



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIENCIAS FISICAS E MATEMATICAS
COORDENADORIA ESPECIAL DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

THAI MAGALHÃES COELHO DE SOUZA

MÉTODOS DE ESTUDO DA TOPOGRAFIA PRAIAL

Florianópolis

2023

THAI MAGALHÃES COELHO DE SOUZA

MÉTODOS DE ESTUDO DA TOPOGRAFIA PRAIAL

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Graduação em Oceanografia Centro de Ciências Físicas e Matemáticas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Pedro de Souza Pereira

Florianópolis

2023

RESUMO

A zona costeira, principalmente as praias arenosas, atraem os seres humanos devido ao bem-estar associado, uma estética que agrada, assim como um alto valor econômico e social além dos diversos serviços ecossistêmicos que fornecem. Desta forma, o monitoramento e avaliação das variações no ambiente praias unidos às taxas de erosão e acreção, são necessidades básicas para um bom planejamento espacial, desenvolvimento sustentável, implementação de obras costeiras e mitigação dos impactos das mudanças climáticas ao longo da costa. A partir disto, o seguinte trabalho teve como objetivo compreender e identificar de maneira cronológica os principais métodos de estudo da topografia praias citados na literatura. Os estudos foram coletados e analisados a partir das bases científicas disponibilizadas pela UFSC, selecionando os estudos e autores mais citados referentes às diferentes técnicas de obtenção de dados topográficos em ambientes praias. Foram descritos técnicas e equipamentos utilizados em cada método abordado, suas vantagens e desvantagens e suas aplicações em diferentes contextos oceanográficos e ambientais, através da revisão bibliográfica narrativa. A partir deste estudo pode-se propor diretrizes para o uso dos métodos mais adequados considerando as demandas específicas de cada estudo ou projeto. Com isso, a escolha do método de estudo da topografia praias deve ser cuidadosamente ponderada, levando em consideração o contexto específico da aplicação, as restrições orçamentárias e a precisão exigida para os resultados. Através deste estudo ficou evidente a importância contínua da formação e atualização dos profissionais que trabalham nesta área, para garantir que possam utilizar eficazmente as tecnologias mais modernas e ao mesmo tempo considerar soluções mais acessíveis e tradicionais quando apropriado. Por fim, esta revisão proporcionou uma compreensão geral do panorama dos métodos de estudo da topografia praias, destacando a necessidade de uma abordagem equilibrada entre a tradição e a inovação, garantindo assim uma gestão sustentável e eficaz das zonas costeiras em face das mudanças climáticas e das demandas crescentes da sociedade.

Palavras-chave: topografia praias; monitoramento; métodos.

ABSTRACT

The coastal zone, especially sandy beaches, attracts humans due to associated well-being, pleasing aesthetics, as well as high economic and social value, in addition to the various ecosystem services they provide. Therefore, reliable monitoring and assessment of variations in the beach environment, combined with erosion and accretion rates, are basic needs for effective spatial planning, sustainable development, coastal infrastructure implementation, and mitigation of climate change impacts along the coast. From this perspective, the following work aimed to chronologically understand and identify the main direct methods for studying beach topography mentioned in the literature. The studies were collected and analyzed from the scientific databases provided by UFSC, selecting the most cited studies and authors related to different techniques for obtaining topographic data in beach environments. Techniques and equipment used in each method were described, along with their advantages and disadvantages, and their applications in different oceanographic and environmental contexts, through a narrative literature review. Based on this study, guidelines can be proposed for selecting and using the most appropriate methods considering the specific demands of each study or project. Therefore, the choice of beach topography study method should be carefully weighed, taking into account the specific context of the application, budget constraints, and the required level of precision for the results. This study underscored the ongoing importance of training and updating professionals working in this area to ensure they can effectively utilize the most modern technologies while also considering more accessible and traditional solutions when appropriate. Finally, this review provided a comprehensive understanding of the landscape of beach topography study methods, highlighting the need for a balanced approach between tradition and innovation, thereby ensuring a sustainable and effective management of coastal areas in the face of climate change and growing societal demands.

Keywords: beach topography; monitoring; methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zonação hidrodinâmica no ambiente praial	23
Figura 2 - Sazonalidade dos perfis praias	26
Figura 3 - Terminologia associada ao perfil praial	29
Figura 4 - Mesa plana.....	37
Figura 5 - Ilustração do método de Emery	39
Figura 6 - Corte esquemático da localização relativa do RN temporário e posicionamento dos instrumentos	40
Figura 7 - Esquema do equipamento de nivelamento com mangueira	42
Figura 8 - O teodolito	44
Figura 9 - Estação Total	47
Figura 10 - Configuração do equipamento GPS para o levantamento cinemático .	53
Figura 11 - GPS-RTK acoplado a um quadriciclo	56
Figura 12 - Antena base e coletora de dados	57
Figura 13 - Levantamento topográfico por caminhamento	59
Figura 14 - Base CoastSnap	66
Figura 15 - Evolução da resolução das imagens de satélite	67
Figura 16 - Sistema UAV	68
Figura 17 - Laser Scanner Terrestre e exemplo de resultado gerado no monitoramento de processos erosivos	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SBG	Sistema Geodésico Brasileiro
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico
GPS	Global Positioning System
SAD 69	South American Datum
SIG	Sistema de Informação Geográfica
GNSS	Global Navigation Satellite System
VHS	Video Home System
VANT	Veículo Aéreo não tripulado
RPA	Remotely piloted aircraft
DEM	Digital Elevation Model
DSM	Digital Surface Model
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NMM	Nível Médio do Mar
DGPS	Differential global positioning system
RN	Referência de nível
MED	Measurement electronic device
MHZ	Megahertz
HZ	Hertz
NNSS	National Navigation Satellites System
GIS	Geographic information system
NGS	National Geodetic System
RTK	Real Time Kinematic

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. METODOLOGIA	10
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
4.1 O AMBIENTE PRAIAL E SEU MONITORAMENTO	12
4.2 CONCEITOS BÁSICOS EM LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS	14
4.3 BREVE HISTÓRICO DA TOPOGRAFIA.....	18
4.4 RELEVÂNCIA DO MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO DE PRAIAS	19
4.5 DINÂMICA DO AMBIENTE PRAIAL	21
4.5.1. PROCESSOS E INTERAÇÕES	27
4.5.2 PERFIL PRAIAL	29
5. MÉTODOS DIRETOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	34
5.1 MÉTODOS TRADICIONAIS DE LEVANTAMENTO	34
5.1.1 MESA PLANA	35
5.1.2 MÉTODO DE EMERY	38
5.1.3 NIVELAMENTO COM MANGUEIRA	41
5.1.4 TEODOLITO	44
5.2 SURGIMENTO DOS EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS	46
5.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)	49
5.3.1 INÍCIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES	49
5.3.2 GPS DIFERENCIAL (DGPS)	53
5.3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG'S)	60
5.4 SENSORIAMENTO REMOTO E ESTADO ATUAL DA ARTE	62
6. CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	73

1. INTRODUÇÃO

É impossível determinar quando a topografia foi utilizada pela primeira vez, mas seus princípios básicos certamente são tão antigos quanto a história da civilização. Heródoto disse que esta foi muito usada no Egito por volta de 1400 a.C na divisão das parcelas de terra, ou mesmo anterior a isto, na elaboração e construção das pirâmides (BANNISTER; RAYMOND & BAKER,1992). De acordo com McCormac (2014), ela é a ciência que trata da determinação e descrição das dimensões e contornos ou (características tridimensionais) da superfície da Terra, através da medição de distâncias, direções, posições e altitudes. Por sua vez, a topografia praial é uma área que estuda a geomorfologia e sua relação com a dinâmica costeira incluindo suas formas, dimensões, tipos de sedimentos, processos de erosão e deposição entre outros aspectos. O seu conhecimento é essencial para o manejo e gestão de áreas naturais e de lazer, o desenvolvimento urbano e econômico, a construção de infraestruturas, prevenção de desastres naturais, entre outras utilidades (MASON; GURNEY & KENNETT, 2000). A dinâmica das regiões costeiras é influenciada por diversos fatores como a ação das ondas, marés, ventos e os processos sedimentares que nela ocorrem (WRIGHT & SHORT, 1984). Sendo assim a análise e o monitoramento destas áreas exigem a utilização de métodos e equipamentos adequados e eficazes conforme orçamentos disponíveis e condições ambientais, bem como os objetivos a serem alcançados.

Nas últimas décadas vários métodos têm sido desenvolvidos e aprimorados para obter informações precisas sobre a geomorfologia das praias. Esses métodos são classificados em duas categorias principais: métodos diretos e métodos indiretos. Esta revisão bibliográfica narrativa irá concentrar-se nos métodos diretos de estudo da topografia praial, os quais se caracterizam pela coleta de dados topográficos por meio de medições em campo (BANNISTER; RAYMOND & BAKER,1992). Tal abordagem envolve medir fisicamente a elevação em pontos específicos do terreno usando diferentes tipos de instrumentos e técnicas, possibilitando obter medidas diretas das características morfológicas das praias, como as cotas altimétricas, perfis transversais, feições praias e variações morfológicas ao longo do tempo proporcionando alta precisão, mas exigindo tempo e esforço significativos (MICUNOVIC; FAIVRE & GASPAROVIC, 2021). Em contraste, os métodos indiretos oferecem maior eficiência no monitoramento de grandes áreas,

mas muitas vezes sacrificando a precisão. Também requerem menos esforço em campo, pois os valores de elevação são estimados ou derivados de dados existentes. Cada método possui suas vantagens e desvantagens, fazendo com que a escolha entre eles dependa de fatores como objetivos do projeto, escala, recursos e precisão desejada.

De acordo com Mason, Gurney & Kennett (2000) a utilização e análise de dados de topografia praial é essencial para o uso, gestão e exploração econômica sustentável das regiões litorâneas, assim como na previsão de inundação costeira relacionada à eventos extremos ou mudanças climáticas. Em seu estudo "*Beach Topography Mapping: A comparison of Techniques*", eles exaltam a importância da análise comparativa entre os diferentes métodos em termos de precisão, custo e aplicabilidade conforme condições ambientais e escala espacial do levantamento. Além disso, o monitoramento de praias em intervalos de tempo adequados tem como objetivo a elaboração da caracterização geomorfodinâmica e a análise da evolução da linha de costa. Neste processo verifica-se em todos os trechos litorâneos as tendências morfológicas e volumétricas de erosão, progradação ou estabilidade. (OLIVEIRA FILHO & FERNANDEZ, 2017).

Historicamente a zona costeira atrai os seres humanos devido ao bem-estar oferecido, uma estética que agrada, assim como um alto valor econômico e social além dos diversos serviços ecossistêmicos que fornecem (CONSTANZA *et al.*, 2006). Como resultado as regiões litorâneas em todo o mundo tornaram-se densamente povoadas e desenvolvidas, sendo que 15 das 20 megalópoles no planeta (população >10 milhões) são localizadas na zona costeira (LUIJENDIJK *et al.*, 2018). Seguindo estas tendências, cientistas, engenheiros e gestores costeiros há muito procuram quantificar as praias e sua morfologia, a fim de compreender os processos que influenciam uma ampla gama de questões científicas e socioeconômicas. Portanto como apontam Luijendijk *et al.* (2018), o monitoramento e avaliação confiáveis das variações da linha de costa unidas às taxas de erosão e acreção são necessidades básicas para um bom planejamento espacial, desenvolvimento sustentável, implementação de obras de engenharia e mitigação dos impactos das mudanças climáticas ao longo das costas ao redor do mundo.

Davis (1997) explica que em praias arenosas os processos de deposição e erosão são controlados por um equilíbrio dinâmico que envolve três componentes principais: quantidade e tipo de sedimento disponível, energia física ao longo da costa e mudanças do nível do mar. Além disso, Klein & Short (2016) apontam que a urbanização descontrolada e mal planejada pode resultar na aceleração ou alteração destes processos. Estudos sobre o recuo da linha de costa desempenham um papel crucial no gerenciamento costeiro, fornecendo ferramentas essenciais para compreender a dinâmica destas áreas (SAAD *et al.*, 2022). Essas pesquisas ajudam a determinar as medidas apropriadas a serem adotadas, levando em consideração as características específicas de cada local e os impactos que ele enfrenta. Tais medidas não se limitam apenas à definição de zonas de recuo e áreas em risco de erosão costeira, mas também se estendem ao apoio à implementação de infraestruturas costeiras e de proteção, como quebra-mares, molhes, portos, além do mapeamento de perigos e riscos na linha de costa. (MELLETT *et al.*, 2020).

A precisão e a confiabilidade dos dados topográficos obtidos são cruciais para a implementação de estratégias de manejo costeiro sustentável e para a previsão de riscos associados a eventos climáticos extremos, como tempestades e erosão costeira (DORNBUSH, 2010). Neste contexto, a descrição narrativa dos métodos diretos de estudo da topografia praias mais citados na literatura torna-se uma ferramenta útil para determinar quais abordagens são mais adequadas para cada ambiente e situação específica. Ao revisar a literatura existente sobre os métodos diretos de estudo será possível avaliar e discutir a eficácia destes em diferentes aspectos e ambientes e determinar quais são mais adequados para diferentes tipos de estudos, assim como identificar desafios e limitações de cada um. O presente estudo fornecerá uma base para futuras pesquisas contribuindo para o avanço do conhecimento nessa área, podendo servir para cientistas, professores, gestores e demais profissionais da área a escolherem a melhor abordagem para seus projetos, e conseqüentemente melhorar a qualidade do monitoramento costeiro.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Compreender e identificar os principais métodos diretos de estudo da topografia praial citados na literatura, listando técnicas e equipamentos utilizados, suas vantagens e desvantagens e suas aplicações em diferentes contextos oceanográficos e ambientais, através da revisão bibliográfica narrativa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar revisão bibliográfica narrativa sobre os principais métodos diretos de estudo da topografia praial, abordando diversas bases teóricas, princípios de funcionamento e aplicações em diferentes contextos ambientais.
- Coletar e analisar dados das bases científicas utilizadas, selecionando os estudos e autores mais citados referentes às diferentes técnicas de obtenção de dados topográficos em ambientes praias.
- Avaliar a aplicabilidade e a adequação dos métodos de estudo em função das características específicas de cada ambiente costeiro e processos morfodinâmicos dominantes.
- Propor diretrizes para o uso dos métodos mais adequados em diferentes condições ambientais, considerando as demandas específicas de cada estudo ou projeto de gerenciamento costeiro.

3. METODOLOGIA

Segundo Martins (2001) uma revisão bibliográfica procura explicar e discutir um tema com base em referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos e outros, buscando conhecer, analisar e discutir conteúdos científicos sobre determinada área do conhecimento. Desta forma, a metodologia adotada nesta pesquisa baseou-se na análise de diversos tipos de estudos, considerando uma ampla gama de características relacionadas ao tema.

Fizeram parte da revisão bases de dados científicos disponibilizadas pela Universidade Federal de Santa Catarina, incluindo o portal de periódicos UFSC, SCIELO, Spell, Springer, Google Acadêmico e a Biblioteca Universitária, além de estudos publicados em revistas, livros, entre outros. Também foram analisados documentos de órgãos públicos e governamentais como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia) NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), SBG (Sistema Geodésico Brasileiro), pois esta área do conhecimento envolve a política e gestão governamental das regiões costeiras.

Foram estabelecidos critérios específicos para a inclusão dos estudos na revisão bibliográfica. Esses critérios envolveram o período de publicação, o qual variou significativamente, pois a pesquisa foi realizada levando em conta a evolução cronológica dos métodos de estudo da topografia praial, desde os primeiros que possuem algum tipo de registro oficial, até os mais modernos. Os idiomas das publicações analisadas foram em português e inglês. Esta etapa visou garantir a qualidade e a consistência dos estudos selecionados. Em seguida foram identificadas e selecionadas as bases de dados científicos renomadas que oferecem acesso a artigos relacionados à topografia praial. Utilizando os recursos fornecidos pelas bases de dados das publicações selecionadas foram realizadas pesquisas abrangentes utilizando palavras-chave como: topografia praial, métodos de topografia praial, perfil praial e combinações de termos relacionados à topografia praial.

As pesquisas foram refinadas à medida que os estudos relevantes foram identificados. Após a etapa de pesquisa, os estudos eram selecionados de acordo com os critérios estabelecidos e quais métodos seriam abordados. Foi realizada uma análise crítica dos estudos selecionados levando em consideração sua metodologia, objetivos, resultados e conclusões. Também avaliou-se a qualidade dos estudos com base na reputação dos autores, das revistas científicas e nas citações recebidas. Por fim, os resultados obtidos foram analisados e sintetizados de forma a identificar cronologicamente os principais métodos de estudo da topografia praial, bem como as características estudadas em cada abordagem. Por fim, foram destacados os métodos mais utilizados e citados na literatura, sua aplicabilidade em diferentes contextos socioambientais, seus níveis de precisão e custo.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 O AMBIENTE PRAIAL E SEU MONITORAMENTO

De acordo com Bird (1988), uma praia é um acúmulo de sedimentos geralmente soltos e não consolidados ao longo dos litorais variando no tamanho e tipo de sedimento, muitas vezes com material biogênico proveniente de conchas e corais. Já para Komar (1998), estas são definidas como uma acumulação de sedimentos inconsolidados (areia, cascalho, argila e silte) se estendendo da linha d'água na maré mais baixa, até alguma mudança morfológica significativa no perfil, como um declive acentuado ou campo de duna. Segundo ele, elas são resultado da interação entre o sedimento e os processos físicos atuantes nas regiões costeiras.

As praias arenosas margeiam cerca de 40 por cento das costas do mundo (BIRD, 1988), algumas são longas e retilíneas ou levemente curvadas, outras são mais curtas e incluem pequenas praias de curvas acentuadas em baías ou enseadas entre promontórios rochosos. Muitas estão expostas ao oceano aberto ou mares tempestuosos, enquanto outras estão abrigadas em baías ou atrás de ilhas ou recifes.

Os sistemas praiais são dominados pelas interações entre as forçantes (ondas, correntes, marés e ventos) que atuam sobre eles. Cada uma destas possui consideráveis variações temporais e espaciais, resultando em diversos tipos de praias (WRIGHT & SHORT, 1984; CALLIARI & KLEIN, 1993). No nível individual de uma praia, onde o tamanho do sedimento pode ser assumido como constante, mudanças temporais do tamanho de onda, período de pico e no ciclo das marés induzem a respostas no sistema praias. Já a nível regional, tanto alterações no tamanho, composição e disponibilidade de sedimento quanto na altura de quebra de onda levam a maiores mudanças espaciais e temporais, enquanto à nível global, uma vasta combinação de variáveis e respostas da praia ocorrem (SHORT, 1996).

As praias arenosas sempre possuíram uma grande relevância socioeconômica, principalmente como área de lazer, além de prover diversos serviços ecossistêmicos, como o de habitat para inúmeras espécies e a proteção costeira para empreendimentos e residências situados no litoral. Além disto, Luijendik *et al.* (2018) relatam que aproximadamente 15% das praias arenosas ao

redor do mundo vem recuando 1 metro ou mais por ano nas últimas décadas. Eles também evidenciam que mais de 10% da população mundial vive até a cota topográfica de 10 metros acima do nível do mar atual, sendo esperado que este número cresça para mais de 1 bilhão de pessoas até 2050, acelerando assim o desenvolvimento costeiro e as demandas por praias estáveis com espaços recreacionais de frente para o mar. Enquanto isso, estima-se que o aumento no nível do mar venha a reduzir a largura das praias em diversas áreas desenvolvidas. Juntas, estas tendências criam demandas socioeconômicas e ambientais para medidas de mitigação voltadas a proteger, recuperar e adaptar as infraestruturas costeiras, o habitat e a recreação que estas fornecem. Desta forma, como apontam Cooper, Leggett & Lowe (2000) um conjunto de dados de monitoramento costeiro que se estende por um período adequado permite aos gestores e pesquisadores entenderem melhor taxas históricas e contemporâneas de mudanças na costa, podendo prever de maneira mais confiável, a evolução costeira. Tal fato ajuda a garantir que as políticas e estratégias de gestão sejam implementadas de maneira sustentável a longo prazo.

O levantamento de perfis praias forma um componente do conjunto geral de técnicas disponíveis para os gestores e pesquisadores a fim de monitorar o ambiente costeiro. Em via de regra, os perfis são realizados em localidades geográficas adequadas onde podem ser repetidos em intervalos de tempo apropriados e desejáveis, fornecendo excelentes evidências da magnitude e frequência das variações que são experimentadas em determinadas regiões costeiras, independentemente do tipo de sedimento (COOPER; LEGGETT; LOWE & 2000). O nível altimétrico da praia, sua morfologia e as alterações de volume podem ser avaliadas comparando monitoramentos feitos ao longo do mesmo alinhamento do perfil em diferentes ocasiões. Muitas vezes, ao realizar tais avaliações, a magnitude das variações sazonais ou de curto prazo relacionadas a tempestades no perfil praias podem ser identificadas, juntamente com processos erosivos de longo prazo ou tendências acrecionais.

Variações espaciais em perfis de praia também podem ser avaliadas comparando dados que foram coletados na mesma data em diferentes pontos ao longo da costa (FERREIRA; SOARES & ANDRADE, 2012). Essas informações são úteis para entender a dinâmica costeira e a resposta da praia a diferentes condições

ambientais, como tempestades, ondas e mudanças no nível do mar. O levantamento de perfis transversais à praia também é utilizado para monitorar a efetividade de projetos de restauração de praia e obras neste ambiente, assim como para planejar medidas de gerenciamento costeiro (MASON; GURNEY & KENNETT, 2000).

