 – Sistema de classificação de cobertura e uso da terra para MapBiomias no Brasil.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Descrição
Floresta	Formação Florestal Natural	Formação Florestal	Tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas com dossel contínuo de alta densidade, áreas que foram perturbadas por incêndios e/ou extração de madeira e florestas resultantes de rebrota natural.
		Formação Savânica	Tipos de vegetação com um estrato arbóreo de densidade variada, distribuído sobre um estrato arbustivo-herbáceo contínuo.
		Mangue	Formação de floresta densa e sempre verde, muitas vezes inundada pela maré e associada ao ecossistema costeiro de mangue.

		Restinga Arbórea (beta)	Formações florestais que se estabelecem sobre solos arenosos na região da planície costeira
Formação Natural não Florestal	Formação Não Florestal em Área Alagada		Várzea de influência fluvial e lacustre, sujeita a inundações periódicas ou permanentes, situada ao longo de cursos de água e em zonas de várzea acumuladoras de água, com vegetação herbácea arbustiva e/ou formações arbóreas e pioneiras, e sapais (influência marinha).
	Formação Campestre		Tipo de vegetação com predominância do estrato herbáceo, incluindo manchas com um estrato arbusto-herbáceo bem desenvolvido.
	Apicum		“Apicuns” ou planícies de sal são formações muitas vezes sem vegetação arbórea, associadas à salinidade e a uma zona menos inundada do mangal, geralmente na transição desta zona para o continente.
	Afloramento Rochoso		Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupestre e declive elevado.
	Outras formações não florestais		Pradarias naturais, Savana, Parque Savana, Savana de estepe, pastagem arborizada Cerrado, “Campinarana” no bioma Amazônia.
Aquicultura	Pastagem		Áreas de pastagens, naturais ou plantadas, relacionadas com a atividade agropecuária. Em particular, nos biomas Pampa e Pantanal, parte da área classificada como Formação Campestre inclui também áreas de pastagens
	Agricultura	Cultura Anual e Perene	Áreas predominantemente ocupadas por culturas anuais e em algumas regiões (principalmente no Nordeste) com presença de culturas perenes.
		Cultura Semiperene	Áreas cultivadas com o plantio de cana-de-açúcar.
	Floresta Plantada		Espécies arbóreas plantadas para uso comercial.
	Mosaico de Agricultura e Pastagem		Áreas de cultivo onde não era possível distinguir entre pastagem e agricultura
Área sem vegetação	Praia e Duna		Zonas arenosas, de cor branca brilhante, onde não existe vegetação com predominância de qualquer tipo.
	Infraestrutura Urbana		Áreas urbanas com predominância de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, rodovias e construções.
	Mineração		Áreas relacionadas à grande extração mineral, com clara exposição do solo devido ao maquinário pesado. Foram consideradas apenas as áreas pertencentes ao quadro do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (SIGMINE).
	Outra Área Sem Vegetação		Áreas superficiais não vegetadas (infraestrutura, áreas urbanas ou mineração) não mapeadas em suas classes, e áreas de solo exposto (principalmente solo arenoso) não classificadas como formações campestres ou pastagens.
Água	Rio, Lago e Oceano		Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos de água
	Aquicultura		Lagos artificiais, onde predominam as atividades de aquicultura e/ou produção de sal. Áreas bloqueadas

Fonte: Souza et.al. (2020).

Como visto na Figura 10, na quinta etapa dessa pesquisa, foram agrupadas as subclasses semelhantes em classes gerais, além de promover a subclasse “Praia e Duna”, no caso “Duna” (considerando apenas as dunas não vegetadas) para interesse do estudo em questão. A classe “Formação Natural não Florestal” e suas subclasses não foram adicionadas, pois apenas foram encontradas as subclasses “Apicum” e “Formação Campestre” em números irrisórios na área do estudo. O quadro 3 apresenta as subclasses originais da coleção 6 do projeto - encontradas na região de estudo - e as novas classes após reclassificação.

Quadro 3 – Reclassificação da cobertura do solo.

CLASSES ORIGINAIS (AGRUPADAS)	RECLASSIFICAÇÃO
FORMAÇÃO FLORESTAL; FORMAÇÃO SAVÂNICA; MANGUE;	FLORESTA NATURAL
PASTAGEM; MOSAICO DE AGRICULTURA E PASTAGEM; OUTRAS LAVOURAS TEMPORÁRIAS;	AGROPECUÁRIA
PRAIA, DUNA E AREAL	DUNA
ÁREA URBANIZADA E OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	ÁREA NÃO VEGETADA
RIO, LAGO E OCEANO;	CORPOS D'ÁGUA

Fonte: Autora (2023).

Após a reclassificação, foram calculadas as métricas das classes de cada imagem *GeoTiff*, através do complemento *Landscape Ecology Statistics* - LecoS no QGIS 3.22 (Figura 10). O complemento disponibiliza várias opções de métricas, porém para este estudo foi utilizada apenas a que informa o valor total da Área de Cobertura da Classe (m²), a qual é calculada através da soma total da quantidade de pixels que se identifica com cada classe. Considerando que cada *pixel* possui 30x30 metros, ou seja, cada *pixel* equivale a 900 metros quadrados. Foi criada manualmente outra métrica equivalente a Área da Classe, utilizando a fórmula:

$$= (\text{Área de cada Classe (m}^2\text{)} / \text{Soma de todas as áreas de classes}) * 100$$

O resultado da fórmula é dado em porcentagem que significa o percentual que cada classe preenche na área total do *raster*. Também foi criada a métrica Área da Classe (Km²) utilizando a fórmula:

$$= \text{Área da Classe (m}^2\text{)} / 1.000.000$$

Os resultados foram entregues em planilha com os valores relacionados às áreas de classes reclassificadas, em m² e km², para cada ano de referência.

Ainda conforme a Figura 10, a sétima etapa foi a análise quantitativa de cada classe em cada ano do estudo e de como elas se desenvolveram em cada intervalo individualmente. Para melhor visualização, foi construído um gráfico com a evolução das classes. Nessa etapa, foram somadas informações de pluviometria no município de Parnaíba coletadas de Bastos (2000 a 2021) para também serem analisadas, pois, como visto na revisão bibliográfica, os índices pluviométricos têm influência direta na umidade e grau de mobilidade dos campos de areia.

Como podemos acompanhar ainda na Figura 10, na oitava etapa foram estudadas as influências na dinâmica de cada classe tendo como base as mudanças entre o ano inicial (1985) e o ano final (2020) desse estudo. Foram coletadas informações de órgãos públicos e outras pesquisas que podem respaldar e justificar as alterações espaciais.

A próxima fase dessa pesquisa (Figura 10) foi levantar os dados de transição de classes, entre os anos 1985 (ano inicial) e 2020 (ano final), através do *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), no *software* QGIS 3.22, o qual é um *plugin* Python para *software* QGIS que tem como objetivo facilitar o monitoramento da ocupação do solo. Dentre outras funcionalidades, o *plugin* avalia as mudanças de uso e cobertura da terra comparando duas classificações e revelando alterações ou não de classes em cada *pixel* (CONGEDO, 2021).

Assim, pode ser apontado a qual classe aquele *pixel* se inseria e a qual classe ele passou a pertencer, respectivamente no ano inicial e ano final de referência. As mudanças foram classificadas como Desmatamento, Reflorestamento, Retração Dunar, Expansão Dunar, Transformações Antrópicas, Inundação e Seca (Quadro 4).

Quadro 4 – Definição de Classes de Transição.

1985	2020	Classes de Transição
Duna	Quaisquer outras classes	Retração Dunar
Quaisquer outras classes	Duna	Expansão Dunar
Floresta Natural	Agropecuária Área Não Vegetada	Desmatamento
Agropecuária Área Não Vegetada Corpos D'água	Floresta Natural	Reflorestamento

Formação Campestre Corpos D'água Área Não Vegetada	Agropecuária	Transformações Antrópicas
Floresta Natural	Corpos D'água	Inundação
Corpos D'água	Formação Campestre Área Não Vegetada	Seca

Fonte: Autora (2023).

As classes de transição foram definidas seguindo a ordem dos conjuntos concentrando o foco dessa análise em avaliar as mudanças referentes a Expansão e Retração Dunar, o segundo critério foi baseado em mudanças na vegetação, o terceiro no estudo do avanço da agropecuária e por último nas mudanças do corpo d'água.

Por fim, foi feita uma análise das causas da estiagem na Lagoa do Portinho em seu pior momento e a sua recuperação (Figura 10). A análise foi baseada em pesquisas acadêmicas e ações do poder público na região.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

