



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

THYAGO DE SOUSA LINS

**CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE MDT ADQUIRIDOS POR  
PERFILAMENTO A LASER**

Recife

2018

THYAGO DE SOUSA LINS

**CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE MDT ADQUIRIDOS POR  
PERFILAMENTO A LASER**

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<sup>a</sup>. Dra. Simone Sayuri Sato

Recife

2018

Catalogação na fonte

Bibliotecário Gabriel da Luz, CRB-4 / 2222

L759c Lins, Thyago de Sousa.

Controle de qualidade de dados de MDT adquirido por perfilamento a laser./ Thyago de Sousa Lins - 2018.

81folhas, Il.; Tabs.; Abr. e Sig.

Orientadora: Profª. Drª. Simone Sayuri Sato.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Departamento de Engenharia Cartográfica, 2018.

Inclui Referências.

1. Engenharia Cartográfica. 2. LiDAR. 3. MDT. 4. GNSS. 5. Acurácia posicional. 6. ET-CQDG. I. Sato, Simone Sayuri. (Orientadora). II. Título.

## **CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS DE MDT ADQUIRIDOS POR PERFILAMENTO A LASER**

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.

Aprovado em: 29/11/2018

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Simone Sayuri Sato (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá

Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Ligia Albuquerque de Alcântara Ferreira

Universidade Federal de Pernambuco

Com todo o meu coração dedico este trabalho:

Aos meus pais Amilton Lins e Renilda Santos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por alimentar a minha fé todos os dias, que em meio ao aparecimento de dificuldades é sempre possível sair fortalecido e seguir em busca de meus objetivos, assim como, de permitir que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais Amilton Lins e Renilda Santos, pelo amor, pelo carinho, por me fortalecer em momentos difíceis, eles foram de grande relevância em toda esta caminhada, em especial ao meu pai que foi grande incentivador desde o início, que é um herói em minha vida, sem ele, não seria possível concluir esta etapa.

À minha orientadora, Profa. Dra. Simone Sayuri Sato pela orientação, confiança e apoio, por estar presente em todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho, pelas suas correções e incentivo, suas contribuições valiosas que possibilitaram aprimorar este trabalho.

À Profa. Dra. Lucilene Antunes Corrêa Marques de Sá, por suas contribuições, correções e sugestões, ao longo do desenvolvimento deste trabalho e de toda a minha graduação.

À Profa. Dra. Ligia Albuquerque de Alcântara Ferreira, por suas correções, orientações e sugestões, durante a realização deste trabalho, bem como, por disponibilizar dados que tornaram possível o processamento de dados obtidos neste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE por contribuírem com a minha formação acadêmica, agradeço por tudo que me ensinaram.

Aos meus amigos da Universidade Federal de Pernambuco, que fiz no decorrer da graduação, que levarei para toda a vida.

Agradeço também em especial a Maria de Lourdes e Anderson que me ajudaram e me incentivaram durante todos esses anos. Nunca esquecerei de tudo que todos vocês fizeram por mim.

## RESUMO

O Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), surgiu devido a necessidade de se obter informações altimétricas de uma determinada região do Estado de Pernambuco, o bem-sucedido mapeamento usando o perfilamento a laser de uma área específica ganhou maiores proporções: todo o Estado de Pernambuco foi mapeado. O governo da época, considerou que com esse tipo de mapeamento e o fornecimento das informações e dados advindos dele, seria possível um melhor planejamento e tomada de decisão por parte de empresas públicas e privadas. Dado esse pressuposto, e levando em consideração a atual necessidade de avaliar e validar a qualidade dos dados geoespaciais originados deste mapeamento, esse trabalho busca contribuir com um objetivo de verificação da qualidade altimétrica do Modelo Digital de Terreno (MDT). Para isso, foram utilizados diferentes métodos capazes de avaliar a acurácia posicional altimétrica de um dos municípios de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, cujo MDT foi oriundo do PE3D. A base referencial de verificação da qualidade do mapeamento altimétrico da área de estudo é um conjunto de pontos de controle cedidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), atendendo uma solicitação do Departamento de Engenharia Cartográfica (DECART), cujo Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura é pertencente. Os procedimentos realizados neste trabalho vão desde a realização de amostragem dos pontos de inspeção até a classificação da precisão e acurácia altimétrica posicional do MDT de acordo um critério de certificação nacional da qualidade cartográfica, o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) , normativa segundo o Decreto nº 89.817 (1984) e das especificações técnicas de controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG), adotadas pela Diretoria do Serviço Geográfico (DSG), que trata de critérios atuais da cartografia na forma de banco de dados e dados digitais, tratada como padrão de exatidão cartográfico para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD). O trabalho, ainda tratou da avaliação do comportamento das amostras por meio de testes estatísticos. Na análise dos resultados se permite verificar se os dados oriundos do PE3D, estão de acordo com as especificações do projeto.

Palavras-chave: *LiDAR. MDT. GNSS. Acurácia posicional. ET-CQDG.*

## **ABSTRACT**

The Pernambuco Three-Dimensional Program (PE3D), due to the need to obtain altimetric information from a specific region of the State of Pernambuco, the successful mapping using the laser profiling of a specific area has gained greater proportions: the entire state of Pernambuco was mapped. The government of the time, considered that with this type of mapping and the provision of information and data from it, it would be possible to better planning and decision making by public and private companies. Given this assumption, and taking into account the current need to evaluate and validate the quality of the geospatial data originated from this mapping, this work seeks to contribute with an objective of verifying the altimetric quality of the Digital Terrain Model (DTM). For this, different methods were used to evaluate the altimetric positional accuracy of one of the municipalities of Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, whose DTM originated from PE3D. The reference base for verifying the quality of the altimetric mapping of the study area is a set of control points provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), following a request from the Department of Cartographic Engineering (DECART), whose Cartographic Engineering Course and Surveying is owned. The procedures performed in this work range from the sampling of inspection points to the classification of accuracy and positional altimetric accuracy of the MDT according to a national certification criterion of cartographic quality, the Cartographic Accuracy Standard (PEC), normative according to the Decree (ET-CQDG), adopted by the Geographic Service Board (DSG), which deals with the current criteria of cartography in the form of database and digital data, as a standard of cartographic accuracy for digital cartographic products (PEC-PCD). The study also dealt with the evaluation of the behavior of the samples by means of statistical tests. In the analysis of the results it is possible to verify if the data coming from the PE3D, are in agreement with the specifications of the project.

Keywords: LiDAR. DTM. GNSS. Positional Accuracy . ET-CQDG.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1-	PEC-PCD para os Modelos Digitais de Elevação (MDE), ou seja, de Terreno (MDT) ou de Superfície (MDS) .....	24
Quadro 2-	Padrão de Exatidão Cartográfica da altimetria (curvas de nível) dos Produtos Cartográficos Digitais.....	25
Quadro 3-	Medida PAP-PCD Altimétrico.....	27
Quadro 4-	Variáveis para descrever os procedimentos de avaliação da qualidade.....	28
Figura 1-	Exemplo referente ao elemento de qualidade acurácia posicional absoluta.....	32
Figura 2-	Tipos de amostragem espacial.....	42
Figura 3-	Tipos de padrão.....	43
Figura 4-	Tipos de amostragem.....	43
Quadro 5-	Letra código de acordo com o tamanho do lote e nível de inspeção.....	45
Quadro 6-	Tamanho da amostra e número de aceitação segundo a letra- código/LQA.....	46
Quadro 7-	Qualidade Limite (QL) em % segundo o tamanho do lote e o LQA.....	47
Quadro 8-	Tamanho da amostra (n) e número de aceitação (Ac) segundo o tamanho do lote e a QL.....	47
Figura 5-	Mapa de localização da área de estudo.....	53
Figura 6-	Sobreposição do polígono da área de interesse e quadrícula do PE3D.....	56
Figura 7-	Determinação dos pontos de inspeção.....	57
Figura 8-	Amostragem aleatória sistemática.....	58

Figura 9-	Pontos de inspeção gerados.....	58
Figura 10-	Pontos de controle (GNSS) e pontos de inspeção (amostragem).....	60
Figura 11-	Seleção dos pontos de controle (GNSS).....	60
Figura 12-	Sobreposição área e MDT no software QGIS.....	62
Figura 13-	Complemento QGIS para obter dados MDT.....	62
Figura 14-	Identificação de resultados altimétricos.....	63
Figura 15-	Localização dos pontos no mapa.....	64
Figura 16-	Entrada de dados software GeoPEC.....	65
Figura 17-	Ferramenta de análise da acurácia posicional altimétrica GeoPEC.....	66
Figura 18-	Resultados estatísticos.....	67
Figura 19-	Resultado teste Shapiro-Wilk.....	67
Figura 20-	Valores obtidos de acordo com os padrões do decreto 89.817/ET-CQDG.....	68
Figura 21-	Classificação do produto de acordo com o decreto 89.817/ET-CQDG.....	68
Figura 22-	Resultado teste t de Student.....	69
Figura 23-	Gráfico das discrepâncias posicionais altimétricos.....	69
Figura 24-	Discrepância altimétrica entre os pontos de inspeção e de referência.....	70
Figura 25-	Resultado teste t de Student com 15 pontos.....	70

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 -	Pontos de Controle GNSS.....	59
Tabela 2 -	Pontos de Controle (GNSS) de Referência.....	61
Tabela 3 -	Dados dos Pontos de inspeção (MDT).....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADGV	Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
AP	Acurácia Posicional
CQDG	Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico
DP	Desvio Padrão
ET	Especificação Técnica
EP	Erro Padrão
EQM	Erro Quadrático Médio
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LQA	Limite de Qualidade Aceitável
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
NQA	Nível de Qualidade Aceitável
PCD	Produtos Cartográficos Digitais
PE3D	Pernambuco Tridimensional

PEC Padrão de Exatidão Cartográfica

QL Qualidade Limite

SCN Sistema Cartográfico Nacional

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>18</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
2.1	O PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL.....	19
2.2	ERROS E PRECISÃO.....	19
2.2.1	<b>Outliers.....</b>	<b>20</b>
2.3	NORMA BRASILEIRA DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA.....	20
2.3.1	<b>ET-ADGV.....</b>	<b>21</b>
2.3.2	<b>ET-CQDG.....</b>	<b>25</b>
2.3.2.1	Medidas de Qualidade dos Dados na Avaliação da Acurácia Posicional.....	25
2.3.2.2	PAP-PCD Altimétrico.....	26
2.3.2.3	Processo de Avaliação.....	27
2.4	ELEMENTOS DE QUALIDADE DE DADOS GEOESPACIAIS.....	31
2.4.1	<b>Completude.....</b>	<b>31</b>
2.4.2	<b>Consistência Lógica.....</b>	<b>31</b>
2.4.3	<b>Acurácia Posicional.....</b>	<b>31</b>
2.4.4	<b>Acurácia Temporal.....</b>	<b>32</b>
2.4.5	<b>Acurácia Temática.....</b>	<b>32</b>
2.5	PERFILAMENTO A LASER 3D.....	33
2.5.1	<b>LiDAR.....</b>	<b>33</b>
2.6	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO – MDE.....	35

<b>2.6.1</b>	<b>Modelo Digital do Terreno – MDT.....</b>	<b>36</b>
2.7	PERNAMBUCO 3D (PE3D) .....	37
2.8	AMOSTRAGEM.....	39
<b>2.8.1</b>	<b>Tipo e Nível de Inspeção.....</b>	<b>40</b>
<b>2.8.2</b>	<b>Tipos de Amostragem.....</b>	<b>41</b>
<b>2.8.3</b>	<b>Plano de Inspeção Amostra.....</b>	<b>44</b>
<b>2.8.4</b>	<b>Quadros Para Amostragem.....</b>	<b>45</b>
2.8.4.1	Lote a Lote.....	45
2.8.4.2	Lote Isolado.....	46
2.9	GLOBAL NAVIGATION SATELITE SYSTEM – GNSS.....	48
2.10	TESTES ESTATÍSTICOS.....	49
<b>2.10.1</b>	<b>Teste de Shapiro &amp; Wilk.....</b>	<b>49</b>
<b>2.10.2</b>	<b>Teste de t de Student.....</b>	<b>49</b>
2.11	SOFTWARE GEOPEC.....	50
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>52</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	52
<b>3.1.1</b>	<b>Características da Região.....</b>	<b>52</b>
3.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	54
3.3	RECURSOS TECNOLÓGICOS.....	54
<b>3.3.1</b>	<b>Programas Computacionais.....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Equipamentos Eletrônicos e Computacionais.....</b>	<b>55</b>
3.4	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	55
<b>3.4.1</b>	<b>MDT PE3D.....</b>	<b>55</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Amostragem dos Pontos de Controle.....</b>	<b>56</b>

3.4.2.1	Procedimento no Software Livre QGIS.....	57
3.5	COLETA DE PONTOS DE CONTROLE POR GNSS.....	58
3.6	EXTRAÇÃO DOS DADOS DOS PONTOS DE INSPEÇÃO NO MDT.....	61
3.7	VISUALIZAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS NO MAPA.....	64
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>65</b>
4.1	ACURÁCIA POSICIONAL ALTIMÉTRICA UTILIZANDO O SOFTWARE GEOPEC.....	65
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Recentemente o uso e acesso de geoinformações é crescente e com isso o seu compartilhamento vem aumentando progressivamente, demandando confiabilidade. Vista a necessidade de verificação da qualidade dos dados geoespaciais e da disposição de especificações técnicas acerca deles, neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), são abordados diferentes métodos para tornar essa checagem possível, desde a amostragem até a classificação de acordo com a ET-CQDG (2016) e mostrar o porquê que atualmente a padronização é tão importante ao gerar produtos cartográficos.

De acordo com Nogueira Júnior (2003), o processo de produção de documentos cartográficos é, em sua essência, bastante complexo e envolve operações e métodos específicos, utilizando instrumentos sofisticados e precisos, com pessoal altamente qualificado para operá-los e em face dessa complexidade e da natureza do produto final obtido torna-se necessário a adoção de procedimentos de controle que garantam a sua qualidade. Segundo Dalmolin e da Motta Leal (2001), para acompanhar a evolução tecnológica sem perder a qualificação dos dados espaciais, normas e parâmetros mínimos devem ser adotados. Esse entendimento reforça que a padronização é uma tendência que já ocorre atualmente na avaliação da qualidade de dados geoespaciais.

Os produtos cartográficos são usados para controlar a expansão urbana em bases sustentáveis, identificar áreas de risco, e têm um enorme potencial de utilização na realização de empreendimentos públicos e privados que requerem um detalhamento preciso do terreno. Diante da importância dos produtos cartográficos, se faz necessário garantir a sua qualidade. Galo & Camargo (1994), Santos (2010) e Lunardi et al. (2012) observaram que o cuidado com a qualidade, seja ela posicional, geométrica, temporal ou temática, pode ser negligenciado no processo de análise ou produção de dados espaciais.

A ideia de controlar um processo para conseguir melhorias é totalmente diferente da ideia de inspecionar produtos para identificar os não conformes, embora os dois procedimentos utilizem em parte as mesmas ferramentas estatísticas (Juran, 1997). O procedimento adequado depende de diversos fatores que serão detalhados neste trabalho. A norma ISO (*International Organization for Standardization*) 19157: 2013, aborda seis elementos de qualidade são eles: Completude, Consistência Lógica, Acurácia Posicional, Acurácia Temática, Acurácia Temporal e Usabilidade.

Neste TCC é abordado o elemento acurácia posicional e procedimentos metodológicos de controle de qualidade realizados com o propósito de avaliar o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) do MDT (Modelo Digital do Terreno), do Município de Cabo Santo Agostinho do Estado de Pernambuco, originado do projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D), assim como se o produto está em conformidade com as especificações do projeto.

## 1.1 OBJETIVOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso, está com seus objetivos de acordo com o que está especificado nos itens abaixo.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Validar a qualidade posicional da base de dados altimétricos do Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) de uma área de estudo localizada no Município do Cabo de Santo Agostinho.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Compreender a concepção do Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) quanto as suas especificações técnicas e finalidade
- b) Estudar as especificações e normas referentes a qualidade posicional, assim como, diferentes métodos de controle e análise de qualidade posicional aplicados a modelagem altimétrica do terreno.
- c) Aplicar diferentes métodos para amostragem, de modo a gerar pontos de inspeção apropriados.
- d) Aplicar e analisar os métodos de controle de qualidade nos dados altimétricos na área de estudo classificando-os de acordo com a ET-CQDG (2016).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será detalhada a pesquisa científica realizada, que tornou possível aplicar os métodos nos capítulos seguintes.

### 2.1 O PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL

O conceito de qualidade pode ser entendido como a conformidade com uma especificação. Atualmente ele também está muito associado com a capacidade de um produto ou serviço de satisfazer as necessidades do cliente (Servigne et al., 2006). A qualidade também pode ser considerada como critério de distinção entre produtores (Ariza-López, 2011).

A acurácia posicional é uma propriedade tradicional e emblemática das produções cartográficas, existindo um grande número de referências em relação ao tema. Esta componente de qualidade faz referência a acurácia planimétrica e altimétrica do conjunto de dados (Ariza López, 2002).

Nos demais itens deste capítulo será detalhado o que estabelecem as normas e especificações técnicas.

### 2.2 ERROS E PRECISÃO

Ao gerar dados georreferenciados, empregam-se métodos e instrumentos que contêm erros associados. Na teoria dos erros, são apresentados três tipos de erros (DALMOLIN, 2004; GHILANI e WOLF, 2006; RODRIGUES, 2008):

**Os erros sistemáticos:** São erros geralmente causados por fontes conhecidas e que podem, em geral, ser eliminados ou compensados. Este tipo de erro pode ser causado pelo instrumento de medida, no método de observação, pelo uso de modelos teóricos inadequados e por causas ambientais.

**Os erros aleatórios ou accidentais:** são erros de causas diferentes e incoerentes, bem como causas temporais que variam durante observações sucessivas, sendo imprevisível sua ocorrência.

Os erros grosseiros: São erros frequentemente causados pela imperícia do operador, erro de formato na leitura computacional ou erro de identificação do objeto, que as vezes podem ser perceptíveis com observações redundantes.

De acordo com Rodrigues (2008), a precisão normalmente é quantificada pelo desvio-padrão e o coeficiente de variação, onde este expressa o grau de aderência dos dados uns aos outros.

Ainda Segundo Mikhail e Ackermann (1976) apud Monico et al. (2009), a precisão expressa o grau de consistência da grandeza medida com sua média, estando está diretamente ligada com a dispersão da distribuição das observações. A precisão considera apenas efeitos aleatórios.