No monitoramento contínuo de perfis praias podemos não só observar os padrões sazonais de alterações morfodinâmicas no litoral, mas também identificar eventos que ocorrem em escalas muito maiores, como no caso de tempestades excepcionais, subida do nível médio do mar e alterações antrópicas no ambiente numa escala de uma ou mais décadas (OLIVEIRA FILHO & FERNANDEZ, 2017).

A utilização de perfis praias segundo Cooper, Legget & Lowe (2000) é uma técnica de monitoramento estabelecida há muitas décadas. Historicamente as pesquisas têm sido realizadas usando os métodos convencionais de levantamento de triangulação, travessia, tabulação plana ou levantamentos em cadeia, embora nas últimas décadas os levantamentos sejam realizados quase exclusivamente com equipamentos eletrônicos, como 'estação total' ou um 'sistema de posicionamento global' (GPS) cinemático. Todavia, todas estas técnicas disponíveis fornecem as mesmas informações essenciais para a topografia praial, embora com níveis variados de precisão e custo.

4.2 CONCEITOS BÁSICOS EM LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS

Para Daibert (2018) a topografia tem como objetivo caracterizar uma porção terrestre, representando e identificando suas formas, posições e suas dimensões, sendo a etimologia da palavra derivada do grego, onde *topos* significa lugar e *grafia* se refere a escrita, ou seja, a palavra topografia significa a descrição de um lugar. Um conceito básico dentro dos levantamentos topográficos refere-se a geodésica. Esta tem relação com o tamanho ou escala que as medições serão feitas, pois em levantamentos de grandes áreas (dezenas de km²) a esfericidade da terra deve ser levada em consideração. Em levantamentos em pequenas porções de terra que possuem o foco em determinar elevações, contornos, localização e dimensões eles podem ser realizados levando em conta apenas o plano horizontal (BANNISTER; RAYMOND & BAKER, 1992). Em projetos de mapeamento de grandes áreas, ajustes são realizados para a curvatura da Terra e para o fato de que as linhas norte-sul que

passam por pontos diferentes sobre a superfície da terra convergem nos Polos Norte e Sul. Assim, essas linhas não são paralelas umas às outras exceto no Equador. Os levantamentos topográficos planos, entretanto, são realizados em áreas tão pequenas que os efeitos destes fatores podem ser negligenciados. A superfície terrestre neste caso é considerada plana e as linhas norte e sul, paralelas (MCCORMAC, 2014).

Levantamentos geodésicos como apontam Bannister, Raymond & Baker (1992), fazem parte de um ramo que se destaca tanto pelo seu uso quanto pelas técnicas. De forma simplificada a estruturação de medidas de ângulos e distâncias entre pontos são necessárias para manter um controle de qualidade dos levantamentos e quando se trata de grandes áreas, como no caso de demarcação de fronteiras entre países, essas medições devem ser altamente precisas e padronizadas. Atualmente sistemas globais de posicionamento utilizam a transmissão de satélites para obter as 3 dimensões coordenadas referentes a qualquer ponto na superfície da Terra, em altos níveis de precisão.

A maioria dos levantamentos geodésicos no Brasil são realizados por órgãos oficiais do governo tais como o IBGE e a DSG. Eles estabeleceram uma rede de pontos de referência por todo o Brasil, os quais fornecem informações precisas sobre posições horizontais e verticais. Todos os outros tipos de levantamentos (topográfico e geodésico) de menor precisão baseiam-se nesta rede.

Um conceito fundamental no levantamento de grandes áreas como na delimitação de fronteiras é o estabelecimento de um único *datum* geográfico, a fim de que o levantamento possa desempenhar plenamente a função de coordenar precisamente todos os pontos e mapas em uma área. O *datum* é um termo utilizado quando se quer fazer menção ao sistema de referência. Do plural *data*, cujo nome vem do latim *dado*, que se refere a detalhe. É um modelo matemático teórico da representação da superfície da Terra utilizado pelos cartógrafos em um determinado mapa ou carta. Ele disponibiliza o ponto de referência a partir da representação gráfica dos paralelos e meridianos (BANNISTER; RAYMOND; BAKER, 1992). Um *datum* geográfico também chamado de *datum* horizontal ou geodésico corresponde a posição adotada relativa a uma latitude e longitude de um único ponto ao qual as feições de uma região são referenciadas. Ele forma a base para a computação no

controle de monitoramento horizontal nos quais a curvatura da terra é levada em consideração. Os *datums* geográficos estão para a cartografia como os *datums* de marés estão para hidrologia. A diferença de um para o outro estão baseadas em modelos matemáticos distintos da forma e dimensões da Terra, bem como da projeção representada (SHALOWITZ, 1964).

O sistema de referência *datum* é de suma importância uma vez que ele se prende à necessidade de projetar um objeto curvo e as 3 dimensões (a Terra) como referência. O georreferenciamento, os dados gerados através de levantamentos topográficos, geodésicos e por sensoriamento remoto, que têm como base o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) servem como uma fonte de informações e dados para uma série de aplicações (SANTIAGO & CINTRA, 2023.). Os sistemas mais utilizados em mapeamento são os sistemas de coordenadas geográficas ou geodésicas, planas e cartesianas, sistemas presentes em receptores GPS. Com a evolução da tecnologia, tanto a produção cartográfica quanto a produção geodésica no Brasil são baseadas em diferentes sistemas de referências. As redes geodésicas são vinculadas ao SAD69 e compreendem as estações Doppler e as redes de GPS de alta precisão.

Mundialmente falando existem vários *data* (plural de *datum*), mas no Brasil podemos considerar três como reconhecidos em nosso órgão oficial IBGE: Córrego Alegre: na década de 50 foi adotado o Sistema Geodésico Córrego Alegre, o qual tinha como vértice o ponto Córrego Alegre e o elipsóide Internacional de Hayford de 1924 como superfície de referência, sendo seu posicionamento e orientação determinados astronomicamente. SAD69: em 2005 o SAD69 foi substituído pelo SIRGAS2000. O IBGE definiu o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) como o Sistema Geodésico Brasileiro. Estes três sistemas referem-se a concepções diferentes. Enquanto a definição do SAD69 é topocêntrica, por exemplo, a orientação do SIRGAS2000 é geocêntrica, ou seja, esse sistema adota um referencial de origem em três eixos cartesianos localizados no centro da massa da Terra (SANTIAGO & CINTRA, 2023).

Segundo Cordini (2014) a topografia se divide em topometria e topologia: a topometria estuda os procedimentos de medida de distâncias, ângulos e diferença de nível. Encarrega-se, portanto, da medida de grandezas lineares e angulares, quer

seja no plano horizontal ou no plano vertical. A topometria se divide em: planimetria e altimetria. Enquanto a planimetria estuda e estabelece os procedimentos e métodos de medida de ângulos e distâncias no plano horizontal, a altimetria estuda e estabelece os procedimentos e métodos de medida de ângulos verticais e diferenças de nível (diferença de alturas) entre pontos do terreno. A operação topográfica que visa a obtenção de dados altimétricos é o nivelamento. Por fim, a topologia tem por objetivo o estudo das formas exteriores do terreno, relevo, e as leis que regem a sua formação. Em topografia a aplicação da topologia é dirigida para a representação do relevo em planta, através da técnica dos pontos cotados e das curvas de nível.

De acordo com Casaca, Matos & Baio (2014) o nivelamento topográfico corresponde ao estudo da altimetria de um terreno, cujo objetivo é atribuir cotas a cada ponto da área analisada, determinando as diferenças de nível que definem um relevo. Neste contexto, a simples medição individual de cada ponto não proporciona as informações necessárias para caracterizar o relevo em questão. Portanto, é necessário coletar um conjunto de pontos aos quais se atribui uma referência comum. Dessa forma, a partir de um ponto de referência conhecido, também chamado de Referência de Nível (RN), é possível determinar as altitudes dos demais pontos. Ao estabelecer conexões entre esses pontos torna-se viável estimar o relevo real da área em estudo.

Em obras públicas ou em grandes empreendimentos muitas vezes a referência de nível é feita por órgãos governamentais como o IBGE. Entretanto, em grande parte das pesquisas institucionais ou independentes essa referência de nível deve ser feita pelo próprio pesquisador. Segundo ele, para este fim pode-se estabelecer uma cota arbitrária como referência de nível à qual se amarrará o perfil, mas o ideal é que essa referência seja razoavelmente calibrada em relação ao nível médio do mar (MUEHE, 2003).

Outro conceito importante de acordo com Cordini (2014), refere-se ao Nível Médio do Mar (NMM). Esta é uma superfície de nível determinada a partir do estudo do comportamento das marés oceânicas. Sabe-se que o efeito de maré oceânica é devido a ação gravitacional, principalmente da Lua sobre a Terra. Como resultado dessa força de atração ocorre o movimento de subida e descida do nível do mar.

Inúmeras são as componentes de onda da maré oceânica, razão pela qual o estudo das marés para se determinar o nível médio necessita cerca de dezoito anos de observação. As medições da altura do mar são realizadas em intervalos de uma hora em estações estrategicamente localizadas na costa oceânica ao abrigo dos ventos e das ondas. Essas estações recebem o nome de estações maregráficas e o equipamento responsável pelas medidas denomina-se marégrafo. No Brasil foi implantada uma estação no porto de Imbituba/SC, baseando-se em 9 anos de observações. Dada a estabilidade do valor do NMM calculado na época, a estação maregráfica de Imbituba tornou-se o referencial altimétrico em todo o território brasileiro a partir de 1958 em substituição à estação de Torres/RS.

4.3 BREVE HISTÓRICO DA TOPOGRAFIA

O desenvolvimento inicial da topografia não pode ser separado dos desenvolvimentos da astronomia, astrologia ou matemática por se tratar de disciplinas completamente interligadas. De fato, o termo geometria é derivado de palavras gregas significando medições de terra (MCCORMAC, 2014). Aparentemente a geometria ou topografia foi particularmente necessária no Vale do Nilo para o assentamento e controle dos marcos de propriedade. Quando as enchentes anuais do Rio Nilo arrastavam muitos desses marcos, os topógrafos eram resignados a recolocá-los. Esses topógrafos eram chamados de Harpedonapatas, ou "esticadores de cordas", porque eles usavam cordas com marcadores ou nós, distribuídos em certos intervalos, para suas medições (BANNISTER; RAYMOND & BAKER, 1992). Durante esse mesmo período, os topógrafos eram necessários para assistência no projeto e construção de sistemas de irrigação, enormes pirâmides, prédios e assim por diante. Seu trabalho era aparentemente bastante satisfatório. Por exemplo, existem registros que apontam as dimensões da Grande Pirâmide de Gizé têm um erro de apenas 20cm para uma base de 228 metros, calculado nos dias atuais.

Como aponta McCormac (2014) nos séculos XVIII e XIX vários países demandavam melhores mapas e informações relativas às suas fronteiras, desta forma muitos avanços nesta área foram conquistados. Nos Estados Unidos uma gama de trabalhos foi realizada no levantamento de vastas áreas de terras. Esses

trabalhos resultaram em muitos avanços no âmbito da triangulação, e levantamento de terras, envolvendo as características tridimensionais da superfície física da Terra. Uma organização em particular que contribuiu muito nesses avanços foi o *Coast and Geodetic Survey* dos Estados Unidos, criado em 1807. Este grupo, hoje conhecido como *National Geodetic Survey* (NGS), é uma parte do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), a qual possui uma rica coleção de dados oficiais referentes aos primeiros levantamentos topográficos norte-americanos.

4.4 RELEVÂNCIA DO MONITORAMENTO TOPOGRÁFICO DE PRAIAS

Cientistas, engenheiros e gestores costeiros há muito procuram quantificar as praias e a morfologia costeira, a fim de compreender os processos que influenciam uma ampla gama de questões científicas e socioeconômicas (COOPER; LEGGETT & LOWE, 2000). A importância de monitorar a morfologia costeira tornou-se crítica nos últimos anos à medida que as populações na zona costeira vêm expandindo-se. Este crescimento cria uma demanda adicional por financiamentos públicos e privados para proteger e planejar o desenvolvimento em habitats costeiros, praias recreativas e economias das regiões litorâneas.

O monitoramento da linha de costa é um elemento vital para o planejamento e manejo da região costeira, auxiliando na mitigação e adaptação frente aos impactos das mudanças climáticas (FERREIRA; SOARES; ANDRADE, 2012). A avaliação constante e quantitativa das tendências de erosão e acreção é considerado um indicador crucial da vulnerabilidade da região costeira frente às ameaças naturais, e é um dos parâmetros mais importantes utilizados na determinação de índices de vulnerabilidade costeira (MCLAUGHLIN & COOPER, 2011; HZAMI *et al.*, 2021), ou para alimentar os modelos de previsão de linha de costa.

Segundo Mason, Gurney & Kennett (2000) de maneira muito ampla, os interessados em dados de topografia praial podem ser divididos em quatro agrupamentos de acordo com suas áreas de interesse:

1. Defesa costeira: o termo “defesa costeira” aplica-se tanto à proteção contra a erosão e contra as inundações. Na implementação de qualquer novo esquema de defesa é altamente provável que alguma forma de monitoramento da linha de costa

seja necessária, seguido de monitoramento pós-construção que inclui monitoramento tanto no local quanto ao longo dos litorais adjacentes. A análise de perfis para estimar as mudanças no volume de sedimentos foi identificado como um componente essencial dos procedimentos de planejamento e avaliação de projetos, como a alimentação de praia, construção de barragem, quebra-mares, drenagem de praia e recuo controlado (ANON, 1993). O controle do volume de sedimentos também é útil para validar modelos de computador de transporte de sedimentos. As taxas de erosão não são usadas apenas para estudar a disponibilidade de sedimentos ou o papel dos processos naturais na alteração da costa, mas também na avaliação de contratempos em obras costeiras, delimitação de infraestruturas na linha de costa, estudar a eficácia de programas de proteção costeira e tomar decisões sobre o uso da terra neste ambiente (MOORE, 2000).

2. Gestão ambiental: as regiões costeiras contêm diferentes tipos de habitats, com particular valor biológico, geológico, geomorfológico, paisagístico ou cultural, cada qual com requisitos específicos para o monitoramento. O estado de muitas dessas áreas só pode ser avaliado se algum tipo de monitoramento que inclui o estado geomorfológico de praia é realizado. Por exemplo, a conservação de ambientes marinhos inclui a identificação de habitats em zonas intertidais como áreas de alimentação de pássaros, devendo levar em conta fatores como fragilidade, tamanho, diversidade e história registrada. Para tal fim, faz-se necessário o monitoramento e mapeamento de áreas de praia.

3. Exploração econômica: avaliações de impacto ambiental são necessárias em projetos como refinarias de petróleo, alimentação de praia, usinas de energia, infraestruturas para turistas e portos. Nesses empreendimentos o monitoramento faz-se necessário e inclui a medição topográfica de praias. Com base nos dados topográficos é possível determinar as áreas propícias para a construção de infraestruturas conforme objetivos de cada projeto

4. Previsão de inundação costeira: um conhecimento preciso da batimetria e topografia do perfil praias pode levar a uma melhor previsão de eventos de inundação costeira. Mudanças de curto prazo no nível do mar são predominantemente devidas às marés e aos efeitos das tempestades. Os ventos associados a uma tempestade podem elevar ou baixar o nível do mar em alguns

metros em questão de horas, resultando em inundações relâmpagos. Estas são sobrepostas às marés astronômicas regulares e podem causar inundações nas áreas costeiras se o pico ocorre concomitante ao da maré alta. Previsões de níveis do mar são comumente feitas usando modelos numéricos e um conhecimento preciso da topografia e batimetria é essencial para a correta modelação da maré e da zona de arrebentação (FLATHER & HUBBERT, 1989).

O estudo e gestão das áreas costeiras exige a análise, pelo menos em alguns setores, das alterações morfológicas dos sistemas praias resultantes da atividade de agentes específicos como as ondas, o vento e a atividade antrópica. As características dos elementos que controlam essas mudanças como a topografia analisadas (PARDO-PASCUAL *et al.*, 2005). As mudanças podem ser analisadas a partir de diferentes perspectivas de escala, mas se o objetivo é reconhecer como o sistema responde aos agentes geomorfológicos é essencial que as análises sejam feitas várias vezes ao ano para observar o efeito que tanto as tempestades quanto às condições meteorológicas têm sobre a topografia praias.

Conforme salientado por Nordstron (1992) existem algumas medidas para a estabilização de praias tais como: estabelecimento de uma faixa de recuo que forneça proteção para as construções locais contra a erosão e as cheias; construção de estruturas rígidas de engenharia costeira que possam dissipar a energia de ondas ou reter os sedimentos e aumento de feições naturais usando vegetação ou engordamento artificial de praias. Em resumo, o estudo do comportamento das praias é fundamental para garantir a segurança dos banhistas, o desenvolvimento urbano sustentável nas regiões costeiras, a promoção de atividades econômicas e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, podem ser utilizados para coletar e interpretar informações sobre as características físicas, morfológicas e biológicas destes ambientes.

4.5 DINÂMICA DO AMBIENTE PRAIAL

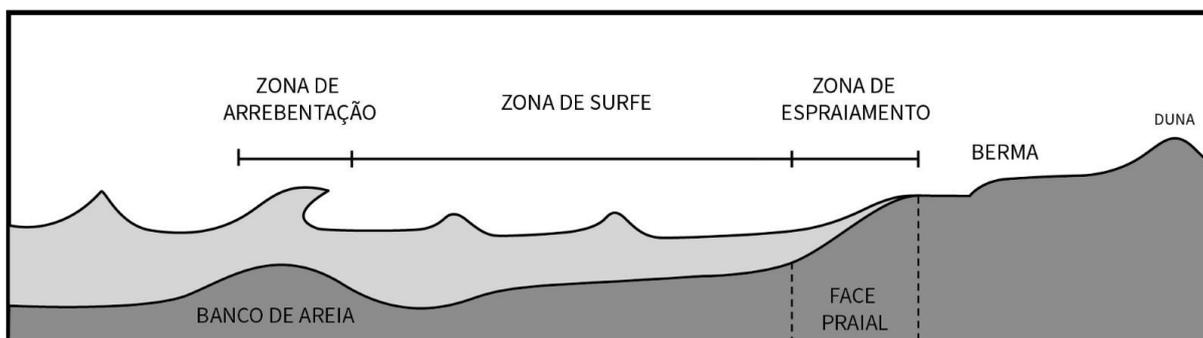
As praias representam ambientes litorâneos dinâmicos sujeitos a alterações contínuas, tanto em termos de morfologia quanto de volume de sedimentos. Estas transformações constantes tanto na zona da praia quanto na antepraia são atribuíveis às flutuações nas características das ondas (altura, período e direção),

bem como em algumas instâncias às influências das marés, especialmente quando sujeitas a amplificações resultantes de fenômenos meteorológicos (OLIVEIRA FILHO & FERNANDEZ, 2017).

A reação de uma praia às mudanças nas condições meteorológicas e oceanográficas é influenciada por características fisiográficas específicas da região, como a natureza dos sedimentos (quantidade e distribuição do tamanho dos grãos), a profundidade da plataforma, a topografia da praia, a geologia da área, o histórico das variações do nível do mar e as características morfodinâmicas locais. (MASSELINK & HETEREN, 2014). De acordo com Short (1999) as praias representam os depósitos sedimentares dominados principalmente por ondas, que interagem com os sedimentos acomodados nas linhas de costa e na plataforma continental interna. A extensão e características destes ambientes são dependentes da hidrodinâmica local, tamanho do grão e forma em planta da praia.

Mundialmente as regiões costeiras dividem a terra do oceano sendo ambientes geológicos únicos, tanto na sua composição quanto nos processos físicos que as afetam. Muitas destas regiões costeiras são compostas por praias arenosas, às quais são constantemente perturbadas pelas ondas, correntes e ventos, transformando-as continuamente (DEAN & DALRYMPLE, 2002). Entretanto, apesar dos diferentes climas de ondas que existem ao redor do mundo e variações na composição da linha de costa, a natureza e o comportamento das praias em relação aos agentes oceanográficos são geralmente muito similares.

Segundo Short (1996) as praias possuem 3 zonas dinâmicas: uma zona de espalhamento após o ponto de quebra, uma zona de surfe onde as ondas primeiro dissipam sua energia, e uma zona de lavagem e dissipação dessas ondas na região subárea da praia, como exemplificado na **figura 1**. A natureza e extensão de cada uma destas zonas irão por último definir a morfodinâmica praial. A largura do espraiamento da zona de lavagem e de surfe dependem da altura de onda e do gradiente da praia (função do tamanho de sedimento e altura de onda) enquanto a amplitude de maré irá determinar a estabilidade vertical ou a mudança diária de cada uma destas 3 zonas.

Figura 1: zonação hidrodinâmica no ambiente praiial

Fonte: autor

Para Wright & Short (1983) as praias resultam da interação de ondas com a areia localizada no litoral. A zona de interação inicia-se na base da onda e se estende desde a zona de surfe até a zona de espriamento. Segundo eles a extensão e a natureza destas zonas são dependentes de dois parâmetros: a energia de onda a qual define a zona de espriamento, e o tamanho do grão ou granulometria que influencia nas taxas de transporte do sedimento.

Variações temporais na morfologia praiial são impulsionadas principalmente pelo transporte de sedimentos perpendicular e ao longo do litoral. Alterações nesse ambiente são geralmente caracterizadas pela variabilidade da posição da linha de costa a longo termo, rotação praiial e desenvolvimento de feições ou características rítmicas (DEAN & DALRYMPLE, 2002). Por outro lado, alterações perpendiculares à costa são caracterizadas por mudanças na forma do perfil praiial, e a área da seção transversal da praia no tempo (KARUNARATHNA *et al.*, 2016). Embora estas alterações tenham impactos significativos na posição e orientação da praia a médio e longo prazo, bem como na posição dos bancos arenosos, mudanças geomorfológicas no perfil praiial ocorrem em uma ampla gama de escalas de tempo e podem ter efeitos prejudiciais, impactando na estabilidade das defesas marítimas naturais e artificiais, ecossistemas costeiros, infra-estruturas e segurança.

