

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS TOMADOS A PARTIR DO  
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) UTILIZANDO A  
CORREÇÃO DIFERENCIAL.**

ANDEISE CERQUEIRA DUTRA

CRUZ DAS ALMAS – BA  
Janeiro – 2017

ANDEISE CERQUEIRA DUTRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS TOMADOS A PARTIR DO  
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) UTILIZANDO A  
CORREÇÃO DIFERENCIAL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Claudia Bloisi Vaz Sampaio.  
Coorientador: Prof. Dr. Jesus Manuel Delgado Mendez

CRUZ DAS ALMAS – BA

Janeiro – 2017


ANDEISE CERQUEIRA DUTRA

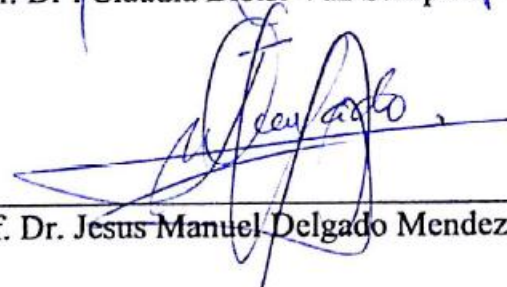
**ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS TOMADOS A PARTIR DO  
SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) UTILIZANDO A  
CORREÇÃO DIFERENCIAL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a banca examinadora da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

APROVADO EM 25 / 01 / 2017

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr.<sup>a</sup> Claudia Bloisi Vaz Sampaio – UFRB

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jesus Manuel Delgado Mendez – UFRB

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Everton Luis Poelking - UFRB

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro de tudo, agradeço à Deus por me conceder a realização dos desejos do meu coração e a me levar por caminhos antes não imaginados. À Ele, sou grata a tudo e a todos.

Agradeço em especial aos meus pais, Floriano e Cervellon e ao meu irmão Anderson, por cada momento vivido. Nada disso seria possível sem a dedicação e esforços da minha família.

Agradeço a minha orientadora Cláudia Bloisi Vaz Sampaio. Nela, busquei orientação acadêmica, mas encontrei um porto seguro. Grandes sonhos não seriam realizados sem o seu incentivo.

Agradeço ao professor Jesus Manuel Delgado Mendez, por cada abraço e pelas palavras de conforto. É relembrar que nós somos capazes de tudo e que não há obstáculos maiores do que os nossos sonhos!!

Agradeço aos amigos: Taise, Suilan, Miria, Juraci e Kaliane por toda a jornada que percorremos. À Monalisa Fagundes, por ter sido a minha fiel companheira nos últimos meses. E aos queridos amigos que estiveram presentes nesta trajetória.

Agradeço as colegas do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

E por fim, nós não realizamos sonhos sozinhos. Dessa forma, sou grata a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha história.

A todos vocês, o meu sincero, *MUITO OBRIGADA!!*

## **RESUMO**

Dutra, A. C. Análise comparativa de dados tomados a partir do sistema de posicionamento global (GPS) utilizando a correção diferencial. Cruz das Almas – CCAAB – UFRB. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. 74 páginas.

As necessidades da sociedade moderna juntamente com o acelerado crescimento da tecnologia eletrônica levaram ao desenvolvimento de diversos sistemas de posicionamento. A aplicação do GPS – Sistema de Posicionamento Global, é vista em diversos campos de atuação a exemplo da topografia, agronomia, levantamento florestal dentre outras. Entretanto, algumas variáveis regem a precisão do sistema GPS a exemplo do tempo despendido nas medições, do tipo de receptor e posição relativa dos satélites. Assim, a partir da técnica de correção diferencial, é possível conseguir uma precisão de centímetros nas medições. O objetivo deste trabalho é estabelecer o contato com o aparelho de GPS, sua aplicação prática e técnicas de uso, efetuando, assim, uma análise acerca da correção diferencial no Sistema de Posicionamento Global (GPS) a partir de estações fixas do IBGE, Santiago & Cintra e INCRA. O presente trabalho foi desenvolvido no Sítio Nova Esperança, localizado no município de Feira de Santana, Estado da Bahia, cujas coordenadas geográficas são de 12° 18'42'' de latitude sul e 38°56'48'' de longitude oeste e altitude média de 215m. De posse do aparelho GPS, foi realizado a tomada de dados por área, por pontos e por linha e realizado a análise das correções obtidas. As estações INCRA e IBGE apresentaram resultados próximos, enquanto a Santiago & Cintra apresentou resultados diferentes. Além disso, foi observado uma diferença entre os dados obtidos em campo e os dados obtidos do GPS. Dessa forma, conclui-se que a utilização da correção diferencial leva a uma melhor padronização dos dados, promovendo a correção de desvios.

Palavras-chave: 1. Satélites. 2. NAVSTAR. 3. Estações base. 4. Bahia. 5. Correção.

## **ABSTRACT**

Dutra, A. C. Comparative analysis of data taken from the global positioning system (GPS) using differential correction. Cruz das Almas – CCAAB – UFRB. 2013. Final Undergraduate Course Dissertation. 74 pages.

The needs of modern society coupled with the accelerated growth of electronic technology have led to the development of various positioning systems. The application of GPS - Global Positioning System, is seen in several fields of action such as topography, agronomy, forest survey among others. However, some variables govern the accuracy of the GPS system, such as the time spent on the measurements, the type of receiver and the relative position of the satellites. Thus, from the differential correction technique, it is possible to achieve a precision of centimeters in the measurements. The objective of this work is to establish the contact with the GPS device, its practical application and use techniques, thus making an analysis about the differential correction in the Global Positioning System (GPS) from fixed stations of IBGE, Santiago & Cintra and INCRA. The present work was developed in Sítio Nova Esperança, located in the municipality of Feira de Santana, State of Bahia, whose geographic coordinates are 12° 18'42 " south latitud and 38°56'48"W longitud and average altitud of 215m. With the GPS device, data were collected by area, by points and by line, and the analysis of the corrections obtained was performed. The INCRA and IBGE stations presented close results while Santiago & Cintra presented different results. In addition, a difference was observed between field data and GPS data. Thus, it is concluded that the use of the differential correction leads to a better standardization of the data, promoting the correction of deviations.

Key words: 1. Satellites. 2. NAVSTAR. 3. Base stations. 4. Bahia. 5. Correction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da esfera formada pela órbita do satélite. A distância entre o satélite e o receptor. Com apenas um satélite a posição está em algum lugar na superfície da Terra. ....	19
Figura 2 – Quando o receptor GPS capta dois satélites, forma uma área dentro da qual a posição pode estar localizada em qualquer ponto. Com dois satélites, a posição fica restrita a área de interseção das duas esferas. ....	20
Figura 3 - Com três satélites tem-se a posição em apenas duas dimensões X e Y. Um terceiro satélite restringe a posição entre dois pontos. A definição de qual dos dois pontos representa a posição correta é definida por um quarto satélite. ....	20
Figura 4 - Determinação da posição correta quando o receptor capta no mínimo 4 satélites. ....	21
Figura 5 – Localização da área de estudo. ....	28
Figura 6 - Área demarcada para estudo. ....	29
Figura 7 – Modelo do aparelho GPS utilizado. ....	30
Figura 8 - Figura geométrica obtida na tomada de dados por área. ....	31
Figura 9 – Pontos levantados nos vértices da área. ....	31
Figura 10 – Linha obtida na parte inferior da área. ....	32
Figura 11 - Estação Base localizada no Observatório Antares. Fonte: IBGE. ....	34
Figura 12 - Gráficos dos índices gerados pelo almanaque e horário do período de tomada dos dados. ....	34
Figura 13 - Gráficos contendo os índices e distribuição dos satélites durante o dia da tomada de dados. ....	36
Figura 14 - Análise comparativa da área para diferentes tratamentos de dados. ....	38
Figura 15 - Análise comparativa dos perímetros das áreas trabalhadas para diferentes tratamentos de dados. ....	38
Figura 16 - A032713A. ....	39
Figura 17 - A032713A. ....	39
Figura 18 - A032713A. ....	39
Figura 19 - A032713A. ....	39
Figura 20 - Análise comparativa do desvio padrão dos pontos para diferentes tratamentos. ....	38
Figura 21 - A032713D. ....	41
Figura 22 - A032713D. ....	41
Figura 23 - A032713A. ....	41
Figura 24 - A032713D. ....	41
Figura 24 – Análise comparativa das linhas obtidas em campo para diferentes tratamentos de dados. ....	42
Figura 25- A032717E. ....	42
Figura 27- A032717E. ....	43
Figura 28- A032717E. ....	43
Figura 29 – A032717E. ....	44
Figura 30 – A032714A – L1. ....	44
Figura 31 – A032714A – L1. ....	44
Figura 32 - a. Distribuição dos pontos L1 sem correção; b. Variação das distâncias Euclidianas em relação ao ponto geodésico L1 – sem correção; c. Variação das distâncias Euclidianas médias L1 – sem correção. ....	45

Figura 33 – a. Distribuição dos pontos L1 corrigidos pela estação base do IBGE; b. Variação das distâncias Euclidianas em relação ao ponto geodésico L1 – dados corrigidos pelo IBGE; c. Variação das distâncias Euclidianas médias L1 – dados corrigidos pelo IBGE. ....	46
Figura 34 – a. Distribuição dos pontos L1 corrigidos pela estação base Santiago & Cintra; b. Variação das distâncias Euclidianas em relação ao ponto geodésico L1 – dados corrigidos pela Santiago & Cintra; c. Variação das distâncias Euclidianas médias L1 – dados corrigidos pela Santiago & Cintra. ....	47
Figura 35 – - a. Distribuição dos pontos L1 corrigidos pela estação base INCRA; b. Variação das distâncias Euclidianas em relação ao ponto geodésico L1 – dados corrigidos pelo INCRA; c. Variação das distâncias Euclidianas médias L1 – dados corrigidos pelo INCRA.....	48
Figura 36 – Coordenadas UTM Leste sem correção – L1 – 69,30%.....	49
Figura 37 – Coordenadas UTM Norte sem correção – L1 – 70,61%.. ..	49
Figura 38 – Coordenadas UTM Altitude sem correção – L1 – 60,09%.. ..	49
Figura 39 – Coordenadas UTM Leste corrigidas IBGE– L1 – 75%.....	50
Figura 40 - Coordenadas UTM Norte corrigidas IBGE – L1 – 75%.. ..	50
Figura 41 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas IBGE – L1 – 75%.. ..	50
Figura 42 – Coordenadas UTM Leste corrigidas Santiago&Cintra - L1 – 75 %.....	51
Figura 43 – Coordenadas UTM Norte corrigidas Santiago&Cintra – L1 – 75%.....	51
Figura 44 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas Santiago&Cintra – L1 – 75%.....	51
Figura 45 – Coordenadas UTM Leste corrigidas INCRA – L1 – 50%.....	52
Figura 46 – Coordenadas UTM Norte corrigidas INCRA – L1 – 50%.. ..	52
Figura 47 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas INCRA – L1 – 50%.. ..	52
Figura 48 – a. Distribuição dos pontos C/A sem correção; b. Variação das distâncias euclidianas dos pontos C/A em relação ao ponto geodésico; c. Variação das distâncias Euclidianas médias C/A – sem correção.....	53
Figura 49 – Distribuição dos pontos C/A corrigidos pela estação base do IBGE; b. Variação das distâncias euclidianas dos pontos C/A em relação ao ponto geodésico com correção pela estação base do IBGE; c. Variação das distâncias Euclidianas médias C/A - com correção pela estação base do IBGE.....	54
Figura 50 – Distribuição dos pontos C/A corrigidos pela estação base Santiago & Cintra; b. Variação das distâncias euclidianas dos pontos C/A em relação ao ponto geodésico com correção pela estação base; c. Variação das distâncias Euclidianas médias C/A - com correção pela estação base.....	55
Figura 51 – Distribuição dos pontos C/A corrigidos pela estação base do INCRA; b. Variação das distâncias euclidianas dos pontos C/A em relação ao ponto geodésico com correção pela estação base; c. Variação das distâncias Euclidianas médias C/A - com correção pela estação base.....	56
Figura 52 – Coordenadas UTM Leste sem correção - C/A – 61.62%.....	57
Figura 53 – Coordenadas UTM Norte sem correção – C/A – 55,05%.. ..	57
Figura 54 – Coordenadas UTM Altitude sem correção – C/A – 50%.. ..	57
Figura 55 – Coordenadas UTM Leste corrigidas IBGE –C/A – 57,58%.....	58
Figura 56 – Coordenadas UTM Norte corrigidas IBGE – C/A – 54,04%.. ..	58
Figura 57– Coordenadas UTM Altitude corrigidas IBGE - C/A – 44,44%.....	58
Figura 58 – Coordenadas UTM Leste corrigidas Santiago&Cintra – C/A – 62,63%.....	59
Figura 59 – Coordenadas UTM Norte corrigidas Santiago&Cintra – C/A – 76,77%.. ..	59
Figura 60 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas Santiago&Cintra – C/A – 50,51%.. ...	59
Figura 61 – Coordenadas UTM Leste corrigidas INCRA – C/A – 55,05%.. ..	60



Figura 62– Coordenadas UTM Norte corrigidas INCRA – C/A – 58,08%.....	60
Figura 63 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas INCRA – C/A – 48,48%.....	60
Figura 64 – Resumo dos dados obtidos pela análise estatística descritiva..	61
Figura 65 – Comparação gráfica entre o CEP 50 referente ao ponto geodésico e o ponto médio para todos os dados trabalhados.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Precisão em relação aos dados e técnicas utilizados. ....	18
Tabela 2 - Erros gerados no GPS Padrão. ....	24
Tabela 3 - Análise comparativa dos dados obtidos para áreas e perímetros. ....	37
Tabela 4 - Análise comparativa dos dados obtidos para pontos – desvio padrão. ....	40
Tabela 5 - Análise comparativa dos dados obtidos para linhas. ....	42
Tabela 6 - Análise comparativa entre o CEP 50 do ponto geodésico e do ponto médio para todos os dados trabalhados. ....	62

## APÊNDICES

Apêndice A - Análise estatística dos dados L1 sem correção. ....	67
Apêndice B - Análise estatística dos dados L1 com correção IBGE. ....	68
Apêndice C - Análise estatística dos dados L1 com correção Santiago & Cintra. ....	68
Apêndice D - Análise estatística dos dados L1 com correção INCRA. ....	68
Apêndice E - Análise estatística dos dados C/A sem correção. ....	68
Apêndice F - Análise estatística dos dados C/A com correção IBGE. ....	68
Apêndice G - Análise estatística dos dados C/A com correção Santiago & Cintra. ....	68
Apêndice H - Análise estatística dos dados C/A com correção INCRA. ....	68

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
3.1. HISTÓRICO.....	15
3.2. O SISTEMA NAVSTAR .....	16
A) Segmento espacial.....	16
B) Segmento de controle.....	17
C) Segmento de usuário .....	17
3.3 - O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA .....	18
3.4. PRECISÃO DO POSICIONAMENTO .....	21
3.5. FATORES QUE INTERFEREM NA PRECISÃO DO POSICIONAMENTO.....	22
A) Erros nos relógios do satélite e do receptor.....	22
B) Órbita dos satélites .....	22
C) Interferências atmosféricas.....	23
D) Multicaminhamento .....	23
E) Geometria dos satélites.....	24
3.6. QUANTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA GEOMETRIA DOS SATÉLITES.....	24
3.6. A TÉCNICA GPS.....	26
<b>4 – METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
4.1 - Localização da área de estudo.....	28
4.2 - Características da área.....	29
4.3 – Equipamentos .....	29
4.4 – Levantamento de dados em campo.....	31
4.5 - Croqui de Campo .....	32
4.6 - Informações das Estações Base Utilizadas para a Correção dos Dados .....	33
A) Estação Base Gps – IBGE SALVADOR – CAPITANIA DOS PORTOS .....	33
B) Estação Base Gps – INCRA- SALVADOR.....	33
C) Estação Base Gps – SANTIAGO & CINTRA – FEIRA DE SANTANA.....	33
4.7 – Dados do Almanaque Obtidos Quando do Planejamento da Missão .....	34
5.1 – Áreas e perímetros .....	37
A) Plantas .....	39
B) Pontos .....	40
C) Linhas .....	42
5.2. Ponto – Portadora L1 .....	44
5.3. Distribuição de pontos L1: .....	45
5.3. Análise estatística L1 .....	49
5.4 – Distribuição dos Pontos – C/A .....	53
5.5. Análise estatística C/A.....	57
5.4 – RESUMOS .....	61
A) Análises Estatísticas e Teste Sigma N.....	61
B) Provável erro circular (CEP).....	61
<b>6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>63</b>
<b>7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>64</b>
<b>8 – APÊNDICES</b> .....	<b>67</b>

## 1 - INTRODUÇÃO

As necessidades da sociedade moderna juntamente com o acelerado crescimento tecnologia eletrônica levaram ao desenvolvimento de inúmeros sistemas de posicionamento, desde os mais simples até os atualmente usados com maior índice de precisão e apurada tecnologia.

O uso do GPS em diversos campos de atuação a exemplo da topografia, agronomia, levantamento florestal dentre outras são grandes. Em 1986, os receptores deste sistema pesavam cerca de 20 Kg e sua operabilidade era de 2 a 4 horas por dia para se obter informações em três dimensões. Hoje, os receptores disponíveis no mercado não pesam mais que 2 kg e o sistema completo permite obter coberturas em três dimensões durante 24 horas por dia em qualquer ponto da Terra.

Muitos dos aparelhos utilizados em campo, para uso em levantamentos de áreas e mapeamentos, a exemplo dos teodolitos, trenas, bússolas, foram efetivamente substituídos pelo GPS. Este sistema pode ainda fornecer alta precisão nos levantamentos, com menor custo e maior rapidez, diminuindo o tamanho das equipes de campo. O potencial de aplicação é muito grande, desde a medição de áreas, locação de linhas e estradas, demarcação das áreas degradadas e de parcelas de inventário florestal, estratificação das florestas, áreas com risco de erosão, parques e reservas, sítios arqueológicos, trilhas de interpretação ambiental, planejamento agroambientais de bacias hidrográficas. Mais recentemente, com o surgimento da Agricultura de precisão, o GPS passou a ter grande aplicação no posicionamento de várias operações agrícolas, desde colheitas até a aplicação localizada de insumos.

Cientificamente o uso do GPS desempenha uma função muito importante no que se refere ao estudo de populações, especialmente de animais silvestres, sujeitos ou não a processos de extinção, riscos de contaminação e epidemias em populações humanas ou de animais, permitindo a delimitação de território e o mapeamento dos habitats nas regiões estudadas.

Entretanto, algumas variáveis regem a precisão do sistema GPS a exemplo do tempo despendido nas medições, do tipo de receptor e posição relativa dos satélites. De posse dos dados

é possível conseguir uma precisão de centímetros nas medições utilizando a correção diferencial e ao mesmo tempo em que se consegue a posição em sistemas usuais de projeção cartográfica (latitude, longitude, UTM, etc) pode-se obter também as referências de altitude dos pontos estudados.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Estabelecer o contato com o aparelho de GPS, sua aplicação prática e técnicas de uso, efetuando, assim, uma análise acerca da correção diferencial no Sistema de Posicionamento Global (GPS).

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer o funcionamento do aparelho GPS;
- Coletar dados a partir de um receptor móvel, da estação base, de pontos de referência e do almanaque.
- Efetuar treinamento do uso do GPS na forma autônoma e diferencial;
- Conhecer a precisão do GPS e estabelecer comparações entre dados obtidos em campo e os dados corrigidos por diferentes estações base.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. HISTÓRICO

Inicialmente, para a navegação marítima foi desenvolvido um sistema composto de sinais de rádio denominado de Loran. Sua aplicação foi intensa nas regiões costeiras, entretanto, a impossibilidade de posicionamento e as interferências eletrônicas e variações de relevo promoviam uma acurácia limitada (MONICO, 2000).

No início da década de 1960, várias organizações governamentais norte-americanas, incluindo o Departamento de Defesa (DOD), a Administração Nacional de Aeronáutica e do Espaço (NASA) e o Departamento de Transportes (DOT), estavam interessados em desenvolver Sistemas de satélite para determinação da posição tridimensional. O melhor Sistema foi visto como tendo os seguintes atributos: cobertura global, tempo de operação contínua, capacidade de servir plataformas de alta dinâmica e alta precisão (KAPLAN & HEGARTY, 2005).

De acordo com Parkinson & Spilker (1996), com tecnologia – através de satélites artificiais – mais precisa, a navegação por sinais de rádio se tornaram possíveis, quando o Transit - o Sistema de Satélite de Navegação da Marinha dos EUA - abriu uma nova era na tecnologia de navegação. Originalmente desenvolvido para ajudar a navegação de submarinos americanos, o Transit rapidamente foi adotado extensivamente para navegação marinha comercial.

No entanto, este sistema possui seus satélites percorrendo uma órbita muito baixa e em número muito pequeno para permitir uma eficiente cobertura sobre o planeta. Diante de determinados obstáculos, sua aplicação se tornou restrita em alguns segmentos, como para a aviação (BIELENKI JÚNIOR, 2008).

Em busca de instrumentos de maior capacidade e precisão o Departamento de Defesa dos Estados Unidos desenvolveu um sistema de navegação com finalidades militares. De acordo com Rosa (2005), O NAVSTAR GPS (NAVSTAR GPS – *Sistema de Navegação com tempo e alcance e sistema de posicionamento global*) permite a qualquer usuário determinar a sua localização, velocidade e tempo, durante 24 horas por dia e em qualquer ponto do globo terrestre.



Dessa forma, devido à importância deste sistema, esta tecnologia tornou-se então disponível para uso civil, mas com determinadas restrições.

Atualmente existem dois sistemas GPS disponíveis para o uso no meio civil. Um deles conhecido como o já citado NAVSTAR e o outro conhecido como GLONASS que foi desenvolvido pela extinta União Soviética diante do cenário político mundial (BIELENKI JÚNIOR, 2008). A existência desses dois sistemas, com as mesmas finalidades, desenvolvidas pelas maiores potências militares permite afirmar que o GPS é uma tecnologia de guerra.

### 3.2. O SISTEMA NAVSTAR

O sistema GPS é composto de três segmentos: o espacial, de controle e de utilização.

#### **A) Segmento espacial**

De acordo com Monico (2001), o segmento espacial consiste de 24 satélites NAVSTAR, distribuídos em seis planos orbitais e em órbitas de vôo superior a 20.000 km da superfície terrestre. Nesta distância, cada satélite completa duas órbitas por dia a cada 12 horas. A distribuição dos mesmos no espaço permite que em qualquer lugar do mundo e a qualquer momento haja pelo menos quatro satélites disponíveis acima do plano do horizonte do usuário. Cada um dos satélites possui uma vida útil média de 7,5 anos, após a qual é substituído por um novo satélite. Cada satélite emite duas ondas portadoras de sinais de rádio geradas por um mesmo relógio. Os dois canais de frequência são modulados com código de posicionamento e comunicação. Os canais são chamados, respectivamente, de L1 e L2.

Dois códigos de posicionamento são transmitidos através do canal L1, o código C/A (course/acquisition) que é o código padrão do GPS, também chamado de código civil, e é transmitido a 1.023 MHz; e o código P (precise) ou código protegido, ou ainda código militar ou código Y. O canal L2 transmite o código P. Entretanto, os dois canais transportam mensagens que permitem conhecer as condições do satélite, os parâmetros orbitais e outros dados

necessários para se conhecer a exata posição dos satélites (PARKINSON & SPILKER, 1996, MONICO, 2000).

O uso das duas bandas, L1 e L2 e dos códigos por elas produzidos é conhecido como Serviço Preciso de Posicionamento – PPS, que só pode ser utilizado pelas forças armadas dos Estados Unidos e por seus aliados e o sinal livre para ser utilizado por civis o C/A é conhecido com Serviço de Posicionamento Padrão – SPS. Existem algumas diferenças entre ambos: o receptor PPS é especificado para fornecer uma precisão previsível de pelo menos 22m no plano horizontal e 27,7m no plano vertical em 95% do tempo, enquanto que o receptor de SPS é especificado para fornecer precisões superiores a 13m (95%) no plano horizontal e 22m (95%) no plano vertical (média global, apenas erros de sinal no espaço) (KAPLAN, E. & HEGARTY, 2005; PARKINSON & SPILKER, 1996).

### **B) Segmento de controle**

O segmento de controle é composto de cinco estações terrestres, sendo uma principal (Colorado Springs, U.S. A) e quatro secundárias (Havaí, Ilha de Ascensão (Atlântico Sul), Diego Garcia (Oceano Índico) e Kwajalein (no Pacífico)), todas distribuídas ao longo da linha do Equador, atuando no monitoramento contínuo dos dados das órbitas dos satélites, identificação de possíveis defeitos e acertos dos relógios atômicos dos satélites e sob o gerenciamento do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (ROSA, 2005).

