

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA - DEPART

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ACURÁCIA POSICIONAL ALTIMÉTRICA DE MODELO DIGITAL DE
TERRENO PROVENIENTE DE SISTEMA RADAR INTERFEROMÉTRICO DE
ABERTURA SINTÉTICA**

LUAN PERICLES MUNIZ DE ANDRADE BERINGUEL

ORIENTADORA: PROF^a. DRA^a. SIMONE SAYURI SATO

Recife

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA - DECART

Luan Pericles Muniz de Andrade Beringuel

Bacharel em Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco,
2016.2

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ACURÁCIA POSICIONAL ALTIMÉTRICA DE MODELO DIGITAL DE
TERRENO PROVENIENTE DE SISTEMA RADAR INTERFEROMÉTRICO DE
ABERTURA SINTÉTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso 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.

ORIENTADORA: PROF^a. DRA^a. SIMONE SAYURI SATO

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

- B511a Beringuel, Luan Pericles Muniz de Andrade.
 Acurácia posicional altimétrica de modelo digital de terreno proveniente de sistema radar interferométrico de abertura sintética / Luan Pericles Muniz de Andrade. - 2017.
 55 folhas, il.
- Orientadora: Profa. Dra. Simone Sayuri Sato.
 TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica, 2017.
 Inclui Referências.
1. Engenharia Cartográfica. 2. Análise de qualidade. 3. ET-CQDG. 4. PEC. 5. Interferometria SAR. 6. MDT. 7. Acurácia posicional altimétrica. I. Sato, Simone Sayuri (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-57

Luan Pericles Muniz de Andrade Beringuel

**ACURÁCIA POSICIONAL ALTIMÉTRICA DE MODELO DIGITAL DE
TERRENO PROVENIENTE DE SISTEMA RADAR INTERFEROMÉTRICO DE
ABERTURA SINTÉTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso 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.

Recife, 07 de fevereiro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Simone Sayuri Sato (Orientadora)
Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE

Prof.^a Dr.^a Lucilene Antunes Correia Marques de Sá
Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE

Prof.^a Msc.^a Lígia Albuquerque de Alcântara
Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE

RESULTADO: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por permitir que meus planos possam ser concretizados e por ter chegado a tão sonhada conclusão de minha graduação, e que esse seja apenas o começo de uma longa trajetória.

Aos meus professores, por realizarem o trabalho mais honroso da humanidade, o de transmitir conhecimento ao próximo. Em especial, agradeço ao professor Daniel Carneiro e a professora Andréa Tenório Carneiro por terem sido responsáveis pela minha escolha da carreira de Engenheiro Cartógrafo e por terem me dado o maior apoio no início da minha vida acadêmica na universidade. A minha orientadora, a professora Simone Sayuri Sato, pela paciência e bons ensinamentos durante todo o desenvolver deste trabalho.

Agradeço a toda minha família, em especial a minha mãe, Maria Celene, que garantiu e proporcionou toda estrutura que necessitei para chegar até aqui, e a minha esposa, Danubia Veloso, pelo companheirismo, sabedoria, por fazer parte de todas as boas escolhas que fiz e por ter me dado mais uma razão na minha vida, minha filha Gabrielly.

A todos os amigos que fiz neste período de faculdade, especialmente a Lucas, Camila, Rafael, Saulo e Dannyelle por terem sido minha segunda família durante boa parte da graduação e proporcionado momentos inesquecíveis, a estes sou eternamente grato.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso tem como propósito analisar e classificar a qualidade de um modelo digital de terreno (MDT) gerado por um sistema Radar Interferométrico de Abertura Sintética. Os dados de MDT pertencem ao Grupo GEGEP (Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres). Os pontos de controle de qualidade levantados somam subprodutos gerados com o termo de cooperação firmado entre o Ministério das Cidades e a Universidade Federal de Pernambuco. Neste estudo adotou-se como área de estudo o município de Cabo de Santo Agostinho. Foram estudadas as principais normas e especificações técnicas a respeito dos padrões brasileiros que possibilitam a verificação da qualidade de um modelo digital do terreno (MDT). Neste sentido, destacaram-se: o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais – PEC-PCD, indicador de qualidade posicional para produtos cartográficos digitais referenciado na Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) e o Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC proposto no Decreto nº89.817/84 que é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão do trabalho cartográfico descrito na norma cartográfica do Brasil. Para verificar a qualidade quanto a qualidade posicional do MDT, foram adotados os procedimentos metodológicos compreendidos na ET-CQDG.

Palavras-chave: Análise de Qualidade; ET-CQDG; PEC; Interferometria SAR; MDT; Acurácia Posicional Altimétrica.

ABSTRACT

The present work aims to analyze and classify the quality of a digital terrain model (MDT) generated by a Radar Interferometric Synthetic Aperture system. The MDT data belong to the GEGEP (Group of Geotechnical Engineering of Slopes, Plains and Disasters). The quality control points raised add to by-products generated with the cooperation agreement signed between the Ministry of Cities and the Federal University of Pernambuco. In this study the municipality of Cabo de Santo Agostinho was adopted as the study area. The main standards and technical specifications allow the verification of the quality of a digital terrain model (DTM) were studied. In this sense, the Cartographic Accuracy Standard for Digital Cartographic Products - PEC-PCD, positional quality indicator for digital cartographic products, referenced in the Technical Specification for Geospatial Data Quality Control (ET-CQDG) and the Standard of Cartographic Accuracy - PEC proposed in Decree No. 89.817 / 84, which is a statistical indicator of dispersion, relative to 90% probability, which defines the accuracy of the cartographic work described in the cartographic norm of Brazil. To verify the quality of the positional quality of the MDT, the methodological procedures included in the ET-CQDG were adopted.

Keywords: Quality control; ET-CQDG; PEC; Interferometry SAR; DTM; Positional Altimetric Accuracy.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1. Introdução	12
2. Objetivos.....	14
2.1.1. Objetivo Geral	14
2.1.2. Objetivos Específicos.....	14
3. Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais	15
3.1.1. Padrões de Qualidade na Cartografia	15
3.1.2. Acurácia Posicional.....	17
3.1.3. Avaliação de Controle de Qualidade Segundo a Acurácia Posicional Altimétrica Absoluta	19
4. Global Navigation Satellite System - GNSS.....	22
4.1.1. GNSS na Altimetria.....	23
5. Modelo Digital de Terreno - MDT	26
5.1.1. Interpoladores	26
6. Aquisição de Dados por SAR - Radar de Abertura Sintética	27
6.1.1. Interferometria SAR	29
7. Metodologia de Trabalho.....	32
7.1.1. Caracterização da Área de Estudo	32
7.1.2. Metodologia Aplicada.....	34
7.1.3. Planejamento dos Pontos de Verificação de Qualidade	35
7.1.4. Levantamento dos Pontos de Verificação de Qualidade em Campo	35
7.1.5. Processamento dos Dados de Campo.....	39
7.1.6. Análise de Qualidade	42
7.1.7. Recursos Tecnológicos.....	47

7.1.8.	Base de Dados Espaciais Gerada por SAR	47
7.1.9.	Sistema de Informações Geográficas - SIG	47
7.1.10.	Equipamentos Eletrônicos e Computacionais	48
7.1.11.	Receptores GNSS.....	48
8.	Resultados e Discussões.....	49
9.	Conclusões.....	57
	Referências Bibliográficas	59
	Anexos	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Interpretação do termo Acurácia.	18
Figura 2: Relação entre altitude elipsoidal, altitude ortométrica e ondulação geoidal.....	24
Figura 3: Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil.	25
Figura 4: Representação do método do vizinho mais próximo.....	27
Figura 5: Representação do método da média simples com 8 vizinhos.....	27
Figura 6: Banda X do sistema SAR de aquisição de imagens.	29
Figura 7: Banda P do sistema SAR de aquisição de imagens.	29
Figura 8: Espectro Eletromagnético, bandas P e X.....	30
Figura 9: Aquisição de imagens SAR utilizando duas antenas.	30
Figura 10: Sistema InSAR de mapeamento.	31
Figura 11: Fluxograma da criação automática de um MDT por InSAR.	32
Figura 12: Mapa de Localização da Área de Estudo.....	33
Figura 13: Imagem ilustrativa dos pontos de controle planejados.....	35
Figura 14: Imagem Ilustrativa da distribuição de pontos de controle no município de Cabo de Santo Agostinho sobre imagem sintética colorida (BANDA X e P) do OrbiSAR-2.....	36
Figura 15: Fotografias do levantamento de pontos em campo.....	37
Figura 16: Parâmetros da estação RECF para a época 2000.4.....	40
Figura 17: Cabeçalho da Monografia de Vértices não materializados utilizado para documentar pontos levantados nesse trabalho.....	42
Figura 18: Fotografias do ponto P27 sendo coletado ao lado de uma placa de trânsito de metal.....	47
Figura 19: Gráfico de dispersão dos erros altimétricos sobre os pontos coletados no trabalho.	50
Figura 20: Gráfico de dispersão dos erros obtidos sobre os pontos coletados pelo IBGE.....	52
Figura 21: Gráfico de dispersão dos erros altimétricos dos pontos coletados no trabalho sobre o MDT ajustado.	53
Figura 22: Gráfico de dispersão dos erros obtidos dos pontos coletados pelo IBGE sobre o MDT ajustado.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros estabelecidos pelo decreto 89.817 de junho de 1984 para o controle de qualidade geométrico de documentos cartográficos.....	15
Tabela 2: RNs do Município do Cabo de Santo de Santo Agostinho.	37
Tabela 3: Coordenadas planialtimétricas dos pontos de Controle em SIRGAS 2000 do município de Cabo de Santo Agostinho.	40
Tabela 4: Erros calculados da componente altimétrica, seguindo o PAP-PCD.	43
Tabela 5: Classes do PEC e PEC-PCD para escala de 1:10.000, segundo o erro máximo e o erro padrão.	44
Tabela 6: Erros calculados da componente altimétrica, seguindo o PAP-PCD, com pontos do IBGE (Campanha :LC413).	45
Tabela 7: Pontos de Controle analisados segundo o PEC classe “A” (À esquerda) e o PEC-PCD classe “A” (À direita), sobre o MDT.	49
Tabela 8: Pontos do IBGE analisados segundo o PEC classe “A” (À esquerda) e PEC-PCD classe “A” (À direita), sobre o MDT.	51
Tabela 9: Pontos de Controle analisados segundo o PEC-PCD, sobre o MDT ajustado.....	53
Tabela 10: Pontos do IBGE analisados segundo o PEC-PCD, sobre MDT ajustado.....	54
Tabela 11: Resumo do Controle de Qualidade.	55

1. Introdução

O avanço das tecnologias da geoinformação tem garantido o acesso a um grande volume de dados geospaciais, porém, muitas vezes não se tem informações da qualidade destes dados, o que exige esforços para verificar se esta qualidade atende ou não as especificações técnicas do seu fornecimento cuja qualidade cartográfica é frequentemente medida pela precisão e acurácia posicional dos dados. Nem sempre se tem órgão competente para realizar os testes de qualidade citados nas especificações técnicas ou nas normas cartográficas nacionais.

Segundo SANTOS (2010), a cartografia produz modelos de realidade e estes são usados para tomar decisões, por isso a necessidade de obter um alto nível de acerto nas decisões a serem tomadas baseadas em dados geoespaciais com qualidade controlada. Dessa forma, o controle de qualidade na cartografia é de suma importância para proporcionar a utilização de dados geoespaciais com um nível de qualidade atribuído e conhecido.

Um dos elementos de qualidade consolidado no Brasil é a acurácia posicional, que neste trabalho foi correlacionado com o padrão de exatidão cartográfico - PEC, critério de classificação de produtos cartográficos em meio analógico, regulamentado pelo Decreto nº89.817 de 20 de junho de 1984. Este critério de avaliação de qualidade específica para cartas topográficas em formato analógico vem sendo aplicado ainda nos dias atuais em dados geoespaciais e em insumos e produtos cartográficos digitais por falta de normas regulamentadas. Porém, existem esforços de elaboração de normas no âmbito da cartografia nacional sendo realizados desde 2008, que segundo ALVES (2013), com o objetivo de padronizar a produção cartográfica nacional, como a Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) e a Especificação Técnica dos Produtos do Conjunto de Dados Geoespaciais (ET-PCDG). Estas normas compõem o conjunto de parâmetros para a medida da qualidade de dados geoespaciais no âmbito da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE. Outras normas estão em fase de elaboração: Especificação Técnica para a Representação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-RDGV), a

própria Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), entre outras mais específicas de órgãos responsáveis pelas normatizações. Neste contexto, o estudo buscou aplicar as especificações técnicas e as normas cartográficas existentes, o que possibilitou a verificação e análise da qualidade do MDT da área de estudo selecionada, município de Cabo de Santo Agostinho do estado de Pernambuco.

Os dados de mapeamento utilizados, bem como os métodos aplicados, fazem parte do projeto do Laboratório para Redução de Riscos de Desastres – LABRID do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres – GEGEP da Universidade Federal de Pernambuco. Este projeto abrangeu quatro municípios da Região Metropolitana do Recife: Camaragibe, Abreu e Lima, Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho e foi intitulado de “Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais”, uma cooperação firmada entre o Ministério das Cidades e a UFPE por meio do GEGEP com a coordenação do professor Roberto Quental Coutinho.

A verificação da qualidade posicional e aplicação das normas e especificações técnicas cartográficas foram baseadas na edição ainda não homologada da ET-CQDG (1ª Edição, 2016) cujo critério avaliativo é o PEC aplicado a produtos cartográficos digitais (PEC-PCD).

Na verificação e análise de qualidade foram utilizados e aplicados fundamentos teóricos e práticos de: Geodésia nos levantamentos de campo, Sensoriamento Remoto, no uso de imagens de radar, além da Cartografia e Sistemas de Informações Geográficas, na análise da qualidade do insumo cartográfico MDT.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Empregar uma metodologia proposta na Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais - ET-CQDG para a análise de qualidade de produtos cartográficos digitais, em específico um Modelo Digital de Terreno – MDT proveniente de radar de abertura sintética.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar os Padrões de Exatidão Cartográfica da ET-CQDG para dados altimétricos.
- Aplicar as especificações referente a acurácia posicional altimétrica no MDT da área de estudo.
- Analisar os resultados obtidos.

3. Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais.

O conceito de qualidade está ligado com a conformidade entre as especificações projetadas em função da finalidade associada, sendo essa a importância da qualidade na cartografia (ARIZA, 2002).

A ISO 9000: 2000 define qualidade como o grau em que o conjunto de características inerentes cumpre com os requisitos (necessidades ou expectativas estabelecidas, geralmente implícitas ou obrigatórias).

Portanto, verifica-se a necessidade de se estabelecer requisitos necessários para servirem de parâmetro para a medição da qualidade, ou seja, pré-estabelecer um conjunto de regras e normas que determinem um nível de qualidade para um dado documento, aprovando ou reprovando o mesmo. (ARIZA, 2002).

Segundo WEBER (1999), a qualidade é uma característica essencial ou de distinção para dados geoespaciais de maneira a torná-los confiáveis ao uso. Tais medidas de qualidade são fundamentais para avaliar a confiabilidade de resultados obtidos a partir de aplicações efetuadas com esses dados.

Para MARANHÃO (2013), a qualidade de um produto ou serviço está atrelada a algumas características específicas que nem sempre são óbvias na sua definição. Dessa maneira, alguns autores definem o conceito de qualidade como subjetivo estando ligado à satisfação funcional, apresentando, assim, um conjunto de variação, tanto na identificação dos parâmetros considerados na qualidade, quanto na avaliação dos atributos de cada parâmetro (LAZZAROTTO, 2005; BARROS, 2011).

3.1. Padrões de Qualidade na Cartografia.

Segundo NOGUEIRA JR. e MALDONADO (2000), a diversidade de critérios e padrões mostra que o assunto precisa ser abordado com grande rigor, pois o uso de diferentes critérios pode conduzir a diferentes classificações para um mesmo produto.

Os princípios que descrevem a qualidade de dados geoespaciais são estabelecidos pela norma ISO 19.157, a qual considera, basicamente, que as informações a respeito da qualidade podem ser classificadas em não quantitativa e quantitativa (DCT/DSG, 2016).

Informações não quantitativas da qualidade são concentradas nos objetivos e linhagem histórica, considerando a diversidade de aplicações utilizadas habitualmente. Por outro lado, as informações quantitativas da qualidade são medições realizadas no comportamento de dados geoespaciais, sendo descritas através dos elementos de qualidade.

Conforme descrito na ET-CQDG (2016), os elementos de qualidade estão agrupados em cinco categorias, sendo elas:

- Completude: Está relacionada a quantidade de informações que estão ausentes ou que deveriam estar presentes (NOGUEIRA JR, 2003);
- Consistência Lógica: Está relacionada a integridade dos dados geoespaciais, com a finalidade de padronizar a integridade geométrica dos dados;
- Acurácia Posicional: Expressa o quão próximo a posição (planimétrica ou altimétrica) de um dado espacial está em relação sua realidade no terreno (ou do dado tido como referência);
- Acurácia Temporal: Relação entre o dado espacial e sua dinamicidade temporal; e
- Acurácia Temática: Diz respeito à correta interpretação das feições e atributos com relação a sua realidade.

Para alcançar os objetivos do trabalho, fica considerado apenas a componente de acurácia posicional e seus elementos de altimetria.

No Brasil, são estabelecidos normas e padrões de controle de qualidade da cartografia nacional através do decreto nº 89.817 de junho de 1984, sendo decretado em seu Capítulo II as normas referentes à classificação de uma carta quanto à exatidão.

De acordo com o Decreto 89.817, as cartas, quanto à sua exatidão, devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, sendo este o indicador estatístico de dispersão relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. Assim, $PEC = 1,6449 \times \text{Erro-Padrão}$, ou seja, o Erro-Padrão (EP) não deverá ultrapassar 60,8% de PEC (BRASIL, 1984).

Quanto as classes estabelecidas no decreto 89.817/84, tem-se:

Tabela 1: Parâmetros estabelecidos pelo decreto 89.817 de junho de 1984 para o controle de qualidade geométrico de documentos cartográficos.

Carta	PEC Planimétrico	Erro padrão	PEC Altimétrico	Erro padrão
Classe A	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala	1/2 equidistância	1/3 equidistância
Classe B	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala	3/5 equidistância	2/5 equidistância
Classe C	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala	3/4 equidistância	1/2 equidistância

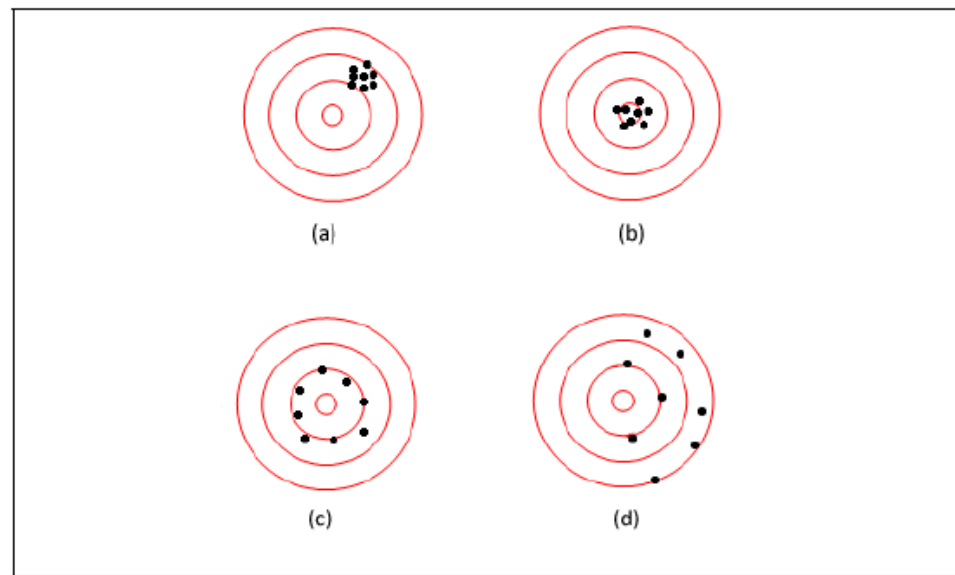
Fonte: COSTA (2015) adaptado do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

3.2. Acurácia Posicional.

A obtenção da acurácia posicional é dada a partir do cálculo das diferenças entre as coordenadas das feições, no produto a ser avaliado, e seus pontos homólogos em uma fonte de maior referência, fazendo a comparação do valor correspondente a escala do produto com desvio-padrão obtido (MARANHÃO, 2013).

Para GEMAEL (1994), o conceito de acurácia está associado a efeitos aleatórios e sistemáticos das observações, enquanto que a precisão é atrelada apenas à efeitos aleatórios de dispersão. Dessa forma, pode-se dizer que a acurácia e a precisão estão relacionadas por meio da existência de tendências.

Figura 1: Interpretação do termo Acurácia.



Fonte: GHILANI e WOLF (2006).

A Figura 1 mostra um exemplo clássico para demonstração visual dos termos acurácia, precisão e tendência, sendo os pontos considerados como dados de observações e o centro de cada alvo considerado o valor máximo provável de um posicionamento livre de erros grosseiros. Dessa forma, no alvo (a) os dados apresentam uma boa precisão, mas são acurados, devido a presença de tendência. No alvo (b) os dados são precisos e acurados, pois não apresentam tendências, enquanto que no alvo (c) os dados não são acurados, pelo fato de não apresentar uma boa precisão. Já no alvo (d), os dados são tendenciosos e não são precisos, acarretando em dados também não acurados.

A Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET-ADGV foi criada com o objetivo de estabelecer um novo PEC designado a Produtos Cartográficos Digitais – PEC-PCD, em consequência da necessidade, da revisão dos padrões estabelecidos no Decreto 89.817/84, proveniente do avanço das geotecnologias da época (DSG, 2011). Mesmo com a criação do PEC-PCD, as classes de exatidão dos produtos cartográficos e a estatística de 90% dos pontos coletados e seus respectivos homólogos em fonte de maior foram mantidas da legislação, alterando e atualizando apenas os valores do Erro Máximo – EM, e do Erro Padrão – EP, para alguns tipos de produtos (DCT/DSG, 2016).

Segundo CEBELLOS e GATICA (2012) in MARANHÃO (2013), os subelementos de acurácia posicional são: Acurácia posicional absoluta, testada em relação a uma fonte de alta precisão (Exemplo GNSS); Acurácia posicional relativa, testada em relação a uma fonte de maior acurácia; e acurácia posicional da grade, testada em relação a uma grade de coordenadas. Entretanto, GARCIA-BALBOA (2011) afirma que os erros posicionais relativos são decorrentes dos erros posicionais absolutos.

3.3. Avaliação de Controle de Qualidade Segundo a Acurácia Posicional Altimétrica Absoluta.

Tendo em vista o avanço da tecnologia e a necessidade de utilizar dados de qualidade controlada, foi criada em 2016 a ET-CQDG de forma a padronizar a metodologia a ser empregada em uma avaliação de controle de qualidade através do Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais – PAP-PCD. Este novo padrão para produtos digitais utiliza o elemento avaliador PEC-PCD, já proposto pela ET-ADGV. Na Tabela 2, são mostrados os novos valores desse padrão de exatidão para modelo digital de elevação e pontos cotados. Também nesta especificação é apresentada uma proposta de valores de erro médio e erro padrão para avaliação da qualidade para dados geospaciais altimétricos com curvas de nível.

Tabela 2: Valores de erro médio (EM) e erro padrão (EP) em metros para pontos cotados.

PEC - PCD ⁽³⁾	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)		1:25.000 (Eqd = 10 m)		1:50.000 (Eqd = 20 m)		1:100.000 (Eqd = 50 m)		1:250.000 (Eqd = 100 m)	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,00	16,67
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,00	33,33
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00

Fonte: DSG (2011).

Segundo a ET-CQDG, é proposto uma metodologia para indicar o padrão de exatidão cartográfica para um produto digital baseado em alguns parâmetros especificados pela própria norma. Essa metodologia é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3: Medida PAP-PCD Altimétrico

Linha	Componente	Descrição
1	Nome	PAP-PCD altimétrico
2	Nome Alternativo	Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais - altimetria
3	Elementos de Qualidade	Acurácia posicional absoluta
4	Medida Básica	-
5	Definição	Instrumento que indica o Padrão de Exatidão Cartográfica para um produto geoespacial baseado no erro máximo admissível (EM) e no erro-padrão (EP) para a altimetria

6	Descrição	O cálculo do PAP-PCD altimétrico segue os seguintes passos: 1) Selecionar pontos de controle com precisão pelo menos três vezes superior ao produto que será avaliado. Os pontos devem ser perfeitamente identificados no terreno e no produto. O tamanho da amostra é determinado pelo processo de avaliação. 2) Calcular o erro para a componente altimétrica de pontos considerados. Os pontos do produto que serão testados são identificados pelo sufixo "t" e os pontos de referência (controle) são identificados pelo "r". $e_z = Z_t - Z_r$ 3) Calcular o erro médio quadrático (EMQz) dos erros da amostra. $EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{zi}^2)}{n}}$ 4) Comparar cada valor de e_z com o erro admissível (EM) da tabela PEC para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao EM. Se nenhum valor for correspondente o resultado será "conforme" e encerra-se a medida. 5) Comprovar o valor de EMQz com o erro- padrão da tabela PEC para a classe identificada no passo 4. Se for menor, o resultado é a classe encontrada no passo 4. Se for maior, caminha-se na tabela PEC até encontrar um valor menor ou, caso não seja encontrado, a medida resulta "não conforme".
7	Parâmetro	Tabela do PEC contendo: as classes de PEC, erro máximo (EM) e erro-padrão (EP)
8	Tipo de Valor	Lista controlada (conforme a tabela PEC do parâmetro)
9	Estrutura do Valor	-
10	Referência da Medida	Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 (Brasil, 1984)
11	Exemplo	Anexo B.2
12	Identificador	CQDG:302

Fonte: DCT/DSG (2016).

4. Global Navigation Satellite System – GNSS.

O termo GNSS foi usado pela primeira vez durante a 10ª Conferência de Navegação Aérea por volta de 1991, atualmente se trata do sistema de posicionamento global por satélites e conta com algumas tecnologias de satélites, as principais delas são (MONICO, 2008):

- Global Positioning System – GPS;
- Global'naya Navigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema – GLONASS;
- CNSS - Compass Navigation Satelllite System – COMPASS; e
- GALILEU

De forma geral, o sistema GPS é o mais influente deles e também o mais utilizado. Desde o lançamento dos primeiros receptores GPS no mercado, tem havido um crescente número de aplicações nos levantamentos topográficos e geodésicos, tendo em vista as vantagens oferecidas pelo sistema quanto à precisão, rapidez, disponibilidade, versatilidade e economia.

De acordo com SEGANTINE (2005), o GPS é um sistema espacial de navegação, que foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA, que pode ser usado 24 horas por dia, em quaisquer condições meteorológicas. O objetivo inicial era para satisfazer as necessidades de usuários civis, das forças militares americanas e de seus aliados, de modo a determinar posição, velocidade e tempo, em relação a um sistema de referência definido, para qualquer ponto sobre ou próximo da superfície da terra.

De acordo com ARANA (2000), todo o sistema GPS é organizado em 3 setores denominados de segmentos, sendo que:

- Segmento Espaço: É formado pelos satélites GPS, os quais transmitem os sinais em duas frequências moduladas em fase. Os transmissores são controlados pelos relógios atômicos de alta estabilidade;
- Segmento Controle: É formado por uma estação de controle principal (Master Control Station), localizada em Colorado Springs USA e outras

quatro estações distribuídas no globo terrestre. O objetivo principal deste segmento é monitorar continuamente os satélites, produzir as efemérides, fazer a calibração dos relógios dos satélites e fazer a atualização das mensagens de navegação periodicamente (LEICK, 1995);

- Segmento Usuário: É composto pela comunidade que se utiliza do sistema e é responsável pela produção de receptores e pela integração das aplicações GPS.