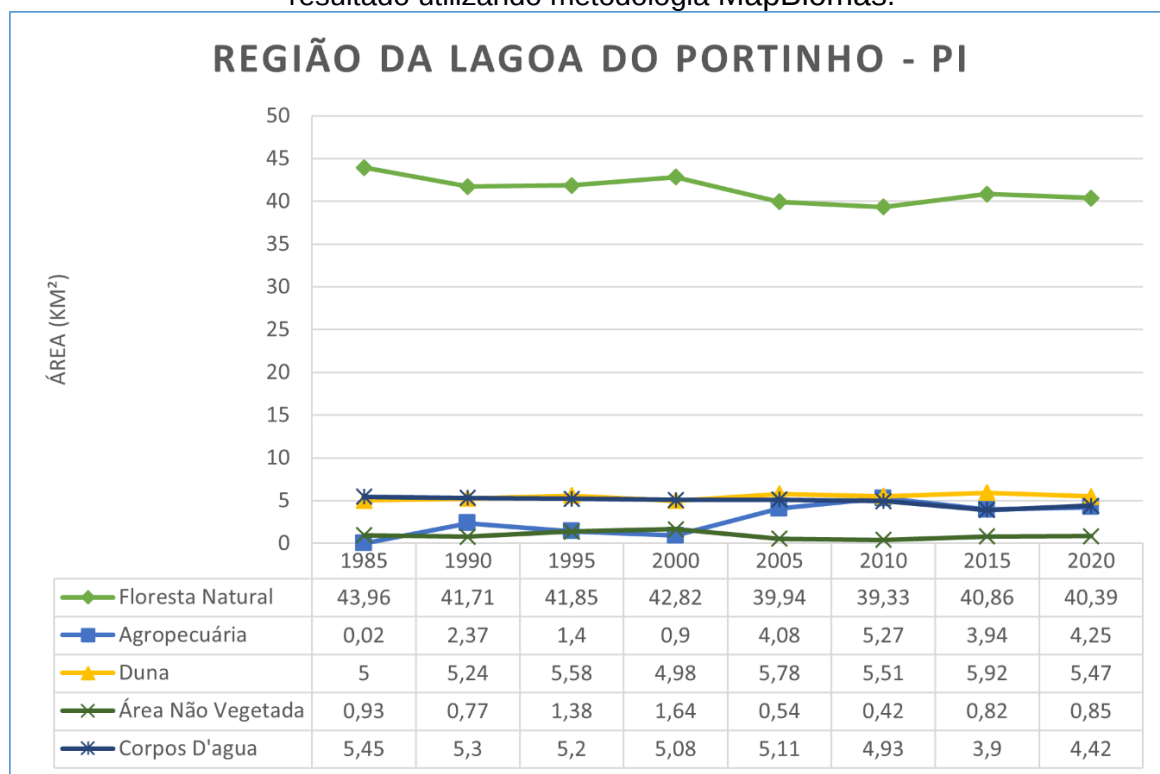
Segundo divulgação dos dados MapBiomas (2021b), referentes ao levantamento do tema transversal Zona Costeira, no período de 1985 a 2020, o Brasil perdeu cerca de 15% do seu total de superfície de Praias, Dunas e Areais (PDA), cerca de 70 mil ha. Enquanto, a expansão nesses 35 anos foi de 125 mil ha, a retração foi de 55.800 ha. O país perdeu 2,5 vezes mais do que ganhou de superfície PDA. As perdas estão associadas a Infraestrutura, Silvicultura e Pastagem.

Ao Piauí, pertencem cerca de 2,71 % dessa área total de extensões, com total de 10,5 mil ha, o que deixa o estado em sétimo lugar de concentração arenosa entre os 17 estados litorâneos. Em 2020, cerca de 40% de área PDA no Brasil estavam dentro de Unidades de Conservação (UC), 156 mil ha, a maior parte no estado do Maranhão (MAPBIOMAS, 2021b).

4.1 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DAS CLASSES E DADOS PLUVIOMÉTRICOS

O Gráfico 1 mostra a métrica da área total de cada classe pré-definida, em km², encontrada em cada ano estudado e suas variações no período de 35 anos.

Gráfico 1 - Métricas do uso e ocupação do solo na região da Lagoa do Portinho – PI (km²), resultado utilizando metodologia MapBiomás.



Fonte: Autora (2023).

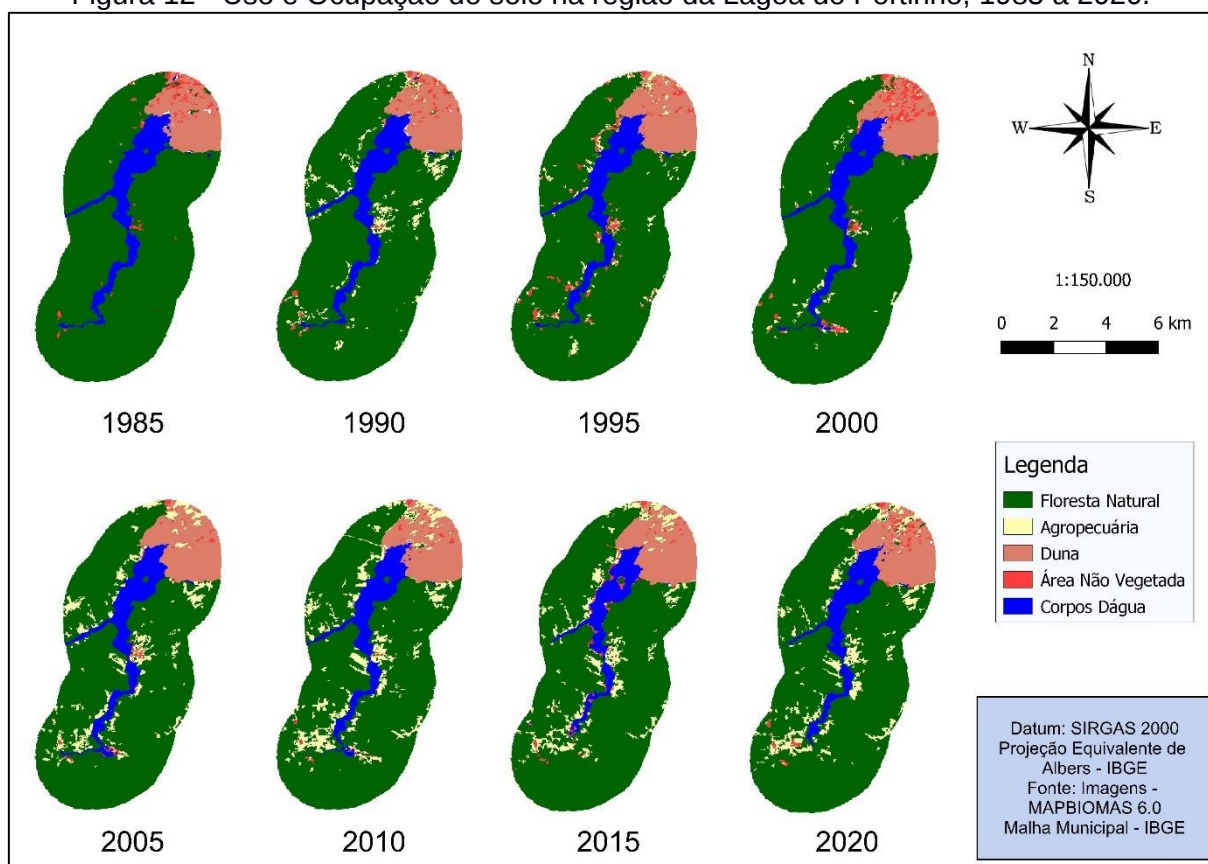
Conforme Figura 12 abaixo, constatou-se que no ano de 1985 grande parte da dinâmica natural da paisagem encontrava-se preservada, com pouquíssima presença de áreas de pastagens ou agropecuária, as quais são executadas por ações antrópicas. Apesar do registro extremamente baixo da classe Agropecuária (Gráfico 1), o valor foi considerado para efeito de comparação nos anos subsequentes, assim como a classe Área Não Vegetada. Para usar como referência, o Gráfico 2 mostra que, nos anos de 1978 a 1987, a média anual pluviométrica foi de 1296 mm no município de Parnaíba, 276,8 mm acima da média registrada até o ano de 2020 (BASTOS; RODRIGUES; ANDRADE JÚNIOR, 2000).

No ano de 1990 (Gráfico 1; Figura 12), houve uma crescente na área ocupada pela classe Agropecuária em 2,35 km² neste intervalo de cinco anos, onde se pode visualizar o espalhamento do Mosaico de Agricultura e Pastagem. Ao mesmo tempo, em que a área ocupada por pixels de Floresta Natural retrocedeu em 2,25 km². As Dunas avançaram 0,24 km² na área ocupada em relação ao ano de 1985, uma média de 0,047 km² ou 47.880 m² ao ano. Enquanto isso, a classe Área Não Vegetada sofreu retração em 0,16 km² ao comparar com os dados anteriores. Destaca-se que no ano em estudo, a classe Corpos D'Água diminuiu 0,15 km² em superfície ocupada.

Na janela temporal 1990 a 1995, houve um discreto aumento na área ocupada pela classe Floresta Natural em 0,14 km², em contrapartida, a classe Agropecuária diminuiu em 0,97 km². As Dunas avançaram 0,34 km², uma média de 0,06 km² ou 68.760 m² por ano. A Área Não Vegetada também sofreu aumento de 0,61 km² de ocupação, enquanto Corpos D'Água retrocedeu em 0,10 km², seguindo a tendência observada anteriormente (Gráfico 1; Figura 12).

Na década de 90, a média anual pluviométrica foi de 965 mm no município de Parnaíba, 331 mm a menos que o período de 1978-1987 e 54,2 mm abaixo da média registrada até o ano de 2020 (Gráfico 2).

Figura 12 - Uso e Ocupação do solo na região da Lagoa do Portinho, 1985 a 2020.



Fonte: Autora (2023).

Nos últimos cinco anos do século XX, a classe Floresta Natural na região da Lagoa do Portinho teve um crescimento na área ocupada de 0,97 km². Enquanto a Agropecuária seguiu a tendência de redução de 0,50 km². Já a classe Duna Não Vegetada sofreu, pela primeira vez nesse estudo, retração em 0,60 km², média de 0,12 km² ou 120.420 m² de redução ao ano. A Área Não Vegetada aumentou em 0,26

km², desde o ano de 1995. Corpos D'Água diminuiu em 0,12 km² de área ocupada (Gráfico 1; Figura 12).

No ano 2000, o registro pluviométrico anual foi de 1342,4 mm no município de Parnaíba, 377,4 mm a mais que a média da década anterior e 323,2 mm acima da média registrada até o ano de 2020 (Gráfico 2). Com a dinâmica inversamente proporcional entre precipitação e avanço dunar, destaca-se que neste ano, com chuvas 32% acima da média, houve pela primeira vez retração da área do areal. Apesar disso, a retração da área do corpo d'água, nos últimos 5 anos, pode ser justificada pelos baixos índices de chuva em toda a década de 90.