Estudando intensivamente praias de regime de micromarés dominadas por ondas (Wright *et al.*, 1979; Wright & Short, 1981; Short, 1981; Wright *et al.*, 1982; Wright & Short, 1983; Wright & Short, 1984) introduziram a classificação morfodinâmica de praias e utilizaram o conceito de “estado ou estágio morfodinâmico” para referirem-se às assembleias deposicionais completas, processos de redistribuição de sedimentos e assinaturas de processos

hidrodinâmicos associados a uma praia sob determinadas condições. Estes dados foram coletados em praias com diferentes níveis de exposição e compartimentação, onde predominam ondulações de energia moderada a alta, apresentando consideráveis flutuações ao longo do tempo. A classificação desenvolvida na década de 70 pela escola Australiana de Geomorfologia Costeira continua sendo amplamente adotada em sistemas de micro-marés sujeitos a regimes de ondulação (CALLIARI *et al.*, 2003). Nestes estudos foram determinados seis estados ou estágios morfológicos distintos, associados a diferentes regimes de ondas e marés, caracterizados por dois estados extremos (estado dissipativo e estado refletivo) e quatro estados intermediários.

De acordo com Wright & Short (1983) seus extensivos estudos de campo de praias australianas e zonas de surfe em diferentes condições ambientais, tipos de sedimentos e estados morfodinâmicos, apontaram para algumas generalizações:

Dependendo das condições ambientais locais, dos sedimentos e das condições anteriores das ondas, as praias e zonas de arrebentação podem ser dissipativas, reflexivas ou estar em pelo menos quatro estados intermediários. À medida que o estado da praia muda com o tempo, por exemplo em resposta à mudança na altura de onda, os processos hidrodinâmicos sofrem mutação permitindo a evolução de regimes morfodinâmicos livres. O intervalo temporal do estado da praia e das mudanças no perfil não dependem apenas da variabilidade das ondas em águas profundas, mas também na rugosidade e gradiente da plataforma continental interna.

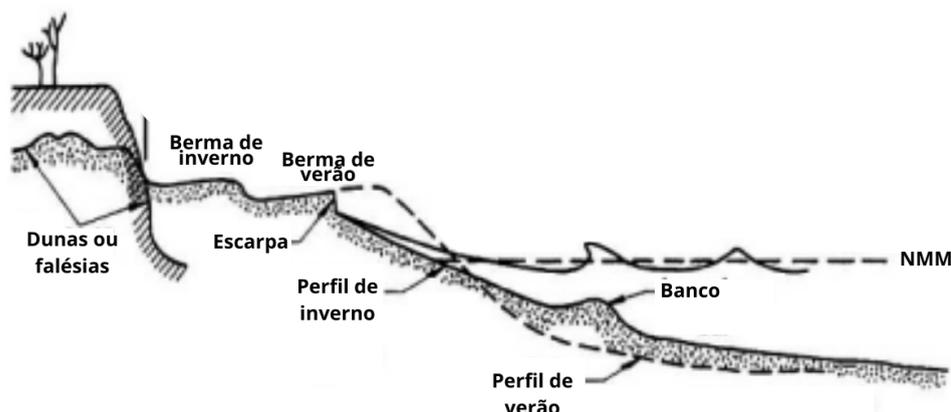
Por fim, o estado modal de uma praia representa uma resposta às características do clima de ondas mais recorrentes, assim como das características predominantes dos sedimentos. Como explicam Wright & Short (1983), o estado modal ou mais recorrente representa uma resposta às características mais frequentes da arrebentação e do tipo de sedimentos. Por sua vez, a variabilidade destes estágios aponta a mobilidade da praia e condiciona a sua estabilidade. Em estudos de Wright (1981), Wright *et al.* (1984) e Short & Hesp (1982) são descritas as relações dos estados morfodinâmicos modais das praias com os modos de erosão a que estão sujeitas, com as tendências que apresentam em ser ambientes erosivos ou acrescivos (HOEFEL, 1998).

Ao passo que as forçantes que afetam o equilíbrio morfodinâmico no ambiente praias alteram-se, o perfil praias irá responder a essas mudanças de maneira que tenderá a restaurar seu equilíbrio. As forçantes relevantes operam em escalas de curto e longo termo e incluem: nível médio do mar, características de onda (altura e período), transporte ao longo e através da costa e em alguns casos a interação antrópica, quando esta adiciona ou retira sedimento do ambiente praias (DEAN & MAURMEYER, 1983).

Wright & Short (1984) propuseram uma classificação da morfologia das praias arenosas com base no conceito de ajuste morfodinâmico entre a praia e as forçantes ambientais, principalmente o clima de ondas. Nesta classificação a praia pode evoluir de um estado dissipativo associado com ondas energéticas, caracterizado por uma morfologia relativamente uniforme e pela ausência de berma, para um estado reflexivo associado a condições energéticas baixas e caracterizado pela presença de berma. Entre estes dois, quatro estágios intermediários são descritos e distinguidos entre si pela variabilidade ao longo da costa. Esta classificação também se baseia nas transferências transversais de sedimentos entre a parte inferior e superior da praia: períodos de clima de onda com alta energia são associados ao transporte de sedimentos em direção ao mar aberto gerando erosão, enquanto condições de baixa energia são relacionadas ao transporte sedimentar em direção à praia e conseqüentemente acreção (BIAUSQUE & SENECHAL, 2019).

De acordo com Muehe (1994) diversos autores têm relacionado essas mudanças com o comportamento climático sazonal, que por sua vez afeta diretamente o regime das ondas. Assim, em regiões onde o regime das ondas se diferencia significativamente entre verão e inverno, a praia desenvolve perfis sazonais típicos de acreção e erosão, denominados perfis de verão e de inverno, como ilustrado na **figura 2**.

Figura 2: sazonalidade dos perfis praias



Fonte: adaptado de Toure *et al.* (2019)

Este conceito de variação sazonal nos perfis praias tem sido amplamente estudado e foi denominado como “ciclos de praia” por Masselink & Pattiaratchi (2001). Em ambientes temperados onde o clima de ondas normalmente demonstra uma sazonalidade distinta, dois tipos de ciclos podem ser definidos: um ciclo sazonal com base nas mudanças morfológicas de inverno/verão e um ciclo de eventos que segue as evoluções tempestade/pós-tempestade dos sistemas. Nestes ambientes reconhece-se, portanto, que as praias sofreram essencialmente erosão durante o inverno e depois se recuperaram durante o período de verão.

As regiões litorâneas ao redor do mundo são altamente populosas e geralmente bem desenvolvidas, pois oferecem áreas de lazer, comodidade e uma boa estética para seus habitantes, principalmente quando falamos de praias arenosas. Com isso, nas últimas décadas essa grande presença humana unida às mudanças climáticas, o crescimento populacional, a diminuição nos estoques de sedimentos e o aumento relativo do nível do mar geram um fenômeno conhecido como *costal squeeze*, também conhecido como estrangulamento costeiro na língua portuguesa o qual é consequência destes fatores juntos a erosão costeira (LUIJENDIJK *et al.*, 2018). Sendo assim, conhecer o comportamento de uma praia é parte fundamental quando se trata de planejamento e gestão na zona costeira. Para entender o seu comportamento é necessário que haja um monitoramento contínuo desse ambiente, com a finalidade de levantar dados que corroborados entre si apontem sua tendência de evolução a curto e longo prazo, garantindo prognósticos e tomadas de decisões mais acuradas e sustentáveis (OLIVEIRA FILHO & FERNANDEZ, 2017).

4.5.1 PROCESSOS E INTERAÇÕES

As praias respondem rapidamente à mudança das ondas e condições das marés, através da redistribuição dos seus sedimentos por correntes oscilatórias e quase estacionárias, resultando em padrões espaciais de erosão e acreção. Dado tempo suficiente, estas mudanças alteram a forma da praia pela modificação, destruição, formação, e/ou migração de características morfológicas secundárias, como bermas, cúspides, bancos de lavagem, canais de maré e bancos próximos a praia (MASSELINK *et al.*, 2007). Os ventos, as ondas que estes geram e as correntes litorâneas que se desenvolvem quando as ondas chegam à linha de costa, atuam ininterruptamente sobre os materiais que ali encontram-se erodindo, transportando e depositando sedimentos (FERREIRA, 2017).

Segundo Wright e Short (1984) para que haja compreensão dos mecanismos causadores de erosão ou deposição em praias é fundamental o estudo da morfodinâmica litorânea. Neste estudo estão envolvidos a interação entre as ondas, correntes, marés e topografia do perfil praial. Já a interação dos ventos, ondas e marés, somando-se às características do material que compõem a praia determinam a variação morfológica do sistema praial. Desta forma Fisher (2005) explica que a dinâmica determina a morfologia, e está depois de estabelecida condiciona a dinâmica, ou seja, a dinâmica e morfologia evoluem conjuntamente. Sendo assim, a dinâmica costeira é considerada a principal condicionante do desenvolvimento das praias arenosas e dos processos erosivos e deposicionais que as mantêm em constante transformação (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2007.).

O transporte sedimentar ocasionado pelos agentes que regem a dinâmica costeira pode ser analisado de forma separada em dois tipos de transporte: o transporte transversal e o transporte longitudinal. O primeiro diz respeito ao movimento de sedimentos ao longo da costa. De acordo com Dean & Darymple (2004) o comportamento deste transporte está diretamente relacionado ao nível de energia do sistema praial, determinando se a migração predominante do sedimento ocorre em direção ao mar ou em direção à zona costeira, o que por sua vez influencia a configuração do perfil da praia. Além disso eles destacam a importância das correntes de retorno como um significativo processo de transporte transversal. Essas correntes são caracterizadas por fluxos estreitos que se estendem normal ou

obliquamente em relação à costa, atravessando a zona de surfe em direção ao oceano e representando uma ameaça potencial para os banhistas (BIRD, 1988).

A locomoção de sedimentos ao longo da costa é amplamente atribuída às correntes longitudinais, o que é facilmente evidenciado pela análise dos impactos de instalação de estruturas como molhes e espigões. O transporte de sedimentos ao longo dessa linha costeira pode ser descrito como a soma dos deslocamentos dos diferentes trens de ondas que atingem a costa, cada um com suas próprias direções. Essas variações nos efeitos de transporte sedimentar causados pelos distintos trens de ondas podem resultar em consequências altamente erosivas ou, alternativamente, não produzir efeitos significativos, mesmo quando as taxas de transporte de sedimento são substancialmente elevadas (DEAN & DARYMPLE, 2004). Devido à complexidade das interações dinâmicas dentro ou fora da água, a compreensão e a modelagem do transporte de areia dependem fortemente de pesquisas experimentais em condições de campo e laboratório (VAN RIJN *et al.*, 2013).

Os processos que moldam as regiões costeiras podem ser examinados em diferentes escalas de tempo. A praia se modifica constantemente sobre a ação das ondas que suspendem e movimentam o sedimento dentro do perfil praiial, resultando em tendências erosivas ou deposicionais. Por mais que esta dinâmica ocorra diariamente, um entendimento a longo termo na ordem de centenas a milhares de anos dos processos é fundamental, por proverem uma base de conhecimento para podermos interpretar e compreender os processos que resultaram na forma atual das regiões litorâneas. (DEAN & DARYMPLE, 2004).

Um processo geológico de longo termo que é de extrema relevância para as praias é a mudança no nível do mar, a qual pode ocorrer como resultado da alteração no volume de água nos oceanos ou pela submersão ou subsidência das massas de terra por processos geológicos. Para Klein & Short (1996) as variações do nível relativo do mar podem ser desencadeadas basicamente por três processos: aqueles associados aos ciclos de glaciação e deglaciação (glacio eustasia), aos eventos de tectônica global (tectono eustasia), e aqueles relacionados às variações da configuração da forma do geóide (geoido eustasia). Segundo Dean & Darymple (2004), mudanças nos níveis dos mares fazem com que a praia saia do seu

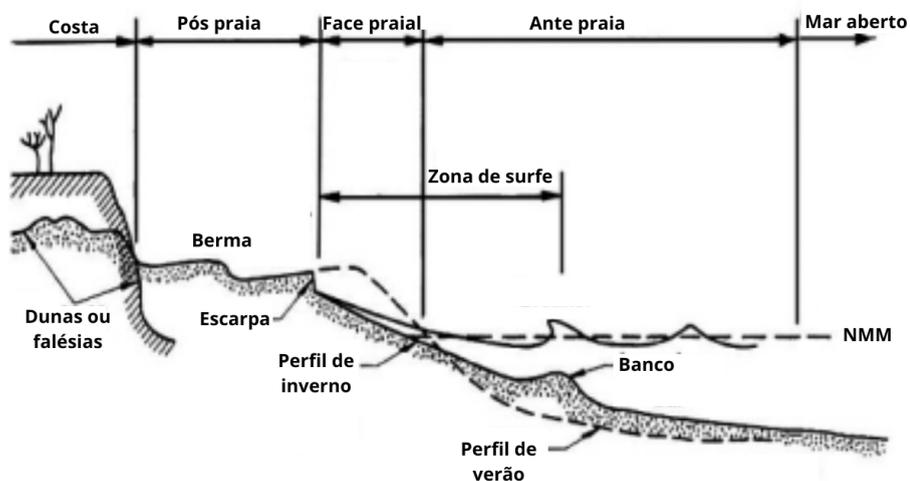
equilíbrio em relação ao nível do mar, forçando processos que tendem a restaurar este equilíbrio. Estes processos podem fazer com que a linha de costa seja erodida ou acrescida.

Em contraste aos processos de longo termo, além das já citadas tempestades que ocorrem em escalas de dias até horas, as marés astronômicas causadas pela atração gravitacional da lua e do sol sobre as partículas de águas na superfície terrestre são outro importante processo atuante no ambiente praiial. Estas marés representam mudanças no nível da água em um pequeno espaço temporal, causando mudanças cíclicas nas praias podendo atuar passivamente ou ativamente no transporte de sedimentos (DAVIS,1985). A área de atuação da maré depende fortemente de sua amplitude, pois esta define a quantidade de energia presente em um sistema. A influência pode ser tamanha que, nos casos em que sua influência supera a das ondas estabelecem-se "terraços de maré" e não praias propriamente ditas, conforme explicado por Wright e Short (1984).

4.5.2 PERFIL PRAIAL

Segundo Dean & Darymple (2004) o perfil praiial nada mais é que uma sessão transversal à praia perpendicular a linha de costa, ou seja, um corte transversal a praia que a ilustra e fornece seu estado morfológico em um certo tempo. sendo geralmente composta por 4 secções: mar aberto, antepraia, pós praia, e o domínio terrestre, como ilustrado na **figura 3**.

Figura 3: terminologia associada ao perfil praiial



Fonte: adaptado de Toure *et al.* (2019)

O sedimento que compõe o perfil é modificado pelas ondas vindas do mar aberto e quebrando na zona de surfe, onde bancos de areia podem ocorrer. A zona de espraiamento é a região do perfil que fica alternadamente seca e molhada ao passo que as ondas atingem a porção subárea do perfil. A parte seca da praia pode possuir bermas ou escarpas, sendo as últimas relacionadas geralmente a níveis elevados da água do mar relacionados às tempestades e ressacas. A parte mais continental do perfil pode possuir dunas criadas pelo vento que sopra levando areia do restante do perfil em direção a estas feições (KRAUSS, 2005).

Perfis praias variam com o tempo, tanto sazonalmente, por efeito da mudança no clima de ondas como a longo prazo em respostas às pressões erosivas ou acrescionais que o ambiente sofre. Se forem monitorados na mesma localidade sobre períodos adequados podem fornecer detalhes sobre o comportamento das praias (FERREIRA; SOARES & ANDRADE, 2012). Desta forma se os perfis forem feitos corretamente, este comportamento pode ser examinado em termos de recessão da linha de costa e perda de volume sedimentar, fornecendo um quadro geral do balanço sedimentar regional.

O perfil praias se estende da parte seca da praia até mar afora, além da profundidade de fechamento da qual em diante não ocorre transporte sedimentar significativo (DEAN & DARYMPLE, 2002). As medições neste ambiente requerem um alto nível de precisão porque erros sobre grandes extensões ao longo do perfil podem acumular e serem interpretados erroneamente. Dean (1977) explica que a forma do perfil é variável, dependendo da época do ano dentro do ciclo anual da praia e, também, do tempo decorrido após uma tempestade. Segundo este, ondas, nível da água e tamanho dos grãos de sedimentos são os principais fatores controladores da forma do perfil praias.

Para a parte subárea do perfil as direções de coleta de dados geralmente são orientadas perpendiculares à linha de costa. Estas direções são então indicadas pelo uso de estacas milimetradas ou com um observador com um teodolito para mantê-los na mesma linha (LABUZ, 2016). Usando equipamentos padrões de topografia praias as cotas altimétricas da porção seca da praia são determinadas, sendo sua extensão a maior possível e realizados preferencialmente durante marés baixas de sizígia (DEAN & DARYMPLE, 2002).

De acordo com Beliiigotti & Muehe (2012) o estudo de praias arenosas concentra-se na porção emersa das praias, abrangendo o pós-praia, a face da praia e ocasionalmente, a região da antepraia superior ocupada pela zona de surfe. No entanto, sabe-se que tanto em eventos episódicos de alta hidrodinâmica quanto em escalas de tempo mais amplas, a troca de sedimentos entre a praia e a zona marinha adjacente frequentemente extrapola os limites da zona de surfe e ocupa toda a antepraia chegando a incluir a plataforma continental interna. Junto a isso, a preocupação com a subida do nível do mar e a ocorrência de eventos climáticos extremos, assim como o estabelecimento de faixas de não edificação na linha de costa, criam demandas de estudos consistentes que permitam a utilização de modelos atuais como subsídio à tomada de decisão, como a determinação da profundidade de fechamento (BELLIGOTTI & MUEHE, 2012).

A parte submersa do perfil praias é geralmente monitorada através de embarcações equipadas com ecobatímetros e sistemas de posicionamentos, mantendo o mesmo alinhamento transversal à costa utilizado na parte seca do levantamento (MUEHE, 1998). Geralmente estes perfis se estendem até após a profundidade de fechamento, a partir da qual já não existe movimentação de sedimentos expressivos e portanto, mudanças no perfil.

A extensão dos perfis batimétricos para além da zona de arrebentação apresenta dificuldades logísticas, por exigir o emprego de embarcação para o levantamento batimétrico, encarecendo o trabalho, além da dificuldade associada ao deslocamento da embarcação. Com isso, Beliiigotti & Muehe (2012) apresentam uma metodologia que contorna tais dificuldades por meio do emprego de uma embarcação de pequeno porte (caiaque) lançada ao mar no local do levantamento, e uso de um ecobatímetro de mão e um aparelho de posicionamento por satélite (GPS). Outro método utilizado no levantamento batimétrico na zona de surfe é descrito por Toldo *et al.*, (1998), no qual utilizam um trenó adaptado a um sistema de cabos.

O levantamento de perfis praias é uma técnica fundamental no estudo de praias e está relacionado à análise morfológica da costa. Através deste é possível obter informações detalhadas sobre a variação topográfica e geomorfológica da praia ao longo do tempo e espaço, como a largura (tamanho da faixa de areia), o

perfil de inclinação, a posição da linha de costa e o volume de areia presente (COOPER; LEGGETT & LOWE, 2000). No monitoramento contínuo de perfis praias podemos não só observar os padrões sazonais de alterações morfodinâmicas no litoral, mas também identificar eventos que ocorrem em escalas muito maiores, como no caso de tempestades excepcionais, subida do nível médio do mar, e alterações antrópicas no ambiente numa escala de uma ou mais décadas. Segundo Oliveira Filho & Fernandez (2017) monitorar a recuperação natural das praias após uma tempestade excepcional é essencial para avaliar a capacidade de resiliência desses ecossistemas, um conhecimento crucial para a gestão e planejamento costeiro.

O monitoramento do perfil praias permite a comparação de diferentes regiões e trechos do litoral, e serve como uma estimativa quantitativa da evolução espacial e temporal das praias. Esses dados podem, portanto, contribuir para uma melhor compreensão dos processos costeiros e ser uma ferramenta muito importante para a gestão destes ambientes (FERREIRA; SOARES & ANDRADE, 2012). A erosão e acreção costeira são processos de curto e longo prazo que podem causar mudanças nas feições geomorfológicas das regiões costeiras. Deste modo o monitoramento do perfil praias é um importante meio de descobrir os fatores que são responsáveis por essas mudanças, ajudando as partes interessadas no planejamento de praias sustentáveis e desempenhando um papel vital na execução de uma gestão Integrada e sustentável da zona costeira. (SAAD *et al.*, 2022).

Segundo Dornbush (2010) os métodos de monitoramento praias referem-se tanto aos instrumentos com os quais a elevação da praia é medida (técnica de medição) e a estratégia de distribuição de pontos sobre a área da praia. Ambos estão ligados em parte pelo número e distribuição de pontos que podem ser coletados em um determinado intervalo de tempo e a própria técnica de medição. Geralmente há uma compensação entre a precisão com que a elevação pode ser medida que se estende por duas ordens de grandeza (0,002 a 0,2m) e o número de pontos coletados em um dado intervalo de tempo variando ao longo de seis ordens de grandeza (0,16 Hz para levantamentos de estação total a 25.000 Hz para LIDAR). Também o tempo que leva para converter as medições em resultados é diferente - por exemplo, criar um arquivo de pontos XYZ pode variar de poucas horas para os métodos de coleta direta, para vários dias ou até semanas para dados

de detecção remota, como elevações derivadas fotogrametricamente. É essencial que dados de monitoramento costeiro a longo prazo e de alta qualidade estejam disponíveis para gerar informações sobre as quais as decisões de gerenciamento e manejo são baseadas. Esses dados de monitoramento costeiro precisam tanto ser precisos, como estarem atualizados- (COOPER; LEGGETT & LOWE, 2000).