De acordo com Bielenki Júnior (2008), algumas funções são dadas as estações de controle como: Verificação do funcionamento dos satélites, sincronização dos relógios dos satélites e correção de órbitas.

### **C) Segmento de usuário**

O segmento de usuário é formado pelos receptores GPS, que pode ser dividida em civil e militar e classificados de acordo com a sua aplicação, como: receptor de navegação, geodésico, para SIG – Sistemas de Informações Geográficas e de aquisição de tempo, entre outras

classificações (MONICO, 2001). A função desses receptores é captar os sinais de rádio transmitidos pelos satélites, decodificá-los e através de cálculos, determinar a posição onde o usuário se encontra (BIELENKI JÚNIOR, 2008).

Os usuários consistem no uso em aviões, navios, veículos terrestres e pessoas equipadas com receptores GPS. Como mostra o resumo na tabela abaixo (tabela 1), de posse desse sistema os usuários podem determinar suas posições em tempo real com uma determinada precisão, mas com maior tempo e mais tomadas de dados é possível diminuir o erro e a precisão tende a aumentar. Na utilização do código C/A a posição pode ser determinada com uma precisão de 2 metros através do pós-processamento dos dados de dois ou mais receptores operando simultaneamente (BERNARDI & LADIM, 2002; ROSA, 2005). Esta operação é chamada de correção diferencial, diferente da operação autônoma que utiliza apenas um receptor.

**Tabela 1** - Precisão em relação aos dados e técnicas utilizados.

<b>DADOS OBTIDOS</b>	<b>PRECISÃO (m)</b>
Posicionamento em Tempo Real	Superior a 13
Mais tomadas de dados e com mais tempo	Até 10
Pós-processamento de dados	Aprox. 2

### 3.3 - O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

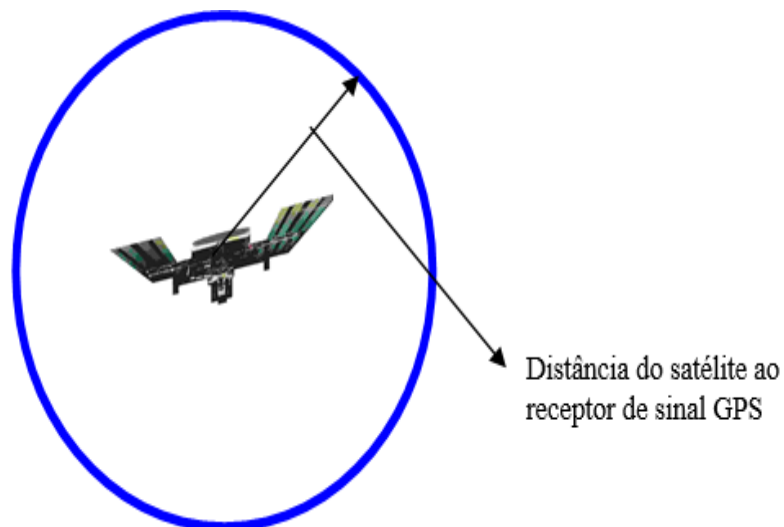
Segundo Rosa (2005) e Franco (2009), para que seja feito o cálculo da posição geográfica, o receptor de sinal GPS precisa determinar com precisão, a distância que ele se encontra dos satélites por ele captados em um dado momento. Cada satélite envia continuamente sinais contendo sua posição e juntamente com eles uma medida de tempo. O receptor do usuário mede o tempo para que o sinal percorra a distância entre o satélite e a antena. Para esse cálculo é utilizada a constante da velocidade da luz “c” e o receptor mede o tempo “t” que o sinal levou para chegar até ele e calcula assim a distância “d” ao satélite, pela equação seguinte:

$$D = c \cdot t$$

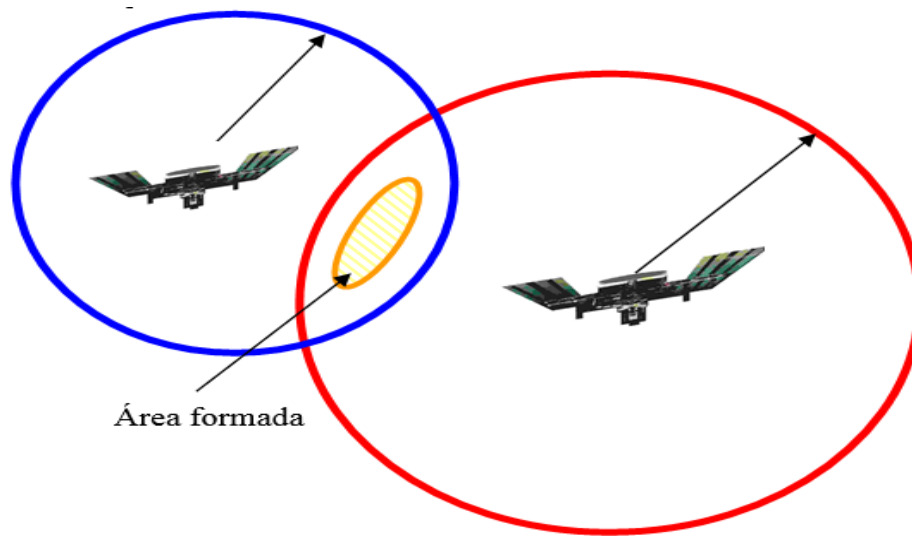
Onde: d = distância do receptor até o satélite  
 c = velocidade do sinal (velocidade da luz)  
 t = tempo percorrido pelo sinal.

Apesar de aparentemente simples, existe a problemática do cálculo do tempo em que o sinal levou para deixar o satélite até ser captado pelo receptor do usuário. Para solucionar esta questão, o receptor de sinais GPS, emite continuamente os mesmos códigos transmitidos pelos satélites. Desta forma, sincronizando a comunicação entre satélites e receptores, o receptor ao receber um determinado sinal transmitido pelo satélite, calcula há quanto tempo atrás esse mesmo sinal foi gerado por ele (PARKINSON & SPILKER, 1996).

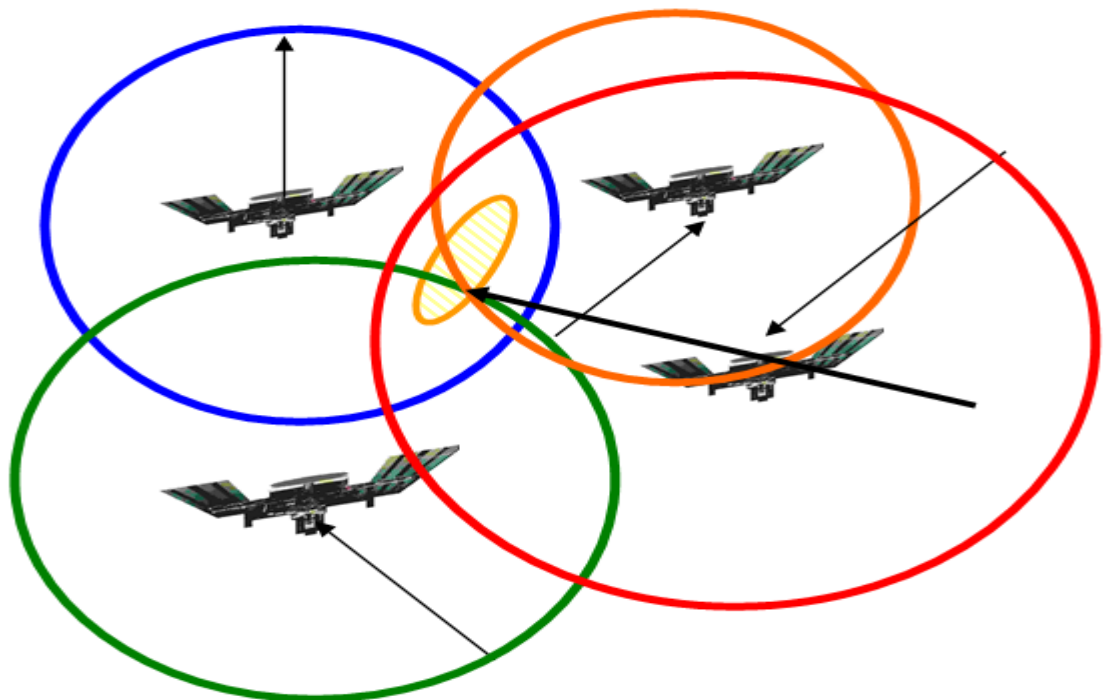
Após a solução das incógnitas do Tempo e da Velocidade, obtém-se a distância que o satélite se encontra do receptor e através de cálculos de trilateração envolvendo conceitos de geometria esférica, o equipamento obtém a posição geográfica. Se a distância do satélite ao receptor é conhecida e a localização do satélite também o é, então o receptor está em algum lugar numa esfera (superfície da Terra) cujo centro é o satélite (figura 01). O procedimento é repetido para cada um dos satélites que o receptor capta (figuras 2, 3, e 4). Finalmente, o receptor determina o local em que as esferas se cruzam no espaço. O encontro de duas esferas determina um círculo; três esferas determinam dois pontos e quatro determinam apenas um ponto e o receptor tem então sua posição geográfica determinada. Por isso a necessidade da presença de no mínimo quatro satélites para uma leitura completa de x, y, z e tempo (ROSA, 2005; FRANCO, 2009).



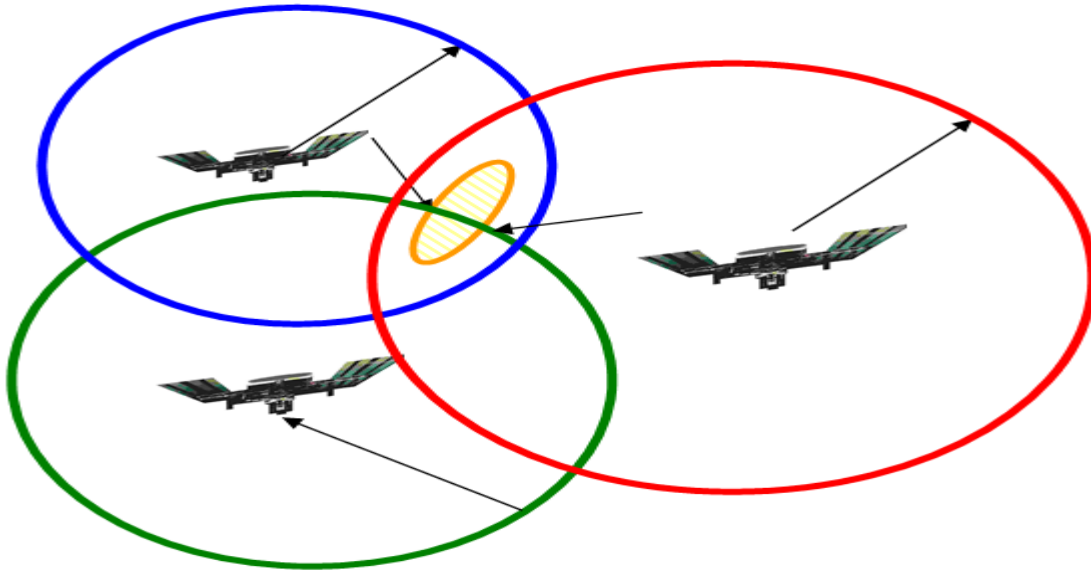
**Figura 1** – Representação da esfera formada pela órbita do satélite. A distância entre o satélite e o receptor. Com apenas um satélite a posição está em algum lugar na superfície da Terra.



**Figura 2** – Quando o receptor GPS capta dois satélites, forma uma área dentro da qual a posição pode estar localizada em qualquer ponto. Com dois satélites, a posição fica restrita a área de interseção das duas esferas.



**Figura 3** - Com três satélites tem-se a posição em apenas duas dimensões X e Y. Um terceiro satélite restringe a posição entre dois **dois pontos**. A definição de qual dos dois pontos representa a posição correta é definida por um quarto satélite.



**Figura 4** - Determinação da posição correta quando o receptor capta no mínimo 4 satélites.

### 3.4. PRECISÃO DO POSICIONAMENTO

A principal fonte de erro na precisão do posicionamento dado pelo GPS até pouco tempo atrás era denominada de “Erro devido à Disponibilidade Seletiva” (SA – Selective Availability). Esse erro foi eliminado do sistema pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, desde meio de 2000, e tratava-se de um erro induzido e aleatório que era colocado no sistema para limitar o uso do GPS. Com a limitação da SA, o erro médio do posicionamento que antes era da ordem de 50 a 100 metros, agora apresenta precisão acima de 13 metros, como já citado. No entanto outros erros ainda existem devido a outros fatores. Dessa forma, a precisão de uma posição fornecida pelo GPS pode vir a variar de 1 cm até mais de metros a depender do equipamento, tipo de processamento utilizado e conhecimento do usuário sobre a operação do sistema (STABILE & BALASTREIRE, 2006; De AGUIAR & CAMARGO, 2006 *apud* CAMARGO, 1999).

As coordenadas horizontais (X e Y) calculadas pelo GPS são de duas a cinco vezes mais precisas que a coordenada vertical (Z) (BIELENKI JÚNIOR, 2008; MONICO, 2001). Ou seja, supondo-se que em um levantamento a precisão horizontal esteja na ordem de 1 cm, a medida vertical será da ordem de 2 a 5 cm. Trata-se, portanto de um fator importante, uma vez que se o

mapeamento estiver sendo realizado com uma precisão horizontal de 2 a 5 metros, o erro na vertical será da ordem de dezenas de metros.

É importante para a averiguação da precisão a utilização da análise estatística a exemplo de cálculos de média e desvio padrão de cada medição. Segundo as recomendações estatísticas, devem-se rejeitar dados com valor maior que 2,5 de desvio padrão. Estudos relacionados ao posicionamento com receptores GPS, geralmente, maior será a precisão das coordenadas do ponto obtido quanto maior for o número de satélites captados no horizonte da antena receptora (FRANCO, 2009).

### 3.5. FATORES QUE INTERFEREM NA PRECISÃO DO POSICIONAMENTO

Para os autores, Kaplan & Hegarty (2006); Bernardi & Ladim (2002); Franco (2009); Parkinson & Spilker (1996), os principais erros nas observações com receptor GPS são (tabela 2):

#### **A) Erros nos relógios do satélite e do receptor**

O sistema GPS baseia-se na medida de tempo que um sinal leva para sair do satélite e chegar ao receptor. Os satélites possuem relógios atômicos, muito precisos e caros demais para serem colocados nos receptores GPS dos usuários. Um dos erros mais comuns no posicionamento é oriundo de uma pequena defasagem entre os relógios dos satélites e dos receptores. Normalmente, os receptores quando captam no mínimo quatro satélites, conseguem eliminar o erro do relógio através de processos internos.

#### **B) Órbita dos satélites**

Os satélites podem sofrer interferência de fenômenos naturais como forças gravitacionais originárias da lua e do sol, além da pressão da radiação solar, criando pequenos desvios nas suas órbitas e alterando com isso a sua posição,

altitude e velocidade. Com o passar do tempo esses erros podem vir a se acumular e se tornar significativo. A cada 12 horas a órbita dos satélites é rastreada e corrigida pela estação de controle. Mesmo assim ainda existe um erro médio de 0,6 metros.

### **C) Interferências atmosféricas**

A atmosfera interfere na transmissão de sinais para os satélites e destes para os receptores. A presença de vapores de água na troposfera e de íons na ionosfera, além dos gases e aerossóis pode vir a atrasar a propagação dos sinais ou até mesmo enfraquecê-los, resultando em erros no cálculo da distância entre o receptor e o satélite. Alguns equipamentos possuem recursos para corrigir ou reduzir esse tipo de erro.

### **D) Multicaminhamento**

Este erro é gerado por uma sobreposição de sinais, estando um deles com atraso, ou seja, quando o sinal enviado para o receptor é bloqueado e o sinal do satélite é refletido por algum objeto. Geralmente isto ocorre quando da operação em áreas próximas a grandes superfícies líquidas a exemplo de lagos e represas, superfícies metálicas ou sólidas, que venham a causar a reflexão do sinal enviado pelo satélite. Neste caso, o sinal que chega do satélite atinge a antena do receptor, mas uma parte deste pode ser refletida em alguma construção ou mesmo barreiras naturais e reincidir na antena, atrasando o percurso direto realizado pelo sinal e gerando erros quanto a posição, tempo e velocidade. Algumas de técnicas podem reduzir este erro, como a localização da antena e mesmo a remoção ou modificação de estruturas reflectoras na vizinhança da antena.



### E) Geometria dos satélites

A precisão do GPS depende da geometria dos satélites visados pela antena, ou seja, da forma em que eles se encontram no espaço na hora da tomada de dados. A geometria ideal pode ser definida a partir da igual distribuição de um grupo de satélites bem espaçados na calota acima do receptor. A boa distribuição facilita a interseção das esferas orbitais permitindo o cálculo da posição. A geometria é dita ruim quando os satélites estão muito próximos uns dos outros.

**Tabela 2** - Erros gerados no GPS Padrão.

<b>Segmento</b>	<b>Tipo de Erro</b>	<b>Erro (m)</b>
Espaço / controle	Relógios	1.1
	Geometria dos Satélites	0.8
Usuário	Interferências atmosféricas	7.2
	Multicaminhamento	0.2

### 3.6. QUANTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA GEOMETRIA DOS SATÉLITES

A eficiente coleta de dados através dos receptores GPS depende de um conjunto de fatores. Tanto o número de satélites na constelação como a posição relativa de cada um em relação a outros afetam a precisão da posição. Quatro satélites são necessários, como já foi visto, para a posição 3D (latitude, longitude, altitude e tempo), enquanto que três são necessários para o posicionamento 2D (latitude, longitude e tempo).

Embora se possam coletar dados em três dimensões (3D) quando quatro satélites são visíveis, aconselha-se ter cinco ou mais satélites visíveis durante a coleta de dados. Estes outros satélites asseguram que a posição em três dimensões seja coletada mesmo se o sinal de um dos quatro satélites originais se perca durante a leitura (FRANCO, 2009; MONACO, 2000).

Segundo Stabile & Balastreire (2006), os receptores fornecem informações sobre a posição dos satélites em órbita através do almanaque, e o programa calcula a qualidade do sinal. Este indicador é chamado de diluição de precisão (DOP). O DOP consiste no resultado da posição relativa da localização de cada satélite em relação com os demais, na constelação (geometria da constelação), estimando a precisão das posições obtidas com aquela constelação (NEBYLOV & WATSON, 2016). De acordo com De Oliveira e Saraiva (2012) Um valor baixo de DOP indica alta probabilidade na precisão dos resultados e um valor alto, pouca precisão.

Os receptores calculam vários DOP's sendo o PDOP (Position Dilution of Precision) ou diluição de precisão na posição, o mais importante e o mais usado. O PDOP é o resultado de outros dois DOP's, o HDOP (Horizontal Dilution of Precision) ou diluição de precisão nas medições horizontais (latitude e longitude) e o VDOP (Vertical Dilution on Precision) ou diluição na precisão das medições de altitude (KAPLAN & HEGARTY, 2006; PARKINSON & SPILKER, 1996).

O valor de PDOP inferior a quatro produz bons resultados. Valores de cinco a oito obtêm-se resultados aceitáveis e acima de nove, resultado ruim. Alguns aparelhos ao se estabelecer o valor máximo de PDOP, pode-se estar fixando precisão na coleta de dados georeferenciados. Os receptores GPS selecionarão automaticamente os três ou quatro satélites que apresentarão o menor PDOP no ponto de coleta. Existe ainda o TDOP que é um índice relativo à diluição de precisão no tempo. Vale a pena destacar que o PDOP não deve ser tomado como uma medida da precisão de um valor, mas sim, como indicador relativo da precisão ou como um sinal de alerta para problemas com os dados quando o valor do PDOP for superior a 4. A precisão da determinação das coordenadas espaciais depende muito da configuração geométrica dos quatro satélites específicos usados na determinação. Um parâmetro chamado diluição geométrica da precisão (GDOP) é definido e reflete a dependência na configuração dos satélites. Este parâmetro (GDOP) age como um multiplicador para medir os efeitos de todas outras fontes de erro na determinação das posições (KAPLAN & HEGARTY, 2006; PARKINSON & SPILKER, 1996).

Todos os erros reduzem a precisão do GPS. Essa precisão não é suficiente para sua aplicação em algumas áreas de conhecimento, a exemplo do seu emprego na agricultura de

precisão, nem para mapeamentos que exigem maior precisão, como por exemplo: medição de área de talhão, mapeamento de rodovias, estradas, etc. Com isso, tornou-se necessário o estudo de um método de correção que melhorasse a acurácia do equipamento. O método desenvolvido é denominado de correção diferencial e tem se mostrado de grande eficiência na correção dos dados de campo (KAPLAN & HEGARTY, 2006; ROSA, 2005; ANGULO FILHO, 2001; MONICO, 2000; PARKINSON & SPILKER, 1996).

### 3.6. A TÉCNICA GPS

O GPS pode ser utilizado do modo autônomo / isolado e no modo diferencial / relativo. No modo autônomo, o portador se move em uma região utilizando apenas um receptor padrão que o informa sobre a sua posição com a precisão definida de acordo com as possibilidades do seu aparelho (TIMBÓ, 2000).

De acordo com os trabalhos elaborados pelos seguintes autores: Stabile & Balastreire (2006); Kaplan & Hegarty, (2006); Rosa, (2005); Angulo Filho, (2001); Monico, (2000); Reid, (1998), Parkinson & Spilker, (1996), destacam-se que para conseguir uma melhoria substancial na precisão dos levantamentos pode-se empregar a técnica da correção diferencial. Essa correção reduz consideravelmente ou elimina as maiores fontes de erros encontrados em GPS comuns. Existem vários tipos de técnicas DGPS, e, dependendo da aplicação, o usuário pode obter precisões que vão de metros a milímetros. Alguns sistemas DGPS fornecem serviços em uma área local (10-200 km) de uma única estação de referência, enquanto outros servem um continente inteiro. Esta correção é válida para qualquer atividade que permita o pós-processamento dos dados como levantamentos cartográficos e topográficos e até mesmo produção de mapas de colheita.

O modo diferencial é baseado na suposição que o erro de determinação de um ponto é semelhante para todos os receptores que operam em uma área ampla de até algumas centenas de quilômetros de raio. Neste caso é necessário um receptor fixo de referência, cuja posição se conhece com precisão. Este receptor é, em grau de valor, a diferença entre a sua posição estimada

através do sistema GPS e a posição real. Para a correção diferencial algumas condições devem ser cumpridas.

- a) A estação base não pode estar muito longe da área de levantamento ou do receptor móvel, de modo que a constelação de satélite utilizada seja a mesma para os dois registros. Existem muitas controvérsias quando aos limites dessa distância. Alguns autores apontam até 200 km da estação base, como o mais recomendado.
- b) A estação base deve estar localizada em um local em que as coordenadas cartográficas sejam conhecidas e precisa. Se houver um erro de localização da estação base este erro será imediatamente transferido ao erro da estação móvel quando na correção diferencial dos dados coletados.
- c) Os dados obtidos pelas duas estações (móveis e fixas) devem ser do mesmo formato, para que o processamento adicione ganhos de precisão de outra forma existem formatos de transferência entre diferentes modelos (RINER).
- d) O usuário deve possuir software adequado ao pós-processamento.