### **2.2.1 Outliers**

SANTOS (2016), ressalta que vários autores na área de ciências cartográficas consideram sinônimos os termos *outlier* e erros grosseiros. Entretanto ele cita Melo e Castro (2013) e Amorim (2004) que citam Gaspari (1987), afirmando que outlier são resíduos ou discrepâncias que, estatisticamente, se diferenciam do conjunto de dados ao qual pertencem.

Ainda de acordo com SANTOS (2016), ao se detectar um *outlier* no controle de qualidade cartográfica, deve-se verificar se as feições foram bem identificadas no dado espacial de teste e de referência. Se esta identificação não estiver satisfatória (erro grosseiro), deve-se tentar corrigir ou então descartar tal ponto de checagem. Se a identificação estiver correta e mesmo assim a discrepância posicional for detectada como um outlier, entende-se que o valor é representativo da qualidade posicional do dado espacial em avaliação, devendo tal ponto de checagem continuar na amostra de avaliação.

## **2.3 NORMA BRASILEIRA DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA**

A norma brasileira, oficial vigente, foi estabelecida em decreto de 1984 (Brasil, 1984). Neste decreto se estabelece três classes de produtos cartográficos, A, B e C, de acordo com o indicador estatístico Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC do produto avaliado. O indicador PEC é igual ao produto do desvio padrão pela constante 1,6449, este indicador apresenta um nível de confiança de 90%. No entanto, recentemente, em junho de 2011, a CONCAR criou a norma Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET-ADGV. Esta norma tem como objetivo atualizar sua antecessora, pois a anterior não estava atendendo as necessidades atuais, aplicadas à era digital. Nesse sentido, passou-se a considerar que com o

avanço tecnológico foram eliminados erros inerentes aos processos antigos e inserindo os erros, menores, dos processos atuais. (T. Á. J. Pereira, M. A. Nero, 2012).

No Brasil, a avaliação da qualidade posicional é baseada no Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, instituído no Decreto Lei 89.817 de 20 de junho de 1984. Este foi concebido para aferição de produtos cartográficos analógicos (BRASIL, 1984).

O Decreto Lei nº 89.817 (BRASIL, 1984) considera equivalentes os termos "erro padrão" (EP), "desvio padrão" ( $\sigma$ ) e "erro médio quadrático" (EMQ), sem apresentar as formulações matemáticas para o cálculo, ocasionando interpretações dúbias. O desvio padrão e o erro padrão retratam a variabilidade dos dados em torno da média aritmética do espaço amostral. O EMQ está associado à diferença entre um valor observado, referente ao conjunto de dados espaciais, e o tomado como referência para mensurar o erro planimétrico (EP) e/ou altimétrico (EA). As Equações 1, 2 e 3 são formulações para o cálculo do desvio padrão, erro padrão e EMQ respectivamente (OLIVEIRA, 2011):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{pi} - \bar{e}_p)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

$$EP = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{pi})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

No Qual:

- $e_{pi}$ : erro planimétrico de um ponto identificado no conjunto de dados espaciais.
- $\bar{e}_p$ : média amostral do erro planimétrico.
- $n$ : número de pontos observados.

Ainda segundo Oliveira (2011), a classificação da acurácia posicional de produtos cartográficos deve atender aos dois critérios do PEC simultaneamente, sendo o EMQ associado à precisão e o PEC à tendência dos dados observados.

### 2.3.1 ET-ADGV

A maioria dos produtos cartográficos produzidos até o início da última década do século XX originava-se de processos óptico-mecânico-manauais aplicados sobre bases celulósicas

(cronaflex, poliéster, filmes e películas fotossensíveis para plástico-gravura, papéis para a impressão de cartas e mapas etc.). Tais processos ocasionavam diferentes componentes de erro posicional de uma "cadeia de erros" no processo de produção de um documento cartográfico. Entre os procedimentos metodológicos tradicionais da cadeia de produção de um documento cartográfico, naquele período, pode-se citar a perfuração dos diapositivos, a orientação manual dos modelos estereoscópicos, a geração dos originais de restituição fotogramétrica em bases celulósicas, a elaboração e editoração dos originais cartográficos por intermédio de técnicas de plástico-gravura e a impressão em papel da carta a ser distribuída ao usuário final. (ET-ADGV, 2016).

Ainda segundo a ET-ADGV (2016), com a evolução tecnológica dos equipamentos e dos processos para aquisição dos dados geoespaciais a serem representados, houve mudanças significativas no processo de produção de um documento cartográfico. Tais mudanças, por um lado, acarretaram a eliminação de várias fontes de erro inerentes à elaboração tradicional de produtos cartográficos ou mesmo a redução da magnitude de outras fontes de erro, como o caso da determinação dos pontos de campo. Por outro lado, novas fontes de erro, ainda que em menor magnitude, foram inseridas na cadeia produtiva.

O Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, estabeleceu critérios para classificação de cartas quanto à sua exatidão e à distribuição de erros ao longo das mesmas, utilizando um indicador estatístico da qualidade posicional, denominado de “Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)”. Na época, o principal objetivo foi assegurar a exatidão cartográfica do produto analógico, observando as peculiaridades de cada escala de representação.

A evolução tecnológica, a disseminação do conhecimento, a popularização de equipamentos que utilizam dados e informações geoespaciais e as demandas dos usuários indicaram a necessidade de serem estabelecidos novos padrões de qualidade para os produtos cartográficos. Para atender a estas necessidades, a (ET-PCDG) definiram os elementos da qualidade para cada tipo de produto. Entre estes elementos, observando o disposto na norma ISO 19.115, encontram-se os relativos à acurácia posicional, onde a acurácia absoluta consta como elemento de qualidade da geometria dos dados geoespaciais. (ET-ADGV, 2016).

Como já foi dito parcialmente, de acordo com o § 4º do item 2. Do Art. 8º do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, os termos Desvio Padrão (DP), Erro Padrão (EP) e Erro Quadrático Médio (EQM) devem ser considerados como sinônimos. Visando expor de forma

clara, precisa e concisa os conceitos relacionados com a qualidade posicional desejada para os Produtos Cartográficos Digitais (PCD), as novas especificações técnicas dos produtos cartográficos digitais utilizam os termos Acurácia e Exatidão. Como consequência, há necessidade de se esclarecer a relação entre os termos Desvio-Padrão e Acurácia (ou Exatidão), de forma a manter íntegra a intenção do legislador no estabelecimento dos Padrões de Exatidão Cartográfica previstos no referido Decreto.

Monico et al. (2009) realizaram uma rigorosa revisão conceitual desses termos, analisando as definições de diferentes pesquisadores, com atuação destacada nos ramos das Ciências Geodésicas e Cartográficas, no Brasil e no exterior. Segundo os autores, a definição original de Gauss para acurácia relaciona os efeitos sistemáticos e aleatórios dos erros nas medições, enquanto que a precisão se relaciona apenas com seus efeitos aleatórios, o que pode ser resumido na seguinte afirmação: “o termo acurácia por si só envolve a medida de precisão” (pag. 473). Ainda segundo os autores, não é necessária a análise conjunta da acurácia e precisão de produtos cartográficos, sendo suficiente somente a análise de sua acurácia, pois esta engloba a tendência e a precisão dos erros. Em suas conclusões os autores citam: “Não faz sentido dizer que um valor acurado é preciso ou não, pois a precisão faz parte da própria definição de acurácia” (pág. 482). Sendo assim, na presente norma, e nas que nela forem baseadas, utilizar-se-á os termos Acurácia Posicional Absoluta (APA) e Exatidão Cartográfica (EC) como referência na avaliação da acurácia ou exatidão de um produto cartográfico, sendo o DP (ou EP ou EQM) uma de suas componentes. Com isso, procura-se manter a intenção do legislador de garantir a qualidade dos produtos cartográficos do SCN, e possibilita-se o estabelecimento de parâmetros de sua avaliação.

O nível de exatidão posicional do atributo "geometria" de um objeto geoespacial depende diretamente da exatidão posicional esperada para um produto cartográfico. Assim, o processo de aquisição deve gerar uma geometria com exatidão posicional igual ou superior à do produto cartográfico final. A exatidão na aquisição é igual à do produto cartográfico digital final, pois após a aquisição vetorial de um elemento qualquer, sua geometria não é mais alterada nos processos posteriores. (ET-ADGV, 2016).

Os valores referentes ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD), são propostos para os produtos digitais produzidos após a publicação da 1<sup>a</sup> Edição da ET-PCDG e complementam os estabelecidos para produtos impressos, no Decreto nº 89.817, de 20 de junho

de 1984. Para que um produto digital possa ser aceito como produto de Referência do SCN, e consequentemente para a INDE, a exemplo do previsto para o PEC (produtos impressos em papel), noventa por cento (90% ou  $1,6449^*\text{EP}$ ) dos erros dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com as suas coordenadas levantadas em campo por método de alta precisão, devem apresentar os valores iguais ou inferiores aos previstos ao PEC-PCD, devendo ainda apresentar os valores de EP também iguais ou inferiores aos previstos nas tabelas do presente tópico. As escalas abrangidas no presente capítulo são: 1:1.000; 1:2.000; 1:5.000; 1:10.000; 1:25.000; 1:50.000; 1:100.000 e 1:250.000. Os produtos digitais foram classificados em 4 (quatro) classes (“A”, “B”, “C” e “D”), tendo como norteador o Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984. Para as escalas não abrangidas por esse decreto foram realizadas extrações, mantendo-se os valores previstos do PEC Planimétrico e do PEC Altimétrico. (ET-ADGV, 2016).

Quadro 1 - PEC-PCD para os Modelos Digitais de Elevação (MDE), ou seja, de Terreno (MDT) ou de Superfície (MDS)

PEC -PCD (3)	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
	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
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50

**Fonte:** ET-ADGV (2016).

Os valores previstos para a classe “A” (PEC-PCD) foram definidos a partir de adaptações dos estudos realizados por Merchant (1982) e ASPRS (1989), nos quais o PEC-PCD =  $0,27^*(\text{Equidistância do produto cartográfico})$  e o EP =  $1/6^*(\text{Equidistância do produto cartográfico})$ . As classes “B”, “C” e “D” do PEC-PCD correspondem, em ordem, às classes “A”, “B”, “C” do PEC Altimétrico previstas no Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984. (ET-ADGV (2016)).

No quadro seguinte, o PEC-PCD Altimétrico e o EP das classes “A”, “B” e “C” correspondem, respectivamente, às classes “A”, “B” e “C” do PEC Altimétrico previstas no Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

Quadro 2 – Padrão de Exatidão Cartográfica da Altimetria (curvas de nível) dos Produtos Cartográficos Digitais

PEC <sup>(1)</sup>	PEC- PCD	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67
B	B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
C	C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50
	D <sup>(4)</sup>	1,00	0,60	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00

**Fonte:** ET-ADGV (2016).

### 2.3.2 ET-CQDG

De acordo com a ET-CQDG (2016) esta é uma especificação em conformidade com a norma ISO 19157:2013, posto que os procedimentos de avaliação descritos nesta, seguem os passos descritos na norma ISO, e também é descrito como reportar a qualidade dos produtos usando procedimentos padronizados.

#### 2.3.2.1. Medidas de Qualidade dos Dados na Avaliação da Acurácia Posicional

A acurácia posicional é obtida a partir do cálculo das diferenças entre as coordenadas de feições em uma fonte de maior referência e seus pontos homólogos no produto a ser avaliado, comparando o desvio padrão obtido com o valor correspondente à escala do produto e verificando se o produto possui acurácia posicional mínima exigida (Maranhão, 2013). O Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 estabeleceu as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira, em que foram utilizados como referência os parâmetros que as constituem e dividem o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) em diferentes classes, considerando 90% de probabilidade (Brasil, 1984).

Este Decreto não prevê um número mínimo de pontos de verificação necessários à comprovação da acurácia dos documentos, refletindo os métodos e tecnologias disponíveis à época. O surgimento de novas geotecnologias contribuiu para que fosse realizada uma revisão dos padrões estabelecidos no Decreto nº 89.817. Em consequência, a ET-ADGV estabeleceu um novo PEC destinado a atender os Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (DSG, 2011).

O enquadramento das classes no PEC-PCD baseia-se nas estatísticas de 90% dos pontos coletados no produto cartográfico em relação às coordenadas dos pontos homólogos coletados na fonte de maior precisão. Para que sejam enquadrados nas classes do PEC-PCD, as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos homólogos devem resultar em valores iguais ou inferiores de erro máximo (EM) e de erro padrão (EP) previstos para cada produto. Convém salientar que esta norma utiliza o mesmo procedimento de cálculo previsto na legislação (Brasil, 1984), apenas atualiza os valores de EM e EP para alguns tipos de produtos. (ET-CQDG, 2016).

Segundo metodologia da ET-CQDG os documentos cartográficos são classificados, quanto à sua acurácia posicional, a partir dos critérios abaixo:

- 90% das discrepâncias posicionais não devem ultrapassar o Padrão de Exatidão Cartográfico, para a escala e classe testada;
- O valor da raiz da discrepância quadrática média (RMS), não deve ser superior ao Erro Padrão para a escala e classe testada.

#### 2.3.2.2. PAP-PCD Altimétrico

Na especificação técnica são apresentadas as medidas relativas ao elemento acurácia posicional absoluta, abaixo segue o quadro 3 que será objeto para este trabalho do Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais Altimétrico:

Quadro 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	Elemento 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	<p>O cálculo do PAP-PCD altimétrico segue os seguintes passos:</p> <p>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.</p> <p>2) Calcular o erro para a componente altimétrica para o universo de pontos considerados. Os pontos do produto que serão testados são identificados pelo sufixo "t" e os pontos de referência (controle) são identificados pelo sufixo "r"</p> $e_z = z_t - z_r$ <p>3) Calcular o erro médio quadrático (<math>EMQ_z</math>) dos erros da amostra:</p> $EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{zi}^2)}{n}}$ <p>4) Comparar cada valor de <math>e_z</math> com o erro máximo 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 "não conforme" e encerra-se a medida.</p> <p>5) Comparar o valor de <math>EMQ_z</math> 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".</p>
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: ET-CQDG (2016).

### 2.3.2.3. Processo de Avaliação

Segundo ISO 19157:2013, o processo de avaliação da qualidade de dados espaciais possui os seguintes passos:

- Definir a unidade de qualidade (escopo + elemento);
- Especificar a medida de qualidade e seus parâmetros;
- Escolher um tipo de avaliação: direto interno, direto externo, ou indireto; e escolher um método de avaliação: inspeção completa, inspeção por amostragem, agregação/derivação, ou avaliação indireta;
- Determinar a saída do procedimento de avaliação levando em consideração o nível de conformidade do produto.

Cada procedimento é descrito por seis variáveis: escopo, elemento, medida, parâmetro, procedimento e resultado. A descrição de cada uma dessas variáveis encontra-se no quadro abaixo:

Quadro 4 – Variáveis para descrever os procedimentos de avaliação da qualidade.

Linha	Variável	Descrição
1	Escopo	Escopo onde é aplicado o procedimento de qualidade, normalmente o produto ( <i>dataset</i> )
2	Elemento	Elemento de qualidade
3	Medida	Número do identificador da medida em relação a esta norma. Considerando que o identificador da medida é algo do tipo "CQDG: <i>Nr</i> " (linha 12 de cada tabela de medida), aqui se preenche apenas o <i>Nr</i>
4	Parâmetro	Descrição do parâmetro associado à medida. Condisional (depende da medida)
5	Procedimento	A primeira linha indica o tipo de avaliação: – direto interno – direto externo – indireto  A segunda linha indica o método de avaliação: – inspeção completa – inspeção por amostragem – agregação/derivação – avaliação indireta  Esta versão da CQDG não possui procedimentos indiretos.
6	Resultado	Indica os resultados possíveis para a medida segundo o tipo de saída: – Conformidade: indica uma conformidade segundo o resultado <b>M</b> da medida; – Quantitativo: o resultado quantitativo da medida é usado com resultado da avaliação; – Descritivo: usar uma declaração em texto livre.  Cada procedimento de avaliação pode apresentar um ou mais resultados para a medida considerada.

FONTE: ET-CQDG (2016).

De acordo com a ISO 19157 (ISO, 2013) o tamanho da amostra na inspeção de um produto geoespacial deveria levar em conta diferentes critérios, notadamente a quantidade de feições (ou itens, segundo as normas de amostragem) e a distribuição espacial desses itens. O padrão afirma que essa combinação de critérios ajudaria a aumentar a representatividade da amostra.

Tong et al. (2011) afirma que há duas questões numa inspeção amostral: o plano de amostragem (com o tamanho das amostras e o número de aceitação) e o método para selecionar os itens do lote. Ayeni (1982) chamou esses componentes de tamanho da amostra e padrão de amostragem.

Levando em consideração essas observações, a ET-CQDG(2016) adota um procedimento amostral em que adota os planos de amostragem definidos nas normas ISO 2859-1 e 2859-2 e um padrão de seleção de itens baseado em células, ou seja, uma tesselação do

espaço geográfico do produto considerado. No procedimento de amostragem espacial, o produto a ser avaliado é particionado em células de 4 x 4 cm na escala do produto usando valores inteiros, ou seja, algo como o grid UTM.

Após o particionamento do produto a ser avaliado em células, cada célula é avaliada a fim de determinar se esta deve fazer parte da população que será avaliada no lote. Esta norma define três tipos básicos de amostragem espacial para determinar a população de acordo com o item considerado no produto (ET-CQDG, 2016):

- Amostragem de pontos de controle posicional;
- Amostragem de fenômenos contínuos; e
- Amostragem de objetos.

Segundo ISO (1999), um plano de amostragem é a combinação entre um tamanho de amostra e um critério de aceitação. Tamanho de amostra é a quantidade de itens em um lote que serão inspecionados. Critério de aceitação é a quantidade máxima de não-conformidade com um determinado requisito. A CQDG adota os planos de amostragem descritos nas normas ISO, ou seja, aplica-se a ISO 2859-1 para avaliar conjuntos de lotes (mínimo 10 lotes), e aplica-se a ISO 2859-2 para avaliar lotes isolados (entre um e nove). As normas apresentam tabelas para determinar o tamanho da amostra ( $n$ ) e o número de aceitação ( $Ac$ ) tolerável dentro da amostra. Qualquer valor acima do  $Ac$  causa a não conformidade e correspondente não aceitação do lote dentro do critério avaliado.