Para estudos estratégicos de longo prazo um alto nível de detalhe agregará valor à análise, mas a mudança costeira estará em tal escala espacial (regional) e temporal (décadas) que a variabilidade geral pode ser identificada através de levantamentos semestrais regularmente espaçados de 1 km. Em estudos específicos de curto prazo deve-se tomar cuidado na seleção da localização e orientação dos perfis, para garantir que sejam representativos sobre a área e registrará todas as alterações que ocorrerem na praia- (COOPER; LEGGETT & LOWE, 2000).

O levantamento de perfis ao longo do tempo sobre um mesmo alinhamento (Pereira *et al.*, 2003) permite que se identifiquem as variações bidimensionais dos bancos arenosos, enquanto levantamentos em alinhamentos paralelos tornam possível também a visualização de padrões tridimensionais, gerados em função da variação nas características dos bancos ao longo da costa (DEAN & DALRYMPLE, 2002). Os autores citados argumentam que os espaçamentos entre os perfis paralelos dependem da escala das feições a serem determinadas e da dimensão da praia, e tipicamente variam entre 20 e 500 metros. Por sua vez, a combinação de perfis e distribuição sedimentar podem auxiliar na distinção de áreas heterogêneas ao longo da costa ou mesmo homogêneas (Pereira *et al.*, 2009).

Recomenda-se que cada perfil seja referenciado sobre marcos permanentes e inconfundíveis chamados RN's (referência de nível), para que a origem do perfil possa ser restabelecida para levantamentos sucessivos. Para uma precisão aceitável a orientação do perfil deve ser exatamente igual cada vez que o monitoramento é empreendido, preferencialmente perpendicular à costa (COOPER; LEGGETT & LOWE, 2000). Qualquer pequeno desvio na orientação pode produzir resultados que podem ser mal interpretados. Por exemplo, um movimento aparente de crista de praia ou nos limites entre a zona seca e molhada ou ainda, um perfil medido em diagonal pode superestimar o tamanho de feições arenosas. Portanto é

vital que todas as feições de cristas e bermas, que estão presentes no perfil sejam identificadas, para que uma representação fiel da superfície do perfil da praia possa ser analisada. Uma consciência dessas limitações garante que medidas sejam tomadas no campo para eliminar ou reduzir os fatores que são susceptíveis de causar erros potenciais no levantamento e também na interpretação dos dados resultantes. Em resumo, as técnicas de medição de perfil de praia devem ser repetíveis, precisas e comparáveis (COOPER; LEGGETT & LOWE, 2000).

5. MÉTODOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PRAIAL

5.1 MÉTODOS TRADICIONAIS DE LEVANTAMENTO

Os métodos tradicionais, também conhecidos como técnicas ópticas simples, contavam apenas com observações em campo e instrumentos de baixo custo. O emprego deste conjunto de técnicas e equipamentos permite a medição de alturas relativas em relação ao “observador”; o dispositivo que lê as diferenças de altura relativa entre os pontos de interesse. Conhecendo a altura real de um ponto onde o dispositivo está localizado, o leitor pode determinar as diferenças de altura reais existentes entre os pontos em que a medição foi realizada, por exemplo usando hastes/estacas, medindo através de fitas métricas entre outros (LABUZ, 2016). Estas técnicas permitem a medição de mudanças de altitude relativa, que podem ser suficientes para análises temporárias ou de curto prazo de processos de erosão/acresção e mudanças na topografia praial. Eles servem geralmente para medir apenas elevação do ponto no campo, mas em pequenas superfícies podem ser úteis para mensurar mudanças de volume de areia calculadas para cada um dos pontos medidos (LABUZ 2003; LABUZ 2009). Esse tipo de medição é lento, mas algumas vezes é a única opção disponível para uso.

Atualmente os métodos tradicionais são utilizados especialmente durante eventos extremos de tempestade quando outras ferramentas avançadas não podem funcionar corretamente, por exemplo durante a ação de ventos fortes, transporte de areia e precipitação intensa, ou quando a acessibilidade a um sistema de posicionamento global é impossível (ANDRADE & FERREIRA, 2006; LABUZ, 2015). Conforme apontado por Dornbush (2010), a precisão vertical destes métodos é da

ordem de vários centímetros, e a principal fonte de erro é o possível acúmulo do erro de medição ao longo do perfil, porque cada ponto do perfil é medido não em relação a uma origem fixa, mas em relação ao ponto anterior.

5.1.1 A MESA PLANA

O conjunto de obras literárias *Shore and Sea Boundaries* resume os aspectos técnicos e legais da determinação de fronteiras marítimas nos EUA, particularmente no que diz respeito ao uso de dados adquiridos pelo *Office of Coast Survey* e seus predecessores (hoje vinculados à NOAA). Os Volumes Um e Dois, escritos por Aaron L. Shalowitz, publicados em 1962 e 1964, respectivamente, são considerados duas das mais importantes referências disponíveis para a comunidade costeira e marítima americana. O Volume Dois diz respeito ao uso e interpretação de dados de levantamento costeiro e geodésico, particularmente os primeiros levantamentos oficiais de topografia praial e mapas, com ênfase especial nas feições e aspectos que têm significado legal. Foi deste que foram realizadas as colocações sobre *Datum* e os primeiros levantamentos topográficos oficiais em praias nos Estados Unidos.

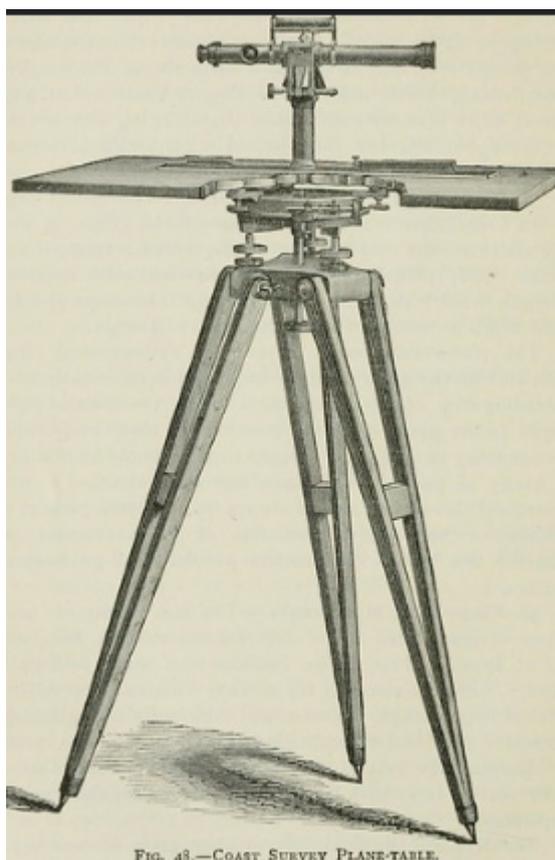
Desde o início do *Coast Survey*, o principal instrumento utilizado para os monitoramentos topográficos era a "mesa plana". Outros métodos eram aplicados ocasionalmente para atender a objetivos especiais ou como um adjunto à mesa plana, mas a grande maioria dos monitoramentos ao longo da costa americana antes da capacidade de fotogrametria aérea eram executados com a mesa. A primeira descrição sobre ela foi publicada em um artigo no ano 1825, chamado "*Transactions of the American Philosophical society*" por Hassler (1825). A discussão sobre sua descrição e utilização neste estudo é limitada, porém o autor enfatiza sua utilidade e eficiência como sendo um ótimo instrumento para o mapeamento.

Uma mesa plana é um dispositivo usado no mapeamento de locais, mapeamento de exploração, mapeamento de navegação costeira e disciplinas relacionadas para fornecer uma superfície sólida e nivelada na qual pode-se fazer desenhos de campo, cartas e mapas. O uso inicial do nome "mesa simples" refletia sua simplicidade e clareza, em vez de sua planicidade. O termo "plano" refere-se à mesa sendo plana e nivelada horizontalmente. Ela é montada num tripé, de maneira

que a mesa podia ser nivelada e rotacionada a partir de um eixo central sem perturbar o tripé. Uma planilha com dados do campo contendo uma projeção e as estações que proporcionam a triangulação na região faziam parte do método. Uma parte importante da instrumentação dela era o "alidade" (posteriormente substituído pelo teodolito), o qual é um dispositivo de campo destinado a medir ângulos mediante o alinhamento óptico (olho do observador) com uma estrela sobre um marco qualquer; pode ser um monumento, a torre de uma igreja, a ponta de uma pirâmide ou outro, que quando alinhado com o olho do observador "por precisão" marca o cruzamento da abertura angular.

Antes de começar qualquer monitoramento com a mesa plana era feita sua correta orientação. Isto é, era fixada numa posição onde toda linha desenhada na planilha de campo desde o ponto que representava a posição da mesa no solo com qualquer outro ponto na planilha eram paralelos a correspondente linha no ambiente. O método mais simples para orientar a mesa era ocupando uma das estações de triangulação descritas na planilha de campo. A mesa era então posta sobre a marcação da estação para que o ponto plotado estivesse aproximadamente sobre o ponto no solo. O alidade era posto na planilha de forma que a borda "fiducial" passasse através do ponto de triangulação ocupado e através de alguns outros distantes pontos de triangulação mostrados na planilha. A mesa era rotacionada até que o sinal distante fosse dividido ao meio pela mira vertical do telescópio. Desta forma ela ficava orientada propriamente (SHALOWITZ, 1964).

No mapeamento da linha de costa o topógrafo fixava seu instrumento em algum ponto de comando onde ele podia visualizar o terreno por 300-400 metros. Quem estava com a estaca caminhava ao longo da praia fixando a mesma em curtos intervalos e particularmente onde havia uma mudança na direção. O topógrafo determinava a direção e a distância da estaca ao seu instrumento, plotava o ponto na planilha, e desenhava a linha de costa esquematizada através dos diversos pontos localizados. Um exemplo de mesa plana é ilustrado na **figura 4**.

Figura 4: mesa plana

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/internetarchivebookimages/14782256895/in/photostream/>

No levantamento com a mesa plana não eram necessários dados de campo para posterior plotagem no escritório, o topógrafo criava o mapa ao passo que levantava os dados. Isto é, delineava a linha de costa, esquematizava os contornos, mapeava os trajetos e outras feições topográficas em campo, enquanto o terreno estava sob olhar panorâmico deste. Todos os ângulos eram medidos graficamente e todas as distâncias eram determinadas visualmente, sendo ambas imediatamente plotadas na planilha de campo pelo topógrafo, sem reter nenhum dado de medidas (SHALOWITZ, 1964).

Utilizando este método e assumindo um controle de qualidade era possível medir distâncias com precisão de 1 metro, enquanto a posição da mesa plana poderia ter um erro de dois a três metros da sua posição verdadeira. Um erro que deve ser adicionado neste cálculo refere-se ao erro de identificação do nível médio do mar no solo, o qual poderia se aproximar de 3 a 4 metros. Pode-se assumir que o erro referente a localização exata do NMM, compreende um erro máximo de 10

metros, podendo ser muito mais acurado que isto. A precisão da linha do NMM nos primeiros levantamentos topográficos era então dependente de uma combinação de fatores unidos à experiência do próprio topógrafo. Entretanto, não eram permitidos que grandes erros se acumulassem, pois através do controle por triangulação checava-se constantemente a precisão do trabalho que estava sendo realizado.

5.1.2 O MÉTODO DE EMERY

A topografia de nivelamento é um dos métodos mais tradicionais de estudo da morfologia praial. Este é frequentemente usado para determinar a elevação da praia em relação ao nível do mar, bem como para medir a elevação de outras características costeiras utilizando deste princípio para a medição de perfis topográficos de praia foi proposto em 1961 por Kenneth O. Emery. Como explicam Bannister, Raymond & Baker (1992), nivelamento é a operação requerida na determinação, ou mais precisamente a comparação de alturas de pontos na superfície da Terra. A qualificação é necessária desde que a altura em um ponto possa ser dada apenas se relacionada a outro ponto ou localização. Se uma série de alturas são dadas relativas a um plano, este plano é chamado *datum*, sendo o nível médio do mar (NMM) usado como tal na topografia, já que torna possível a comparação de alturas internacionalmente.

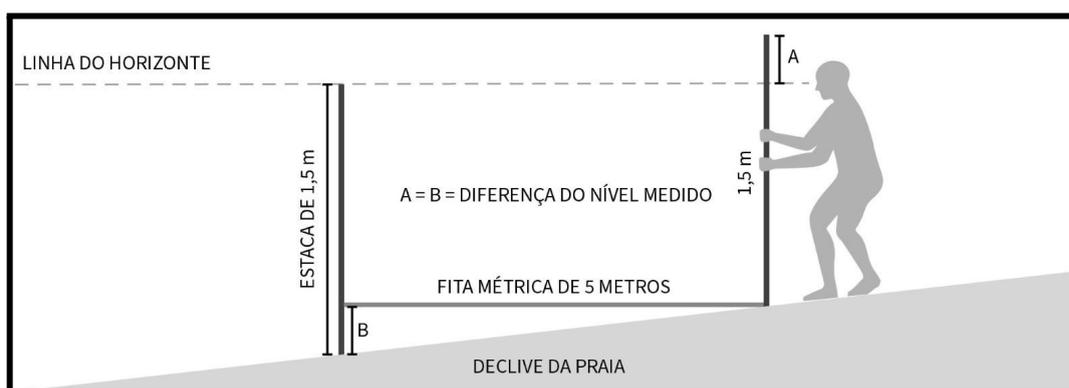
Em seu trabalho “PERFIS DE PRAIA: DEVE O MÉTODO DAS BALIZAS DE EMERY SER ABANDONADO?” de Muehe, Castro & Albino (2020) além de explicar como funciona o relativamente simples método das balizas de Emery foi realizada uma comparação destes resultados do emprego do método das balizas de Emery, do nível topográfico, da Estação Total e do GNSS-RTK. Os resultados encontrados indicam não haver diferenças significativas, independente de qual dos equipamentos for empregado, não se comprovando dessa forma no caso da precisão requerida para perfis de praia, uma relação positiva entre a precisão do levantamento e seu custo.

O método de Emery (1961) envolve o uso de duas balizas, cada uma com 1,5m de comprimento para determinar a diferença de nível ao longo de um perfil. Isso é feito usando a linha do horizonte como referência horizontal e medindo as

distâncias ao longo do perfil com o comprimento das próprias balizas. Para facilitar a leitura da diferença de nível, as balizas são pintadas com faixas de 2cm de largura em cores alternadas (vermelho e branco). Além disso, o uso de uma trena métrica acelera o processo de medição e permite ajustar os pontos de leitura de acordo com as variações topográficas (MUEHE; CASTRO & ALBINO, 2020).

Para minimizar erros tanto de altura quanto de distância causados pela inclinação das balizas durante a leitura é recomendado o uso de um nível de bolha (popularmente conhecido como nível de pedreiro). Este é um processo simples, mas suficientemente preciso, especialmente em ambientes como praias arenosas, onde pequenas variações centimétricas já são significativas. Além disso, a fixação de fita métrica em cada baliza torna a leitura das diferenças de nível mais rápida.

Figura 5: ilustração do método de Emery (1961)



Fonte: autor

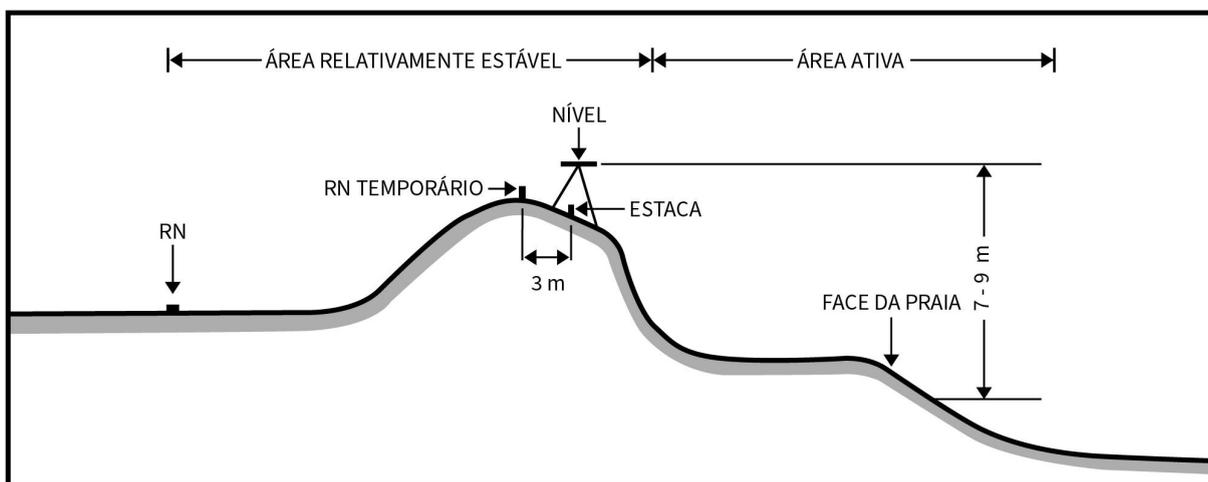
O método ilustrado na **figura 5** foi introduzido no Brasil pelo geólogo Renato Kowsmann ao realizar o monitoramento de um perfil na Praia de Copacabana (MUEHE; CASTRO & ALBINO, 2020). Este foi posteriormente amplamente empregado no país passando com o tempo a ser parcialmente substituído pelo nivelamento com teodolito ou, mais frequente, nível topográfico, e mais recentemente pelo emprego da Estação Total e mesmo do GPS diferencial DGPS ou cinemático.

Como descrito por Birkemeier (1981) a precisão de cada ponto utilizando o método de Emery depende da precisão dos pontos anteriores existindo assim possibilidade de grandes erros ocorrerem. Ele também aponta que o método requer que os pontos de levantamento sejam tomados a cada 5 pés (1,5 metros), uma limitação severa em praias longas e planas, não sendo recomendado nestes

ambientes.

Segundo Delgado & Lloyd (2006) existem vários métodos usados para obter a topografia de uma praia. Eles vão desde os mais simples como o conhecido método de Emery (*Horizon Methodology*) até os mais sofisticados usando instrumentos eletrônicos como Teodolito ou Estação Total. Sendo que a maioria dessas metodologias requerem pelo menos duas pessoas para conduzir o perfil. Desde que Emery (1961) descreveu seu método de horizonte simples, um grande número de estudos foi conduzido usando esta técnica. Entretanto, de acordo com as novas demandas em diferentes partes do mundo, e o conhecimento das limitações deste, algumas modificações do método apareceram, como o método *Stadia* (BIRKEMEIER, 1981). Nesta técnica apenas uma régua é utilizada, e as leituras são realizadas com uso de um nível topográfico que fica posicionado sobre um local fixo, como ilustrado na **figura 6**. Recomenda-se a utilização de um nível automático; ele se configura mais rápido e é menos suscetível ao movimento do que um nível de trânsito ou um nível de bolha. Um poderoso telescópio (X30 ou superior) também é recomendado para melhorar a precisão em levantamentos de longas distâncias.

Figura 6: Corte esquemático da localização relativa do RN temporário e posicionamento dos instrumentos



Fonte: adaptado de Birkemeier (1981).

Como as distâncias do levantamento são medidas em relação à localização do instrumento, sua posição na linha do perfil deve ser determinada com precisão. Cada linha de perfil deve ser localizada por um monumento de levantamento permanente feito a partir de um cilindro de concreto de tubo de aço profundamente acionado. A elevação deste monumento deve ser estabelecida, uma vez que servirá

como ponto de referência (RN) para cada levantamento da linha de perfil. O monumento também serve como início da linha de perfil, com todas as distâncias medidas a partir dele (BIRKEMEIER, 1981).

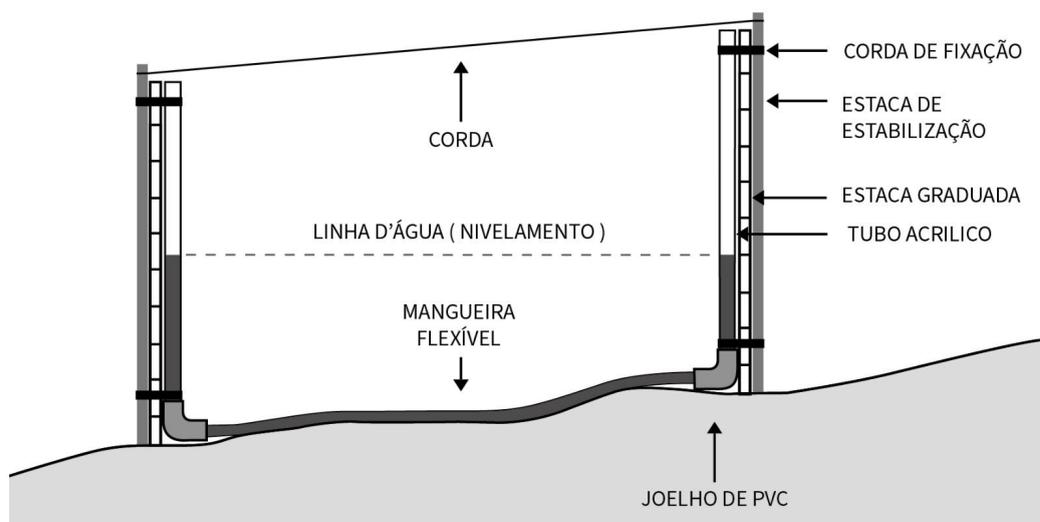
Cotas de referência são normalmente utilizadas através da transferência de elevações conhecidas a estruturas fixadas sobre a praia (RN's), determinando assim um *datum* vertical para os perfis. As distâncias são determinadas indiretamente por duas leituras dos retículos de trânsito na estaca de nivelamento e a elevação e distância de cada ponto de levantamento são independentemente determinados. Portanto os erros não são cumulativos como no método de Emery. O método de Birkemeir (1981) consiste em uma melhoria em relação ao método Emery e pode ser útil quando apenas duas pessoas estejam disponíveis ou quando for necessária uma pesquisa rápida, por exemplo durante avaliações de danos pós-tempestade.