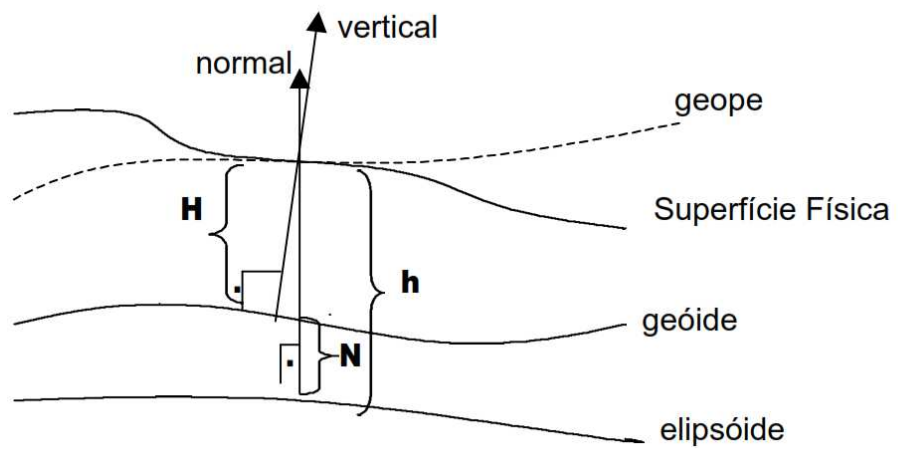
4.1. GNSS na Altimetria

O GNSS vem oferecendo um grande potencial em vários campos de levantamento, mapeamento e informações geoespaciais, e muitas dessas áreas requerem o posicionamento tridimensional.

Segundo ARANA (2000), a precisão nos levantamentos GNSS altimétricos está diretamente relacionada com o conhecimento da ondulação geoidal, pois, diferente das componentes planimétricas que estão ligadas a uma rede geodésicas de referência, as altitudes geométricas, definidas matematicamente por meio do elipsoide, não podem ser diretamente relacionadas com a altitude ortométrica, que por sua vez pode ser definida fisicamente por modelos geopotenciais e comumente utilizadas em obras de engenharia.

A ondulação geoidal é definida como a distância entre o geoide e o elipsoide, desconsiderando a não-colinearidade da linha normal com a vertical, conforme a Figura 2, sendo o geoide a superfície equipotencial do nível médio dos mares. No Brasil o modelo geoidal oficial utilizado é o MAPGEO2015, operado pelo IBGE e pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, ver Figura 3.

Figura 2: Relação entre altitude elipsoidal, altitude ortométrica e ondulação geoidal.



Fonte: ARANA (2000).

Onde,

H – Altitude Ortométrica;

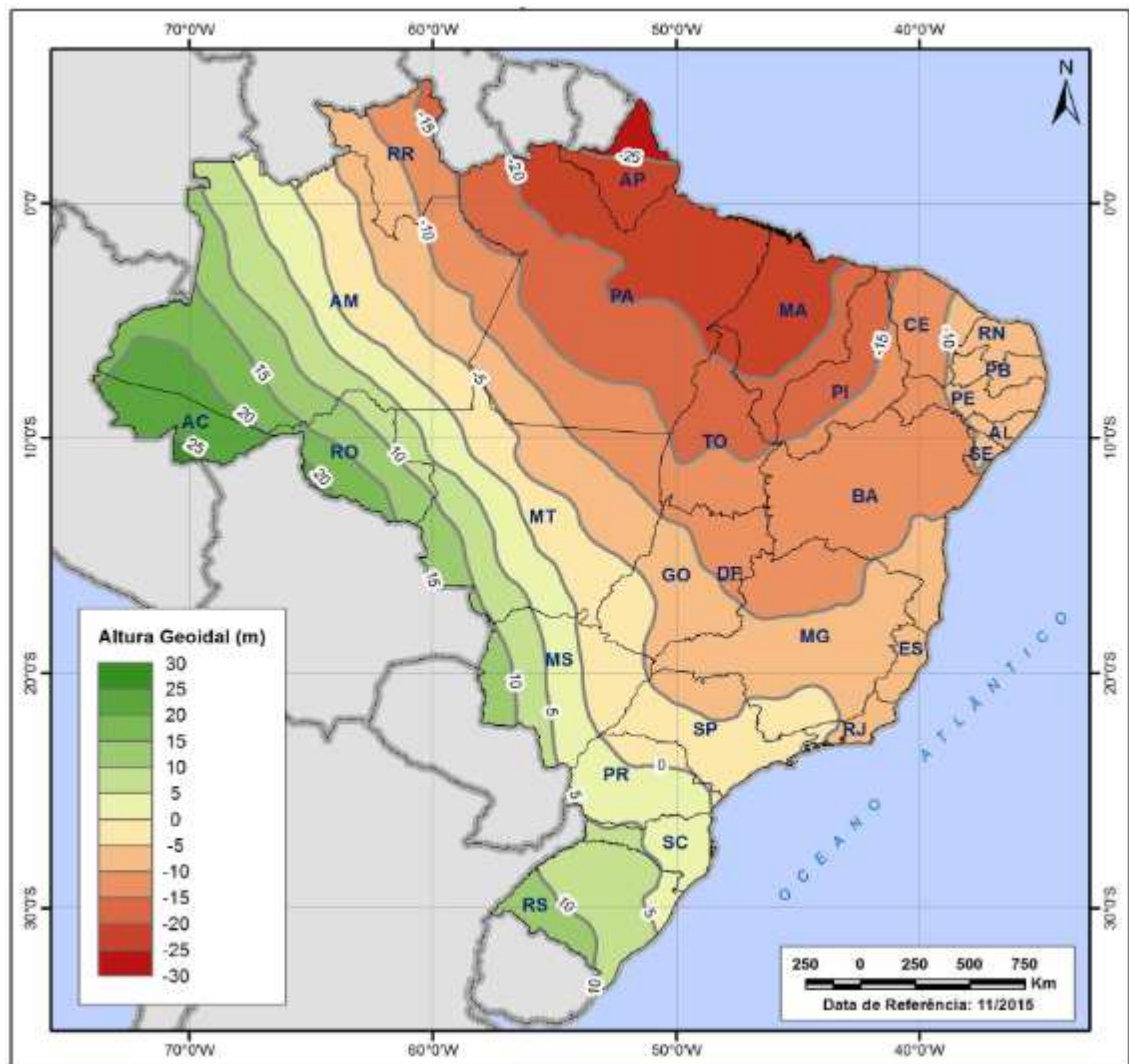
h – Altitude Elipsoidal; e

N – Ondulação geoidal.

A partir disso é possível gerar a Equação 1:

$$H = h - N \quad (1)$$

Figura 3: Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil.



Fonte: IBGE (2015).

5. Modelo Digital de Terreno – MDT.

O MDT é uma representação matemática da distribuição espacial de grandezas que possuam variação contínua, tal como a altitude. Essa representação é feita de forma computacional de modo a gerar uma imagem em níveis de cinza capaz de apresentar informações altimétricas, que por sua vez pode gerar produtos derivados como a declividade, que é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal.

Existem diversas formas de gerar um MDT, como através de ortofotos, imagens de satélite, imagens de radar, extração de dados tridimensionais de fotografias aéreas com a utilização de restituidores, pela vetorização ou digitalização de curvas de nível e outros elementos cartográficos, entre outros.

Um MDT pode ser utilizado para um amplo leque de possibilidades de acordo com a finalidade que se deseja obter. Algumas utilidades são:

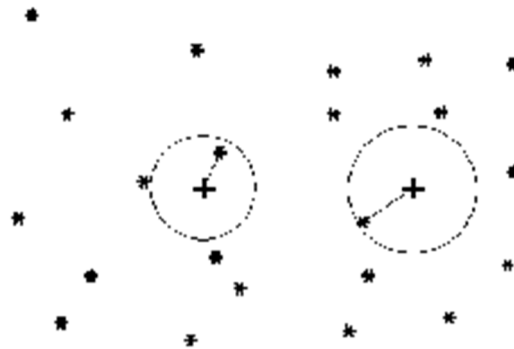
- Armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos;
- Análises de corte e aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia, erodibilidade, análise de áreas susceptíveis a riscos;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis)

5.1. Interpoladores para geração de MDT

Um dos métodos para criação de MDT é por meio de interpoladores, onde são utilizados dados amostrais para criação de malhas que vão utilizar superfícies interpoladas e dar origem a um MDT. Alguns dos métodos de interpolação mais utilizados são:

- Método do vizinho mais próximo: Onde cada ponto da grade é atribuído a cota da amostra mais próxima ao ponto, conforme Figura 4.

Figura 4: Representação do método do vizinho mais próximo.



- Método da média simples: o valor da altitude de cada ponto da grade é estimado a partir da média simples das altitudes dos 8 vizinhos mais próximos, conforme Equação (2).

$$f(x, y) = \frac{1}{n} (\sum_n^8 z_i) \quad (2)$$

Onde:

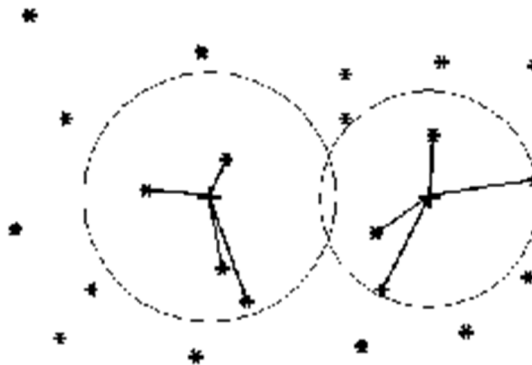
n - Número de vizinhos;

z - Valor da altitude dos 8 vizinhos;

i – índice quantitativo;

f(x,y) - Função interpolante.

Figura 5: Representação do método da média simples com 8 vizinhos.



6. Aquisição de Dados SAR - Radar de Abertura Sintética.

Com o avanço da tecnologia, surge uma grande necessidade de conhecer, com precisão, a topografia do terreno do nosso planeta. Em diversas áreas de estudo, essa necessidade vem sendo suprida pelo advento da tecnologia SAR de mapeamento. Esta tecnologia começou a ser utilizada para geração de mapas topográficos na década de 80.

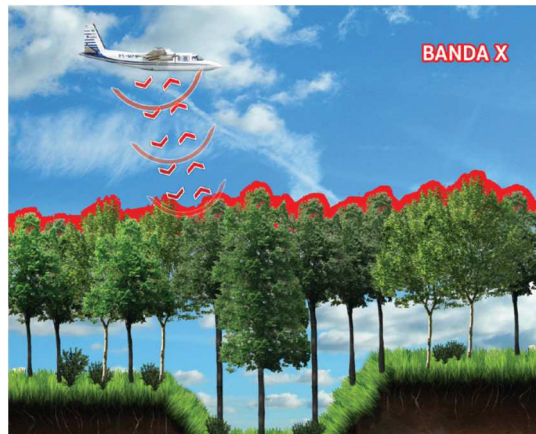
O Radar de visada lateral com abertura real foi um dos primeiros radares de aquisição de imagens, porém as resoluções de suas imagens eram inversamente proporcionais ao comprimento de sua antena, impossibilitando a aquisição de imagens de alta resolução. Foi desenvolvida a solução para o problema da dimensão do comprimento físico da antena, por meio da simulação da abertura extremamente grande através do Radar de abertura sintética, possibilitando a aquisição de imagens de alta resolução.

O sistema SAR pode ser aéreo ou orbital, onde ambos durante o deslocamento emitem, recebem e armazenam os sinais de ondas eletromagnética, possibilitando o processamento das informações e assim a aquisição das imagens.

Esta tecnologia SAR independe das condições atmosféricas e da luz solar para aquisição dos dados, por se tratar de um sistema ativo, e utiliza duas frequências de ondas eletromagnéticas (Banda P e Banda X), reduzindo assim o tempo de confecção de seus produtos.

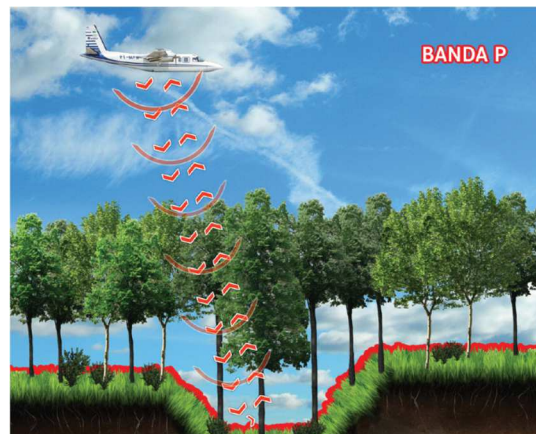
O radar aerotransportado, OrbiSAR-2, confeccionado pela Bradar Industria SA, utiliza as frequências da banda **X** e **P** de mapeamento simultaneamente. A banda **X** opera na frequência de 9,6GHz, com comprimento de onda de 3cm, sendo a radiação eletromagnética refletida no dossel da vegetação, como mostra a Figura 6. Na banda **P** a frequência de operação é de 400MHz e o comprimento de onda de 75cm, sendo esta capaz de penetrar o dossel da vegetação e sua reflexão se dá ao nível do solo, como mostra a Figura 7.

Figura 6: Banda X do sistema SAR de aquisição de imagens.



Fonte: BRADAR (2015).

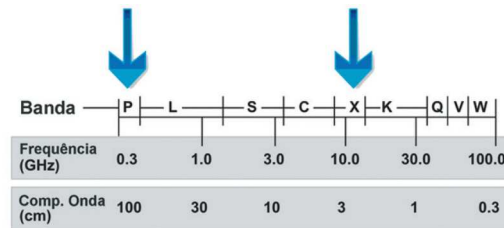
Figura 7: Banda P do sistema SAR de aquisição de imagens.



Fonte: BRADAR (2015).

As frequências utilizadas na tecnologia SAR estão na faixa das micro ondas do espectro eletromagnético, entre 0,3 e 300GHz, ou seja, entre as ondas de rádio e o espectro infravermelho. Este espectro é representado pela tabela da Figura 8.

