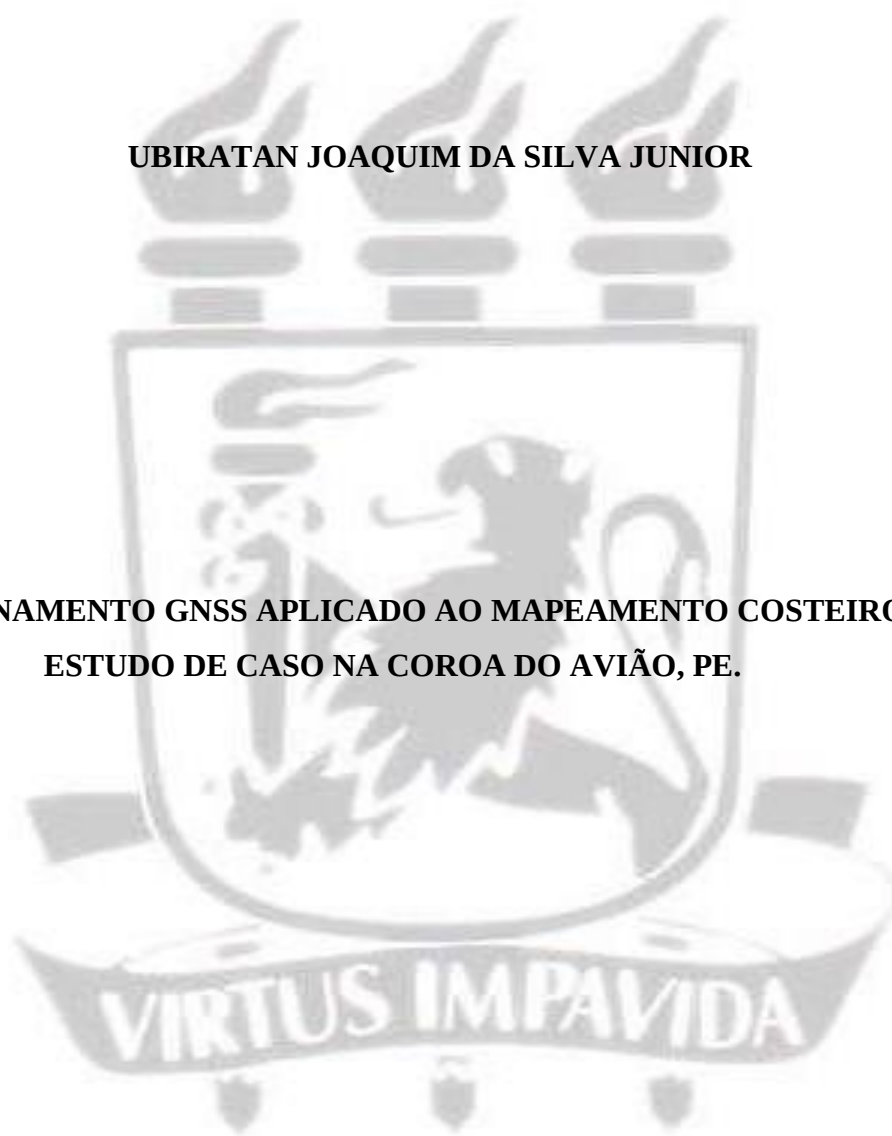

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRAFICA E AGRIMENSURA

UBIRATAN JOAQUIM DA SILVA JUNIOR

**POSICIONAMENTO GNSS APLICADO AO MAPEAMENTO COSTEIRO –
ESTUDO DE CASO NA COROA DO AVIÃO, PE.**



Recife

2017

UBIRATAN JOAQUIM DA SILVA JUNIOR

**POSICIONAMENTO GNSS APLICADO AO MAPEAMENTO COSTEIRO –
ESTUDO DE CASO NA COROA DO AVIÃO, PE.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz
Gonçalves.

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicea Alves, CRB-4 / 1260

S586p Silva Junior, Ubiratan Joaquim da.

Posicionamento gnss aplicado ao mapeamento costeiro – estudo de caso
na coroa do avião, pe / Ubiratan Joaquim da Silva Junior - 2017.

61folhas, Il., e Tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Cartográfica e Agrimensura,
2017.

Inclui Referências e Anexos

1. Engenharia Cartográfica. 2. GNSS. 3. Linha de costa.
4. Pontos de apoio fotogramétricos. 5. Modelo digital do terreno
(MDT).. I. Gonçalves, Rodrigo Mikosz (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-419

UBIRATAN JOAQUIM DA SILVA JUNIOR

**POSICIONAMENTO GNSS APLICADO AO MAPEAMENTO
COSTEIRO – ESTUDO DE CASO NA COROA DO AVIÃO, PE .**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e Agrimensura, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito básico para obtenção do grau em engenheiro cartógrafo.

Aprovado em: 13/12/2017

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (Orientador acadêmico)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça (Examinador
Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Msc. Heithor Alexandre de A. Queiroz (Examinador Externo)
Instituto Federal da Paraíba

Aos meus pais,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido à vida, à minha família por toda dedicação, carinho, apoio e estímulo para realizar os meus objetivos. Em particular a minha mãe por todo esforço que fez para que eu possa ter acesso ao conhecimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Mikosz, pela oportunidade de poder desenvolver em conjunto este trabalho, pelos conhecimentos transmitidos e pelo suporte em todas as etapas e por ter me apresentado o curso de engenharia cartográfica.

A todos os professores do departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE por todos os ensinamentos passados. Em especial as Profa. Dra. Simone Sato e Profa. Dra. Andréa de Seixas por todo apoio que me deram na graduação, e pelos conselhos que me ajudaram a seguir adiante.

Agradeço também aos meus amigos Juarez Antônio Junior, Rayane Cavalcanti, Guilherme Lira, Gabriel Lins e Vanessa Moraes que me ajudaram incondicionalmente em todos os momentos e por sempre me estimularem a alcançar os meus objetivos, a Júlio Nascimento por toda paciência, carinho e cuidado e a todos os amores que tiveram passagem por minha vida, me fizeram sofrer e me tornaram um ser humano mais forte e a todos que um dia não acreditaram em mim.

Por fim agradeço ao LACCOST e LAGEO por todo suporte empregado ao desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O mapeamento costeiro de um banco de areia dinâmico que permanece emerso durante todo o ciclo de marés é um grande desafio para a Geodésia a exemplo da ilha, área de estudo deste trabalho, chamada de Coroa do Avião, Igarassu, Pernambuco. Por se tratar de uma área de interesse ambiental, econômico e turístico esse local foi escolhido para este trabalho. Dentre as técnicas utilizadas para o mapeamento costeiro destacam-se o uso do GNSS, por apresentar praticidade independência das condições meteorológicas, precisão centimétrica e atuar como apoio a outras técnicas como, por exemplo, o mapeamento fotogramétrico com o uso de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado). Os resultados obtidos indicam que o GNSS é uma ferramenta que assegura o mapeamento costeiro com praticidade, precisão, agilidade durante o processo de levantamento de campo e processamento dos dados e diversidade de aplicações como demonstrado nesta pesquisa, que teve por objetivo estudar o uso do GNSS a aplicações de técnicas de mapeamento costeiro, a exemplo da trajetória da linha de costa que com o PPP obteve-se um resultado de 0,5968 km² e com o método relativo 0,05970 km², assegurando precisão centimétrica aos resultados. Destaca-se como resultados a importância do mapeamento costeiro e suas peculiaridades através de diferentes métodos de posicionamento que podem ser utilizadas com sucesso para o gerenciamento das zonas costeiras, a fim de assegurar a preservação desse ambiente.

Palavras-chave: GNSS. Linha de costa. Pontos de apoio fotogramétricos. Modelo digital do terreno (MDT).

ABSTRACT

The coastal mapping of a dynamic sandbank that remains emerged throughout the tidal cycle is a major challenge for Geodesy, such as the islet, the study area of this work, called the Airplane Crown, Igarassu, Pernambuco. Because it is an area of environmental, economic and tourist interest, this place was chosen for this work. Among the techniques used for coastal mapping are the use of GNSS, as it presents practicality independent of the meteorological conditions, centimeter accuracy and act as support for other techniques such as, for example, photogrammetric mapping with the use of UAV. Manned). Among the GNSS products for coastal monitoring are the MDT (Digital Terrain Model) and the coastline. The results indicate that GNSS is a tool that ensures coastal mapping with practicality, precision, agility during the field survey process and data processing and application diversity as demonstrated in this research, whose objective was to study the use of GNSS to the applications of coastal mapping techniques, such as the coastline trajectory that with the PPP obtained a result of 0.5968 km² and with the relative method 0.05970 km², ensuring centimetric precision to the results. The results highlight the importance of coastal mapping and its peculiarities through different positioning methods that can be used successfully for the management of coastal zones, in order to ensure the preservation of this environment.

Keywords: GNSS. Shoreline. Photogrammetric points. Digital terrain Model (DTM).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Constelação GPS	17
Figura 2 – Constelação GLONASS	18
Figura 3 – Projeção da Constelação Galileu	19
Figura 4 – Constelação IRSS	20
Figura 5 – Posicionamento dos pontos de apoio num bloco de imagens.	26
Figura 6 – Localização da área de estudo	27
Figura 7 – Tábua de maré – Porto do Recife	29
Figura 8 - Receptor Topcon HiperPlus, sob a base COR-1.	29
Figura 9 - Receptor Leica Viva GNSS GS15, sob a base COR-2.	30
Figura 10 – Fluxograma dos procedimentos metodologicos	32
Figura 11 - Distribuição dos pontos de apoio e controle	33
Figura 12 – Pontos de Controle Pré-sinalizados.	34
Figura 13 – Trajetória da linha de costa.	37
Figura 14 - Desvio padrão e diferença da coordenada a priori.	40
Figura 15 - Relatório de ajustamento método relativo.	40
Figura 16 – Conjunto de pontos para geração do MDT.	43
Figura 17 - Interpolação com Método IDW com uso do ArcGis 10.	44
Figura 18 – Interpolação com o Método Kriging com uso do ArcGis 10.	45
Figura 19 – Interpolação Kriging com uso do Sufer 15.	45
Figura 20 – Interpolação IDW com uso do surfer 15.	46
Figura 21 - Representação das interpolações com curvas de nível.....	46
Figura 22 – MDT	47
Figura 23- validação cruzada para a interpolação Kriging	49
Figura 24 - Validação Cruzada para interpolação IDW	49
Figura 25- Distribuição do erro resultante da interpolação IDW	50
Figura 26- Distribuição do erro resultante da interpolação kriging.....	51
Figura 27 - Relatorio de Processamento.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de configuração dos receptores.....	34
Tabela 2 - Parte da tabela de coordenadas dos pontos processados.	38
Tabela 3 - Análise estatística dos comparados.	38
Tabela 4 – Área entre as trajetórias	38
Tabela 5 - Relatório de precisão PPP	39
Tabela 6 – Análise Estatística	39
Tabela 7 - Coordenadas processadas das bases	39
Tabela 8 - Análise dos erros do interpolador Kriging.....	50
Tabela 9 - Análise dos erros do interpolador IDW	50
Tabela 10 - Resultado do erro resultante da interpolação IDW	51
Tabela 11 - Resultado do erro resultante da interpolação Kriging	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNDO	Banco Nacional de dados Oceanográficos
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GLONASS	<i>Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRID	Grades Regulares Retangulares
IRSS	<i>Indian Regional Navigation Satellite System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
LACCOST	Laboratório de Cartografia Costeira
LAGEO	Laboratório de Geodésia
MAC	Método Absoluto Cinemático
MEO	<i>Medium Earth Orbits</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
MRC	Método Relativo Cinemático
RK	<i>kinematic relative</i>
RNSS	<i>Regional Navigation Satellite System</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	GNSS.....	17
2.1	RNSS	19
2.2	TECNICAS DE POSICIONAMENTO APLICADAS AO MAPEAMENTO COSTEIRO	20
2.2.1	Linha de Costa	21
2.2.2	MDT	22
2.2.3	Métodos de Análise Espacial de Superfície.....	22
2.2.3.1	Método de Interpolação Kringing.....	23
2.2.3.2	Método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IDW)	24
2.2.4	Pontos de apoio fotogramétricos.....	25
2.2.4.1	Orientação Absoluta	26
2.2.4.2	Triangulação	26
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	28
3.1	MATERIAIS	28
3.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
	A seguir são apresentados os resultados obtidos que foram divididos em: determinação da trajetória da linha de costa, interpolação das amostras de pontos para gerar MDT, pontos de apoio fotogramétricos pré-sinalizados.	36
4.1	DETERMINAÇÃO DA TRAJETÓRIA DA LINHA DE COSTA	36
4.2	COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE PROCESSAMENTO RELATIVO E PPP DAS BASES COR-1 E COR- 2.....	38

4.3	INTERPOLAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PONTOS PARA GERAR MDT	42
4.4	PONTOS DE APOIO FOTOGRAMETRICOS PRÉ-SINALIZADOS	52
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	53
	REFERÊNCIAS	55
	ANEXOS	60
	ANEXO 1 – PARTE DO RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO PPP, BASE COR-1	60
	ANEXO 2 – PARTE DO RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO PPP, BASE COR-2	61

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira têm grande importância socioambiental e econômica para os países, pois apresenta uma vasta biodiversidade e um alto potencial para o desenvolvimento turístico e econômico, motivado tanto pelo alto contingente populacional que geralmente reside nessas áreas, como também a localização. Clark (1992) ressalta que essas áreas têm grande importância em países em que são densamente povoados, havendo assim uma preocupação com seu futuro em especial em relação ao estado de seus recursos naturais, que proporcionam oportunidades de desenvolvimento econômico e turístico.

Monitorar a estabilidade costeira é vital para gestão do meio ambiente e faz parte do conjunto de tarefas e atividades que contribuem com o gerenciamento costeiro (GONÇALVES, 2010). Uma forma de monitorar esse ambiente é através das técnicas de mapeamento que podem ser aplicadas a fim de garantir uma análise de elementos como: variações da linha de costa, índices de vulnerabilidade à erosão e comportamento geomorfológico e hidrológico das zonas costeiras. Sob esta afirmação esta pesquisa teve por objetivo empregar as seguintes técnicas de mapeamento costeiro: determinação da trajetória da linha de costa, elaboração do MDT e estudo dos interpoladores que proporcionam sua geração, a partir de métodos de posicionamento GNSS, com a finalidade de analisar sua capacidade de aplicação as mais diversas atividades geodésicas, sua praticidade de manuseio, processamento de dado e acurácia, além de seu uso em outras técnicas como o posicionamento de pontos de apoio fotogramétrico.

O GNSS (Global Navigation Satellite System) é composto por diferentes sistemas de posicionamento normalmente divididos em três segmentos (espacial, monitoramento e usuário) oriundos de várias nações como o norte americano GPS (Global Positioning System), o Russo

GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya), o da comunidade Europeia GALILEO e o chinês Beidou (ou Compass). Atualmente têm-se desenvolvido o posicionamento através de satélites geoestacionários, cujo sistema chama-se RNSS (Regional Navigation Satellite System), formado por uma combinação de satélites de órbita terrestre geoestacionária, órbita geossíncrona, e apoio terrestre, tem seu desenvolvimento por meio dos sistemas indiano IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System), que será contemplado por três satélites de órbita geoestacionária e quatro de órbita geossíncrona, e o japonês MSAS composto por dois satélites geoestacionários e uma rede terrestre. (MAJITHIYA *et al.*, 2011; ICGNSS 2010).