De acordo com a definição técnica estabelecida pela ISO “Qualidade é a adequação ao uso. É a conformidade às exigências”. Um dos objetivos da norma ISO 19157:2013 é estabelecer os princípios para descrever a qualidade de um conjunto de dados. Basicamente, considera-se que as informações a respeito da qualidade do dado podem ser classificadas em:

- Informação não quantitativa da qualidade: é a informação de caráter geral, de grande interesse para conhecer o objetivo e o histórico da informação, bem como para se considerar outros possíveis usos em aplicações distintas das consideradas comumente. Segundo a ISO 19157:2013, os elementos não quantitativos da qualidade são propósito, uso e linhagem. Esses elementos são descritos nas normas relativas a metadados como o Perfil MGB (CONCAR, 2009);

- Informação quantitativa da qualidade: diz respeito ao comportamento da informação geográfica (IG) que pode ser medido. São descritos por meio dos chamados elementos de qualidade, que são conhecidos como componentes da qualidade do dado geográfico. Usando os conceitos da ISO 19157:2013, a qualidade dos dados deve ser descrita por meio dos elementos de qualidade em um escopo válido. Nesta especificação o escopo será normalmente o conjunto de dados, a não ser que haja alguma nota em contrário. A norma internacional indica que esses elementos devem ser usados para descrever os critérios padronizados que devem ser aplicados a um conjunto de dados avaliado, de forma a permitir comparar diferentes conjuntos.

Segundo a Norma ISO 19157:2013 a acurácia posicional é composta de três subelementos:

- Acurácia posicional absoluta ou externa - proximidade entre os valores de coordenadas observadas no produto cartográfico e os valores de coordenadas de seu homólogo, considerado como verdadeiro;
- Acurácia posicional relativa ou interna - proximidade entre os valores de coordenadas observadas com a posição relativa de outras feições geográficas no conjunto de dados e suas respectivas posições aceitáveis ou consideradas como verdadeiras; e
- Acurácia posicional dos dados em grade - proximidade da posição de uma grade de dados, ou seja, na estrutura matricial, com o valor aceitável ou considerado como verdadeiro.

Neste trabalho será adotada a Acurácia posicional absoluta ou externa.

De acordo com a ISO 19157:2013 a acurácia dos dados geoespaciais é definida pelo grau de concordância entre o resultado do teste ou resultado da medição e o valor real. Segundo esta norma, a qualidade dos dados geográficos pode ser analisada por cinco elementos: completude, consistência lógica, acurácia posicional, acurácia temática e qualidade temporal.

De uma forma simplificada, essas categorias agrupam elementos de qualidade similares que descrevem se os dados estão completos (Completude), se estão na posição correta (Acurácia posicional), se os atributos estão corretos (Acurácia temática) e se cumprem com todas as regras lógicas (Consistência lógica) (García-Balboa, 2011). Uma descrição mais detalhada sobre cada categoria e seus elementos de qualidade é apresentada nas subseções seguintes.

García-Balboa (2011) afirma que os erros posicionais relativos são decorrentes dos erros posicionais absolutos, ou seja, todo erro posicional relativo é também um erro absoluto. Nesta

especificação não se fará distinção entre estes dois tipos de erro por se tratar de conceitos que se sobrepõem, ou seja, a ET-CQDG não trata acurácia posicional relativa ou interna.

## 2.4 ELEMENTOS DE QUALIDADE DE DADOS GEOESPACIAIS

### 2.4.1 Completude

A completude indica o grau em que os objetos representados em um conjunto de dados relacionam-se com as instâncias de classes de um universo abstrato. Este parâmetro de qualidade descreve a presença e/ou ausência de instâncias de feições, relacionamentos e seus atributos, numa relação entre os objetos representados no conjunto de dados espaciais e os que conformam com o modelo cartográfico da realidade. O seu conceito é de difícil medição, existindo pouco desenvolvimento e discussão sobre sua definição formal (ARIZA, 2002).

### 2.4.2 Consistência Lógica

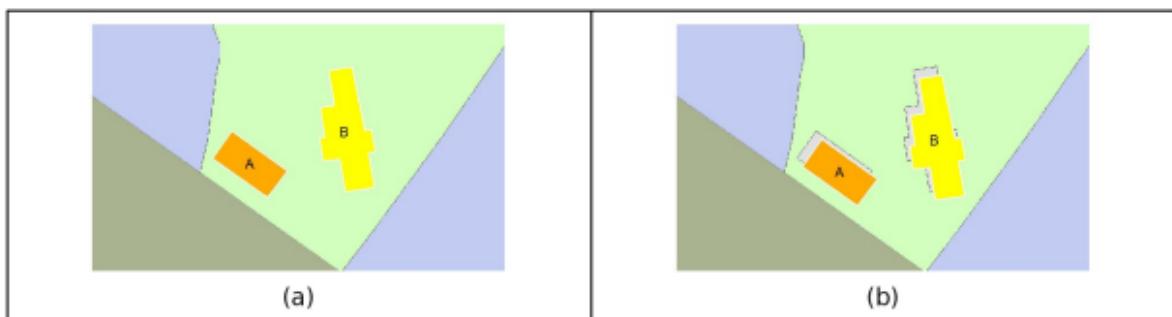
A consistência lógica é o elemento de qualidade de dados espaciais cujo objetivo é avaliar a integridade estrutural de um conjunto de dados, através do grau de aderência deste conjunto de dados às regras lógicas do modelo de dados espacial utilizado. Inicialmente, foi utilizada em verificações de integridade de dados não espaciais, e sua aplicação para dados espaciais ocorreu na época das primeiras análises topológicas. (KAINZ, 1995; ARIZA, 2002; SERVIGNE et al., 2006).

### 2.4.3 Acurácia Posicional

De acordo com Ariza (2002), a acurácia posicional é uma propriedade tradicional e emblemática das produções cartográficas, existindo um grande número de referências em relação ao tema. Esta refere-se a acuracidade planimétrica e altimétrica do conjunto de dados espaciais.

A figura 1 presente na (ET-CQDG, 2016), exemplifica uma situação em que há discrepância entre as coordenadas da representação do objeto num produto de dados geoespaciais (Figura 1a) e o seu correto posicionamento no mundo real (Figura 1b). No caso apresentado observa-se que há um deslocamento nas feições representadas no produto avaliado e o correto posicionamento tomado como referência na fonte de maior precisão.

Figura 1 - Exemplo referente ao elemento de qualidade acurácia posicional absoluta.



**Fonte:** ET-CQDG (2016).

#### 2.4.4. Acurácia Temporal

Segundo Ariza (2002), o tempo é uma característica fundamental para julgar a qualidade dos dados, mas para gerenciar esta informação deve-se considerar a que tempo se refere: ao tempo lógico do evento, ou seja, quando ocorreram as mudanças no mundo real; ao tempo da observação da evidência; ou ao tempo em que é realizada a carga das mudanças no banco de dados.

Desta forma, para norma ISO 19113:2002 a acurácia temporal é composta de 3 (três) subelementos:

Acurácia de uma medida temporal: correta referência temporal do item.

Consistência temporal: correta ordem de eventos ou sequência, se relatado.

Validade temporal: é a validade dos dados em respeito a um determinado tempo.

#### 2.4.5 Acurácia Temática

Segundo Ariza (2002), do ponto de vista de qualidade, a componente temática refere-se a acurácia dos atributos de um conjunto de dados espaciais em relação a verdade do terreno. Esta componente de qualidade não é exclusiva de mapas temáticos, pois qualquer elemento representado em um mapa pertence a um tema, como construções, nascentes, vértices geodésicos, que também podem submeter-se a um estudo sobre sua classificação correta ou não.

De acordo com a norma ISO 19113:2002, a acurácia temática é a classificação correta entre as classes e seus atributos em relação a um universo de discussão, definindo dois tipos de atributos: quantitativos e não quantitativos. Esta define 3 (três) subelementos: correção da classificação, grau de correção de atributos não quantitativos e acurácia dos atributos quantitativos.

## 2.5. PERFILAMENTO A LASER 3D

O Perfilamento a LASER desenvolveu-se a partir da necessidade de usuários de modelos digitais de elevação (*DEM - Digital Elevation Model*) em casos onde os métodos tradicionais não eram suficientes. As experiências iniciais com esta metodologia datam de 1993, realizadas por um grupo de pesquisa alemão da *Deustche Forschungsgemeinsschaft* que mais tarde, levaram à criação da TopScan GmbH. Em conjunto com a empresa canadense Optech Inc., a TopScan GmbH desenvolveu um método de Perfilamento a LASER considerado como o primeiro projeto demonstrativo da técnica. (WEVER et al., 1999)

### 2.5.1 LiDAR

A palavra LiDAR é uma abreviatura da do inglês "*Light Detection And Ranging*" e representa os sensores remotos usados para a produção cartográfica que empregam como fonte de energia um raio laser que opera na região do Espectro Eletromagnético desde o ultravioleta ao infravermelho distante. Esse é um sistema ativo de sensoriamento remoto utilizado para medir a distância entre o sensor e a superfície de estudo. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser emitido em direção aos objetos. A palavra LASER é uma abreviatura, representando as iniciais da frase "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*" (amplificação de luz por emissão estimulada de radiação), é simplesmente um conversor de energia em que aproveita o processo de estimulação da emissão para concentrar certa parte desta energia em radiação de uma só frequência, movendo-se em uma só direção. (Franco, 2006)

Nesse sentido, Wehr e Lohr (1999) estabeleceram que o LiDAR é um sistema de sensoriamento remoto ativo que determina as coordenadas tridimensionais (3D) de pontos sobre a superfície terrestre por meio da geração, emissão e captura de pulsos LASER, integrados com dados do sistema de navegação global por satélites (GNSS) e do sistema de navegação inercial

(INS). A aquisição de um grande volume de dados 3D é feita de forma rápida e precisa, quando comparado com os demais métodos.

As aplicações experimentais iniciais do LiDAR datam dos anos 1970 e 1980, mas a tecnologia foi introduzida para a comunidade de mapeamento somente na última década. Recentemente, a maturidade da tecnologia e também o rápido desenvolvimento dos sistemas de orientação direta GPS e IMU apoiando o LiDAR tem aumentado o potencial econômico do sistema baseado em LASER. Três períodos principais podem ser identificados com respeito às aplicações (TOTH & GREJNER-BRZEZINSKA, 2000).

Inicialmente, LiDAR foi quase que exclusivamente usado para explorações científicas, principalmente sob a supervisão da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Com o aperfeiçoamento da tecnologia e queda nos preços, o LiDAR entrou no mercado comercial há aproximadamente uma década. Novas companhias foram fundadas para oferecer serviços para aplicações especiais como levantamento de linhas de transmissão. Operando com helicópteros ou com aviões, estes sistemas LiDAR tinham capacidades limitadas – a baixa altura de voo permitia somente mapeamento de corredores, embora a densidade da nuvem fosse bastante boa. Finalmente a terceira era de aplicações LiDAR chegou nos anos 1990 (TOTH & GREJNER-BRZEZINSKA, 2000).

Na última década foram propostas abordagens alternativas para o controle de qualidade posicional dos dados LiDAR, sem depender da pré-sinalização de alvos e de levantamentos em campo. Em geral, as alternativas encontradas consistiram em avaliar a precisão dos dados através da comparação de feições correspondentes extraídas automaticamente em faixas LiDAR adjacentes. Neste contexto, diversos métodos foram propostos pela comunidade fotogramétrica, abordando técnicas de ajustamento de faixas, registro de nuvem de pontos 3D e calibração (CSANIY e TOTH, 2007).

Diferentes primitivas geométricas foram empregadas nos métodos supracitados, tais como feições pontuais, lineares e superfícies planas. O principal objetivo desses métodos é minimizar o somatório da distância entre feições correspondentes extraídas na área de sobreposição entre faixas LiDAR adjacentes, baseando-se no princípio de que, na ausência de erros, as primitivas correspondentes devem coincidir perfeitamente (HABIB et al., 2010).

No Brasil, o sistema de perfilamento a laser foi introduzido em 2001, e vem sendo utilizado principalmente na geração de Modelos Digitais da Superfície e de Modelos Digitais do Terreno. Os dados podem mostrar detalhes como altura de árvores, mapas precisos de corredores lineares e contornos de edificações em áreas de risco, definição de volumes para a manutenção do cadastro imobiliário, bem como para a regularização e tributação apropriada. Aplicando esta tecnologia, combinada com outros produtos cartográficos, é possível a redução da intervenção humana na captação dos dados necessários para localização de construções clandestinas e determinação de altura de edificações (FALAT, 2008).

Ainda de acordo com FALAT, 2018, em função do alto nível de confiabilidade e precisão, os produtos derivados de um perfilamento a LASER podem servir de base de informações para outras aplicações, associando atributos gerenciados por um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Sendo assim, esta alternativa de mapeamento se apresenta como um meio eficaz e rápido de coleta de informações altimétricas, visando atender às demandas urgentes de análise, atualização e monitoramento dos efeitos de determinados usos da terra, seja no âmbito ambiental ou para demais necessidade que possam ser atendidas com o uso de modelos digitais ou imagens LASER.

A Cartografia, por exemplo, é uma das ferramentas mais importantes do geoprocessamento por se tratar da ciência e arte de representação da superfície terrestre em forma de mapas e cartas, além de definir acurácia, metadados e outros conceitos que dão exatidão aos seus produtos. A aquisição de dados para cartografia é aqui apresentada como a fonte de estudo para este trabalho, em especial o mapeamento através do perfilamento a LASER (LiDAR). Mas para se chegar a nível tecnológico tão elevado na aquisição de dados espaciais, o homem evoluiu criando equipamentos que o auxiliasse, desde técnicas rudimentares, passando pela topografia convencional até as ferramentas mais modernas, por exemplo, o radar e o LASER. Além desses, um dos maiores investimentos usados na aquisição de dados para cartografia é o sistema GPS, que se constitui de uma constelação de satélites que emitem dados posteriormente convertidos em coordenadas geográficas e planas mundiais. (FRANCO, 2006).

## 2.6 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO – MDE

Segundo (FRANCO, 2006), na Cartografia Digital, o conjunto de dados, que descreve a distribuição espacial de uma característica do terreno, é conhecido genericamente como Modelo

Digital de Elevação. O uso de laser scanners aerotransportados é uma das mais recentes tecnologias para a obtenção de (MDE), em alta resolução, em curto espaço de tempo e que competem também em custos. Os MDEs são representações em meio digital da configuração espacial de altitude numa área.

### **2.6.1    Modelo Digital do Terreno – MDT**

Quando se trata de temas como planejamento de sistema viário, projetos de hidrologia, simulação de escoamento de fluidos é necessário existir somente um modelo digital de terreno. O uso dessa tecnologia integrada na geração de MDT constitui uma área de pesquisa bastante ativa e tem sido objeto de muitos estudos científicos recentes. Os MDTs são obtidos pela eliminação da vegetação e das edificações dos dados de MDEs num processo chamado de filtragem, o que pode ser feito com o auxílio de modelos matemáticos ou algoritmos. (FRANCO, 2006).

O uso do laser scanner já é operacional na geração de MDT, porém métodos e parâmetros são ainda exaustivamente investigados por autores em vários países, de forma que os MDTs possam ser otimizados, extraídos, isto é, que possam ser eliminados os objetos indesejados e simultaneamente preservada a configuração natural do terreno. A falta de automatização é um problema comum nos métodos que existem atualmente e é proveniente do fato de ser muito difícil determinar valores para parâmetros que possam ser utilizados para todos os tipos de terrenos, tamanhos e formas de edificações e vegetações (RIVAS, 2002).

Ainda segundo Rivas (2002), o uso do LIDAR como alternativa à restituição fotogramétrica traz rapidez, boa precisão e praticidade na geração de MDTs, porém em alguns casos apresenta desvantagens. Explica que a qualidade geomorfológica dos contornos de terrenos gerados por dados de laser scanner é baixa quando comparada com contornos gerados por restituição fotogramétrica, mesmo quando são aplicados filtros e interpolações qualificados. Isso porque não existem ainda métodos capazes de extrair automaticamente linhas de talvegue dos dados do laser scanner. Como solução para este problema os autores apontam a combinação dos dados deste sensor com outras informações. Traz também um paralelo entre a utilização do laser scanner e da fotogrametria onde especifica três situações onde este primeiro sensor apresenta grande vantagem: em terrenos com vegetação muito densa, em áreas cuja textura dificulta a restituição fotogramétrica e em áreas onde a aerotriangulação é dificultada ou impossibilitada por problemas com a geometria de blocos, o que ocorre tipicamente em áreas costeiras.

De acordo com (FRANCO, 2006) podemos citar, dois processos de filtragem: O primeiro constrói uma superfície de referência empregando todos os pontos coletados pelo sensor LiDAR. Logo, são determinados os resíduos obtidos entre cada ponto originalmente coletado pelo sensor laser com a superfície de referência, atribuindo um peso específico a cada um dos deles. Em seguida, de acordo com um conjunto de restrições aplicadas pelo operador, serão afastados os pontos de menor peso, dispondo de uma massa de dados que representam o relevo. Estas restrições foram estabelecidas de acordo com as características do terreno (plano, escarpado) e diversos outros critérios como tipo de adensamento vegetal. No segundo processo se constrói uma superfície de referência por meio dos dados coletados como último eco de pulso recebido pelo sensor LiDAR. Logo, faz-se um estudo comparativo de vizinhança, calculando-se para cada posição o coeficiente de correlação. De acordo com os parâmetros fixados pelo fabricante do processo são retirados os pontos que não atendam aos critérios adotados. Finalmente, é construída a verdadeira superfície de referência, a qual será comparada com os pontos restantes coletados pelo sensor aplicando a mesma metodologia, deixando duas massas de dados: uma com informação do solo e outra com as demais informações coletadas.

## 2.7 PERNAMBUCO 3D (PE 3D)

Após as enchentes que atingiram drasticamente municípios da Mata Sul do Estado de Pernambuco, entre 2010 e 2011, foram realizados serviços de mapeamento das áreas afetadas e da calha dos principais rios das bacias hidrográficas atingidas. Esse mapeamento, realizado por meio da Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE), realizou uma varredura a laser do terreno que permitiu obter com rapidez e qualidade as informações altimétricas para elaboração dos projetos das barragens de controle de cheias, além de desenvolver sistema de prevenção e alerta de inundações para a bacia do rio Una. Perfilamento ou varredura a laser consiste no levantamento da altura de pontos sobre uma superfície através da emissão de raios laser. É como construir uma maquete digital que representa as variações de altitude do terreno e do que se encontra sobre ele, como edificações e árvores. Atualmente, cabe à Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDEC) gerenciar o Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco (PSHPE), financiado pelo Banco Mundial. O PSHPE tem como objetivo ampliar o acesso da população à água potável e ao esgotamento sanitário. Com o êxito obtido, foi tomada a decisão de inserir nas metas do PSHPE o mapeamento para todo o território do Estado, dando assim origem ao Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D). Os serviços

compreendem o recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território pernambucano. O conjunto de dados está sendo apresentado exclusivamente em meio digital e todo o conteúdo será disponibilizado integralmente para download. Ao final do levantamento serão disponibilizados, com coordenadas planimétricas e altimétricas, cerca de 75 bilhões de pontos, ou seja, um ponto a cada 1,3m<sup>2</sup> de todo o território pernambucano. É uma notável base de dados espaciais para suporte a muitas iniciativas para o desenvolvimento sustentável de Pernambuco. (PE3D, 2016).