Figura 8: Espectro Eletromagnético, bandas P e X.



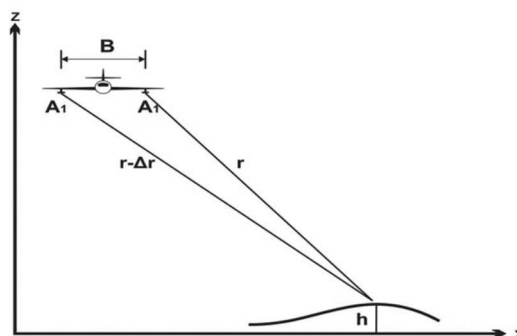
Fonte: BRADAR (2015).

6.1. Interferometria SAR (InSAR).

Segundo ROSA (2004), o termo interferometria expressa um fenômeno obtido pela interferência entre ondas de qualquer tipo. Logo, a tecnologia InSAR de mapeamento é capaz de gerar uma imagem interferométrica, de amplitude e fase, a partir de outras duas imagens SAR, onde a diferença de fase destas está relacionada a elevação do terreno.

A Figura 9 ilustra a geometria da aquisição das imagens por meio da tecnologia InSAR, utilizando um sistema de duas antenas com apenas uma passagem do sensor. As antenas **A1** e **A2** encontram-se na mesma plataforma, separadas pelo comprimento de base **B**.

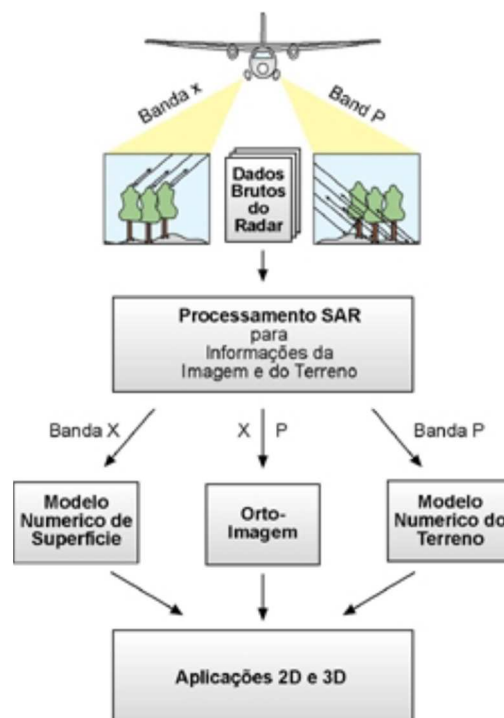
Figura 9: Aquisição de imagens SAR utilizando duas antenas.



Fonte: BRADAR (2015).

A Interferometria SAR permite que diversos produtos de informação geográfica sejam gerados de forma rápida, econômica e precisa. Sendo, algumas vezes, até mais vantajoso que outras tecnologias de mapeamento quando se trata de objetivos financeiros e tecnológicos. A Figura 10 representa o funcionamento da tecnologia InSAR, desde a aquisição dos dados, da criação dos produtos até a aplicação dos mesmos.

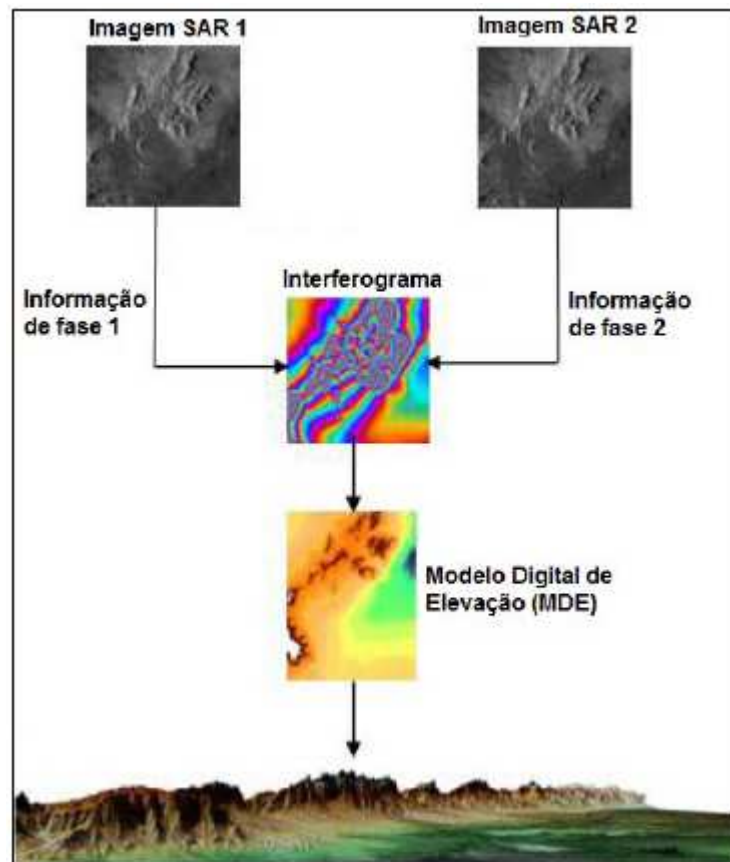
Figura 10: Sistema InSAR de mapeamento.



Fonte: ROSA (2004).

Além das ortoimagens de bandas **X** e **P**, essa tecnologia também é responsável por gerar modelos digitais de superfícies – MDS através da radiação eletromagnética emitida na banda **X** e refletida no dossel da vegetação, e modelos digitais de terreno – MDT por meio da reflexão da radiação emitida na banda **P** que penetra a vegetação e reflete no solo, como já falado anteriormente. A criação desses modelos digitais é representada pela Figura 11.

Figura 11: Fluxograma da criação automática de um MDT por InSAR.



Fonte: KEYDEL (2005) in BRADAR (2015).

Segundo BRADAR (2015), um interferograma é constituído pela diferença das fases correspondentes aos elementos de resolução do terreno e é a partir dele que se obtêm os modelos digitais de superfície ou de terreno.

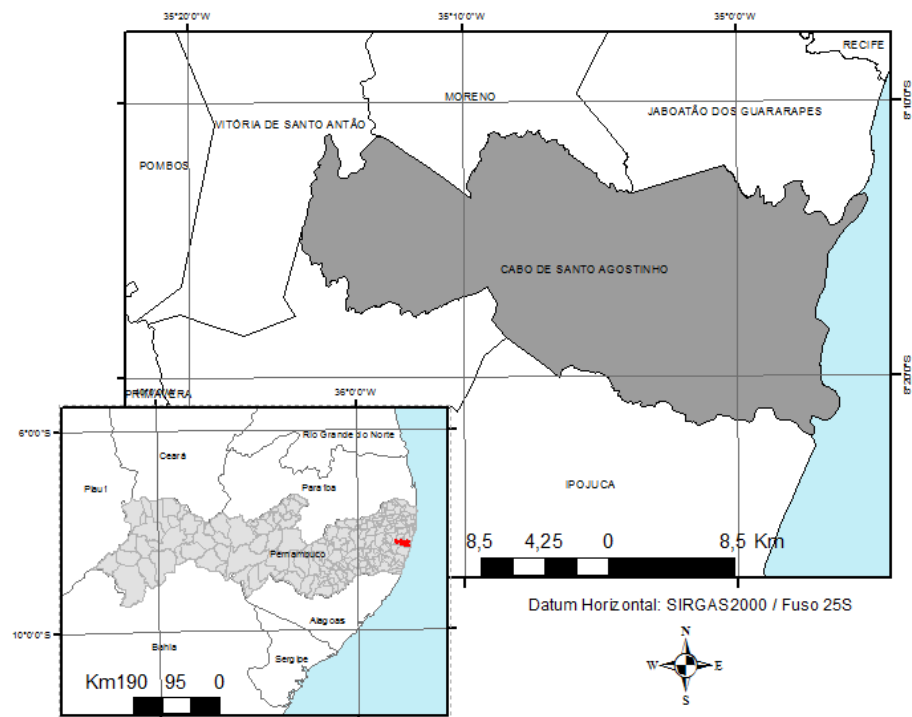
7. Metodologia do Trabalho.

Todos os dados e etapas metodológicas deste trabalho foram desenvolvidos em projeto realizado no Laboratório para Redução de Riscos de Desastres da UFPE. O projeto abrangeu quatro municípios, porém aqui só foram abordados os dados referentes ao município de Cabo de Santo Agostinho, cujas informações necessárias são descritas nos subitens contextualizados neste capítulo.

7.1. Caracterização da Área de Estudo.

Como já citada, área de estudo onde foram empregadas as etapas desse trabalho foi o município de Cabo de Santo Agostinho, localizado na região metropolitana de Recife em Pernambuco, como representa a Figura 12. O município conta com uma área 449 km² e com uma população estimada de 203 mil habitantes, apresentando assim uma densidade demográfica de 412 hab/km².

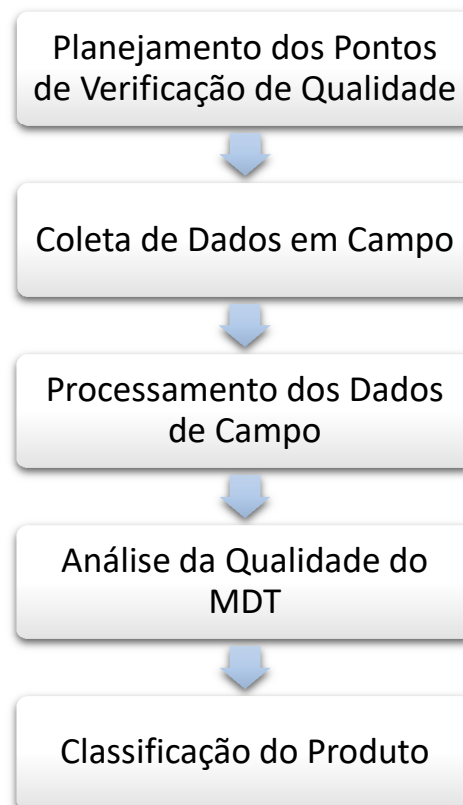
Figura 12: Mapa de Localização da Área de Estudo.



Cabo de Santo Agostinho é o segundo maior município da região metropolitana de Recife, atrás apenas de Ipojuca.

7.2. Metodologia Aplicada.

Para atender ao objetivo principal deste trabalho, foi realizada uma análise de qualidade empregando as etapas previstas na ET-CQDG, conforme o fluxograma. A metodologia empregada, seguiu os procedimentos metodológicos contextualizados na Tabela 3, item 3.3 onde são definidos os elementos de avaliação de controle de qualidade segundo a acurácia posicional altimétrica.



Os subitens seguintes descrevem, as etapas realizadas no trabalho.

7.2.1. Planejamento dos Pontos de Verificação de Qualidade.

Os pontos para verificação da qualidade são planejados, previamente, em escritório utilizando as ortoimagens SAR juntamente com imagens de acervos

disponíveis gratuitamente na internet, como o Google Earth. Estes pontos foram criados em arquivo do tipo *Shapefile*, que é um formato padrão para esse tipo de dado, de forma a apresentarem uma disposição homogênea cobrindo toda a área de interesse, conforme a Figura 13.

Ao todo, foram planejados cerca 30 pontos, sendo esses definidos no terreno por canto de muros, casas, cercas, placas de trânsito e interseção entre eixos de ruas, visando a facilidade na identificação desses nas imagens.

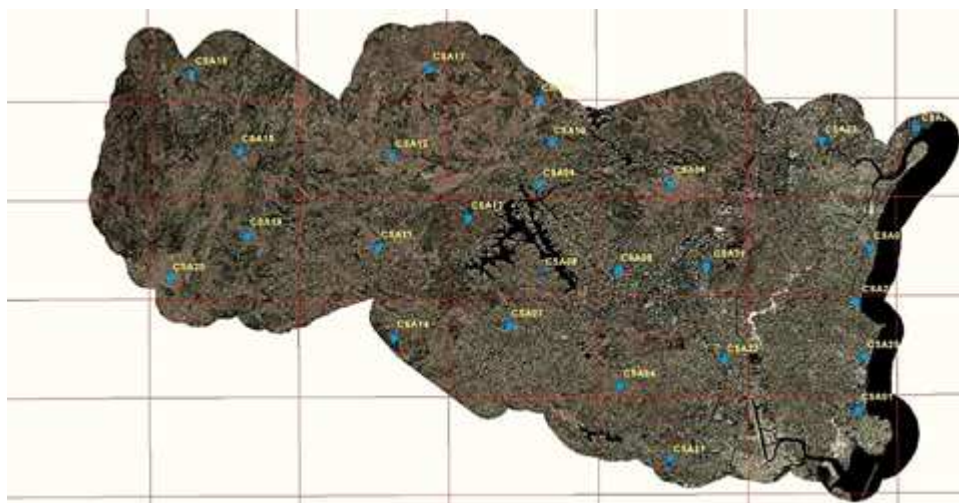
Figura 13: Imagem ilustrativa da distribuição dos pontos de controle planejados.



7.2.2. Levantamento dos Pontos de Verificação de Qualidade em Campo.

No levantamento dos pontos em campo foram encontradas algumas dificuldades que trouxeram a necessidade de reposicionar e, algumas vezes, excluir alguns dos pontos definidos no planejamento por problemas de acesso ao local de rastreio. Com isso, foram coletados 29 pontos como mostra a Figura 14.

Figura 14: Imagem Ilustrativa da distribuição de pontos de controle no município de Cabo de Santo Agostinho sobre imagem sintética colorida (BANDA X e P) do OrbiSAR-2.



A distância entre os pontos de controle e a base de referência variam em média 20 quilômetros para aqueles localizados na zona leste do município, a 40 quilômetros para os pontos na zona oeste, os mais afastados do litoral. Logo, foram realizados os rastreios dos pontos com um tempo médio de 1 hora e tomando os devidos cuidados e recomendações para evitar possíveis causas de interferência do sinal recebido pelos receptores, como representado pela Figura 15, o que se torna suficiente para resolver as ambiguidades e reduzindo os erros de multicaminho e perdas de ciclos.