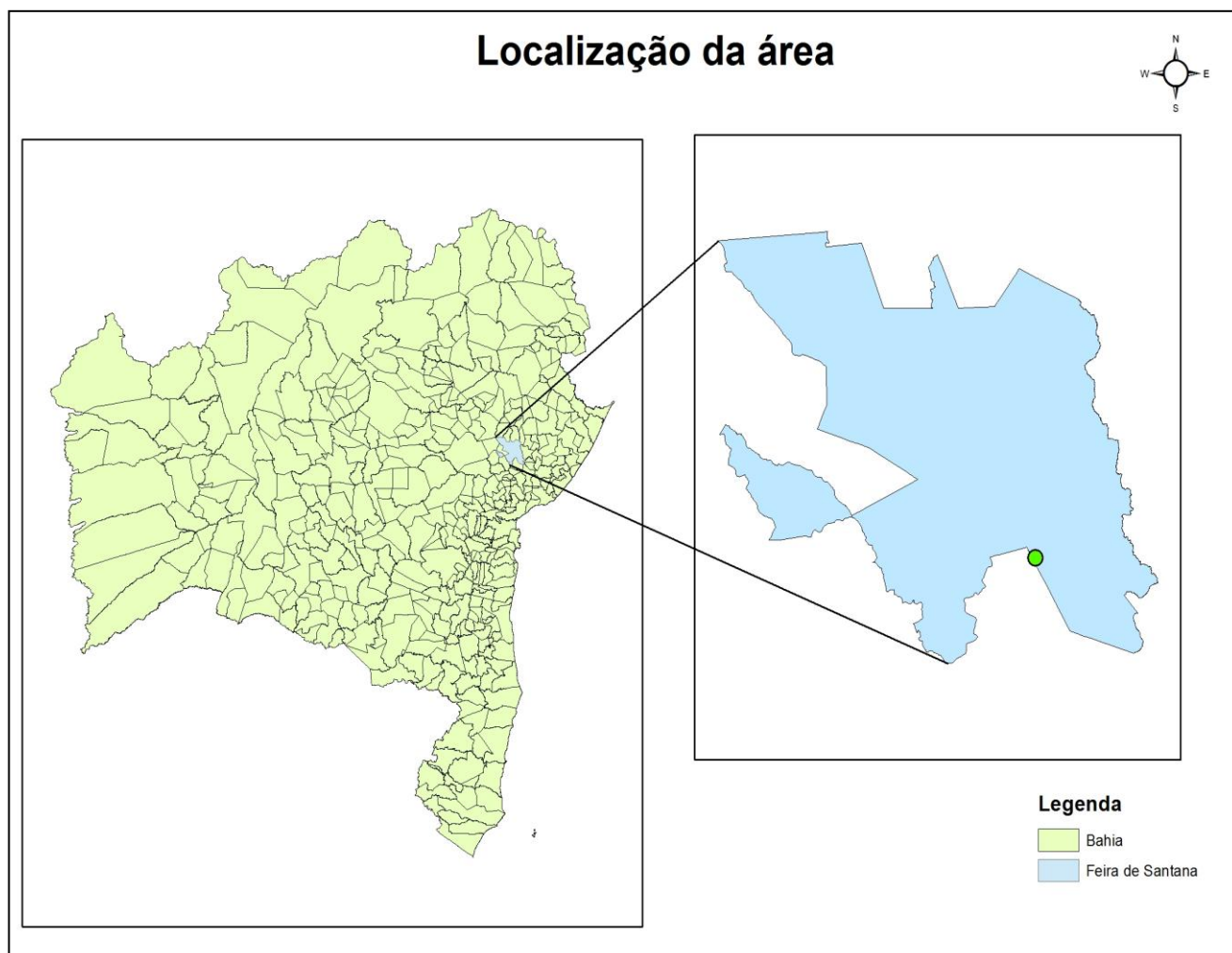
Alguns órgãos públicos no país e algumas empresas privadas disponibilizam o serviço de estação base. Como exemplo, encontram-se o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, no qual ambas fornecem acesso gratuito dos dados

A empresa Santiago & Cintra também disponibiliza seus dados para os clientes cadastrados na empresa os dados da sua base fixa, que podem ser utilizados para as correções diferenciais pós-processada.

## 4 – METODOLOGIA

### 4.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido no Sítio Nova Esperança, localizado no município de Feira de Santana, Estado da Bahia, cujas coordenadas geográficas são de 12° 18'42'' de latitude sul e 38°56'48'' de longitude oeste e altitude média de 615m (Figura 5).



**Figura 5** – Localização da área de estudo.

## 4.2 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

A área apresenta condições de ausência de cobertura vegetal significativa e outras obstruções. Assim, foi demarcada para estudo uma área correspondente a 1543,75 m<sup>2</sup> de dimensão.



**Figura 6** - Área demarcada para estudo.

## 4.3 – EQUIPAMENTOS

Antes da ida a área em estudo, fez-se no o planejamento da missão, com a atualização do almanaque via software da Trimble, e foi verificada a situação dos satélites disponíveis sobre a área a ser estudada (PDOP, VDOP, HDOP, TDOP), com vistas à indicação de intervalos tempo em que a disposição dos satélites se encontrava com valores menores de 4 assegurando uma certa acurácia na tomada de dados em campo.

Utilizou-se uma trena para a obtenção de dados reais de campo através da medição da área em estudo, com vistas à comparação com dados coletados com o aparelho GPS.

Para diferentes tomadas de dados da mesma área anteriormente delimitada, procedeu-se com o uso do aparelho GPS Trimble GeoExplorer XH 2005 (figura 07).



**Figura 7** – Modelo do aparelho GPS utilizado.

Para os procedimentos realizados após obtenção de dados em campo, foi utilizado o software *PathFINDER Office*, para realizar a operação de pós-processamento de dados. Este programa permite a integração entre os dados da estação base com os obtidos pelo receptor do usuário em campo e determinar a correção diferencial (DGPS). Posteriormente, os dados foram exportados para o *ArcMap 10.1* para confecção dos mapas e no *Excel 2016* para elaboração das planilhas e gráficos.

#### 4.4 – LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

Primeiramente, a área foi demarcada com quatro vértices utilizando estacas e utilizando a trena para a medição da área. Em seguida, foi realizado a tomada de dados por área - o aparelho GPS foi configurado para a tomada de dados por área. Neste modo de atuação, o GPS obtém os pontos de localização e fecha a área levantada formando uma figura geométrica (figura 08). Para este estudo, optou-se pelo modo semicinemático – no qual o receptor coleta os dados enquanto o operador se desloca, determinando uma trajetória já demarcada.



**Figura 8** - Figura geométrica obtida na tomada de dados por área.

Tomada de dados por ponto – o aparelho GPS foi configurado para a tomada de dados por ponto. Nesta configuração o aparelho coleta apenas as coordenadas nos pontos equivalentes aos vértices da área em questão, mas não fecha área. O fechamento da área pode ser feito utilizando softwares a exemplo do CAD (figura 09). Para este segundo procedimento, adotou-se o modo semicinemático (*Stop and Go*) – no qual o receptor não coleta dados durante o descolamento, mas sim, quando estiver estático e por um determinado tempo. Dessa forma, os pontos foram obtidos entre 5 - 10 minutos em cada vértice, sem utilizar tripé.



**Figura 9** – Pontos levantados nos vértices da área.

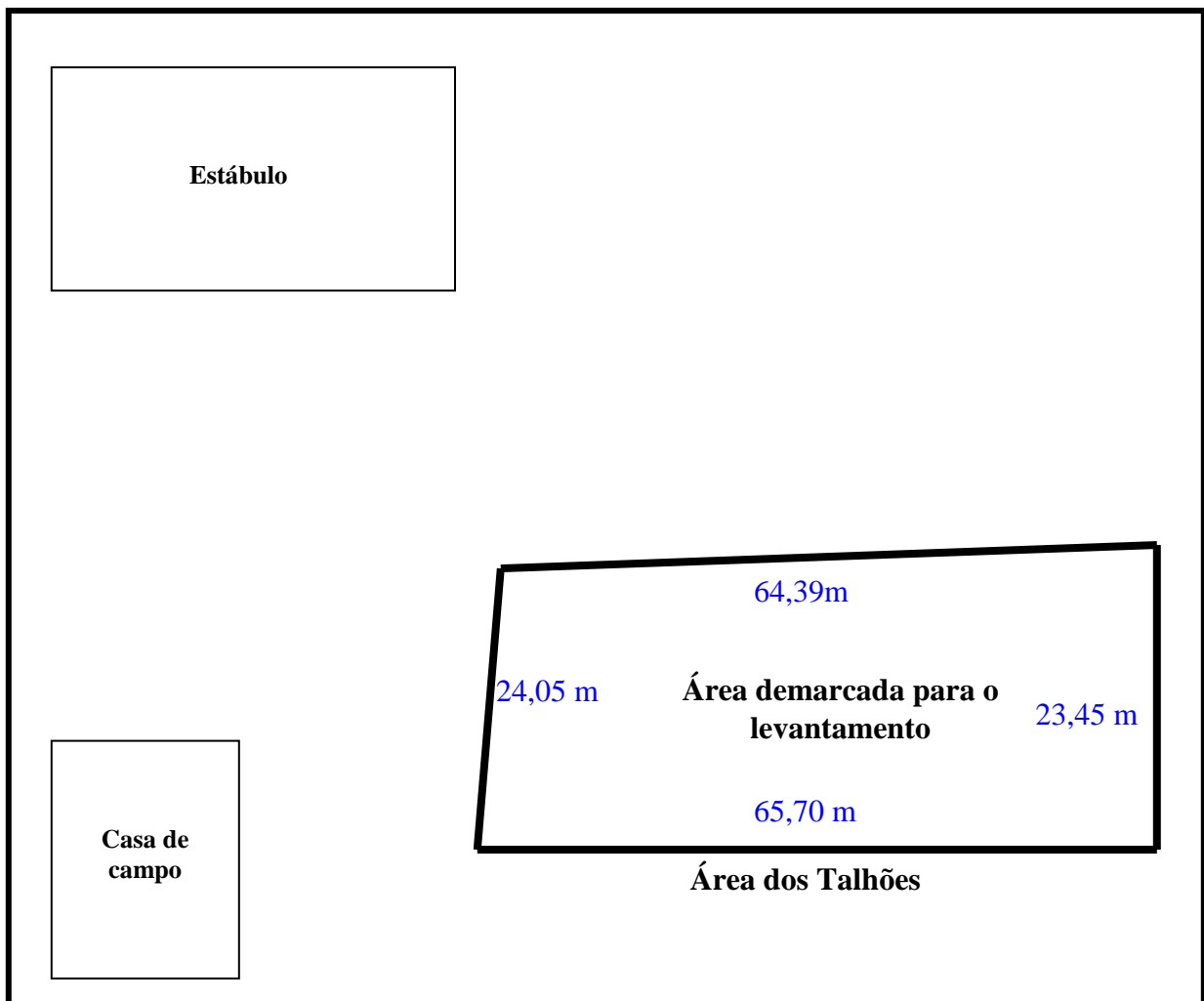


Tomada de dados por linha – o aparelho GPS, configurado para a tomada de dados em linha, acompanhou a face inferior perpendicular a direção à inclinação (lado maior do retângulo) traçando uma linha (figura 10). Seguiu-se com o mesmo modo utilizado na tomada de dados por área.



**Figura 10** – Linha obtida na parte inferior da área

#### 4.5 - CROQUI DE CAMPO



#### 4.6 - INFORMAÇÕES DAS ESTAÇÕES BASE UTILIZADAS PARA A CORREÇÃO DOS DADOS

##### **A) Estação Base Gps – IBGE SALVADOR – CAPITANIA DOS PORTOS**

- Latitude: -12°58'30,5697”
- Longitude: -38°30' 59,3447”
- Datum: SIRGAS2000
- Altitude: -2,091 m

##### **B) Estação Base Gps – INCRA- SALVADOR**

- Latitude: -12°56'21,2886”
- Longitude: -38°25'56,1134”
- Datum: SIRGAS2000
- Altitude: 76,320 m
- Tipo do Receptor: Trimble NETR5
- Tipo de Antena: ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2

##### **C) Estação Base Gps – SANTIAGO & CINTRA – FEIRA DE SANTANA**

- Latitude 12°14'21,2494”
- Longitude 38°58'47,2268”
- Datum: SIRGAS2000
- Altitude: 229,039 m



**Figura 11** - Estação Base localizada no Observatório Antares. Fonte: IBGE.

#### 4.7 – DADOS DO ALMANAQUE OBTIDOS QUANDO DO PLANEJAMENTO DA MISSÃO

Com base nos gráficos apresentados (figuras 12 e 13), constatou-se que durante o dia 27 de março, dia da tomada de dados em campo, a diluição de precisão (DOP) relativa à localização de cada satélite em relação com os demais, na constelação (geometria da constelação) se encontrava com valor baixo de DOP (abaixo do valor 4) indicando alta probabilidade na precisão dos resultados no intervalo de 8:30 às 19:30 horas aproximadamente. O valor de HDOP foi menor que dois, VDOP de 2 a 3, GDOP menor que 4 e TDOP menor que dois. Dessa forma, a coleta de dados foi realizada entre 9:30 e 16:00 horas.

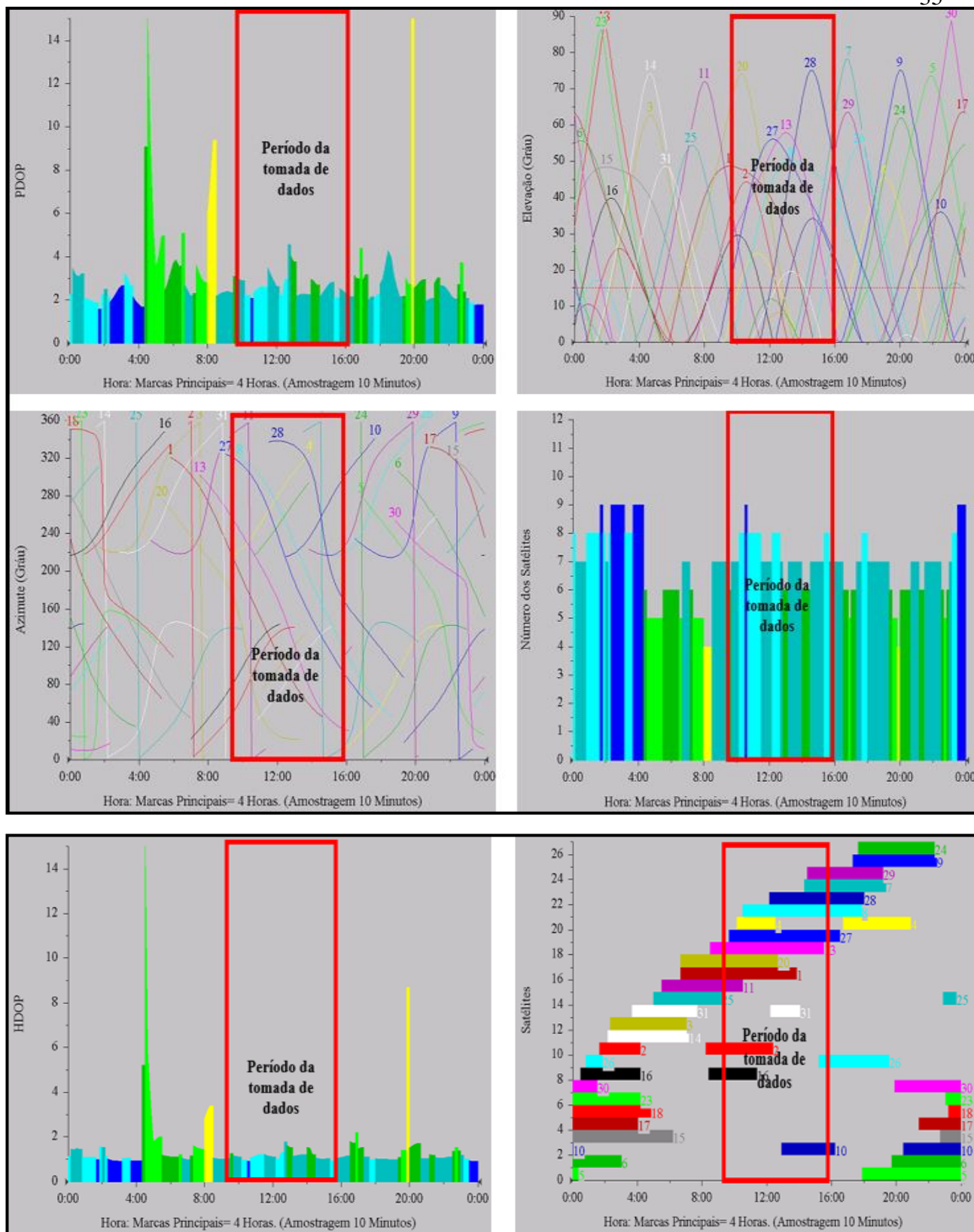
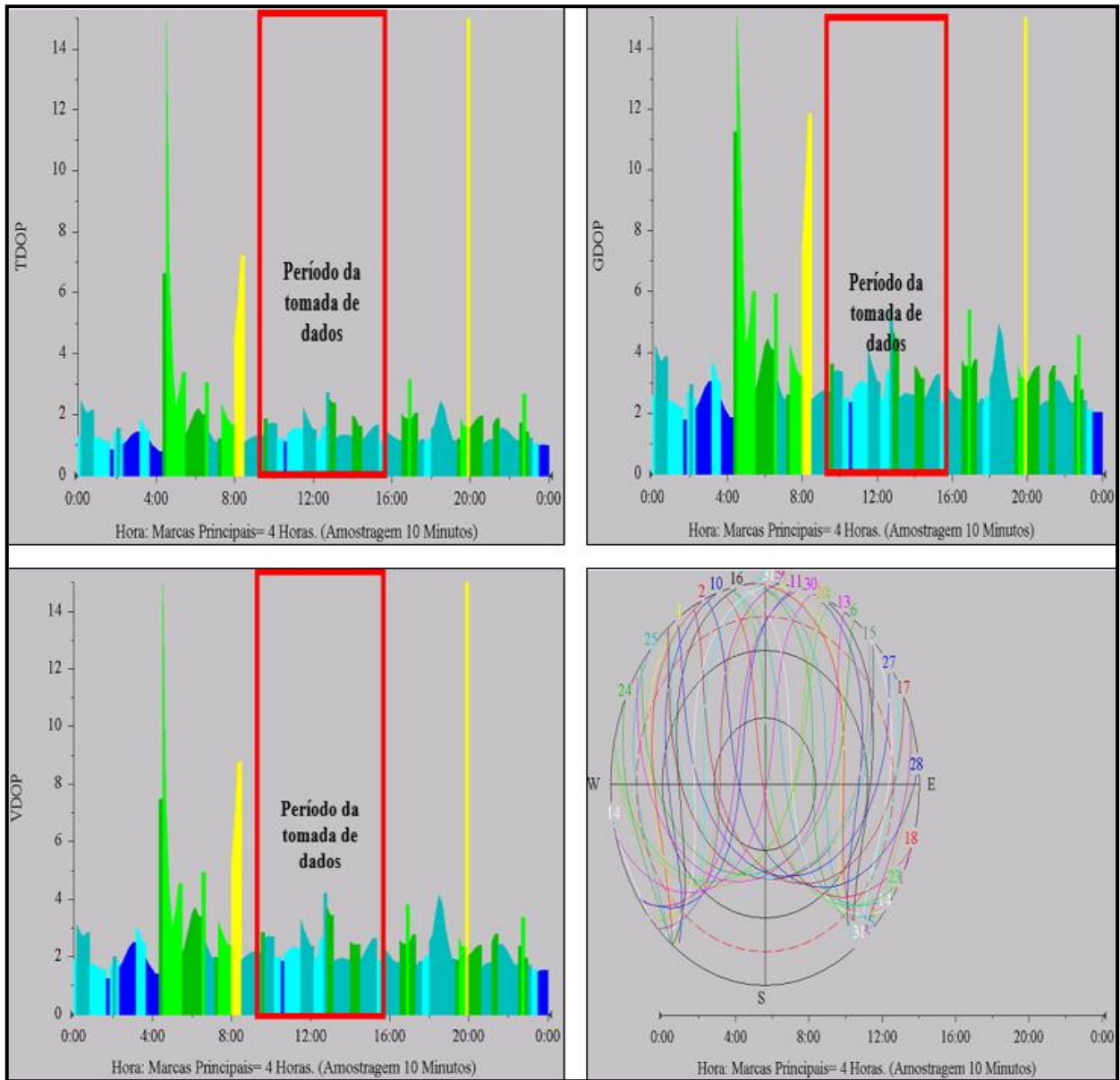


Figura 12 - Gráficos gerados pelo almanaque contendo os índices e o período da tomada de dados.



**Figura 13 - Gráficos contendo os índices e distribuição dos satélites durante o dia da tomada de dados.**

## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

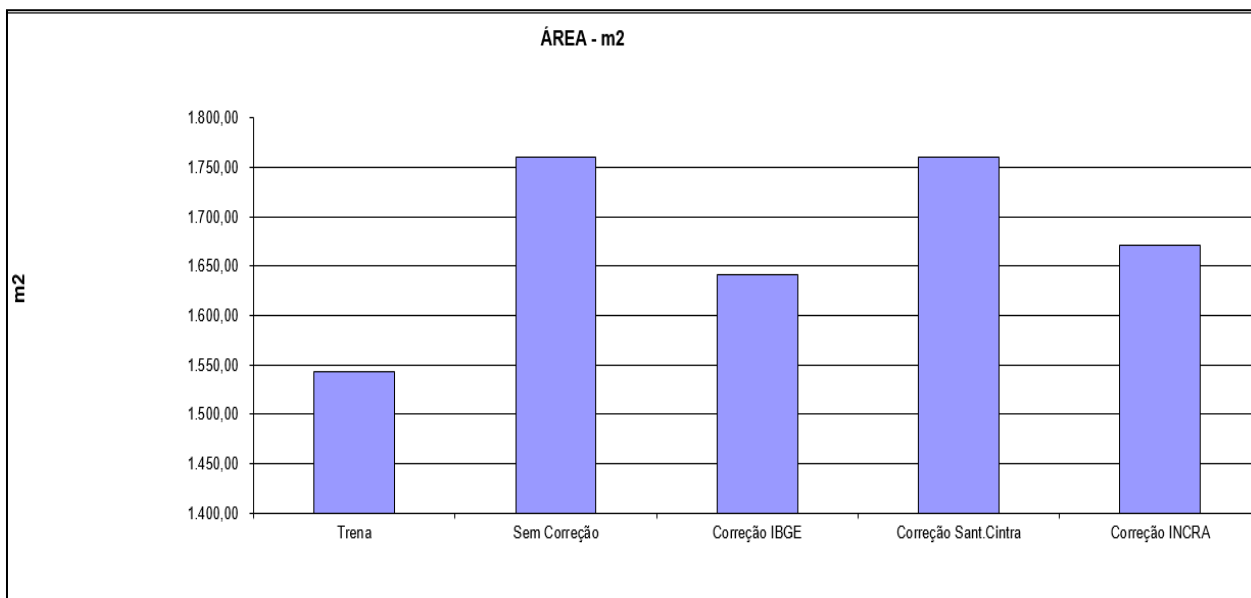
### 5.1 – ÁREAS E PERÍMETROS

As figuras 14 a 15 indicam que as medidas de área para os dados sem correção e com correção Santiago & Cintra apresentaram valores maiores (tabela 03). A correção pelo IBGE apresentou valores intermediários juntamente com a correção INCRA. É interessante observar que a estação mais próxima (Santiago & Cintra) da área trabalhada apresentou valor semelhante aos valores obtidos pelo aparelho GPS sem correção.

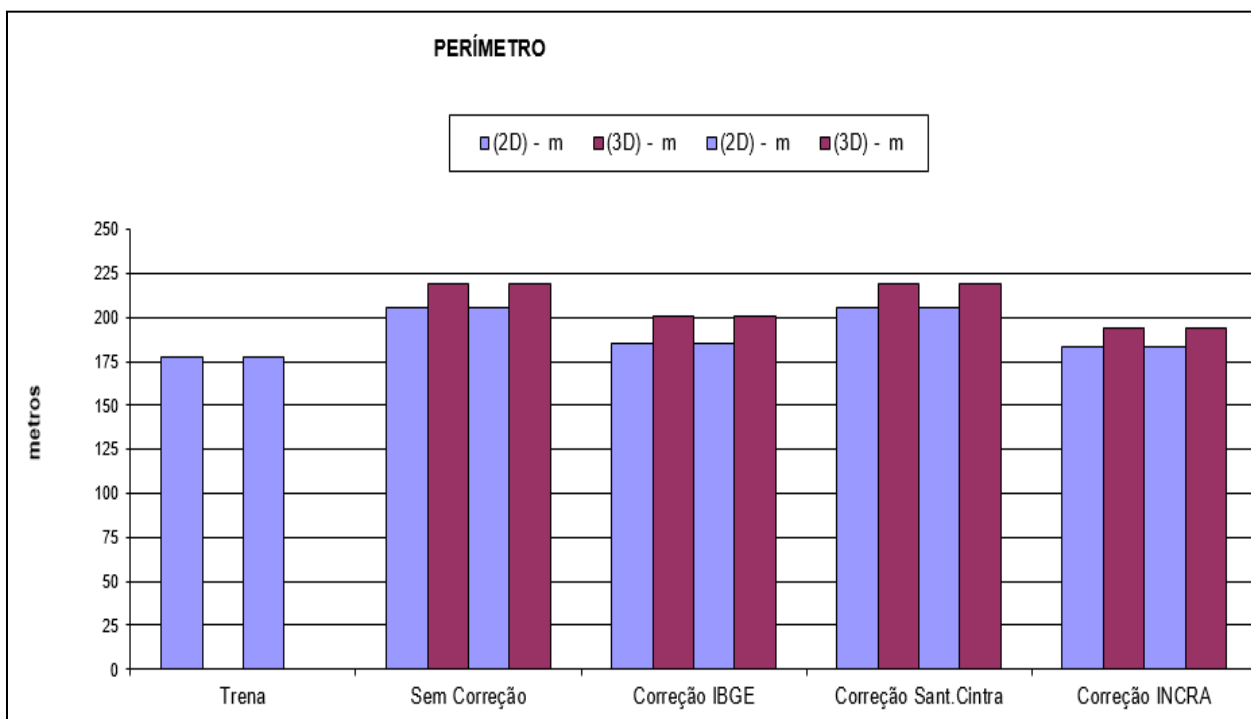
Todos os valores se apresentaram superiores àqueles obtidos pela medição em campo com a trena. Possivelmente, a diferença entre os valores do GPS e da trena são diferentes devido ao fato desta ser feita em linha reta enquanto que o GPS admite todas as curvas do terreno. Considerando as melhores correções são feitas com estações base mais próximas e ainda que a área trabalhada é uma área pequena, a estação IBGE foi a que mais se aproximou da medida da trena, caracterizando maior precisão.