Os métodos de posicionamento GNSS empregados nesta pesquisa foram o método relativo, RTK e PPP, como descritos a seguir:

O método relativo consiste em determinar as coordenadas de pontos desconhecidos em relação a um ponto conhecido (uma base ou estação de referência), ou seja, os elementos que compõem a linha de base (ΔX , ΔY e ΔZ), são estimados e com sua associação as coordenadas da estação de referência, proporcionam as coordenadas de interesse (MONICO, 2008). O PPP trata-se de um método de posicionamento absoluto que consiste na determinação de coordenadas em tempo real ou pós-processamento, em que é possível obter a posição de uma estação ou trajetória à precisão do nível do centímetro (HOWFMAN-WELLENHOF *et al.*, 2008). O RTK trata-se de um posicionamento em tempo real usando dois ou mais receptores (de dupla ou simples frequência), ou seja, um receptor é fixado em um ponto com coordenadas conhecidas e outro móvel percorrendo outros pontos de interesse com coordenadas a determinar (SEEBER, 2003). Usando seu receptor de rádio, o receptor móvel recebe os dados transmitidos do receptor base e usa seu software embutido para combinar e processar as medições GNSS obtidas tanto no receptor base como no receptor itinerante para obter sua posição em tempo real (EL-RABBANY, 2006).

Entre suas aplicações a partir da difusão do seu uso encontram-se aquelas voltadas ao mapeamento costeiro garantindo alta precisão, simplicidade de manuseio e rapidez em obtenção de coordenadas de feições costeiras como linha de costa e modelos digitais do terreno (MENDONÇA *et al.* 2014; GONÇALVES, 2012; GONÇALVES, 2010).

Dentre entre as pesquisas que fizeram uso dos métodos de posicionamento por GNSS aplicados a técnicas de mapeamentos costeiro, destacam-se: Mendonça (2005), que monitorou a área de estudo desta pesquisa com dados num intervalo de tempo entre os anos 1969 a 2004, Souza *et al.* (2003) utilizando o GNSS para geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) do istmo, da Ilha do Mel no Paraná possibilitando calcular as variações volumétricas entre diferentes épocas (1997, 1999 e 2001) com o objetivo de quantificar a erosão e/ou progradação ocorridas nestes períodos, Gonçalves (2010) que utilizou o método de posicionamento relativo cinemático na determinação da trajetória da linha de costa aplicada como parte integrante a sua pesquisa, desenvolvida em parte do Município de Matinhos, no Estado do Paraná, Tanajura (2011) que avaliou a acurácia dos métodos Absoluto Cinemático (MAC), Relativo Cinemático (MRC) e Diferencial (RTK e DGPS) de posicionamento GPS em um esporão arenoso localizado na Ilha do Mel, município de Paranaguá, estado do Paraná, Mendonça *et al.* (2014) que fez uso monitoramento da linha de costa, nas praias do Pina e Boa Viagem, em Recife e em Piedade, em Jaboatão Guararapes, Pernambuco, utilizando o GNSS através de

levantamentos geodésicos relativos cinemáticos e Gonçalves e Awange (2017) que avaliaram três dos métodos de monitoramento para linha de costa com uso do GNSS: cinemático relativo (RK), cinemático em tempo real (RTK) e posicionamento ponto preciso (PPP) para zona costeira do estado de Pernambuco.

A Ilha da Coroa do Avião em Igarassu Pernambuco apresentando uma vasta biodiversidade e marca de antropização foi escolhida para área de estudo deste trabalho. Esta pesquisa contribuirá ao trabalho desenvolvido na área de estudo por Mendonça (2005) com a aplicação do método de posicionamento PPP, para determinação da trajetória da linha de costa e a determinação do MDT a partir de *softwares* de interpolação numérica.

Neste trabalho vários métodos e produtos oriundos do GNSS são apresentados. Entre eles a representação da trajetória da linha de costa por meio do método de posicionamento por ponto preciso (PPP) e relativo, ambos aplicados de forma cinemática; o uso do método de posicionamento em tempo real (RTK) para a obtenção de uma malha de pontos para gerar modelo digital do terreno (MDT), bem como analisar a viabilidade de representação utilizando diferentes interpoladores e pôr fim a obtenção de coordenadas de pontos de apoio e controle fotogramétricos, utilizados nos processos de orientação absoluta e triangulação, em imagens obtidas com um DRONE, na ilha durante o levantamento de dados.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1.1 Objetivo Geral

Mapear a geomorfologia da área de estudo a partir do posicionamento absoluto e relativo GNSS através de levantamentos geodésicos costeiros.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar e comparar a trajetória da linha de costa pelo método de levantamento cinemático relativo e pelo método PPP;
- Determinar o modelo digital do terreno através de um conjunto de amostras coletadas em campo pelo método de posicionamento estático rápido RTK e relativo e avaliar os métodos de interpolação;
- Efetuar o planejamento e implementação de pontos de apoio GNSS a serem utilizados no mapeamento com o uso de VANT.

1.2 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

Capítulo 1 - Apresenta a pesquisa, a problemática envolvida e a justificativa para escolha do tema.

Capítulo 2 - Faz uma revisão bibliográfica sobre os métodos de mapeamento costeiro, com foco nos abordados neste trabalho: Linha de Costa, MDT e Pontos de Apoio Fotogramétrico.

Capítulo 3 - Apresenta a metodologia e recursos tecnológicos empregados na pesquisa.

Capítulo 4 - Analisa e discute os resultados obtidos.

Capítulo 5 - Apresenta a conclusão e recomendações.

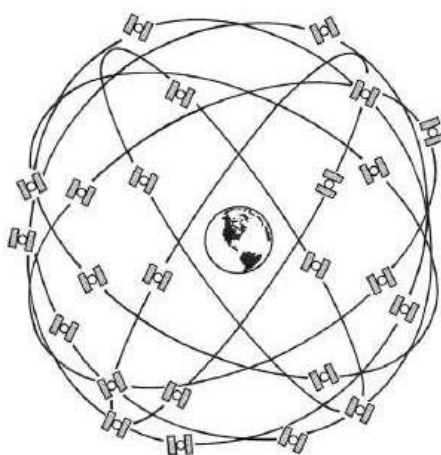
2 GNSS

É composto pelos sistemas de satélites que proporcionam posicionamento geoespacial com cobertura terrestre global. (HOFMANN-WELLENHOF, 2007).

Dentre eles estão:

- a) GPS, de desenvolvimento americano, operacional em 1985, com 24 satélites em órbita. Concebido em gênese para uso de navegação (SEEBER, 2003), e assim determinar posição, tempo e velocidade do usuário em qualquer lugar da terra (MONICO, 2008). Atualmente com um total de 31 satélites operacionais em sua constelação (<http://www.gps.gov>). O sistema é composto por três segmentos: **espacial** representado pelos satélites MEO (*Medium Earth Orbits* – Satélites de Órbita média), distribuídos em seis órbitas paralelas com quatro satélites em cada plano inclinado a 55° em relação ao Equador orbitando com período de 12 horas siderais aproximadamente, sob uma altitude próxima de 20.200 km, **controle** que monitora e controla de forma contínua os satélites, prediz as efemérides, calcula as correções dos relógios e atualiza as mensagens de cada satélite periodicamente e de **usuário**, associado aos receptores, cujo uso é compreendido na categoria civil e militar.

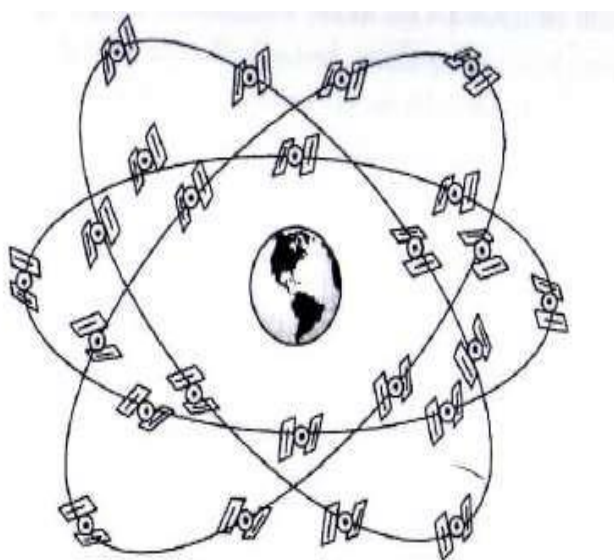
Figura 1 – Constelação GPS.



Fonte: adaptada de MONICO (2008).

- b) O GLONASS, desenvolvido pela Rússia, desde 1970, inicialmente com uma constelação com doze satélites. No final de 1995, a constelação foi ampliada para 24 satélites (constelação padrão). Fornece um padrão e um sinal de navegação de alta precisão, (SEEBER, 2003). Encontra-se em dias atuais com uma de constelação formada por 26 satélites, desses 23 em operação. (www.glonass-iac.ru). O GLONASS também possui segmento espacial, controle e de usuário com atribuições similares ao GPS, especialmente seus satélites encontram-se distribuídos em três planos orbitais espaçados a 120° e com $64,8^\circ$ de inclinação, com oito satélites dispostos paralelamente, altitude de aproximadamente 19.100 km e com 11 horas e 15 minutos de período orbital.

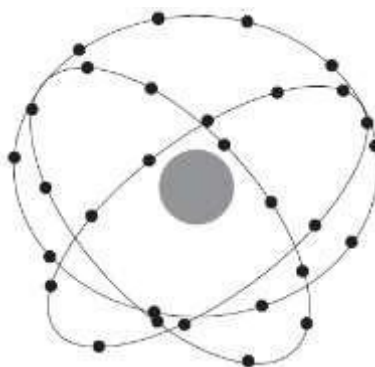
Figura 2 – Constelação GLONASS



Fonte: adaptada de MONICO (2008).

- c) O GALILEO, desenvolvido pela União Europeia, em 2003 tendo sua fase inicial de desenvolvimento (planejamento e validação), com lançamento de quatro satélites em outubro de 2011 e 2012, dois a cada ano (www.esa.int/), tendo dois satélites lançados em 2005 e 2008, atualmente sua constelação conta com 16 satélites em órbita. (www.galileoic.org/node/149). Também fazem parte os sistemas Beidou/Compass desenvolvido pela China, com 16 satélites em órbita mais informações podem ser encontradas em: http://vectorsite.net/ttgps_2.html#m2.

Figura 3 – Projeção da Constelação Galileu

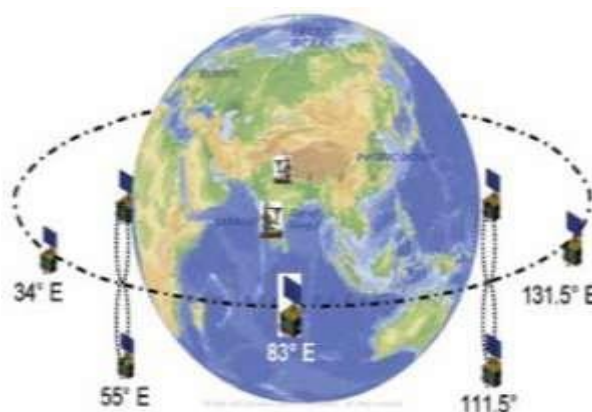


Fonte: adaptada de SEEBER (2003).

2.1 RNSS

O RNSS (Regional Navigation Satellite System) trata-se de um sistema de navegação por satélite que abrange algumas regiões específicas. Como o MSAS no Japão que consiste em dois satélites geoestacionários MTSAT-1R e MTSAT-2 e uma rede terrestre composta por duas estações de controle (Kobe e Hitachioota), duas de monitoramento e estações de alcance (Austrália e Havaí) e quatro monitoramento terrestre estações (em Sapporo, Tóquio, Fukuoka e Naha), cujos sinais transmitidos são L1 C/A a uma frequência central de 1575,42 MHz, fornece serviços de navegação para todas as aeronaves no espaço aéreo japonês (ICGNSS, 2010). O IRSS (Indian Regional Navigation Satellite System), sistema que prevê a criação de uma constelação composta por uma combinação de órbita terrestre geoestacionária e órbita geossíncrona sobre a região indiana. A constelação IRNSS consistirá de sete satélites - três na órbita terrestre geoestacionária e quatro na órbita geossíncrona, é esperado fornecer Precisão da posição (dois sigma) de melhor mais de 20 metros sobre a Índia e uma região estendendo-se para fora da massa terrestre 1.500 quilômetros. (MAJITHIYA *et al.*, 2011). Segundo o ICGNSS a constelação IRNSS transmitirá sinais de navegação L5 e S.

Figura 4 – Constelação IRSS.



Fonte: adaptada de MAJITHIYA *et al.* (2011).

2.2 TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO APLICADAS AO MAPEAMENTO COSTEIRO

Posicionamento diz respeito à determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico (MONICO, 2008). Segundo o referido autor os métodos de posicionamento podem ser classificados em posicionamento absoluto, quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, e posicionamento relativo, quando as coordenadas são determinadas com relação a um ou mais vértices conhecidos. Quanto à dinâmica do posicionamento pode-se ter um posicionamento estático ou cinemático.

Dentre as técnicas de posicionamento estão o posicionamento por ponto preciso que, é realizado a partir do pós-processamento das observáveis da pseudodistância e da fase da onda portadora (ZUMBERGE *et al.*, 1997). Sua precisão varia da ordem do centímetro, quando se considera um posicionamento estático e um longo período de coleta de dados e da ordem de alguns decímetros, no posicionamento cinemático, afirma Leick (2004) e tem se apresentado como uma ferramenta útil para aplicações geodésicas e geodinâmicas, como o controle geodésico e monitoramento de deformações locais e globais. (ALVES, 2010). E o RTK que tem como característica a obtenção de uma precisão centimétrica em tempo real em curta distância. Esta tecnologia é compreendida nos seguintes princípios:

- transmissão de dados pseudorange e de fase de portadora de uma estação de referência (estação base) para a estação do usuário (móvel) em tempo real,
- resolução de ambiguidades na estação rover "no caminho", e

- determinação confiável do vetor de linha de base em tempo real ou quase em tempo real (SEEBER, 2003).

Essas Técnicas podem ser aplicadas ao mapeamento costeiro na determinação da trajetória da linha de costa, na geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), e determinação de pontos de apoio e controle fotogramétricos.

A seguir são discutidos alguns métodos de posicionamento aplicados ao mapeamento costeiro.

2.2.1 Linha de Costa

É definida como a linha de borda de um corpo d'água, segundo Dolan *et al.* (1978), porém a dinâmica ao qual estão submetidos os ambientes aquáticos, sazonalidades e variações de posicionamento, torna esta definição complexa. O LACCOST (Laboratório de Cartografia Costeira) da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) vem empregando a seguinte definição para linha de costa, utilizada no desenvolvimento desta pesquisa como sendo o limite entre o continente e a porção adjacente ao mar onde não há efetiva ação marinha no alcance máximo das ondas, concretizando-se pela presença de falésias, no limite entre a vegetação e a praia, ou nos costões rochosos, ou por qualquer outra feição que marque o início da área continental (SUGUIO, 1992).