O tempo de rastreamento adotado nas campanhas não foi o mesmo do recomendado pelo IBGE, em suas recomendações para levantamentos geodésicos, que seria de 2 a 3 horas de coleta contínua, o que, segundo o órgão, garantiria uma melhor precisão neste tipo de levantamento. O tempo de rastreamento utilizado foi estimado de acordo com a precisão necessária para o trabalho, equivalente a no mínimo três vezes a precisão do produto avaliado (Item 3), além do curto prazo estipulado para conclusão desta etapa do trabalho. Mesmo com este déficit no tempo de coleta dos dados pôde-se alcançar os resultados esperados desta fase do trabalho, sendo estes com uma precisão de até 10cm em sua componente altimétrica e de 5cm nas componentes planimétricas.

Figura 15: Fotografias do levantamento de pontos em campo.



Ainda na etapa de levantamento foi feita uma busca das estações de Referências de Nível – RRNN do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB que estavam presentes na área do projeto, visando rastreá-los e utilizar sua componente altimétrica como referência na etapa de processamento. Foram encontradas, por meio do site do próprio IBGE, cerca de 13 RRNN em bom estado no município de Cabo de Santo Agostinho como pode ser visto na Tabela 2. Entretanto, o rastreio desses pontos não foi realizado pois estes encontravam-se em propriedades privadas e por impedimentos burocráticos não foi possível acessar os locais para efetuar a coleta dos dados.

Tabela 2: RRNN do Município do Cabo de Santo de Santo Agostinho.

ESTACÃO	NOME DA ESTACÃO	MUNICÍPIO	DATA ÚLTIMA	SITUAÇÃO DO MARCO
2439G	2439G	Cabo de Santo	02/04/1984	BOM
2439H	2439H	Cabo de Santo	03/04/1984	BOM
2439J	2439J	Cabo de Santo	03/04/1984	BOM
2439L	2439L	Cabo de Santo	03/04/2013	NÃO ENCONTRADO
2439M	2439M	Cabo de Santo	15/04/2004	BOM
2439N	2439N	Cabo de Santo	22/04/2013	BOM

2439P	2439P	Cabo de Santo	15/04/2004	NÃO ENCONTRADO
2439R	2439R	Cabo de Santo	27/03/2009	BOM
379Z	379Z	Cabo de Santo	15/12/1984	NÃO ENCONTRADO
390A	390A	Cabo de Santo	15/12/1984	NÃO ENCONTRADO
390B	390B	Cabo de Santo	15/12/1984	NÃO ENCONTRADO
390C	390C	Cabo de Santo	15/12/1984	NÃO ENCONTRADO
390D	390D	Cabo de Santo	24/04/2013	BOM
390E	390E	Cabo de Santo	15/04/2004	NÃO ENCONTRADO
390F	390F	Cabo de Santo	15/12/1984	NÃO ENCONTRADO
390G	390G	Cabo de Santo	15/12/1984	NÃO ENCONTRADO
390H	390H	Cabo de Santo	15/12/1984	NÃO ENCONTRADO
390I	390I	Cabo de Santo	15/12/1984	NÃO ENCONTRADO
392L	392L	Cabo de Santo	14/07/1958	BOM
392M	392M	Cabo de Santo	15/07/1958	BOM
392N	392N	Cabo de Santo	16/07/1958	BOM
392O	392O	Cabo de Santo	16/07/1958	BOM
392P	392P	Cabo de Santo	17/07/1958	BOM
9309F	9309F	Cabo de Santo	02/05/1984	BOM

Fonte: Extraído de IBGE (2016).

As coordenadas das RRNN disponibilizadas no site do IBGE, por meio de seus memoriais descritivos, foi o subsídio utilizado para gerar um arquivo *Shapefile* desses pontos, com a pretensão de também realizar os testes de controle de qualidade com coordenadas de referência que foram calculadas por outros métodos de levantamento. Porém esta atividade não foi realizada, pelo fato do número de RRNN em bom estado ser muito pequeno para a área que se desejava classificar.

7.2.3. Processamento dos Dados de Campo.

Antes de iniciar efetivamente o processamento de dados, foram solicitados ao IBGE pontos geodésicos de sua campanha, LC413, de levantamento GNSS no estado de Pernambuco, realizado no período de 1 à 9 de junho de 2015, utilizando receptores GPS DL-4 plus da Novatel. O método estático com duração de rastreamento 45 minutos a 1 hora e o processamento por ponto preciso através do PPP online utilizando as orbitas finais que foram os parâmetros utilizados pelo IBGE nessa coleta dos pontos. Sendo assim, a incerteza dos pontos de até 40cm na planimetria e inferior a 80cm na altimetria considerando os erros inerentes ao processo de ocupação e a metodologia de cálculo e a incerteza do modelo geoidal do MAPGEO2010 na altimetria. Esses dados cedidos pelo IBGE foram utilizados em alguns dos testes realizados na metodologia desse trabalho.

O processamento dos dados coletados em campo realizado por meio do *software TopconTools*, possibilitou tanto o processamento quanto o ajustamento dos dados. Os pontos foram processados utilizando a estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, localizada em Recife, denominada RECF, e suas coordenadas na época 2000.4, como base de referência para contemplar o método relativo de processamento, onde são necessários pelo menos dois receptores coletando dados de no mínimo dois satélites simultaneamente.

A RECF é rastreada 24 horas por dia, assim como todas as estações da RBMC, dessa forma seus dados só são disponibilizados no dia seguinte ao de coleta pelo próprio IBGE. Suas coordenadas e parâmetros utilizados na etapa de processamento deste trabalho são encontrados no memorial descritivo da estação (ANEXO) onde seus parâmetros são apresentados na Figura 16.

Figura 16: Parâmetros da estação RECF para a época 2000.4.

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 08° 03' 3,4697"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 34° 57' 5,4591"	Sigma:	0,002 m
Alt. Elip.:	20,18 m	Sigma:	0,002 m
Alt. Orto.:	25,72 m	Fonte:	GPS/MAPGEO2010
Alt. Orto.:	25,6096 m	Fonte:	Nivelamento Geométrico
Coordenadas Cartesianas			
X:	5.176.588,653 m	Sigma:	0,002 m
Y:	-3.618.162,163 m	Sigma:	0,001 m
Z:	-887.363,920 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	9.109.554,895 m		
UTM (E):	284.931,043 m		
MC:	-33		

Fonte: IBGE (2000)

Para o cálculo das componentes altimétricas foi utilizado o *software* MAPGEO2010, para possibilitar a comparação dos resultados, uma vez que o MDT gerado pelo SAR utilizou essa mesma versão do *software*. A entrada no *software* foram as coordenadas da latitude e longitude de cada um dos pontos de controle e a saída resultou na ondulação geoidal dos mesmos, sendo assim possível calcular as altitudes ortométricas através da Equação 1 (Item 4.1).

A partir dos cálculos e processamentos realizados foi possível gerar a Tabela 3, onde são apresentadas as coordenadas planialtimétricas dos pontos de controle levantados em campo, com foco maior nas componentes altimétricas e suas ondulações geoidais (N), conforme descritas na Equação 1.

Tabela 3: Coordenadas planialtimétricas dos pontos de Controle em SIRGAS 2000 do município de Cabo de Santo Agostinho.

Ponto	Latitude	Longitude	Este (m)	Norte (m)	h (m)	N (m)	H (m)
P03	8°20'18,16839"S	34°57'14,68065"W	284803,252	9077761,07	-0,605	-5,98	5,375
P04	8°18'59,23459"S	34°57'06,92646"W	285028,576	9080187,599	14,178	-5,96	20,138
P05	8°17'35,42236"S	34°57'12,28807"W	284851,803	9082762,043	-1,525	-5,94	4,415
P06	8°16'15,32581"S	34°56'54,17702"W	285394,045	9085225,838	-0,907	-5,94	5,033
P07	8°14'33,81081"S	35°01'54,15262"W	276196,453	9088299,276	7,069	-5,65	12,719
P08	8°16'46,72474"S	35°03'15,66852"W	273722,197	9084202,306	12,369	-5,66	18,029

P09	8°16'39,48107"S	35°00'55,11367"W	278023,213	9084446,898	1,82	-5,76	7,58
P10	8°19'05,36385"S	35°00'36,75924"W	278607,712	9079967,133	27,472	-5,82	33,292
P11	8°21'45,71232"S	35°01'53,06621"W	276297,682	9075028,04	6,916	-5,8	12,716
P12	8°19'42,04267"S	35°03'12,53664"W	273845,957	9078815,586	57,731	-5,72	63,451
P13	8°17'49,23885"S	35°01'10,98635"W	277548,275	9082300,943	2,56	-5,77	8,33
P14	8°18'12,68254"S	35°01'39,72327"W	276672,413	9081576,086	8,626	-5,76	14,386
P15	8°18'32,15087"S	35°02'54,83612"W	274376,564	9080966,045	42,559	-5,71	48,269
P16	8°12'27,87303"S	35°05'12,66298"W	270099,561	9092137,865	66,28	-5,48	71,76
P17	8°13'33,02092"S	35°04'54,70590"W	270659,713	9090138,812	65,655	-5,51	71,165
P18	8°18'03,50988"S	35°06'50,58865"W	267156,222	9081808,27	82,183	-5,54	87,723
P19	8°17'29,26143"S	35°04'45,00499"W	270994,546	9082880,997	111,795	-5,61	117,405
P20	8°16'07,49484"S	35°09'15,99249"W	262686,302	9085349,484	56,893	-5,44	62,333
P21	8°16'56,60130"S	35°14'28,85974"W	253117,235	9083787,486	107,887	-5,39	113,277
P22	8°11'40,77004"S	35°13'53,64343"W	254141,078	9093499,557	284,169	-5,25	289,419
P23	8°13'43,13725"S	35°12'44,31228"W	256284,638	9089750,807	102,792	-5,3	108,092
P24	8°15'49,18948"S	35°12'33,02459"W	256651,65	9085878,982	88,298	-5,39	93,688
P25	8°14'03,84687"S	34°59'58,79347"W	279723,082	9089237,801	7,187	-5,75	12,937
P26	8°15'02,61348"S	35°01'38,86606"W	276668,885	9087416,613	8,774	-5,68	14,454
P27	8°16'56,16367"S	35°03'27,05665"W	273375,122	9083910,462	18,477	-5,65	24,127
P28	8°20'18,34309"S	35°00'01,15989"W	279708,567	9077730,195	-0,697	-5,87	5,173
P29	8°17'27,73557"S	35°00'16,02078"W	279227,244	9082970,211	1,704	-5,81	7,514
P30	8°15'30,80373"S	35°00'17,27402"W	279170,786	9086563,021	10,329	-5,77	16,099

Esta atividade foi a criação de documentos descritivos para cada um dos 29 pontos de controle levantados em campo. Essas monografias têm o objetivo de documentar as informações provenientes do levantamento e processamento, assim como os parâmetros que definem esses pontos geodésicos. O modelo adotado para representar tais informações foi adaptado de um tipo de monografia de marco

geodésico utilizado pela 3ª Divisão de Levantamento da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro – DSG, como apresentado na Figura 17.

Figura 17: Cabeçalho da Monografia de Vértices não materializados utilizado para documentar pontos levantados nesse trabalho.

MONOGRAFIA DE VÉRTICE GPS						
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE						
PROJETO: ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE AOS DESASTRES NATURAIS						
MUNICÍPIO: CABO DE SANTO AGOSTINHO				ESTADO: PERNAMBUCO		
MATERIALIZADO:	SIM ()	NÃO (X)	Identificação Ponto: P13		DATA: 09 de Abril de 2015	
BASE UTILIZADA: RBMC RECIFE			DATUM: SIRGAS 2000		PROJEÇÃO: UTM	
EQUIPAMENTO UTILIZADO: TOPCON HIPER LITE+			ACHATAMENTO: 1/298,257222101		ZONA: 25 S	
INICIO DA OCUPAÇÃO: 08:03h			UNIDADE DE MEDIDA: Metro		MC = -33°	
TÉRMINO DA OCUPAÇÃO: 08:47h			FATOR DE ESCALA: 0,9996		MODELO GEODAL: MAPGEO2010	
ALTURA ANTENA (m): 1,791			SEMI EIXO MAIOR: 6378137,000 m		ITRF: 2000 EPOCA 2000.4	
COORDENADAS						
GEODESICAS				UTM		ALT.
PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTURA ELIP.	E (m)	N (m)	ORTOMETRICA (m)
P13	8°17'49,23885"S	35°01'10,98635"W	2,56	277548,275	9082300,943	8,330
DESCRIÇÃO: O PONTO FOI COLETADO NA ESQUINA DE UMA RUA SEM DENOMINAÇÃO COM AV. ALMIRANTE PAULO MOREIRA.						
LOCALIZAÇÃO						

7.2.4. Análise de Qualidade.

Esta atividade consistiu na execução dos passos e normas propostos na ET-CQDG, necessários ao teste de qualidade para produtos cartográficos. A verificação de qualidade feita neste trabalho foi focada na componente altimétrica, tendo em vista que o produto a ser classificado é um modelo digital de terreno proveniente de sistema Radar interferométrico de abertura sintética (SAR/InSAR), o qual representa a superfície do terreno por meio das altitudes ortométricas.

O instrumento indicador do Padrão de Exatidão Cartográfica para um produto geoespacial como o MDT, baseado no erro máximo admissível e no erro padrão, é definido como Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais – PAP-PCD altimétrico.

A primeira etapa desta atividade foi predeterminada nas etapas de planejamento e processamento, tendo em vista a seleção dos pontos de controle com precisão mínima três vezes superior aos 2,5m do MDT.

A utilização do software ArcGIS 10.1 proporcionou a realização da etapa posterior, que teve como objetivo a extração dos valores das altitudes ortométricas do MDT nos pontos de controle, individualmente, chamadas de Z_t . Onde, então, são calculadas as diferenças das altitudes dos pontos de controle (Z_r) com as altitudes Z_t , sendo essa diferença chamada de e_z , como pode ser visto na Equação 2.

$$e_z = Z_t - Z_r \quad (2)$$

A Tabela 4, mostra o cálculo realizado do erro para as componentes altimétricas, de acordo com o universo de pontos considerados.