**Tabela 3** - Análise comparativa dos dados obtidos para áreas e perímetros.

<b>GPS-GRÁFICOS</b>					
<b>ÁREAS</b>					
	<b>Trena</b>	<b>Sem Correção</b>	<b>Correção IBGE</b>	<b>Correção Sant.Cintra</b>	<b>Correção INCRA</b>
Área (2D)m <sup>2</sup>	1.543,75	1.760,65	1.641,93	1.760,65	1.670,81
<b>PERÍMETROS</b>					
	<b>Trena</b>	<b>Sem Correção</b>	<b>Correção IBGE</b>	<b>Correção Sant.Cintra</b>	<b>Correção INCRA</b>
(2D) - m	177,5	205,80	185,70	205,80	183,80
(3D) - m		219,00	201,10	219,00	194,30

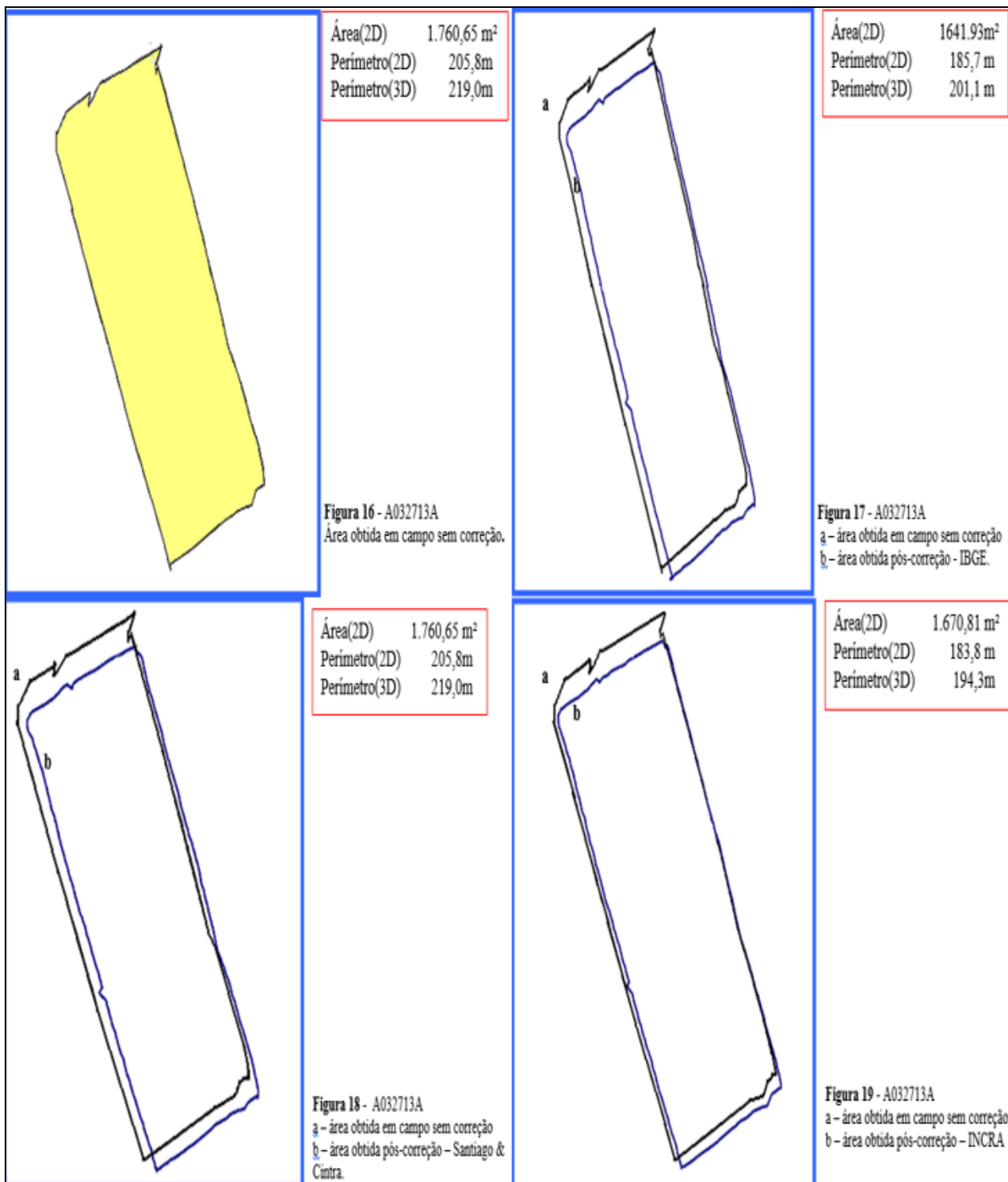


**Figura 14** - Análise comparativa da área para diferentes tratamentos de dados.



**Figura 15** - Análise comparativa dos perímetros das áreas trabalhadas para diferentes tratamentos de dados.

## A) Plantas



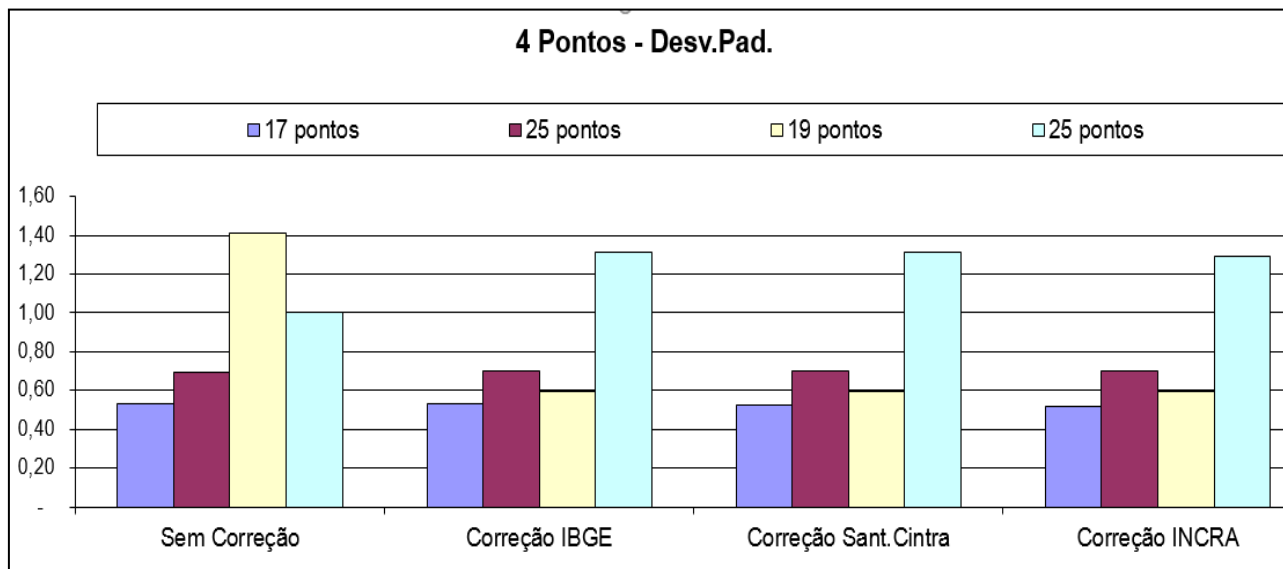


## B) Pontos

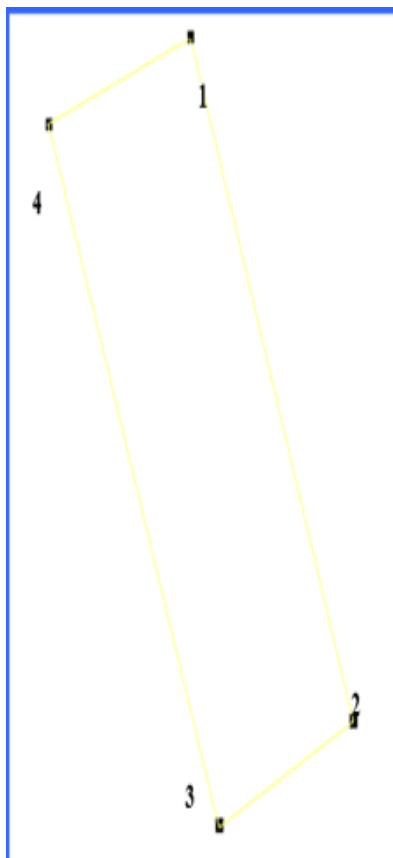
A tabela 04 apresenta os valores médios de desvio padrão para os pontos vértices da área sem correção e com a correção das estações base utilizadas. Verifica-se que todos os valores do desvio padrão estiveram menores que 2,5, o que segundo critério adotado com base em recomendações estatísticas, é um valor admitido como dentro dos limites. Todos os pontos corrigidos pelas estações base se apresentaram com valores semelhantes àquele sem correção, com exceção do ponto nº 3. Tal fato pode ser decorrente de algum erro na tomada de dados em campo. Para este parâmetro todas as estações base apresentaram resultados com precisão semelhante (figuras 20 a 24).

**Tabela 4** - Análise comparativa dos dados obtidos para pontos – desvio padrão.

<b>PONTOS ( 4 ) - Desvio Padrão</b>					
		<b>Sem Correção</b>	<b>Correção IBGE</b>	<b>Correção Sant.Cintra</b>	<b>Correção INCRA</b>
<b>Nº1</b>	<b>17 pontos</b>	0,53	0,53	0,53	0,52
<b>Nº2</b>	<b>25 pontos</b>	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Nº3</b>	<b>19 pontos</b>	1,41	0,60	0,60	0,60
<b>Nº4</b>	<b>25 pontos</b>	1,00	1,31	1,31	1,29

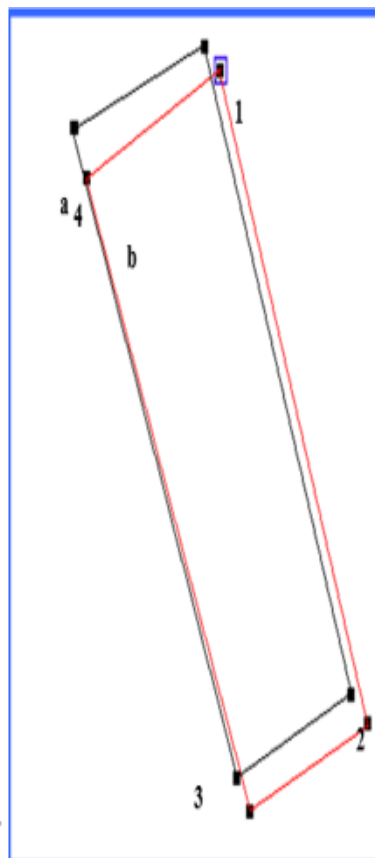


**Figura 20** - Análise comparativa do desvio padrão dos pontos para diferentes tratamentos.



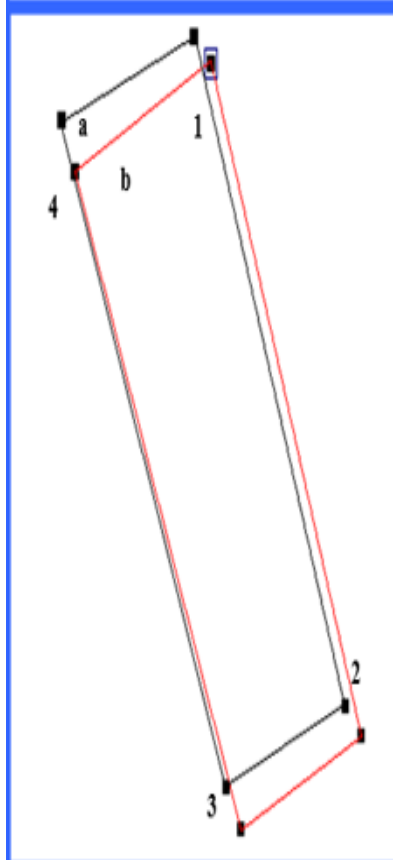
<b>PONTO 1</b>	
Posições	17
Desvio Pd	0,531m
<b>PONTO 2</b>	
Posições	25
Desvio Pd	0,696m
<b>PONTO 3</b>	
Posição	19
Desvio Pd	1,409m
<b>PONTO 4</b>	
Posições	25
Desvio Pd	1,000m

Figura 21 – A032713D  
Área obtida em campo sem correção.



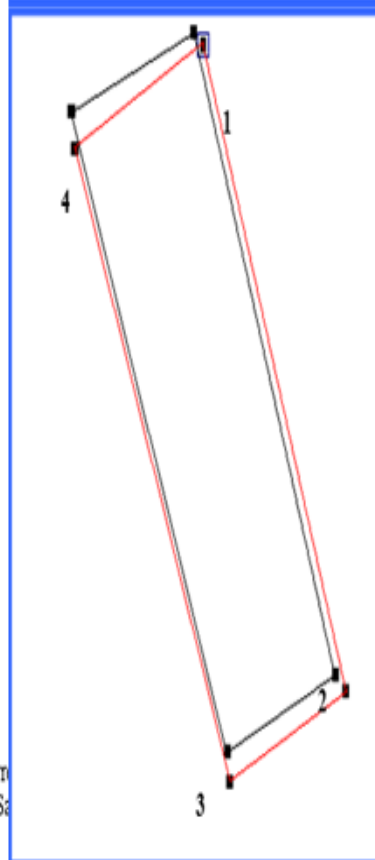
<b>PONTO 1</b>	
Posições	17
Desvio Pd	0,529m
<b>Ponto 2</b>	
Posições	25
Desvio Pd	0,700m
<b>PONTO 3</b>	
Posições	19
Desvio Pd	0,598
<b>PONTO 4</b>	
Posições	25
Desvio Pd	1,313m

Figura 22- A032713D  
a – área obtida em campo sem correção  
b – área obtida pós-correção - IBGE.



<b>Ponto 1</b>	
Posições	17
Desvio Pd	0,528m
<b>Ponto 2</b>	
Posições	25
Desvio Pd	0,700m
<b>Ponto 3</b>	
Posições	19
Desvio Pd	0,598m
<b>PONTO 4</b>	
Posição	25
Desvio Pd	1,313m

Figura 23- A032713D  
a – área obtida em campo sem correção  
b – Figura obtida pós-correção – Sa & Cintra.



<b>PONTO 1</b>	
Posição	17
Desvio Pd	0,519m
<b>PONTO 2</b>	
Posições	25
Desvio Pd	0,702m
<b>Ponto 3</b>	
Posição	19
Desvio Pd	0,596m
<b>PONTO 4</b>	
Posições	25
Desvio Pd	1,290m

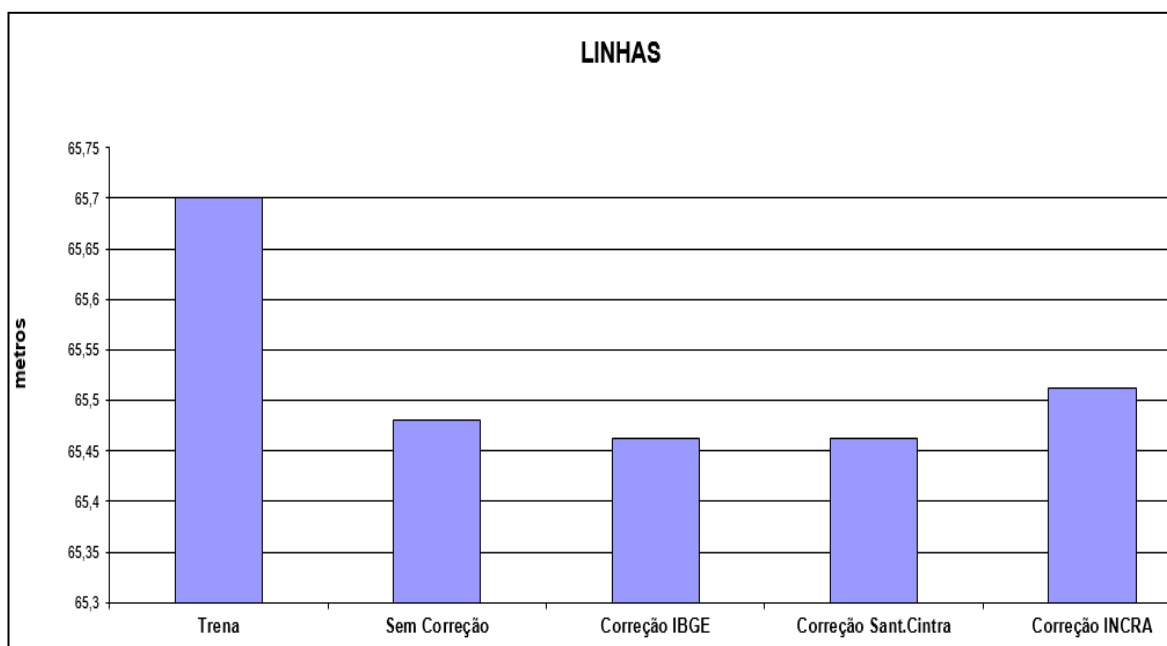
Figura 24- A032713D  
a – área obtida em campo sem correção  
b – área obtida pós-correção – INCRA.

### C) Linhas

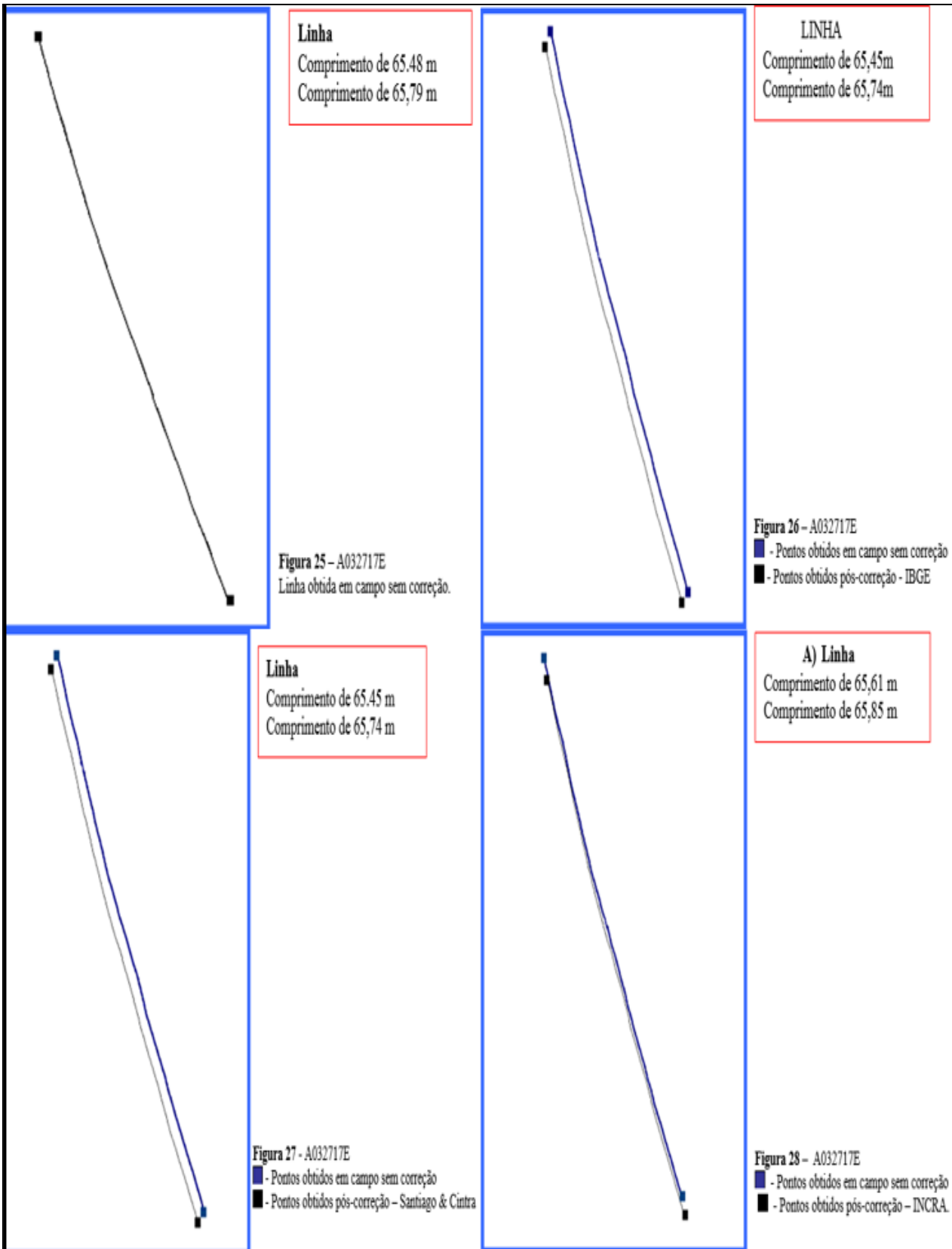
Os valores apresentados pela tabela 05 demonstram que, à semelhança dos pontos, os resultados da correção diferencial estiveram muito próximo entre si e um pouco inferior aos dados de campo obtidos pelo GPS (sem correção) (figuras 25 a 28). Destes, apenas O INCRA apresentou um pequeno aumento em relação aos outros valores apresentando melhor posicionamento em relação ao aparelho. Os resultados indicam a precisão do aparelho GPS em campo e indicam que a correção diferencial leva a uma acurácia maior na tomada de dados ajustando até pequenos desvios.