Devido à impossibilidade de se obter uma linha de costa ideal, para sua determinação são adotados indicadores da linha de costa. São indicadores, feições geomorfológicas ou elevações verticais específicas, porém os de maior utilização são: linha de preamar, linha de espraiamento das ondas, escarpa da praia, linha de detritos (tempestades), e linha de contorno da vegetação ou praia (BOAK e TURNER, 2005).

Mendonça (2005) conclui que a posição da linha de costa é produto de interações morfodinâmicas, controlada pelas características das ondulações geradas por sistemas meteorológicos e pelo balanço hídrico e sedimentar resultante entre o aporte continental e marinho, e que quando a mesma recua gera a erosão costeira e avançando aumenta a área da praia.

Boak e Turner (2005) *apud* Gonçalves (2010), afirma que o desenvolvimento de uma técnica capaz de identificar e mapear a feição denominada linha de costa é o desafio para entre aspectos o seu monitoramento de acordo com as fontes de dados cartográficos ofertados. Gonçalves (2010), afirma que analisando a linha de água instantânea verifica-se que ela é dependente de um processo dinâmico chamado de maré astronômica, que depende da posição

da Lua e do Sol em relação à Terra. Os seus picos máximos ocorrem na Lua cheia ou na Lua nova, e são chamados de preamar e baixa-mar de sizígia.

2.2.2 MDT

A representação digital de uma superfície chama-se MDE, ou seja, trata-se da representação numérica, em coordenadas X, Y e Z, da superfície e que compreende além da altimetria do terreno os fenômenos de distribuição contínua no espaço e seu desenvolvimento compreende as seguintes etapas: aquisição, edição de dados e geração do MDT. (JUNIOR ALMEIDA, 2017; ROCHA, 2007).

Jansen (2009) classifica o MDE em:

- **MDS:** Considera além das características altimétricas do terreno, todos os demais elementos que o compõem como: vegetação, edificações, entre outros.
- **MDT:** Representação apenas das características da superfície, sem considerar elementos sobre ela.

Um MDT por tanto, trata-se de uma estrutura numérica continua utilizada para representação espacial de características da superfície real a que está associada, tendo uso para representação do relevo e outros fatores que variam com ele, possibilitando a criação de perfil transversal, elaboração e criação de projeto, cálculo de delimitação de bacias e redes hidrográficas (ver, por exemplo, SANTOS, 2016; ZANARDI, 2006).

2.2.3 Métodos de Análise Espacial de Superfície

A formação de superfícies que se aproximem da realidade é necessária para uma modelagem de sua variação espacial. Para esta modelagem as amostradas coletadas são processadas através de um método de interpolação que se trata de uma técnica utilizada para estimar valores desconhecidos de uma função, com valores conhecidos da mesma função. Esses métodos tem o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de um determinado atributo, baseado em dados amostrais situados numa localidade de interesse (JIMENEZ e DOMEQ, 2008). De acordo com Loureiro e Lisboa (2009, p.54):

Os interpoladores são distinguidos em globais ou locais, exatos ou suavizantes; e determinísticos ou estocásticos. Interpoladores globais

consideram todos os pontos da área amostrada, permitindo interpolar o valor da função em qualquer ponto dentro do domínio dos dados originais, pois determinam apenas uma função que é mapeada através de toda a região, os interpoladores locais são funções definidas para porções determinadas do mapa, portanto a alteração de um valor afeta localmente os pontos próximos ao mesmo. Interpoladores exatos geralmente são utilizados quando se tem certeza dos valores dos pontos no qual a interpolação está baseada e interpoladores suavizantes (*smoothing*), ao contrário, são utilizados quando há incerteza sobre os valores dos pontos amostrados, geralmente provenientes de locais que sofrem variações ou flutuações rápidas. Interpoladores estocásticos fazem uso da teoria da probabilidade, e incorporam critérios estatísticos na determinação do peso atribuído aos pontos amostrais para o cálculo das interpolações. Interpoladores determinísticos já não fazem uso da probabilidade.

Segundo Rodriguez (2015) apud Junior Almeida (2017) por consideram-se determinísticos os interpoladores que estimam a relação dos dados a partir do modelo, baseado nos valores próximos medidos, e geoestatísticos os que fazem uso da totalidade de dados para inferir relação de semelhança ao uso de valores interpolados a partir da vizinhança.

Este processo de interpolação é necessário para geração do MDE, por ter a função de preencher os vazios existentes, ocasionadas pela irregularidade da distribuição espacial dos dados de elevação (ver, por exemplo, RODRIGUES,2015; KÖNIG,2014).

A seguir são discutidos os métodos de análise espacial, contemplados por este trabalho.

2.2.3.1 Método de Interpolação Kringing

A *Krigagem* é um modelo estatístico de efeito local e global, ou seja, cada ponto da superfície tem estimativa com interpolação da amostra mais próxima, é formado por uma associação de técnicas de estimação e predição de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial.

A análise de uma superfície interpolada por *Krigagem* é compreendida em três etapas:

- (a) Análise exploratória dos dados;
- (b) Análise estrutural (modelagem da estrutura de correlação espacial);
- (c) Interpolação estatística da superfície.

A estimativa de uma matriz de covariância espacial para a determinação dos pesos atribuídos as amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado é o que diferencia o método dos demais interpoladores (CAMARGO *et al.*, 2008).

2.2.3.2 Método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IDW)

O IDW faz uso da média ponderada, podendo ser exato ou suavizado, a ponderação é concebida durante a interpolação, onde um ponto influi noutro decrescendo com a distância ao grid. Associada a amostra através de uma potência de ponderação controlada, logo, quanto maior a potência de ponderação, menor será o efeito na amostra, sobre a interpolação. Ao decrescer potencialmente, o valor do grid aproxima do valor do ponto vizinho. O peso apresenta maior uniformidade para uma menor potência, entre os dados dos pontos vizinhos (SURFER, 1999).

O modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Dessa forma atribui maior peso para as observações mais próximas do que para as mais distantes. Assim o modelo consiste em se multiplicar os valores das observações pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores. Como definido na equação 1.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad (1)$$

Onde, (z) representa o valor estimando para a coordenada z do ponto interpolado, (n) o numero de amostras, (z_i) são os valores conhecidos e (d_i), representa as distâncias entre os valores conhecidos e o estimado (z_i e z). A equação 1 ao ser ajustada inclui uma potência para as distâncias, com isso pode-se atribuir pesos diferentes para a estimativa do valor de uma observação para uma mesma distância. A Equação 2 relaciona essas variáveis com a inclusão da potência (p) ao inverso das distâncias e atribuição dos diferentes pesos, ou seja, quanto maior o valor de (p) maior será a influência dos pontos mais próximos, e com isso terão maior influência no resultado da interpolação:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (2)$$

Devido a alteração na Equação 1 pode-se atribuir diferentes valores a potência (p), sendo que quanto maior for o valor dessa potência maior será a influência dos vizinhos mais próximos (z_i) no valor estimado para o ponto z. A potência mais utilizada é '2' e por isso frequentemente esse interpolador é chamado de 'inverso do quadrado das distâncias' ou IDW (The Inverse Distance Weighted), (VARELLA, 2013).

Mazzini e Schettini (2009) avaliaram metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos, na plataforma adjacente à desembocadura do rio Itajaí-açu, Santa Catarina, Gomes *et al.* (2007) utilizou o interpolador geoestatístico *Kriging Ordinary*, a partir de um software GIS, em análise geoestatística, utilizou o método de geração de malhas: Grades Regulares Retangulares (GRID, por Krigagem) para geração do MDT, da Zona Costeira Norte, no estado do Rio Grande do Norte (FERNANDES *et al.*, 2005), compara o interpolador Kriging com o IDW, afim de determinar qual deles melhor se adequa aos métodos de geração do MDE, através de grades regulares retangulares (GRID) ou redes irregulares triangulares (TIN), para a obtenção de observações em superfície real no maciço da Tijuca-RJ. Mais informações podem ser encontradas em (JUNIOR ALMEIDA, 2017; RODRIGUEZ, 2015; SOARES, 2000; SURFER, 1999).

2.2.4 Pontos de apoio fotogramétricos

O mapeamento com uso da fotogrametria deve ser iniciado com a implantação de pontos de controle, isto é, pontos de coordenadas conhecidas (georreferenciados). Podem ser georreferenciados por meio do posicionamento GNSS e são localizados na área mapeada, e selecionados a partir do planejamento de voo (ROSALEN, 1997).

Para que as coordenadas de pontos do espaço objeto geradas sejam referidas a um sistema de coordenadas pré-definido, é necessário um mínimo de pontos de controle de campo sejam fornecidos como dados (não necessariamente constantes). A inexistência dos pontos de controle de campo deixa indefinido o sistema de referência do espaço objeto (ARANA, 1994).

Esses pontos tratam-se de marcos ou demarcações foto-identificáveis de coordenadas conhecidas utilizados para a orientação absoluta das imagens fotogramétricas do modelo

estereoscópico (GALVÃO, 2014). Outra técnica em que os pontos de apoio são empregados é a aerotriangulação.

2.2.4.1 Orientação Absoluta

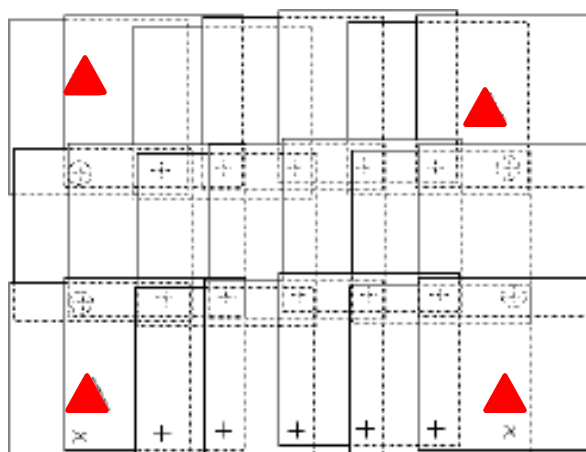
Etapa de processamento de dados fotogramétricos, que consiste em estabelecer a relação entre as coordenadas do modelo (fotogramétricas) e o espaço-objeto (sistema de coordenadas no terreno). Os pontos-de-controle, cujas coordenadas foram determinadas, são identificados e medidos no modelo. Em seguida, são submetidos à transformação dos sistemas do modelo para o sistema espaço-objeto (SATO, 2003). Em linhas gerais consiste em ajustar o modelo às coordenadas de apoio, medidas em campo (SILVA, 1999).

2.2.4.2 Triangulação

Consiste em determinar coordenadas precisas de pontos do espaço objeto, a partir de coordenadas medidas nas imagens (espaço-imagem), devidamente tomadas ou em modelos estereoscópicos formados (LUGNANI, 1987).

Para trabalhos com grande quantidade de imagens, a aerotriangulação é mais indicada no processo fotogramétrico, ou seja, determinando, as orientações de todas as imagens simultaneamente, produzindo resultados próximos à orientação de cada estéreo-modelo (SATO, 2003). A referida autora afirma que aerotriangulação reduz a quantidade de pontos de controle para orientação das imagens, podendo ser utilizados quatro pontos para um bloco de inúmeras imagens. A figura 5 mostra um modelo de distribuição de pontos de controle, num bloco de imagens.

Figura 5 – Posicionamento dos pontos de apoio num bloco de imagens.

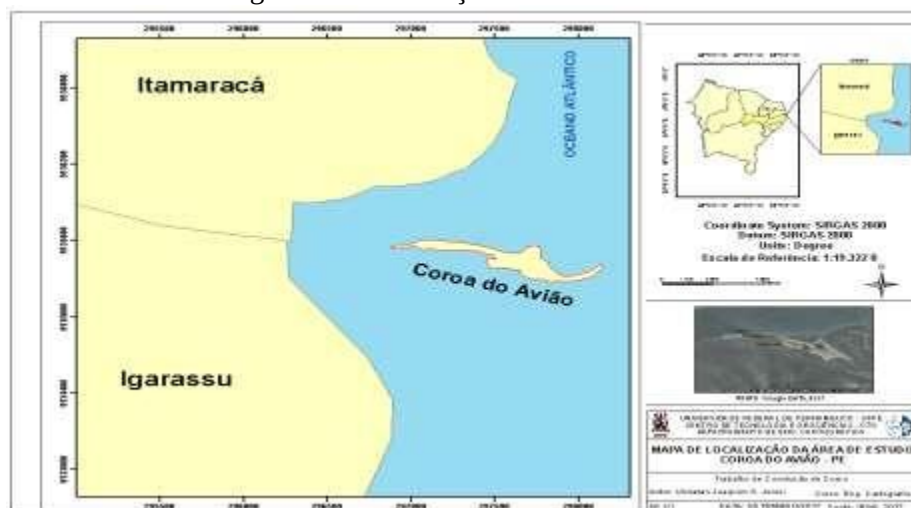


Fonte: adaptada de SATO (2003).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no Litoral Norte do estado de Pernambuco, distrito de Igarassu, região metropolitana do Recife, entre as latitudes $7^{\circ} 48' 00''$ S e $7^{\circ} 50' 30''$ S e longitudes $34^{\circ} 50' 00''$ W e $34^{\circ} 51' 00''$ W (em coordenadas planas 9.141.000 m e 9.130.000 m coordenada N e 250.000 m e 300.000 m coordenada E). Inserida na desembocadura sul do Canal de Santa Cruz, o seu eixo principal orienta-se aproximadamente na direção Leste-Oeste. O fluxo principal do Canal de Santa Cruz, na direção nordeste a separa, da Ilha de Itamaracá a uns 600 metros (MENDONÇA, 2010).

Figura 6 – Localização da área de estudo.



Fonte: o autor.

Do ponto de vista climático, segundo a classificação de Koppen, possui um clima tropical típico, quente e úmido do tipo As', altas temperaturas e uma umidade constante ao longo do

ano. Cujas menores temperaturas durante o ano, são em média superiores a 18 ° C, tendo como média anual variação de temperatura mínima de 26°C e máxima 34° C (ver, por exemplo, MENDONÇA, 2010; MONTES, 1996).

O ambiente é formado por uma vegetação na região arenosa da praia de herbáceas, gramíneas, halófitas e suculentas. A temperatura das águas é propícia para o desenvolvimento de espécies de algas marinhas, servindo de habitat para pequenas espécies de crustáceos e bivalves quando a maré seca, e quando a maré sobe pequenos peixes podem ser encontrada (LIRA, 2010). Além disso, aves migratórias utilizam a ilha e seu entorno para complementação do ciclo biológico durante suas migrações (CARDOSO *et al.*, 2007).

Ainda segundo Lira, a Coroa do Avião teve formação devido à descarga e acúmulo de sedimentos, formando bancos de areia, provenientes do oceano e dos rios do Canal de Santa Cruz, tendo sua morfologia crescente do sentido norte-sul ao Leste-Oeste, resultante da influência das marés.

A área é um importante instrumento turístico da região, hoje com ocupação antrópica de restaurantes, que dividem espaço com a área biótica nativa da ilha. Silva *et al.* (2016) ao estudar os índices de vulnerabilidade à erosão da região da Ilha de Itamaracá, concluiu que existe a necessidade de um maior monitoramento e controle do sistema praial por parte do poder público em averiguar os locais de construções, antes de sua construção.