Tabela 4: Erros calculados da componente altimétrica, seguindo o PAP-PCD.

Ponto	E	N	Z_r	Z_t	e_z
P03	284803,252	9077761,07	5,375	3,70429	1,67071
P04	285028,576	9080187,599	20,138	21,903309	-1,765309
P05	284851,803	9082762,043	4,415	1,918003	2,496997
P06	285394,045	9085225,838	5,033	5,000207	0,032793
P07	276196,453	9088299,276	12,719	11,993073	0,725927
P08	273722,197	9084202,306	18,029	18,31686	-0,28786
P09	278023,213	9084446,898	7,58	7,323768	0,256232
P10	278607,712	9079967,133	33,292	33,439754	-0,147754
P11	276297,682	9075028,04	12,716	12,697439	0,018561
P12	273845,957	9078815,586	63,451	64,04409	-0,59309
P13	277548,275	9082300,943	8,33	7,640973	0,689027
P14	276672,413	9081576,086	14,386	12,182163	2,203837
P15	274376,564	9080966,045	48,269	47,342117	0,926883
P16	270099,561	9092137,865	71,76	71,153259	0,606741
P17	270659,713	9090138,812	71,165	69,479485	1,685515
P18	267156,222	9081808,27	87,723	88,327354	-0,604354
P19	270994,546	9082880,997	117,405	113,011429	4,393571
P20	262686,302	9085349,484	62,333	61,389137	0,943863
P21	253117,235	9083787,486	113,277	112,286461	0,990539
P22	254141,078	9093499,557	289,419	285,297119	4,121881
P23	256284,638	9089750,807	108,092	110,773079	-2,681079
P24	256651,65	9085878,982	93,688	94,400047	-0,712047

P25	279723,082	9089237,801	12,937	12,38052	0,55648
P26	276668,885	9087416,613	14,454	15,348536	-0,894536
P27	273375,122	9083910,462	24,127	20,199085	3,927915
P28	279708,567	9077730,195	5,173	1,538173	3,634827
P29	279227,244	9082970,211	7,514	4,37992	3,13408
P30	279170,786	9086563,021	16,099	16,934824	-0,835824
P50	283436,589	9090385,467	7,016	7,027169	-0,011169

O erro médio quadrático foi calculado em relação a Tabela 4 e seguindo a Equação (3) proposta e também descrita no PAP-PCD. Onde 29 é o número de pontos utilizados e o erro médio quadrático obtido foi 1,94m.

$$EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{zi}^2)}{n}} \quad (3)$$

Onde,

n – Número de pontos da amostra;

EMQ – Erro Médio Quadrático;

A partir dos erros calculados, é feita a comparação de cada valor de e_z com o erro máximo admissível – EM, da Tabela 5 do PEC e do PEC-PCD para cada classe. É analisado se pelo menos 90% dos pontos apresentam um erro inferior ao EM, sendo o produto enquadrado na classe que este fato ocorre.

Tabela 5: Classes do PEC e PEC-PCD para escala de 1:10.000, segundo o erro máximo e o erro padrão.

Tipo	PEC-PCD	PEC	1:10000	
			EM	EP
Altimetria	A	-	1,34	0,84
	B	A	2,50	1,67
	C	B	3,00	2,00
	D	C	3,75	2,50

O próximo passo é comparar o valor do EMQ calculado com o EP na classe obtida do passo anterior. Se o valor do EMQ for superior ao EP, caminha-se na tabela e realiza-se a nova comparação com o erro padrão da classe seguinte.

Os mesmos procedimentos do teste de qualidade posicional realizado foram repetidos utilizando os dados cedidos pelo IBGE em uma de suas campanhas de campo realizadas em Pernambuco. Porém, como já relatado no Item 4.1, esses pontos foram coletados e processados por métodos diferentes dos realizados neste trabalho, o que implica em precisões distintas das planejadas. A Tabela 6 mostra o resultado obtido no controle de qualidade realizados com estes 33 pontos.

Tabela 6: Erros calculados da componente altimétrica, seguindo o PAP-PCD, com pontos do IBGE (Campanha :LC413).

Ponto	E	N	Z_r	Z_t	e_z
675	255099,7035	9091253,46	303,71	299,938	-3,77201
674	254229,5507	9088802,17	145,501	147,535	2,034004
640	259993,3038	9090139,35	126,748	127,537	0,789003
636	255898,3447	9088702,70	101,444	102,813	1,369003
650	260324,7593	9087592,521	102,599	102,629	0,029998
620	266143,9838	9082385,534	102,25	101,993	-0,257
644	271533,1979	9098595,399	100,111	99,9672	-0,1438
645	268858,1059	9089227,227	95,607	97,2243	1,617297
664	274991,6015	9099674,713	96,715	97,1341	0,419102
653	273064,1097	9094500,758	95,743	97,1294	1,386402
662	265194,6214	9091369,831	95,87	96,7004	0,830401
663	265310,7524	9088598	91,037	90,586	-0,451
605	268676,2543	9081627,545	78,863	79,1618	0,298797
604	256514,1684	9083431,398	74,789	75,2166	0,427599
658	278385,2682	9094997,511	70,535	71,0601	0,525097
617	272741,5991	9079336,862	64,618	68,5065	3,8885
656	279145,7551	9099279,445	58,391	58,0623	-0,3287
641	283408,686	9100580,848	57,708	57,8654	0,157398
643	267145,5486	9086394,187	55,253	55,2135	-0,0395
651	265458,4669	9084805,509	48,262	47,5213	-0,7407
606	283600,0202	9080896,227	38,481	41,0797	2,598701
649	273880,3215	9088381,091	16,954	24,5903	7,6363
652	273310,8919	9083810,756	24,981	23,873	-1,108
642	279147,0597	9088298,467	23,195	23,3948	0,1998
660	277381,0675	9085492,068	12,343	12,6923	0,3493
628	277784,7846	9081494,901	8,623	9,81996	1,19696
638	288929,9434	9097586,523	8,685	9,11656	0,43156

625	277895,8846	9076471,112	8,603	8,71845	0,11545
659	283064,3724	9099020,342	6,023	6,72198	0,69898
1638	286272,2537	9097266,12	6,369	6,1208	-0,2482
639	288126,7067	9093072,585	5,018	5,47445	0,45645
654	282712,6463	9094515,138	9,878	2,57763	-7,30037
647	284931,8215	9082852,511	3,782	0,95	-2,832

A partir dos valores dos erros calculados para cada ponto, foi feita uma análise minuciosa dos pontos em que os erros ultrapassaram o EM do PEC e, consequentemente, do PEC-PCD. Em busca de possíveis erros grosseiros, tanto na etapa do levantamento quanto no processamento, que pudessem vir a alterar as informações desses pontos, foi revisto o local de coleta no terreno, por meio das monografias dos vértices e das imagens. Constatou-se, assim, que o ponto **P27**, visto na Tabela 4, apresentou uma certa deficiência proveniente de seu método de rastreamento, conforme Figura 18, que foi instalar o receptor ao lado de uma placa de trânsito de metal e de maior altura. Esse fato, provavelmente, ocasionou em perdas de ciclo do sinal recebido pelo receptor afetando sua acurácia e precisão, com relação aos demais pontos. Por esses motivos, o ponto **P27** foi retirado do controle de qualidade, para que não viesse a interferir nos resultados a serem calculados, uma vez que devesse garantir o menor erro possível nos pontos de controle tomados como referência nos testes de qualidade. Embora outros pontos apresentarem erros altimétricos ainda maiores que o obtido no **P27**, não foi constatado nenhum efeito aparente que ocasionasse tal discrepância, por este fato que esses pontos continuaram na amostra estatística da análise.

Figura 18: Fotografias do ponto **P27** sendo coletado ao lado de uma placa de trânsito de metal.



7.3. Recursos Tecnológicos.

Os subitens seguintes apresentam todos os materiais utilizados para produção deste trabalho de conclusão de curso.

7.3.1. Base de Dados Espaciais Gerada por SAR.

As ortoimagens de Radar de bandas X, P e XP e o Modelo Digital de Terreno, ambos com resolução espacial de 2,50m contratadas à Bradar Industria S/A e realizadas no ano de 2015 na escala de 1:25.000, sendo posteriormente reamostrada para atendimento na escala de 1:10.000, o que reduziu consideravelmente os custos financeiros para aquisição tendo em vista os parâmetros de voo utilizados na escala inicial.

7.3.2. Sistema de Informações Geográficas - SIG.

Para realização dos testes de qualidade foi utilizado o ArcGIS 10.1, que por sua vez foi disponibilizado pelo GEGEP em sua versão em português brasileiro. Este

software foi essencial para extração dos valores do MDT através dos pontos de controle coletados em campo.

7.3.3. Equipamentos Eletrônicos e Computacionais.

Assim como os equipamentos e computadores, no LAGEO foi utilizado o TopconTools v1.8, software necessário para processamento e ajustamento do levantamento GNSS.

O MAPGEO2010 foi o software utilizado cálculo das coordenadas altimétricas, que por sua vez faz uso de seu modelo geoidal para interpolar as coordenadas inseridas e retornar o valor da ondulação geoidal no ponto correspondente. Este software é gratuitamente distribuído pelo IBGE.

7.3.4. Receptores GNSS.

As campanhas de campo foram realizadas com equipamentos geodésicos de alta precisão, 5mm + 5ppm na componente horizontal e 5mm + 5ppm na vertical, segundo a fabricante, cedidos pelo Laboratório de Geodésia – LAGEO, do DEPART, sendo eles, dois receptores GNSS, *Hiper Lite* de dupla frequência da *Topcon*.

8. Resultados e Discussão.

Como resultado deste trabalho, foram analisados os testes feitos do controle de qualidade envolvendo a acurácia posicional altimétrica para o MDT gerado por um Radar interferométrico de abertura sintética, buscando-se o enquadramento desse produto na classe **A** do PEC altimétrico para produtos cartográficos digitais.

Na Tabela 7, são apresentados e analisados os resultados para cada teste realizado de acordo com a metodologia empregada, por meio dos dados coletados em campo e também pelos dados cedidos pelo IBGE.

Tabela 7: Pontos de Controle analisados segundo o PEC classe **A** (À esquerda) e o PEC-PCD classe **A** (À direita), sobre o MDT.

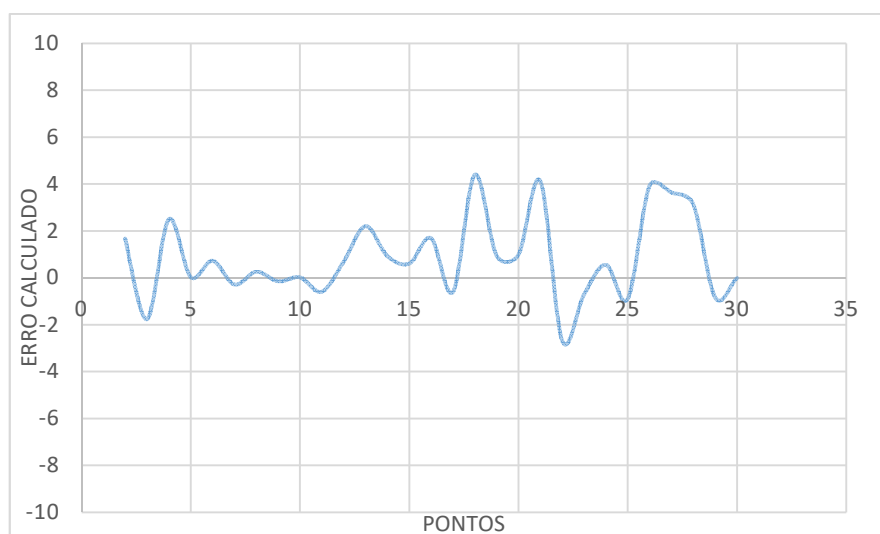
Ponto	Z_r (m)	Z_t (m)	e_z (m) $\leq 2,50$	Ponto	Z_r (m)	Z_t (m)	e_z (m) $\leq 1,35$
P03	5,375	3,70429	-1,67071	P03	5,375	3,70429	-1,67071
P04	20,138	21,90331	1,76531	P04	20,138	21,90331	1,76531
P05	4,415	1,918003	-2,497	P05	4,415	1,918003	-2,497
P06	5,033	5,000207	-0,03279	P06	5,033	5,000207	-0,03279
P07	12,719	11,99307	-0,72593	P07	12,719	11,99307	-0,72593
P08	18,029	18,31686	0,28786	P08	18,029	18,31686	0,28786
P09	7,58	7,323768	-0,25623	P09	7,58	7,323768	-0,25623
P10	33,292	33,43975	0,14775	P10	33,292	33,43975	0,14775
P11	12,716	12,69744	-0,01856	P11	12,716	12,69744	-0,01856
P12	63,451	64,04409	0,59309	P12	63,451	64,04409	0,59309
P13	8,33	7,640973	-0,68903	P13	8,33	7,640973	-0,68903
P14	14,386	12,18216	-2,20384	P14	14,386	12,18216	-2,20384
P15	48,269	47,34212	-0,92688	P15	48,269	47,34212	-0,92688
P16	71,76	71,15326	-0,60674	P16	71,76	71,15326	-0,60674
P17	71,165	69,47949	-1,68552	P17	71,165	69,47949	-1,68552
P18	87,723	88,32735	0,60435	P18	87,723	88,32735	0,60435
P19	117,405	113,0114	-4,39357	P19	117,405	113,0114	-4,39357
P20	62,333	61,38914	-0,94386	P20	62,333	61,38914	-0,94386
P21	113,277	112,2865	-0,99054	P21	113,277	112,2865	-0,99054
P22	289,419	285,2971	-4,12188	P22	289,419	285,2971	-4,12188
P23	108,092	110,7731	2,68108	P23	108,092	110,7731	2,68108
P24	93,688	94,40005	0,71205	P24	93,688	94,40005	0,71205

P25	12,937	12,38052	-0,55648	P25	12,937	12,38052	-0,55648
P26	14,454	15,34854	0,89454	P26	14,454	15,34854	0,89454
P28	5,173	1,538173	-3,63483	P28	5,173	1,538173	-3,63483
P29	7,514	4,37992	-3,13408	P29	7,514	4,37992	-3,13408
P30	16,099	16,93482	0,83582	P30	16,099	16,93482	0,83582
P50	7,016	7,027169	0,01117	P50	7,016	7,027169	0,01117

Os pontos em destaque na Tabela 7, são aqueles que ultrapassaram o EM na Classe **A** (2,5m para o PEC e 1,35m para o PEC-PCD). No PEC do Decreto nº 89.817/84, estes pontos correspondem a 17,9% do total da amostra considerada, o que significa que apenas 82,1% dos pontos analisados atendem ao exigido na classe **A**. Já com relação ao PEC-PCD, são ainda menos pontos que passam no teste, tendo em vista uma melhor precisão requerida neste padrão, contando apenas 64,3% dos pontos. O que impossibilita o enquadramento do produto na classe **A** nos dois casos estudados, que precisaria de no mínimo 90%.