**Tabela 5** - Análise comparativa dos dados obtidos para linhas.

<b>LINHAS (m)</b>				
<b>Trena</b>	<b>Sem Correção</b>	<b>Correção IBGE</b>	<b>Correção Sant.Cintra</b>	<b>Correção INCRA</b>
65,7	65,4805	65,4632	65,4632	65,5119

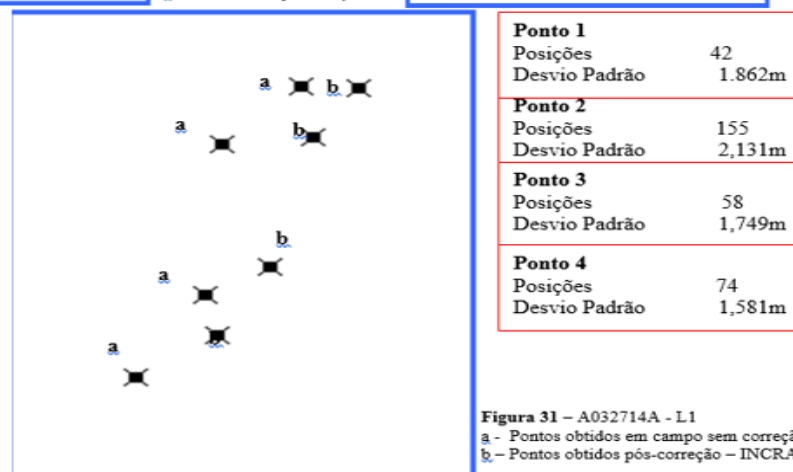
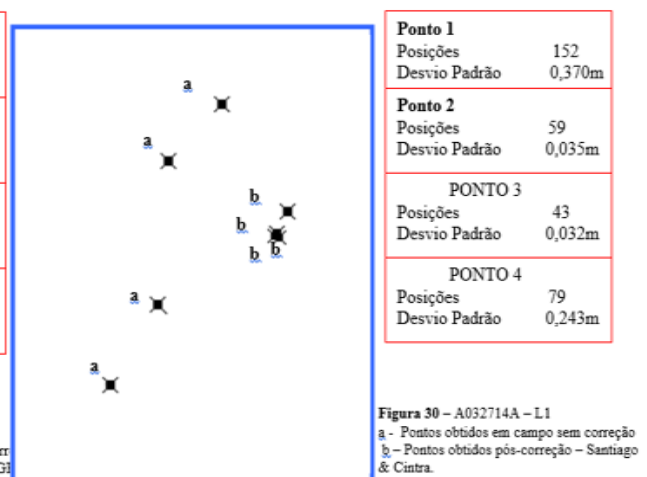
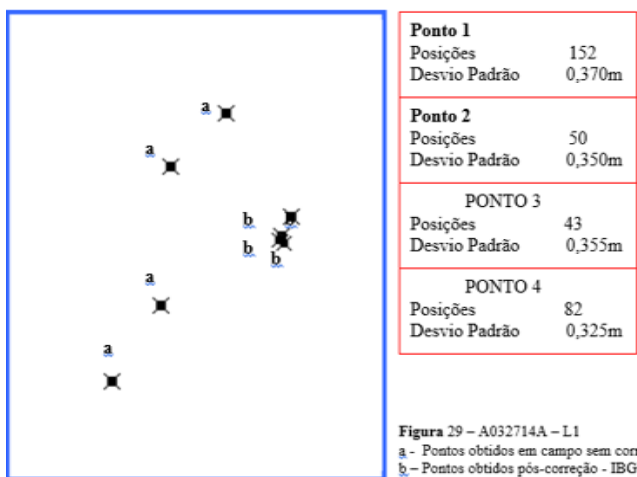


**Figura 24** - Análise comparativa das linhas obtidas em campo para diferentes tratamentos de dados.



## 5.2. PONTO – PORTADORA L1

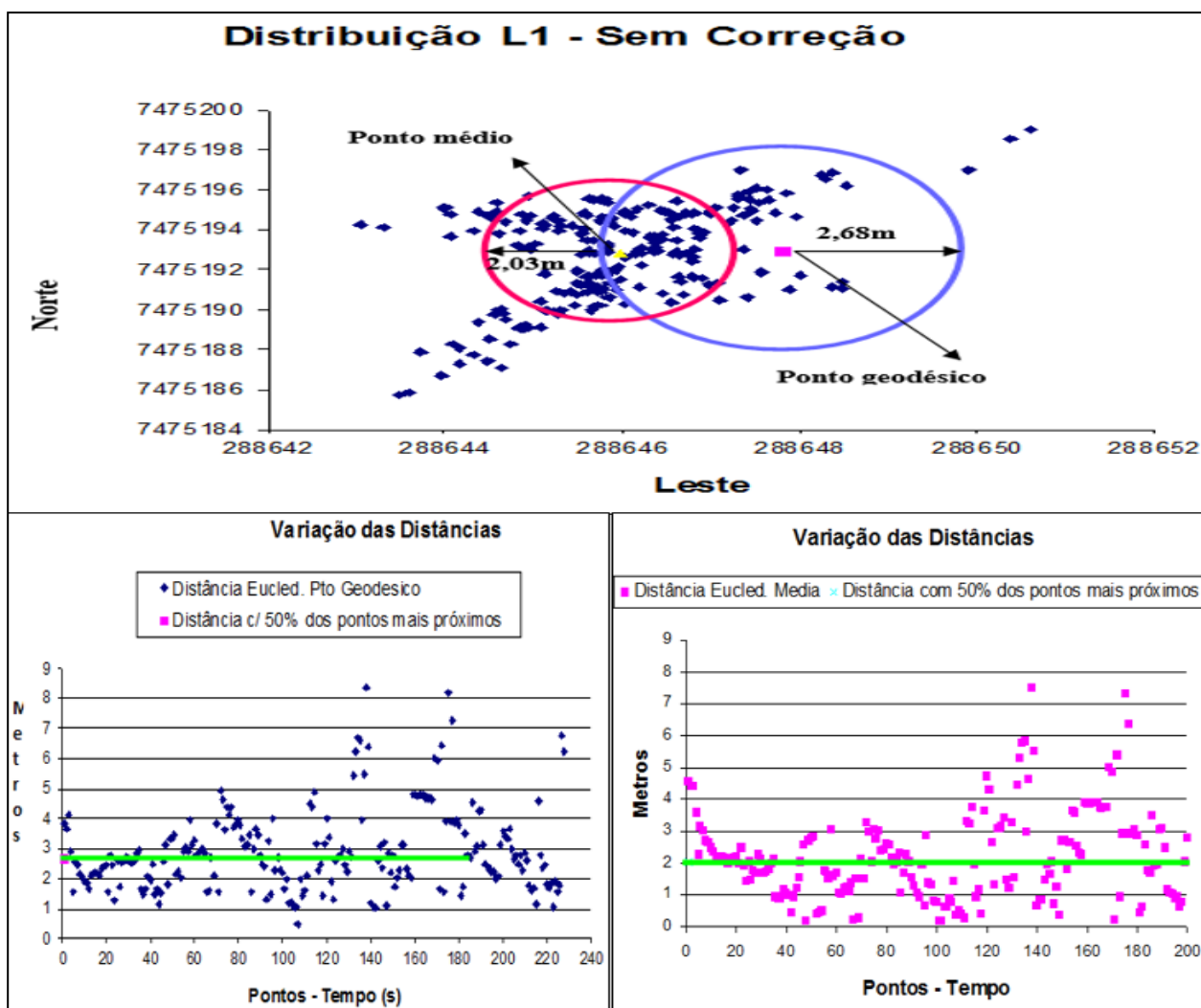
A tomada de dados da portadora L1 foi feita sem a utilização da antena, o que reduziu a quantidade de pontos corrigidos. No caso, foram captados 228 pontos que resultaram em apenas 4 pontos corrigidos. Sabendo-se que a portadora L1 é mais precisa, mas exige a presença constante da quantidade mínima de satélite sem alteração deles, tal fato pode ser atribuído a possíveis interferências no local de amostragem o que reduz a captação do sinal do satélite. Com a utilização da antena este problema pode ser minorado. Este problema resulta em uma obtenção muito reduzida de pontos o que vai acarretar a diminuição da confiabilidade estatística. Apesar do problema supracitado, a análises foram normalmente executadas para fins comparativos. A seguir estão representadas as figuras obtidas pelo software da trimble para correção diferencial (figuras 29 a 31).



### 5.3. DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS L1:

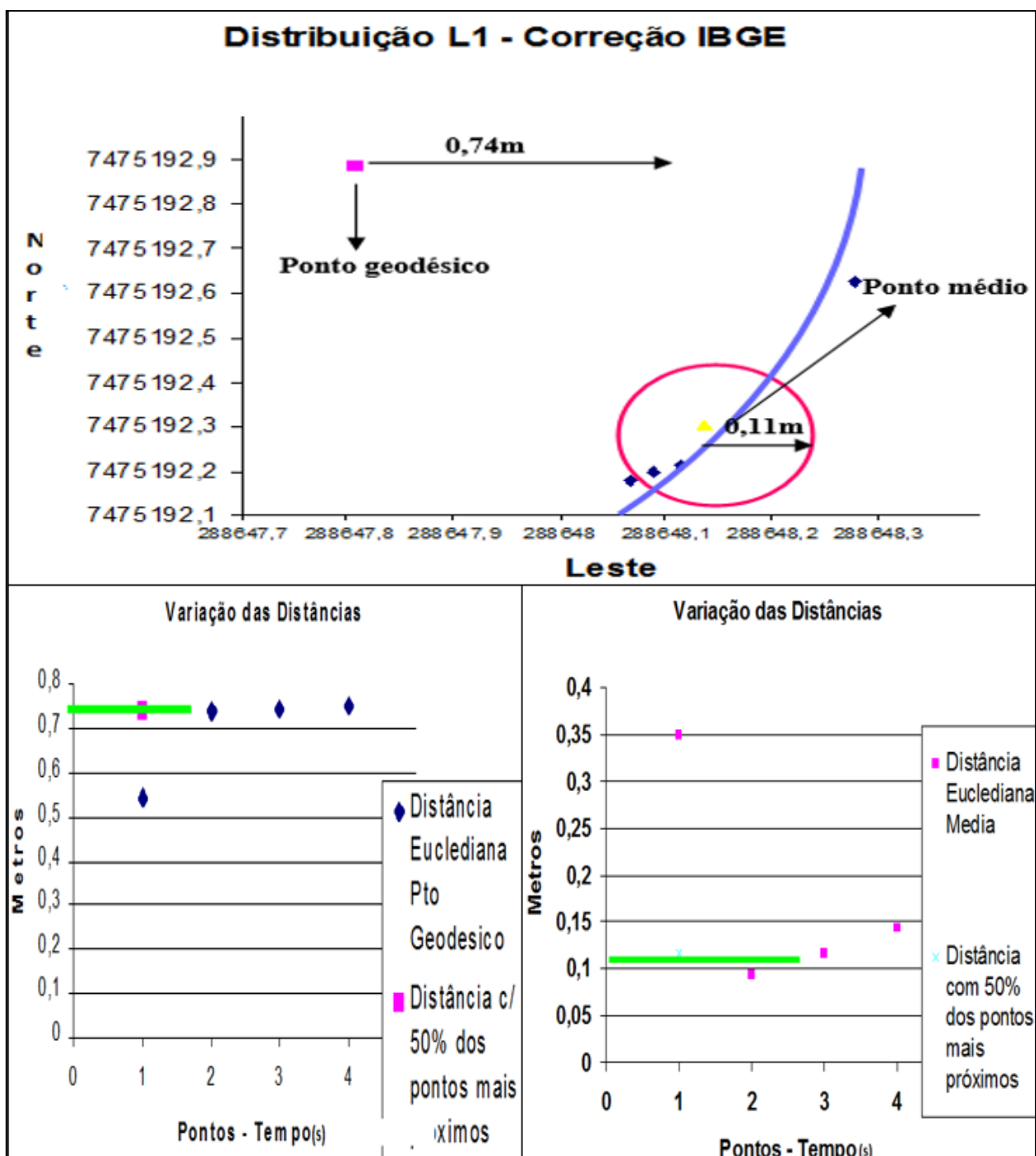
Os gráficos a seguir (figura 32) demonstram a distribuição dos pontos em relação aos pontos geodésicos e um ponto médio hipotético. Calculando a distância Euclidiana obteve-se um resultado onde 50% dos pontos estão localizados a uma distância de 2,686 metros do ponto geodésico (figura 51). Para o ponto médio obteve-se um resultado que indica que 50% dos pontos estão numa distância de 2,037 m do ponto médio.

Foi verificado que os pontos obtidos estiveram mais próximo do ponto médio do que do ponto geodésico o que pode indicar uma maior precisão e uma menor exatidão.



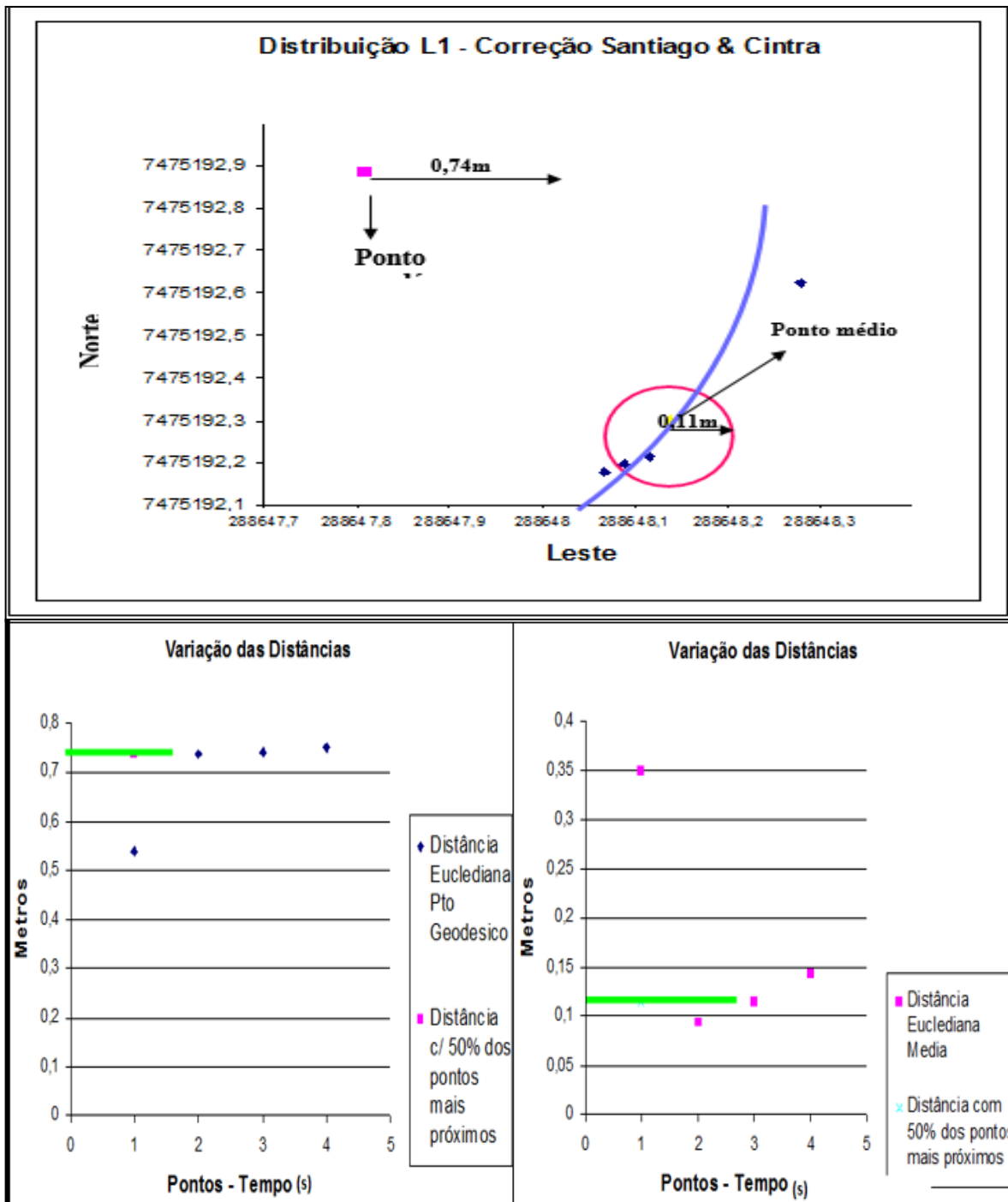
**Figura 32** – a. Distribuição dos pontos L1 sem correção; b. Variação das distâncias Euclidianas em relação ao ponto geodésico L1 – sem correção; c. Variação das distâncias Euclidianas médias L1 – sem correção.

Os gráficos a seguir (figura 33) demonstram a distribuição dos pontos corrigidos pela estação IBGE relacionando-os com o marco geodésico e o ponto médio. Observa-se que 50% dos pontos estão a uma distância de até 0,738m do ponto geodésico e 0,115m do ponto médio. Os pontos estiveram mais próximos do ponto médio do que do ponto geodésico indicando maior precisão e menor exatidão.



**Figura 33** – a. Distribuição dos pontos L1 corrigidos pela estação base do IBGE; b. Variação das distâncias Euclidianas em relação ao ponto geodésico L1 – dados corrigidos pelo IBGE; c. Variação das distâncias Euclidianas médias L1 – dados corrigidos pelo IBGE.

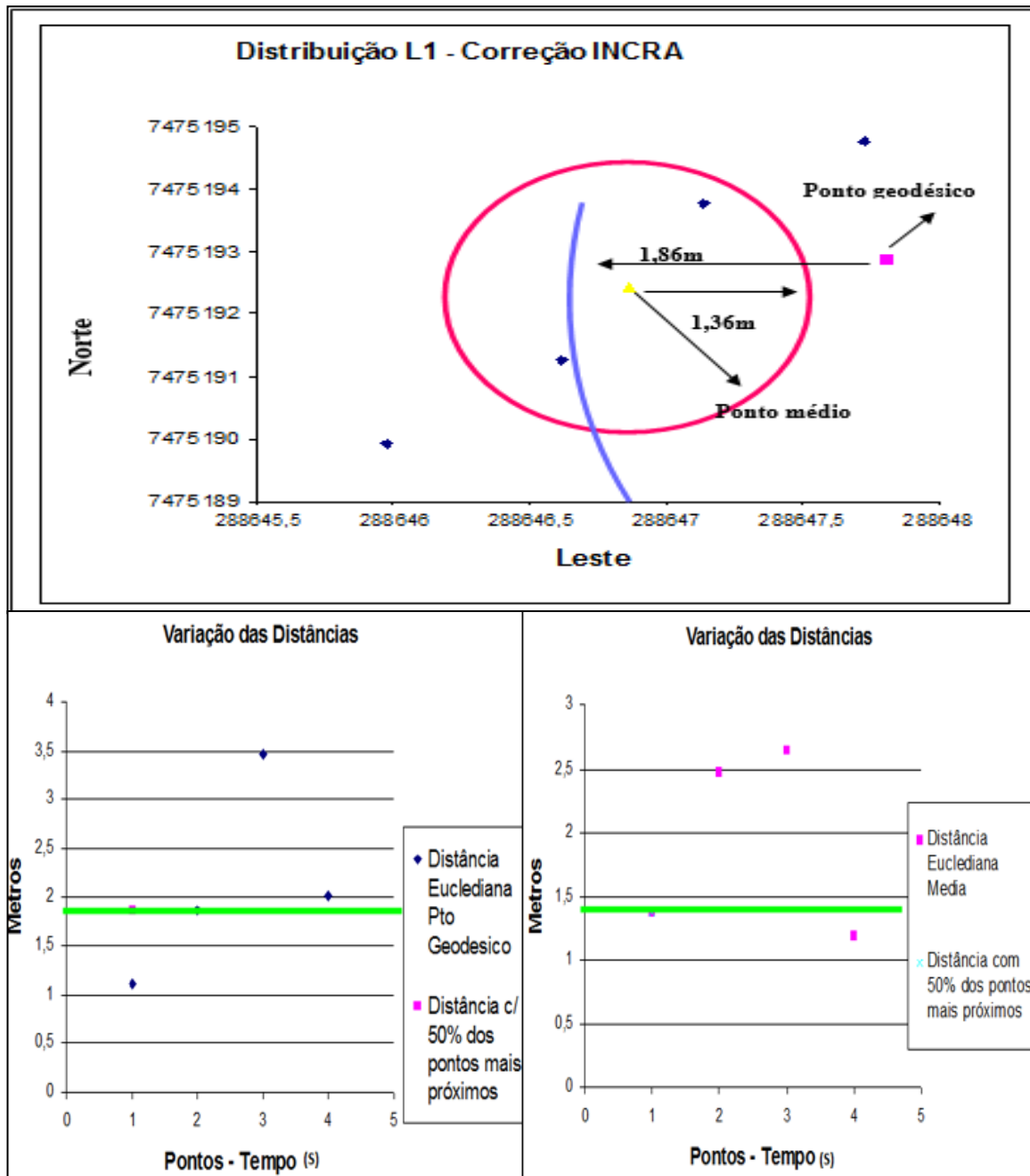
Os gráficos abaixo (figura 34) refere-se a correção dos dados com a estação base da Santiago & Cintra com a correção dos pontos em relação ao ponto geodésico e ao ponto médio. Observa-se que 50% dos pontos obtidos estão a uma distância de 0,738m do ponto geodésico e referindo-se ao ponto médio esta distância é de 0,115m.



**Figura 34 - a.** Distribuição dos pontos L1 corrigidos pela estação base Santiago & Cintra; **b.** Variação das distâncias Euclidianas em relação ao ponto geodésico L1 – dados corrigidos pela Santiago & Cintra; **c.** Variação das distâncias Euclidianas médias L1 – dados corrigidos pela Santiago & Cintra.



Gráficos abaixo (figura 35) representam a distribuição dos dados corrigidos pela estação base do INCRA. Pode-se observar que houve um deslocamento dos dados obtidos em relação ao ponto geodésico. As distâncias entre os pontos e o marco geodésico foram maiores, sendo observado o mesmo para o ponto médio. A distância entre os pontos coletados e o marco geodésico foi de 1,86 e 1,36 para o ponto médio.



**Figura 35** - a. Distribuição dos pontos L1 corrigidos pela estação base INCRA; b. Variação das distâncias Euclidianas em relação ao ponto geodésico L1 – dados corrigidos pelo INCRA; c. Variação das distâncias Euclidianas médias L1 – dados corrigidos pelo INCRA

### 5.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA L1

A estatística descritiva (Apêndice A) demonstra a análise dos dados L1 sem correção. Observa-se que ao nível de confiança de 95% os dados de elevação se apresentam pouco confiáveis, tal fato foi esperado visto que esses dados apresentaram um alto desvio padrão. Segundo a literatura, os maiores desvios são encontrados nas tomadas de dados de elevação. No teste Sigma N, a mesma tendência foi observada evidenciando que apenas 60,09% dos dados se encontravam fora do limite para dois desvios, quando o intervalo mínimo é de 68%. Os intervalos se apresentam nas imagens abaixo (Figuras 36 a 38).

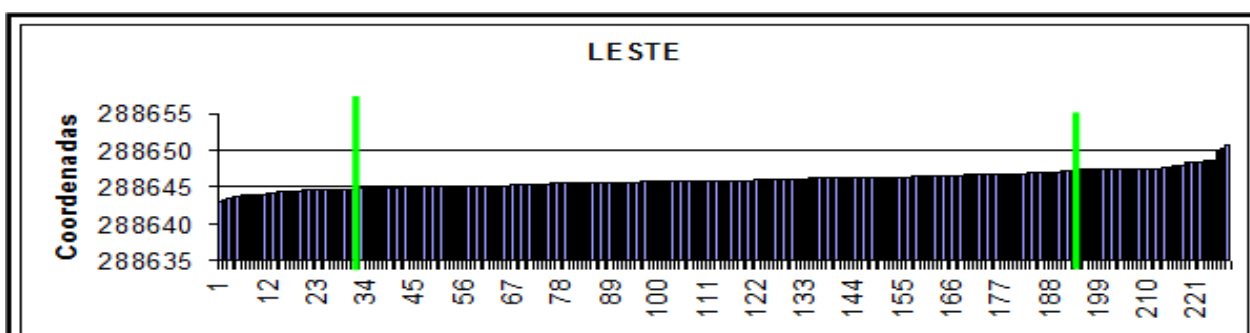


Figura 36 – Coordenadas UTM Leste sem correção – L1 – 69,30%.

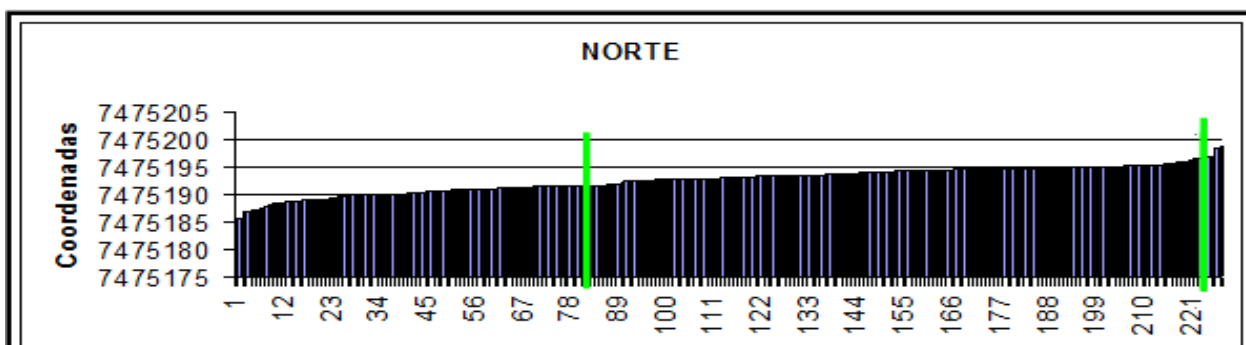


Figura 37 – Coordenadas UTM Norte sem correção – L1 – 70,61%.

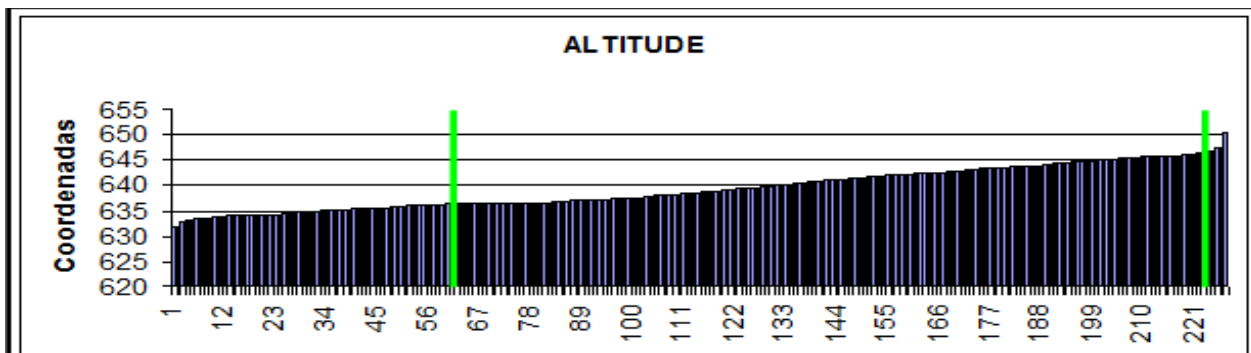


Figura 38 – Coordenadas UTM Altitude sem correção – L1 – 60,09%.

Observa-se as análises estatísticas dos dados corrigidos pela estação base do IBGE e Santiago & Cintra respectivamente (Apêndices B e C), que para 95% de confiança os piores resultados foram para a coordenada Norte tanto para IBGE como para Santiago & Cintra (figuras 39 a 44). Observa-se que o desvio padrão para o mesmo parâmetro apresentou a mesma tendência. O teste Sigma N demonstrou que apesar da diferença supracitada 75% dos pontos estiveram dentro do limite para os desvios (68%).