O programa Pernambuco Tridimensional teve início em janeiro de 2014. Os serviços contratados visam o recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento laser de todo o território pernambucano. Os 98.149km<sup>2</sup> do Estado de Pernambuco foram subdivididos em 12.962 folhas articuladas. Essas, por sua vez, foram agrupadas em cinco blocos. Para cada uma das articulações está sendo elaborado um conjunto de produtos gerados por meio de recobrimento aerofotogramétrico na escala 1:5.000 e outro a partir de varredura a LASER utilizando a tecnologia LiDAR. A partir do recobrimento aerofotogramétrico são geradas ortofotos na escala 1:5000, com resolução espacial de 50cm, assim como fotoíndices e seus respectivos metadados. Para o perfilamento LASER, os produtos são Imagens de Intensidade Hipsométrica, Modelos Digitais de Elevação e de Terreno nos formatos de arquivo texto com as coordenadas “x,y,z” de cada ponto, bem como no formato Geotiff, padrão usual para esse tipo de produto. A densidade de pontos cotados é de aproximadamente 1 ponto a cada 2m<sup>2</sup>. Quando concluído o trabalho, a base de dados conterá cotas para aproximadamente 50 bilhões de pontos do território pernambucano. Adicionalmente, as áreas urbanas das sedes de 26 municípios já se encontram mapeadas na escala 1:1000. Essas áreas urbanas totalizam área aproximada de 870 km<sup>2</sup>, a resolução espacial das ortofotos é da ordem de 12cm. Para o perfilamento LASER destas cidades, o erro aceitável de altimetria inferior a 10cm, enquanto a densidade média do levantamento é de aproximadamente 4 pontos/m<sup>2</sup>. (CIRILO, J. A. ; ALVES F. H. , SILVA ; B. M. ; CAMPOS P. H. , 2015).

Os serviços compreenderam o mapeamento na escala 1:5.000 abrangendo o território do Estado de Pernambuco e o mapeamento em escala 1:1.000 das áreas urbanas de 26 cidades distribuídas ao longo do Estado, os quais consistiram das seguintes etapas (PSHPE, 2017):

- Recobrimento aerofotogramétrico digital, com GSD de 50 cm, ou melhor, e geração de ortoimagens na escala 1:5.000, atendendo ao PEC classe A, para a extensão total de 98.146 km<sup>2</sup>;

- Recobrimento aerofotogramétrico digital, com GSD de 12 cm, ou melhor, e geração de ortoimagens na escala 1:1.000, atendendo ao PEC classe A, para a extensão de 870 km<sup>2</sup>, correspondentes às áreas urbanas dos municípios;
- Perfilamento a LASER com erro máximo altimétrico melhor que 25 cm e respectiva geração de produtos decorrentes para a extensão de 98.146 km<sup>2</sup>;
- Perfilamento a LASER com erro máximo altimétrico melhor que 10 cm e respectiva geração de produtos decorrentes para a extensão de 870 km<sup>2</sup>, correspondente às áreas urbanas dos municípios;
- Implantação de 40 marcos geodésicos nas áreas urbanas dos municípios.

A etapa de Perfilamento LASER Aerotransportado do PE3D de acordo com a PSHPE (2017), consistiu na varredura da superfície do terreno abaixo da aeronave, onde o sistema de perfilamento a laser aerotransportado registra a distância deste até o solo para cada um dos pulsos emitidos. Também é registrada a posição inercial do conjunto, de modo a conhecer a inclinação de cada feixe em relação à vertical do lugar. A varredura é feita no sentido transversal à direção da linha de voo com um ângulo de abertura configurável pelo sistema. Este ângulo de abertura permite a determinação da largura da faixa abrangida pelo Perfilamento a LASER. O ângulo e a frequência de perfilamento, combinados com a altura de voo e velocidade da aeronave determinam a densidade e a distribuição dos pontos LASER na superfície trabalhada.

## 2.8 AMOSTRAGEM

A amostragem é o processo de seleção de uma amostra, que possibilita o estudo das características (parâmetros) da população. Para estimar o comportamento da população a partir de amostras é necessário que o subconjunto seja coletado de tal forma que cada observação tenha a mesma chance de ser selecionada (LANDIM, 1998).

A norma ISO 19114:2003 destaca dois conceitos no método de inspeção por amostragem: lote e item. O lote é a unidade mínima a qual se aplica a avaliação da qualidade, por exemplo, uma determinada classe de feição ou uma área, e item é a unidade mínima a ser inspecionada, como uma instância de feição pertencente a um lote, ambos devem ser definidos de acordo com as especificações técnicas do conjunto de dados.

Segundo a ISO (1999) existem quatro conceitos fundamentais para aplicar os procedimentos amostrais: lote, item, limite de qualidade aceitável (LQA), e qualidade limite (QL). Lote é uma quantidade definida de um produto homogêneo, a unidade mínima em que podem ser aplicados os procedimentos de qualidade. Item é a menor unidade do lote que pode ser inspecionada. Considerando que conjuntos de dados geoespaciais são os produtos considerados, um lote aqui é definido como um produto, ou seja, um conjunto de dados, e o item são as feições geoespaciais representadas no produto.

O LQA, ou *Acceptance Quality Limit* (AQL) do original em inglês (ISO, 1999), é o pior resultado aceitável (como taxa de erro) para determinado processo de avaliação em um procedimento lote a lote. A QL, ou *Limiting Quality* (LQ) do original em inglês (ISO, 1999), representa um nível de qualidade para um lote isolado limitado a uma baixa probabilidade de aceitação. As normas ISO 2859-1 e 2859-2 apresentam os procedimentos de amostragem para inspeção de produtos lote a lote (ISO 2859-1) ou inspeção de produto isolado (ISO 2859-2). O primeiro caso é indexado pelo LQA, enquanto que o segundo depende da QL. (ET-CQDG, 2016).

### **2.8.1    Tipo e nível de Inspeção**

Existem dois conceitos complementares na inspeção lote a lote: tipo de inspeção e nível de inspeção. Os tipos de inspeção são três: reduzida, normal e rigorosa (ISO, 1999). Na inspeção normal existe uma alta probabilidade de aceitar o lote se sua qualidade é melhor que o LQA especificado. A inspeção reduzida apresenta um tamanho de lote menor que a inspeção normal, mas com um nível comparável. A inspeção rigorosa usa um critério de aceitação mais rigoroso que a inspeção normal. Apesar de a norma permitir trocar o tipo de inspeção durante o processo avaliativo, esse procedimento não está previsto na CQDG. (ET-CQDG, 2016).

O nível de inspeção discrimina a quantidade relativa de inspeção (ISO, 1999). Existem três níveis gerais (I, II e III) e quatro níveis especiais (S-1 a S-4). O nível II deve ser usado sempre que não haja discriminação em contrário, e esse é o procedimento adotado nesta especificação, bem como não se adotam os níveis especiais. Entretanto, é possível que existam casos onde os níveis I e III podem ser aplicados, segundo haja uma menor ou maior distinção entre os produtos. Convém lembrar que adotar o nível III implica um aumento dos custos para avaliar a qualidade. (ET-CQDG, 2016).

Segundo Ribeiro Júnior (2013), geralmente, adota-se inicialmente o nível de inspeção II. Posteriormente, é recomendado que o nível de aceitação se torne mais rígido.

### **2.8.2 Tipos de Amostragem**

É importante tomar ciência que existem diferentes maneiras de realizar o processo de amostragem e de escolher uma metodologia adequada para a seleção de elementos que serão efetivamente observados diante disso é importante que a amostragem seja realizada com base num planejamento, que define a coleta das unidades de amostragem de forma aleatória simples, aleatória estratificada ou sistemática, entre outros que serão abordados a seguir, de acordo com o método escolhido.

A amostragem aleatória consiste na seleção casual de  $n$  unidades sorteadas sem reposição de uma população constituída de  $N$  unidades sequencialmente numeradas, na qual qualquer elemento da população tem a mesma probabilidade de ser selecionado. Nos estudos de fenômenos espaciais, a seleção aleatória pode levar em consideração as coordenadas geográficas para serem escolhidas aleatoriamente (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Para Barbetta (2012) a amostragem aleatória sistemática é um processo de características similares à seleção aleatória simples e uma amostra sistemática poderá ser tratada como uma amostra aleatória simples se os elementos da população estiverem ordenados aleatoriamente.

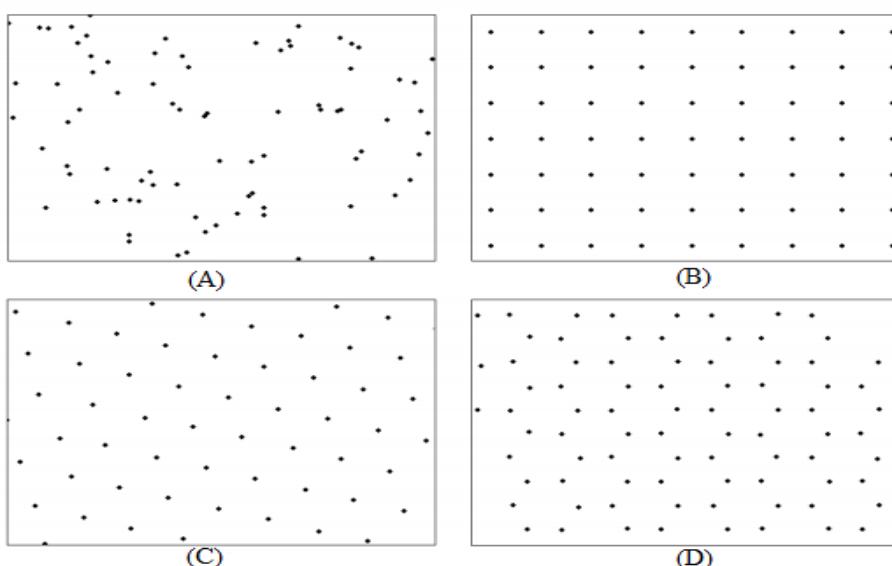
A amostragem estratificada é utilizada quando se pressupõem uma grande variabilidade nas observações. Neste caso, a população é dividida em subgrupos, denominados estratos, através de uma variável “critério”, onde cada um é submetido a uma amostragem aleatória simples. Desta forma, apesar de existir uma grande heterogeneidade entre os subgrupos, esta dispersão é menor dentro de cada subgrupo, ou seja, os estratos são homogêneos (LANDIM, 1998; MORETTIN, 2010).

Na amostragem por conglomerados a mudança principal é o sorteio por agrupamento de elementos de população, com as seguintes características: dentro de cada aglomeração há uma grande dispersão dos elementos (heterogeneidade), mas entre os conglomerados a dispersão é menor, ou seja, são mais homogêneos. Na prática a seleção aleatória das amostras por conglomerados acontece em vários estágios, onde novas seleções aleatórias são realizadas

sucessivamente. Entretanto, as estimativas de uma amostra de conglomerados, ao contrário da amostragem estratificada, tendem a gerar resultados mais distantes dos parâmetros populacionais, quando comparada com uma amostra aleatória simples de mesmo tamanho (MORETTIN, 2010; BARBETTA, 2012).

Na amostragem sistemática tem-se os elementos da população distribuídos de forma estruturada seguindo uma regra, podendo ser quadrada, triangular ou hexagonal (Figura 2- B, C, D - respectivamente) (WONG e LEE 2005).

Figura 2 – Tipos de Amostragem Espacial



**Fonte:** Wong e Lee, (2005).

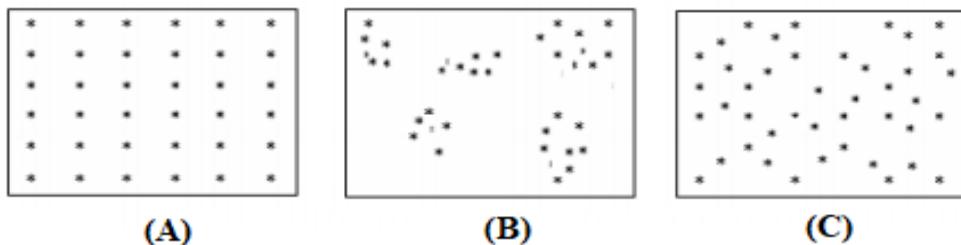
Tipos de amostragem espacial, acima em: 2(A) Aleatória, 2(B) Sistêmica Quadrada, 2(C) Sistêmica Triangular, 2(D) Sistêmica Hexagonal. Wong e Lee, (2005).

Na prática, uma amostragem não aleatória pode ser mais adequada do que uma amostragem aleatória, em função da dificuldade ou impossibilidade da seleção da amostra, procurando, de forma geral, criar amostras que representem significativamente a população de onde foram extraídas (BARBETTA, 2012).

Um padrão é definido como sendo o arranjo espacial de indivíduos pertencentes a uma determinada espécie ou população em uma área ou habitat especificado. (MATTEUCCI e COLMA, 1982).

Barros e Machado (1984) mencionam três padrões conforme imagem abaixo:

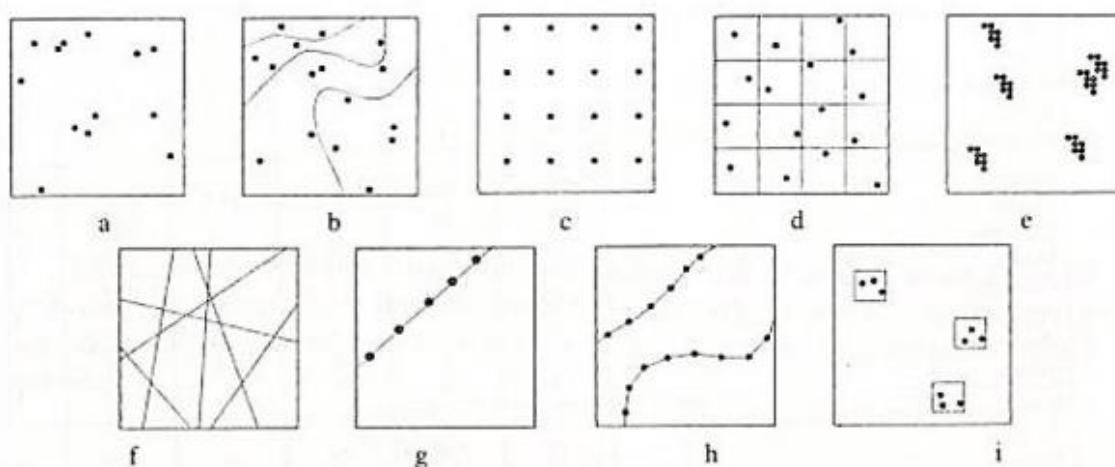
Figura 3 –Tipos de Padrão



**Fonte:** Adaptado de Barros e Machado (1984)

(A) Padrão Uniforme (B) Padrão Agrupado (C) Padrão Aleatório

Figura 4 – Tipos de Amostragem



**Fonte:** Ariza, 2002.

A Figura 4(a) representa o tipo de amostragem aleatória, 4(b) aleatória estratificada, 4(c) sistemática, 4(d) sistemática não alinhada, 4(e) agrupados, 4(f) por perfis aleatórios retos, 4(g)Por pontos equidistantes sobre perfis, 4(h) por meios de comunicação, 4(i) hierárquica ou multicelulares.

Na elaboração de um plano de amostragem, os objetivos do estudo, a população a ser amostrada e os parâmetros a estimar devem estar bem definidos, além de constar a unidade de amostragem, forma de seleção dos elementos da população e o tamanho da amostra (BARBETTA, 2012).

### 2.8.3 Plano de Inspeção Amostral

O objetivo da inspeção por amostragem é o de estabelecer uma regra de decisão justa, para aceitar ou rejeitar um lote (N) do produtor, seja este um produto cartográfico final ou uma etapa de produção finalizada. (RIBEIRO JÚNIOR, 2013).

Nos métodos de amostragem de dados geográficos os seguintes aspectos precisam ser levados em consideração: as áreas cobertas por um conjunto de dados geográficos podem formar um espaço contínuo e, caso exista uma divisão por lotes, uma atenção deve ser dada às omissões e comissões aos itens cruzando o limite destes lotes; a qualidade dos insumos de origem e a habilidade dos operadores podem afetar a qualidade dos dados geográficos, ocasionando erros sistemáticos ou discrepantes; e o produtor de dados dever ter cuidado na especificação técnica do conjunto de dados espaciais para alcançar a homogeneidade em termos de qualidade (ISO 19114:2003; YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

O plano de amostragem é definido com base no tamanho da população (N), no Nível de Qualidade Aceitável (NQA) e no Nível de Qualidade Inaceitável (NQI), conforme descrito a seguir (ARIZA LÓPEZ, 2013; BRASIL, 2016):

Adota-se o Limite de Qualidade Aceitável (LQA), equivalente ao NQA, quando houver mais de 10 itens a serem inspecionados na população (lote); ou adota-se a Qualidade Limite (QL), equivalente ao NQI, quando houver menos de 10 itens a serem inspecionados na população (lote) isolada. O nível de inspeção fixa a relação entre o tamanho do lote (N) e o tamanho da amostra (n).

O LQA está associada ao risco do produtor ( $\alpha_0$ ), ou seja, é a probabilidade de rejeição de um lote de boa qualidade, onde a proporção de itens defeituosos (p) no lote (N) é menor ou igual ao LQA estabelecido, ao ser inspecionado por uma amostra de tamanho (n) e um número de aceitação (Ac). A QL está associada ao risco do usuário ( $1\beta$ ), ou seja, é a probabilidade de aceitação de um lote de má qualidade, onde a proporção de itens defeituosos (p) no lote (N) é maior que a QL estabelecida, ao ser inspecionado por uma amostra de tamanho (n) e um número de rejeição (Re). Geralmente o risco do produtor ( $\alpha_0$ ) e o risco do usuário ( $1\beta$ ) são estabelecidos entre os intervalos de 0,01 e 0,10. Dessa forma, está entre 1,0% e 10% a probabilidade máxima de aceitação e rejeição do lote (N), segundo um LQA para o produtor e uma QL para o usuário (RIBEIRO JÚNIOR, 2013).

## 2.8.4 Quadros Para Amostragem

A ET-CQDG (2016), contém quadros para utilização em procedimentos de amostragem, já mencionados anteriormente neste trabalho, conforme os itens a seguir.