A partir do gráfico representativo, na Figura 19, é claramente visível a dispersão dos erros obtidos, uma vez que apresenta uma variação de 0,01m até 4,39m. Reforçando a conclusão de não atendimento a classe **A**.

Figura 19: Gráfico de dispersão dos erros altimétricos sobre os pontos coletados no trabalho.



Da mesma maneira, foram gerados os resultados utilizando os pontos cedidos pelo IBGE, no qual também foram realizados os testes de controle de qualidade, tendo

em vista as diferenças no método de levantamento e processamento, cuja tabela e gráfico dos erros obtidos são apresentados na Tabela 8.

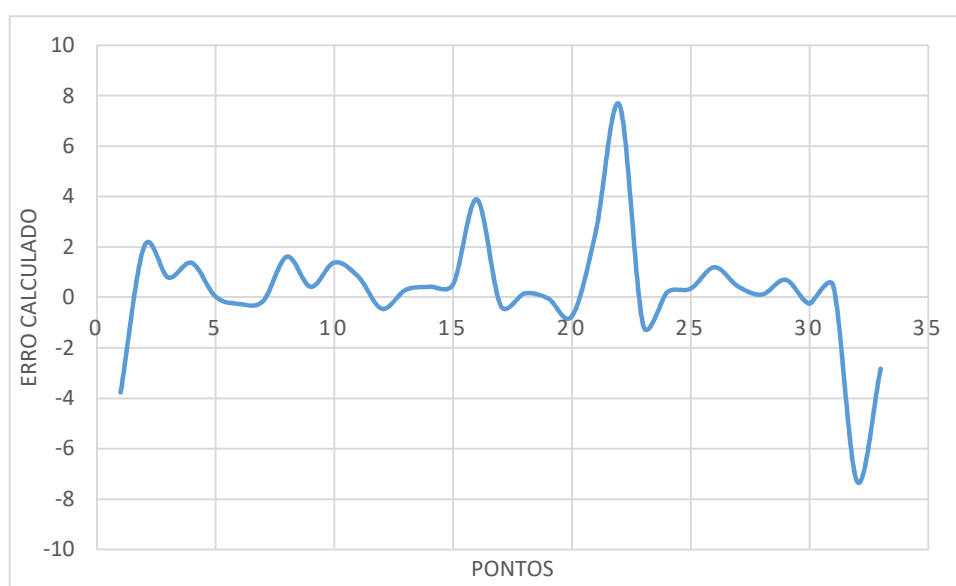
Tabela 8: Pontos do IBGE analisados segundo o PEC classe A (À esquerda) e PEC-PCD classe A (À direita), sobre o MDT.

Ponto	Z_r (m)	Z_t (m)	e_z (m) $\leq 2,50$
675	303,71	299,938	-3,772
674	145,501	147,535	2,034
640	126,748	127,537	0,789
636	101,444	102,813	1,369
650	102,599	102,629	0,03
620	102,25	101,993	-0,257
644	100,111	99,9672	-0,1438
645	95,607	97,2243	1,6173
664	96,715	97,1341	0,4191
653	95,743	97,1294	1,3864
662	95,87	96,7004	0,8304
663	91,037	90,586	-0,451
605	78,863	79,1618	0,2988
604	74,789	75,2166	0,4276
658	70,535	71,0601	0,5251
617	64,618	68,5065	3,8885
656	58,391	58,0623	-0,3287
641	57,708	57,8654	0,1574
643	55,253	55,2135	-0,0395
651	48,262	47,5213	-0,7407
606	38,481	41,0797	2,5987
649	16,954	24,5903	7,6363
652	24,981	23,873	-1,108
642	23,195	23,3948	0,1998
660	12,343	12,6923	0,3493
628	8,623	9,81996	1,19696
638	8,685	9,11656	0,43156
625	8,603	8,71845	0,11545
659	6,023	6,72198	0,69898
1638	6,369	6,1208	-0,2482
639	5,018	5,47445	0,45645
654	9,878	2,57763	-7,3004
647	3,782	0,95	-2,832

Ponto	Z_r (m)	Z_t (m)	e_z (m) $\leq 1,35$
675	303,71	299,938	-3,772
674	145,501	147,535	2,034
640	126,748	127,537	0,789
636	101,444	102,813	1,369
650	102,599	102,629	0,03
620	102,25	101,993	-0,257
644	100,111	99,9672	-0,1438
645	95,607	97,2243	1,6173
664	96,715	97,1341	0,4191
653	95,743	97,1294	1,3864
662	95,87	96,7004	0,8304
663	91,037	90,586	-0,451
605	78,863	79,1618	0,2988
604	74,789	75,2166	0,4276
658	70,535	71,0601	0,5251
617	64,618	68,5065	3,8885
656	58,391	58,0623	-0,3287
641	57,708	57,8654	0,1574
643	55,253	55,2135	-0,0395
651	48,262	47,5213	-0,7407
606	38,481	41,0797	2,5987
649	16,954	24,5903	7,6363
652	24,981	23,873	-1,108
642	23,195	23,3948	0,1998
660	12,343	12,6923	0,3493
628	8,623	9,81996	1,19696
638	8,685	9,11656	0,43156
625	8,603	8,71845	0,11545
659	6,023	6,72198	0,69898
1638	6,369	6,1208	-0,2482
639	5,018	5,47445	0,45645
654	9,878	2,57763	-7,3004
647	3,782	0,95	-2,832

Nesta amostra de 33 pontos, 6 desses ultrapassaram o limite do erro médio exigido na classe **A** do PEC correspondente a 18% da amostra, ou seja, apenas 82% dos pontos analisados atenderam a classe avaliada, o que descarta a possibilidade dessa classificação. Assim como os 10 pontos que também ultrapassaram o limite do EM na classe **A** para o PEC-PCD, correspondente a 30,3% de pontos que não atenderam a classificação realizada.

Figura 20: Gráfico de dispersão dos erros obtidos sobre os pontos coletados pelo IBGE.



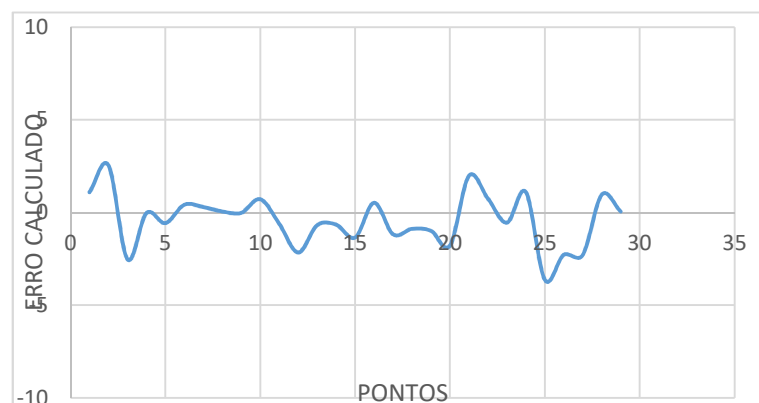
A Figura 20 mostra o gráfico gerado a partir dos erros calculados, e através de uma simples análise do mesmo é possível observar que os erros apresentam uma dispersão, consideravelmente, homogênea com apenas alguns picos de valores.

Diante do resultado obtido, o MDT foi rejeitado como produto cartográfico, uma vez que não atendeu a classe do padrão de exatidão exigido. A partir disso, foram realizados processos de reamostragem, por parte da empresa responsável pelo produto, onde o modelo passa por etapas de reprocessamento visando a melhoria das informações geoespaciais e os tornando, teoricamente, mais acurados. Assim, fez-se necessário novos testes de controle de qualidade para os novos produtos reamostrados, de forma que pudessem ser classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfico. Estes resultados são apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Pontos de Controle analisados segundo o PEC-PCD, sobre o MDT ajustado.

Ponto	Z_r	Z_t	$e_z \leq 1,35m$
P03	5,375	6,46581	1,09081
P04	20,138	22,675	2,536999
P05	4,415	1,88333	-2,53167
P06	5,033	5,00021	-0,03279
P07	12,719	12,1432	-0,5758
P08	18,029	18,448	0,419
P09	7,58	7,87342	0,29342
P10	33,292	33,3457	0,053699
P11	12,716	12,6974	-0,0186
P12	63,451	64,1674	0,716396
P13	8,33	7,71771	-0,61229
P14	14,386	12,2209	-2,1651
P15	48,269	47,5835	-0,6855
P16	71,76	71,1013	-0,6587
P17	71,165	69,8135	-1,3515
P18	87,723	88,2473	0,524299
P19	117,405	116,227	-1,178
P20	62,333	61,4463	-0,8867
P21	113,277	112,286	-0,991
P22	289,419	287,634	-1,785
P23	108,092	110,072	1,979999
P24	93,688	94,4395	0,751499
P25	12,937	12,3836	-0,5534
P26	14,454	15,5514	1,0974
P28	5,173	2,89895	-2,27405
P29	7,514	5,21733	-2,29667
P30	16,099	17,0569	0,9579
P50	7,016	7,06464	0,04864

Figura 21: Gráfico de dispersão dos erros altimétricos dos pontos coletados no trabalho sobre o MDT ajustado.

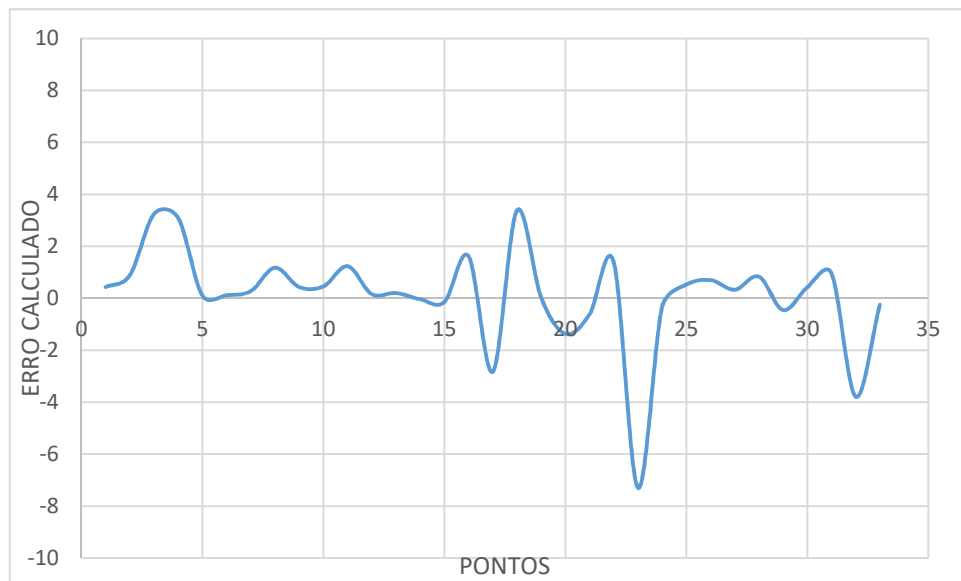


Pode-se observar uma melhora considerável nos erros obtidos depois da reamostragem do MDT, onde é claramente visto comparando a Figura 19 com a Figura 21. Assim, apenas 7,1% dos pontos não atenderam ao PEC classe **A**, segundo a Tabela 9, o que implica em um percentual de 92,9% da amostra apta aos requisitos desta classificação. Equivalente a classe **B** do PEC-PCD.

Tabela 10: Pontos do IBGE analisados segundo o PEC-PCD, sobre MDT ajustado.

Ponto	Z_r	Z_t	$e_z \leq 1,35m$
604	74,789	75,2165985	0,427599
605	78,863	79,7464981	0,883498
606	38,481	41,7198982	3,238898
617	64,618	67,7058029	3,087803
620	102,25	102,3509979	0,100998
625	8,603	8,7184496	0,11545
628	8,623	8,9007101	0,27771
636	101,444	102,6210022	1,177002
638	8,685	9,11656	0,43156
639	5,018	5,4744501	0,45645
640	126,748	127,9800034	1,232003
641	57,708	57,8653984	0,157398
642	23,195	23,3948002	0,1998
643	55,253	55,213501	-0,0395
644	100,111	99,9672012	-0,1438
645	95,607	97,2242966	1,617297
647	3,782	0,95	-2,832
649	16,954	20,3278008	3,373801
650	102,599	102,6289978	0,029998
651	48,262	46,8931007	-1,3689
652	24,981	24,3595009	-0,6215
653	95,743	97,1294022	1,386402
654	9,878	2,57763	-7,30037
656	58,391	58,0623016	-0,3287
658	70,535	71,0600967	0,525097
659	6,023	6,7219801	0,69898
660	12,343	12,6695995	0,3266
662	95,87	96,7004013	0,830401
663	91,037	90,5793991	-0,4576
664	96,715	97,1341019	0,419102
674	145,501	146,4620056	0,961006
675	303,71	299,9179993	-3,792
1638	6,369	6,1208	-0,2482

Figura 22: Gráfico de dispersão dos erros obtidos dos pontos coletados pelo IBGE sobre o MDT ajustado.