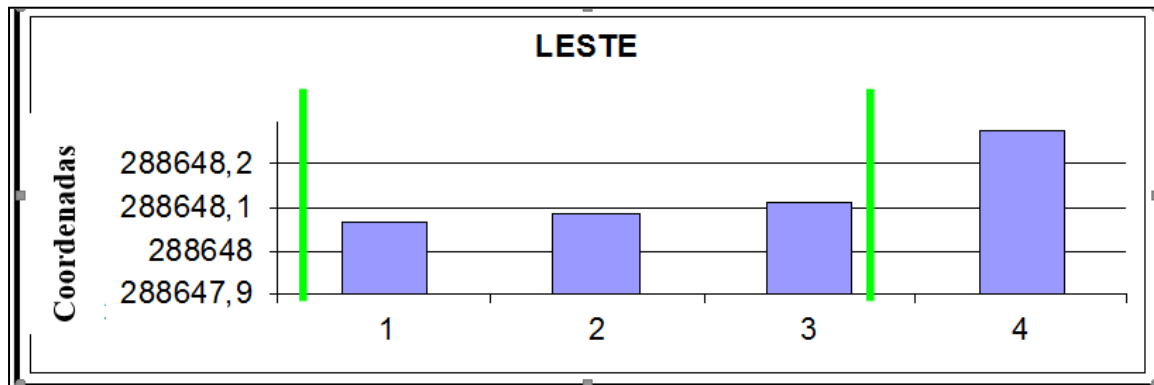


Figura 39 – Coordenadas UTM Leste corrigidas IBGE- L1 – 75%.

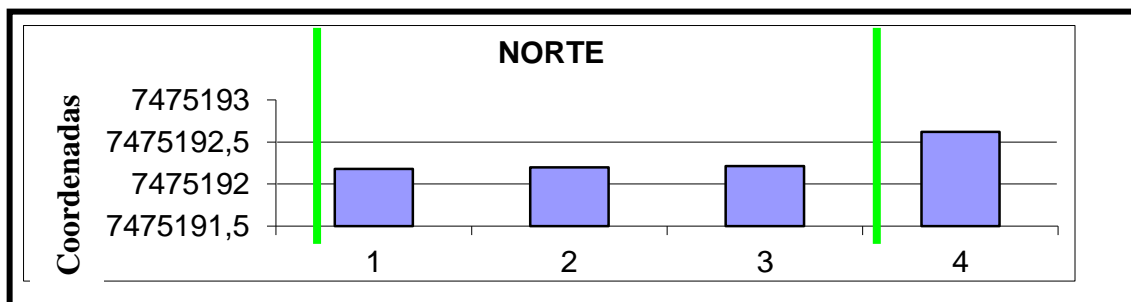


Figura 40 – Coordenadas UTM Norte corrigidas IBGE - L1 - 75%.

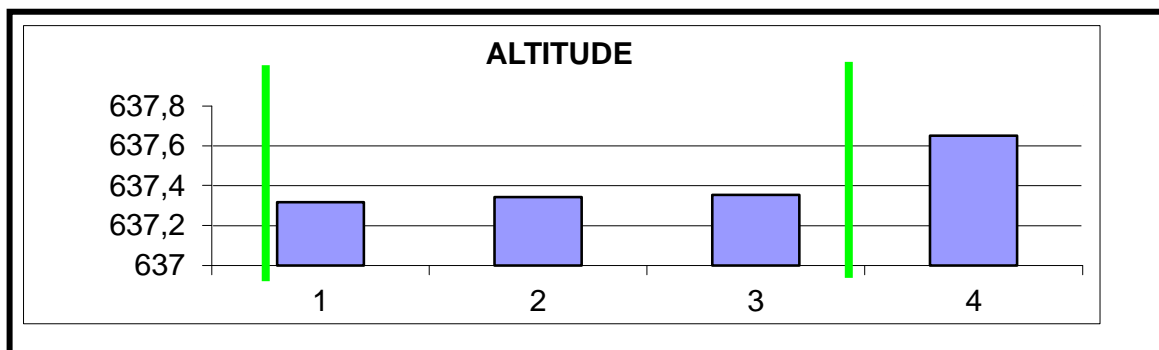
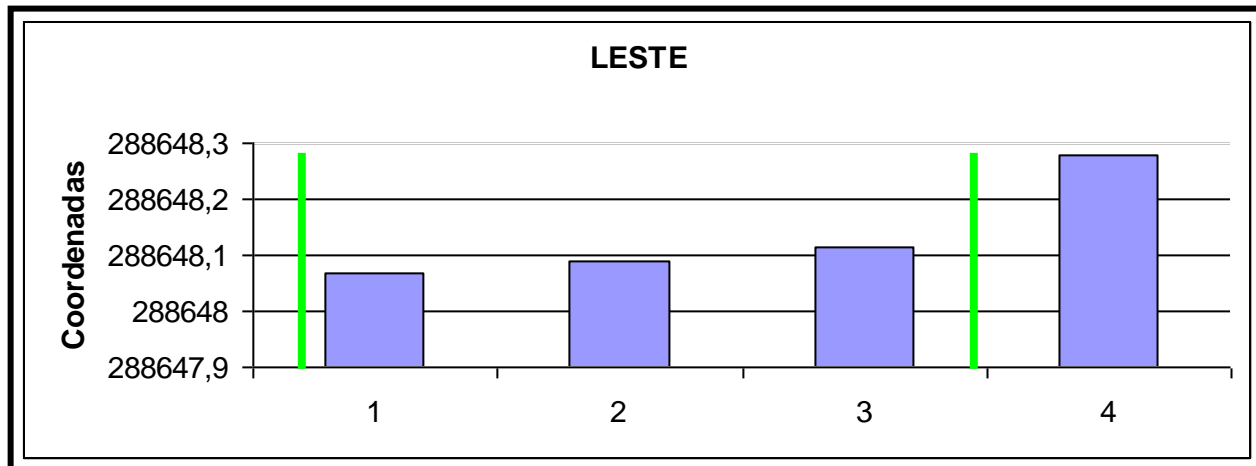
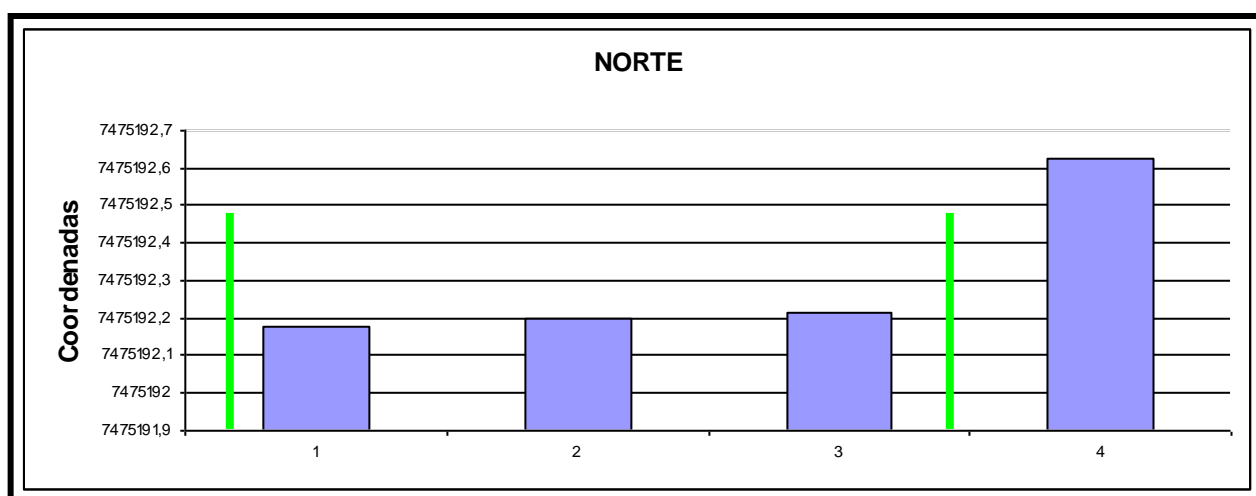


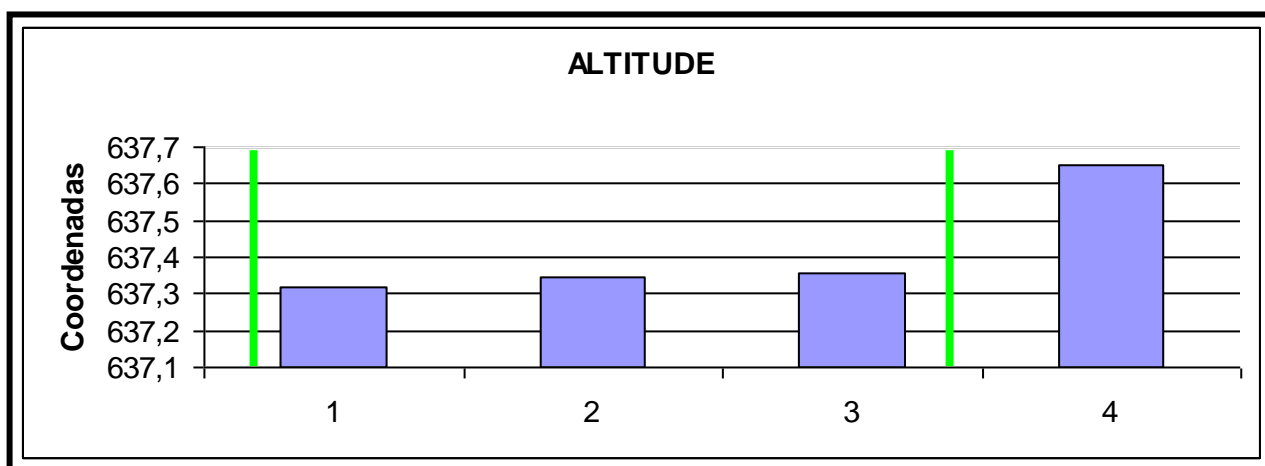
Figura 41 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas IBGE - L1 - 75%.



**Figura 42** – Coordenadas UTM Leste corregidas Santiago&Cintra - L1 – 75 %.



**Figura 43** – Coordenadas UTM Norte corregidas Santiago&Cintra – L1 – 75%.



**Figura 44**– Coordenadas UTM Altitude corregidas Santiago&Cintra – L1 – 75%.

A análise estatística para os dados corrigidos pela estação base da INCRA (Apêndice D e figuras 45 e 46). Nota-se que os valores de desvio padrão se apresentaram relativamente alto para os parâmetros Norte e Altitude. A mesma tendência também foi observada para os intervalos de confiança de 95%. O teste Sigma N apresentou valores de 50% dos pontos dentro do intervalo para dois desvios em todos os três parâmetros, o que indica a não confiabilidade dos dados. A análise estatística para os dados corrigidos pelas estações IBGE, Santiago & Cintra, INCRA foram prejudicadas pela insuficiência no número de dados.

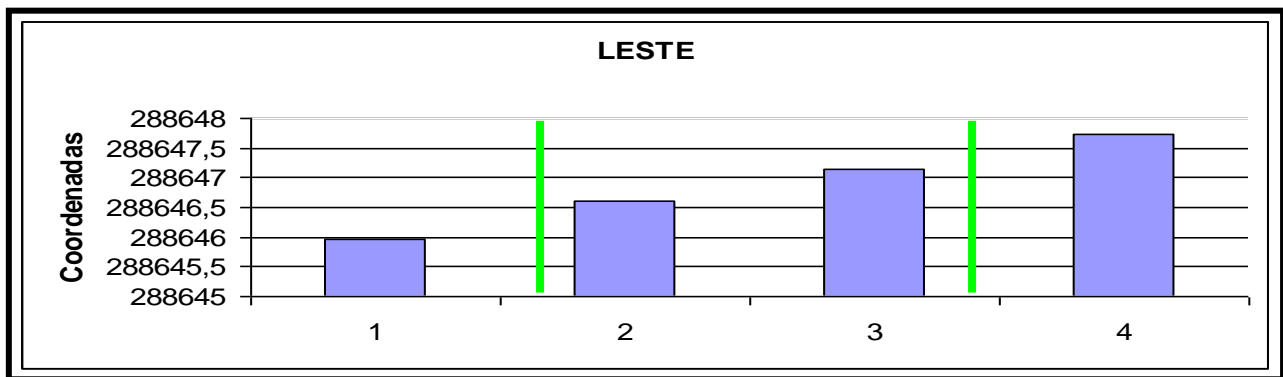


Figura 45 – Coordenadas UTM Leste corrigidas INCRA – L1 – 50%.

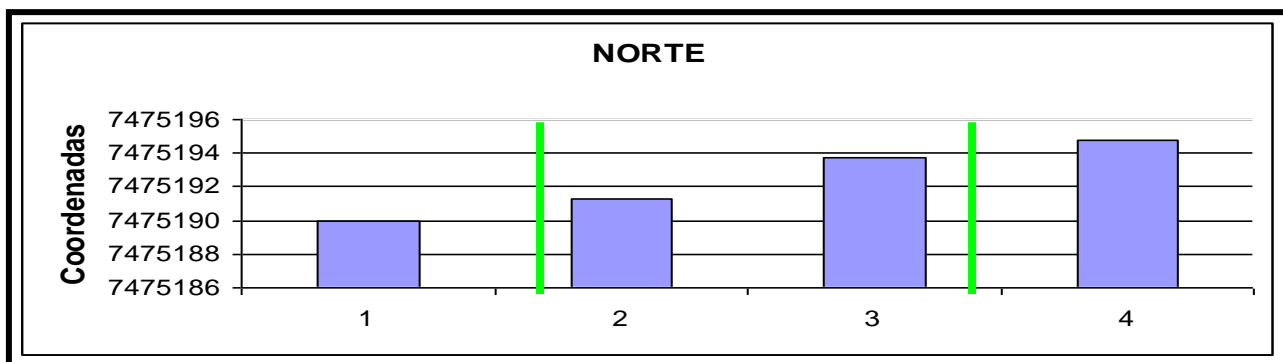


Figura 46 – Coordenadas UTM Norte corrigidas INCRA – L1 – 50%.

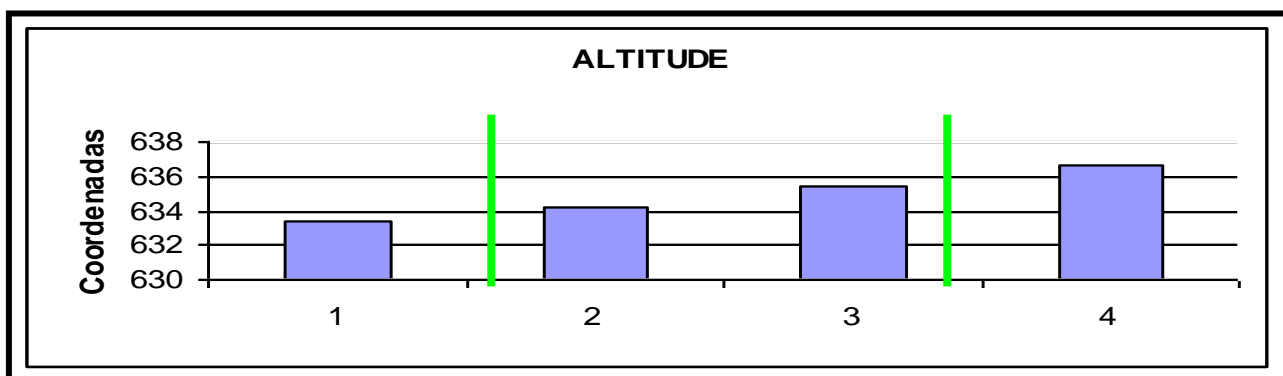
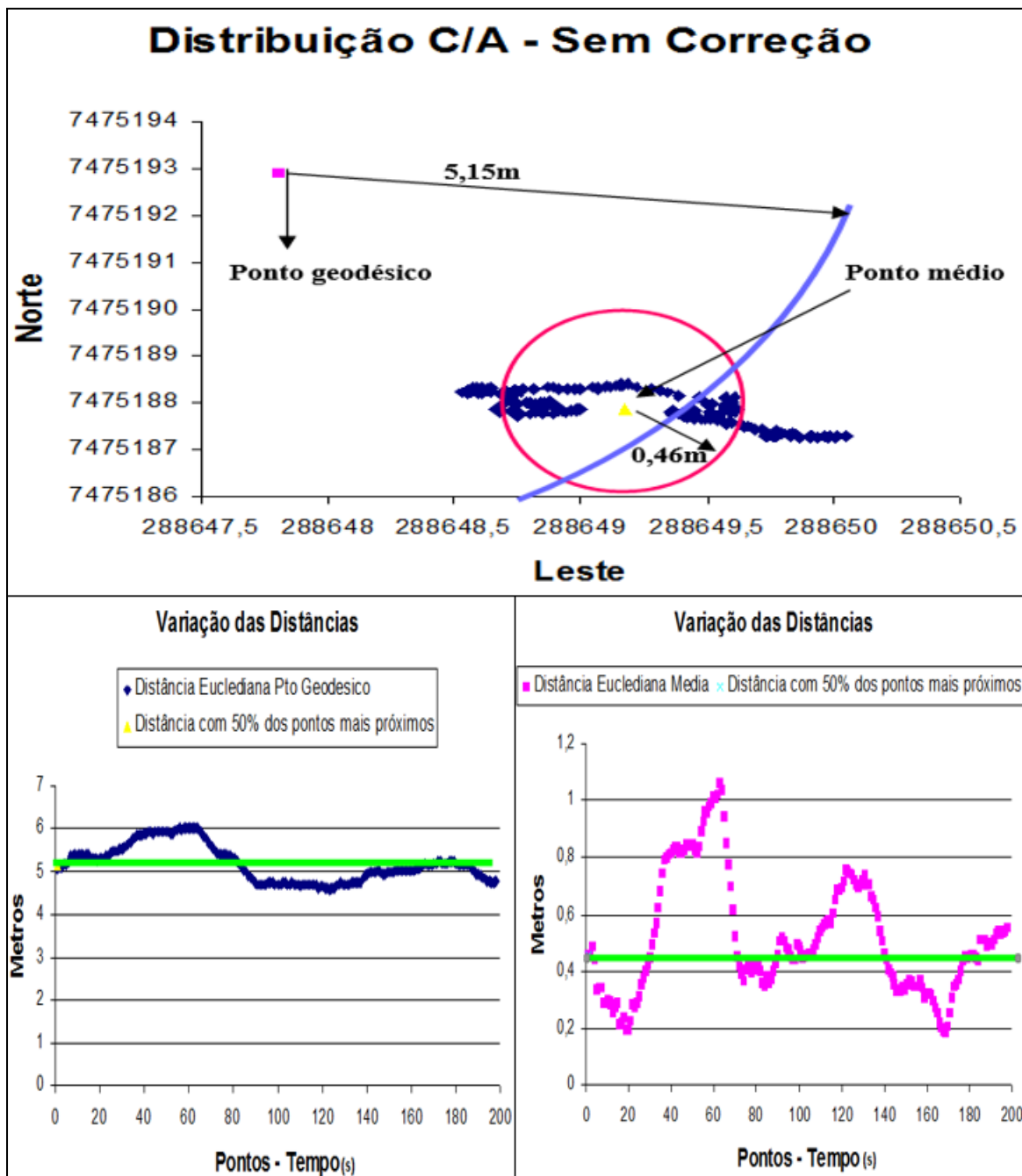


Figura 47 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas INCRA – L1 – 50%.

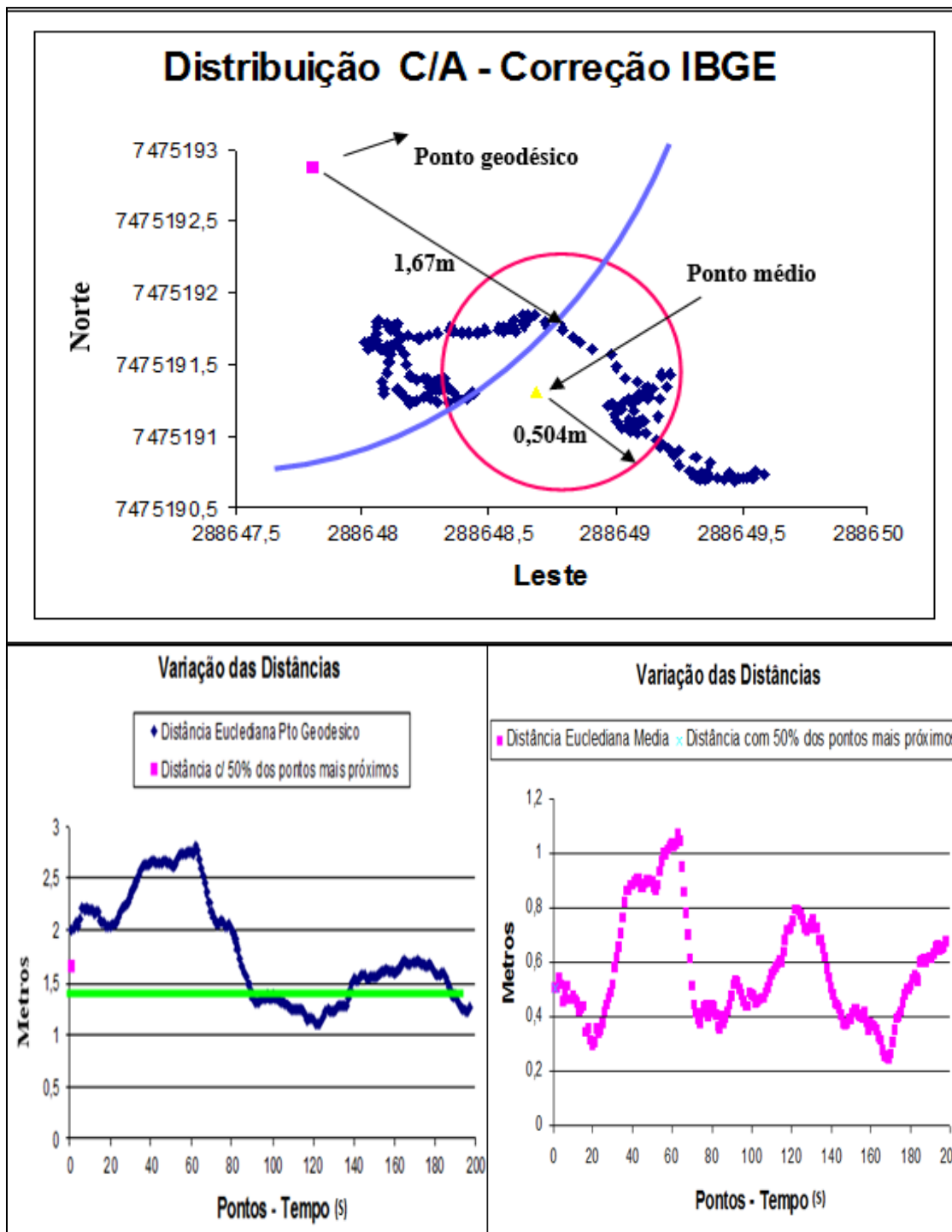
## 5.4 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS – C/A

Os gráficos abaixo (figura 48) apresentam a distribuição dos pontos C/A em relação ao marco geodésico e ao ponto médio hipotético. Observa-se que 50% dos pontos estão dentro de uma distância de 5,155 metros em relação ao marco geodésico e 0,459 do ponto médio, o que indica maior precisão e menor exatidão dos dados coletados.