### 2.8.4.1 Lote a Lote

Uma vez fixado o LQA e o tamanho da população para cada procedimento, o tamanho da amostra é determinado de acordo com os quadros 5 e 6. O procedimento é o seguinte. Considerando o tamanho do lote (população) e o nível de inspeção (normalmente nível II, se nada em contrário), determina-se a letra código para o tamanho da amostra usando o Quadro 5. Em seguida é utilizada o Quadro 6 por meio da letra código e do LQA para determinar o tamanho da amostra (n) e o número de aceitação (Ac). Caso o tamanho de amostra não possua o número de aceitação para essa letra (setas acima e abaixo), o valor correspondente de n e Ac deve ser adotado. (ET-CQDG, 2016).

Quadro 5 - Letra código de acordo com o tamanho do lote e nível de inspeção

Tamanho do lote	Níveis gerais de inspeção		
	I	II	III
2 a 8	A	A	B
9 a 15	A	B	C
16 a 25	B	C	D
26 a 50	C	D	E
51 a 90	C	E	F
91 a 150	D	F	G
151 a 280	E	G	H
281 a 500	F	H	J
501 a 1200	G	J	K
1201 a 3200	H	K	L
3201 a 10 000	J	L	M
10 001 a 35 000	K	M	N
35 001 a 150 000	L	N	P
150 001 a 500 000	M	P	Q
500 001 e maiores	N	Q	R

**Fonte:** ISO (1999).

Quadro 6 – Tamanho da amostra e número de aceitação segundo a letra-código e o LQA.

<b>Letra código</b>	<b>Tamanho da amostra</b>	<b>Limite de qualidade aceitável (LQA) em %</b>									
		<b>0,4</b>	<b>0,65</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4,0</b>	<b>6,5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>25</b>
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0	↑	↓	1
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	0	↑	↓	1	2
C	5	↓	↓	↓	↓	0	↑	↓	1	2	3
D	8	↓	↓	↓	0	↑	↓	1	2	3	5
E	13	↓	↓	0	↑	↓	1	2	3	5	7
F	20	↓	0	↑	↓	1	2	3	5	7	10
G	32	0	↑	↓	1	2	3	5	7	10	14
H	50	↑	↓	1	2	3	5	7	10	14	21
J	80	↓	1	2	3	5	7	10	14	21	↑
K	125	1	2	3	5	7	10	14	21	↑	↑
L	200	2	3	5	7	10	14	21	↑	↑	↑
M	315	3	5	7	10	14	21	↑	↑	↑	↑
N	500	5	7	10	14	21	↑	↑	↑	↑	↑
P	800	7	10	14	21	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Q	1250	10	14	21	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
R	2000	14	21	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

**Fonte:** ISO (1999).

#### 2.8.4.2 Lote Isolado

As taxas de erro aceitável nesta especificação são expressas como limite de qualidade aceitável (LQA), ou seja, podem ser aplicadas para os planos de amostragem lote a lote da ISO 2859-1. Entretanto, a ISO 2859-2 indexa seus planos de amostragem pela qualidade limite (QL). Face o exposto, é necessário converter o LQA para QL a fim de poder aplicar o procedimento de amostragem a produtos isolados. A QL é sempre menor que o LQA, mas a diferença diminui com o aumento do tamanho da amostra (ISO 2859-0:1995). Considerando esses dados, o quadro 7 apresenta os valores definidos nesta especificação para converter de LQA para QL. O procedimento para determinar o tamanho da amostra para um lote isolado é o seguinte. Considerando o LQA e o tamanho da amostra, verifica-se no quadro 7 qual é o QL correspondente. Com o QL e o tamanho da amostra é possível determinar o tamanho da amostra (n) e o número de aceitação (Ac) correspondente no quadro 8. Caso o tamanho da população não possua n e Ac para esse QL (setas acima e abaixo), o valor correspondente de n e Ac deve ser adotado. (ET-CQDG, 2016).

Quadro 7 – Qualidade Limite (QL) em % segundo o tamanho do lote e o LQA

Tamanho do lote		LQA (%)		
		1,0	4,0	10
16 a 25	25	12,5	32	32
26 a 50	50	12,5	20	32
51 a 150	150	8,0	20	32
151 a 1200	1200	5,0	20	32
1201 a 10 000	10 000	3,15	12,5	20
10 001 a 150 000	150 000	3,15	8,0	20
150 001 e maiores	maiores	2,0	8,0	20

Fonte: ET-CQDG, 2016.

Quadro 8 – Tamanho da amostra (n) e número de aceitação (Ac) segundo o tamanho do lote e a QL.

Tamanho do lote		Qualidade limite (QL) em %								
		0,8	1,25	2,0	3,15	5,0	8,0	12,5	20	32
16 a 25	n Ac	↓	↓	↓	↓	↓	17 <sup>1</sup> 0	13 0	9 0	6 0
26 a 50	n Ac	↓	↓	↓	50 <sup>1</sup> 0	28 <sup>1</sup> 0	22 0	15 0	10 0	6 0
51 a 90	n Ac	↓	↓	50 <sup>1</sup> 0	44 0	34 0	24 0	16 0	10 0	8 0
91 a 150	n Ac	↓	90 <sup>1</sup> 0	80 0	55 0	38 0	26 0	18 0	13 0	13 1
151 a 280	n Ac	170 <sup>1</sup> 0	130 0	95 0	65 0	42 0	28 0	20 0	20 1	13 1
281 a 500	n Ac	220 0	155 0	105 0	80 0	50 0	32 0	32 1	20 1	20 3
501 a 1200	n Ac	255 0	170 0	125 0	125 1	80 1	50 1	32 1	32 3	32 5
1201 a 3200	n Ac	280 0	200 0	200 1	125 1	125 3	80 3	50 3	50 5	50 10
3201 a 10 000	n Ac	315 0	315 1	200 1	200 3	200 5	125 5	80 5	80 10	80 18
10 001 a 35 000	n Ac	500 1	315 1	315 3	315 5	315 10	200 10	125 10	125 18	↑
35 001 a 150 000	n Ac	500 1	500 3	500 5	500 10	500 18	315 18	200 18	↑	↑
150 001 a 500 000	n Ac	800 3	800 5	800 10	800 18	↑	↑	↑	↑	↑
500 001 e maiores	n Ac	1250 5	1250 10	1250 18	↑	↑	↑	↑	↑	↑

Fonte: ISO (1985).

## 2.9 GLOBAL NAVIGATION SATELITE SYSTEM – GNSS

Nos últimos 20 anos, o termo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) foi praticamente sinônimo de NAVSTAR-GPS. Logicamente que, o GPS não era o único sistema GNSS disponível, pois, o sistema russo GLONASS também já era operacional durante grande parte deste período. Entretanto, o sistema GLONASS foi tendo sua constelação drasticamente reduzida devida à falta de manutenção, fazendo com que o sistema já não oferecesse mais confiabilidade (AKOS, 2006).

Mas com a grande importância que os sistemas de navegação por satélite passaram a ter, decidiu-se no final dos anos 1990 e início dos anos 2000 pela manutenção e modernização do GLONASS, além da modernização e a integração de novos sinais do GPS sendo que, a mais significativa mudança foi a criação de um terceiro sistema GNSS, sediado na Europa, denominado GALILEO. Os novos sinais, e a integração dos três sistemas permitirão que o GNSS seja utilizado com desempenho melhor do que em sua primeira geração (AKOS, 2006).

O NAVSTAR GPS, ou simplesmente GPS, é um sistema de radionavegação concebido com a finalidade de ser o principal sistema de navegação das forças militares americanas. Em razão de sua alta exatidão e do grande desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, surgiram usuários dos mais variados segmentos da comunidade civil: navegação, posicionamento geodésico, agricultura, e etc. (MONICO, 2000).

O GPS tem agilizado todo o tipo de posicionamento sobre a superfície terrestre. Unindo o GPS a sistemas de comunicação, têm-se criado novas aplicações de posicionamento, inserindo-se nestas técnicas as redes ativas, chamadas também de Sistemas de Controle Ativo (SCA). Neste caso, usuários que fazem levantamentos GPS relativos não necessitam ocupar as estações de referência, apenas as estações a serem determinadas (FORTES, 1997).

Na Geodésia, quando se deseja determinar coordenadas com exatidão e precisão, faz-se uso do posicionamento relativo. Esta técnica consiste no emprego de dois ou mais receptores GPS, onde um receptor permanece sobre um ou mais pontos de coordenadas conhecidas (base) e um ou mais receptores (rover) são colocados sobre os pontos a serem determinados. Para auxiliar e aumentar a produtividade dos usuários que utilizam o posicionamento relativo, foram criados os (SCA), que permitem ao usuário empregar apenas um receptor para realizar o posicionamento relativo, desde que dados coletados simultaneamente de uma estação contínua,

pertencente a uma rede ativa, estejam disponíveis. No Brasil, a rede ativa, gerenciada pelo IBGE, é materializada pela RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS. (ABREU, 2007).

## 2.10 TESTES ESTATÍSTICOS

### 2.10.1 Teste de Shapiro & Wilk

De acordo com Royston (1983, 1995), o teste proposto por Shapiro & Wilk (1965) é um poderoso teste de normalidade. É a razão de duas estimativas da variância de uma distribuição normal baseada numa amostra aleatória de  $n$  observações. O numerador da estatística W do teste de Shapiro-Wilk é proporcional ao quadrado do melhor estimador linear do desvio padrão (variância mínima, não viesado) e o denominador é a soma dos quadrados das observações ao redor da média amostral. A estatística W pode ser definida com o quadrado do coeficiente da correlação de Pearson entre as observações ordenadas e os coeficientes  $\mathbf{a}^t = [a_1, \dots, a_n]$ . A estatística do teste de Shapiro-Wilk é dada pela equação 4:

$$W = \frac{(\sum a_i \nu_i)^2}{\sum (\nu_i - \bar{\nu})^2}, \quad (4)$$

Sendo  $\bar{\nu} = \sum \nu_i / n$ , e  $\mathbf{a}$  é o melhor coeficiente linear não viesado de Sarhan & Greenberg (1956).

### 2.10.2 Teste t de Student

Os estudos iniciais da distribuição de t foram encetados por Gosset em 1908, que foi citado por SAMPAIO (2002), mas o domínio, aplicação e divulgação deste teste deveram-se novamente a Fisher em 1926, também citado por SAMPAIO (2002). Duas médias A e B obtidas de grupos experimentais com Va e Vb observações respectivamente podem ser comparadas pela relação.

$$t = (A - B) / (se^2 / Va + se^2 / Vb), \quad (5)$$

Onde na equação 5,  $se^2$  é a variância do resíduo estimada pela análise de variância.

As médias comparadas por este teste serão diferentes estatisticamente se o valor calculado de t for maior que aquele tabelado segundo os graus de liberdade do erro (SAMPAIO, 2002).

De acordo com BONINI et al. (1972) a distribuição t de Student é utilizada para amostras com um número de elementos inferior a 30 ( $n < 30$ ). Assim como, TRIOLA (1999), relatou que a distribuição t de Student é utilizada também quando o  $\sigma$  é desconhecido e quando a população original tem distribuição essencialmente normal.

Conforme descrito por Merchant (1982), o teste t de Student é aplicado observando um nível de confiança ( $1 - \alpha$ ) igual a 90% ( $\alpha = 0,10$ ). A partir do número de pontos coletados, chega-se um valor limite  $t(n-1, \alpha / 2)$ , que pode ser obtido por meio de tabela bilateral. Dessa forma, se o valor absoluto do  $t_{calc}$  for menor que o tabelado, para cada variável a ser analisada (translação, escala e rotação), a imagem estará livre de erros sistemáticos.

$$|t_{calc}| \leq t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \quad (6)$$

$$t_{calc} = \frac{\bar{d} * \sqrt{n}}{S_d} \quad (7)$$

Sendo:

$\bar{d}$  : Média das discrepâncias

$\sqrt{n}$  : Raiz quadrada do número de amostras

$S_d$  : Desvio-Padrão das Discrepâncias

## 2.11 SOFTWARE GEOPEC

O software científico GeoPEC fornece ao usuário uma ferramenta amigável e de fácil utilização, de tal forma que os profissionais e pesquisadores de informações espaciais e áreas correlatas possam proceder à avaliação da acurácia posicional de seus produtos em relação a três tipos de padrão/norma no Brasil: (i) Decreto nº. 89.817 de 1984, aliada às Especificações

Técnicas de Controle de Qualidade em Dados Geoespaciais de 2016 (ET-CQDG) - da INDE, que proporciona a análise da qualidade dos produtos da cartografia nacional; (ii) Inspeção Topográfica contida na NBR 13.133 de 1994, que normatiza a execução de serviços topográficos; (iii) Norma de Execução Incra/DF/02 de 2018, ligada às atividades de Georreferenciamento de Imóveis Rurais. O algoritmo do GeoPEC foi desenvolvido seguindo os procedimentos descritos em SANTOS et al. (2016) e SANTOS (2010). É importante ressaltar que o GeoPEC é um software "genérico", devido ao fato de avaliar a qualidade posicional em qualquer dado espacial, como: cartas, mapas, ortoimagem, arquivos vetoriais, arquivos raster, entre outros. Para avaliar a acurácia posicional, no software, é necessária a entrada das coordenadas e/ou distâncias do produto testado e das coordenadas e/ou distâncias de referência. (GeoPEC, 2015).

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo, será caracterizada a área de estudo, assim como, será abordado um fluxograma de processos com o procedimento metodológico adotado neste trabalho. No item de processamento dos dados no software livre QGIS, haverá todo o processo dividido em etapas, onde com estes dados é possível extrair todas as informações necessárias pelo Software livre GeoPEC do capítulo seguinte.

#### **3.1. ÁREA DE ESTUDO**

##### **3.1.1. Características da região**

O início da colonização na região data de 1536, com o donatário Duarte Coelho. Em 1554, sua viúva dirigiu a capitania, enquanto aguardava o regresso de Portugal de seus filhos Duarte e Jorge de Albuquerque Coelho. Ao chegarem, em 1560, intensificaram as ações para expulsar os índios Caetés, e mais tarde, participaram da luta contra os franceses expulsos do Rio de Janeiro por Mem de Sá. Terminada a campanha, foram doadas em sesmarias as circunvizinhanças do Cabo de Santo Agostinho a diversos nobres, sendo fundados inúmeros engenhos. Em 1593, as terras do atual Município foram elevadas à freguesia, em fase de grande prosperidade. Em 1631, todavia, Cabo foi atacado pelos holandeses que dominaram a região até 1654. Após a expulsão dos invasores, as propriedades foram restituídas a seus donos e restabelecidas as atividades. Com o território desmembrado do de Recife e sede na Vila do Cabo de Santo Agostinho, criou-se o Município em 1811, sendo extinto em 1846 e restaurado em 1849. Elevada à Cidade como Santo Agostinho do Cabo, em 1911, o Município passou a chamar-se Cabo. (CABO, Prefeitura Municipal)

Em 2016, o salário médio mensal era de 2.5 salários mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 19.0%. Na comparação com os outros municípios do estado, ocupava as posições 4 de 185 e 14 de 185, respectivamente. Já na comparação com cidades do país todo, ficava na posição 502 de 5570 e 1398 de 5570, respectivamente. Considerando domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa, tinha 43.8% da população nessas condições, o que o colocava na posição 171 de 185 dentre as cidades do estado e na posição 2279 de 5570 dentre as cidades do Brasil. Apresenta 50.9% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 26.9% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 24.6% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Quando comparado com os outros

municípios do estado, fica na posição 69 de 185, 164 de 185 e 15 de 185, respectivamente. Já quando comparado a outras cidades do Brasil, sua posição é 2195 de 5570, 4931 de 5570 e 1546 de 5570, respectivamente. (IBGE, 2017).

Figura 5 – Mapa de Localização da Área de Estudo



**Fonte:** O autor, 2018. Uso da imagem de fundo extraído do Google.

Conforme o mapa de localização (figura 5), a área de estudo está localizada entre os municípios de Moreno, Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca, Escada e Vitória de Santos Antão. Possui um perímetro de 127,384km e 579,551km<sup>2</sup> de área.

O Cabo de Santos Agostinho fica localizado na Mesorregião Metropolitana do Recife, Microrregião de Suape. Sua distância é de 33 km do Marco Zero de Pernambuco, e 20 km do Aeroporto, sendo o acesso mais utilizado o rodoviário, pelas rodovias BR-101 sul e PE-60, seguido da PE-28 (Rodovia Vicente Pinzón) e pela Via Parque/Paiva que dá acesso às praias do Município, tais como Gaibú, Itapuama, Paraíso e Suape. Os rios mais importantes são: Rios Pirapama, Jaboatão e Gurjaú. Suas coordenadas geográficas são 8° 17' 15"S / 35° 02' 00"W. O Cabo é o principal distrito industrial do estado e nele está instalado um dos mais importantes complexos industriais e portuários do país, o de Suape. (CABO, Prefeitura Municipal). O município tem potencial turístico: engenhos, belas praias e conforme dados da prefeitura abriga

mananciais para abastecimento de água da região metropolitana do Recife, possuindo importantes barragens como as de Utinga, Pirapama e Gurjau. Procedimento Metodológico

### **3.2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

Na metodologia desenvolvida foi utilizada e apresentada a seleção do plano de amostragem e procedimentos de inspeções de qualidade aplicando a ET-CQDG, a norma ISO 19157: 2013 – *Geographic Information Data Quality*, as normas NBR 5425, 5426 e 5427, e o manual técnico de geociências de avaliação da qualidade de dados geoespaciais do IBGE.

O TCC prosseguiu apresentando o uso e aplicações dos procedimentos metodológicos em ambiente do software livre QGIS que permitiram automatizar e facilitar processos sistemáticos como: a) seleção e distribuição das áreas de inspeções de qualidade, neste caso, utilizou-se scripts em Python desenvolvidas para executar no QGIS (<https://github.com/alxcart>); b) medições de coordenadas do MDT testado em relação ao conjunto de dados de referência dos testes de qualidade posicional.

Para a classificação da qualidade posicional do MDT em conformidade com os critérios estabelecidos no Decreto nº 89.817 (1984) e ET-CQDG (2016), que adapta e moderniza os critérios do PEC para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD), é testado e utilizado o software livre GeoPEC desenvolvido pelo Professor Afonso de Paula dos Santos da UFV (Universidade Federal de Viçosa). Finalmente, o trabalho apresenta uma análise e avaliação do comportamento das amostras por meio de testes estatísticos.