Foi selecionada por se tratar de uma região de interesse econômico e ambiental, e por necessitar de uma gestão costeira integrada. Neste trabalho será feita a análise e contribuição do uso do GNSS como instrumento para este mapeamento, dando continuidade a trabalhos desenvolvidos, porém com aplicações de novas técnicas já citadas.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 MATERIAIS

Os materiais de uso nesta pesquisa foram utilizados durante três fases: planejamento de campo, levantamentos de dados e processamento.

Na primeira etapa, com os *softwares* Qgis 2.18.8 e Google Earth 7.3.0.3832, foram utilizados para gerar um esboço do posicionamento dos pontos de controle para o aerolevanteamento e locais acessíveis para a materialização das bases.

Para o levantamento da linha de costa e pontos de apoio fotogramétricos, foram utilizados os receptores Topcon Hiper Lite Plus e Leica Viva GNSS GS15. Com os *softwares* Topcon Link v.8.23, Topcon Tools v.8.2 e Leica GeoOffice 8.2 os dados foram processados, e

para a análise de discrepâncias entre os resultados obtidos através do PPP e RK da linha de costa utilizou-se o *software* Arcgis 10.0, também fez-se uso do *software* Surfer 15 para elaboração do MDT, e extração das curvas de níveis. Foi definido que para o levantamento da linha de costa, seria utilizado como indicador os vestígios de alcance máximo das ondas, para isto fez-se uso da tábua de maré. O Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) forneceu essas informações, a partir da tábua de amplitude de maré. A figura 7 a seguir apresenta a variação de maré para a semana do levantamento baseada nos dados do Porto do Recife (08°03,4'S; 034°52,1'W), carta 00902.

Figura 7 – Tábua de maré – Porto do Recife

SEX 25/08/2017	06:06	2.4
	12:23	0.3
	18:24	2.2
SÁB 26/08/2017	00:38	0.4
	06:49	2.2
	13:02	0.5
	19:06	2.1

Fonte: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/30645Ago2017.htm> (2017).

A seguir são apresentadas as bases COR-1 e COR-2, através das figuras 8 e 9, materializadas com os receptores utilizados no dia do levantamento dos dados, a estação COR-1 foi utilizada para o levantamento dos pontos de apoio e controle, assim como para os pontos componentes da nuvem de pontos que gerou o MDT, a base COR -2 foi utilizada para o método cinemático relativo, na trajetória da linha de costa, e também contribuiu para o levantamento da coleta de pontos amostrais para gerar o MDT.

Figura 8 - Receptor Topcon HiperPlus, sob a base COR-1.



Fonte: o autor.

Figura 9 - Receptor Leica Viva GNSS GS15, sob a base COR-2.



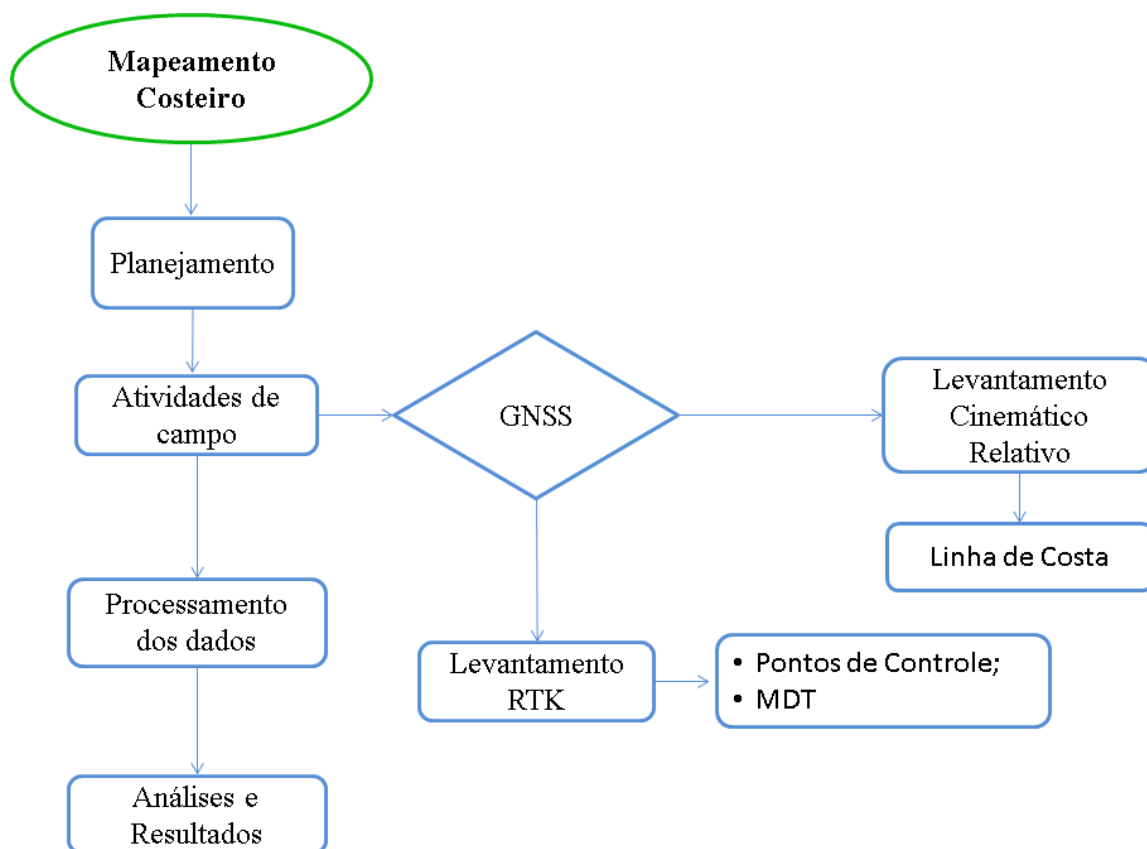
Fonte: o autor.

3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi feita a partir da composição de elementos aplicados ao mapeamento costeiro com uso do GNSS: Linha de Costa, MDT e pontos de controle fotogramétricos, como apresentado na figura 10 onde o fluxograma metodológico foi compreendido em quatro fases: planejamento, atividades de campo, processamento de dados e análise e resultados.

Na etapa de planejamento são abordados todos os elementos que proporcionaram o decorrer das demais etapas, são contemplados neste ponto agendamento da coleta de dados em campo, a partir da taboa de marés, metodologias de aplicação do uso do GNSS para cada elemento a ser abordado como resultado do mapeamento costeiro adotado neste trabalho e identificação da área de voo. As atividades de campo compreendem os levantamentos realizados com o GNSS (PPP, relativo e RTK). Com os dados levantados tem-se a etapa de processamento que compreende a descrição dos métodos empregados para obtenção dos resultados, como a representação da linha de costa através do Arcgis 10.0, interpolação dos pontos para obtenção do MDT e processamento e ajustamento dos pontos de controle e na última fase tem-se os resultados obtidos e suas respectivas análises a partir do que foi produzido com o processamento dos dados, compõem esta parte a análise estatística das discrepâncias obtidas com a trajetória da linha de costa através dos métodos PPP e RK, geração do MDT e análises da qualidade dos pontos de controle, esta etapa será discutida no capítulo 4.

Figura 10 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos .



Fonte: o autor.

A seguir são discutidas as etapas metodológicas desenvolvidas, e ilustradas através da figura 10.

• Planejamento

Para o levantamento dos pontos do MDT, foi planejado a princípio o posicionamento da base COR -1 coordenadas UTM (297284.698E; 913559.161N), que ficou localizada na área oeste da ilha, por se tratar de uma região, com mínimo de influência de obstrução do sinal de rádio para o link com o outro receptor pelo método RTK. A base COR-2 coordenadas UTM (297284.698E; 13559.161N), foi instalada próximo a área de desembarque de embarcações da ilha. A distribuição espacial dos outros pontos foi estabelecida a partir da disposição estabelecida para os pontos de controle, de modo que recobrisse ao máximo a extensão da ilha.

Planejou-se a materialização de nove pontos de controle e cinco pontos de verificação, pré-sinalizados, e o horário do levantamento foi definido a partir do apresentado pela amplitude

máxima da maré, na prática o levantamento começou um pouco mais tarde do que o horário da maré alta, o que não afetou o experimento proposto. A figura 11 apresenta o mapa de planejamento da localização dos pontos de controle, no dia do levantamento e a área de cobertura do voo.

Figura 11 - Distribuição dos pontos de apoio e controle.



Fonte: o autor.

• Atividades de campo

Para o levantamento da linha de costa fez-se uso do método de posicionamento cinemático relativo RK e PPP, realizado no dia 26 de agosto de 2017, por volta das 10 horas e 30 minutos, utilizou-se o receptor Leica Viva GNSS GS15 para o levantamento dos pontos de geração da linha de costa, tendo como base a estação COR - 2, com taxa de gravação de 1 segundo, totalizando 2591 pontos armazenados, como foi proposto no planejamento, a linha de costa foi percorrida, a partir dos vestígios de amplitude máxima da maré, baseado nos dados fornecidos pelo Centro de Hidrografia da Marinha, com tempo de duração de 1 hora e 15 minutos, numa velocidade de caminhada 0.9 de km/h.

Os pontos para geração do MDT foram obtidos a partir do método RTK, com uso do receptor Topcon HiperPlus, tendo como base o ponto COR-1, também foram coletados pontos com o receptor Leica GS15, de base o ponto COR-2, totalizando 93 pontos levantados. Os

dados brutos foram processados através dos softwares Topcon Link v.8.23 e Leica Viva GNSS GS15.

Os pontos considerados como de controle fotogramétrico foram determinados pelo método RTK, tendo como base a estação COR-1. Em campo o receptor móvel foi posicionado no encontro dos azulejos. Procurou-se apenas gravar os pontos quando o estado da ambiguidade encontrava-se como fixo, no capítulo 4 mais detalhes serão discutidos. A figura 11 exemplo dos pontos pré-sinalizados como os azulejos no dia da campanha.

A tabela 1 apresenta os dados de configuração dos receptores base e altura dos receptores moveis, no dia do levantamento.

Tabela 1 – Dados de configuração dos receptores.

RECEPTOR		TEMPO DE RASTREIO	TAXA DE GRAVAÇÃO	ALTURA DA ANTENA	MASCARA DE ELEVAÇÃO
TOPCON HIPER+	BASE	1 h 14 m 45 s	5 s	1,68	15°
LEICA	BASE	1 h 37m 57 s	5 s	1,64	15°
TOPCON HIPER+	MÓVEL	1 h 03 m 11 s	5 s	1,60	15°
LEICA	MÓVEL	1 h 22m 12 s	1 s	1,72	15°

Fonte: o autor.

Figura 12 – Pontos de Controle Pré-sinalizados.



(a)



(b)

Fonte: o autor.

- **Processamento dos dados**

A seguir são apresentados os produtos gerados a partir do GNSS e sua forma utilizada para o processamento:

- i. **Base COR – 1:** ponto estático considerado como base, cujas coordenadas foram obtidas através de 2 métodos. O primeiro considerando o método relativo, tendo como estação base a RECF (estação de monitoramento contínuo da RBMC) e o segundo através do posicionamento por ponto preciso, com o receptor Topcon Hiper+.
- ii. **Base COR – 2:** ponto estático considerado como base, cujas coordenadas foram obtidas através de 2 métodos. O primeiro considerando o método relativo, e o segundo o método PPP, utilizando o receptor Leica GS15.
- iii. **Trajectoria da Linha de Costa:** levantada através do método de posicionamento cinemático, através do receptor Leica Viva GNSS GS15 e processada através dos métodos relativo e PPP.
 - **Processamento através do método relativo:** Os pontos levantados foram processados através do software Leica GeoOffice 8.2, tendo como base a estação COR -2, cujas coordenadas foram obtidas através do PPP, em seguida foram exportados no formato *.kml*, disponível com o conjunto de arquivos fornecidos pelo IBGE, como resultado do processamento e posteriormente convertido ao formato *.shp*, através dos softwares de GIS adotados neste trabalho.
 - **Processamento através do método PPP:** Com os dados brutos em formato *rinex*, foram processados através da plataforma IBGE-PPP, processados em orbita final, no sistema de referência SIRGAS 2000 na época de 2000,4, em seguida foram exportados para aos softwares de GIS adotados neste trabalho através de arquivo *.csv*, posteriormente convertido para o formato *.shp*, sob a topologia de ponto, que foram unidos graficamente, a fim de possibilitar uma melhor visualização do resultado obtido.
- iv. **Pontos de apoio fotogramétricos pré-sinalizados:** os pontos de apoio foram pré-sinalizados através de azulejo, materializados com o encontro dos mesmos, levantados através do método de posicionamento RTK, e exportados para o software TopconLink, para obtenção do relatório das coordenadas.

- v. **Amostras para gerar MDT:** através do levantamento relativo estático com o receptor Hyper+ e o Receptor Leica foram coletados pontos aleatórios para representar o MDT da ilha, totalizando 93 pontos levantados.
- vi. **MDT:** Os pontos levantados no item anterior, foram exportados para os softwares ArcMap 10 (extensão do Arcgis 10.0) e Surfer 15, a fim de produzir a interpolação, como escolha para este trabalho foram utilizados os interpoladores: geoestatístico (*Krigagem*) e Inverso do Quadrado da Distância, foram escolhidos estes interpoladores devido a sua capacidade de aplicação e fontes de análise de resultados, por apresentar resultados insatisfatórios para este estudo, devido a ausência de consideráveis variações de altitude na área de estudo, optou-se apenas apresentar o MDT gerado pelo surfer 15, porém os interpoladores foram executados em ambos softwares.

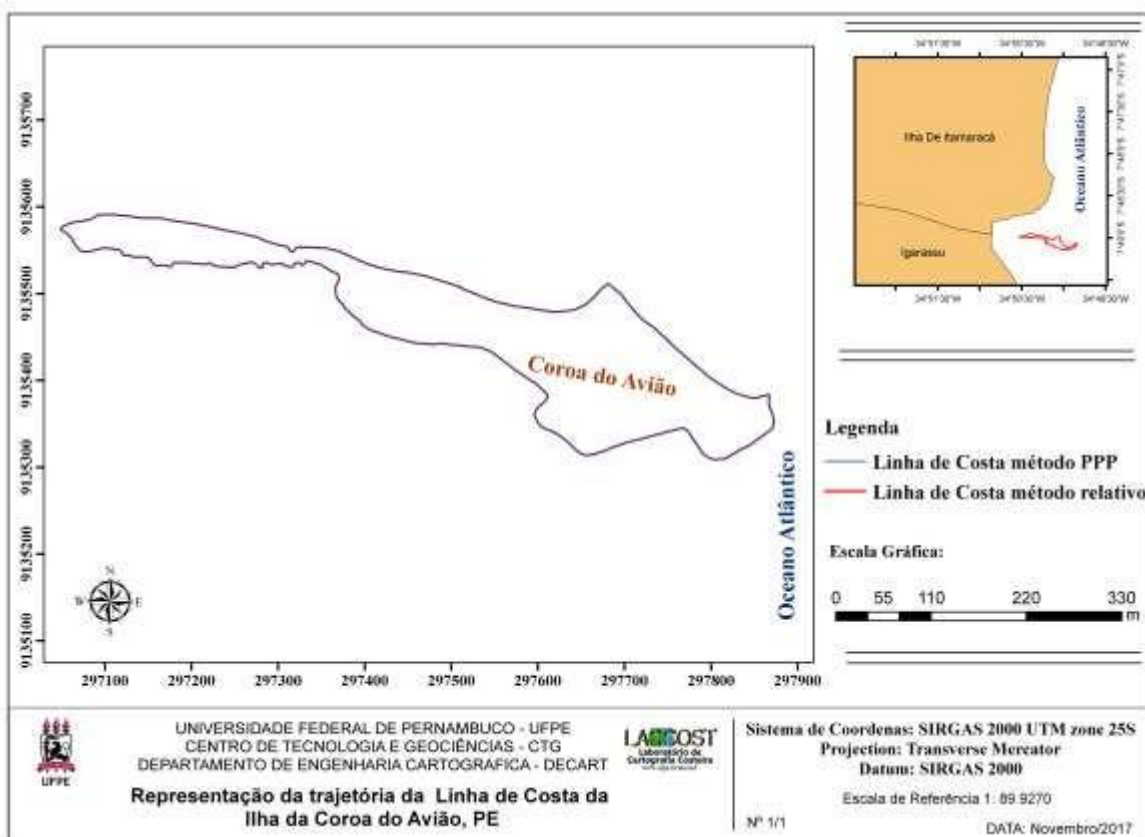
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados obtidos que foram divididos em: determinação da trajetória da linha de costa, interpolação das amostras de pontos para gerar MDT, pontos de apoio fotogramétricos pré-sinalizados.