Outras adaptações, conforme proposta de Spagnolo *et al.*, (1992), permitem o uso do método de Emery em grandes praias de difícil acesso, ou mesmo metodologias de topografia praial que necessitam apenas uma pessoa, como descrito por Delgado e Lloyd (2006) em seu artigo "*A Simple Low Cost Method for One Person Beach Profiling*".

5.1.3 NIVELAMENTO COM MANGUEIRA

Um dos métodos mais simples e comuns para se determinar as diferenças de altura na construção civil é o método de nivelamento barométrico, o qual utiliza da relação existente entre a pressão atmosférica e a altitude para determinar as diferentes alturas dentro de um plano horizontal. Em seu trabalho: "*A Simple Method of Measuring Beach Profiles*", Andrade & Ferreira (2006) discorrem sobre um método tradicional alternativo ao método de Emery, baseado no princípio físico dos vasos comunicantes. Esta abordagem ilustrada na **figura 7** afirma que um fluido em vasos (mangueiras) que se comunicam forma uma superfície em equilíbrio hidrostático. Se ambas as extremidades estiverem cheias de água, forem graduadas igualmente e posicionadas verticalmente lado a lado, diferenças de leitura no nível da água entre eles irá indicar uma diferença de altura (ANDRADE & FERREIRA, 2006), permitindo assim que sejam feitas as medições topográficas necessárias.

Figura 7: Esquema do equipamento de nivelamento com mangueira.



Fonte: autor

Conforme explicam os autores, são necessárias ao menos 2 pessoas para condução deste método. Nele, o perfil deve começar em um ponto de referência fixo como a base de um calçadão ou de uma falésia, e ter um alinhamento perpendicular à linha d'água cujo rumo a ser seguido pode ser registrado com uma bússola. As mangueiras são mantidas verticalmente sobre a linha do perfil, apenas tocando a superfície. A distância entre elas é definida pelo comprimento de uma corda amarrada na ponta de ambas as estacas. O comprimento recomendado é de 4–5m. Após a estabilização dos níveis de água nas mangueiras, ambos os observadores registram as leituras das alturas da água nas estacas graduadas. As leituras emparelhadas resultantes são registradas em uma tabela de campo, atentando a consistência na ordem das medições e a correspondência apropriada aos pontos no terreno onde as medições foram realizadas. Os pesquisadores avançam ao longo do perfil alternando suas posições à medida que se aproximam da linha d'água. A última leitura deve ser feita quando a estaca mais distante estiver parcialmente submersa, sendo essencial registrar tanto o horário quanto o nível da água do mar naquele ponto. Isto permitirá estimar com precisão a verdadeira elevação do perfil (ANDRADE & FERREIRA, 2006).

Ainda segundo os autores, este método compara-se positivamente em termos de precisão com instrumentos topográficos padrões, tendo custos significativamente mais baixos, maior portabilidade e maior facilidade de uso, constituindo assim uma alternativa válida ao método de Emery. Além de ser mais rápido, pois a distância

entre as estacas é ajustável ao formato da praia e à quantidade de detalhes, não necessita de horizonte visível, permitindo sua utilização em lagos e em situações de visibilidade limitada causada por feições praias ou condições climáticas, não requerendo correção para a curvatura da Terra.

As diferenças observadas entre o método proposto por Andrade e Ferreira (2006) e as leituras da estação total, a qual foi utilizada para analisar a precisão, são da mesma ordem de grandeza como os relatados por Emery (1961), que registrou diferenças em elevação de até 0,17 pés (aproximadamente 5 cm) para seu melhor perfil. Diferenças de elevação da ordem de alguns centímetros entre perfis diferentes são inevitáveis porque a superfície da praia não é uniforme, sendo que depressões em microescala e feições praias certamente afetarão os resultados. Assim como com o método de Emery, as diferenças verticais geralmente aumentam ao longo do perfil devido à tendência acumulativa dos erros. Sua grande melhoria em relação a este é talvez a possibilidade de uso sobre uma gama mais ampla de situações, independentemente das condições climáticas ou relevo do solo (ANDRADE & FERREIRA, 2006).

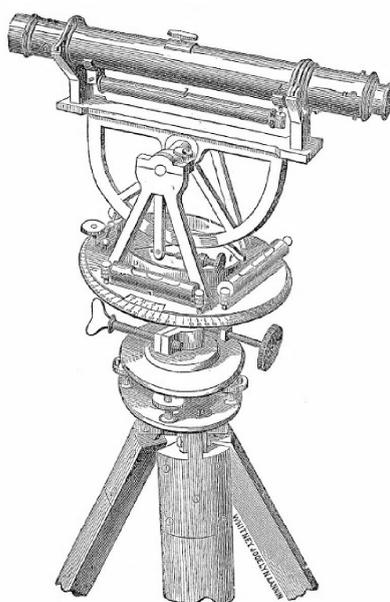
Nas últimas décadas estudos utilizando os métodos citados comprovaram uma alta efetividade amostral em diferentes ambientes costeiros, tanto para questões específicas de pesquisa ou ensino (FERREIRA; SOARES & ANDRADE, 2012). Por serem altamente didáticos, possuírem valores acessíveis e funcionarem em diferentes condições meteorológicas e ambientais estes são e provavelmente continuarão a ser, métodos muito utilizados. No entanto, como aponta Dornbush (2010) para avaliar mudanças geomorfológicas e volumétricas com alta confiança, a representação espacial em 3 dimensões das praias, os processos que atuam ao longo da costa e do perfil praias e uma maior densidade de pontos amostrais da superfície da praia e suas feições são necessárias.

5.1.4 TEODOLITO

Segundo Casaca, Matos & Baio (2014), o termo teodolito foi introduzido por Leonard Digges no seu livro *Pantometria*, publicado na Inglaterra no século XVI. São equipamentos utilizados na topografia e geodésica na medição de ângulos verticais (geralmente zenitais) e ângulos azimutais. Como ilustrado na **figura 8**, consiste em

duas partes principais: uma parte fixa chamada de base, que permite a fixação do teodolito usando um dispositivo de suporte no terreno, como um tripé ou um pilar de estacionamento, e uma parte móvel conhecida como alidade que gira em torno do eixo principal, perpendicular à base. Além disso, eles incluem outras peças, como um prumo óptico para centralizar o teodolito em um ponto no terreno e uma luneta equipada com mira óptica.

Figura 8: o teodolito



Fonte: ilustração à esquerda adaptada de Gillespie (1875)

A mira óptica em direção a um ponto alvo é realizada girando a luneta em torno do eixo principal e do eixo secundário até que a interseção do ponto seja alcançada com os fios da retícula. A leitura do círculo vertical fornece o ângulo zenital da direção estabelecida pelo centro do teodolito até o ponto visado. A leitura do círculo azimutal indica a direção azimutal do ponto visado em relação à origem do círculo horizontal. Para medir um ângulo azimutal é necessário visar dois pontos-alvo, sendo que o ângulo azimutal é determinado pela diferença entre as duas leituras azimutais (CASACA; MATOS & BAIO, 2014).

Um teodolito fornece o ângulo horizontal e vertical referente a um ponto alvo. O ângulo vertical é dado em relação à gravidade e o ângulo horizontal em relação a uma referência selecionada de posição conhecida. Estes ângulos, juntamente com a altitude do teodolito e a posição do ponto de referência horizontal, podem ser usados para calcular a posição do alvo em coordenadas (XY). A precisão destas

coordenadas depende da precisão do teodolito e daquela a qual a altitude do teodolito é referenciada (BAILEY & LUSSEAU, 2004). Em algumas situações a altura do teodolito pode ser calculada usando um marco topográfico de altitude e localização conhecidas, no entanto em localizações remotas com poucas feições topográficas, esses pontos de referência geralmente não estão disponíveis.

O processo de visualização dos objetos em campo é contemplado com o uso de um teodolito mecânico. As visadas com o uso da luneta do teodolito e as leituras no limbo e no vernier nos proporcionam a apuração de ângulos horizontais na busca do levantamento planimétrico. As demarcações são em graus e minutos, uma precisão bem menos apurada que as novas tecnologias, ou seja, uma coleta com maior margem de erro. A utilização do teodolito mecânico tem de se apresentar como uma forma eficaz de entender os processos de coleta de dados em campo com a produção de gráficos e plantas, e a real possibilidade de entender os cálculos de azimutes, rumos e princípios básicos da trigonometria (ROSAS & SOUSA, 2019), sendo assim muito utilizados para o ensino.

Os teodolitos ópticos mecânicos utilizados antigamente em topografia, dispunham de fios suplementares que permitiam deduzir a distância ao ponto visado a partir de leituras sobre uma mira. Estes teodolitos eram chamados de taqueômetros, porque permitiam uma determinação rápida dos pontos visados. Os modernos teodolitos eletrônicos possuem distanciômetros integrados e são por isso designados por taqueômetros eletrônicos ou estações totais (CASACA; MATOS & BAILO, 2014).

Labuz (2016) explica que esta ferramenta óptica (teodolito) fornece dados semelhantes aos simples métodos de nivelamento, mas os dados são mais precisos devido aos ângulos lidos pelo dispositivo. Medições de ângulos e lentes móveis são vantagens ao medir elevações superiores ao comprimento do poste de medição. As medidas dos pontos podem ser feitas livremente em uma superfície, mas exigem mais tempo para registrar os mesmos dados. Esta técnica, segundo ele, não é popular em medições costeiras porque este dispositivo geralmente é mais pesado e mais delicado que um nivelador.

Entretanto existem diversos trabalhos publicados tanto no Brasil quanto no exterior que utilizaram teodolitos com sucesso em suas pesquisas em regiões

costeiras: em estudos sobre processos de rotação praial no litoral de Santa Catarina (VINTÉM; FREITAS; MENEZES & KLEIN, 2006), em estudos avaliativos sobre correntes de retorno, (HUNTLEY; HENDRY; HAINTESS & GREENIDGE, 1988) e até em estudos de caráter biológico, no intuito de identificar a localização e velocidade de cetáceos em mar aberto (BAILEY & LUSSEAU, 2004). Outra importante utilidade do teodolito é descrita por Muehe (1998), a qual compreende a utilização do teodolito empregada com uma mira topográfica no nivelamento da parte submersa de perfis topográficos.

Sendo assim, teodolitos podem servir para uma grande variedade de aplicações, além da determinação de distâncias, alturas de objetos e nivelamento topográfico de alta precisão. Através da aplicação de conceitos básicos de trigonometria e topografia é possível fazer diversas medições em campo utilizando este equipamento. Em resumo, o teodolito é uma ferramenta versátil e precisa que desempenha um papel fundamental no monitoramento detalhado e na análise das mudanças nas regiões costeiras, sendo uma ferramenta útil para pesquisas científicas, estudos de engenharia e gestão ambiental. Por estas razões e também por possuir menor valor comparado aos modernos equipamentos topográficos é comumente utilizado para meios de ensino.

5.2 SURGIMENTO DOS EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

Conforme as tecnologias avançavam teodolitos começaram a ter acessórios e instrumentos que aumentavam sua capacidade e automatização, fornecendo uma grande diversidade de utilidades além da engenharia civil e geomorfologia costeira. Um dos equipamentos que fizeram com que os teodolitos ficassem mais potentes e evoluíssem para equipamentos mais produtivos foram os distanciômetros eletrônicos. Os MED (*measurment electronic devices*) ou distanciômetros eletrônicos se baseiam na emissão, retroflexão e recepção de ondas eletromagnéticas geralmente na banda visível, infravermelho e próximas a micro-ondas. Possuem assim a capacidade de determinar distâncias com diferentes métodos através de ondas eletromagnéticas. Inicialmente estes equipamentos eram acopláveis aos teodolitos, tanto os ópticos quanto os eletrônicos. Estes eram construídos de maneira que seu centro eletrônico coincidissem com o centro geométrico do teodolito. Mais recentemente, generalizaram-se em topografia, os taqueômetros eletrônicos ou

estações totais, constituídos por um teodolito eletrônico e um MED totalmente integrados com partilha de sistemas ópticos, circuitos eletrônicos, sistemas de registro e baterias (CASACA; MATOS & BAIO, 2014).

Uma estação total (ilustrada na **figura 9**) ou EDM (*Eletronic Distance Measurement*) para Huang *et al.* (2002) é um instrumento eletrônico para medir pontos em um espaço tridimensional. Utilizando-se de uma sofisticada componente para medição de ângulos e um sistema de emissão de feixe de laser e reflexão de prisma, ela determina a posição de um alvo através de seu azimute a partir de uma direção básica e a distância medida do ponto de medição.

Figura 9: Estação Total



Fonte: Kok (2021).

Suas principais funções são medir a distância de inclinação, o ângulo vertical e o ângulo horizontal a partir de um ponto de configuração chamado estação do instrumento para um ponto de visada (ARCHANA; NUSRATH & SREEJA 2016). A maioria das estações totais usa um diodo emissor de luz próximo ao infravermelho modulado que envia um feixe do instrumento para um prisma. O prisma reflete este feixe de volta para o instrumento, na qual a porção do comprimento de onda que sai do instrumento e retorna é avaliado e calculado.

Em geral uma estação total pode medir distâncias com uma precisão de cerca de 2 mm + 2 ppm numa distância de cerca de 1 km com precisão de medição angular de até 0,5 segundo de arco. Embora seja considerado o instrumento de levantamento mais preciso não pode ser operado adequadamente em circunstâncias de baixa visibilidade, por exemplo, à noite, neblina, chuva ou neve (LEE, 2013). No

entanto, a precisão operacional e o desempenho destes instrumentos podem variar e ser limitados por uma variedade de fatores, como configuração do equipamento, método operacional, pessoal, local de pesquisa entre outros.

Para Baptista *et al.* (2008) embora seja possível monitorar a morfologia da costa com metodologias convencionais de levantamento terrestre usando estações totais, este procedimento geralmente não é prático para coletar dados de densidade suficiente para construir um modelo tridimensional de longos segmentos do litoral.

Perfis de praia realizados periodicamente por dispositivos clássicos como teodolitos e estações totais foram durante várias décadas, os meios mais diretos e precisos de avaliar mudanças morfológicas em praias arenosas. De toda forma, deve-se mencionar que esta é uma técnica de monitoramento demorada e com limitações práticas quando o objetivo é o levantamento de trechos costeiros que se estendem por vários quilômetros. Nestes casos é comum selecionar áreas amostrais regularmente espaçadas onde os perfis são realizados. A análise desses estudos de áreas é limitada pela densidade de dados em relação à extensão da costa, e muitas vezes torna-se necessário extrapolar os resultados obtidos nos perfis normais da costa às restantes áreas (BAPTISTA *et al.*, 2008).

Sendo assim, a principal questão a se observar na escolha da utilização de uma estação total ou teodolito deve ser a produtividade. Com o teodolito, o levantamento topográfico é muito lento, pois na maioria dos modelos as leituras de ângulos devem ser anotadas manualmente, além disso, se não possuir acessórios ele não realiza a leitura de distâncias. Já com a Estação Total o processo é mais rápido, pois ela mede e armazena eletronicamente as informações de ângulos e distâncias. Um exemplo de aplicação de teodolito é na topografia industrial, que necessita de um altíssimo nível de precisão de posicionamento/alinhamento de máquinas (BANNISTER; RAYMOND & BAKER, 1992). Desta maneira se utilizam teodolitos muito precisos para realizar esse tipo de trabalho. Uma Estação Total geralmente é superior a um teodolito devido à sua integração e também por seus componentes eletrônicos digitais. No entanto, as estações totais são muito mais caras e exigem não apenas treinamento de levantamento, mas também treinamento específico sobre equipamentos e *softwares*.

Ao concluir trabalhos de levantamentos topográficos que abrangem grandes áreas, especialmente em terrenos com relevo acidentado, uma Estação Total proporcionará os resultados mais confiáveis e precisos, além de uma maior produtividade. Para parcelas simples de áreas menores, um teodolito pode ser suficiente, sem contar que existem modelos que fornecem altíssima precisão, desde que utilizados de forma correta (MCCORMARC, 2014).

5.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

5.3.1 INÍCIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

Desde o início da civilização o homem olha para o céu em busca de sinais. Alguns desses homens tornaram-se especialistas em decifrar o mistério das estrelas e desenvolveram regras para governar a vida com base em suas posições. O momento exato para plantar era um dos eventos que foram preditos pelos primeiros sacerdotes astrônomos que em essência foram os primeiros topógrafos do mundo. Hoje sabemos que o alinhamento de tais estruturas como as pirâmides e Stonehenge foram realizadas por observações e que as próprias estruturas foram usadas para medir a época de eventos celestiais. As técnicas e desenvolvimentos desde esses primeiros astrônomos até o atual uso dos satélites reflete o desejo do homem de ser capaz de dominar o tempo e o espaço e de usar a ciência para melhorar sua sociedade. O papel do “agrimensor” na sociedade permaneceu inalterado desde os primeiros dias; isto é, determinar os limites da terra, fornecer mapas do seu ambiente, e controlar a construção de obras públicas. (WELLENHOF; LICHTENEGGER & COLLINS, 1992).

De acordo com Casaca, Matos & Baio (2014) os primeiros satélites artificiais da Terra tinham objetivos essencialmente geodésicos, ou seja, determinar a forma e dimensões do Geóide que habitamos. A União Soviética foi responsável por lançar o primeiro satélite em 1957, denominado Sputnik, o qual era uma esfera de aproximadamente 58,5 cm pesando 83,6 kg. Sua função básica era transmitir um sinal de rádio, "beep", que podia ser sintonizado por qualquer radioamador nas frequências entre 20,005 e 40,002 MHz, emitidos continuamente durante 22 dias até 26 de outubro de 1957, quando as baterias do transmissor esgotaram sua energia. Além de estudar as propriedades da superfície terrestre, serviu para analisar as

capacidades de lançamento de cargas úteis para o espaço e efeitos da ausência de peso e da radiação sobre organismos vivos.

Alguns dos primeiros satélites eram como grandes balões com algumas dezenas de metros de diâmetro, destinados a materializar uma triangulação espacial observável com métodos fotogramétricos sendo denominados satélites passivos (CASACA; MATOS & BAILO, 2014). As altitudes destes satélites de aproximadamente 1.000km permitiam que o reflexo da luz solar fosse visível à vista desarmada (nua) possibilitando o registro fotográfico das suas órbitas, com câmeras fotográficas em estações terrestres. Alguns destes eram cobertos por refletores permitindo a medição das suas distâncias a estações terrestres por impulsos a laser. Estes satélites permitiram o posicionamento de algumas dezenas de pontos de controle com grande precisão. O primeiro satélite geodésico ativo foi lançado pela NASA em 1975, o qual transportava em sua órbita circular equipamentos para medições por *laser ranging* e *Contagem Doppler* integrada e ainda um sistema de radar com funções altimétricas. O satélite oceanográfico SEASAT I foi colocado em órbita em 1978 numa altitude de aproximadamente 800km dispondo de um poderoso radar altimétrico, cujos dados permitiram a melhor caracterização do geóide até então (CASACA; MATOS & BAILO, 2014).

O antecessor do sistema de posicionamento atual é o Sistema de Satélite de Navegação da Marinha (NNSS), também chamado de sistema TRANSIT. Este sistema era composto por sete satélites orbitando em altitudes de cerca de 1.100 km com órbitas polares quase circulares. O sistema TRANSIT foi desenvolvido pelos EUA, principalmente para determinar as coordenadas dos navios e aeronaves militares. O uso civil deste sistema de satélite foi eventualmente autorizado e o sistema tornou-se amplamente utilizado em todo o mundo, tanto para navegação como para levantamentos topográficos. Equipados com emissores de banda das ondas de rádio foram amplamente utilizados no estabelecimento, unificação e reforço de várias redes geodésicas em todo mundo, sendo oficialmente desativado em 1996, quando o segmento espacial do GPS atingiu sua configuração final (WELLENHOF; LICHTENEGGER & COLLINS, 1992).

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) foi desenvolvido para substituir o sistema TRANSIT devido a duas principais deficiências do sistema anterior; a sua

deficiente cobertura espacial e a relativamente baixa precisão que proporcionava na navegação, onde navegadores tinham que esperar horas para que os satélites através da triangulação fornecessem suas posições. Em contraste, o atual sistema GPS responde às perguntas “Que horas, que posição e qual é a velocidade?” de forma rápida, precisa e econômica em qualquer lugar do globo a qualquer momento (REMONDY, 1991).

Para fornecer uma capacidade de posicionamento global contínua, um esquema para orbitar um número suficiente de satélites para garantir que quatro fossem sempre visíveis eletronicamente foi desenvolvido para o GPS. Vários esquemas foram propostos e descobriu-se que 21 satélites uniformemente espaçados colocados em órbitas de 12 horas inclinadas 55° em relação ao plano equatorial forneceriam a desejada cobertura pelo menor custo. Em qualquer caso, a constelação fornece um mínimo de quatro satélites em boa posição geométrica 24 horas por dia em qualquer lugar do planeta. Os satélites GPS são configurados, principalmente, para fornecer ao usuário a capacidade de determinar sua posição expressa por latitude, longitude e elevação (WELLENHOF; LICHTENEGGER & COLLINS, 1992). Isto é alcançado pelo simples processo de ressecção usando as distâncias medidas aos satélites.