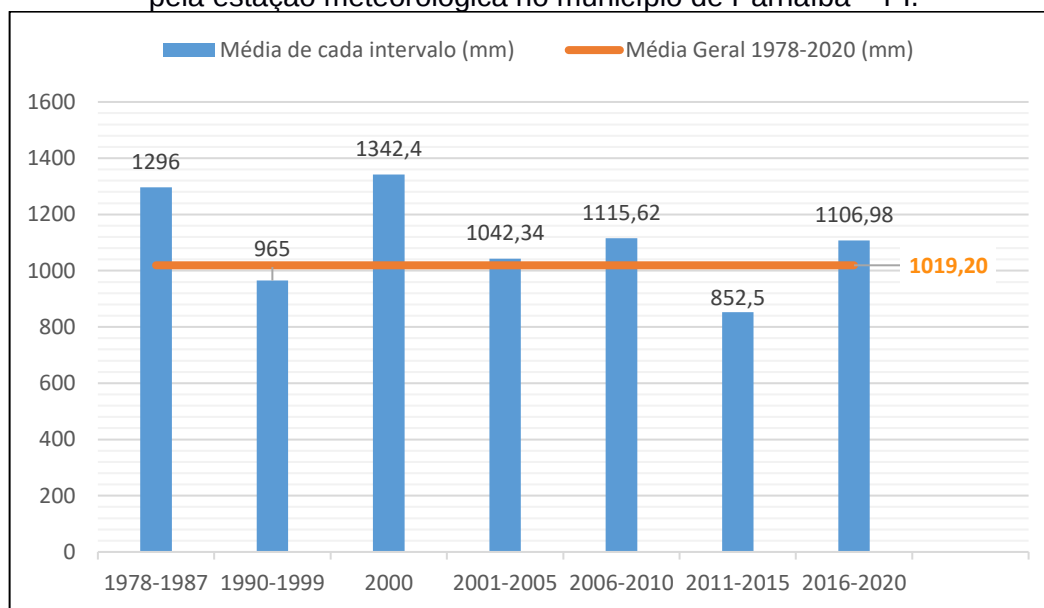
Observa-se no Gráfico 1 e Figura 12 que, no ano de 2005, a área de Floresta Natural diminuiu em 2,88 km². Enquanto, percebeu-se um aumento de 3,18 km² da classe Agropecuária e de 0,80 km² na classe Duna, em média 0,16 km² ou 160.560 m² ao ano. A Área Não Vegetada diminuiu 1,1 km² e Corpos D'Água avançou em 0,03 km².

Nos anos 2001 a 2005, a média anual pluviométrica foi de 1042,34 mm no município de Parnaíba, 23,14 mm acima da média registrada entre os anos 1978-2019. O ano de 2005 registrou o menor volume anual de chuvas desse quinquênio com 927 mm, enquanto seu maior índice pluviométrico foi em 2003 com 1176,1 mm (Gráfico 2).

No ano de 2010, a classe Floresta Natural reduziu em 0,61 km², entre 2005 e 2010, pelo segundo período consecutivo. Ocorreu o avanço da classe Agropecuária em 1,19 km² e retração da classe Duna em 0,27 km², aproximadamente 0,05 km² ou 54.540 m² de retração ao ano. A Área Não Vegetada também reduziu em 0,12 km², assim como Corpos D'Água em 0,18 km². Destaca-se redução de área em todas as classes, exceto Agropecuária que neste período avançou novamente (Gráfico 1; Figura 12). Meireles (2011) também identificou retração de 18.500 m² no período 2005-2010 na área da Duna do Pôr do Sol em Jericoacoara – CE, a região fica a 211 km ao leste de Parnaíba e recebe influência da ZCIT.

Entre os anos 2006 e 2010, a média anual pluviométrica foi de 1115,62 mm no município de Parnaíba, 96,42 mm acima da média registrada entre os anos 1978-2019. De acordo com Bastos, Rodrigues e Andrade Júnior (2011), o ano de maior estiagem foi em 2010 com 629,1 mm de chuva, enquanto seu maior índice de precipitação foi no ano de 2009 com 1646 mm, maior volume anual de chuva registrado para esta região entre os anos 1978 e 2020 (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Média do índice pluviométrico (mm) para cada intervalo de tempo, registrado pela estação meteorológica no município de Parnaíba – PI.



Fonte: Bastos, (2000 a 2021).

A Figura 12 mostra que, no ano de 2015, a área verde cresceu 1,53 km² comparando com o ano de 2010. Houve redução significativa na área da classe Agropecuária em 1,33 km². A classe Duna avançou em média cerca de 0,08 km² ou 82.080 m² ao ano neste intervalo, com o total de 0,41 km², nos últimos cinco anos, valor bem próximo do aumento da classe Área Não vegetada a qual cresceu 0,40 km². A classe Corpos D'Água reduziu de forma crítica em 1,03 km² (Gráfico 1).

Este estudo mostrou, através de imagens MapBiomas, que nesse ano as dunas não vegetadas atingiram a sua maior área de superfície ocupada, enquanto a classe Corpos D'Água atingiu a sua menor área ocupada entre os anos 1985-2020. Nos anos 2011 a 2015, a média anual pluviométrica foi de 852,5 mm no município de Parnaíba, 166,7 mm abaixo da média registrada entre 1978-2019. O ano de maior estiagem foi 2012, com 624,6 mm de chuva, este volume anual foi o menor registrado para esta região entre os anos 1978-2020. Enquanto seu maior índice no quinquênio foi no ano de 2011 com 1107,2 mm (Gráfico 2).

De acordo com a Figura 12, observa-se que, no ano de 2020, a classe Floresta Natural voltou a apresentar retração nesse último intervalo diminuindo 0,47 km². A classe Agropecuária avançou 0,31 km² e Duna reduziu 0,45 km², uma média de 0,09 km² ou 91.260 m² por ano. A Área Não Vegetada apresentou um discreto aumento de

0,03 km² e Corpos D'Água, ao contrário do período anterior, constatou aumento de 0,52 km² (Gráfico 1).

Nos anos 2016 a 2020, a média anual pluviométrica foi de 1106,98 mm no município de Parnaíba, 87,78 mm acima da média histórica registrada desde 1978. O ano de maior estiagem foi 2016 com 878 mm de chuva, enquanto seu maior índice foi no ano de 2020 com 1504,6 mm (Gráfico 2). Esse volume de precipitação somado a iniciativas do poder público e da sociedade foram suficientes para recuperação hídrica da lagoa após o grande período de estiagem que ocorria desde 2010.

4.2 DINÂMICA DAS CLASSES E SUAS INFLUÊNCIAS

4.2.1 Agropecuária

É possível observar que os dados de área plantada ou destinada a colheita – lavouras temporárias e permanentes, disponibilizados pelo IBGE através da Pesquisa Agropecuária Municipal – PAM e extraídos do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, nos municípios onde se localiza a região de estudo (Tabela 1), coincidem com as informações MapBiomas no intervalo entre os anos 1990-2000, onde percebe-se redução significativa de área da classe agropecuária nas imediações do sistema lacustre, conforme já apresentado no Gráfico 1 e pode ser também visto na Figura 13. O IBGE não disponibiliza informações para o ano 1985, pois essa variável só passou a ser informada a partir de 1988.

No período de 2000-2005, segundo o IBGE, houve crescimento de área plantada no município de Luís Correia de 1.945 ha e redução de 50 ha no município de Parnaíba. O estudo MapBiomas relata crescimento da classe agropecuária nesse mesmo período na região da Lagoa do Portinho, seguindo essa tendência no quinquênio seguinte. Nos dados da PAM, ao contrário do levantado neste presente trabalho, mostra-se redução de área plantada nos dois municípios no intervalo 2005-2010.

Entre 2010-2015, os dados MapBiomas revelam queda na área ocupada pela classe agropecuária, assim como os dados PAM do município de Parnaíba reduziram 156ha, enquanto Luís Correia mostrou um pequeno crescimento de 97 ha. No último intervalo estudado, 2015-2020, houve um discreto crescimento na área da classe Agropecuária mapeada pelo MapBiomas, na região da Lagoa do Portinho, coincidindo

com os dados PAM para os dois municípios no mesmo período que mostram crescimento de 1ha em Parnaíba e 2.687 ha em Luís Correia.

É importante ressaltar que as informações da PAM são relativas a todo o território dos municípios, não especificando a área de interesse deste estudo. De acordo com SEMAR (2018), no ano de 2018, a atividade econômica lavoura predominava entre os moradores dos povoados Santo Antônio e Gameleira, tendo também grande destaque entre os moradores dos povoados Portinho e Carpina (todos pertencentes ao município de Parnaíba e localizados no entorno da lagoa) (apud MOURA *et. al.*, 2020).

Tabela 1 – Área Plantada ou destinada a colheita, em ha, nos municípios de Parnaíba e Luís Correia, entre os anos 1985 e 2020.

Município/Ano	1985	1988	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Parnaíba	...	11.377	10.343	7.349	2.475	2.425	1.552	1.396	1.397
Luís Correia	...	15.491	15.326	12.407	8.372	10.317	9.618	9.715	12.402

Fonte: Tabela 5457, IBGE – Produção Agrícola Municipal

Constatou-se que a classe com o maior avanço na ocupação do solo, nos últimos 35 anos, foi a Agropecuária (Tabela 2). Mesquita, Lima e Filho (2018) certificaram a agricultura e a pecuária como as principais atividade presentes na bacia hidrográfica do Rio Portinho. Os autores notaram como prejuízo o desmatamento, mau uso dos solos e recursos hídricos, caça predatória, queimadas, garimpo e lixão.

Na pecuária, utiliza-se da cobertura vegetal as margens dos rios como pastagens para animais, isso quando a floresta natural não é queimada a fim de limpar o terreno para o plantio de pastagens. A baixa umidade, as altas temperaturas e os ventos fortes são fatores que geram o descontrole das queimadas, tornando-as mais frequentes nos meses de setembro, outubro e novembro.