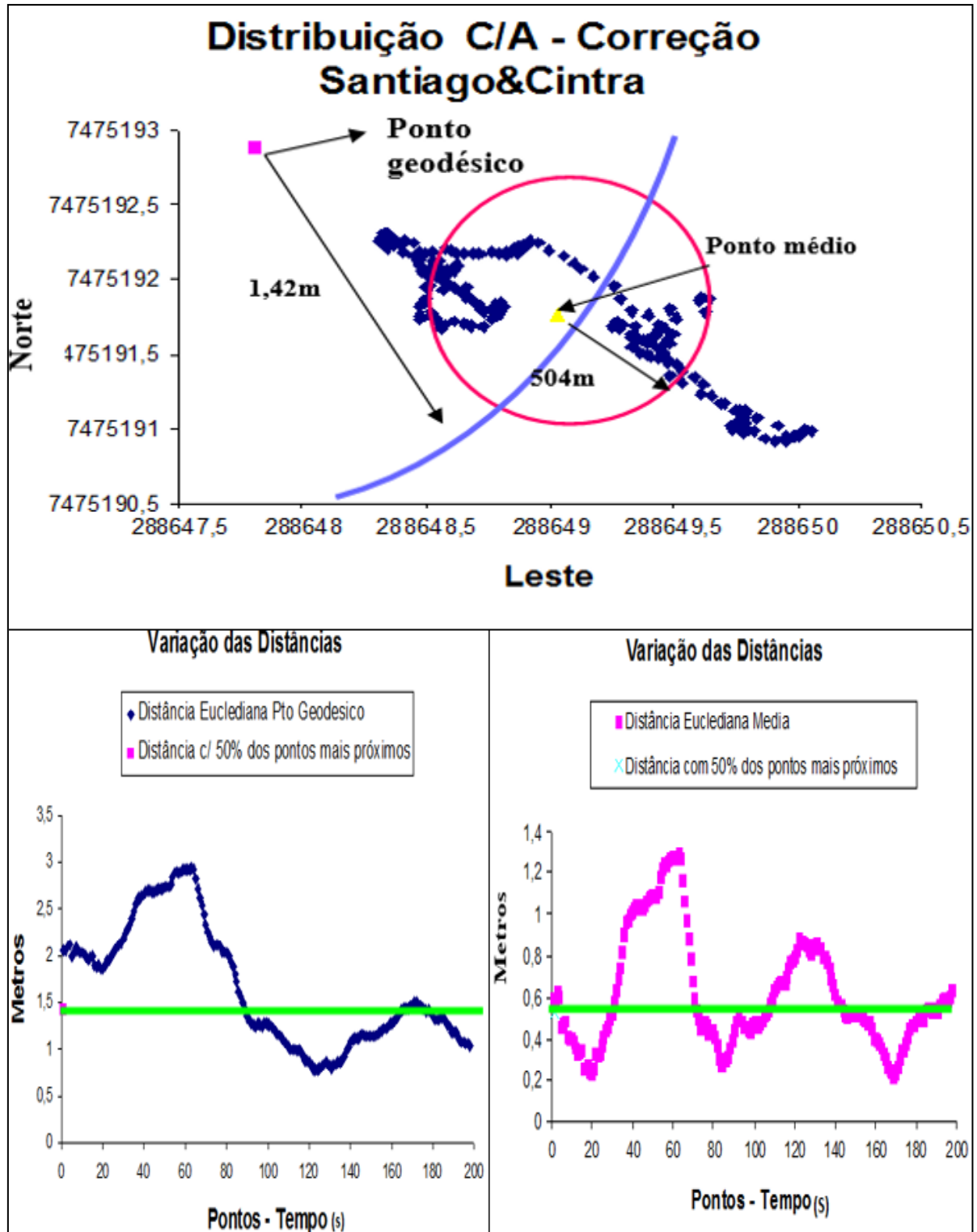
**Figura 48** - a. Distribuição dos pontos C/A sem correção; b. Variação das distâncias euclidianas dos pontos C/A em relação ao ponto geodésico; c. Variação das distâncias Euclidianas médias C/A – sem correção.

Os gráficos abaixo (figura 49) demonstram a distribuição dos pontos relacionados com a correção IBGE. Nota-se que os pontos coletados concentram-se em torno do ponto médio, no entanto aproximando-se mais do ponto geodésico. 50% dos pontos estão dentro de uma distância de 1,672m do ponto geodésico e 0,504 do ponto médio.



**Figura 49** - Distribuição dos pontos C/A corrigidos pela estação base do IBGE; b. Variação das distâncias euclidianas dos pontos C/A em relação ao ponto geodésico com correção pela estação base do IBGE; c. Variação das distâncias Euclidianas médias C/A - com correção pela estação base do IBGE.

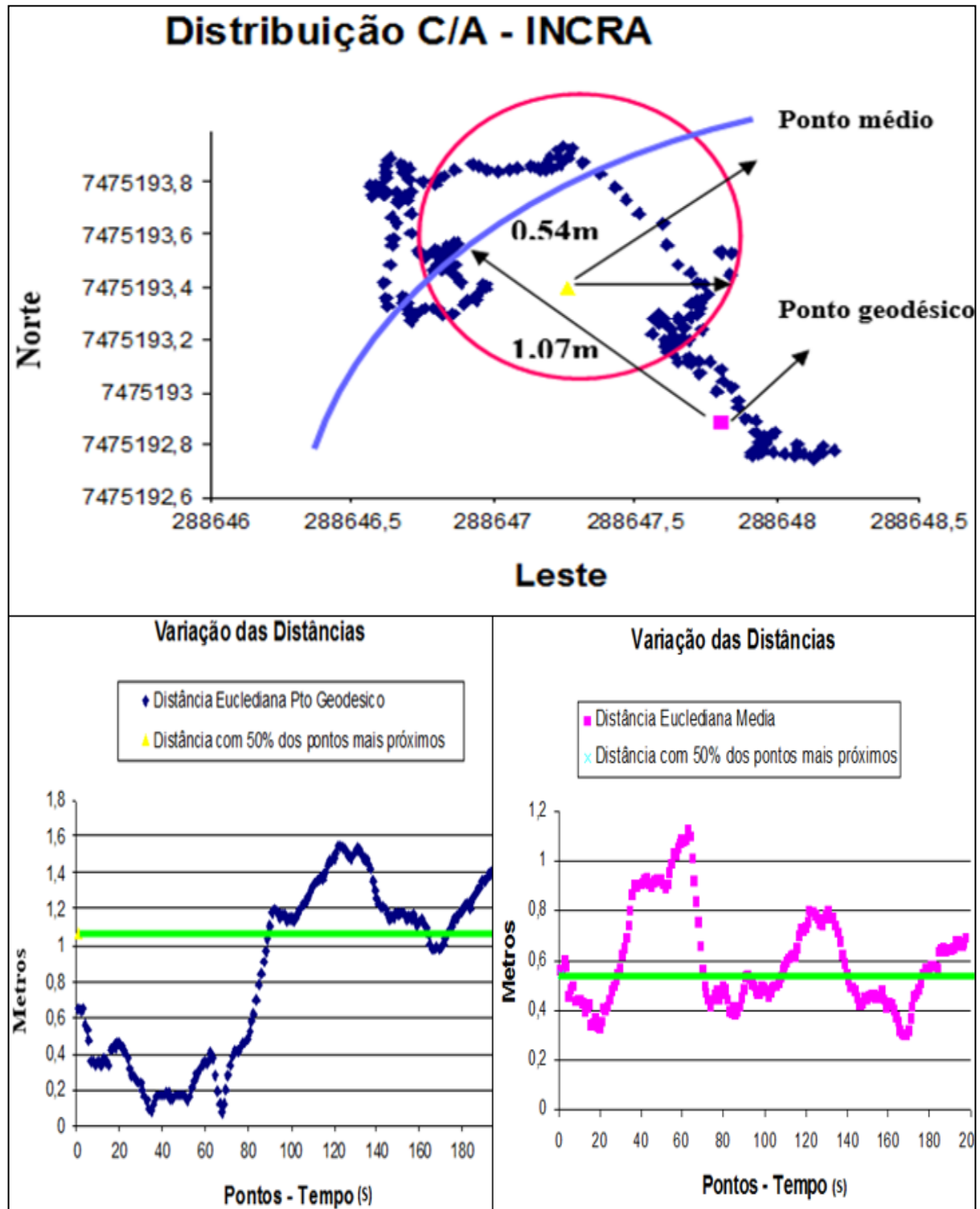
As figuras abaixo (figura 50) representam a distribuição dos pontos corrigidos pela estação base da Santiago&Cintra. Observa-se que 50% dos pontos estão dentro de uma distância de 1,424m do ponto geodésico e 0,530m do ponto médio.



**Figura 50** - Distribuição dos pontos C/A corrigidos pela estação base Santiago & Cintra; b. Variação das distâncias euclidianas dos pontos C/A em relação ao ponto geodésico com correção pela estação base; c. Variação das distâncias Euclidianas médias C/A - com correção pela estação base.



Os gráficos abaixo (figura 51) demonstram os dados corrigidos pela estação base da INCRA. Nota-se que houve uma mudança na distribuição dos pontos em relação aos pontos geodésicos juntamente com uma diminuição da distância entre eles. 50% dos pontos estão dentro de uma distância de 1,07 do ponto geodésico e 0,542 do ponto médio.



**Figura 51** - Distribuição dos pontos C/A corrigidos pela estação base do INCRA; b. Variação das distâncias euclidianas dos pontos C/A em relação ao ponto geodésico com correção pela estação base; c. Variação das distâncias Euclidianas médias C/A - com correção pela estação base.

### 5.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA C/A

A análise estatística dos dados C/A sem correção está representada no Apêndice E. Observa-se que para o intervalo de confiança de 95% a altitude foi o parâmetro que apresentou maior diferença, portanto menor confiabilidade (figuras 52 a 54). Para o sigma N os três parâmetros foram inferiores a 68% confirmando a pouca confiabilidade dos dados.

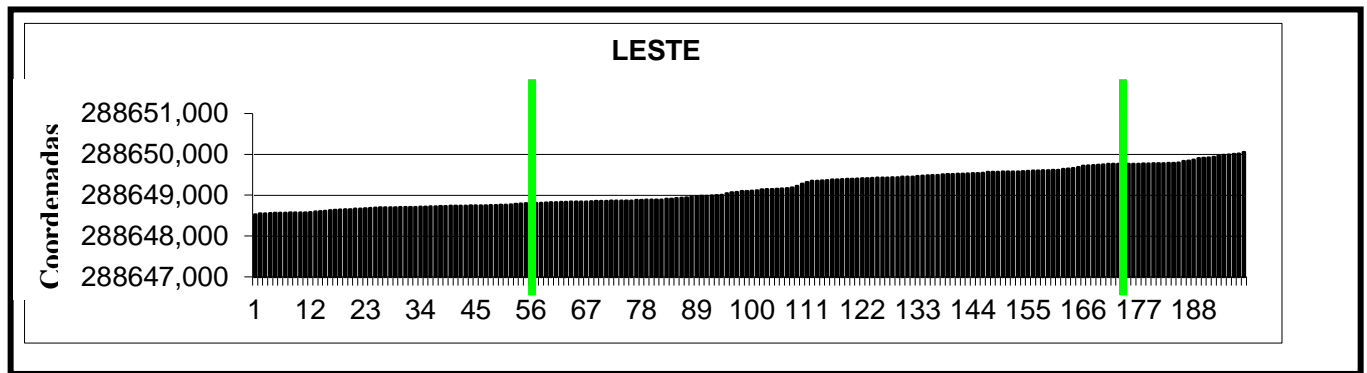


Figura 52 – Coordenadas UTM Leste sem correção - C/A – 61.62%.

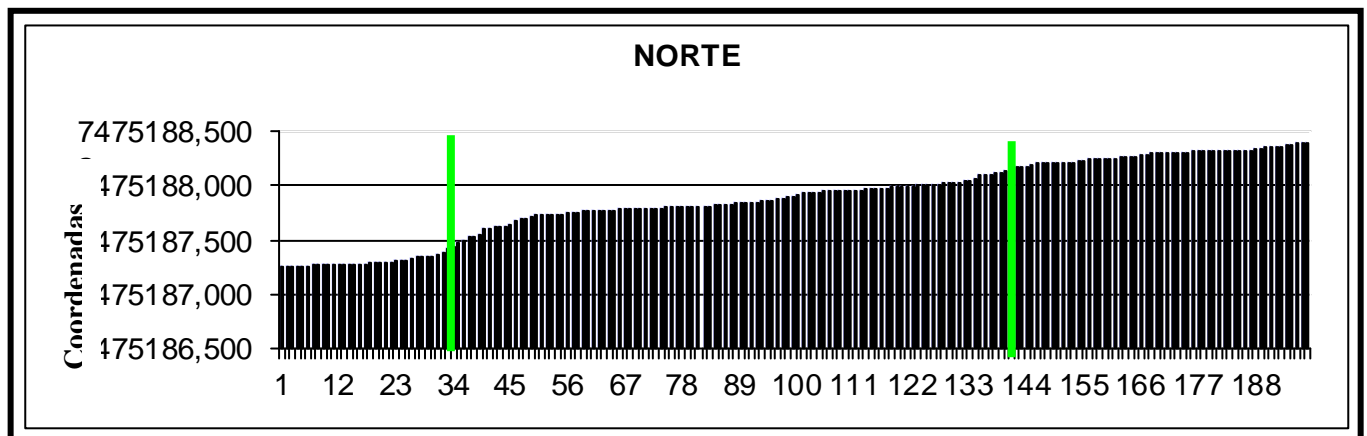


Figura 53 – Coordenadas UTM Norte sem correção – C/A – 55,05%.

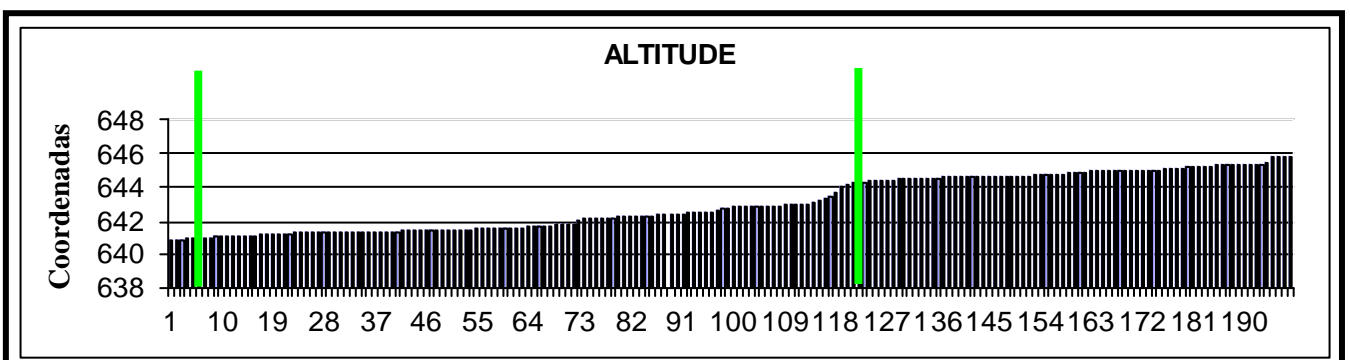
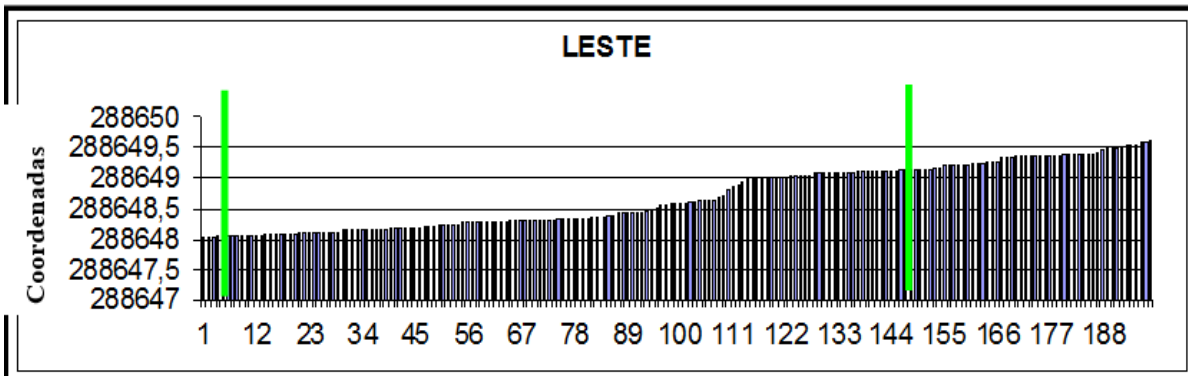
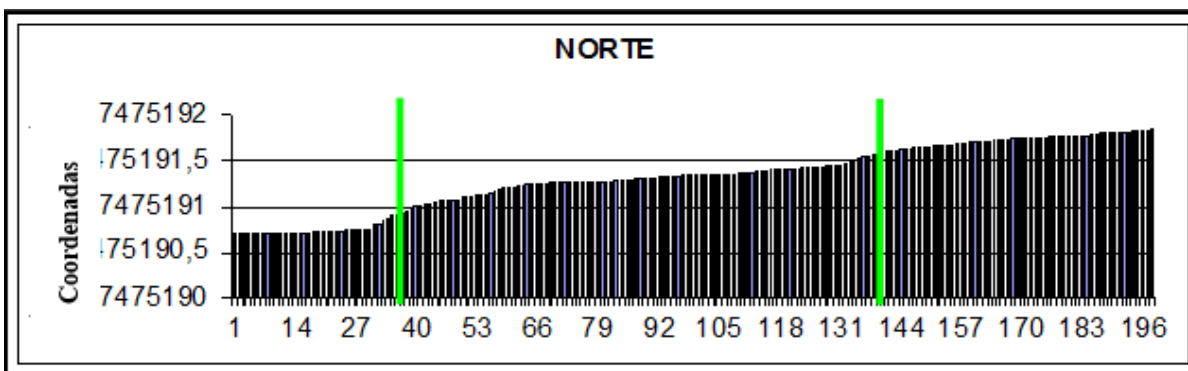


Figura 54 – Coordenadas UTM Altitude sem correção – C/A – 50%.

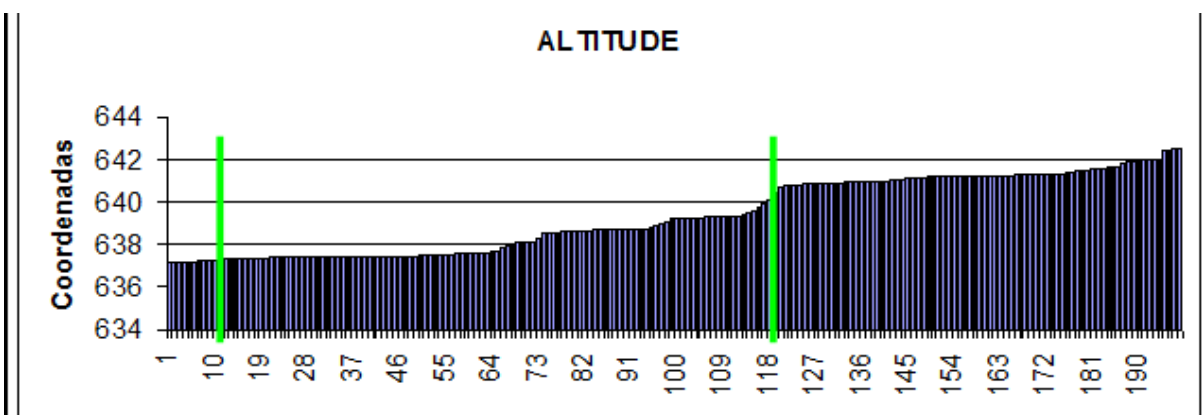
O apêndice F apresenta os resultados da análise estatística dos dados corrigidos pela estação IBGE. Nota-se que para o intervalo de confiança de 95% a coordenada altitude foi a que apresentou menor confiabilidade maior desvio padrão (figuras 55 a 57). Para o teste sigma N todos os parâmetros apresentaram valores inferiores ao limite para dois desvios. Mais uma vez o parâmetro Altitude foi o que apresentou resultado pior.



**Figura 55** – Coordenadas UTM Leste corrigidas IBGE –C/A – 57,58%.



**Figura 56** – Coordenadas UTM Norte corrigidas IBGE – C/A – 54,04%.



**Figura 57** – Coordenadas UTM Altitude corrigidas IBGE - C/A – 44,44%.

A partir análise estatística dos dados corrigidos pela estação base da Santiago & Cintra (Apêndice G), nota-se que para 95% de nível de confiança o maior valor foi para a altitude à semelhança das análises anteriores (figuras 58 a 60). Para o sigma N a coordenada Norte apresentou-se dentro do intervalo de confiança desejável.

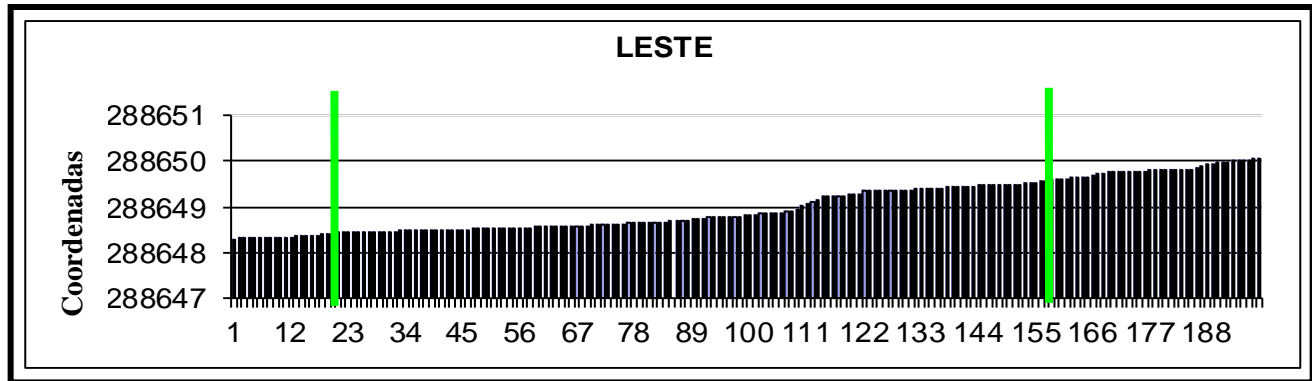


Figura 58 – Coordenadas UTM Leste corrigidas Santiago&Cintra – C/A – 62,63%.

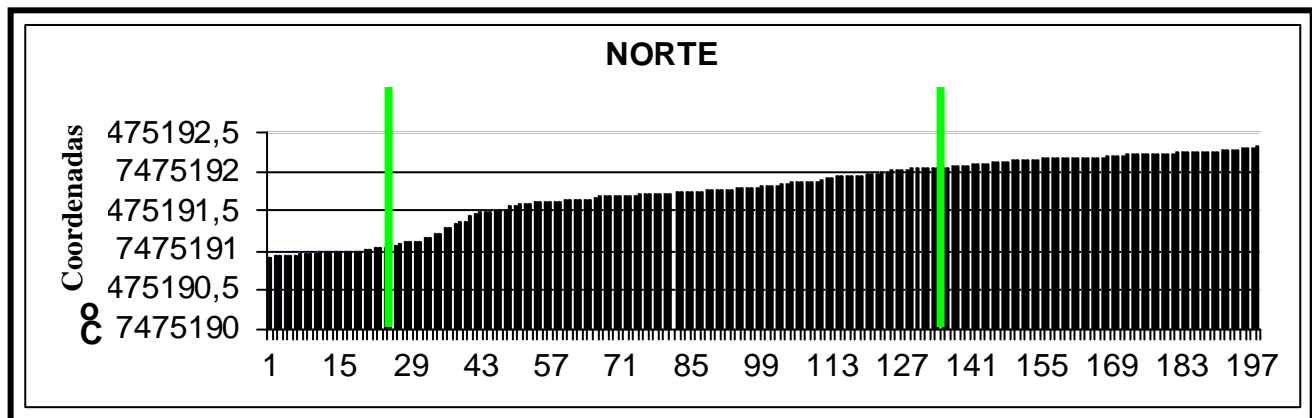


Figura 59 – Coordenadas UTM Norte corrigidas Santiago&Cintra – C/A – 76,77%.

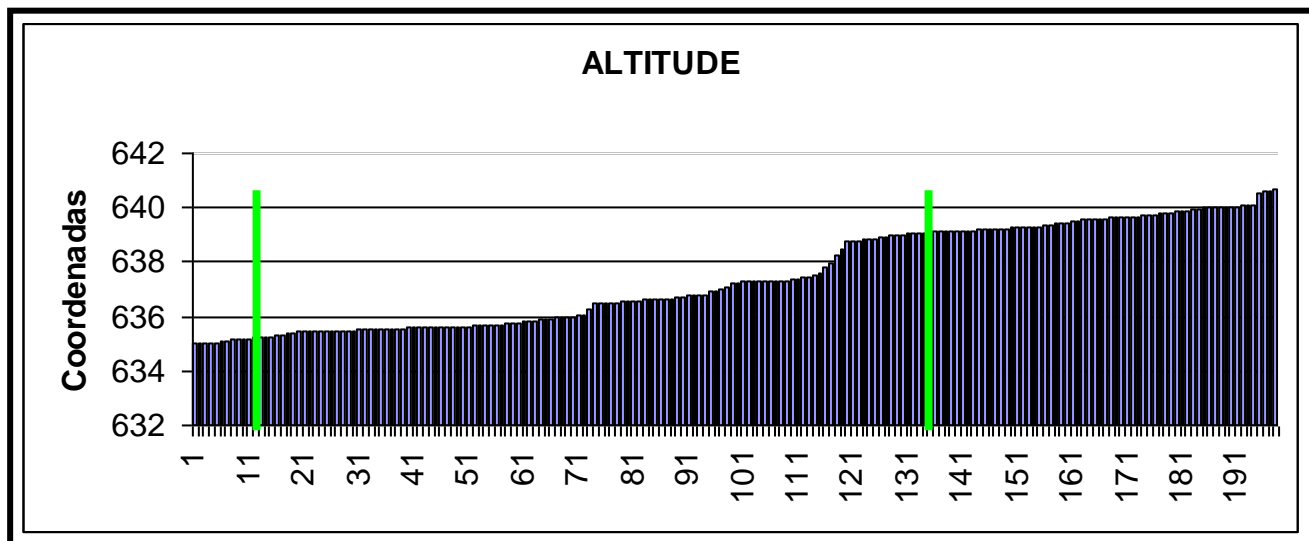


Figura 60 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas Santiago&Cintra – C/A – 50,51%.