A Rússia possui um sistema em operação equivalente ao GPS, chamado GLONASS. Este sistema está completo desde 1996 e é constituído por 24 satélites, em 3 órbitas circulares. Atualmente alguns receptores permitem receber, simultaneamente, as mensagens GLONASS e GPS possibilitando a utilização conjunta e integrada dos dois sistemas de posicionamento espacial fornecendo uma maior precisão.

Conforme Casaca, Matos & Baio (2014) os sistemas de posicionamento espacial têm conquistado um papel muito significativo nos métodos de posicionamento utilizados na geodésia e mais recentemente na topografia. Segundo eles, a tendência de redução dos preços acompanhada pelo aumento da mobilidade e da capacidade dos receptores disponíveis no mercado proporcionaram a popularização destas tecnologias em diversos fins, além do uso em posicionamento, geodésia e topografia.

Da perspectiva do usuário os satélites GPS fornecem três tipos de informação: a transmissão efemérides, pseudodistância e fase portadora. A efeméride de transmissão fornece aos usuários a informações de posição do satélite. O pseudo-intervalo fornece uma medição direta da relação satélite para distância do receptor, mas é influenciado pelo erro no receptor do usuário (daí pseudorange). A medição da fase portadora é a diferença entre a fase da onda portadora de entrada e a fase do sinal de referência gerado pelo receptor GPS (MORTON *et al.*, 1993).

Quando nos referimos às técnicas de observação, mais especificamente ao levantamento GPS de alta precisão, nos referimos à medição precisa do vetor entre dois (ou mais) instrumentos GPS. A técnica de observação onde ambos os receptores envolvidos permanecem fixos em posição é chamado de levantamento "estático". O método estático exigia horas de observação e era a técnica utilizada principalmente para os primeiros levantamentos GPS. Uma segunda técnica onde um receptor permanece fixo enquanto o segundo movimenta-se é chamado de levantamento "cinemático" (WELLENHOF; LICHTENEGGER & COLLINS, 1992). Remondi (1986) demonstrou pela primeira vez que precisões vetoriais subcentimétricas poderiam ser obtidas entre um par de instrumentos de levantamento GPS com apenas alguns segundos de coleta de dados usando este método.

A utilização do método cinemático acoplado a um veículo ilustrado na **figura 10**, foi apresentada por Morton *et al.*, (1993). Este envolve a coleta de posições GPS precisas paralelas ou perpendiculares à costa por um veículo em movimento, permitindo a geração de uma superfície de praia bidimensional precisa. Os resultados mostraram que as medições GPS concordam com levantamentos convencionais perpendiculares à costa com uma precisão de 1 cm, e medições GPS repetidas usando o veículo em movimento demonstram uma precisão superior a 1 cm. Além disso, a amostragem quase contínua e a maior resolução fornecida pela técnica de levantamento GPS revelam mudanças ao longo da costa na morfologia da praia que não são detectadas pelos métodos convencionais de levantamento perpendiculares à costa.

Figura 10: configuração do equipamento GPS para o levantamento cinemático.



Fonte: Morton *et al.* (1993)

5.3.2 GPS DIFERENCIAL (DGPS)

Segundo Morton *et al.*, (1993) usuários que necessitam de altas precisões em seus levantamentos empregam uma técnica específica na coleta e processamento dos dados, chamado gps-diferencial (DGPS). Este é um sistema de coleta e processamento de dados na qual dois ou mais receptores rastreiam os mesmos satélites simultaneamente. Um receptor fica localizado sobre um ponto de referência conhecido, sendo a posição de um ponto desconhecido determinado relativo ao ponto de referência. Como os erros na posição pelo GPS são essencialmente os mesmos dentro de uma área limitada (raio de 500 km), os erros podem ser calculados e corrigidos usando a técnica diferencial. Isto permite uma precisão de posição diferencial muito maior comparada a precisão normal do sistema GPS que reside em um único receptor operando de forma autônoma (MORTON *et al.*, 1993).

A técnica de posicionamento "diferencial" de acordo com Wellenhof, Lichtenegger & Collins (1992) envolve a fixação de um receptor de rastreamento em um local de posição conhecida (georreferenciado). Comparando pseudo faixas

calculadas com pseudo faixas medidas o receptor de referência pode transmitir correções em um receptor itinerante para melhorar seus pseudo-intervalos medidos. Esta técnica fornece um posicionamento preciso em tempo real no nível de um metro. Conseqüentemente ele atende a muitos requisitos ditados pela complexidade das tecnologias modernas de nossa civilização.

Levantamentos cinemáticos com GPS envolvem a coleta de dados enquanto a antena do receptor móvel está em movimento. O movimento da antena pode ser inter-intermitente (*stop-and-go*) ou contínuo (*fully-Kinematic*). Para levantamentos cinemáticos inter-intermitentes, o usuário normalmente está em terra e interessado em levantamentos de uma série de pontos estacionários. A operação envolve parar durante uma pesquisa ponto por ponto, num tempo suficiente para empregar a média para reduzir erros aleatórios e depois passar para o próximo ponto (MORTON, *et al.*, 1993). Normalmente alguns minutos de coleta de dados em cada ponto são suficientes. Levantamentos cinemáticos inter-intermitentes e técnicas convencionais de levantamento que utilizam teodolito e estacas ou estações totais são semelhantes porque todas essas técnicas coletam dados estáticos em uma série de pontos discretos. Diferente destes, os levantamentos totalmente cinemáticos são projetados para posicionamento rápido em nível centimétrico em plataformas em movimento onde o caminho do veículo ou trajetória da plataforma é o foco. Para levantamentos totalmente cinemáticos, uma posição independente é calculada cada vez que o receptor móvel obtém uma correção. A densidade de posições computadas é determinada pela velocidade no trajeto e a taxa de amostragem do receptor.

Para Huang, Jackson & Cooper (2002) o levantamento topográfico por DGPS difere significativamente do uso de estações totais em uma área-chave de operação. Isto ocorre porque a técnica de levantamento cinemático une as tarefas de observar e ocupar um ponto, onde toda a operação de levantamento ocorre em uma unidade que se movimenta. Isto significa que não há necessidade de uma pessoa estar em um ponto de referência, ou seja, ambos os membros da equipe de campo podem ocupar e observar pontos transversais. Eles também explicam que estudos quantitativos em geomorfologia costeira muitas vezes exigem a coleta de séries de dados com alta resolução temporal e espacial, especialmente se o objetivo for examinar alterações praias em curtos períodos de tempo.

As praias são ambientes quase ideais para levantamentos utilizando GPS porque o campo de visão nestes ambientes normalmente é desobstruído, não ocorrendo estruturas que possibilitem a interferência de sinal de satélite. Por outro lado, levantamentos com GPS podem não ser práticos ao longo de algumas costas desenvolvidas onde edifícios altos e pouco espaçados podem interferir nos sinais de satélite (MORTON *et al.*, 1993). Estruturas isoladas perto da praia podem causar pequenos sombreamentos ou quedas de sinal, enquanto grandes e altas construções podem bloquear totalmente o sinal dos satélites no horizonte ou causar reflexões suficientemente graves para invalidar as pesquisas.

Perfis paralelos à costa, segundo Morton *et al.* (1993) adicionam uma nova dimensão para o monitoramento de praias que revela variabilidade morfológica ao longo da costa e sugere direções de transporte de sedimentos. Por exemplo, em uma praia onde a superfície parecia plana num primeiro olhar, levantamentos cinemáticos por GPS revelaram um caráter ondulatório ao longo da costa. Perfis praias paralelos à costa podem ser ainda mais importantes do que os tradicionais perfis transversais, no que diz respeito ao monitoramento de feições e elevações praias e sua relação com os ciclos sazonais, processos de tempestade e processos de recuperação pós-tempestade.

Tradicionalmente o monitoramento de praias foi feito através de perfis topográficos perpendiculares a linha de costa usando técnicas clássicas de topografia como estações totais, teodolitos e nivelamento (PARDO-PASCUAL *et al.*, 2005). Estes métodos são trabalhosos e requerem geralmente pelo menos 2 pessoas, além de consumirem um tempo significativo na coleta dos dados. Uma alternativa tradicional é o uso da fotogrametria que permite a medição de todo o terreno. No entanto é também muito trabalhoso, especialmente na fase de restituição e requer o uso de fotografias aéreas atualizadas. Na última década, métodos foram desenvolvidos que resolvem automaticamente a restituição obtendo diretamente modelos digitais de superfície do terreno a partir de operações fotogramétricas iniciais. No entanto, a sua aplicação em zonas costeiras nem sempre teve uma qualidade aceitável (PARDO-PASCUAL *et al.*, 2005).

As medições de pontos GPS referem-se aos levantamentos com GPS diferencial (DGPS), porque somente estas produzem pontos a um nível de precisão

necessário para levantamentos no ambiente praias. Apesar da elevada precisão da técnica GPS diferencial, os procedimentos metodológicos geralmente adotados, que estão relacionados a métodos de levantamento a pé, não permitem um monitoramento produtivo de amplas áreas de praia. O desenvolvimento de novas metodologias DGPS para monitoramento de costas arenosas exigem sistemas produtivos e eficientes que utilizem veículos terrestres apropriados para circular na areia (BAPTISTA *et al.*, 2008).

Um dos métodos mais modernos utilizado no monitoramento de praias que combinam a alta capacidade de posicionamento por satélites com níveis de precisões centimétricas e que possibilitam o levantamento de grandes áreas, através de perfis transversais e ao longo da costa, que podem ou não estar acoplados a veículos terrestres são os chamados DGPS-RTK (PARDO-PASQUAL, 2005), como ilustrado na **figura 11**.

Figura 11: GPS-RTK acoplado a um quadriciclo



Fonte: <https://www.usgs.gov/media/images/atv-gps>

O sistema GPS-RTK recebe o sinal de satélite simultaneamente com pelo menos dois receptores GPS. Um deles está localizado em uma coordenada conhecida como estação de referência; os outros realizam a medição da coordenada no ponto desconhecido como estação móvel que pode estar em estado móvel ou estático. Assim, um sistema de posicionamento GPS-RTK geralmente inclui uma estação de referência, estação móvel e sistema de comunicação, como ilustrado na **figura 12**.

Figura 12: antena base e coletora de dados.



Fonte: <https://www.flickr.com/photos/alaskanps/28235425796/in/photostream/>

No modo de operação RTK, a estação de referência recebe o sinal GPS do satélite e envia suas informações de coordenadas da estação de observação para a estação móvel por meio da cadeia de dados (XU, 2012). Em seguida, a estação móvel realiza a correspondência, calcula o valor de correção de diferença para cada satélite e modula o sinal de rádio. A estação móvel não apenas coleta dados da estação de referência por meio da cadeia de dados, mas também reúne os dados de observação GPS e compõe as observações diferenciais no sistema para realizar o processamento em tempo real. A estação de referência calcula o valor modificado da distância do satélite de acordo com sua coordenada precisa. O valor modificado é enviado para a estação móvel para corrigir o resultado da posição, o que pode melhorar significativamente a precisão da posição. O GPS-RTK oferece dois tipos de soluções: flutuante e fixa. A solução flutuante requer pelo menos 4 satélites comuns e oferece uma precisão de cerca de 20 cm a 1 m. A solução fixa requer pelo menos 5 satélites comuns e oferece precisão dentro de 2 cm. A chave do RTK é principalmente a rápida determinação da ambiguidade inteira e a realização da transmissão de dados com alta confiabilidade e resistência a interferências fortes (XU, 2012).

Segundo Baptista *et al.*, (2008) levantamento topográfico que combinam observações do sinal GPS entre duas ou mais estações são denominados de técnicas de posicionamento relativo ou diferencial. O termo diferencial indica diferenças observáveis entre estações levantadas e conhecidas. No posicionamento

relativo, uma das estações possui coordenadas conhecidas. Ao observar as coordenadas no mesmo ponto o equipamento é capaz de realizar o processamento computacional das informações. Ao conhecer a diferença é possível corrigir os erros das coordenadas obtidas. O processamento das correções pode ser realizado em tempo real quando as estações possuem comunicação via rádio, e neste caso o método é denominado posicionamento relativo cinemático em tempo real ou GPS-RTK. Quando o processamento dos dados é realizado posteriormente, trata-se do método de posicionamento relativo cinemático pós-processado.

O pós-processamento de acordo com (ARCHANA; NUSRATH & SREEJA 2016) é utilizado para obter posições precisas de pontos desconhecidos ao relacioná-los com pontos conhecidos. As medições GPS são geralmente armazenadas na memória do computador nos receptores GPS e posteriormente transferidas para um computador que executa o *software* de pós-processamento GPS. O *software* calcula linhas de base usando medições simultâneas de dados de dois ou mais receptores GPS. A linha de base representa uma linha tridimensional desenhada entre os dois pontos ocupados por cada par de antenas GPS. As medições pós-processadas permitem um posicionamento mais preciso, porque a maioria dos erros do GPS pode ser cancelada nos cálculos, já que afetam ambos os receptores de forma mais ou menos igual. Medidas diferenciais do GPS também podem ser calculadas em tempo real por alguns receptores GPS, se receberem um sinal de correção usando um receptor de rádio separado, por exemplo, em levantamentos ou navegação cinemáticos em tempo real (RTK).

O GPS-RTK trata-se de um sistema que agiliza tanto os trabalhos de campo quanto o processamento de dados obtidos. A principal característica do GPS-RTK é a obtenção de posições com correção em tempo real atingindo grandes precisões, especialmente com uma linha de base curta. Os equipamentos DGPS-RTK são de fácil manuseio e seus instrumentos são altamente integrados. É uma ferramenta que pode substituir levantamentos tradicionais (XU, 2012).

Rocha, Araújo & Mendonça (2008) realizaram levantamentos de morfologia de praia com receptor GPS geodésico instalado sobre uma estrutura para transporte semelhante a um carro de mão, a técnica foi denominada pelos autores de 3D-GPS. Na mesma linha, Baptista *et al.* (2008) aplicaram o sistema dupla antena, que é bem

mais robusto e diminui os erros associados ao levantamento. Entretanto, esta técnica exigiu o auxílio de um veículo quadriciclo para transporte do receptor. Em ambientes sem acesso a veículos motorizados ou no levantamento de superfícies acidentadas a utilização do DGPS-RTK por caminhamento como mostra a **figura 13** é uma alternativa.

Figura 13: levantamento topográfico por caminhamento



Fonte: autor.

A realização do monitoramento praias utilizando o DGPS-RTK requer pesquisa das monografias dos marcos geodésicos e dos referenciais de nível existentes no entorno. Portanto, é necessário realizar atividade de campo prévia para implementação dos pontos de apoio topográfico. Somente após a rede de apoio topográfico implementada podem ser iniciadas as atividades de levantamento utilizando o DGPS-RTK. O posicionamento preciso destes pontos é uma atividade primordial no método do DGPS-RTK, principalmente quando se pretende realizar monitoramentos de qualidade sobre variações no ambiente praias.

Huang, Jackson & Copper (2002) demonstraram que a técnica de levantamento DGPS-RTK fornece levantamentos topográficos e de controle com alta resolução, permitindo a detecção de variações na superfície da praia na ordem de limites de 1 cm na horizontal e 2cm na dimensão vertical. Sendo assim muito recomendado para avaliar alterações praias em pequenas escalas de tempo, como na avaliação de impacto de tempestades e monitoramento de obras de alimentação artificial de praias.

Um sistema DGPS em tempo real tem a vantagem de que a precisão do

ponto coletado pode ser verificada durante o levantamento, e que se necessário a pesquisa pode ser alternada para o modo estático e voltar de novo ao início (DORNBUSH, 2010). Algumas desvantagens segundo PASCUAL *et al.* (2005) são: pelo menos seis satélites devem ser monitorados continuamente, a distância entre os receptores deve ser menor que 10Km, e as coordenadas resultantes são referenciadas para um sistema de referência global em vez do sistema geodésico local. Também é verdade que existe uma preocupação com a precisão dos dados GPS-RTK adquiridos sob condições de movimento rápido, especialmente em casos de levantamento de praias arenosas de macromarés com uma morfologia com poucas feições e plana (geralmente inclinação da praia $< 1/40$), nas quais a precisão dos dados de elevação são mais importantes do que dados de posição horizontal no cálculo da taxa de erosão e acreção (LEE, 2013).

5.3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG'S)

De acordo com Mitsova *et al.* (2003) tecnologias usadas no monitoramento e estudos costeiros como LIDAR e DGPS-RTK produzem grandes quantidades de dados, os quais são geralmente acompanhados por sobre amostragem e ruídos. Como os fenômenos físicos e as mudanças na morfologia praial são muitas vezes sutis, além da precisão estatística uma representação adequada da geometria da superfície é crucial para a interpretação correta dos dados medidos em campo. De qualquer forma, estas novas tecnologias melhoraram significativamente a capacidade de coletar dados georreferenciados em resoluções espaciais e temporais sem precedentes. Sendo assim, a elevada capacidade de obtenção e geração de dados advindos das tecnologias modernas geram a necessidade de compartimentação, tratamento, análise e interpretação destes, com ajuda de *hardwares* e *softwares* computacionais.

Como explicam Bogaerts & Kraak (1989), quando os computadores começaram a ser ferramentas importantes sua principal utilização era como um inventário para dados. Estes eram observados, coletados, classificados e armazenados. Com o passar do tempo, os usuários destas tecnologias viram a necessidade de realizar análises espaciais destes dados. A partir disto, atualmente sistemas de informações geoespaciais (SIG's) fornecem a capacidade de análise e utilização de dados geográficos para os mais diversos fins. Segundo eles, os SIG's

eram usados primordialmente como um meio de armazenamento de dados e mapas, sendo que seus primeiros avanços de capacidade se deram nas áreas da silvicultura e no registro de terras. No entanto, conforme os avanços tecnológicos ocorriam, sistemas modernos ofereciam mais utilidades, como no cálculo de rotas alternativas, planejamento espacial e até linkando base de dados específicos com bases de dados espaciais, como no caso de dados de mapas terrestres e topográficos.

Desenvolvimentos na aplicabilidade e das ferramentas, bem como o surgimento de SIG's de código aberto, criaram uma oportunidade para ampliar a gama de aplicações a novas áreas e novos tipos de dados, incluindo oceanografia e estudos costeiros. Sistemas tridimensionais avançados aumentaram substancialmente a eficiência do processamento dos dados e forneceram as ferramentas para obter novos resultados sobre aspectos geoespaciais de complexos sistemas (MITASOVA *et al.*, 2003).

Nas últimas décadas sistemas SIG's, também conhecidos como GIS (*Geographic Information System*) possuem diversas utilidades através do uso de mapas e informações geográficas (ARCHANA, NUSRATH & SREEJA, 2016). No que diz respeito ao monitoramento das regiões costeiras, Jiang, Hao & Fu (2016) explicam como os sistemas GIS's contribuem nestes estudos. Segundo eles, é um sistema para a coleta, armazenamento, gerenciamento, operação, análise, exibição e descrição de dados geográficos em suporte aos sistemas computacionais de *hardware* e *software*. Possui capacidades de análise espacial, pode armazenar e gerenciar grandes quantidades de dados espaciais complexos e dados de atributos, e pode usar bancos de dados espaciais para a análise abrangente de múltiplos fatores com quantidade, qualidade e localização.

5.4 SENSORIAMENTO REMOTO E ESTADO DA ARTE

De acordo com Micunovic, Faivre & Gasparovic (2021), os levantamentos e técnicas de análise morfológicas de praias podem ser diretos ou indiretos. Métodos diretos referem-se a tecnologias e técnicas de medições *in situ* usando GNSS ou medições topográficas, já os indiretos são referentes a dados de sensoriamento remoto de satélites e fotografias aéreas. Atualmente, robustos bancos de dados de imagens de satélite de qualidade relativamente alta, cobrindo um longo período de

tempo com grande cobertura espacial influenciam um número crescente de pesquisas relacionadas aos monitoramentos das regiões costeiras.

O programa nacional de monitoramento geodésico dos Estados Unidos, hoje vinculado à NOAA, possui registros oficiais do final do século XIX, que apontam a fotografia como sendo uma ferramenta muito útil no mapeamento e reconhecimento de áreas. Eles utilizaram primeiramente a mesa plana e o monitoramento por câmeras para mapear as fronteiras entre o Canadá e o Alasca em 1894. Já no início dos anos 1900 's, câmeras aéreas com múltiplas lentes possuíam um campo de visão muito mais amplo, por isso foram usadas com dirigíveis (balões dirigíveis) e eventualmente, com aviões. Em 1919 este órgão do governo começou a investigar fotografias aéreas para compilar a topografia costeira. Desde o final da década de 1930, as fotografias aéreas tornaram-se a principal fonte de informações costeiras nas cartas náuticas americanas. Forneciam também informações para definir as fronteiras, tomar decisões na gestão costeira e no mapeamento de locais de catástrofe para apoiar o esforço de recuperação, além de outras aplicações. Atualmente o programa de mapeamento costeiro americano utiliza técnicas adicionais de sensoriamento remoto, principalmente com imagens digitais multibanda e Lidar para produzir mapas costeiros (NOAA, 2023).

Segundo Casaca, Matos & Baio (2014), a fotogrametria é a disciplina que se ocupa da medição, análise e interpretação de "fotogramas" com intuito de classificar, determinar posições e dimensionar os objetos e feições nelas representados. Estes apontam a existência de esforços europeus no século XIX, assim como os americanos, no sentido de utilizar imagens para compor mapas topográficos, sendo os maiores avanços nesta ciência relacionados às duas grandes guerras, nas quais eram utilizadas principalmente em atividades de reconhecimento de terreno.