Os pontos cedidos pelo IBGE também resultaram em erros, relativamente, menores no MDT ajustado, como visto na Figura 22, porém ainda insuficiente para alcançar a classificação **A** do PEC-PCD. Uma vez que 9 pontos não atenderam aos critérios da classe, equivalente a 27,3% da amostra total. A classe à qual o MDT se enquadra de acordo com esta amostra de pontos é a classe **D** do PEC-PCD e sua equivalente classe **C** do PEC, pois com um erro médio de 3,75m, 93,9% atende aos critérios dessa classe com um EMQ igual a 1,91m.

A Tabela 11 mostra o resumo dos resultados obtidos nestes testes de controle de qualidade voltados para a acurácia posicional altimétrica.

Tabela 11: Resumo do Controle de Qualidade.

Dados	MDT		MDT ajustado	
	PEC	PEC-PCD	PEC	PEC-PCD
GESEP	C	D	A	B
IBGE	Não Conforme	Não Conforme	C	D

O resultado esperado para o MDT analisado é o atendimento ao PEC classe **A** (Decreto 89.817), que neste caso foi aprovado. Porém, de maneira análoga, a classe **A** do PEC-PCD não foi obtida, levantando a questão da possibilidade da rejeição do MDT avaliado se levar em consideração a ET-CQDG, classe B, lembrando que é de 2,5 metros que equivale a classe A do PEC. Porém, este teste de qualidade pode estar tendencioso, pois a amostra de pontos de controle pode ter sido utilizado na reamostragem do MDT.

Com a intenção de validar o MDT com outros pontos de controle, o conjunto de dados disponibilizado pelo IBGE tornou a nova verificação de qualidade possível, mas ainda restam esclarecimentos sobre as configuração de parâmetros considerados na campanha de campo. Conforme resultado do novo teste de qualidade o MDT ajustado não atendeu a classe A do PEC, tendo sua classificação de qualidade a **C**, ou seja, EM menor que 3,75 metros e EP menor do que 2,5. Para a categorização de classe conforme os testes do PEC-PCD, o MDT atendeu a classe D.

O resultado desta primeira verificação é que o MDT ajustado apresentou melhoria na acurácia posicional altimétrica, porém não atendeu a classe A esperada. Mas para uma constatação mais acurada é necessária uma análise detalhada e teste da amostragem dos pontos de controle do IBGE.

9. Conclusões.

O MDT analisado neste trabalho foi classificado após diversas etapas de análise de qualidade e com base em dois tipos de dados de referência diferentes: Os pontos coletados em campo na etapa de levantamento do próprio trabalho, sendo nesses a vantagem da confiança da coleta, tanto em campo quanto em escritório; E os pontos GNSS solicitados ao IBGE, onde restou apenas aceitar as informações dadas pelo órgão e confiar na credibilidade de sua equipe de campo. Assim, o MDT final ajustado, foi analisado seguindo os pontos coletados pela equipe de cartografia do GEGEP, e se enquadrou na classe “A” tanto para o PEC previsto pelo Decreto 89.817, equivalente a classe “B” no PEC-PCD. Quando verificado com os pontos do IBGE cedidos gentilmente a UFPE, a classe à qual o MDT foi a “C” para o PEC de 1984 e para o PEC-PCD, a classe enquadrada foi a “D”.

Neste trabalho, os pontos fornecidos pelo IBGE, foram considerados como pontos válidos de verificação da qualidade final. Conclui-se que o MDT fornecido para atendimento a escala 1:10.000 não está em atende a classe “A” altimétrica adaptada para insumo como MDT. Na cartografia sistemática de formato analógico, a validação da certificação de qualidade deve seguir os procedimentos de verificação altimétrica levando em consideração a impressão da carta com as curvas de nível, cujo indicador da classe “A” do PEC (1984) é dado pela $\frac{1}{2}$ equidistância entre as curvas de nível. Sugere-se como objeto de outro estudo que sejam realizados estes procedimentos de validação da qualidade cartográfica, já que o MDT é considerado um insumo cartográfico digital e não um produto e para atestar a acurácia posicional em conformidade com o decreto lei nº 89.817, o MDT deveria ser interpolado, gerando curvas de nível com intervalos de equidistantes de 5 metros. Para uso dos pontos de controle um processo de interpolação para a posição das curvas de nível deverá ser estudado.

Os procedimentos metodológicos para análise da qualidade da acurácia posicionais absolutos usados neste trabalho podem servir de suporte para outros trabalhos de controle de qualidade da geoinformação. Este estudo se restringiu a análise de qualidade de um único parâmetro de qualidade, devido as condições de

fornecimento que foram reaproveitadas de um outro mapeamento especificado para a escala 1:25.000.

Sugere-se que se continue a análise dos resultados deste estudo, que não foi possível realizar. Propõe-se trabalhos posteriores com abordagem na análise estatística que possam esclarecer muitas das questões observadas durante o desenvolvimento deste estudo.

Referências Bibliográficas

ALVES, N. A. R.; Maria Emanuella Firmino Barbosa ; DIAS, S. O. . **Controle de qualidade de produto cartográfico aplicado a imagem de alta resolução**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Análise e Aplicação de Dados de Alta e Baixa Resolução Espacial/Analysis and Applications of High and Low Spatial Resolution Data, 2013. p. 1330-1337.

ARANA, J.M. **Geodésia Física: Notas de aula**. Departamento de Cartografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia Unesp – Campus de Presidente Prudente, 62 p, 2000.

ARIZA-LÓPEZ, F. J. **Calidad en la Información Geográfica (Introducción)**. En: **Experto Universitario en Evaluación de la Información Geográfica** (4ª Edición). Máster Universitario en Evaluación y Gestión de la Calidad de la Información Geográfica (1ª Edición). Jaén: Universidad de Jaén, 2011.

ARIZA-LÓPEZ, F. J.; GARCÍA-BALBOA, J. L. **Evaluación de las componentes de la calidad de la información geográfica**. En: **Experto Universitario en Evaluación de la Información Geográfica** (4ª Edición). Máster Universitario en Evaluación y Gestión de la Calidad de la Información Geográfica (1ª Edición). Jaén: Universidad de Jaén, 2011.

BRADAR, 2015. **PRECISÃO ALTIMETRICA DE MODELO DIGITAL DO TERRENO SOB A VEGETAÇÃO, OBTIDOS POR INTERFEROMETRIA SAR BANDA P**. Sao Paulo: Brasília, 2015. 14 p.

BRASIL, Leis et al. **Decreto No 89.817**, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (IRNTCN). Brasília: Diário Oficial da União (DOU).

CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia; Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais- **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais** (ET-ADGV). Editoração e impressão pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2ª Edição, Brasil, 2011.

COSTA, Saulo dos Santos. **Dados Espaciais Gratuitos Para Associação Com Rugosidade Do Terreno, Em Ambiente Opensource**. 2015. 55p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartografica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

DCT/DSG. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais**. 1a. Edicao. Brasília, 2016.

DSG. **Especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais**. Versao 2.1.3. 2011.

FERREIRA, Gilberlan de Freitas. **Emprego de simulação no controle de qualidade em cartografia aplicado a modelos digitais de superfícies oriundos de sensores orbitais segundo foco PEC-PCD**. Recife, 121 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias Da Geoinformação, 2014.

GALERA MONICO, Joao Francisco et al. **Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada**. Boletim de Ciências Geodésicas, 2009.

GARCIA-BALBOA, J. L. **Normas de Calidad. En: Experto Universitario em Evaluacion de La Informacion Geografica** (4a Edicion). Master Universitario em Evaluacion y Gestion de La Calidad de La Informacion Geografica (1a Edicion). Jaen: Universidad de Jaen, 2011.

GEMAEL, C., **Introdução ao ajustamento das observações – Aplicações geodésica**. Paraná: UFPR, 2004. 319p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados Estatísticos – Senso 2011**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>.

LAZZAROTTO, D.R. **Avaliação da Qualidade das Bases Cartográficas por Meio de Indicadores e Sistemas de Influência Fuzzy**. Setor de Ciências da Terra, UFPR, Curitiba, 2005.

MARANHÃO, V. C. **Modelagem e controle de qualidade de uma infraestrutura de dados espaciais para o Estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, 2013.

Modelo de Ondulação Geoidal – **MAPGEO 2010**,
http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm

NERO, M. A. **Propostas para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. 2005. 186 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

NOGUEIRA JÚNIOR, J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. 2003. 147f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

ROSA, Rafael Antonio da Silva Rosa. **Desenvolvimento de um Algoritmo de Desdobramento de Fase para Radar de Imagens Interferométrico Aerotransportado Utilizando uma Linha de Base**. 2004. 106f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

SANTOS, SUZANA DANIELA ROCHA et al. **Considerações sobre a utilização do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) nos dias atuais**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE, p. 27-30, 2010.

SATO, S. S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais**. 2003. 238 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

SEGANTINE P. C. L. **GPS: Sistema de Posicionamento Global**. Editora USP, 364 pg, 2005.

SERVIGNE, S.; LESAGE, N.; LIBOUREL, T. **Quality components, standards, and metadata**. In: DEVILLERS, R.; JEANSOULIN, R. (Eds.). *Fundamentals of spatial data quality*. [s.l.] ISTE, 2006. p.210.

WEBER, E; ANZOLCH, R.; FILHO, J. L.; COSTA, A. C.; IOCHPE, C. **Qualidade de Dados Geoespaciais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS. Instituto de Informática. Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Porto Alegre, RS, 1999.

ANEXOS

MONOGRAFIA DE VÉRTICE GPS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE

PROJETO: ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE AOS DESASTRES NATURAIS

MUNICÍPIO: CABO DE SANTO AGOSTINHO

ESTADO: PERNAMBUCO

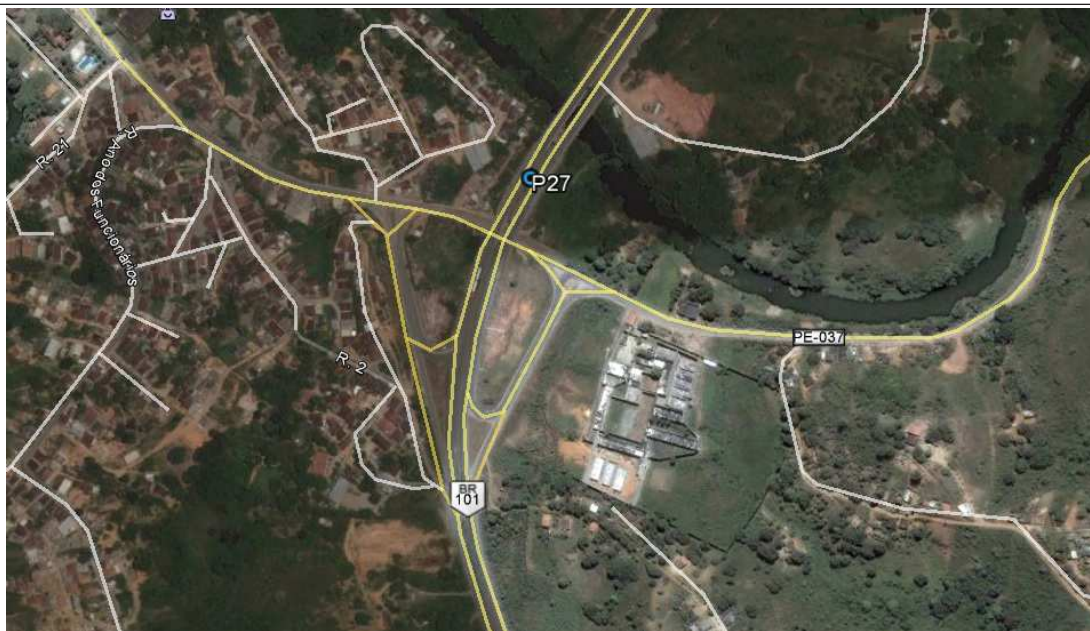
MATERIALIZADO:	SIM () NÃO (X)	Identificação Ponto: P27	DATA: 13 de Maio de 2015
BASE UTILIZADA: RBMC RECIFE		DATUM: SIRGAS 2000	PROJEÇÃO: UTM
EQUIPAMENTO UTILIZADO: TOPCON HIPER LITE+		ACHATAMENTO: 1/298,257222101	ZONA: 25 S
INICIO DA OCUPAÇÃO: 10:39h		UNIDADE DE MEDIDA: Metro	MC = -33°
TÉRMINO DA OCUPAÇÃO: 11:10h		FATOR DE ESCALA: 0,9996	MODELO GEODAL: MAPGEO2010
ALTURA ANTENA (m): 2,564		SEMI EIXO MAIOR: 6378137,000 m	ITRF: 2000 EPOCA 2000.4

COORDENADAS

GEODESICAS				UTM		ALT. ORTOMETRICA (m)
PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTURA ELIP.	E (m)	N (m)	
P27	8°16'56,16367"S	35°03'27,05665"W	18,477	273375,122	9083910,462	24,127

DESCRIÇÃO: O PONTO FOI COLETADO NA AV. GOV. MÁRIO COVAS (BR-101) - SENTIDO CABO.

LOCALIZAÇÃO



CROQUI

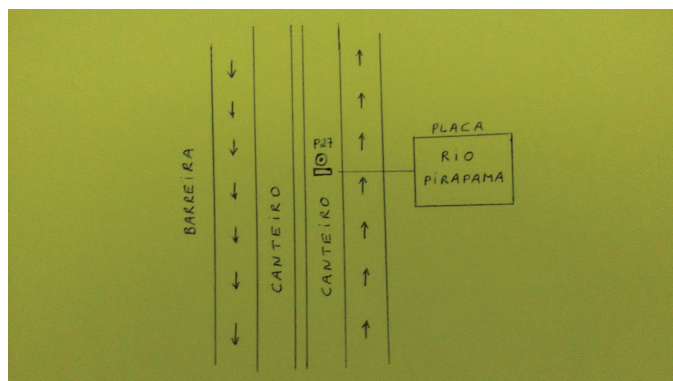


FOTO 01



FOTO 02



Ministério das Cidades