Na análise dos resultados é possível verificar se os dados oriundos do PE3D, estão de acordo com as especificações do projeto. Com isso, tem-se como objetivo possibilitar ao leitor a compreensão do processo de controle e análise de qualidade posicional altimétrica de um MDT, bem como, genericamente aplicar o método em diferentes produtos cartográficos de acordo com a sua necessidade.

### **3.3. RECURSOS TECNOLOGICOS**

#### **3.3.1. Programas Computacionais**

- Sistema de Informação Geográfica livre e aberto QGIS versão 2.18.6;
- Software livre editor de texto;

- Software Livre de planilha eletrônica;
- GeoPEC 3.5 – programa de uso aberto para avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos.

### **3.3.2. Equipamentos Eletrônicos e Computacionais**

Notebook com processador Intel(R) core(TM) i5, memória instalada de 6GB e Sistema Operacional de 64 bits.

## **3.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS**

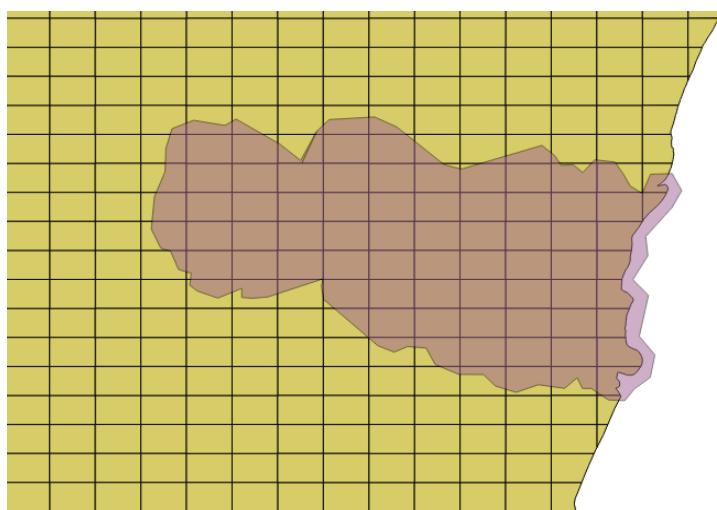
O processamento dos dados em relação a procedimentos realizados no Software Livre QGIS, serão detalhados neste item, conforme itens a seguir.

### **3.4.1. MDT PE3D**

Os dados referentes ao MDT em formato *Raster* e sua Ortoimagem são oriundas do programa PE3D, no qual, no momento atual, ano de 2018, ainda não está totalmente disponível para a população pois ainda está em processo de validação. As informações técnicas desses dados estão detalhadas no item 2.6 deste trabalho.

De posse de um arquivo shapefile da área de interesse, município do Cabo de Santo Agostinho, foram identificadas as articulações (recortes da folha do mapeamento sistemático 1:5.000) disponibilizadas na forma de um arquivo shapefile no portal PE3D, disponível em: [www.pe3d.com.br](http://www.pe3d.com.br), onde foi carregado o polígono da área de estudo com a articulação, conforme visualizados na figura 6, e foi possível selecionar os dados que englobavam o polígono da área do estudo, que totalizaram 96 arquivos de MDT e 96 de ortoimagens.

Figura 6 – Sobreposição do Polígono da Área de Interesse e Quadrículas do PE3D



**Fonte:** O autor, 2018.

### 3.4.2. Amostragem dos Pontos de Controle

Conforme o item 2.8, a norma ISO 19114:2003, cita dois métodos de inspeção por amostragem são eles lote e item, neste trabalho o lote seria a área e o item os pontos.

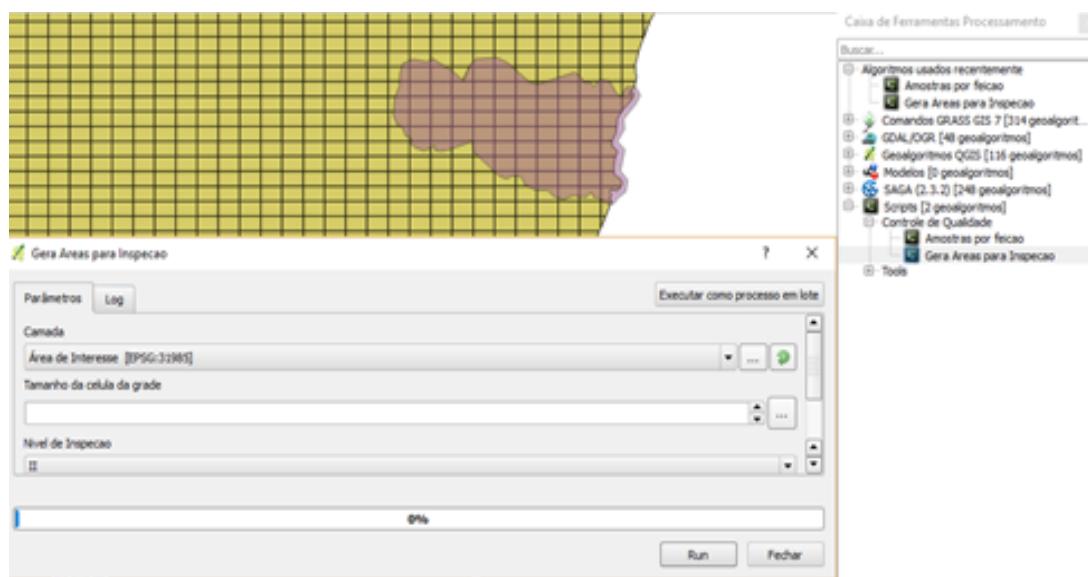
De acordo com o item 2.8.2, a amostragem é probabilística, pois qualquer elemento da população pode pertencer a amostra sorteada, assim como, é comentado alguns tipos de amostragem espacial. Neste trabalho se adotou a amostragem aleatória sistemática. Os pontos de inspeção foram gerados, prosseguindo conforme os procedimentos metodológicos apresentado no item 3.4.2.1, figura 7 a 9. Com a localização e unidades amostrais indicadas na área, é adicionado os pontos de controle realizados numa campanha de campo do IBGE para controlar a qualidade de outro projeto da mesma área. Os pontos de controle fornecidos, foram usados como referência para testes de qualidade dos dados altimétricos, MDT do PE3D. Esses pontos foram adquiridos por GNSS.

Para a seleção das amostras por áreas foi utilizado um script em Python capaz de selecionar amostras por áreas no QGIS de nome “Sample Areas Grid for Quality Review” de autoria de: (SANTOS; DINIZ, 2017). Esse script automatiza o processo passo a passo de uma seleção de amostras por áreas e segue todo procedimento da ISO 19157:2013 e ET-CQDG (2016).

### 3.4.2.1. Procedimento no Software Livre QGIS

O script é adicionado no software livre QGIS e após essa adição se insere o shapefile, do tipo polígono, correspondente a área de interesse. Na execução do script selecionou-se o nível de inspeção II, conforme descrito no item 2.8.1, e o tamanho da célula da grade de acordo com o tamanho da área e especificações da ET-CQDG, conforme a figura 7 abaixo:

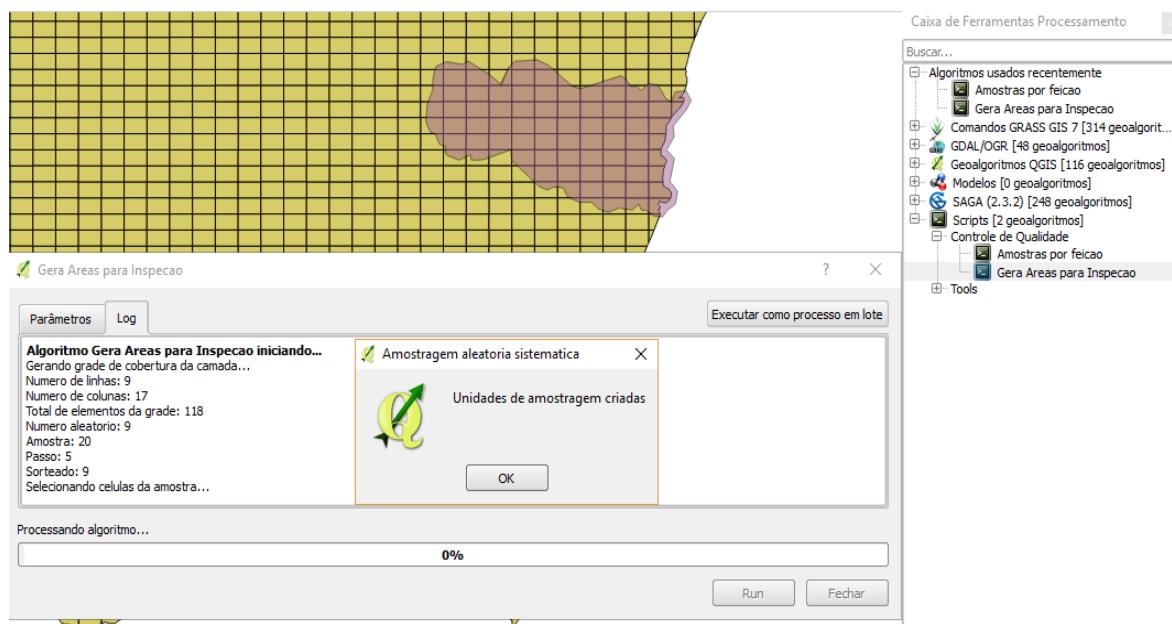
Figura 7: Determinação dos Pontos de Inspeção



**Fonte:** O autor, 2018.

Conforme a Figura 8, as unidades de amostragem criadas foram geradas por meio do Script, onde foram gerados 20 pontos de inspeção, A ET-CQDG determina o tamanho da amostra(n) e o número de aceitação tolerável dentro da amostra. A área de estudo foi dividida em quadrículas de 4x4 cm no valor da escala na qual o produto de teste se encontra (1:5.000), onde foram obtidos os quadrantes significativos, que são o valor da população, como estamos adotando a classificação lote a lote, com o auxílio do Script, considerando o limite de qualidade aceitável (LQA) de 4%, o tamanho da amostra foi gerado conforme mostra a figura 9, onde foi checado manualmente utilizando os quadros da ET-CQDG, na conferência manual como a área é de aproximadamente 580km<sup>2</sup>, seriam necessárias no mínimo 37 áreas de 16m<sup>2</sup> que somadas poderiam resultar na área total, que utilizando os quadros 5 e 6, chegamos ao resultado de 20 amostras, mesmo resultado encontrado pelo script.

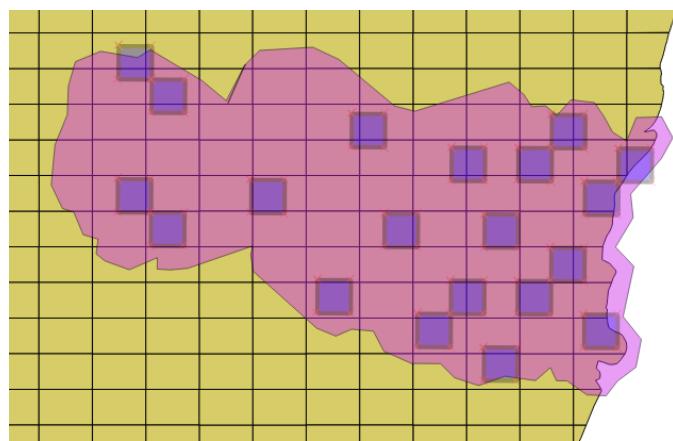
Figura 8 – Amostragem Aleatória Sistemática



**Fonte:** O autor, 2018.

Os pontos de inspeção estão distribuídos conforme figura 9, sendo todos os pontos no município do Cabo de Santos Agostinho, conforme mapa de localização da figura 5.

Figura 9 – Pontos de Inspeção Gerados



**Fonte:** O autor, 2018.

### 3.5. COLETA DE PONTOS DE CONTROLE POR GNSS.

Os pontos de controle de qualidade foram coletados usando equipamentos GNSS e seguiu os critérios de processamento dos dados da instituição doadora desse conjunto de pontos e suas

coordenadas. Na tabela 1 são apresentados a lista dos 29 pontos de controle de qualidade disponibilizado pelo IBGE.

Ao adicionar a camada dos pontos de controle sobreposto a área de estudo e as áreas de inspeção geradas (Figura 10). A seleção dos pontos de controle a serem utilizados para verificação da qualidade posicional do município foi composta dos seguintes critérios: pontos mais próximos ou coincidentes nas áreas de inspeção, vide Figura 11.

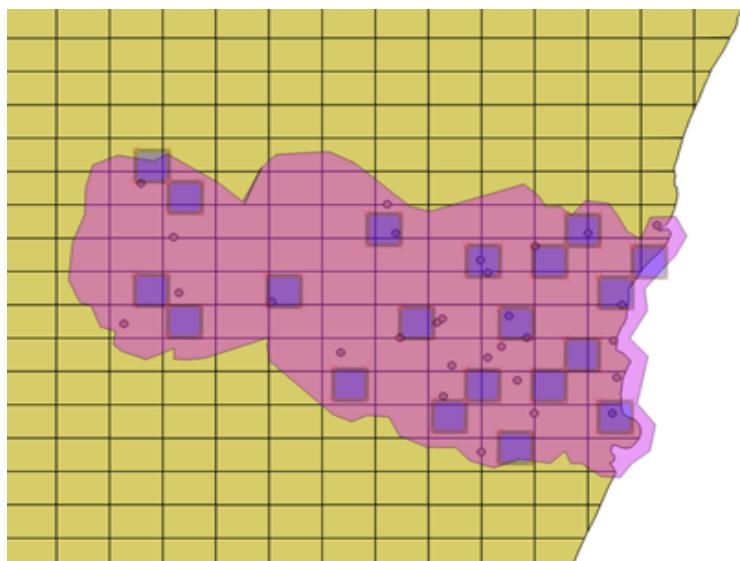
Tabela 1: Pontos de Controle GNSS

Ponto	E	N	H	FUSO
<b>P01</b>	287581,267	9090738,372	4,776	25
<b>P02</b>	283154,253	9090188,226	5,255	25
<b>P03</b>	284803,252	9077761,07	5,375	25
<b>P04</b>	285028,576	9080187,599	20,138	25
<b>P05</b>	284851,803	9082762,043	4,415	25
<b>P06</b>	285394,045	9085225,838	5,033	25
<b>P07</b>	276196,453	9088299,276	12,719	25
<b>P08</b>	273722,197	9084202,306	18,029	25
<b>P09</b>	278023,213	9084446,898	7,58	25
<b>P10</b>	278607,712	9079967,133	33,292	25
<b>P11</b>	276297,682	9075028,04	12,716	25
<b>P12</b>	273845,957	9078815,586	63,451	25
<b>P13</b>	277548,275	9082300,943	8,33	25
<b>P14</b>	276672,413	9081576,086	14,386	25
<b>P15</b>	274376,564	9080966,045	48,269	25
<b>P16</b>	270099,561	9092137,865	71,76	25
<b>P17</b>	270659,713	9090138,812	71,165	25
<b>P18</b>	267156,222	9081808,27	87,723	25
<b>P19</b>	270994,546	9082880,997	117,405	25
<b>P20</b>	262686,302	9085349,484	62,333	25
<b>P21</b>	253117,235	9083787,486	113,277	25
<b>P22</b>	254141,078	9093499,557	289,419	25
<b>P23</b>	256284,638	9089750,807	108,092	25
<b>P24</b>	256651,65	9085878,982	93,688	25
<b>P25</b>	279723,082	9089237,801	12,937	25
<b>P26</b>	276668,885	9087416,613	14,454	25
<b>P27</b>	273375,122	9083910,462	24,127	25
<b>P28</b>	279708,567	9077730,195	5,173	25
<b>P29</b>	279227,244	9082970,211	7,514	25

**Fonte:** IBGE.

Após inserir os pontos de controle por GNSS, no Software QGIS, juntamente com os pontos de inspeção gerados anteriormente, somada a camada da área de interesse o resultado é como mostra a figura 10 abaixo:

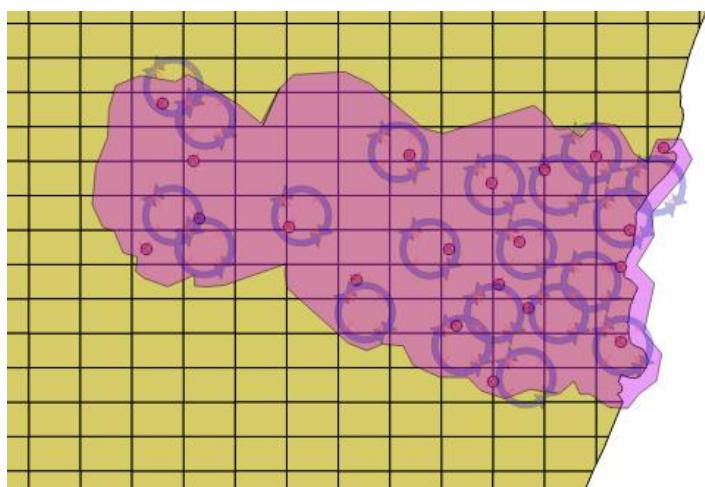
Figura 10: Pontos de Controle (GNSS) e Pontos de Inspeção (Amostragem)



**Fonte:** O autor, 2018.

Conforme contextualizado anteriormente, foram somente selecionados para amostragem os pontos de controle que possuíam coincidência com as áreas de inspeção (pontos de inspeção) e aqueles que mais próximos as áreas, conforme apresentado na figura 11, portanto, foram dispensados 9 pontos, visto que, adotou-se uma amostra com 20 pontos de inspeção conforme dito anteriormente no item 3.4.2 cujo o processo amostral é fundamentado no capítulo 2.

Figura 11: Seleção dos Pontos de Controle (GNSS)



**Fonte:** O autor, 2018.

Após a seleção os pontos presentes na Tabela 2, serão os pontos de controle (GNSS) fornecidos pelo IBGE e utilizados como referência neste trabalho.