O termo sensoriamento remoto foi introduzido na década de 1960 pelos geógrafos do *US office of Naval Survey* como resignação dos métodos para coleta de informação geográfica, isto é, da informação referente a fenômenos distribuídos espacialmente na superfície da Terra, por medição e interpretação de imagens fotográficas e digitais, obtida a partir da energia eletromagnética por ela emitida e refletida. A fotogrametria é atualmente considerada como uma área específica do sensoriamento remoto (CASACA, MATOS & BAIIO, 2014). Outro termo relativamente

moderno, como apontam McCormac, Sarasua & Davis (2016), é a chamada geomática. Eles apontam que em 1988 a *Canadian Association of Aerial Surveyors* introduziu o termo para englobar disciplinas de topografia, mapeamento, sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. Em seu estudo, eles definem a geomática como sendo uma abordagem relativa à medição, análise, gerenciamento, armazenamento e apresentação de descrições e localizações de dados espaciais.

O estudo publicado por Splinter, Harley & Turner (2018) fornece uma visão geral da evolução dos métodos utilizados e do impacto científico internacional que mais de 40 anos de monitoramento na praia de Narrabeen-Collaroy, ao longo da costa sudeste da Austrália. Este programa de monitoramento de praias, desde seu início utilizou principalmente o método de Emery (1961) se desenvolvendo e adaptando aos avanços tecnológicos até os dias atuais, onde a aplicação da coleta de dados por sensoriamento remoto incluindo drones, satélites e imagens de *smartphones* coletadas coletivamente, são agora aspectos centrais desse esforço de monitoramento contínuo.

Os primeiros 30 anos de monitoramento concentraram-se em métodos *in-situ*, através dos quais a crescente base de dados mensais de pesquisas de perfil praias informaram a comunidade científica costeira sobre processos fundamentais neste ambiente, como evolução dos estágios praias e o papel do transporte de sedimentos através e ao longo da costa. Em meados da década de 2000, o monitoramento contínuo baseado em vídeo foi a primeira aplicação de sensoriamento remoto no estudo, proporcionando maior resolução temporal e espacial em relação aos tradicionais levantamentos topográficos mensais. A implementação de vídeo como a primeira em uma gama agora em rápida expansão de ferramentas e técnicas de sensoriamento remoto também facilitou muito o acesso mais amplo da comunidade de pesquisa internacional ao programa contínuo de coleta de dados em Narrabeen-Collaroy (SPLINTER, HARLEY & TURNER, 2018).

No passado, os levantamentos de praia utilizavam medidas simples e instrumentos que combinavam cordas, estacas e mapas. Em certo momento sistemas GNSS de baixa precisão foram utilizados para mapear e traçar perfis de praias. Hoje, técnicas de sensoriamento remoto são mais comumente utilizadas e

geralmente combinadas com medições de campo por GNSS. Na última década os dados de sensoriamento remoto tornaram-se prontamente disponíveis e têm melhor resolução espacial e temporal, portanto o número de estudos que utilizam métodos de detecção remota aumenta constantemente na literatura (MICUNOVIC, FAIVRE & GASPAROVIC, 2021).

De acordo com Gorman, Morang & Larson (1998), os tipos de análises e interpretação que podem ser performados por fotografias aéreas dependem em parte das escalas das fotografias, da resolução, e da porcentagem de cobertura de nuvens. Segundo eles, uma das maiores vantagens destas técnicas refere-se à capacidade de rápida mobilização de equipamentos fotográficos e aéreos na documentação de grandes eventos climáticos, como furacões e inundações. Aeronaves podem cobrir grandes áreas em pouco tempo e podem sobrevoar e amostrar terrenos que não estão acessíveis por terra. Para fins de caracterização morfológica de praias é importante que seja feita a amostragem durante maré baixa, para que as feições sejam todas observadas.

Antes da instalação do monitoramento contínuo por vídeo em Narrabeen em 2004, grupos nos Estados Unidos e na Europa começaram a experimentar métodos de sensoriamento remoto baseados em vídeo para monitorar a região costeira duas décadas antes. Um destes métodos consistia em um sistema de câmeras desenvolvido pelo Professor Robert Holman, do Laboratório de Imagens Costeiras da Universidade Estadual do Oregon. Esse sistema foi posteriormente adotado na Austrália e em grande parte da literatura científica. O sistema Argus, que inicialmente gravava em fitas VHS, evoluiu com a tecnologia para a era digital. Um aspecto fundamental foi o desenvolvimento de ferramentas que permitissem aos pesquisadores ratificarem e georreferenciar imagens em um sistema de coordenadas com precisão centimétricas, levando em conta fatores como a velocidade das ondas na região costeira, o ângulo das ondas e a distorção da lente da câmera (SPLINTER, HARLEY & TURNER, 2018).

As imagens contínuas (durante o dia) coletadas por uma estação permanente Argus fornecem imagens com dados de alta resolução temporal e espacial para explorar os principais processos morfodinâmicos que não foram previamente capturados pelos perfis mensais realizados em Narrabeen. Além disso, o uso de

sistemas de câmeras automatizadas também facilita observações e análises “retrospectivas” de rápidas mudanças costeiras, proporcionando garantia de que nenhum evento significativo em um local será “perdido”. A adoção da plataforma Argus em Narrabeen foi muito relevante e facilitou a colaboração e o alcance mais amplo do crescente banco de dados de imagens dentro da comunidade internacional de pesquisa de imagens costeiras (SPLINTER, HARLEY & TURNER, 2018).

De acordo com Arriaga *et al.*, (2012) sistemas de câmeras de vídeo têm sido utilizados para monitorar a praia desde os anos 80, com o desenvolvimento do sistema ARGUS. Desde então, outros sistemas similares foram desenvolvidos como o sistema SIRENA (NIETO *et al.*,2010), BEACHKEEPER (BRIGNONE *et al.*,2012) ou COSMOS (TABORDA & SILVA, 2012), dentre outros. Apesar do aumento recente de drones e imagens de satélite no monitoramento costeiro, o equilíbrio entre a resolução temporal e espacial oferecida por câmeras fixas durante períodos prolongados de tempo (anos) ainda pode fornecer informações únicas, dada a dinâmica do comportamento da praia.

Harley & Kinsela (2019) discorrem sobre um programa inovador de ciência cidadã costeira que explora a tecnologia atual de smartphones e técnicas de processamento de imagem derivado de décadas de avanços de sensoriamento remoto óptico por pesquisadores. O programa CoastSnap tem o benefício de envolver e aproveitar o maior número possível de cientistas cidadãos oportunistas, sem a necessidade de um grande compromisso ou treinamento voluntário. Utilizando-se de uma rede de estruturas instaladas em mirantes costeiros estratégicos como ilustrado na **figura 14**, os voluntários simplesmente colocam o *smartphone* no suporte e tiram uma foto da praia, que é posteriormente partilhada numa base de dados centralizada. O que diferencia o CoastSnap de outros programas de pontos fotográficos são suas técnicas avançadas de processamento de imagem que transformam a coleção de imagens de praia em um conjunto de dados cientificamente rigoroso de posição da linha de costa e outros parâmetros necessários para informar sobre padrões dinâmicos e geomorfológicos culminando em pesquisas específicas e decisões de gestão.

Figura 14: base CoastSnap.



Fonte:

<https://www.environment.nsw.gov.au/research-and-publications/your-research/citizen-science/get-involved/coastsnap>

Outra técnica de monitoramento remoto que se expande por vastas áreas do globo e incluem cobertura regular na maioria das regiões costeiras em todas as condições climáticas são provenientes de imagens de satélites (GORMAN; MORANG & LASON, 1998). A maioria dos dados disponíveis nas últimas décadas possuía resolução de 10m ou mais. Entretanto, apesar da baixa resolução em comparação a vídeos provenientes de fotografias aéreas, imagens satelitais já ajudavam no entendimento de processos costeiros de grandes escalas, especialmente no que diz respeito aos processos que são indicadores de condições geológicas e dinâmica nas superfícies.

Segundo Micunovic, Faivre & Gasparovic (2021) o desenvolvimento e utilização das imagens de satélite no monitoramento costeiro é acompanhado pelo aumento da resolução e qualidade na obtenção de dados. Conseqüentemente, os dados mais antigos só podiam ser usados em pequenas escalas, enquanto imagens atuais atingem resoluções inferiores a 0,5m. Além disso, imagens de satélites têm uma limitação em medições de pequena escala, considerando que são tiradas de grandes altitudes. A **figura 15** a seguir, ilustra a evolução das diferentes missões satelitais.

Figura 15: evolução da resolução das imagens de satélite



Fonte: Turner *et al.* (2021).

Imagens de satélite apresentam enormes vantagens, por exemplo, no estudo de vastas áreas ou de difícil acesso, como acidentes geográficos eólicos ou processos glaciais. Embora o rápido desenvolvimento, o aumento da cobertura global e muitos serviços gratuitos ou relativamente baratos permitem investigações mais fáceis e frequentes, não poderiam substituir a geolocalização tradicional ou o trabalho de campo. Normalmente, o satélite de maior resolução não é suficientemente preciso para determinar mudanças geomorfológicas em pequenas escalas, exigindo técnicas mais avançadas ou trabalho de campo em escala local (MICUNOVIC, FAIVRE & GASPAROVIC, 2021).

Segundo Turner *et al.*, (2021) o sensoriamento remoto por satélite pode fornecer informações para complementar a instrumentação *in-situ* para mapeamento terrestre e marítimo, monitoramento e medição, sendo que na grande maioria das regiões globais, inclusive nos litorais atualmente são a única fonte de dados. O fato de ser disponível publicamente, facilmente acessível e amostrado rotineiramente cobrindo praticamente todas as posições da superfície terrestre, contrasta fortemente com a disponibilidade muito limitada de recursos e dados topográficos ao longo das costas ao redor do mundo.

Brouwer *et al.*, (2015) relatam que no início do século 21 os veículos aéreos não tripulados (VANT's), também chamados de sistema de aeronave pilotada remotamente (RPAS) ou drone tornou-se um dos mais comumente métodos utilizados em geociências devido à sua acessibilidade, facilidade de uso, alta resolução espacial, e qualidade de imagem. Os UAV's são geralmente usados em escala local. Para áreas maiores é melhor combinar dados de satélite ou dados disponíveis de outros sistemas aéreos, como aeronaves. A aquisição de imagens pode ser automática, ou seja, a missão é planejada previamente pelo *software* ou pode ser realizada diretamente pelo piloto. As imagens georreferenciadas coletadas geralmente são processadas por meio de técnicas fotogramétricas resultando em

ortofotos, MED, ou nuvens de pontos. A coleta de dados de UAV em baixa altitude fornece resolução espacial muito alta, variando entre 0,01m e 0,1m (MICUNOVIC; FAIVRE & GASPAROVIC, 2021).

Historicamente pequenos UAVs eram caros, exigiam treinamento especializado, eram limitados por baterias pesadas e de baixa amperagem. Suas primeiras aplicações tinham foco principalmente militar e em atividades públicas de segurança para inspeção, reconhecimento e monitoramento. Nos últimos anos, a chegada de produtos leves com baterias de alta capacidade, equipamentos eletrônicos de baixa potência e câmeras compactas de alta resolução impulsionou o desenvolvimento de UAVs comercialmente disponíveis (ilustrado na **figura 16**). A diminuição nos custos de operação e conseqüente popularização contribuiu muito no seu potencial para a ciência e pesquisa científica (BROUWER *et al.*, 2015).

Figura 16: sistema UAV.



Fonte: Snehrashmi (2019).

A análise e quantificação do balanço sedimentar e a identificação dos processos costeiros dominantes (acréscimo ou erosão) são algumas das diversas utilidades que os RPA's propiciam. O estudo de Araújo *et al.* (2021) analisou a variação sazonal dos reservatórios sedimentares em praias arenosas localizadas na margem insular de uma entrada de maré através de modelos digitais de elevação gerados por drones (RPA's). Em Gonçalves *et al.* (2022) utilizaram RPA's para classificar a morfodinâmica da praia; identificar bermas, canais de correntes de retorno, extrair índices para detectar a variabilidade da linha de costa, avaliar os perfis da praia e avaliar o volume de sedimentos.

De acordo com Bernstein *et al.* (2006) métodos diretos de topografia praial, utilizando perfis praias bidimensionais têm sido normalmente usados para descrever qualitativa e quantitativamente mudanças morfológicas neste ambiente. Embora os

perfis transversais à costa descrevam com precisão a mudança morfológica em locais específicos e sejam úteis para análise de mudanças históricas, usar perfis bidimensionais para descrever a verdadeira morfologia tridimensional em ambientes praias, principalmente ao longo da costa, não é o ideal.

Muitas das complexas variações espaciais observadas entre perfis, tais como pontos críticos de erosão ou acreção, cúspides praias ou bancos de areia interrompidos, não podem ser capturados em uma série de perfis; isto é especialmente verdadeiro em estudos onde a zona de surfe e o mar aberto até a profundidade de fechamento local são ignoradas. Avaliações tridimensionais precisas da morfologia costeira requerem uma alta densidade de pontos de dados topográficos e batimétricos que podem ser mesclados na interface terra/água para gerar modelos de variabilidade espaço e temporal (BERNSTEIN *et al.*, 2006). Técnicas de coleta de alta densidade, como o LIDAR, são claramente ideais para realizar mapeamento tridimensional precisos.

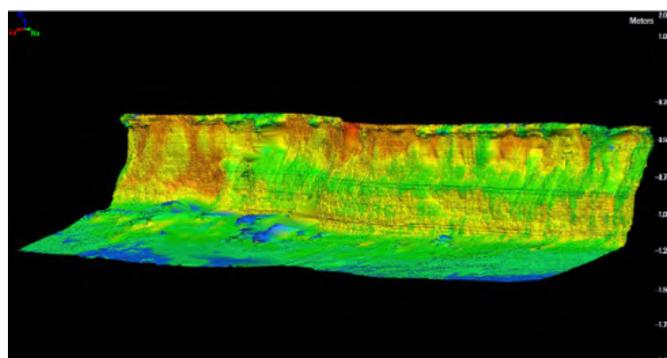
Lidar (*Light Detection and Ranging*), como explicam Amaro *et al.* (2021) é um sensor remoto ativo a bordo de plataformas (tripuladas ou não tripuladas) que obtém as coordenadas XYZ de numerosos pontos numa superfície (alvo), compondo uma nuvem de pontos pela emissão de pulsos a laser em direção a tais pontos e medindo a distância entre o dispositivo emissor e o alvo. O emprego deste equipamento integrado ao georreferenciamento com GNSS tem sido largamente utilizado na mensuração tridimensional detalhada das modificações físicas em zonas costeiras ao redor do mundo.

O surgimento da tecnologia Lidar acoplada a aeronaves se deu na década de 1990, e fornecia um meio para levantamentos rápidos de elevações em grandes áreas no ambiente praias (GALLEN *et al.*, 2009). A resolução lidar aerotransportada é da ordem de 1m na direção horizontal e 0,15 m na direção vertical, sendo assim suficiente para resolver formas de leito como cúspides de praia, cujas amplitudes são geralmente maiores que alguns centímetros (SALLENGER *et al.*, 2003).

Mais recentemente, sistemas Lidar terrestres conhecidos como estações de varredura a laser, revolucionaram o monitoramento de praias (GALLEN *et al.*, 2009). Essas novas estações de varredura têm resolução melhor do que o Lidar aerotransportado e fazem com que levantamentos em curta escala de tempo que

representam a topografia praial tanto através quanto ao longo da costa viável. Ambos os métodos oferecem uma densidade de dados que não pode ser alcançada com outros métodos convencionais além de conter informações sobre padrões em múltiplas escalas espaciais (GALLEN *et al.*, 2009). Uma das utilidades mais citadas na literatura sobre o uso de Lidar é relacionada ao seu uso na avaliação de feições erosivas, como escarpas e falésias (LUETZENBURG; KROONK & BJORK, 2021).

Figura 17: Laser Scanner Terrestre e exemplo de resultado gerado no monitoramento de processos erosivos.



Fonte: imagem à esquerda Canli (2014) e imagem à direita Kimbrow & Lee (2013).

Luetzenburg, Kroon & Bjørk, (2021) exaltam que estas técnicas são aplicadas para levantamento topográficos em uma ampla gama de escalas, além de apontar que a rápida evolução de técnicas de processamento, bem como uma nova geração de tecnologias em sensoriamento remoto, está levando a uma revolução em modelagem digital de elevação e análise geomorfológica em praias. Entretanto, a aquisição de um modelo digital de terreno de alta precisão, independente da escala, necessitam altos investimentos, especialmente tratando-se de técnicas de varredura a laser aerotransportadas.

Tradicionalmente, levantamentos topográficos de alta resolução exigem elevados investimentos financeiros, logística elaborada, treinamento especializado e processamento extensivo de dados (GALLEN *et al.*, 2009). Recentemente drones mais acessíveis com sensores ópticos já reduziram os custos para obtenção de um conjunto de dados de alta resolução da superfície terrestre consideravelmente. No

entanto, os custos e a complexidade associados ao levantamento topográfico de alta precisão ainda são altos.

Em 2020, a Apple Inc. lançou o iPad Pro 2020 e o iPhone 12 Pro com novos recursos, possuindo sistemas integrados de sensores Lidar. Estes *smartphones* modernos possuem a tecnologia de *laser scanning* dos equipamentos lidar, com preços e procedimentos de utilização bem mais simples que os convencionais equipamentos. No geral, a versatilidade no manuseio supera as limitações de alcance, tornando os dispositivos Apple Lidar alternativas econômicas às técnicas estabelecidas em sensoriamento remoto com possíveis campos de aplicação para uma ampla gama de áreas geocientíficas e de ensino (LUETZENBURG; KROON & BJORK, 2021).

6. CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica narrativa realizada ao longo desta monografia permitiu a análise em diversos aspectos sobre uma grande variedade de métodos, com um foco nos mais citados nas literaturas analisadas. Foram abordados desde os mais antigos métodos de descrição morfológica da região costeira, até os mais utilizados atualmente no monitoramento e topografia praial. Neste estudo foram descritos desde metodologias convencionais, que contavam com equipamentos relativamente simples e de baixo custo até os mais modernos que coletam milhões de pontos geoespaciais e possuem cobertura global, os quais representam o estado atual da arte.

Ao longo desta pesquisa considerou-se a aplicabilidade desses métodos em diferentes ambientes e condições meteoceanográficas, levando em conta suas vantagens e limitações. Além disso, os custos associados, precisão e tempo de processamento dos dados obtidos também foram discutidos. Ficou claro que a topografia praial é uma área de estudo crucial para diversos setores, incluindo engenharia costeira, gestão ambiental e planejamento urbano. A evolução dos métodos diretos de estudo da topografia praial reflete não apenas avanços tecnológicos, mas também uma compreensão mais profunda da importância de compilar dados precisos e detalhados para a tomada de decisões nas regiões costeiras. Ao longo deste trabalho, pode-se perceber que embora os métodos mais

antigos tenham contribuído significativamente para o desenvolvimento desta área, as tecnologias modernas revolucionaram a forma como coletamos e analisamos dados topográficos. De qualquer forma, essa transição tecnológica também levanta desafios, especialmente em relação aos custos envolvidos e à necessidade de profissionais altamente qualificados para lidar com as tecnologias modernas.

Sendo assim, a escolha do método de estudo da topografia praial deve ser cuidadosamente ponderada, levando em consideração o contexto específico da aplicação, as restrições orçamentárias e a precisão exigida para os resultados. Além disso, fica evidente a importância contínua da formação e atualização dos profissionais que trabalham nesta área para garantir que possam utilizar eficazmente as tecnologias mais recentes e ao mesmo tempo considerar soluções mais acessíveis e tradicionais quando apropriado. Por fim, esta revisão proporcionou uma compreensão geral do panorama dos métodos diretos de estudo da topografia praial, destacando a necessidade de uma abordagem equilibrada entre a tradição e a inovação, garantindo assim uma gestão sustentável e eficaz das zonas costeiras em face das mudanças climáticas e das demandas crescentes da sociedade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F; FERREIRA, M. A. A Simple Method of Measuring Beach Profiles. **Journal of Coastal Research**. West Palm Beach (Florida), v. 22, n.4, p. 995–999, 2006.

ANTENA BASE E COLETORA DE DADOS. National Park Service, Alaska region. 2014. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/alaskanps/28235425796/in/photostream/>. Acesso em: 12/08/2023.

ANON. **Coastal defence and the environment: a guide to good practice**. MAFF, London, 1993.

ARAUJO, R. J. V.; PEREIRA, P. S.; LINO, A. P.; Araújo, T. C. M.; GONÇALVES, R. M. Morphodynamic Study of Sandy Beaches in a Tropical Tidal Inlet Using RPAS. **Marine Geology**, 2021.

ARCHANA, K; MURSHIDA N. P.; SREEJA, K. PREPARATION OF TOPOGRAPHIC MAP USING TOTAL STATION AND GNSS. PROJECT REPORT. **Submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree Bachelor of Technology In Agricultural Engineering**. Faculty of Agricultural Engineering and Technology Kerala Agricultural University, India, 2016.

ARRIAGA, J.; MEDELLIN, G.; OJEDA, E.; SALLES, P. Shoreline Detection Accuracy from Video Monitoring Systems. **Journal. Mar. Sci. Eng.**v.10, n.1, 2022.

BAILEY, H.; LUSSEAU, D. INCREASING THE PRECISION OF THEODOLITE TRACKING: MODIFIED TECHNIQUE TO CALCULATE THE ALTITUDE OF LAND-BASED OBSERVATION SITES. **MARINE MAMMAL SCIENCE**, 20(4): p.880–885, 2004.