4.2.2 Floresta Natural

Enquanto as áreas ocupadas por agricultura e pastagem avançaram no período em questão, a classe Floresta Natural foi reduzindo ao longo dos anos chegando a ter 3,57 km² ou 8,11% a menos de área ocupada em 2020 comparado ao ano de 1985 (Tabela 2). O avanço da agropecuária pode explicar a diminuição da área de vegetação natural nessa região, visto haver uma dinâmica inversamente proporcional

entre essas duas classes no período estudado, conforme Gráfico 1 e Figura 13. Essa correlação pode ser percebida também na Figura 12, onde a ocupação da classe Floresta Natural foi, ao longo dos anos, sendo substituída por Agropecuária.

Andrade, Gomes e Cruz (2019) observaram que nas imediações do sistema lacustre encontra-se uma vegetação que se parece com a de áreas campestres, a qual é composta principalmente por plantas rasteiras e herbáceas, e que inclui também árvores de porte médio, tais como carnaúbas e coqueiros, entre outras espécies. Essa vegetação mescla-se com a paisagem natural da lagoa. Sousa (2016b) classifica essa cobertura vegetal natural como vegetação de caatinga arbustiva.

4.2.3 Área Não Vegetada

Considera-se que no intervalo 1985-2020, a classe Área não vegetada recuou 0,08 km² ou 8,93% no perímetro delimitado por essa pesquisa (Tabela 2). Silva (2019) assegurou que nas proximidades da lagoa são detectadas grandes áreas não vegetadas, as quais potencializam os efeitos da erosão do solo e geram o assoreamento dos cursos d'água.

A autora também detectou a existência de estradas vicinais, de terra que foram construídas para se ter acesso aos territórios de cultivo. O solo não vegetado torna-se mais vulnerável aos efeitos nocivos da erosão hídrica resultando na obstrução dos cursos d'água.

4.2.4 Dunas

Verifica-se que, entre avanços e recuos, no período 1985-2020, as dunas não vegetadas avançaram no total 0,47 km² ou 465.300 m² ou 9,31% de superfície ocupada na região pesquisada (Tabela 2). Frota *et. al.* (2018) estudou os campos de dunas móveis, do município de Luís Correia, aos quais envolvem a região lacustre. Utilizando a classificação não-supervisionada de imagens orbitais no *software* ArcGis 10.2, os autores concluíram que, houve crescimento da terra ocupada pelos campos de dunas móveis entre os anos de 1994 e 2015. O trabalho relata que, entre ganhos e perdas, a área de estudo expandiu cerca de 6,35 km², o que implica em um aumento considerável, equivalente a 55,45%.

Tabela 2 – Mudanças de área de classes na região da Lagoa do Portinho - PI entre 1985 e 2020, da coleção 6 do MapBiomias.

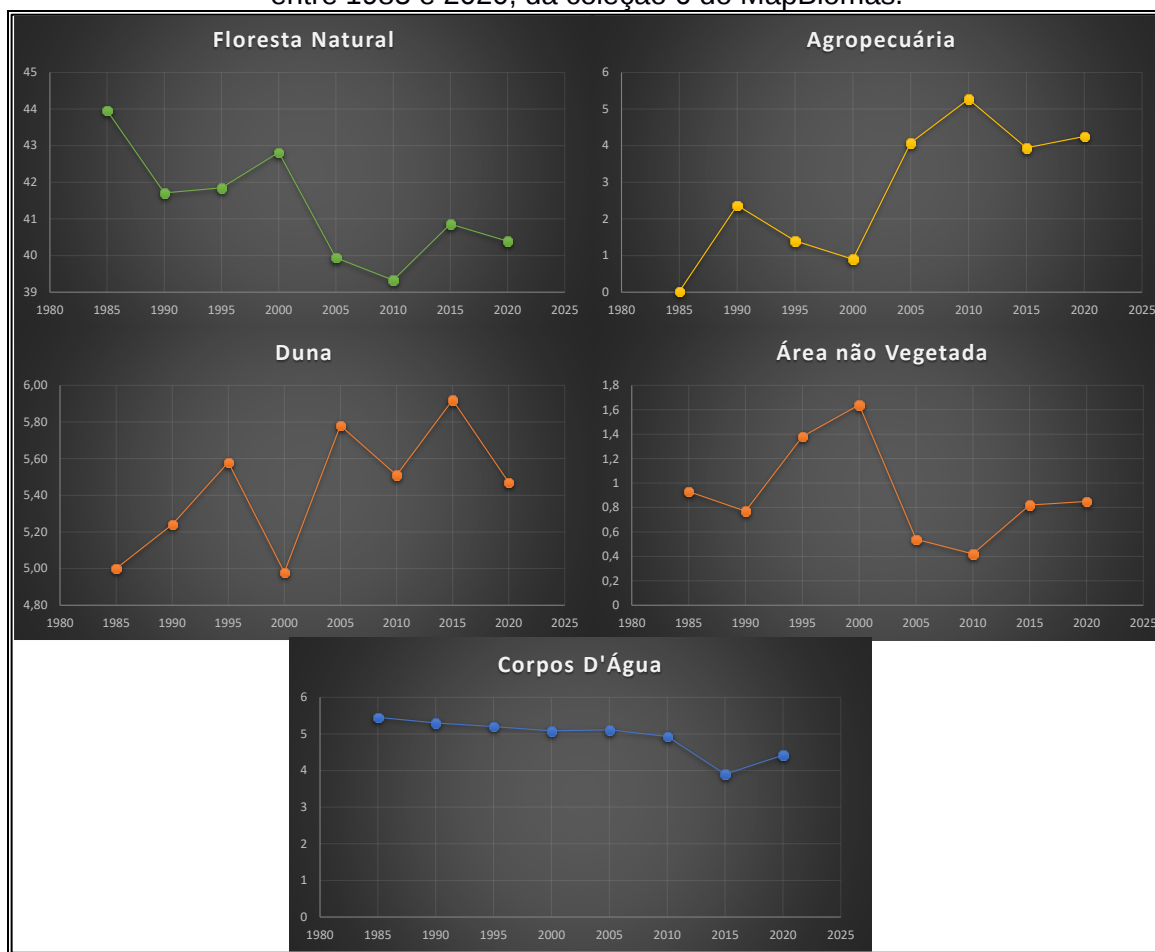
Classe/Ano	Área de Classe (Km ²)			Área da Classe (%)		
	1985	2020	Mudança de Área	1985	2020	Mudança de Área
Floresta Natural	43,96	40,39	-3,57	79,27%	72,84%	-8,11%
Agropecuária	0,02	4,25	4,23	0,03%	7,66%	25433,33%
Duna	5,00	5,47	0,47	9,02%	9,86%	9,31%
Área Não Vegetada	0,93	0,85	-0,08	1,68%	1,53%	-8,93%
Corpos D'Água	5,45	4,42	-1,03	9,83%	7,97%	-18,92%

Fonte: Autora (2023).

Na segunda metade das décadas de 1990, 2000 e 2010, observa-se o fenômeno da redução da área de sedimentos arenosos (Figura 13). Esses sedimentos perdidos dispersam-se pelo continente formando as bacias de deflação, não retornando efetivamente para a linha de costa, em função da baixa competência dos cursos fluviais presentes (FROTA *et. al.*, 2018).

Nota-se que, os anos onde houve expansão de dunas móveis coincidem com o período em que a região sofreu com a baixa incidência de chuvas (Figura 13) (Gráfico 2). Tempos de estiagem são caracterizados pelo aumento na velocidade dos ventos, assim como da temperatura e da evaporação. Fatores que colaboram com a movimentação eólica dos campos dunares.

Figura 13 – Histórico da área das classes (em km²) na região da Lagoa do Portinho - PI entre 1985 e 2020, da coleção 6 do MapBiomas.



Fonte: Autora (2023).

Resultados semelhantes foram encontrados por Meireles (2011), onde os ventos promovem o deslocamento de sedimentos no campo de dunas de Jericoacoara – CE, principalmente no segundo semestre, quando ocorrem as maiores velocidades dos ventos e menores índices de precipitação pluviométrica.

Existem fenômenos que alteram os padrões climáticos e podem influenciar a dinâmica dunar no nordeste brasileiro como o El Niño, o qual provoca aumento do período de estiagem e o La Niña que atrai chuvas acima da média para a região (Quadro 5). Inclusive, estes fenômenos podem justificar as oscilações no gráfico de dunas que mostra períodos alternados de avanços e recuos na área dunar (Figura 13).

Quadro 5 – Ocorrências de El Niño e La Niña, nos últimos anos.

1986-1987	El Niño	Moderado	1988-1989	La Niña	Moderada
1987-1988	El Niño	Forte	1998-1999	La Niña	Fraca
1991-1992	El Niño	Forte	1999-2000	La Niña	Moderada

1992-1993	El Niño	Fraca	2007-2008	La Niña	Moderada
1997-1998	El Niño	Forte	2010-2011	La Niña	Moderada
2002-2003	El Niño	Moderada	2017-2018	La Niña	Moderada
2006-2007	El Niño	Moderada	-	-	-
2009-2010	El Niño	Moderada	-	-	-
2015-2016	El Niño	Forte	-	-	-

Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE, 2023.