Tabela 2: Pontos de Controle (GNSS) de Referência

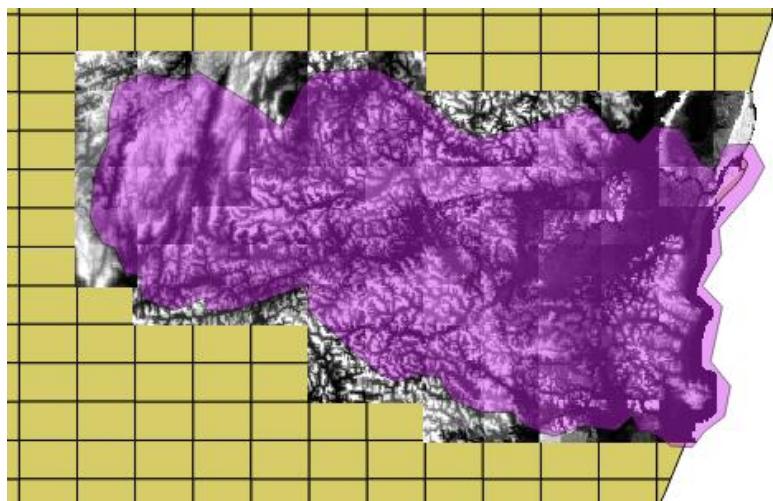
Ponto	E	N	H ( GNSS)	FUSO
<b>P01</b>	287581,267	9090738,372	4,776	25
<b>P02</b>	283154,253	9090188,226	5,255	25
<b>P03</b>	284803,252	9077761,07	5,375	25
<b>P05</b>	284851,803	9082762,043	4,415	25
<b>P06</b>	285394,045	9085225,838	5,033	25
<b>P07</b>	276196,453	9088299,276	12,719	25
<b>P09</b>	278023,213	9084446,898	7,58	25
<b>P10</b>	278607,712	9079967,133	33,292	25
<b>P11</b>	276297,682	9075028,04	12,716	25
<b>P12</b>	273845,957	9078815,586	63,451	25
<b>P14</b>	276672,413	9081576,086	14,386	25
<b>P17</b>	270659,713	9090138,812	71,165	25
<b>P18</b>	267156,222	9081808,27	87,723	25
<b>P20</b>	262686,302	9085349,484	62,333	25
<b>P21</b>	253117,235	9083787,486	113,277	25
<b>P22</b>	254141,078	9093499,557	289,419	25
<b>P23</b>	256284,638	9089750,807	108,092	25
<b>P24</b>	256651,65	9085878,982	93,688	25
<b>P25</b>	279723,082	9089237,801	12,937	25
<b>P27</b>	273375,122	9083910,462	24,127	25

**Fonte:** IBGE.

### 3.6. EXTRAÇÃO DOS DADOS DOS PONTOS DE INSPEÇÃO NO MDT

No Software livre QGIS, foram utilizadas às quadrículas do MDT (RASTER) do PE3D, na Figura 12 abaixo pode ser observado o polígono da área de interesse, com o MDT da área de interesse, sendo este MDT gerado a partir de perfilamento a LASER oriundo do PE3D, conforme o capítulo 2, item 2.7.

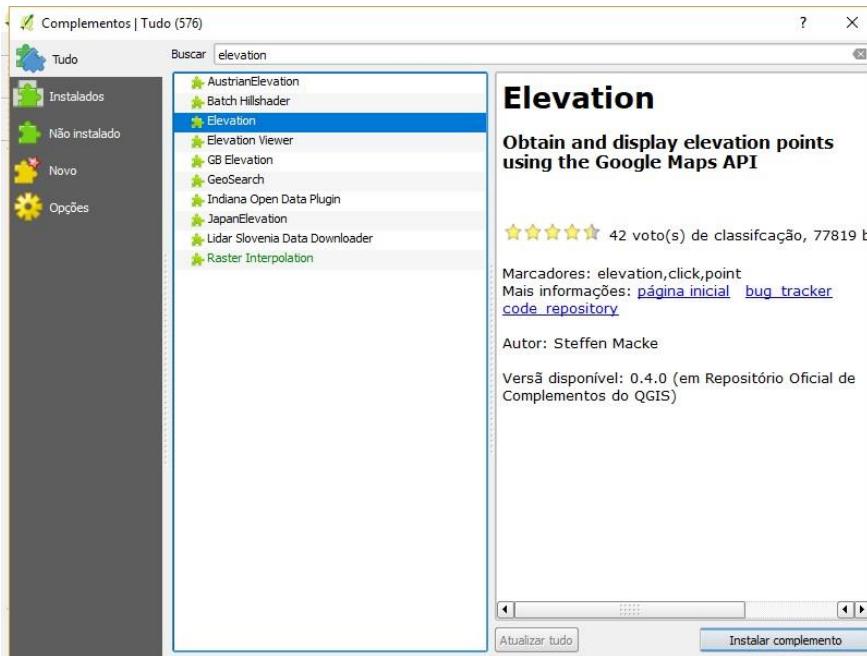
Figura 12: Sobreposição Área e MDT no Software QGIS



**Fonte:** O autor, 2018.

Para extração das coordenadas planimétricas dos pontos de controle interceptando as do MDT a ser analisado foi utilizado o plugin *Elevation*, apresentado na figura 13, esta funcionalidade permite que ao clicar no MDT seja criado um *shapefile* de ponto com coordenadas introduzidas com a altitude visível.

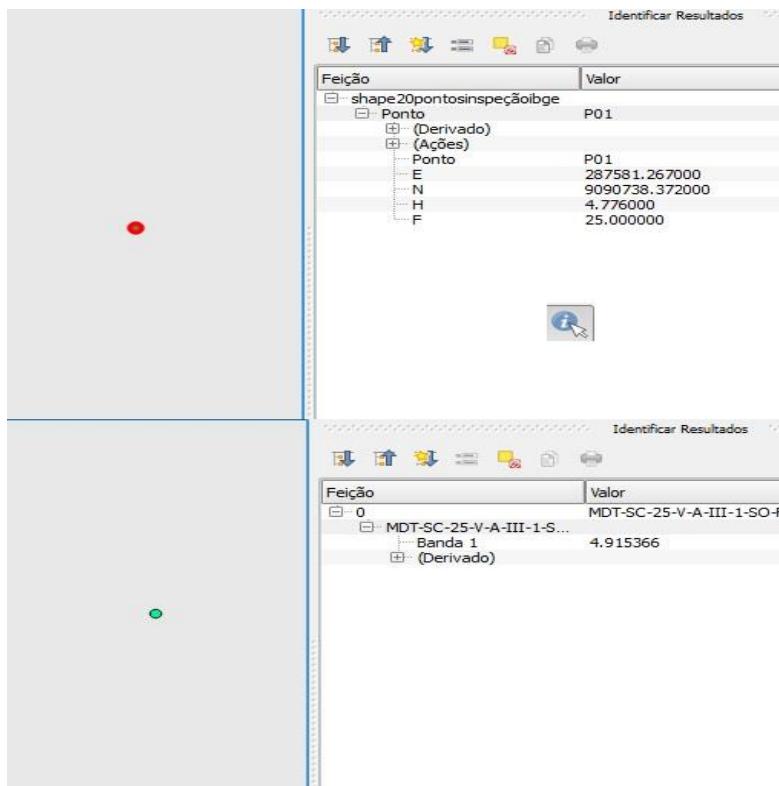
Figura 13: Complemento QGIS para obter dados MDT



**Fonte:** O autor, 2018.

Para fins de garantir a qualidade da extração, assim como ter a certeza que não há qualquer erro, foi realizada a checagem de modo manual com a ferramenta do software QGIS conforme mostrado na figura 14.

Figura 14 – Identificação de Resultados Altimétricos



**Fonte:** O autor, 2018.

Finalizado o procedimento de extração das coordenadas dos pontos de controle com as do MDT foram obtidas as altitudes dos 20 pontos de inspeção de teste (MDT), conforme tabela 3:

Tabela 3 – Dados dos Pontos de inspeção (MDT)

Ponto	E	N	H (MDT)	F
<b>P01</b>	287581	9090738	4,915	25
<b>P02</b>	283154	9090188	5,248	25
<b>P03</b>	284803	9077761	5,358	25
<b>P05</b>	284852	9082762	4,552	25
<b>P06</b>	285394	9085226	4,855	25
<b>P07</b>	276196	9088299	12,730	25
<b>P09</b>	278023	9084447	7,660	25
<b>P10</b>	278608	9079967	33,145	25
<b>P11</b>	276298	9075028	12,803	25

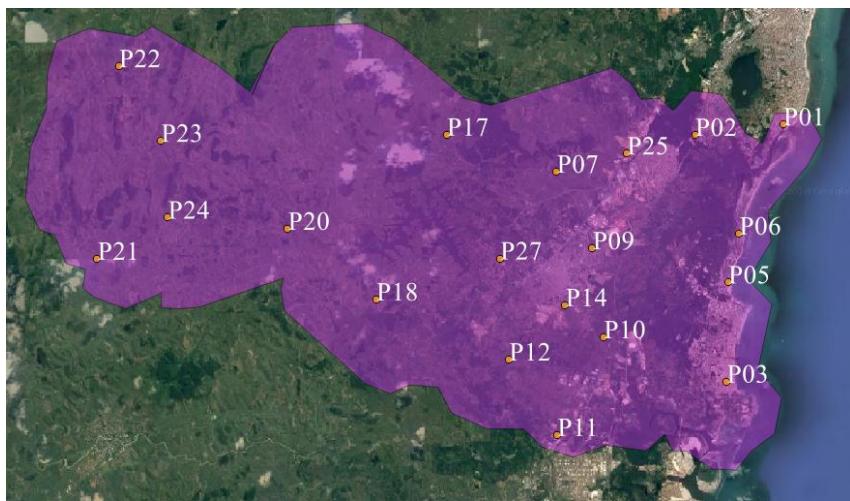
<b>P12</b>	273846	9078816	63,613	25
<b>P14</b>	276672	9081576	14,181	25
<b>P17</b>	270660	9090139	71,308	25
<b>P18</b>	267156	9081808	87,924	25
<b>P20</b>	262686	9085349	62,440	25
<b>P21</b>	253117	9083787	113,245	25
<b>P22</b>	254141	9093500	289,656	25
<b>P23</b>	256285	9089751	107,943	25
<b>P24</b>	256652	9085879	93,853	25
<b>P25</b>	279723	9089238	13,311	25
<b>P27</b>	273375	9083910	24,488	25

**Fonte:** PE3D.

### 3.7.VISUALIZAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS NO MAPA

No Software Livre QGIS foi utilizado o polígono da área de estudo somada a camada dos pontos de inspeção e a uma imagem de fundo da Google, para mostrar a localização e distribuição de cada ponto conforme apresentado na Figura 15. É possível visualizar que os pontos estão bem distribuídos em toda a área de estudo.

Figura 15: Localização dos Pontos No Mapa



**Fonte:** O autor, 2018.

É possível visualizar que os pontos estão bem distribuídos em toda a área de estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. ACURÁCIA POSICIONAL ALTIMÉTRICA UTILIZANDO O SOFTWARE GEOPEC

Para avaliar a Acurácia Posicional Altimétrica foi utilizado o Software Livre GeoPEC, conforme decreto 89.817/ET-CQDG, usando 20 pontos de controle, de referência (GNSS). Também chamados de pontos de inspeção e as atitudes dos mesmos pontos do MDT, considerada teste, seus dados de entrada foram as coordenadas UTM E, N e os seus respectivos valores das altitudes h em metros, a Figura 16, apresenta o conjunto de dados de entrada. Para entendimento toma-se como exemplo a primeira linha: o ponto P1 com coordenadas E: 287581 m e N: 9090738 m, o valor altimétrico do h (referência) é 4,776 metros e as do MDT referente ao P1 seu valor é de 4,915366 m de teste.

Figura 16 – Entrada de Dados Software GeoPEC

Ponto	Descrição	E(m) teste	N(m) teste	h(m) teste	E(m) referência	N(m) referência	h(m) referência	2D - Não considerar?	Z - Não considerar?
101	P01	287581	9090738	4,915366	287581	9090738	4,776		
102	P02	283154	9090188	5,2482743	283154	9090188	5,255		
103	P03	284803	9077761	5,357975	284803	9077761	5,375		
104	P05	284851	9082762	4,5516	284851	9082762	4,415		
105	P06	285394	9085225	4,8551354	285394	9085225	5,033		
106	P07	276196	9088299	12,73	276196	9088299	12,719		
107	P09	278023	9084446	7,6600003	278023	9084446	7,58		
108	P10	278607	9079967	33,144882	278607	9079967	33,292		
109	P11	276297	9075028	12,803	276297	9075028	12,716		
110	P12	273845	9078815	63,6125	273845	9078815	63,451		
111	P14	276672	9081576	14,180948	276672	9081576	14,386		
112	P17	270659	9090138	71,30844	270659	9090138	71,165		
113	P18	267156	9081808	87,924	267156	9081808	87,723		
114	P20	262686	9085349	62,44	262686	9085349	62,333		
115	P21	253117	9083787	113,277	253117	9083787	113,277		
116	P22	254141	9093499	289,656	254141	9093499	289,419		
117	P23	256284	9089750	107,9425	256284	9089750	108,092		
118	P24	256651	9085878	93,85333	256651	9085878	93,688		
119	P25	279723	9089237	13,310525	279723	9089237	12,937		
120	P27	273375	9083910	24,488487	273375	9083910	24,127		

**Fonte:** O autor, 2018.

Após a entrada dos dados dos 20 pontos, no software é possível visualizar na Figura 17 que é solicitado ao usuário um valor da equidistância da curva de nível, que neste trabalho é considerado 2 metros, visto que, a escala do produto MDT (RASTER) é 1:5.000, em seguida foi realizado o processamento. Pode-se observar ainda que são realizadas análises estatísticas como: de precisão, qui-quadrado, teste de normalidade, t-student e finalmente de acurácia.

Para realizar a análise da qualidade, é necessário selecionar a normativa a ser considerada PEC (decreto 89.917 de 1984), ET-CQDG e NBR com testes de tendência de acordo com (Santos et al, 2016), neste requisito a verificação de qualidade deverá considerar as exigências atribuídas na especificação do produto cartográfico, que no caso do PE3D foi considerado o PEC decreto 89.917 de 1984),

Figura 17 – Ferramenta de análise da acurácia posicional altimétrica GeoPEC.

Análise da Precisão:		Análise das tendências	ACURÁCIA
Decreto 89.817: <b>Resultado</b>		Teste de Normalidade: <b>Resultado</b>	<b>Resultado Acurácia:</b>
Qui-Quadrado: <b>Resultado</b>		T de Student: <b>Resultado</b>	
Resultado Precisão:		Resultado tendência:	[Metodologia]

**Fonte:** O autor, 2018.

É possível realizar uma análise por meio da figura 18, que nos traz alguns detalhes importantes conforme o item 2.2.1 que trata de *outlier*, não foram identificados *outliers* em nossos pontos. Assim como, as discrepâncias apresentam valores baixos. O valor do RMS das discrepâncias posicionais, deve ser menor ou igual ao EP, para a escala e classe testada, que será comparada adiante na figura 21.

Figura 18 – Resultados Estatísticos

Estatísticas	Altitude (m)
nº pontos	20
média	0,0734
desvio	0,1647
variância	0,027
RMS	0,1766
máximo	0,3735
mínimo	-0,2051
curtose	2,1269
assimetria	-0,0235
soma	1,469
nº outliers	0

**Fonte:** O autor, 2018.

Ainda em relação aos resultados estatísticos obtidos, a discrepância máxima da amostra é de 37,35cm e a mínima -20,51cm, que em termos absolutos nos retorna dois pontos que estão distantes da média da amostra que é de 7,34cm, futuramente será detalhado o que acontece na amostra no gráfico das discrepâncias.

Com o teste de normalidade é possível afirmar que a amostra segue uma distribuição normal ou gaussiana, no próprio GeoPEC, em caso da amostra de discrepância posicional for não-normal os testes t de Student e qui-Quadrado iriam apresentar resultado inconclusivo, pois estes testes tem como pré-requisito que os dados sigam normalidade.

Em conformidade com o que está apresentado no item 2.10.1 foi verificada se a amostra segue normalidade com o teste Shapiro-Wilk, onde foi calculada uma estatística W que testou se a amostra aleatória de 20 pontos de inspeção, conforme figura 19 abaixo:

Figura 19 – Resultado Teste Shapiro-Wilk

#### Teste Shapiro-Wilk

W<sub>calc</sub> = 0,9585

p-value = 0,5138

**Resultado: Amostra Normal**

**Fonte:** O autor, 2018.

Conforme os dados descrito no quadro 1, na figura 20, consta os valores observando a equidistância de 2m, foram calculados os valores do PEC(m) e EP(m).

Figura 20 – Padrões do Decreto 89.817/ET-CQDG

Classe	PEC (mm)	EP (mm)		PEC (m)	EP (m)
	A	0,27	1/6	0,54	0,3333
A	B	1/2	1/3	1	0,6667
B	C	3/5	2/5	1,2	0,8
C	D	3/4	1/2	1,5	1

**Fonte:** O autor, 2018.

Onde EP (Erro padrão) e PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), são atendidos a classificação da acurácia posicional simultaneamente, conforme 2.3, sendo CLASSE A.

Como o enquadramento das classes no PEC-PCD é baseado nas estatísticas de 90% dos pontos coletados no produto cartográfico, onde consideramos o como verdadeiro os por GNSS e os de teste os extraídos do MDT, é observado na Figura 21, os resultados obtidos.

Figura 21- Classificação do Decreto 89.817/ET-CQDG

Classe	ET-CQDG	%d(H) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	100,000	Passou	Aprovado
A	B	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	Passou	Aprovado

**Fonte:** O autor, 2018.

De modo a analisar ainda mais o comportamento dos dados, como o teste de Shapiro-Wilk, definiu a amostra como normal, então podemos aplicar o teste t de Student, conforme o item 2.10.2, onde foi verificado se existia alguma tendência na amostra, o resultado do teste está descrito na figura 22:

Figura 22- Resultado Teste t de Student

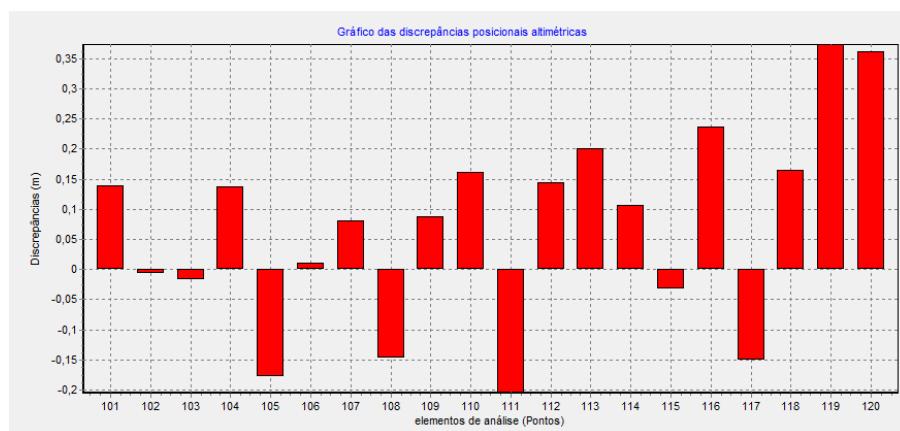
Coord.	t tab	t calc	Resultado
di(H)	1,7291	1,993	Existe Efeito Sistemático

**Fonte:** O autor, 2018.

O teste t de Student, foi aplicado observando um nível de confiança ( $1-\alpha$ ) igual a 90% ( $\alpha= 0,10$ ), conforme especificado no item 2.10.2 deste trabalho, logo, a partir do número de pontos coletados, neste caso 20 pontos de inspeção, na verificação como o valor absoluto do t calculado foi maior que o t tabelado, o produto possui erros sistemáticos.