BAPTISTA, P.; BASTOS, L.; BERNARDES, C.; CUNHA, T., and DIAS, J. Monitoring sandy shores morphologies by DGPS—a practical tool to generate digital elevation models. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach, Florida, n.24(6), p.1516–1528., 2008.

BANNISTER, A.; RAYMOND, S.; BAKER, R. **Survey**. Sexta edição. John Wiley e Sons, Inc. New York, 1992.

BASE COASTSNAP. State of New South Wales (Department of Planning and Environment, 2021. Disponível em: <https://www.environment.nsw.gov.au/research-and-publications/your-research/citizen-science/get-involved/coastsnap>. Acesso em: 8/10/2023.

BELLIGOTTI, F. M.; MUEHE D. Levantamento do Perfil da Antepraia (Shoreface) com uso de Ecobatímetro Portátil e Caiaque. **Revista da Gestão Costeira Integrada** n.12(2), p.257-262, 2012.

BERNSTEIN, D. *et al.* SURVEY DESIGN ANALYSIS FOR THREE-DIMENSIONAL MAPPING OF BEACH AND NEARSHORE MORPHOLOGY. **Center for Marine and Wetland Studies**, Coastal Carolina University, 1270 Atlantic Ave. Conway, SC 29526, 2006.

BIAUSQUE, M.; SENECHAL, N. Seasonal morphological response of an open sandy beach to winter wave conditions: the example of Biscarrosse beach, SW France. **Elsevier**, Université de Bordeaux, France, 2019.

BIRD, E. C. F. **Coastal Geomorphology an Introduction**. Second Edition. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 1988.

BIRKEMEIER, W. A. Fast accurate two-person beach survey, Coastal Engineering Technical Aid 81-11, **US Army Engineering Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center**, Vicksburg, Mississippi, p.1–22, 1981.

BOGAERTS, M.J.M.; KRAAK, M.J. GIS/LIS: Theory, methods and techniques. **Athens Center of Ekistics** V.56, N.338/339, p. 277-284, 1989.

BRIGNONE, M.; SCHAFFINO, C.; ISLA, F.; FERRARI, M. A system for beach video-monitoring: Beachkeeper plus. **Comput. Geosci.** n.49, p.53–61, 2012.

BROUWER, R.L.; DE SCHIPPER, M.; RYNNE, P.; GRAHAM, F.; RENIERS, J. Surfzone Monitoring Using Rotary Wing Unmanned Aerial Vehicles. **American Meteorological Society**, 2015.

CANLI, E. **Terrestrial Laser Scanner with a mounted GNSS receiver for georeferencing.** 2014. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Terrestrial_laserscanner.jpg. Acesso em : 8/12/2023.

CALLIARI, L. J; MUEHE, D; HOEFEL, F. G; TOLDO, E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista brasileira de oceanografia**, p.63-78, 2003.

CALLIARI, L. J. KLEIN, H. F. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas Entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas Em Geociências**, 20(1), P.45–56. 1993.

CASACA, J.; MATOS, J.BAIO, M. **Topografia geral.** Ed.LTC, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2ed. São Paulo, Edgard Blücher. 1980.

COOPER BENG, N.J.; LEGGET D.J.; LOWE J.P. Beach-Profile Measurement, Theory and Analysis: Practical Guidance and Applied Case Studies. **WATER AND ENVIRONMENT JOURNAL.** UK, v.14, n.2, p.79-88, 2000.

CONSTANZA, R.; WILSON, M. A; TROY, A.; VOINOV, A; LIU, S; D'AGOSTINO, J. The Value of New Jersey's Ecosystem Services and Natural Capital. **New Jersey Department of Environmental Protection Division of Science, Research, and Technology** PO Box 409, Trenton, NJ 08625-0409, 2006.

CORDINI, J. **Altimetria: teoria e métodos visando a representação do relevo.** Material de apoio acadêmico, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA UFSC-TRINDADE – SC, 2014.

DAIBERT, J. D. **Topografia – Técnicas e Práticas de campo.** Editora: Érica; 2ª edição, 4 junho de 2018.

DAVIS, R. A., **Coastal Sedimentary Environments.** 2nd ed. USA: Halliday Lithograph, 1985.

DAVIS RICHARD. A. Regional Coastal Morphodynamics Along the United States Gulf of Mexico. **Journal of Coastal Research.**, Coastal Research Laboratory Department of Geology University of South Florida Fort Lauderdale, Florida, Vol. 13, No.3, p.595-604, 1997.

DEAN, G. R. Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf coasts. **Department of Civil Engineering, Ocean Engineering Report No. 12.** University of Delaware, Newark, DE, 1977.

DEAN, G. R; MAUERMAYER, E. M. Models for beach profile response. **Handbook of coastal process and erosion**, p.151-164, 1983.

DEAN, G. R; DALRYMPLE, R. A. **Coastal Processes with Engineering Applications.** Cambridge University Press, 2002.

DELGADO, I.; LLOYD, G. A Simple Low-Cost Method for One Person Beach Profiling. **Journal of Coastal Research.** V.20, n.4, p.1246-1252, West Palm Beach, Florida, 2006.

DORNBUSH, U. Ground Survey Methods for Mixed Sand and Gravel Beaches in Intertidal Environments: A Comparison. **Journal of Coastal Research.** V.16, n.3, p.451-464, Florida, 2010.

Emery, K.O. A simple method of measuring beach profiles. **Limnology Oceanography** 6: p.90–93, 1961.

FERREIRA, M. A; SOARES, L.; ANDRADE F. Educating citizens about their coastal environments: beach profiling in the Coastwatch Project. **Journal of Coastal Conservation**. Lisboa, V.16, N.4, p. 567-574, 2012.

FERREIRA, N. M. QUANTIFICAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO E RECUPERAÇÃO SEDIMENTAR DA PRAIA DO BARRO DURO, PELOTAS, RS. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ESCOLA DE ENGENHARIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA**, 2017.

FISCHER, A. Morfodinâmica do “Saco do Laranjal”: Costa Noroeste do Estuário da Laguna dos Patos – RS. **Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica**. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. 2005.

FLATHER, R.A & HUBBERT, K. P., Tide e surge models for shallow waters - Morecambe Bay revisited, In: Davies, A.M (ed.) **Modeling marine systems**, V.1, p.136-166, FLorida, 1989.

GAALEN, V. F. *et al.* Time-Frequency Methods for Characterizing Cuspate Landforms in Lidar Data. **Journal of Coastal Research**, p. 1143-1148, Florida, 2009.

GILLESPIE, W. M. **A treatise on land-sruveying: The theory and the practice**. D. Appleton & Company. 549 & 551 Broadway, New York, 1875.

GORMAN, L.; MORANG, A.; LARSON, R. Monitoring the coastal environment; Part IV: Mapping Shoreline Changes, and Bathymetric Analyses. **Journal of Coastal Research**. p.61-92, Florida,1998.

GPS-RTK ACOPLADO A UM QUADRICICLO. Pacific Coastal and Marine Science Center, 2006. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/atv-gps>. Acesso em: 13/12/2023.

HARLEY, M. D.; KINSELA, M. A.; SÁNCHEZ-GARCIA, E.; VOS, K. Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. **Coastal Engineering**, p.175-189, 2019.

HOEFEL, F. C. **Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma revisão bibliográfica**. 1998.

HUANG, J; JACKSON, D.; COOPER, J. A. Morphological Monitoring of a High Energy Beach System Using GPS and Total Station Techniques, Runkerry, Co. Antrim, Northern Ireland. **Journal of Coastal Research**, N.36, P.390-398, 2002.

HUNTLEY, D. A.; HENDRY, M. D.; HAINES, J., and GREENIDGE, B., Waves and rip currents on a Caribbean pocket beach, Jamaica. **Journal of Coastal Research**, 4 (1) 69-79, Virginia, 1988.

HZAMI, A.; HEGGY, E; AMROUNI, O; MAHÉ, G; MAANAN, M & ABDELJAOUAD, S. Alarming coastal vulnerability of the deltaic and sandy beaches of North Africa. **Scientific Reports**, v. 11, 2021.

JIANG, D.; HAO, M.; FU, J. Monitoring the Coastal Environment Using Remote Sensing and GIS Techniques. **Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research**, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 2016.

KARUNARATHNA, H. *et al.* Linkages between sediment composition, wave climate and beach profile variability at multiple timescales. **Marine Geology**. p.194-208, 2016.

KIMBROW, D.R.; LEE, K.G. Erosion monitoring along the Coosa River below Logan Martin Dam near Vincent, Alabama, using terrestrial light detection and ranging (T-LiDAR) technology: **U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report**, 2013.

KLEIN A.H. da F.; SHORT A. D.; Brazilian Beach Systems: Introduction, Chapter one. **Spring International Publishing Switzerland**, 2016.

KOK, A. P. **Leica Viva TS16 total station**. 2021. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leica_Viva_TS16_total_station.jpg. Acesso em: 12/08/2023.

KOMAR, P. D., **Beaches processes and sedimentation**. 2nd ed. USA: Prentice Hall Inc., 1998.

KRAUS, N.C. Beach Profile. In: Schwartz, M.L. (eds) Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Science Series. **Springer**, Dordrecht, 2005.

LABUZ, T. A. Initial foredune field as a factor of accumulative character of coastal dunes of the Swina Gate Barrier (West Polish coast). **Oceanol Hydrobiol Stud** XXXII (1): p.39–58,2003.

LABUZ, T. A. The increase of the coastal dune area of the Swina Sandbar, West Polish coast. **Z Dtsch Ges Geowiss (ZDGG)** 160(2): p.123–135, 2009.

LABUZ, T. A. A review of field methods to survey coastal dunes—experience based on research from South Baltic coast. **Journal of coast conservation.**, Szczecin, Poland., v. 20, p.175–190, 2016.

LEE, J.M; PARK, J, Y; CHOI, J.Y. Evaluation of Sub-aerial Topographic Surveying Techniques Using Total Station and RTK-GPS for Applications in Macrotidal Sand Beach Environment. Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), **Journal of Coastal Research**, Special Issue N.65, p.535- 540, 2013.

LUETZENBURG, G.; KROON, A.; BJORK, A. Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. **Scientific Reports**. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark, 2021.

LUIJENDIJK, A.HAGENAARS G.; RANASINGHE R.; BAART F.; DONCHYTS G.; & AARNINKHOF S. The State of the World's Beaches. **Scientific reports**. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2018.

MANUAL TRIMBLE R8S, 2016. Trimble R8s GNSS Receiver. **USER GUIDE**. Version 1.00, Revision C, February 2016.

MARTINS, M.A & PINTO, R. L. Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos. São Paulo: **Atlas**, 2001.

MASSELINK, G.; AUGER N.; RUSSEL P.; O'HARE T. Short-term morphological change and sediment dynamics in the intertidal zone of a macrotidal beach. **Sedimentology**., University of Plymouth, Plymouth, UK., v.54, p.39–53, 2007.

MASSELINK, G.; HUGHES M.; KNIGHT J. Introduction to Coastal Process and geomorphology, second edition, published 2011 by **Hodder Education, An Hachette UK Company**, 338 Euston Road, London NW1 3BH.

MASSELINK; HUGHES – SEA LEVEL Tradução e Adaptação: Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein; **Revista do Departamento de Geografia**, (2005).

MASSELINK, G.; PATTIARATCHI, C. Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia. **Marine Geology**, n.172, v. (3-4), p. 243-263, 2001.

MASSELINK, G; VAN HETEREN, S. Response of wave-dominated and mixed-energy barriers to storms. **Marine Geology**., v.352, p.321-347, 2014.

MASON, D.C.; GURNEY, C.; KENNET, M. Beach topography mapping - a comparison of technique. **Journal of Coastal Conservation**., Sweden, Vol. 6, No. 1 , p. 113-124, 2000.

MCCOMARC, J. C. **Topografia**. Tradução: Luis Felipe Coutinho Ferreira da Silva, Douglas Corbari Corrêa. 5. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2014.

MCCOMARC, J. C.; SARASUA, W.; DAVIS, W. **Topografia** - 6ª Edição, Grupo Gen - LTC, 2016.

MCLAUGHLIN, S; COOPER, J. A. A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? **Environmental Hazards**, p. 233-248, 2011.

MELLET, A.; TEATINI, P.; COZANNET, G. JAMET, C.; CONVERSI, A.; BEVENISTE, J.; ALMAR, R. Earth Observations for Monitoring Marine Coastal Hazards and Their Drivers. **Springer Nature journal**. N.1: p.1489–1534, 2020.

MESA PLANA. Topographic surveying; including geographic, exploratory, and military mapping, with hints on camping, emergency surgery, and photography, 1905. Wilson, Herbert Michael. Internet archive book images. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/internetarchivebookimages/14782256895/in/photostream/>. Acesso em: 13/12/2023.

MICUNOVIC, M.; FAIVRE, S.; GASPAROVIC, M. Assessment of Remote Sensing Techniques Applicability for Beach Morphology Mapping: A Case Study of Hvar Island, Central Adriatic, Croatia, **Journal of Marine Science and Engineering**, Zagreb, Croatia, 2021.

MITASOVA, H.; BERNSTEIN, D.; DRAKE, T.G.; HARMON, R.; MILLER, C.; MCNINCH, J. SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF BEACH MORPHOLOGY USING LIDAR, RTK- GPS AND OPEN-SOURCE GRASS GIS. **Department of Geology University of South Florida**, Tampa, USA, 2003.

MOORE, L. J. Shoreline mapping techniques. **Journal of Coastal Research**, n.16 v.1, p.111-124. Royal Palm Beach, Florida, 2000.

MORTON, R. A.; LEACH, M.P.; PAINE, J.G.; CARDOZA, M.A., Monitoring Beach Changes Using GPS Surveying techniques. **Journal of Coastal Research**, n.9 v.3 p.702-720, Fort Lauderdale, Florida, 1993.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 6: P.253-308,1994.

MUEHE, D. Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. **Revista brasileira de Oceanografia**, n.46(2): p.157-169, 1998.

MUEHE, D.; ROSO, R. H.; SAVI, D. C. Avaliação de Método Expediente de Determinação do Nível do Mar como Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.1, p.53-57, 2003.

MUEHE, D. Método de Levantamento Topo-Batimétrico do Perfil do Sistema Praia-Antepraia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.1, p. 95-100, 2004.

MUEHE D.; CASTRO, L.; ALBINO, J. PERFIS DE PRAIA: DEVE O MÉTODO DAS BALIZAS DE EMERY SER ABANDONADO? **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v.21, n.1, p.209-215, 2020.

NIETO, M.; GARAU, B.; BALLE, S.; SIMARRO, G.; ZARRUK, G.; Ortiz, A.; TINTORÉ, J.; ÁLVAREZ, E.; GÓMEZ-PUJOL, L.; ORFILA, A. An open source, low cost video-based coastal monitoring system. **Earth Surf. Process. Landf.**, n.35, p.1712–1719,2010.

NORDSTRON, K. F. Estuarine Beaches: an introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords. New York: **Elsevier Science Publishers Ltd**,p. 225, 1992.

OLIVEIRA FILHO, S. R. FERNANDEZ G. B. Monitoramento contínuo de perfis de praia: Quantificação da erosão ocasionada por ondas de tempestades e recuperação natural do estoque sedimentar, litoral do Rio de Janeiro. *In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, Campinas, São Paulo. **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**, 2017.

OLIVEIRA FILHO, S. R. FERNANDEZ G. B. Erosão e recuperação de praias refletivas de alta energia impactadas por ondas de tempestade geradas por ciclone tropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, nº 2, 2020.

PARDO PASCUAL, J.E; GARCÍA A.L.; PALOMAR, V. J.; GARIGUESS T. P. New Methods and Tools to analyze beach-dune system evolution using a Real-Time Kinematic Global Positioning System and Geographic Information Systems. **Journal of Coast Research**. SI 49, p.34 - 39. Spain, 2005.

PEREIRA, P. S. CALLIARI, L. J.; LELIS, R. F. High frequency beach profile monitoring: implications in beach safety at Cassino Beach, Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, v. SI 39, n.SI 39, p. 909-912, 2004.

PEREIRA, P. S.; CALLIARI, L. j.; BARLETTA, R. C. Heterogeneity and homogeneity of Southern Brazilian beaches: A morphodynamic and statistical approach. **Continental Shelf Research**. N.30, p.270-280, 2009..

REMONDI, B. W. The Global Positioning System. **The Military Engineer**, n. 84(545): p.31-36. London, 1991.

ROCHA, C. P.; ARAÚJO, T. C.; MENDONCA, F. J. Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, p.127-137, 2008.

ROSAS, A. F.; SOUSA T. R. O USO DO TEODOLITO MECÂNICO NO ENSINO DA TOPOGRAFIA: AS FORMAS “ARTESANAIS” DE COLETA DE DADOS FRENTE AS NOVAS TECNOLOGIA DE PRECISÃO. **Ciência Geográfica** - Bauru - Ano XXIII - Vol. XXIII -1, 2019.

SALLENGER, A. H. *et al.* Evaluation of airborne topographic lidar for quantifying beach changes. **Journal of Coastal Research**, p.502-513, 2003.

SAAD, R.; KALLAS, A.; GERARD ADJIZIAN, J.; GERAD, P., Importance of Beach Evaluation for Integrated Coastal Zone Management A Case Study of Tyre Southern Lebanon. **Bull. Soc. R. Sci. Liege**. V.91 n.1, p.59-83, 2022.

SANTIAGO & CINTRA GEOTECNOLOGIAS. Sistemas de referência datum e coordenadas. 2023 Disponível em: <https://santiagoecintra.com.br/blog/sistemas-de-referencia-datum-e-de-coordenadas/>, acesso em : 20/09/2023.

SHALLOWITZ, A. L. Interpretation and Use of Coast and Geodetic Survey Data. **Shore and Sea Boundaries**, v.2, U.S DEPARTMENT OF COMMERCE, 1964.

SHORT, A. D. & WRIGHT, L. D.. Beach systems of the Sydney region. **Aust. Geogr.**, 15:8-16, 1981.

SHORT, A. D. & HESP, P. A. Wave, beach and dune interaction in southeastern **Australia. Mar Geol.**, 48(3-4):p.259-284, 1982.

SHORT, A. D. The role of wave height, period, slope, tide range and embaymentisation in beach classifications: a review. **Revista Chilena de História Natural**. University of Sydney, Sydney, Australia. p. 589-604, 1996.

SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester/UK: John Wiley & Sons. 379p, 1999.

SNEHRASHMI. **Drone Camera**. 2019. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drone_Camera_01.jpg. Acesso em: 12/08/2023.

SPAGNOLO, J.O.; SCHILLIZZI, R.A., and GELOS, E.M., Adaptacion del Metodo de Emery a perfiles de playa de gran extensión. **Atlântica**, v.14, p.59–64, 1992.

SPLINTER, D. K.; HARLEY, M. D.; TURNER, I. Remote Sensing Is Changing Our View of the Coast: Insights from 40 Years of Monitoring at Narrabeen-Collaroy, Australia. **Remote Sensing**. Water Research Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering, UNSW Sydney, 2018.

TABORDA, R.; SILVA, A. COSMOS: A lightweight coastal video monitoring system. *Comput. Geosciences*, 49, p.248–255, 2012.

TOLDO JR., E. E. . **Trenó para Medidas do Fundo da Zona de Surfe**. 1998.

TOURE, S.; DIOP, O.; KPALMA, K.; MAIGA, S. A. Shoreline Detection using Optical Remote Sensing: A Review. **International Journal of Geo-Information**, 2019.

TURNER, I. A; HARLEY, M.;DALMAR, R.; BERGSMA, E.W.J. Satellite optical imagery in Coastal Engineering. **Coastal Engineering**, 2021.

VAN RIJN, L. C.; RIBBERINK L. S. VAN DER WERF J.; WALSTRA D. Coastal sediment dynamics: recent advances and future research needs. **Journal of Hydraulic Research**, v. 51, p.475-493, 2013.

VILLAR, F.C *et al*. Beach Leveling Using a Remotely Piloted Aircraft System (RPAS): Problems and Solutions. **Journal of Marine Science and Engineering**, 2021.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: **Biodiversidade**: regiões da lagoa do Casamento e os butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Ministério do Meio Ambiente. Brasília/DF. Disponível em: www.mma.gov.br. 2007. Acesso em 8 de setembro de 2023.

VINTEM, G.; FREITAS, M. P.; MENEZES, J. T. KLEIN, A. H. Beach Rotation Processes: 35 Month Survey of Embayed Beaches of Santa Catarina Brazil, **Journal of Coastal Research**, Special Issue N.39. Proceedings of the 8th International Coastal Symposium (ICS 2004), Vol. III, pp. 1752-1755, 2006.

WELLENHOF, B. H.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. Global Positioning System Theory and Practice. **Springer-Verlag Wien**, 1993.

WRIGHT, L. D.; CHAPPEL, J.; THORN, B.G.; BRASHAW, M. P. & COWELL, P. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia. **Mar. Geol.**, 32(1-2)p.105-140, 1979.

WRIGHT, L. D. Beach cut in relation to surf zone morphodynamics. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING**, Sydney, ASCE. p.978-996, 1981.

WRIGHT, L.D; GUZA, R. T.; SHORT, A.D. Dynamics of a high energy dissipative surf zone. **Marine Geology**, p.41-62, 1982.

WRIGHT, L.D. & SHORT. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: **Komar P. D. ed. Handbook of coastal processes and erosion**. Boca Raton, CRC Press, p. 35-64, 1983.

WRIGHT, L.D. & SHORT, A.D. Morphodynamics Variability of Surf Zones and Beaches: A Synthesis. **Marine Geology**, V.56, P.93-118, 1984.