4.1 DETERMINAÇÃO DA TRAJETÓRIA DA LINHA DE COSTA

Para a determinação da trajetória da linha de costa foram levantados 2951 pontos, a partir do método relativo cinemático, processados através do pós-processamento relativo e método PPP, tendo como base a coordenada COR-2. A figura 13 apresenta o resultado da linha de costa processada em azul pelo método PPP e a em vermelho pelo método relativo, nota-se que nesta escala representada uma praticamente cobre a outra.

Figura 13 – Trajetória da linha de costa.



Fonte: o autor.

A comparação da linha de costa foi feita, com uma distribuição de retas perpendiculares as linhas de costa, tendo um plano base como linha de origem, com a intercessão dessas linhas em ambas as linhas de costa coletou-se as coordenadas de cinco pontos aleatórios, obtidos com o processamento. Porém como se pode perceber com a comparação entre os resultados obtidos para as bases e também para os pontos apresentados pela tabela 2 e análise estatística apresentada através da tabela 3, os resultados centram-se em milímetros, assegurando precisão e a conclusão da paridade entre as linhas de costas, obtidas através do método PPP e relativo, como mostra a figura 13. Também se calculou área entre as trajetórias da linha de costa, com uso do comando *measure* através do ArcMap 10.0, como apresenta a tabela 4.

Tabela 2 - Parte da tabela de coordenadas dos pontos processados.

PONTO	PPP		RELATIVO	
	E [m]	N [m]	E [m]	N [m]
1	297329,776202	9135519,61311	297329,777203	9135519,61311
2	297330,085044	9135522,36869	297330,096044	9135522,37969
3	297340,012884	9135522,30131	297340,023784	9135522,31241
4	297403,410098	9135503,43290	297403,421098	9135503,4539
5	297397,766005	9135505,63147	297397,786005	9135505,64147

Fonte: o autor.

Tabela 3 - Análise estatística dos comparados.

PONTO	ΔE [m]	DN [m]	DISTÂNCIA [m]	Média	Desvio Padrão
1	0,011001	0,010000	0,014	0,018	0,008
2	0,011000	0,011000	0,015		
3	0,010900	0,011100	0,015		
4	0,011000	0,021000	0,023		
5	0,020000	0,010000	0,022		

Fonte: o autor.

Tabela 4 – Área entre as trajetórias

POSICIONAMENTO	ÁREA [Km ²]	MÉDIA	DESvio	DESvio PADRÃO	PERIMETRO
PPP	0,059684	0,059697	0,00001	0,00001	1967,486
RELATIVO	0,059709		-0,00001		1969,968

Fonte: o autor.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE PROCESSAMENTO RELATIVO E PPP DAS BASES COR-1 E COR- 2

A tabela 5 apresenta a precisão esperada para um levantamento estático em metros, tomada como referência para análise da qualidade dos resultados obtidos, e apresentados através das tabelas 6 e 7 compostas pelo resultado do processamento dos dados levantados pela base COR -1 e COR -2, através de uma comparação entre os métodos de processamento relativo e PPP e a análise estatísticas da coordenadas obtidas. O rastreo da base COR-1 levou um tempo médio de duração de 1 hora e 15 minutos, e a base COR-2 1 hora e 22 minutos.

Em seguida foi analisada a resposta à precisão adquirida através dos processamentos, a partir da análise dos gráficos do desvio padrão e diferença da coordenada a priori, onde a

precisão se dá ao percorrer do tempo de rastreio, obtidos através do relatório de processamento do método de processamento PPP (anexo 1 e 2), como mostra a figura 14 (a), através dos resultados da base COR-1 e 14 (b) com os resultados da base COR-2, comparados aos resultados apresentados através do relatório de ajustamento, fornecido pós-processamento relativo.

Tabela 5 - Relatório de precisão PPP.

Tipo do receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

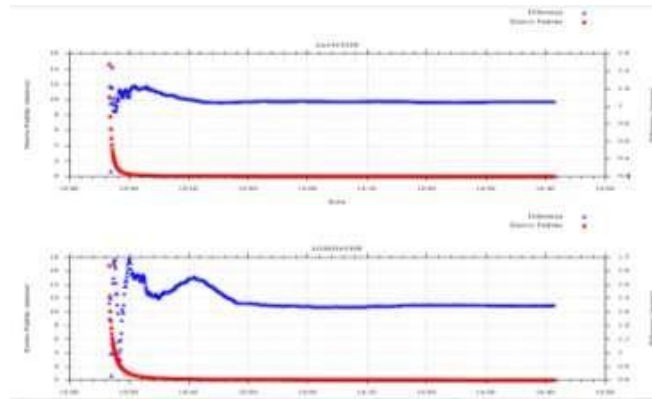
Tabela 6 – Análise Estatística

PONTO	DISTÂNCIA	MÉDIA		DESVIO PADRÃO	
		N	E	N	E
COR-1	0,008	9135561,443	296949,952	0,004	0,000
COR-2	0,037	9135559,157	297284,7325	0,005	0,017

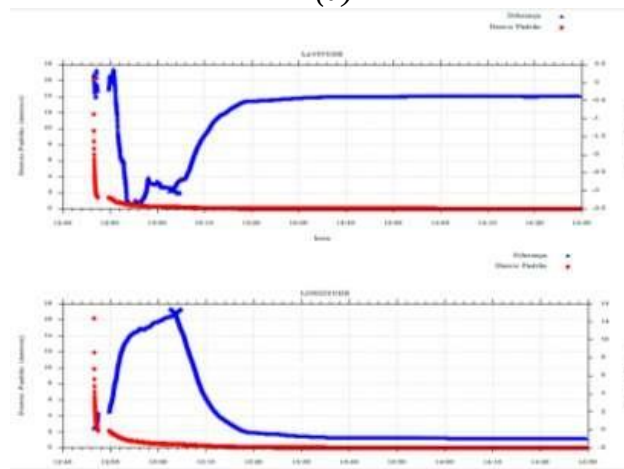
Tabela 7 - Coordenadas processadas das bases

BASE	MÉTODO	N	E	N	ΔE [m]	DN [m]
COR -1	Relativo	9135561,439	296949,952	3,239	0,000	-0,008
COR -1	PPP	9135561,447	296949,952	3,13		
COR -2	Relativo	9135559,151	297284,715	3,216	0,035	0,011
COR -2	PPP	9135559,162	297284,75	3,13		

Figura 14 - Desvio padrão e diferença da coordenada a priori.



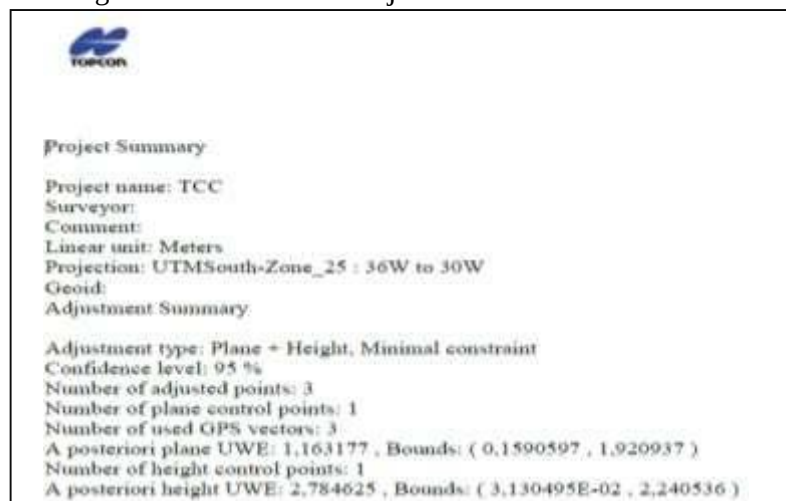
(a)



(b)

Fonte: Relatório de processamento PPP.

Figura 15 - Relatório de ajustamento método relativo.



(a)

Used GPS Observations					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
COR2-RECF	-26004,235	-12353,677	22,402	0,011	0,021
COR2-COR1	2,288	-334,747	0,065	0,001	0,001
RECF-COR1	26006,539	12018,939	-22,421	0,012	0,021

GPS Observation Residuals					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
COR2-RECF	-26004,235	-12353,677	22,402	0,011	0,021
COR2-COR1	2,288	-334,747	0,065	0,001	0,001
RECF-COR1	26006,539	12018,939	-22,421	0,012	0,021

Control Points				
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
RECF	9109555,106	284931,034	25,660	

Adjusted Points				
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
CO2	9135559,350	297284,716	3,217	
COR1	9135561,638	296949,969	3,282	

(b)

Control Tie Analysis: skipped

Subnetwork COR1, RECF, COR2 (Horizontal Minimal Constraint + Vertical Minimal Constraint)

Type	Adjusted Points	Fixed Points	Weighted Points	Equations (Used/Rejected)	UWE	UWE Bounds
				GPS		
Horz	3	1	0	3	1.16	[0.16, 1.92]
Vert	3	1	0	3	2.78	[0.03, 2.24]

(c)

Fonte: Relatório de ajustamento.

A figura 15 (a) mostra os parâmetros adotados pelo software de processamento para realizar o ajustamento, dentre eles destacam-se o nível de confiabilidade, os números de ponto a serem ajustados e dos pontos de controle, a (b) os resultados obtidos com o ajustamento, contemplando as observáveis GPS, resíduos referentes as observáveis e o relatório final pós ajustamento, a figura (c) por sua vez sintetiza os resultados apresentados em (a) e (b) é exibida ao usuário como uma prévia do resultado.

Ao comparar os relatórios obtidos, com os resultados apresentados através das tabelas 5 e 6, chegou-se a conclusão que ambos os métodos atenderam ao padrão de precisão esperado para o tempo de rastreo, planialtimetricamente.

4.3 INTERPOLAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PONTOS PARA GERAR MDT

Pós-processados os pontos, foram interpolados através da ferramenta *Geoestatistical Analyst* na opção *Geoestatistical Wizard*, extensões contidas no softwares ArcGis, as interpolações foram validadas mediante as análises geoestatísticas: interpolação da superfície e a validação cruzada. Descritas a seguir.

- **Interpolação a Superfície**

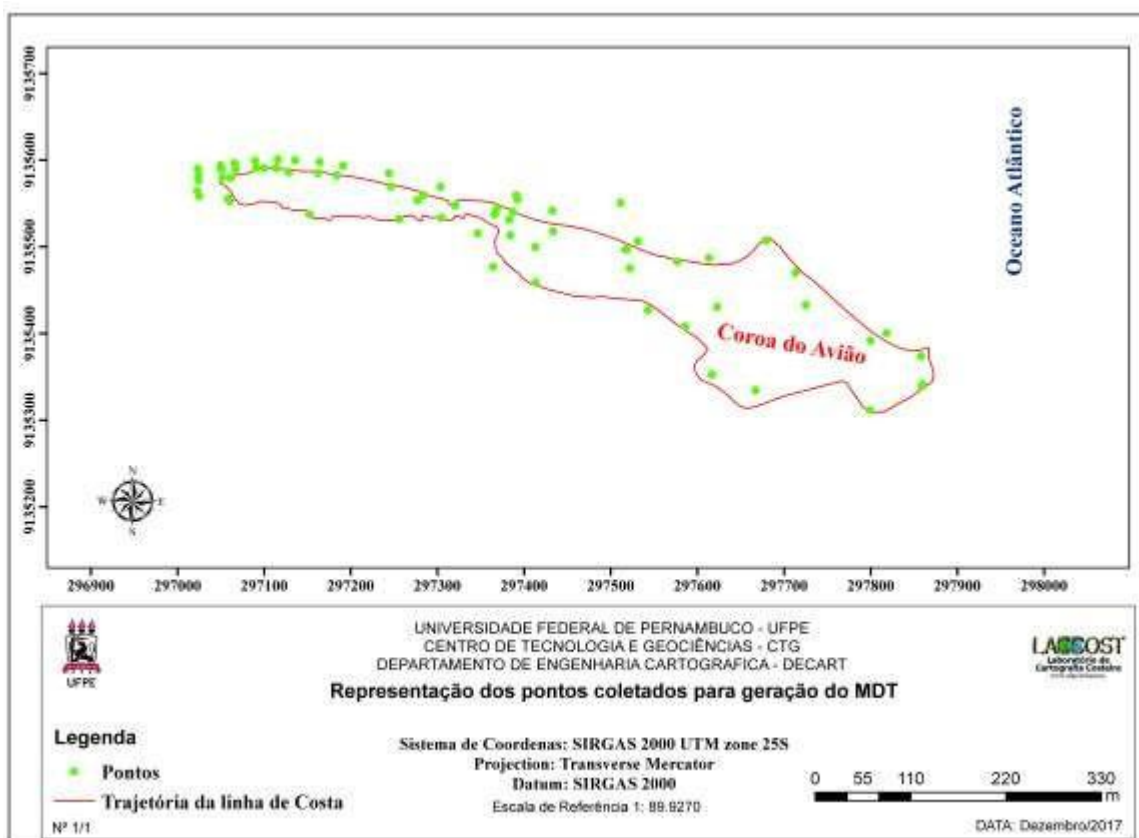
Corresponde à estimativa de valores de z de uma superfície em um ponto não amostrados a partir dos valores conhecidos da coordenada z dos pontos circundantes.

- **Validação Cruzada**

O processo onde um dado é removido e o restante dos dados são utilizados para prever o dado removido. Para produzir um gráfico de validação cruzada em geoestatística, cada ponto de dados é sistematicamente retirado e o modelo é usado para obter um valor previsto para aquele local. O processo é repetido para todos os pontos e os previstos e valores atuais são plotados.

A seguir, a figura 16 mostra o conjunto de pontos formados a partir do processamento dos dados.

Figura 16 – Conjunto de pontos para geração do MDT.