4.2.5 Corpos D'água

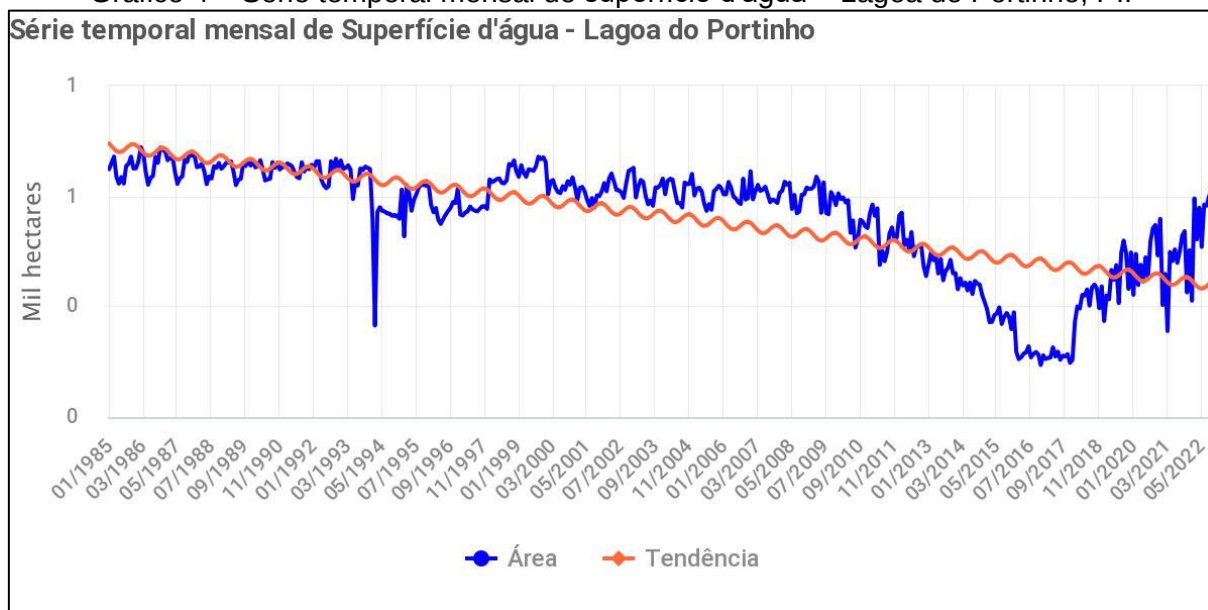
Além da baixa precipitação, Andrade, Gomes e Cruz (2019) afirmam, que o uso irregular da água por moradores, que a utilizavam para irrigação e construção de barragens para aquicultura e piscicultura, foi um dos fatores para o prejuízo no volume de água na planície lacustre, na década de 2010. Apura-se que a classe Corpos D'Água reduziu 1,03 km² ou 18,92% de superfície, na janela temporal 1985-2020 (Tabela 2), tendo seu menor índice nos anos de 2015-2017, conforme os dados do MapBiomas Água (Gráficos 3 e 4). Mesquita, Lima e Filho (2018) afirmam que os impactos gerados pelo homem na exploração da água e do solo nesta bacia hidrográfica são mais intensos que os impactos gerados naturalmente.

Gráfico 3 – Série temporal da superfície d'água – Lagoa do Portinho, PI.



Fonte: MapBiomas (2021c).

Gráfico 4 – Série temporal mensal de superfície d'água – Lagoa do Portinho, PI.

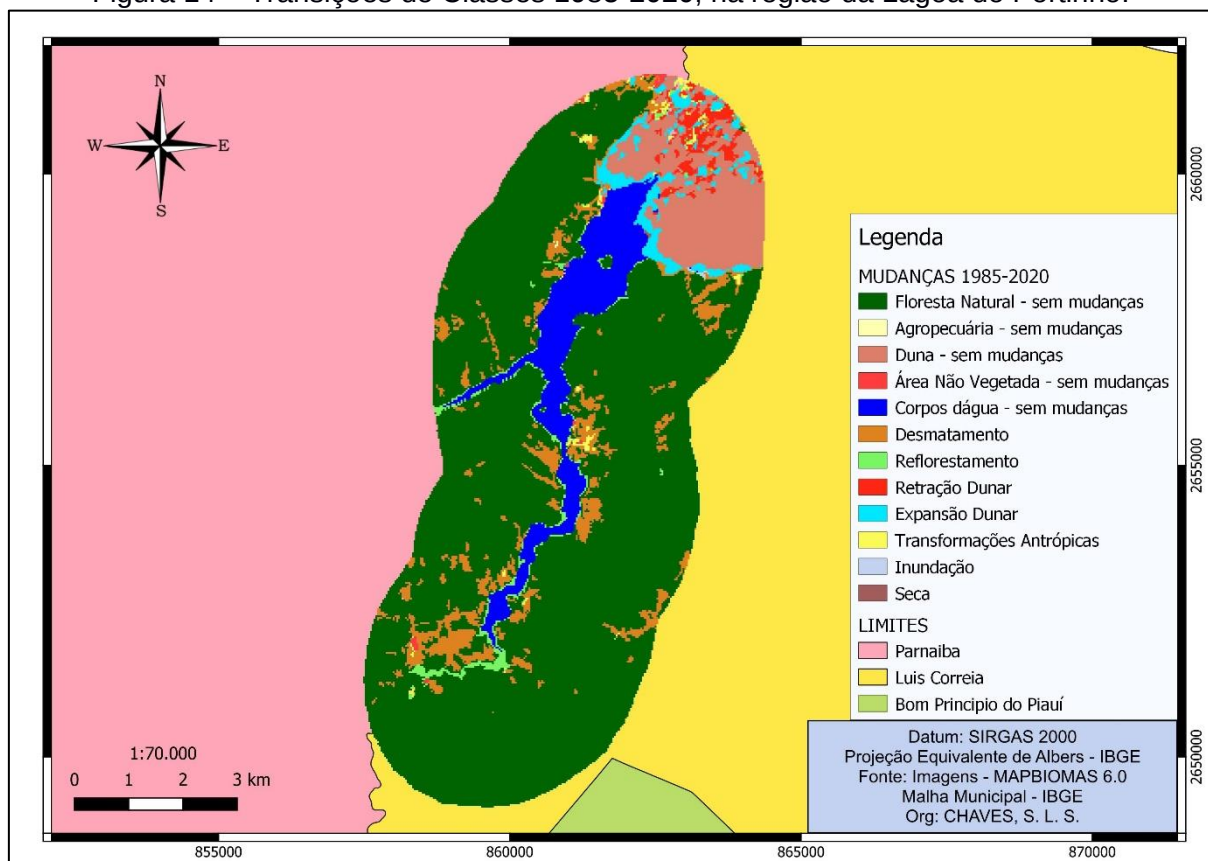


Segundo Mesquita, Lima e Filho (2018), entre os anos de 1949 e 1959, o mesmo lago apresentou déficit hídrico em razão da baixa precipitação. Os autores certificaram essa informação com dados oficiais e com moradores da região. Isso confirma a característica da existência de um fenômeno cíclico diretamente relacionado a incidência das chuvas.

4.3 ANÁLISE DAS TRANSIÇÕES DE CLASSES

Os dados de transição de classes que foram levantados geraram um mapa temático classificado onde é possível observar que, os *pixels* classificados como Expansão Dunar foram encontrados aglomerados na parte sul-sudoeste do limite do corpo dunar. Enquanto, a classe Retração Dunar foi encontrada na maior parte na região nordeste dessa geoforma (Figura 14).

Figura 14 – Transições de Classes 1985-2020, na região da Lagoa do Portinho.



Fonte: Autora, 2023.

Essa observação comprova que o acúmulo sedimentar nessa região se moveu na direção sudoeste-nordeste, nesses 35 anos, seguindo a dinâmica dos ventos alísios e pressionando a ocupação do espaço do corpo d'água Lagoa do Portinho. As classes de transição Desmatamento e Expansão Dunar foram encontradas com maior área, com 3,97 km² e 1,18 km² de espaço alterado, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Total de área de classe de cada transição.

Transições 1985-2020	M ²	KM ²	HA
SEM MUDANÇAS	48428100	48,43	4842,81
REFLORESTAMENTO	780300	0,78	78,03
RETRAÇÃO DUNAR	712800	0,71	71,28
EXPANSÃO DUNAR	1178100	1,18	117,81
SECA	18000	0,02	1,8
TRANSFORMAÇÕES ANTRÓPICAS	268200	0,27	26,82
DESMATAMENTO	3971700	3,97	397,17
INUNDAÇÃO	20700	0,02	2,07

Fonte: Autora, 2023.

4.4 ESTIAGEM E RECUPERAÇÃO DA LAGOA DO PORTINHO.

A Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR) afirma que a estiagem pluviométrica foi a principal razão para a seca na Lagoa do Portinho, no ano de 2015, onde não foi possível as chuvas reporem os volumes normais dos mananciais da região que naturalmente sentem as elevadas taxas de evaporação do litoral (apud PIAUÍ HOJE, 2016). Entretanto, Mesquita, Lima e Filho (2016) identificaram que os tipos de uso da água mais recentes, a montante dessa massa de água, onde barramentos irregulares foram construídos, correspondem ao fator que causou maior impacto à bacia hidrográfica do Portinho.

A baixa precipitação pluviométrica na primeira metade da década de 2010, a erosão do solo e o avanço das dunas não vegetadas, foram as causas naturais para que, neste último ano, a Lagoa do Portinho passasse por processo de assoreamento, pois não havia escoamento suficiente dos rios Portinho e Márruas. As ações do homem também foram responsáveis por agravar esse fenômeno pela falta de monitoramento dunar e de regulamentação das atividades turísticas (Fotografia 1). O canal de escoamento do rio Portinho, que abastece a planície lacustre, foi soterrado. No local, houve negligência no monitoramento do areal. O grande fluxo de turistas nas dunas móveis, com o trânsito de pessoas e veículos, também potencializou a sua movimentação em direção ao corpo d'água (MESQUITA; LIMA; FILHO, 2016; SEMAR 2015; MOURA *et. al.*, 2020).

Fotografia 1 – Lagoa do Portinho assoreada no ano de 2015.



Fonte: Portal UOL, 2015.

Araújo e Fonseca (2016) realizaram estudo Multitemporal utilizando sensoriamento remoto, com imagens de 1984 e 2014, do campo de dunas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM). O local se situa a distância de 183 km a oeste do município de Parnaíba. Os autores relataram que houve um acréscimo de 23,69 km² na área do sistema dunário, concomitantemente a retração apresentou uma área menor, com apenas 14,95 km². A taxa média de avanço é de 4 m a 25 m ao ano, migrando do litoral em direção ao interior do continente.