Na análise da qualidade em relação aos pontos onde foi verificada uma maior discrepância entre o dado de teste e o de referência, foi gerado um gráfico das discrepâncias posicionais altimétricas, conforme pode ser visto na Figura 23, os pontos P14(111), P18(113), P22(116), P25(119) e P27(120 no gráfico), foram encontrados os maiores valores de discrepância.

Figura 23: Gráfico das discrepâncias posicionais altimétricas



**Fonte:** O autor, 2018.

A figura 24, contém as discrepâncias de todos os 20 pontos de inspeção, conforme pode ser visto abaixo:

Figura 24 – Discrepância Altimétrica Entre os Pontos de Controle e de Referência.

Ponto	Discrepância H(m)
P01	- 0,139
P02	0,007
P03	0,017
P05	- 0,137
P06	0,178
P07	- 0,011
P09	- 0,080
P10	0,147
P11	- 0,087
P12	- 0,161
P14	0,205
P17	- 0,143
P18	- 0,201
P20	- 0,107
P21	0,032
P22	- 0,237
P23	0,150
P24	- 0,165
P25	- 0,374
P27	- 0,361

**Fonte:** O autor, 2018.

O PSHPE estabelece erro máximo altimétrico de 25cm, conforme item 2.7, sendo apenas dois pontos P25 e P27 acima de 25cm, não muda a classificação do produto, com o objetivo de analisar a tendência, foram eliminados os 5 pontos descritos anteriormente de maior discrepância, sendo eles com discrepância superior de 20cm, o resultado do teste t de Student pode ser encontrado na figura 25 abaixo:

Figura 25: Resultado t de Student com 15 pontos

Coord.	t tab	t calc	Resultado
di(H)	1,7613	1,088	Sem Tendência

**Fonte:** O autor, 2018.

Conforme podemos visualizar, não há tendência ao utilizar 15 pontos de inspeção, visto que, nesta situação o t calculado é menor que o t tabelado. Em relação a classificação e teste de normalidade não houveram alterações com 15 pontos, sendo novamente aprovados.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O uso do sistema sensor LiDAR, está se tornando cada vez mais acessível em diferentes projetos, sua utilização no PE3D, tornou possível a geração de produtos cartográficos com boa precisão e de grande utilidade. Neste trabalho, utilizamos o MDT gerado pelo PE3D por perfilamento a LASER, onde foi possível extrair pontos de investigação, é importante destacar aqui a importância do produto, pois as aplicações são diversas, sendo de grande utilidade para a sociedade. A amostragem destes pontos foi realizada de acordo com o que estabelece a ET-CQDG e a ISO,

Como referência utilizamos dados coletados por GNSS fornecidos pelo IBGE, obedecendo o PAP-PCD altimétrico. Nas etapas de seleção das quadrículas do PE3D, amostragem de pontos e extração de dados do MDT foi utilizado o Software Livre QGIS, uma atenção especial deve ser dada a amostragem gerada que é uma amostragem sistemática aleatória, sistemática pois segue o que é estabelecido pela ISO 3951-1:2013, e aleatória pois não há restrições, podendo os pontos da amostragem gerada estarem localizados em qualquer posição da área de estudo, pra gerar os pontos foi utilizado um script em python, capaz que recomenda-se seu uso, pois neste trabalho o resultado gerado pelo script foi satisfatório e atendeu as expectativas, o software livre QGIS, também foi utilizado na criação do mapa de localização da área de estudo.

Na etapa seguinte ocorreu o processamento dos dados no software livre GeoPEC, no qual foi realizada a importação dos dados por meio de planilha eletrônica de software livre, e foram realizadas as análises de controle de qualidade, que geraram como resultados iniciais considerando 20 pontos foi obtida uma média de 7,3 cm das discrepâncias entre os dados de teste (MDT) e os de referência (GNSS), que fica bem abaixo dos 25cm especificados como erro máximo altimétrico no projeto, foram também gerados os valores referentes ao desvio padrão, RMS, número de outliers, valores máximos e mínimos, com esses resultados já é possível dizer que não há nenhum erro grosseiro identificado, pois nenhum ponto possui discrepância muito elevada em relação aos demais.

Em relação a classificação de acordo com a ET-CQDG, podemos afirmar que o produto é Classe A, sendo assim, está de acordo com o que especifica o projeto do PSPHPE, levando em consideração o erro máximo altimétrico de 25cm e os 20 pontos utilizados, encontramos apenas dois pontos são eles P25 e P27, que ultrapassam o erro máximo altimétrico, o que não afeta a validação do produto, utilizamos testes de normalidade e testes de tendência, onde no teste de

Shapiro-Wilk, foi possível identificar que a amostra é normal, enquanto que no teste t de Student ao utilizar os 20 pontos de inspeção foi identificada a existência de efeito sistemático, que não reprova o produto, mas, em uma análise mais detalhada, excluímos 5 pontos dos 20 pontos de investigação, estes 5 pontos são os com maiores valores de discrepância, onde ao realizar novamente o teste de t de Student, onde foi eliminado o efeito sistemático da amostra de pontos.

O emprego dos métodos tornou admissível demonstrar o processo de controle de qualidade de dados geoespaciais, logo, esta metodologia é recomendada para ser aplicada no controle de qualidade de outros MDT's, os resultados alcançados foram satisfatórios, seja pela utilização da ET-CQDG que padroniza o procedimento de análise da qualidade, somada, com a utilização de especificações da norma ISO, onde a própria ET-CQDG utiliza como referência em diversas abordagens.

Por fim, recomenda-se que seja aplicada a mesma metodologia em outras áreas do estado de Pernambuco, utilizando também o MDT oriundo do PE3D, assim como, é sugerida a pesquisa de outros diferentes métodos capazes de avaliar o comportamento das amostras de modo ainda mais rigoroso, que somados aos processos que foram demonstrados neste trabalho, seja possível alcançar procedimentos de avaliação da qualidade de dados, rápidos e com análises diversificadas.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. A. **Análise da Qualidade dos dados GPS: Estudo de Caso da Estação de Cananéia.** Dissertação de Mestrado. EP-USP, São Paulo, 2007.
- ARIZA-LÓPEZ, F. J. Calidad en la Información Geográfica (Introducción). **Experto Universitario en Evaluación de la Información Geográfica (4<sup>a</sup> Edición).** Máster Universitario en Evaluación y Gestión de la Calidad de la Información Geográfica (1<sup>a</sup> Edición). Jaén: Universidad de Jaén, 2011.
- ARIZA LÓPEZ, F. J. (Ed.). **Fundamentos de evaluación de la calidad de la información geográfica.** Jaén: Universidad de Jaén - UJA, Servicio de Publicaciones, 782 p. 2013.
- ARIZA LÓPEZ, F. J.; GARCÍA BALBOA, J. L.; AMOR PULIDO, R. **Casos prácticos de calidad en la producción cartográfica.** Jaén: Universidad de Jaén - UJA, Servicio de Publicaciones, 388 p. 2004.
- ARIZA, F. J. **Calidad en la Producción Cartográfica.**, 2002.
- ARIZA, F. J. L.; ATKINSON, A. D. G. **Analysis of some positional accuracy assessment methodologies.** *Journal of Surveying Engineering*, v. 134, n° 2, 2008.
- ATKINSON, A. D. J.; ARIZA, F. J.; GARCÍA, J. L. **Positional accuracy control using robust estimators,** 2005.
- AKOS, D.; CHEN, A.; DANTEPAL, J.; ENGE, P. GAO, G. X.. GRELIER, T.; ISSLER, J.; LO, S.; RIES, L. **GNSS Album: images and spectral signatures of the new GNSS signals.** *Inside GNSS, Oregon*, v. 1, n. 4, p 46-56, mai/jun of 2006.
- AYENI, O. O. **Optimum sampling for digital terrain models: a trend towards automation.** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 48, n. 11, p. 1687–1694, 1982.
- BARROS, P. L. C; MACHADO, S. A. **Aplicação de Índices de Dispersão em Espécies de Florestas Tropicais da Amazônia Brasileira.** FUPEF, Curitiba. Série Científica N° 1, 1984.
- BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às Ciências Sociais.** 8. ed. - Florianópolis: E. da UFSC, 318p. 2012.
- BONINI, E. E.; BONINI, S. E. **Estatística.** Edições Loyola. São Paulo, 439p. 1972

**Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos**, Curitiba, v. 22, no4, p.630-650, out - dez, 2016.

BRASIL. Decreto n. 89. 817, de 20 de junho de 1984. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, ano 122, n. 120, Seção 1, p. 8884-8886. 22 jun. 1984.

CIRILO, J. A. ; Alves, F.H.B. ; SILVA, B. M. ; CAMPOS, P. H. A. L. . PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL: base de dados espaciais para planejamento urbano e gestão territorial. In: 12o. Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 2015, Brasilia, DF. 12o. **Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa**. Lisboa, Portugal: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2015. v. 1. p. 81-100. 2015

CONCAR. **Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil**. 2009.

CSANYI N.; TOTH, C. K.; **Improvement of Lidar Data Accuracy Using Lidar-Specific Ground Targets**. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 73, n. 4, p.385-396, 2007.

DALMOLIN, Q.; LEAL, E. da M. Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba: Universidade Federal do Paraná - UFPR, Programa de Pós- -Graduação em Ciências Geodésicas - PPGCG, v. 7, n. 1, p. 21-40, 2001.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Laserscanner: Conceitos e Princípios de Funcionamento**. 3<sup>a</sup> Edição – UFPR – Curitiba/PR – Brasil. 97 pg – 2004.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por Mínimos Quadrados**. 2<sup>a</sup> edição. Ed. UFPR. Curitiba, 180p., 2004.

Exército. Diretoria de Serviço Geográfico. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG)**. 1. ed. Brasília, DF, 2016.

FALAT, D.R. Perfilamento a Laser: Uma Alternativa rápida e precisa para a identificação de alterações na superfície. **Anais II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife-PE, Brasil, 8-11 de setembro de 2008.

FERREIRA, D. F. **Estatística Básica**. 2<sup>a</sup> Edição Revisada. Editora UFLA. Lavras, 2009.

FORTES, L. P. S. **Operacionalização da rede brasileira de monitoramento contínuo do sistema GPS (RBMC)**. 152 f. Dissertação de Mestrado - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1997.

FRANCO, T. P. L. **Uso do sistema LiDAR na geração de MDT e avaliação segundo Padrões de exatidão cartográfica**. Monografia ( Especialização em Geoprocessamento). UFV. Orientador Marcos Antônio Timbó Elmiro. 2006.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. **1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. p.41-48. 1994.

GARCÍA-BALBOA, J. L. **Normas de Calidad. En: Experto Universitario em Evaluación de La Información Geográfica (4ª Edición)**. Master Universitário em Evaluación y Gestión de La Calidad de La Información Geográfica (1ª Edición). Jaén: Universidad de Jaén, 2011.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Adjustment computations: spatial data analysis**. 4ª edição, editora Jonh Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos da América. 2006.

HABIB, A.; KERSTING, A. P.; BANG, K. I.; LEE D. C. Alternative methodologies for the internal quality control of parallel LiDAR strips. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 48, n. 1, p. 221-236, 2010.

**IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 05.09.2018

ISO 2859-2:1985: sampling procedures for inspection by attributes: part 2: sampling plans indexed by limiting quality (LQ) for isolated lot inspection. Geneva: **ISO**, 21 p. 1985.

ISO 3951-1:2013: sampling procedures for inspection by variables: part 1: specification for single sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection for a single quality characteristic an a single AQL. 2nd ed. Geneva: **ISO**, 92 p. 2013.

ISO 3951-2:2013: sampling procedures for inspection by variables: part 2: general specification for single sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection of independent quality characteristics. 2nd ed. Geneva: **ISO**, 86 p. 2013.

ISO 19113:2002: geographic information: Quality Principles. Geneva: **ISO**, 36 p. 2002.

ISO 19114:2003: geographic information: Quality Evaluation procedures. Geneva: **ISO**, 2003.

ISO 19157:2013: geographic information: Data Quality. Geneva: **ISO**, 146 p. 2013.

ISO 2859- 1:1999: sampling procedures for inspection by attributes: part 1: sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection. 2nd ed. Geneva: **ISO**, 87 p. 1999.

ISO 19113: **Geographic information – Quality principles**. Switzerland 2002.

JURAN, J.M., **A Qualidade desde o Projeto: Os Novos Passos para o Planejamento da Qualidade em Produtos e Serviços**, 3<sup>a</sup> ed., São Paulo, Pioneira. 1997.

KAINZ, W. Logical Consistency : **GUPTILL, S. C.; MORRISON, J. L.**, Elements of Spatial Data Quality, Elsevier Science, Cap. 8, p. 109-138. 1995.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística e dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998.

LUNARDI, O. A.; PENHA, A. L. T.; CERQUEIRA, R. W. O exército brasileiro e os padrões de dados geoespaciais para a INDE. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação**, Recife, Brasil. p. 8. 2012.

MATTEUCCI, S. D; COLMA, A. **Metodología para el estudio de la vegetación**. Washington, OEA/PRDECT, 168 p. 1982.

MONICO, J. F. G., **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo; UNESP (Ed), 287 p. 2000.

MONICO, J.F.M.; DAL PÓZ, A.P.; GALO, M.; SANTOS, M.C.; OLIVEIRA, L.C. Acúracia e Precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. **Bol. Ciênc. Geod., séc. Comunicações**, Curitiba, vol. 15, nº 3, p.469-483, jul-set, 2009.

NBR 13.133 – Execução de levantamento topográfico. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Rio de Janeiro, Maio, p. 1-35. 1994.

NBR 5425: guia para inspeção por amostragem no controle e certificação de qualidade. Rio de Janeiro: **ABNT**, 30 p. 1985.

NBR 5426: planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro: **ABNT**, 63 p. 1985.

NBR 5427: guia para utilização da norma 5426 - planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos. Rio de Janeiro: **ABNT**, 26 p. 1985.

- NOGUEIRA JÚNIOR, J. B. **Controle de Qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica.** Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas. UNESP, 2003.
- OLIVEIRA, L. F. **Análise de modelos digitais de superfície gerados a partir de imagens do sensor PRISM/ALOS.** Dissertação de Mestrado em Informações Espaciais. UFV. Viçosa, 2011.
- PEREIRA T. A. ; NERO M. A. Análise de Normas de Controle de Qualidade Posicional em Cartografia ao redor do Mundo: Exemplos Atuais de Alguns países, **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.** 2012.
- PERNAMBUCO Tridimensional.** Disponível em: <<http://www.pe3d.pe.gov.br>>. Acesso em 10.09.2018.
- Prefeitura do Cabo de Santos Agostinho.** Disponível em: <<http://www.cabo.pe.gov.br>>. Acesso em 20.10.2018.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Métodos estatísticos aplicados ao controle da qualidade.** 23. ed. Viçosa: Ed. UFV, 274 p. 2013.
- RIVAS R. A. N., A Tecnologia Laser Scanning e seu potencial de aplicação no mapeamento topográfico, **Instituto Militar de Engenharia**, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.
- RODRIGUES, D.D. **Topografia : Planimetria para engenheiros agrimensores e cartógrafos.** Apostila. Universidade Federal de Viçosa. 2008.
- ROYSTON, J. P. Algorithm AS 181: the W test for normality. **Journal of the Royal Statistical Society: série C - applied statistics**, London, v. 31, n. 2, p. 176-180, 1982.
- ROYSTON, J. P. Remark AS R94: a remark on algorithm AS 181: the W test for normality. **Journal of the Royal Statistical Society: série C - applied statistics**, London, v. 44, n. 4, p. 547-551, 1995.
- ROYSTON, J. P. Some techniques for assessing multivariate normality based on the Shapiro-Wilk W. **Journal of the Royal Statistical Society: série C - applied statistics**, London, v. 32, n. 2, p. 121-133, 1983b.
- ROYSTON, J. P. A toolkit for testing for non-normality in complete and censored samples. **Journal of the Royal Statistical Society: série D**, London, v. 42, n. 1, p. 37-43, 1993.
- SAMPAIO, I. B. M. Estatística aplicada à experimentação animal. 2<sup>a</sup>.ed. Belo Horizonte:

SANTOS, A.P. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE IMAGENS LANDSAT 8 / SENSOR OLI NA REGIÃO DE ALVINÓPOLIS-MG , **VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. 2016.

SANTOS, Afonso de Paula dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2015. **Controle de Qualidade Cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais**. Orientadora: Nilcilene das Graças Medeiros. Coorientadores: Dalto Domingos Rodrigues e Gérson Rodrigues dos Santos. 2015.

SANTOS, A. da S. **Geoestatística aplicada na avaliação da qualidade de dados geoespaciais**. 148 p. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2013.

SANTOS, A. P. ; RODRIGUES D. D. ; SANTOS, N. T. ; JUNIOR, J. G. Avaliação da Acurácia Posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: Proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. . **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line** version, ISSN 1982-2170. 2016.

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, p. 179–210. 2006.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. **An analysis of variance test for normality**. *Journal Biometrika*, London, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, Nov. 1965.

TOMMASELLI, A. M. G. Um Estudo Sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3D a Curta Distância. **GEODÉSIA Online - Revista da Comissão Brasileira de Geodésia**. 4 / 2003 [ ISSN 1415-1111 ].

TONG, X.; WANG, Z.; XIE, H.; et al. **Designing a two-rank acceptance sampling plan for quality inspection of geospatial data products**. Computers and Geosciences, v. 37, n. 10, p. 1570–1583, 2011.

TOTH, C. K.; Grejner-Brzezinska, D. A. Complementarity of LIDAR and stereo imagery for enhanced surface extraction. **International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. XXXIII, Part B3, Amsterdam. 2000.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: JC, 410p. 1999.

- WEVER, Christian & J. Lindemberger - **Experience of 10 years of LASER Scanning** - Schriftenreihe des Institute für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, pp. 125-132. 1999.
- WEHR, A.; LOHR, U. Airborne Laser Scanning – An Introduction and Overview. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 54, pp. 68-82. 1999.
- WONG, D.W.S., LEE, J., **Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS**. Editora John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. pp. 1-464. 2005.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B.. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.