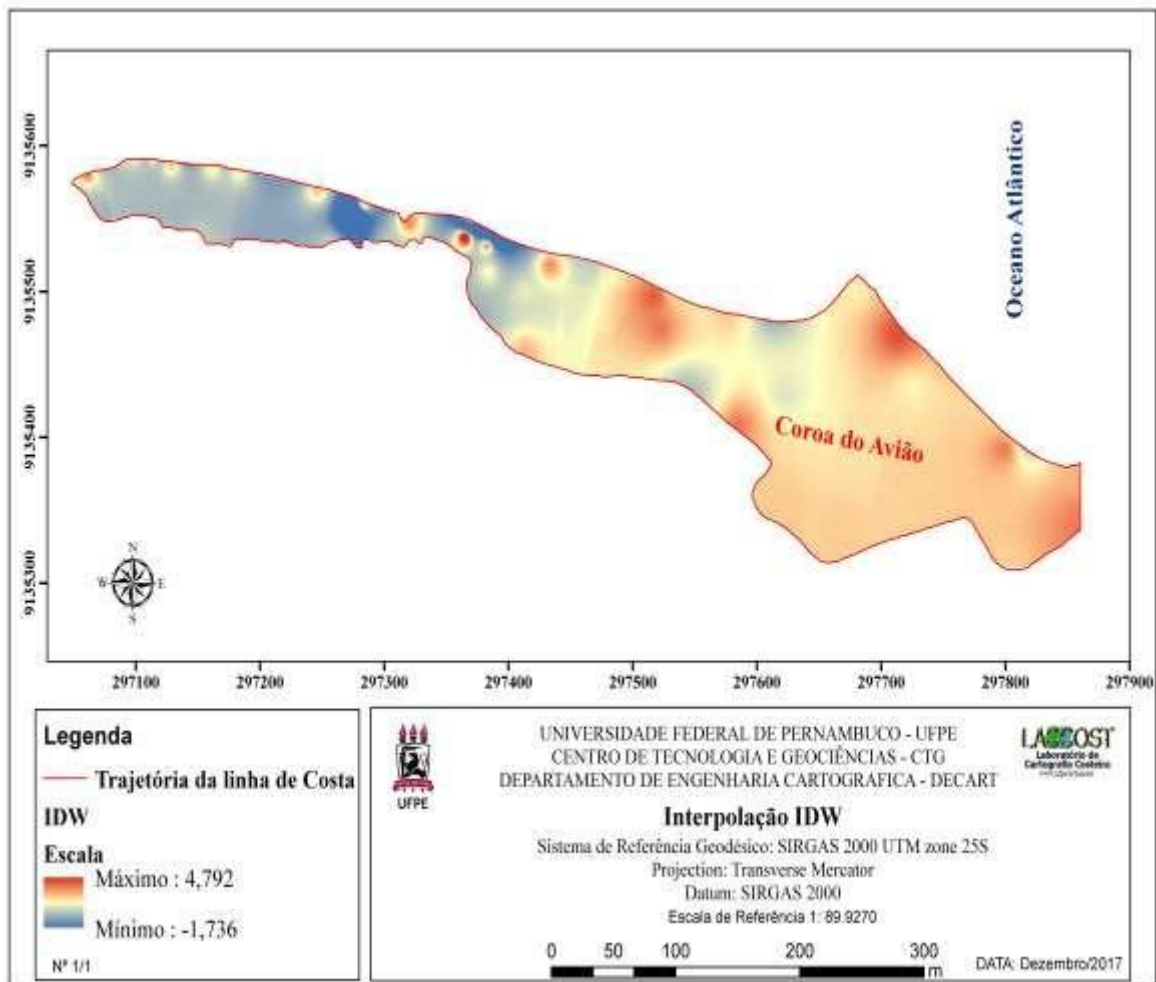


Fonte: o autor.

Para fazer a interpolação fez-se necessário a separação aleatória de 40 pontos, onde foram subtraídos da planilha total. De modo a ser utilizado 53 pontos para realização dos métodos de interpolação e análise dos resultados obtidos. A função utilizada para separação dos pontos foi a *subset features* da *Geoestatical Analyst*, que permite gerar superfícies ideais a partir de amostras de dados e avaliar as previsões para uma melhor tomada de decisão

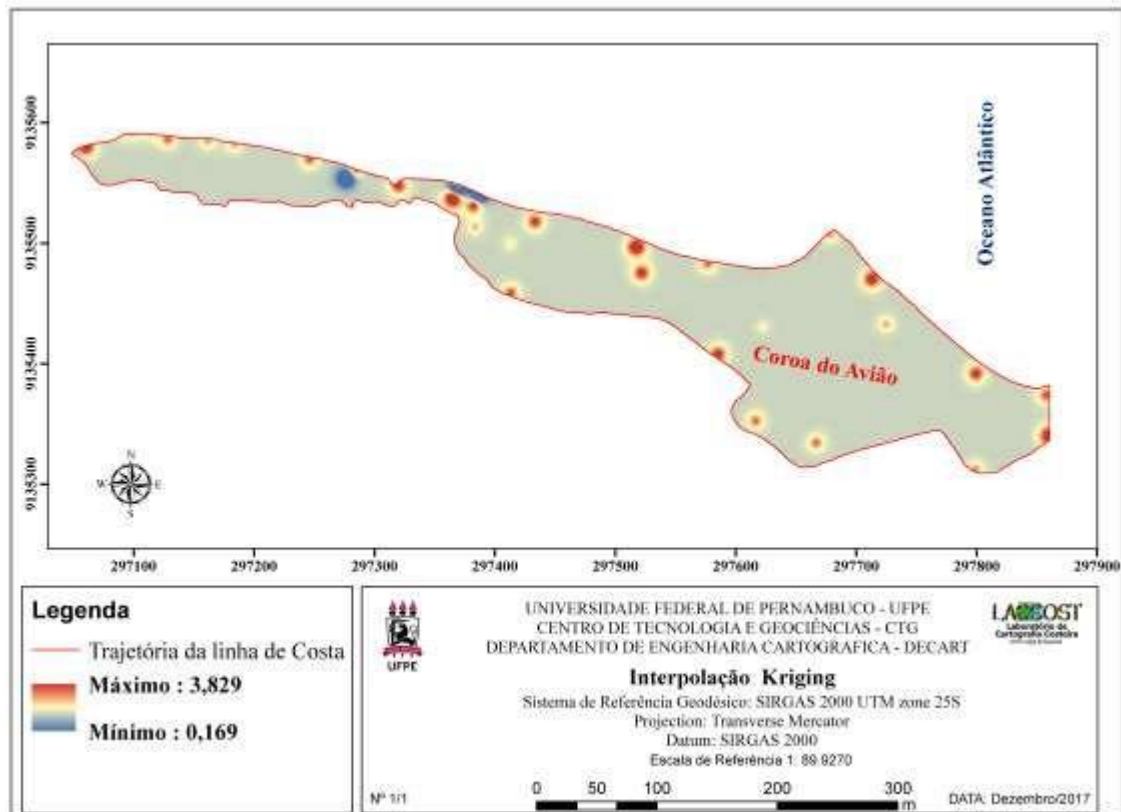
São apresentados pelas figuras 17 e 18 os resultados da interpolação gerada através dos métodos Kriging e IDW, obtidos através do ArcGis 10.0 e as figuras 19 e 20 os resultados obtidos com o surfer 15 em ambos os métodos utilizou-se a média dos pontos, como fonte interpoladora. A figura 20 mostra a interpolação com a presença de curvas de nível com equidistância de 0,50 cm e a figura 21 mostra o MDT obtido com as interpolações, obtidas através do surfer 15.0.

Figura 17 - Interpolação com Método IDW com uso do ArcGis 10.



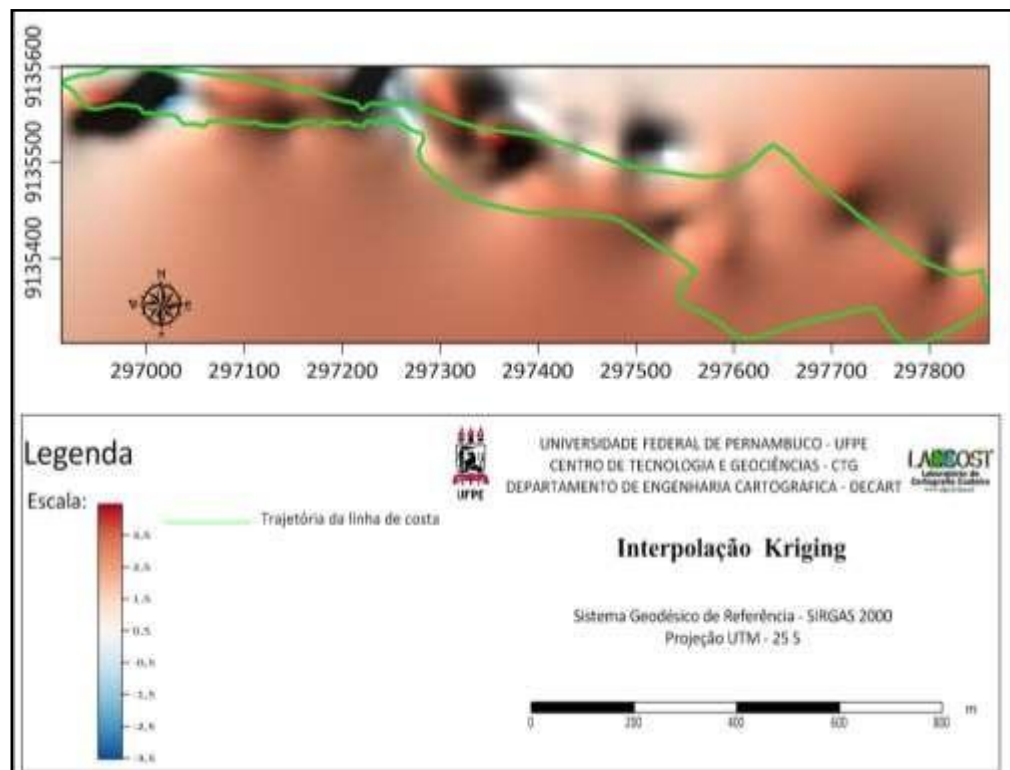
Fonte: o autor.

Figura 18 – Interpolação com o Método Kriging com uso do ArcGis 10.



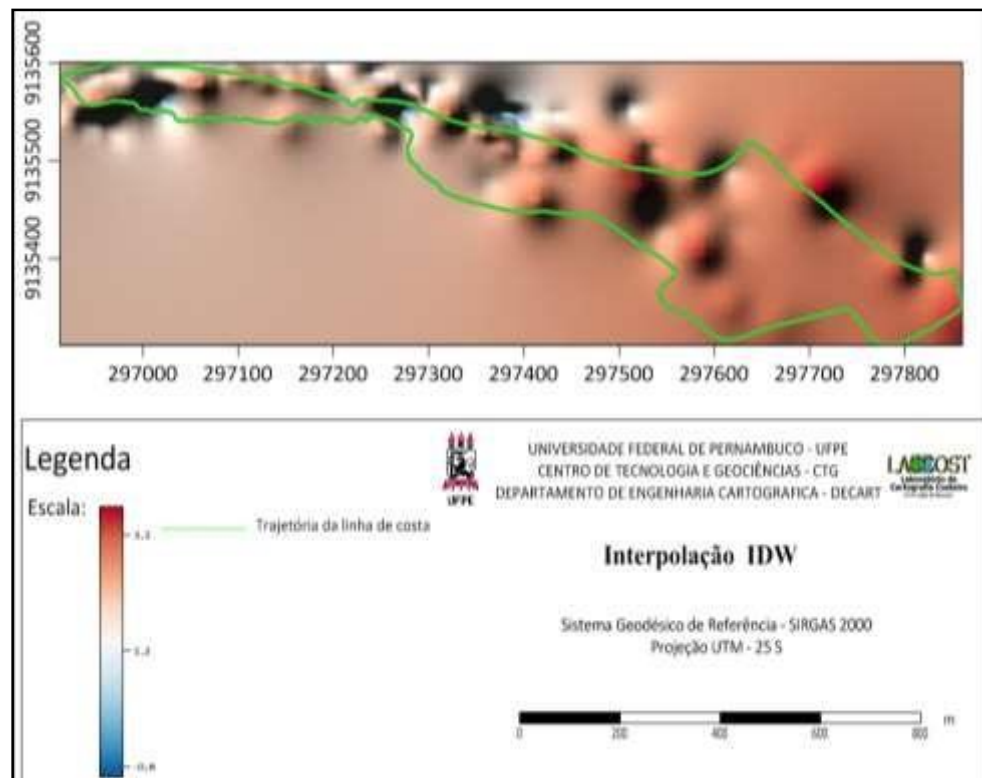
Fonte: o autor

Figura 19 – Interpolação Kriging com uso do Sufer 15.



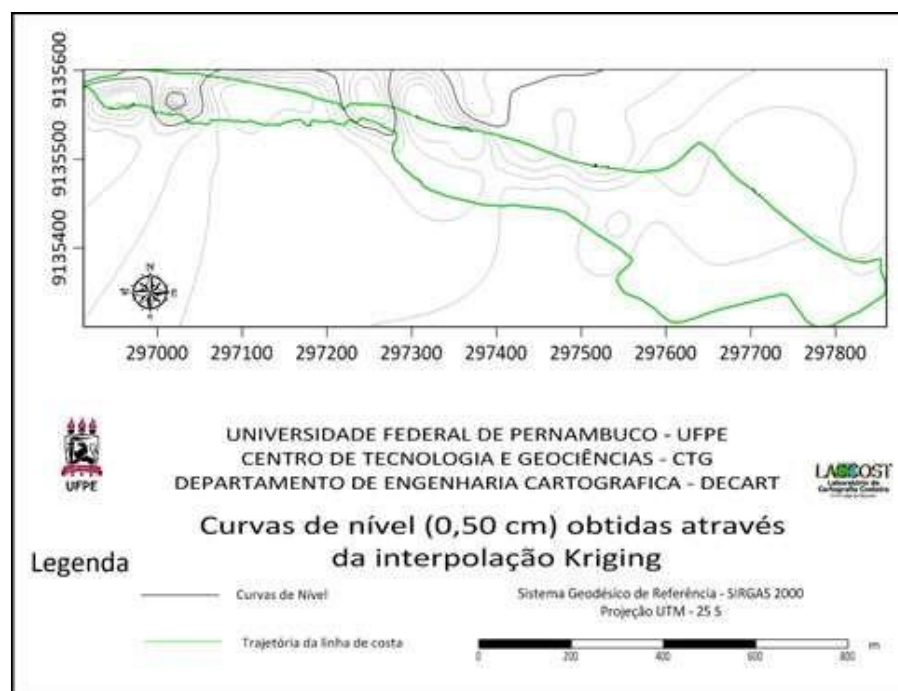
Fonte: o autor

Figura 20 – Interpolação IDW com uso do surfer 15.