Santos (2022) utilizando dados MapBiomas, detectou que no período 1985-2019 o areal no PNLM avançou 15,34 km². O avanço atingiu a floresta de mangue no seu entorno gerando soterramento e morte do manguezal. A autora confirma o grau de confiabilidade de 94,80 % da classificação MapBiomas com registro das observações *in situ*. O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses é afetado pela mesma corrente de ventos alísios de nordeste a sudoeste que molda a dinâmica dunar na Lagoa do Portinho.

No ano de 2019, a região da Lagoa do Portinho, com o total aproximado de 3.731,7916 ha, adquiriu o status de Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), ou seja, uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, que tem por objetivo preservar os ecossistemas naturais de importância regional ou local e, ao mesmo tempo, regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza (PIAUÍ, 2019).

A comunidade local realizou tentativas de solucionar o problema, no ano de 2020, fazendo a abertura de sangradouros entre as dunas, a fim de retomar o volume d'água e repovoar a fauna da lagoa (SEMAR, 2020). Medidas foram tomadas pelos órgãos públicos para a retirada de barramentos construídos por fazendeiros ao longo dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Portinho.

Nos anos subsequentes, o litoral piauiense sentiu os efeitos do aumento pluviométrico com as cheias e transbordamentos de seus corpos d'água, o qual interditou via, recuperou o volume perdido no período de seca, assim como a presença da fauna aquática (Fotografias 2 e 3) (Portal G1, 2022).

Fotografia 2 - Lagoa do Portinho, maio de 2022.



Fonte: Tiago Mendes / TV Clube

Fotografia 3 - Lagoa do Portinho, maio de 2022.



Fonte: Arquivo Pessoal / Luís Aragão

Apesar do desequilíbrio ambiental causado pelo homem e pela dinâmica natural, Andrade, Gomes e Cruz (2019) enfatizam que a área de preservação permanente (APP) desta planície lacustre ainda está sendo preservada, apesar de todos os impactos no território que cerca a lagoa e seus cursos fluviais que a abastece.

Pinheiro, Moura Fé e Freitas (2013) afirmam que as dunas, como APP, devem receber a proteção adequada, pois essas geoformas desempenham funções no equilíbrio do ecossistema, como região de recarga de aquífero e dinâmica sedimentar

da zona costeira, além de seus aspectos de beleza cênica que atraem o segmento turístico.

5 CONCLUSÃO

A metodologia MapBiomass se mostrou eficaz no estudo do uso e cobertura da terra com resultados semelhantes ao de outros estudos metodológicos na mesma região aqui apresentada. Destaca-se o projeto MapBiomass como ferramenta pública, aberta, inovadora, rápida, gratuita, abrangente e eficiente para estudos ambientais em todo território nacional. O geoprocessamento se mostra útil para a produção de dados, os quais subsidiam o planejamento ambiental costeiro.

Os resultados desse estudo demonstram que, no período entre 1985-2020, a dinâmica dunar na Lagoa do Portinho gerou um saldo total positivo de 0,47 km², equivalente a 465.300 m² ou uma expansão de 9,31% na área ocupada. Isso representa uma média anual de 13.294 m². A Expansão Dunar, ao longo desse período, totalizou 1,18 km², principalmente na direção sul-sudoeste do corpo dunar. Por outro lado, houve Retração Dunar de 0,71 km² predominando na área Nordeste do campo de areia. Essa constatação evidencia que a dinâmica dunar ocorreu na mesma direção (Nordeste-Sudoeste) dos ventos alísios que influenciam a região, pressionando assim, a ocupação espacial do corpo d'água Lagoa do Portinho.

É importante destacar que ocorreram oscilações frequentes entre avanços e retrações das dunas que demonstram um padrão ao longo dos anos. Esse padrão pode ser explicado pela influência do El Niño e La Niña que têm um impacto significativo no ciclo pluviométrico. Os anos de maior expansão das dunas móveis coincidem com períodos de estiagem mais intensa na região.

Durante o período de 1985-2020, a agropecuária teve um avanço considerável na região da Lagoa do Portinho, resultando no desmatamento de 3,97 km² de vegetação natural na área de influência desse corpo d'água, conforme evidenciado neste estudo.

O devido monitoramento da dinâmica dunar pode ajudar a evitar que ocorrências semelhantes à seca de 2015-2017 voltem a acontecer onde, além da baixa precipitação – fator cíclico e natural, ocorreu o soterramento do canal de escoamento do Rio Portinho, fonte regular de abastecimento hídrico da Lagoa e a construção de barramentos ilegais para atividades de piscicultura. A criação de meios

de controle da ação natural do meio ambiente auxilia na redução do impacto sobre a lagoa, assim como, a regulamentação e fiscalização do uso da água e do solo para fins turísticos e econômicos nesse território.

O comércio que envolve este ponto turístico foi diretamente prejudicado e abandonado neste período de estiagem, gerando inúmeras perdas para os moradores locais que tem na Lagoa do Portinho sua principal fonte de renda através de serviços de bares, restaurantes, passeios, além de atividades de pesca.

Iniciativas do poder público foram tomadas no ano de 2019 quando a região adquiriu o status de Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE). Espera-se a elaboração e divulgação do plano de manejo pela SEMAR e o recebimento de incentivos na região. Assim como, debates e ações com a comunidade local e inserções de placas sinalizadoras para promover o uso consciente do meio ambiente por comerciantes, prestadores de serviços turísticos e frequentadores.

Outros estudos publicados apresentam diversos elementos para o planejamento e gestão ambiental local. A Lagoa do Portinho constitui um dos principais cartões postais do estado do Piauí e deve ter seu potencial máximo explorado de forma sustentável.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. L. M.; GOMES, A. C. A.; CRUZ, M. L. B. A Importância do Geoprocessamento na Análise do Uso e Ocupação da Lagoa do Portinho Localizada entre os Municípios de Luís Correia E Parnaíba-PI. **Revista CEC&T**, Centro de Ciências e Tecnologia da UECE, Fortaleza, v. 1, nº especial, p. 144-158, 2019. Disponível em <https://revistas.uece.br/index.php/CECiT/>. Acesso em: 19 abr. 2023.
- ARAÚJO, T. D.; FONSECA, E. L. da. Análise Multitemporal dos Lençóis Maranhenses entre 1984 e 2014 Utilizando Sensoriamento Remoto Orbital. **Revista Brasileira de Geografia Física**, UFPE, v. 9. n. 1. p. 280-295, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbqfe/article/view/233614> Acesso em: 08 set. 2022.
- ARAÚJO, Verônica Dantas de. **Caracterização Geológica Tridimensional e Monitoramento de Dunas no Litoral Oriental do Rio Grande do Norte**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/18843>. Acesso 08 ago. 2022.
- ARENS, S.M., VAN BOXEL, J.H., ABUODHA, J.O.Z. Changes in grain size of sand in transport over a foredune. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 27, p. 1163-1175, 2002. 1173 p. il. p&b. Disponível em: https://www.duinonderzoek.nl/wp-content/uploads/2016/07/2002_Arens_vBoxel_Abuodha_ESPL.pdf. Acesso em: 03 out 2022.
- AZEVEDO *et al.* (org.). **Ecologia na restinga: uma sequência didática argumentativa**. 1. ed. São Paulo: Edição dos autores, 2014. 140 p. Disponível em: http://labtrop.ib.usp.br/lib/exe/fetch.php?media=projetos:restinga:restsul:divulga:apostila:ecologia_na_restinga_cap2p22-41.pdf. Acesso em: 13 nov. 2018.
- BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B.H.N.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Dados agrometeorológicos para o município de Parnaíba, PI (1990-1999)**. Teresina, Embrapa Meio-Norte. 2000. 27p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/62292>. Acesso em: 05 maio 2023.
- BASTOS *et. al.* **Boletim agrometeorológico do ano de 2000 para o município da Parnaíba-PI**. Teresina, Embrapa Meio-Norte. 2001. 37p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/64597>. Acesso em: 05 maio 2023.
- BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B.H.N.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Boletim agrometeorológico de 2005 para o município da Parnaíba, PI**. Teresina, Embrapa Meio-Norte. 2006. 30p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/69397>. Acesso em: 05 maio 2023.
- BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B.H.N.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Boletim agrometeorológico de 2010 para o município da Parnaíba, PI**. Teresina, Embrapa Meio-Norte. 2011. 37p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/968036>. Acesso em: 05 maio 2023.

BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B.H.N.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Boletim agrometeorológico de 2015 para o município da Parnaíba, PI**. Teresina, Embrapa Meio-Norte. 2016. 38p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1063205>. Acesso em: 05 maio 2023.

BASTOS *et. al.* **Boletim agrometeorológico de 2020 para o município da Parnaíba, PI**. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 38p. 2021. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1141406>. Acesso em: 05 Maio 2023.

BROOKFIELD, Michael. Aeolian processes and features in cool climates. **Geological Society of London Special Publications**, London, v. 354, n. 1, p. 241-258, 2011. 251 p. il. color. Disponível em: https://www.academia.edu/1313340/Aeolian_processes_and_features_in_cool_climates Acesso em: 29 set. 2022.

BRASIL. **Lei 12.651/12 – Novo Código Florestal**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 16 nov. 2018.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, São José dos Campos, INPE, 2001.

CARVALHO, A. M., MAIA, L. P., DOMINGUEZ, J. M. L. Caracterização do processo de migração das dunas de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, costa noroeste do Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, 2006, Fortaleza, 1, 44-52.

CHAVES, S. L. S.; LIMA, M. de O.; MELO, L. F. de S. Geoprocessamento Aplicado À Análise Espacial-Temporal Da Dinâmica Dunar Sobre A Lagoa Do Portinho No Litoral Piauiense. In: **Vi Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação**, 2016, Recife - PE. Disponível em: https://www3.ufpe.br/visimgeo/includes/Anais_final_10_09_16/ Acesso em: 27 abr. 2023.