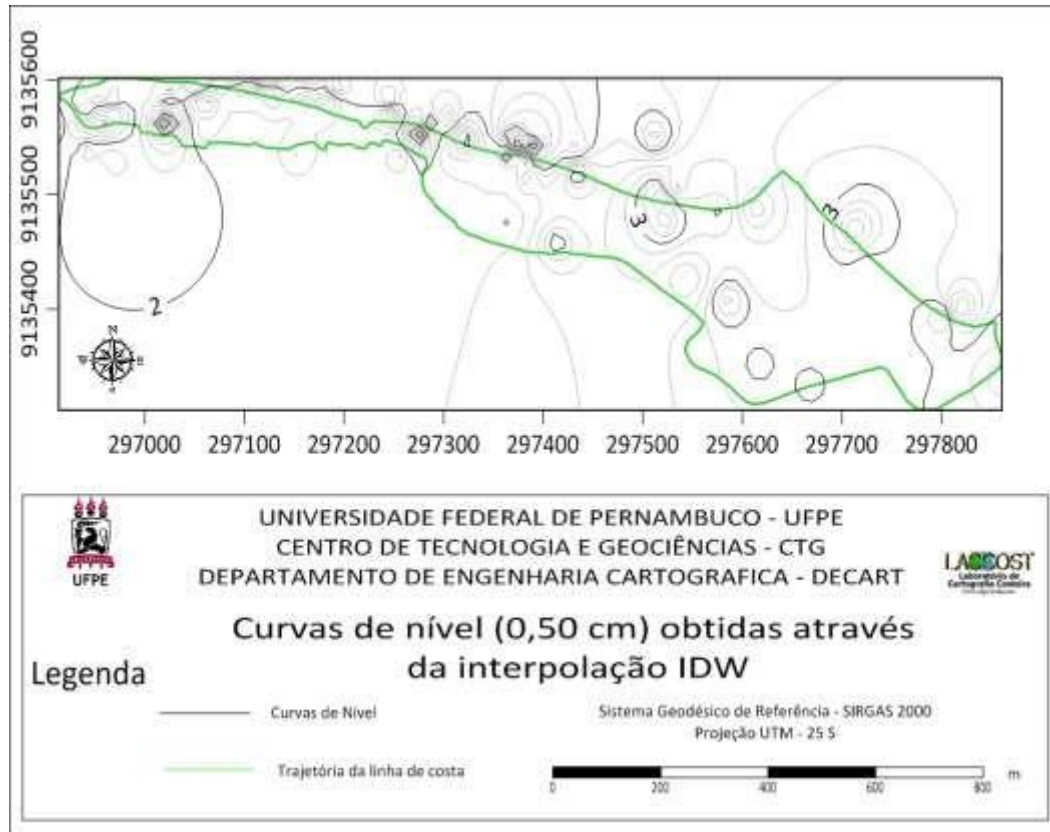


Fonte: o autor.

Figura 21 - Representação das interpolações com curvas de nível.



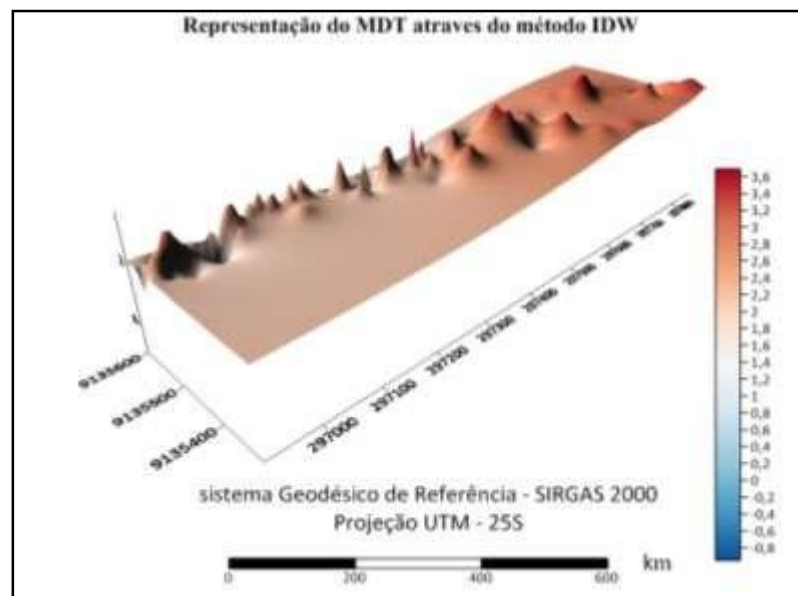
(a)



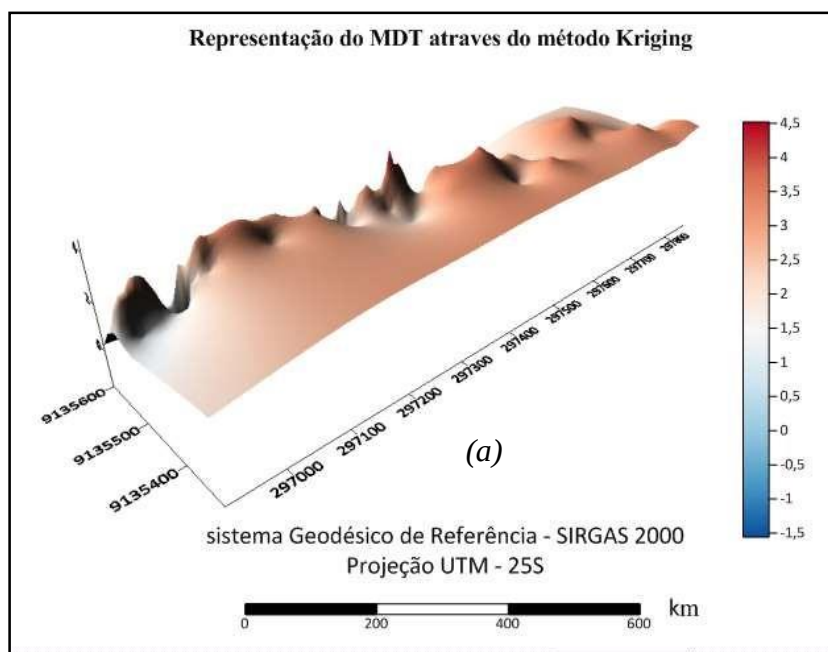
(b)

Fonte: o autor.

Figura 22 – MDT



(a)



(b)

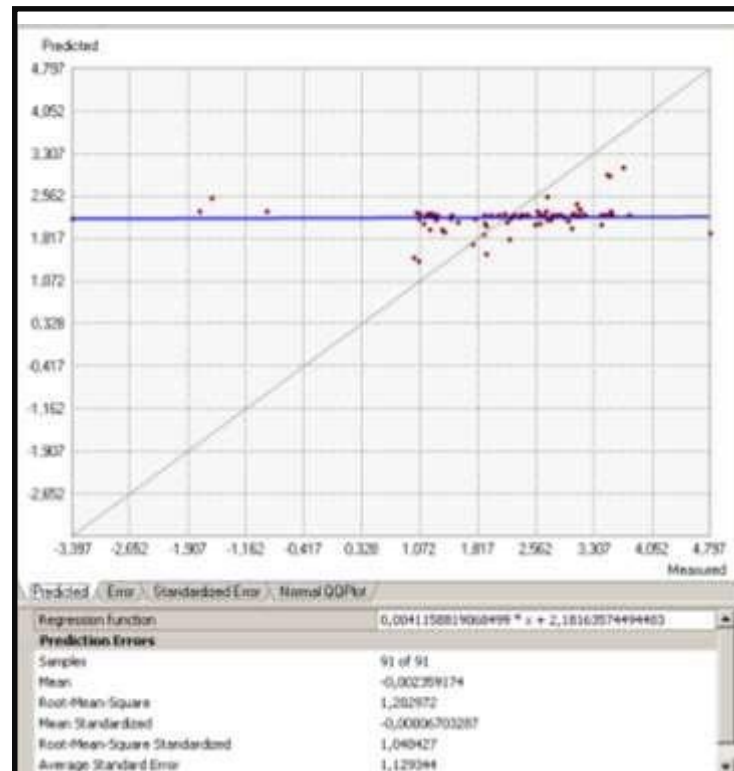
Fonte: o autor.

A partir das imagens 17 e 18 chegou-se a conclusão que para uma área com baixo índice de variação de altitude o software que apresentou visualmente melhor suavidade aos modelos interpoladores foi o *surfer* 15.0, como mostra as figuras 19 e 20, que o ArcGis 10.0. Porém ressalta-se que o processo de análise geoestatística presente no Arcgis 10.0 além de garantir praticidade de manipulação dos dados, possui uma variedade de métodos de análises, assegura uma maior precisão através da progressão de aplicação dos métodos antes da obtenção do resultado final dos dados. Salienta-se que neste trabalho não foram gerados MDT's com o Arcgis devido a insuficiência de resultados satisfatórios em termos de visualização, e como objetivo deste trabalho é analisar os interpoladores optou-se pela representação apenas através do *surfer* 15.0.

A validação cruzada consiste em fazer o diagnóstico de análise de dados estruturados desempenhados em um modelo. As figuras 23 e 24 mostram os valores medidos para os pontos de dados no eixo das abcissas, e os valores que o modelo prevê para esses mesmos locais no eixo das ordenadas. A reta no gráfico representa valores idênticos para os valores previstos e reais, quanto mais próximos os pontos estão para a reta base, melhor a qualidade de distribuição dos pontos interpolados.

A validação cruzada permite inferir sobre o melhor interpolador. A partir da análise estatística dos resíduos e da observação do gráfico de regressão, entre os valores estimados e os observados, determina-se o interpolador mais adequado. Se a validação cruzada apresentar os resultados sobre uma reta de regressão próxima da bissetriz e com pequena dispersão dos pontos em torno dessa reta, tem-se uma boa estimativa (ANDRIOTTI, 2003).

Figura 23- validação cruzada para a interpolação Kriging.



Fonte: o autor.

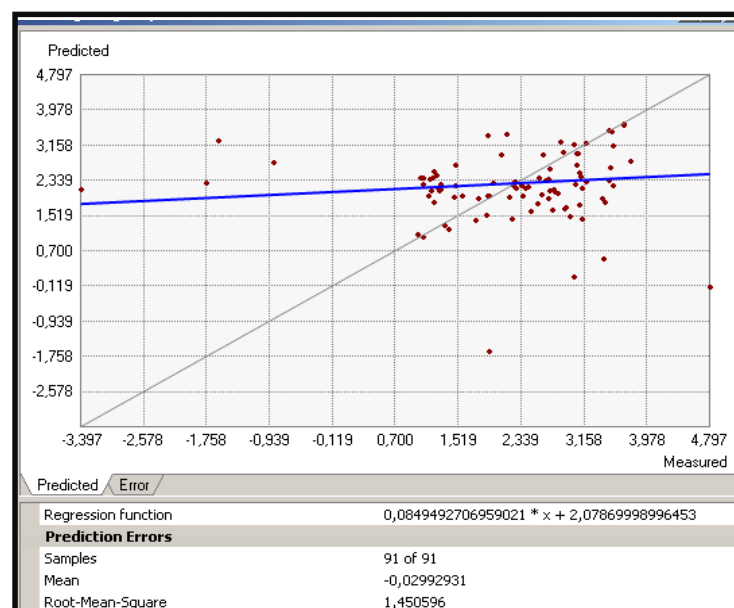


Figura 24 - Validação Cruzada para interpolação IDW.

Fonte: o autor.

No gráfico da validação cruzada da interpolação Kriging os pontos distanciaram-se consideravelmente da reta base não havendo uma boa estimativa, ao contrario do IDW em que a houve uma pequena aproximação, a bissetriz, A tabela 8 apresenta à média e o desvio padrão dos erros obtidos pelo interpolador kriging, Onde a média tem um valor considerado aceitável, e o RMS também aceitável, dependendo do critério de aplicabilidade, a tabela 8 também apresenta as mesmas características da tabela 8, com RMS também podendo ser observado pelo grau de aplicabilidade.

Tabela 8 - Análise dos erros do interpolador Kriging

Interpolador Kriging	
Número de Amostras	53
Média	0,002
RMS	1,203

Fonte: o autor.

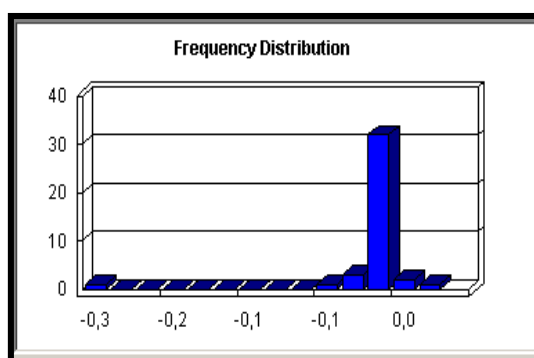
Tabela 9 - Análise dos erros do interpolador IDW

Interpolador IDW	
Número de Amostras	53
Média	0,030
RMS	1,450

Fonte: o autor.

Após gerar a superfície interpolada fez-se a exportação para o formato raster, e em seguida exportando para transforma-la em *shapefile* para geração da grade, com a finalidade de realizar a verificação dos interpoladores, feita com o uso dos 40 pontos extraídos inicialmente, utilizou-se a função *Extraction Values to Points*, e com a grade gerada tem-se determinação da altitude de cada ponto, formando uma nova coluna na tabela de atributos. Em seguida, foi calculado o erro entre a coordenada z do ponto, e sua respectiva correspondência interpolada, os resultados são apresentados através das tabelas 10 e 11.

Figura 25- Distribuição do erro resultante da interpolação IDW .



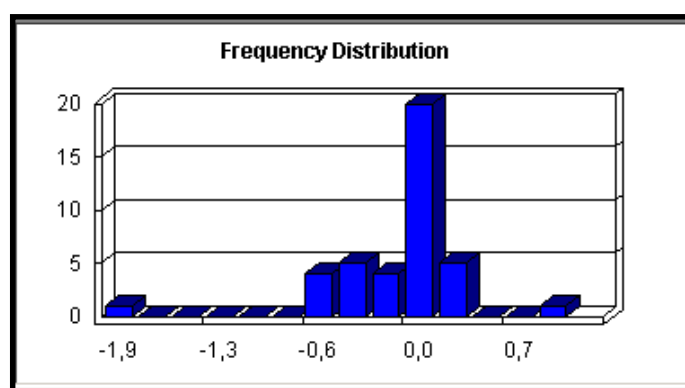
Fonte: o autor.

Tabela 10 - Resultado do erro resultante da interpolação IDW .

Análise	
Pontos (amostra)	40
Mínimo	-0,27
Máximo	-0,22
Média	-0,005
Desvio padrão	0,04

Fonte: o autor.

Figura 26- Distribuição do erro resultante da interpolação kriging .



Fonte: o autor.

Tabela 11 - Resultado do erro resultante da interpolação Kriging.

Análise	
Pontos (amostra)	40
Mínimo	-1,93
Máximo	0,97
Média	0,02
Desvio padrão	0,42

4.4 PONTOS DE APOIO FOTOGRAMETRICOS PRÉ-SINALIZADOS

Os pontos de controle foram obtidos, através do método de posicionamento GNSS, RTK, e georreferenciados em SIRGAS 2000. A análise da qualidade destes dados foi feita através de estatística obtida com o resultado obtidos através do processamento com o software TopconLink.

A figura 27 (a) e (b) apresenta o relatório estatístico, dos pontos levantados, onde um dos pontos não fixou, apresentando em estado (*float*). É ressaltado que durante o levantamento o receptor utilizado estava funcionando na versão demo, ou seja, a cada 25 pontos fez-se necessário a criação de uma nova obra, com isso optou-se por levantar a princípio os pontos de controle, e por seguinte os demais pontos que foram utilizados para geração do MDT.

Figura 27 - Relatório de Processamento.