CONGEDO, L. Plugin de Classificação Semiautomática: Uma ferramenta Python para o download e processamento de imagens de sensoriamento remoto no QGIS. **Journal of Open-Source Software**, 2021, 6 (64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

CPTC/INPE. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 07 maio 2023.

CONAMA. **Resolução nº 303, de 20 de março de 2002**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Ministério do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, p. 68, 2002. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=299. Acesso em: 03 out. 2022.

CONAMA. **Resolução nº 341, de 25 de setembro de 2003**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Ministério do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 213, de 3 de novembro de 2003, Seção 1, p. 62, 2003. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=372. Acesso em: 03 out. 2022.

CONAMA. **Resolução nº 488, de 05 de setembro de 2018**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Ministério do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 175, de 11 de

setembro de 2018, Seção 1, p. 117, 2018. Disponível em:
http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=711.
Acesso em: 03 out. 2022.

CRUZ, C.L.Z.; CRUZ, C.B.M. Avaliação da Exatidão Temática da Cobertura e Uso da Terra Representada Através do MapBiomas no Rio De Janeiro, In: **GEOgraphia**, v. 23, n. 50, Niterói, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/47001/29137>
Acesso em: jun. 2022

DOMINGUEZ, J. M. L. Notas de aula de **Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira**. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 2009. Disponível em: <http://www.zonacosteira.bio.ufba.br/dunaseolicas.html>.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FROTA, J. C. O. **Potencial de Expansão Urbana na Planície Costeira do Estado do Piauí**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017. Disponível em:
https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5789957. Acesso 28 maio 2023.

FROTA, J.C.O.; AMORIM, J.V.A.; MACIEL, A.L.; VALLADARES, G.S. Análise Multitemporal dos campos de dunas móveis do município de Luís Correia-Piauí. In: XI Sinageo - Simpósio Nacional de Geomorfologia - UGB - União da Geomorfologia Brasileira, Maringá, 2018, **Anais**. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/7/7-437-1557.html>. Acesso em: 18 abr. 2023.

FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ - CEPRO. **Diagnóstico Socioeconômico dos Municípios**, Teresina, Piauí, CEPRO/IBGE, 2013. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/diagsococo.php>. Acesso em 24 jul. 2022.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos, 97 p. 2002. 9 p. 12 p. il. color.

GOLDSMITH, V. Coastal dunes. **Coastal sedimentary environments**. In: Davis, R. A. (Editor). Springer - Verlag, New York, n. 2, p.171-235, 1978.

GOMES, J.M.; VELHO, L. **Computação Visual: Imagens**. Rio de Janeiro, SBM, 1995.

HUGENHOLTZ, C. H.; LEVIN, N.; BARCHYN, T. E.; BADDOCK, M. C. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook. **Earth-Science Reviews**, v. 111, n. 3-4, p. 319-334, 2012. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001282521100170X>. Acesso em: 29 set. 2022.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**, 2023. BDMEP - Série Histórica - Dados Mensais, 1985-2020. Disponível: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos>. Acesso: 17 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 91 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Panorama das Cidades**. Rio de Janeiro, 2023a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/luiscorreia/panorama> Acesso em: 07 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Atlas Escolar – Unidades de Relevô**. Rio de Janeiro, 2023b. Disponível em: https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_unidades_de_relevo.pdf Acesso em: 07 jul. 2023.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing**. A Remote Sensing Perspective. 4. ed. Pearson Prentice Hall. 2015. 656 p.

LUKE, M. C. T.; THOMAS A. S. Physical damage to coastal dunes and ecological impacts caused by vehicle tracks associated with beach camping on sandy shores: a case study from Fraser Island, Australia. **Journal Coast Conservation**, v. 12, p. 67–82, Austrália, 2008.

MACHADO J. S. *et al.* Análise da dinâmica dunar da praia de Lagoinha - CE por meio de dados topográficos e aerofotogramétricos. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, **Anais**. INPE, p. 2355, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0167.pdf>. Acesso em: 26 maio 2015.

MAPBIOMAS – **MAPEAMENTO ANUAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BRASIL**, 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: jun. 2022

MAPBIOMAS - **MapBiomas General “Handbook.” Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. Collection 7, Version 1.0, 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download-dos-atbds> Acesso em: 05 mar. 2023.

MEIRELES, A. J. de A. Geodinâmica dos Campos de Dunas Móveis de Jericoacoara/CE-BR. **Mercator**, Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, v. 10, n. 22, p 169-190, 2011. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/663> Acesso em: 08 set. 2022.

MENDES JÚNIOR, Julimar Quaresma. **Os ocupantes da Lagoa do Portinho, Piauí, Brasil: os artefatos em ambiente dunar**. 2012. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Centro de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

MENESES, P. *et al.* **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília. UNB. 2012. 276 p.

MESQUITA, T. K. S.; LIMA, I. M. M F. L.; FILHO, F. S. Santos. Lagoa fluvial do rio portinho, Piauí: impactos socioambientais recentes. In: **V Congresso Brasileiro de educação Ambiental Aplicada e Gestão Territorial**. Fortaleza, 2016.

MESQUITA, T. K. S.; LIMA, I. M. M. F.; SANTOS FILHO, F. S.; Where is the lake that was here? A case study on the portinho lake in Piauí, Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, p. 346-356, 2018.

MORAES, Elisabete Caria de. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Cap. 1. São José dos Campos: INPE, 2002.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 422 p.

MOURA, D. Dunas do passado – Dunas do presente. **V Encontro de Professores de Geociências do Alentejo e Algarve**, 2011. Disponível em: http://www.associacaodpga.org/v_al_albufeira_files/aula%20de%20campo.pdf. Acesso em: jan. de 2018

MOURA, Mara Águida Porfírio *et al.* Os impactos econômicos e ambientais da Lagoa do Portinho. In: **31º Encontro Nacional de Cursos de Graduação em Administração** - São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.doity.com.br/anais/31enangrad/trabalho/162849>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

MOURÃO, L; MENDES, T.; ARAGÃO, L. **Lagoa do Portinho transborda e invade área de complexo turístico após chuvas no litoral do Piauí**. G1 Piauí, Teresina, Piauí, Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2022/05/09/lagoa-do-portinho-transborda-e-invade-area-de-complexo-turistico-apos-chuvas-no-litoral-do-piaui.ghtml> Acesso em: 18 jun. 2022

NASCIMENTO, Geísa Silveira do. **As dunas do litoral leste de Aquiraz/CE: evolução, dinâmica e gestão ambiental**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/7871>. Acesso 24 jul. 2022

NEVES, A.K. *et al.* TerraClass x MapBiomas: Comparative assessment of legend and mapping agreement analysis. **Acta Amazônia**, v. 50, n. 2, p. 170-182, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/FsCzXK8TVrCLpjdvbm9jq5P/?lang=en>. Acesso em: jun. 2022

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: E. Blucher, 1989. 308p. **Biblioteca(s)**: Embrapa Cerrados.

OLIVEIRA, A.C.A.; BARRETO, E.A.T.; MELO & SOUZA, R. Análise da vulnerabilidade biofísica em ambientes dunares costeiros de Sergipe. In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 6., 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia AGB Nacional. Disponível em http://www.cibergeo.org/agbnacional/vicbg-2004/eixo2/e2_093.htm. Acesso em: 06 out. 2022.

OLIVEIRA, M. **Lagoa do Portinho: um paraíso no Piauí**. Portal Trilhas e Aventuras. Disponível em: <https://www.trilhaseaventuras.com.br/lagoa-portinho-um-paraíso-piaui/> Acesso em: 19 dez. 2022

PEDROSA, Adriana Albuquerque. **A geodinâmica e morfogênese das dunas eólicas com base nas suas taxas de migração no município de Canoa Quebrada, Aracati, Ceará, Brasil**. 2016. 110 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2016.

PEREIRA FILHO, Waterloo. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí, PA**. 2000. 138 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PFALTZGRAFF, Pedro; TORRES, Fernanda; BRANDÃO, Ricardo (org.). **Geodiversidade do Estado do Piauí**. Recife. CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 2010. 176 p.

PIAUI (Estado). **Decreto nº 18.346, de 08 de julho de 2019**. Dispõe sobre a criação da Área de Relevante Interesse Ecológico da Lagoa do Portinho, nos municípios de Parnaíba e Luís Correia, e dá outras providências. Teresina, PI: Governo do Piauí, 2019. Disponível em:

https://documentacao.socioambiental.org/ato_normativo/UC/4036_20190715_152010.pdf. Acesso em: 15 abr. 2023.

PIAUI HOJE. **Semar avalia situação da Lagoa do Portinho**, Piauí, 2016. Disponível em: <https://piauihoje.com/noticias/municipios/semar-avalia-situacao-da-lagoa-do-portinho-24591.html>. Acesso em: 21 abr. 2023.

PINHEIRO, M. V. de A.; MOURA-FÉ, M. M.; FREITAS, E. M. de N. OS ECOSISTEMAS DUNARES E A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA. **Geo Uerj**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 24, p.1-26, jul. 2013. Semestral. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/5546/9046> Acesso em: 28 abr. 2023.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**, 2021a. Acessado em jun. 2022 através do link: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>.

PROJETO MAPBIOMAS – **Manguezais, praias, dunas & areais, aquicultura e apicuns nos últimos 36 anos**, 2021b. Acessado em maio 2023 através do link: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomass_Zona_Costeira_Outubro_2021_30102021_OK.pdf.

PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento da superfície de água no Brasil – Coleção 1**, 2021c. Acessado em 23 fev. 2023 através do link: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/agua>.

PORTAL G1. **Trecho da BR-402 interditado após Lagoa do Portinho transbordar ainda corre risco de romper, diz Semar**, Teresina – PI, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2022/06/02/trecho-da-br-402-interditado-apos-lagoa-do-portinho-transbordar-ainda-corre-risco-de-romper-diz-semar.ghtml> Acesso em: 21 abr. 2023.

PORTAL G1. **Lagoa do Portinho transborda e invade área de complexo turístico após chuvas no litoral do Piauí**, Teresina – PI, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2022/05/09/lagoa-do-portinho-transborda-e-invade-area-de-complexo-turistico-apos-chuvas-no-litoral-do-piaui.ghtml> Acesso em: 21 abr. 2023.

PORTAL UNIVERSO ONLINE – UOL. **Lagoa de 5 milhões de metros cúbicos seca no litoral do Piauí**, Maceió - AL, 2015. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2015/05/05/lagoa-de-5-milhoes-de-metros-cubicos-seca-no-litoral-do-piaui.htm?mobile>. Acesso em: 28 maio 2015

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento**: tecnologia transdisciplinar. 2. ed. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2002. 220 p.

ROCHA, J. V. V.; VIEIRA, V. de C. B.; SILVA, A. J. da. Spatio-temporal analysis of the expansion of soybean cultivation in Uruçuí - Piauí. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 6, p. e37411629174, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29174. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29174>. Acesso em: 18 jun. 2022.

ROSA, M.R. Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da Mata Atlântica. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 95, p.25-34, 2016. Disponível em: <https://mapbiomas.org/artigos-mapbiomas-1> Acesso em: jun. 2022

SANTOS, J. S. dos. **Avaliação espaço-temporal dos manguezais no entorno do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (Brasil)**. 2022. 41 f. Dissertação (Programa de Pós-

graduação em Geografia (PPGGEO)) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/tede/4062>. Acesso em: 11 maio 2023.

SARTOR, Sérgio Celestino de Bona. **Avaliação temporal de variáveis limnológicas do reservatório Rodolfo costa e silva – RS, e o uso da terra na área de captação**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, 2008

SEMAR. **SEMAR esclarece sobre atual situação da Lagoa do Portinho**, Teresina – PI, 2015. Disponível em: <http://www.semar.pi.gov.br/noticia.php?id=2703&pes=lagoa>. Acesso em: 17 abr. 2023.

SEMAR. **Lagoa do Portinho entra na rota de desenvolvimento do Piauí**, Teresina - PI, 2019. Disponível em: http://www.semar.pi.gov.br/wagtail/home_page/noticias/lagoa-do-portinho-entra-na-rota-do-desenvolvimento-do-piaui-cartao-pos-66/. Acesso em: 15 abr. 2023.

SEMAR. **Semar identifica abertura de sangradouro irregular na Lagoa do Portinho**, Teresina - PI, 2020. Disponível em: <https://www.pi.gov.br/noticias/semar-identifica-abertura-de-sangradouro-irregular-na-lagoa-do-portinho/>. Acesso em: 21 abr. 2023.

SÍGOLO, J. B. Processos eólicos e produtos sedimentares. In: TEIXEIRA, Wilson et al (org.). **Decifrando a Terra**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, P. 334-347, 2009. 342 p., il. color.

SILVA, J. X. da. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: s.n., 2001. 228 p.

SILVA, A. S.; DOURADO, F. Análise Histórica da Migração das Dunas do Perú, Cabo Frio (RJ). **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, Ano 14, n. 23, v. 2, p. 437-458, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270622049_ANALISE_HISTORICA_DA_MIGRACAO_DAS_DUNAS_DO_PERO_CABO_FRIO_RJ. Acesso em: 08 set. 2022.

SILVA, F. E.; AMARO, V. E.; MATOS, M. F. A. Análise Multitemporal do Campos de Dunas Móveis do Litoral setentrional do Rio Grande do Norte. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa - PB, **Anais**. INPE, p. 6966, 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1526.pdf>. Acesso em: 28 maio 2023.

SILVA, Ildenila Cunha. **Impactos ambientais na bacia hidrográfica do rio Portinho, norte do Piauí**. Orientador: Érico Rodrigues Gomes. 2019. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2019. Disponível em: <http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/114>. Acesso em: 15 abr. 2023.

SOUSA, R. S.; VALLADARES, G. S.; ESPÍNDOLA, G. M. DE. ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (NDVI) E VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DO PIAUÍ. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, Sobral, v. 18, n. 2, p. 82-99, 2016a. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633532>. Acesso em 25 jul. 2022

SOUSA, R. dos S. Avaliação da cobertura vegetal e uso da terra da bacia hidrográfica costeira do rio Portinho, Piauí. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 2, p. 1141–1150, 2016b. DOI: 10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10577. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10577>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SOUZA *et al.* Restinga. Conceitos e Emprego do Termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental. **Instituto Geológico**. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Governo de São Paulo, 2008. 104 p.

SOUZA *et al.* - Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735/html>. Acesso em: 22 mar. 2023.

TOMAZELLI *et al.* Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 35, n. 2, p. 47-55, UFRGS, Porto Alegre - RS, 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/17936/pdf> Acesso em: 08 set. 2022

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS/São Paulo: EDUSP: ABRH, 1993. v. 4. 944 p.

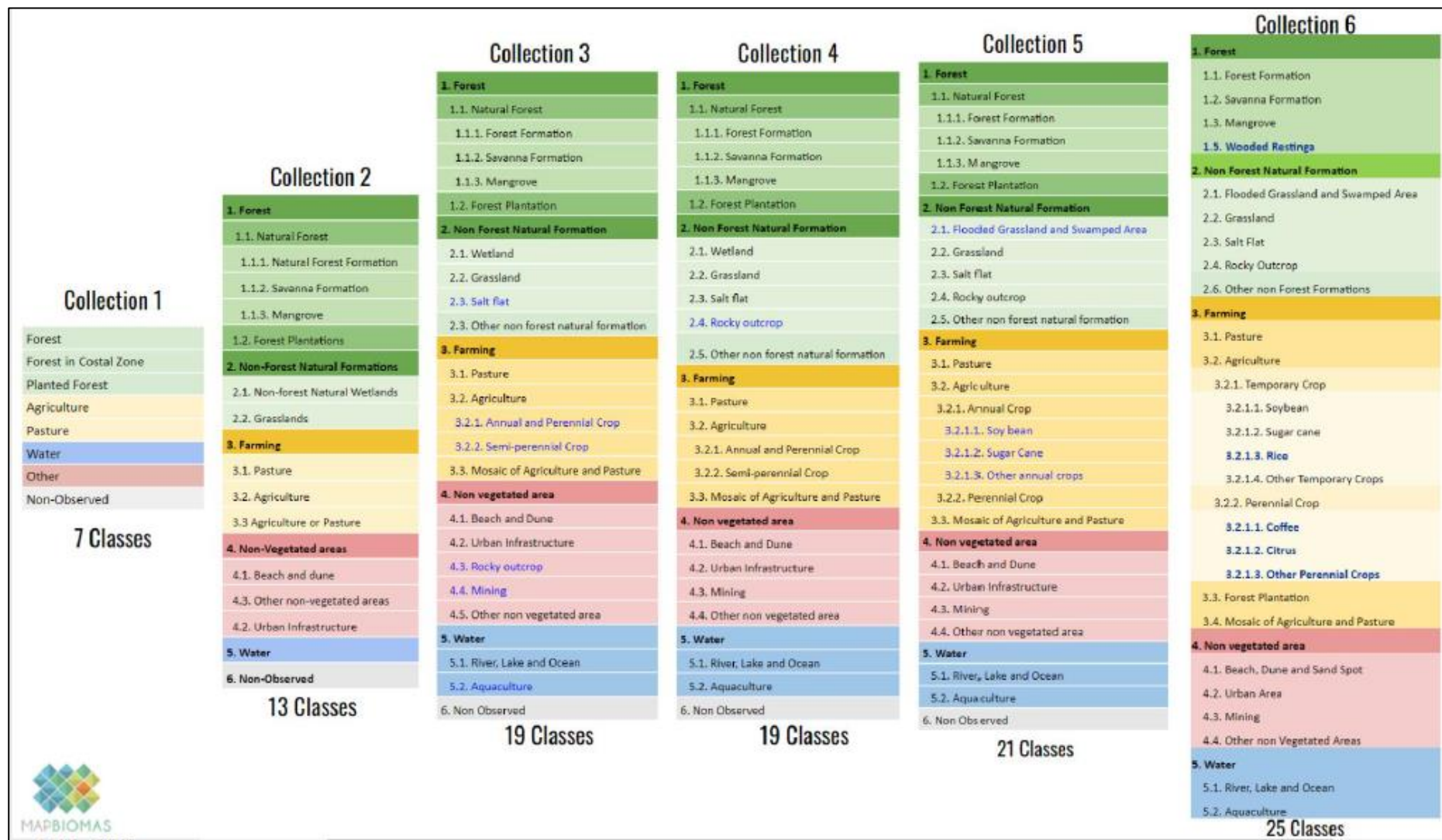
UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Types of Dunes**. USGS Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/gip/deserts/dunes/>. Última modificação: 29 out. 1997. Acesso em: 28 maio 2015.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP. **A Influência da Atmosfera na Superfície Terrestre**. Geologia Geral (Sistema Terra). USP. São Paulo, SP. 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5648689/mod_resource/content/1/AtmosferaDeserto.s.pdf. Acesso em: 09 ago. 2022

VIEIRA, Eurípedes Falcão. Dinâmica dos ambientes naturais. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul**, v. Artigo, p. 01, 2010. Disponível em: <https://www.ihgrgs.org.br/artigos/membros/Euripedes%20Falc%C3%A3o%20Vieira%20-%20Din%C3%A2mica%20dos%20Ambientes%20Naturais.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2018

VON SPERLING, E. **Morfologia de Lagos e Represas**. Belo Horizonte. DESA/UFMG, 1999. 137 p.

ANEXO – A CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA DAS COLEÇÕES 1 A 6 DO MAPBIOMAS.



Fonte: MapBiomas (2021a).