I... Point From	Point To	Start Time	Duration	Note	Horizontal Preci...	Vertical Precisio...
BASE	I1	26/08/2017 14:...	00:00:01		0,008	0,014
BASE	I2	26/08/2017 14:...			0,009	0,016
BASE	I3	26/08/2017 14:...			0,013	0,015
BASE	I4	26/08/2017 14:...	00:00:05		0,018	0,016
BASE	I5	26/08/2017 14:...			0,014	0,016
BASE	I6	26/08/2017 14:...	00:00:01		0,006	0,010
BASE	I7	26/08/2017 14:...	00:00:01		0,008	0,010
BASE	I8	26/08/2017 14:...	00:00:02		0,017	0,019
BASE	I9	26/08/2017 14:...			0,010	0,016
BASE	I10	26/08/2017 14:...	00:00:03		0,006	0,008
BASE	I11	26/08/2017 14:...	00:00:05		0,004	0,006
BASE	I12	26/08/2017 14:...	00:00:02		0,009	0,011
BASE	I14	26/08/2017 14:...	00:00:02		0,008	0,011
BASE	I15	26/08/2017 14:...	00:00:04		0,006	0,010
BASE	I16	26/08/2017 14:...	00:00:01		0,013	0,022

(a)

dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Method	Solution Type	Stop Time	GPS week,day
-227,124	717,349	-0,028	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-208,767	666,884	-0,012	RTK Topo	Fixed,Phase Diff		1963,238
-153,452	635,877	0,413	RTK Topo	Fixed,Phase Diff		1963,238
-134,519	593,284	-0,855	RTK Topo	Float,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-134,432	593,227	-0,862	RTK Topo	Fixed,Phase Diff		1963,238
-102,693	463,560	0,097	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-84,496	414,314	-1,117	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-45,929	396,603	-0,817	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-28,074	354,641	-0,692	RTK Topo	Fixed,Phase Diff		1963,238
-64,775	568,814	0,588	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-64,637	566,818	0,584	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-13,973	370,400	0,344	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-29,345	305,900	-0,634	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-23,966	202,297	-0,658	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238
-5,522	108,572	-0,741	RTK Topo	Fixed,Phase Diff	26/08/2017 14:...	1963,238

(b)

Fonte: o autor

A amostra dos pontos de controle apresentou um percentual de 93,4% dos pontos cuja solução foi *fixed*, e apenas um ponto em *float*, representando 6,6% da amostra, que também apresentou tempo médio de rastreamento de 1,8 segundos e média de precisão horizontal de 0,0099 e vertical de 0,0229.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na determinação da trajetória da linha de costa, o método PPP possibilitou praticidade e agilidade durante a etapa de processamento dos dados quando comparado ao método relativo, pois ao serem processados os dados brutos, num mesmo arquivo foi disponibilizado a representação gráfica da linha de costa e um arquivo com as coordenadas processadas e análises de estatísticas posicionais, bem como os parâmetros adotados. O método relativo entre tanto, foi necessário mais de um processo, para obtenção da trajetória que foi representada graficamente em primeiro momento através de um conjunto de pontos, o que resultou numa ilegibilidade gráfica na representação da linha de costa, necessitando a realização de outros processos para obtenção da linha de costa através dos softwares de SIG. Porém quando comparados com relação a precisão esperada, através do processamento das coordenadas para as bases COR-1 e COR-2, ambos métodos apresentaram excelentes resultados, alcançando uma precisão milimétrica.

Os interpoladores utilizados apresentaram-se com baixos índices de variação, este fato deu-se devido ao relevo da área de estudo ser relativamente sem presença de altitudes

consideráveis, sendo a máxima de 4,792 m e mínima de -1,736 m, porém apesar disto, o modelo *kriging* apresentou-se com maior clareza e resposta aos resultados gráficos esperados, enquanto o IDW apresentou-se com uma melhor distribuição geoestatística dos dados, quando analisado através da validação cruzada. Conclui-se com estes eventos analisados que a quantidade de pontos em sua distribuição espacial, a análise geoestatística no processo de escolha do interpolador e as características topográficas do terreno a ser representado tem elevada influência no resultado final para a produção de um MDT, porém são fatores fundamentais para a compreensão do comportamento do estado físico da zona costeira de estudo.

Com relação aos pontos de controle fotogramétrico, para o levantamento dos pontos de controle, o método RTK apresentou-se como uma ferramenta de posicionamento que assegurou praticidade e precisão, tendo como resposta dentre os pontos de controle rastreado apenas um ausente de solução fixa.

Por fim, recomenda-se a pesquisa de outras aplicações de posicionamento GNSS, individuais e associadas, tendo como foco o mapeamento costeiro, o uso do método PPP para o processamento da linha de costa. Salienta-se também que as regiões de estudo semelhantes ao realizar um levantamento RTK para interpolação de pontos, coletar o máximo possível de amostras em tempos de variação de relevo deve-se ter maior atenção as áreas de diferenças de altitude para assegurar uma melhor construção do MDT. Para os pontos de controle, recomenda-se o uso do método RTK por assegurar praticidade e precisão durante o levantamento e resultados obtidos. Essas sugestões têm por finalidade aproximar a pesquisa da grande variabilidade apresentada pelas zonas costeiras. Por tanto esta pesquisa contribuiu, com a construção da difusão do uso do PPP para o mapeamento costeiro, resultante de precisão, praticidade de processamento dos dados, e agilidade na obtenção de rápidos resultados gráficos e descritivos do posicionamento executado, assim como o uso do RTK para levantamento de pontos de controle e pontos para geração de MDT, que além de assegurar também uma praticidade de uso e processamento, atingiu a precisão esperada para o desenvolvimento das práticas pelo qual foi empregado nesta pesquisa, densificando a importância do seu uso para tais aplicações.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA S. M.; DAL POZ R. W.; **Posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente?** Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 22, no1, p.175 - 195, jan-mar, 2016.

ALVES, C.M.D.; ROMÃO, V. M. C.; GARNÉS, S. J. A.; MONICO, J.F.G. **Avaliação da qualidade dos serviços de Posicionamento por Ponto Preciso online.** Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (VI) – UFPR- Curitiba PR. 2009.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística.** São Leopoldo: Ed. Unisinos, 165p., 2003.

ARANA M. J.; **Integração do GPS com a fotogrametria.** FCT/Unesp – São Paulo. 1994. Disponível em <http://docs.fct.unesp.br/docentes/carto/arana/sefoto.pdf>. Acesso em 14/11/2017.

BOAK, E.H.; TURNER, I.L. - ***Shoreline Definition and Detection: A Review***. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0208), 21(4):688–703, West Palm Beach, FL, USA. 2005.

CARDOSO. L. A. T.; NASCIMENTO X. L. J.; **Avaliação de atividades turísticas prejudiciais à permanência de aves migratórias na Coroa do Avião, Pernambuco, Brasil**. *Caderno Ornithologia da Researchg, Recife*, (2):170-177. 2007.

LARK. J.; ***Integrated management of coastal zones***. National Park Service Program. Rosenstiel School of Marine Sciences. University of Miami. Miami, Florida, USA, 1994.

DOLAN, R.; Hayden, B.; HEYWOOD, J. ***A new photogrammetric method for determining shoreline erosion***. *Coastal Engineering*, 2, 21-39, 1978.

EL-RABBANY, A.. ***Introduction to GPS: The global positioning system***, 2nd Ed., Artech House, Boston. 2006.

ESA. ***United Space in europe***. Disponível em: < <http://www.esa.int/ESA> >. Acesso em 25 Out. 2017.

GALVÃO M.G.; **Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão**, Jaboticabal – SP, UNESP, Trabalho de Graduação em Agronomia. 39 p., 2014.

GONCALVES, R. M.; AWANGE, J. L. . ***Three Most Widely Used GNSS-Based Shoreline Monitoring Methods to Support Integrated Coastal Zone Management Policies***. *Journal of surveying engineering*, v. 143, p. 05017003-05017003-11, 2017.

GONÇALVES, R. M.; AWANGE, J.; KRUEGER, C. P. ***GNSS-based monitoring and mapping of shoreline position in support of planning and management of Matinhos/PR (Brazil)***. *Journal of Global Positioning Systems* (Print), v.11, p.156-168, 2012.

GONÇALVES, Rodrigo Mikosz ; KRUEGER, C. P. ; COELHO, L. D. S ; HECK,B. . **Monitoramento geodésico da linha de costa com o emprego do GNSS**. In: III Simpósio

Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnológicas da Geoinformação, 2010, Recife-PE. **Anais do III - SIMGEO**, 2010.

GONÇALVES, R.M.; **Modelagem de tendência a curto-prazo da linha de costa através de dados geodésicos temporais utilizando regressão linear, estimativa robusta e redes neurais artificiais. Curitiba, UFPR.** Tese de doutorado, programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas, 152p. ,2010.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, GALILEO and more**, Springer-Verlag Wien, 2007.

IAC. **Glomass Constellation Status**. Disponível em: <<https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>>. Acesso em 25 Out. 2017.

ICG; **Current and Planned Global and Regional Navigation Satellite. Systems and Satellite-based Augmentations Systems**. UNITED NATIONS. New York, 2010. Disponível em: <http://www.unoosa.org/pdf/publications/icg_ebook.pdf> . Acesso em 14/11/2017.

JANSEN, J.R.; **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) et al.2. Ed. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.

JIMENEZ, K. Q.; DOMEQ, F. M. **Estimação de chuva usando métodos de interpolação. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.16, 2008 .

KÖNIG, D. **Comparação de métodos de interpolação na geração de modelos digitais de elevação: Estudo de caso em área no município de São José, Santa Catarina**. In: I SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA, 2014, Alfenas. **Anais eletrônicos...** Alfenas: Universidade Federal de Alfenas-MG, 2014. Disponível em: <<http://www.unifalmg.edu.br/simgeo/system/files/anexos/Derik%20K%C3%B6nig.pdf>> Acesso em: 23 nov. 2017.

LEICK, A.; **GPS Satellite Surveying**. 3ª ed. New York: John Wiley & Sons, 2004.

LIRA, N. J.; **Estudo sedimentológico e evolutivo da Coroa do Avião, Itamaracá – PE**, Recife, UFPE, Dissertação de Mestrado em Geociências. 122p., 2010.

MAJITHIYA, P.; KRITI KHATRI, J.K. HOTA; **Indian Regional Navigation Satellite System**. INSIDE GNSS, 46 p. , Janeiro/Fevereiro 2011.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F; **Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos**. Braz. J. Aquat. Sci. Technol., 2009, 13(1):53-64.

MENDONÇA B.J.F.; **Posicionamento de Alta Resolução – Adequação e Aplicação a Morfologia Costeira**, Recife, UFPE, Tese de Doutorado em Oceanografia., 108 p. ,2005.

MENDONÇA, F. J. B. ; GONÇALVES, Rodrigo Mikosz ; Awange, Joseph ; SILVA, L. M. ; GREGORIO, M. N. . **Temporal shoreline series analysis using GNSS**. Boletim de Ciências Geodésicas (Online), v. 20, p. 701-719, 2014.

MENDONÇA, F. J. B.; MENDONÇA, R. L. **Determinação da linha de costa das praias do município de Recife-PE**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010, Recife-PE. **Anais do III - SIMGEO**, 2010.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS. Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo. Editora UNESP., 287p., 2000.

ROCHA, César Henrique Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. 3ª Ed do Autor, rev. e atual. Juiz de Fora, MG. , 114p., 2007.

ROSALEN, D. L. **Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

SANTOS, B.L.; **Avaliação do modelo digital do terreno através de VANT em planícies pantaneiras**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal, UFMT, 53p., 2016.

SATO, S.S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais**. 2003. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SEEBER, G. *Satellite Geodesy: foundations, methods and applications*. 2nd ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SILVA A. F.C.; FERREIRA B.; BARRETO P. E.; GREGORIO N. M.; MANZO V. A.V.; CANDEIAS B. L. A.; MELO A. D. W.; **Índices de vulnerabilidade à erosão das praias da Ilha de Itamaracá, litoral norte de Pernambuco, Brasil**. *Investig. Geogr. Chile*, 52: 71 – 82. 2016.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia marinha**. T.A. Queiroz, São Paulo, SP, 171p. , 1992.

SURFER: **User's Guide – Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers**. Golden Software. p.619, 1999.

TANAJURA, ELMO L. X.; KRUEGER, C. P; GONÇALVES, R. M. **Análise da acurácia dos métodos cinemáticos de posicionamento GPS em aplicações costeiras**. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 17, p. 23-36, 2011.

VARELA, A. A. C.; **Princípios em Agricultura de Precisão**. UFRF. 9p. 2013. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Aulas/MAPEAMENTO%20DA%20VARIABILIDADE%20ESPACIAL.pdf> Acesso em 03/12/2017.

ZANARDI, R.P. **Geração de Modelo Digital de Terreno a Partir de Par Estereoscópico do Sensor CCD do Satélite CBERS-2 e Controle de Qualidade das Informações Altimétricas**. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ZUMBERGE, J.F.; HEFLIN, M.B.; JEFFERSON, D.C.; WATKINS, M.M.; WEBB, F.H. **Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks**. *Journal of Geophys Research* 102(B3):5005–5017. 1997.

ANEXOS

ANEXO 1 – PARTE DO RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO PPP, BASE COR-1

 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)	
Sumário do Processamento do marco: 3880826 _ 12460000	
Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS	2017/08/26 12:46:32,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS	2017/08/26 14:29:08,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	LEIGS15 NONE
Órbitas dos satélites: ¹	FINAL
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ² (m):	0,000
Ângulo de Elevação(grades):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	2,02 GPS 3,27 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	1,03 GPS 1,32 GLONASS
Coordenadas SIRGAS	
	Latitude(gms) Longitude(gms) Alt. Geo.(m) UTM N(m) UTM E(m) MC
Em 2000.4 (E a que data ser usado) ⁴	-7° 48' 58,9068" -34° 50' 18,2963" -2,32 9135559,162 297284,750 -33
Na data do levantamento ⁵	-7° 48' 58,9083" -34° 50' 18,2980" -2,32 9135559,361 297284,697 -33
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,002 0,008 0,008
Modelo Geoidal	MAPGEO2015
Ondulação Geoidal (m)	-5,45
Altitude Ortométrica (m)	3,13

Fonte: IBGE-PPP.

ANEXO 2 – PARTE DO RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO PPP, BASE COR-2


Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)
Sumário do Processamento do marco: 3880826 _ 12460000

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS 2017/08/26 12:46:32,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS 2017/08/26 14:29:08,00
Modo de Operação do Usuário: ESTÁTICO
Observação processada: CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena: LEIGS15 NONE
Órbitas dos satélites:¹ FINAL
Frequência processada: L3
Intervalo do processamento(s): 1,00
Sigma² da pseudodistância(m): 5,000
Sigma da portadora(m): 0,010
Altura da Antena³(m): 0,000
Ângulo de Elevação(graus): 10,000
Resíduos da pseudodistância(m): 2,02 GPS 3,27 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm): 1,03 GPS 1,32 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deve ser usada) ⁴	-7° 48' 58,9668"	-34° 50' 18,2963"	-2,32	9135559.162	297284.750	-33
Na data do levantamento ⁵	-7° 48' 58,9603"	-34° 50' 18,2980"	-2,32	9135559.361	297284.697	-33
Sigma(95%)⁶ (m)	0,002	0,008	0,008			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-5,45					
Altitude Ortométrica (m)	3,13					

Fonte: IBGE-PPP