Os dados decorrentes da análise estatística dos dados corrigidos pela estação base da INCRA (Apêndice H), para o nível de confiança de 95% houve mais uma vez uma maior diferença para a altitude. Para o sigma N as três coordenadas apresentaram abaixo dos 68% como pode ser visto no gráficos a seguir figuras (61 e 63).

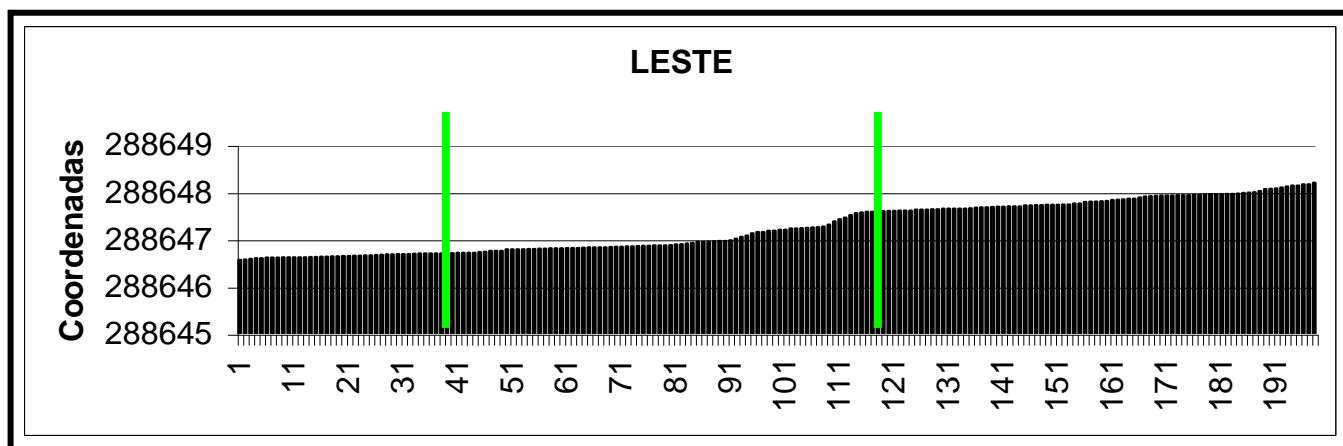


Figura 61 – Coordenadas UTM Leste corrigidas INCRA – C/A – 55,05%.

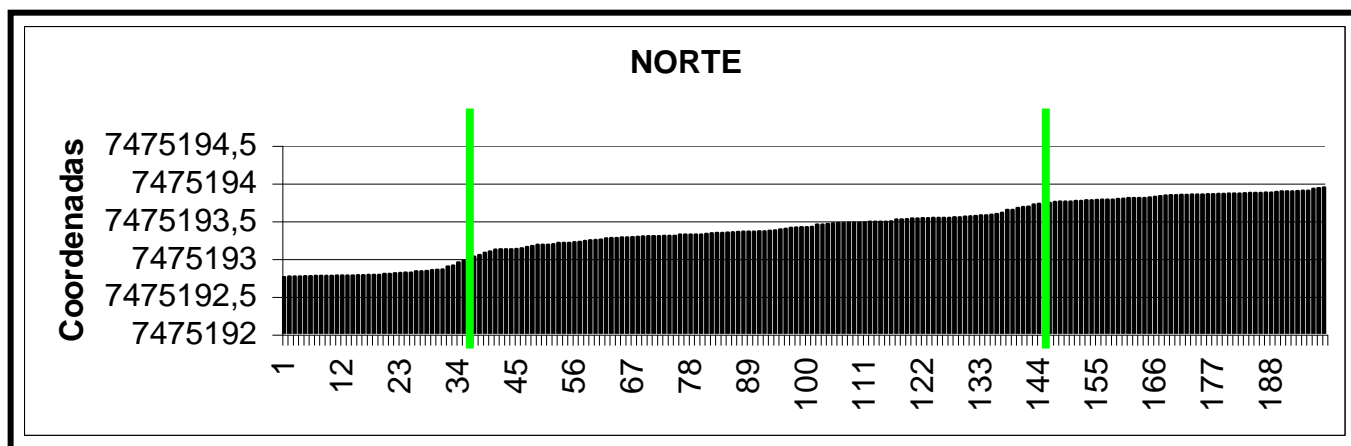


Figura 62 – Coordenadas UTM Norte corrigidas INCRA – C/A – 58,08%.

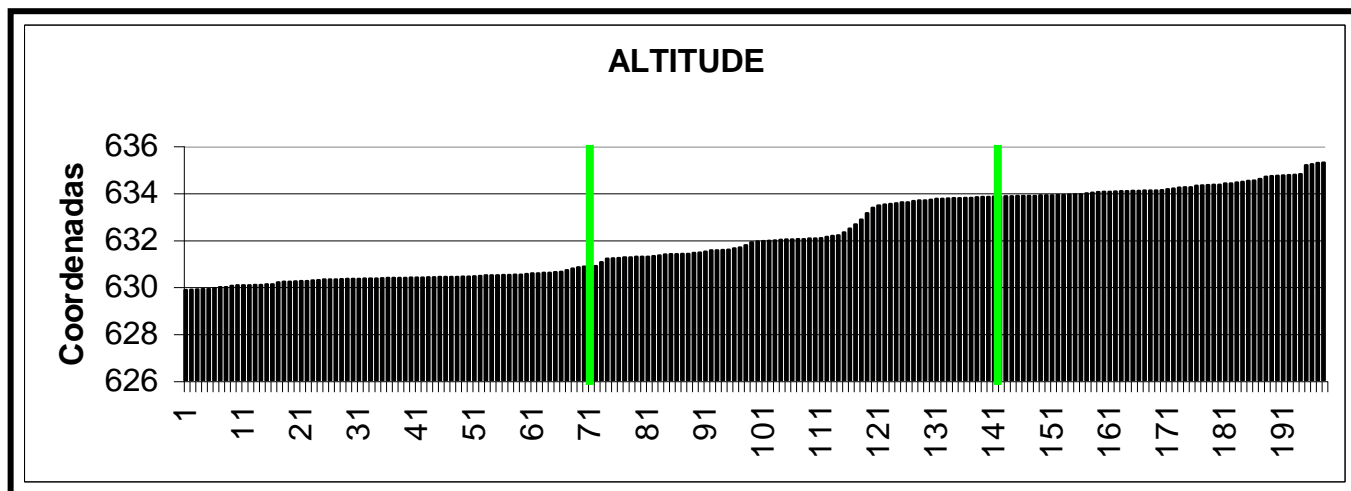
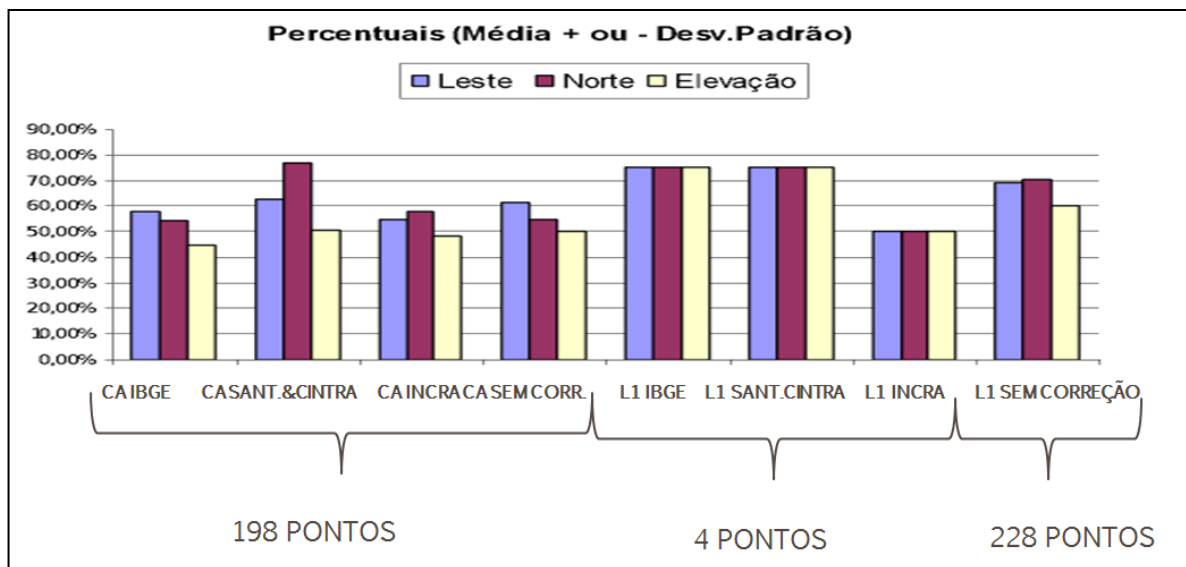


Figura 63 – Coordenadas UTM Altitude corrigidas INCRA – C/A – 48,48%.

## 5.4 – RESUMOS

### A) Análises Estatísticas e Teste Sigma N

A figura abaixo (Figura 64), que a percentagem obtida do intervalo entre a média + ou – o desvio padrão se mostrou com menor confiabilidade (percentagem inferior a 68%) entre todos os dados de L1, exceto pela estação Santiago & Cintra, enquanto que os dados obtidos pela portadora L1 se apresentou mais confiável, juntamente com o L1 sem correção.



**Figura 64** – Resumo dos dados obtidos pela análise estatística descritiva.

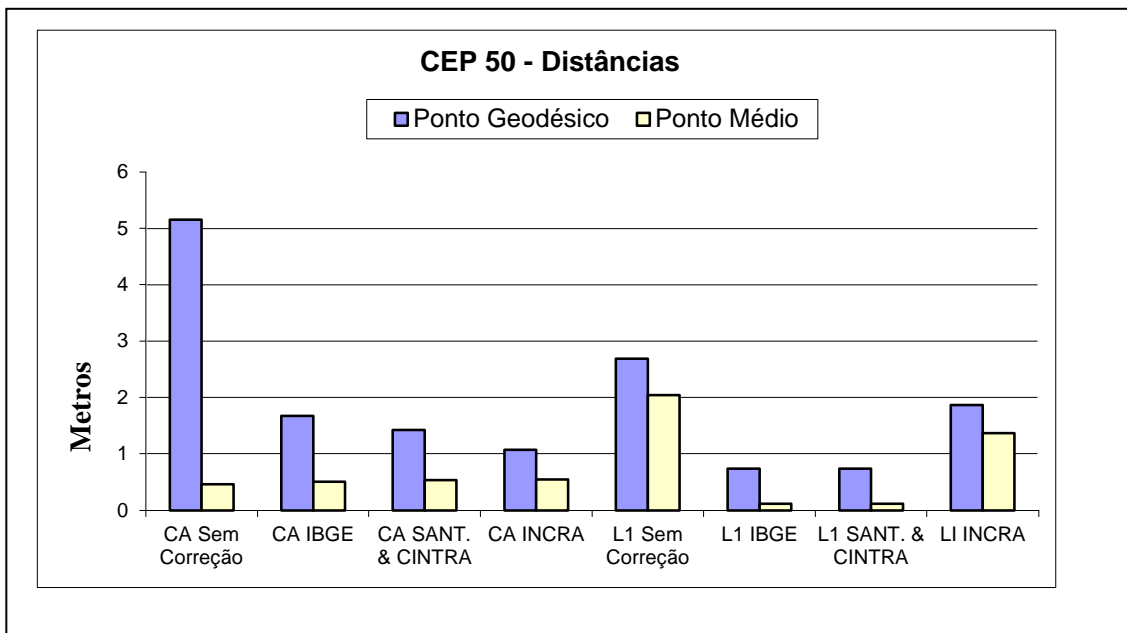
### B) Provável erro circular (CEP)

A tabela abaixo (tabela 6) apresenta um resumo dos CEPs discutidos anteriormente, para todos os pontos analisados com e sem correção diferencial pelas estações base da IBGE, Santiago & Cintra e INCRA. Em relação ao ponto geodésico, comparando C/A e L1 nota-se maior exatidão para o L1. Dentro do C/A a menor exatidão foi para os dados sem correção da mesma forma para o L1. Em relação ao ponto médio L1 também foi mais preciso que o C/A com exceção ao L1 sem correção. Esta diferença pode ser devida ao maior número de pontos amostrados (figura 65).

**Tabela 6** - Análise comparativa entre o CEP 50 do ponto geodésico e do ponto médio para todos os dados trabalhados.

	Distância (m)		N° de Pontos
	Ponto Geodésico	Ponto Médio	
	CEP 50	CEP 50	
CA Sem Correção	5,1557	0,4593	198
CA IBGE	1,6721	0,5047	198
CA SANT. & CINTRA	1,4243	0,5308	198
CA INCRA	1,0706	0,5426	198
L1 Sem Correção	2,6864	2,0377	228
L1 IBGE	0,7388	0,1155	4
L1 SANT. & CINTRA	0,7388	0,1155	4
L1 INCRA	1,8655	1,3660	4

Dentro dos dados C/A houve uma semelhança dos dados quanto a precisão para todos os parâmetros.



**Figura 65** – Comparação gráfica entre o CEP 50 referente ao ponto geodésico e o ponto médio para todos os dados trabalhados.

## 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como se pode observar com a análise dos dados, as estações utilizadas para a correção diferencial apresentaram resultados diferentes. As estações INCRA e IBGE se apresentaram com resultados mais próximos, no entanto a estação Santiago & Cintra apresentou resultados diferentes entre elas.

Os resultados mostram que a utilização da correção diferencial leva a uma melhor padronização dos dados além da correção de desvios, possibilitando maior acurácia em determinadas atividades. No entanto deve ser considerada a proximidade da estação utilizada.

Existe uma diferença entre os dados coletados em campo e os dados obtidos pelo GPS, indicando um certo erro do aparelho para áreas e perímetros pequenos.

Os maiores desvios foram observados para as coordenadas de altitude.

A tomada de dados no ponto geodésico sem presença da antena interferiu negativamente na capacidade do GPS em captar os sinais diminuindo a quantidade dos pontos corrigidos.

Levando em consideração as comparações realizadas neste trabalho e os resultados obtidos, recomenda-se que outros estudos sejam conduzidos com diferentes técnicas e equipamentos, a fim de averiguar a precisão e as potencialidades dos sistemas de posicionamento.

Recomenda-se também a análise comparativa entre estações apresentadas neste trabalho, a fim de se estabelecer qual estação é mais precisa e se os valores diferem estatisticamente, uma vez que os resultados obtidos demonstraram diferenças entre si.



## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO FILHO, R. **Avaliação da exatidão de posicionamento planimétrico de um receptor GPS operando sob diferentes condições de cobertura vegetal**. 2001. 70f. Tese (Livre-Docente), Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz” da Universidade de São Paulo. 2001.
- BERNARDI, J.V.E. & LANDIM, P.M.B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatémática, Texto Didático 10, p.31**. 2002.
- BIELENKI JÚNIOR, C. **Avaliação do uso de observáveis coletadas com receptores de navegação pessoal para determinação de coordenadas em linhas base curtas**. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.
- DE AGUIAR, C.R. & CAMARGO, P.D.O. **Modelagem em tempo real do erro sistemático das observáveis GPS devido à ionosfera. Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.12, n. 1, p. 101-120, 2006.
- DE OLIVEIRA, M.T. & SARAIVA, S.L.C. **Fundamentos de Geodésia e Cartografia: Série Tekne**. Bookman Editora. p. 242, 2015.
- ESRI. **ArcGis explorer website**. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis/explorer/index.html>>. Acesso em: 14 jan. 2016.
- FRANCO, T.C.R. **Análise da precisão no posicionamento com um receptor GPS de navegação. Revista Agrogeoambiental**, v.1, n.3, p. 79-86, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-**IBGE**. Disponível em:  
[ftp://geofpt.ibge.gov.br/informacoes\\_sobre\\_posicionamento\\_geodesico/rbmc/relatorio/Descritivo\\_SAVO.pdf](ftp://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rbmc/relatorio/Descritivo_SAVO.pdf). Acesso em: 10 dez. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-**IBGE**. Disponível em:  
[ftp://geofpt.ibge.gov.br/informacoes\\_sobre\\_posicionamento\\_geodesico/rbmc/relatorio/Descritivo\\_SSA1.pdf](ftp://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rbmc/relatorio/Descritivo_SSA1.pdf). Acesso em: 10 dez. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – **INCRA**.  
Disponível em: [http://ribac.incra.gov.br/gnweb\\_servlet/res/doc/SAVO.pdf](http://ribac.incra.gov.br/gnweb_servlet/res/doc/SAVO.pdf). Acesso em: 10 dez. 2016.

KAPLAN, E. & HEGARTY, C. **Understanding GPS: principles and applications**.  
Artech house. p. 723, 2005.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo Navstar-GPS**. Unesp. p. 287. 2000.

NEBYLOV, A. & WATSON, J. **Aerospace Navigation Systems**. John Wiley & Sons. p.  
500, 2016.

PARKINSON, B.W. & SPILKER JR, J.J., **Global Positioning System: Theory and Applications**, vol. 1. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics. p. 781. 1996.

REID, J.F. Precision guidance of agricultural vehicles. In: **SME Meeting**. Sapporo, Japan.  
*UILU-ENG-7031*. 1998.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, 16, p. 81-90, 2005.

SANTIAGO & CINTRA – Geo-tecnologias. Disponível em: <http://santiagoecintra.com.br>.  
Acesso em: 10 dez. 2016.

STABILE, M.C. & BALASTREIRE, L.A. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.26, n.1, p.215-223, 2006.

TIMBÓ, M.A. Levantamentos através do Sistema GPS. **Departamento de Cartografia da UFMG**, Belo Horizonte. p. 36, 2000

## 8 – APÊNDICES

Apêndice A - Análise estatística dos dados L1 sem correção.

	Leste		Norte		Elevação
Média	288645,97	Média	7475192,8	Média	639,42115
<b>Erro padrão</b>	<b>0,079462</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,156893</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,27188</b>
Mediana	288645,82	Mediana	7475193,1	Mediana	638,509
Modo	288645,77	Modo	7475194,8	Modo	637,056
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,199847</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>2,369037</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>4,105296</b>
Variância da amostra	1,4396338	Variância da amostra	5,6123348	Variância da amostra	16,853457
Curtose	1,205613	Curtose	-0,0701927	Curtose	-1,0686741
Assimetria	0,5993932	Assimetria	-0,4694565	Assimetria	0,2824662
Intervalo	7,579	Intervalo	13,309	Intervalo	18,827
<b>Mínimo</b>	<b>288643</b>	<b>Mínimo</b>	<b>7475186</b>	<b>Mínimo</b>	<b>631,533</b>
<b>Máximo</b>	<b>288650,6</b>	<b>Máximo</b>	<b>7475199</b>	<b>Máximo</b>	<b>650,36</b>
Soma	65811282	Soma	1,704E+09	Soma	145788,02
Contagem	228	Contagem	228	Contagem	228
Nível de confiança(95,0%)	0,1565772	Nível de confiança(95,0%)	0,3091536	Nível de confiança(95,0%)	0,5357312
		Sigma N			
	<b>Leste</b>		<b>Norte</b>		<b>H</b>
Média-desv. Pad	<b>288644,8</b>		<b>7475190</b>		<b>635,3159</b>
Média+desv pad	<b>288647,2</b>		<b>7475195</b>		<b>643,5264</b>
Contagem	<b>158</b>		<b>161</b>		<b>137</b>
	<b>69,30%</b>		<b>70,61%</b>		<b>60,09%</b>

## Apêndice B - Análise estatística dos dados L1 com correção IBGE.

	Leste		Norte		Elevação
<b>Média</b>	<b>288648,1373</b>	<b>Média</b>	<b>7475192,304</b>	<b>Média</b>	<b>637,417</b>
Erro padrão	0,048317644	Erro padrão	0,102062073	Erro padrão	0,07873902
Mediana	288648,1015	Mediana	7475192,206	Mediana	637,3495
Modo	#N/D	Modo	#N/D	Modo	#N/D
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,096635288</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,204124145</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,157478041</b>
Variância da amostra	0,009338379	Variância da amostra	0,041666667	Variância da amostra	0,024799333
Curtose	3,17634003	Curtose	3,916053083	Curtose	3,805903542
Assimetria	1,757858747	Assimetria	1,974288188	Assimetria	1,937603332
Intervalo	0,212	Intervalo	0,444	Intervalo	0,335
<b>Mínimo</b>	<b>288648,067</b>	<b>Mínimo</b>	<b>7475192,179</b>	<b>Mínimo</b>	<b>637,317</b>
<b>Máximo</b>	<b>288648,279</b>	<b>Máximo</b>	<b>7475192,623</b>	<b>Máximo</b>	<b>637,652</b>
Soma	1154592,549	Soma	29900769,21	Soma	2549,668
<b>Contagem</b>	<b>4</b>	<b>Contagem</b>	<b>4</b>	<b>Contagem</b>	<b>4</b>
Nível de confiança(95,0%)	0,153768452	Nível de confiança(95,0%)	0,324807371	Nível de confiança(95,0%)	0,25058294
		<b>Sigma N</b>			
	<b>Leste</b>		<b>Norte</b>		<b>H</b>
Média-desv. Pad	288648,0406		7475192,099		637,259522
Média+desv pad	288648,2339		7475192,508		637,574478
Contagem	3		3		3
	<b>75,00%</b>		<b>75,00%</b>		<b>75,00%</b>

## Apêndice C - Análise estatística dos dados L1 com correção Santiago &amp; Cintra.

	Leste		Norte		Elevação
<b>Média</b>	<b>288648,137</b>	<b>Média</b>	<b>7475192,3</b>	<b>Média</b>	<b>637,417</b>
Erro padrão	0,048317644	Erro padrão	0,102062073	Erro padrão	0,078739
Mediana	288648,1015	Mediana	7475192,206	Mediana	637,3495
Modo	#N/D	Modo	#N/D	Modo	#N/D
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,09663529</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,2041241</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,157478</b>
Variância da amostra	0,009338379	Variância da amostra	0,041666667	Variância da amostra	0,0247993
Curtose	3,17634003	Curtose	3,916053083	Curtose	3,8059035
Assimetria	1,757858747	Assimetria	1,974288188	Assimetria	1,9376033
Intervalo	0,212	Intervalo	0,444	Intervalo	0,335
<b>Mínimo</b>	<b>288648,067</b>	<b>Mínimo</b>	<b>7475192,2</b>	<b>Mínimo</b>	<b>637,317</b>
<b>Máximo</b>	<b>288648,279</b>	<b>Máximo</b>	<b>7475192,6</b>	<b>Máximo</b>	<b>637,652</b>
Soma	1154592,549	Soma	29900769,21	Soma	2549,668
<b>Contagem</b>	<b>4</b>	<b>Contagem</b>	<b>4</b>	<b>Contagem</b>	<b>4</b>
Nível de confiança(95,0%)	0,153768452	Nível de confiança(95,0%)	0,324807371	Nível de confiança(95,0%)	0,2505829
		<b>Sigma N</b>			
	<b>Leste</b>		<b>Norte</b>		<b>H</b>
Média-desv. Pad	<b>288648,041</b>		<b>7475192,1</b>		<b>637,2595</b>
Média+desv pad	<b>288648,234</b>		<b>7475192,5</b>		<b>637,5745</b>
Contagem	<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>

## Apêndice D - Análise estatística dos dados L1 com correção INCRA.

	Leste		Norte		Elevação
<b>Média</b>	<b>288646,865</b>	<b>Média</b>	<b>7475192,43</b>	<b>Média</b>	<b>634,902</b>
Erro padrão	0,374239681	Erro padrão	1,108677891	Erro padrão	0,726391
Mediana	288646,876	Mediana	7475192,519	Mediana	634,7625
Modo	#N/D	Modo	#N/D	Modo	#N/D
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,74847936</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>2,21735578</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>1,452782</b>
Variância da amostra	0,560221354	Variância da amostra	4,916666667	Variância da amostra	2,1105753
Curtose	-0,76115148	Curtose	-3,47762365	Curtose	-1,4876682
Assimetria	-0,07363811	Assimetria	-0,13534636	Assimetria	0,4284661
Intervalo	1,756	Intervalo	4,808999999	Intervalo	3,311
<b>Mínimo</b>	<b>288645,976</b>	<b>Mínimo</b>	<b>7475189,94</b>	<b>Mínimo</b>	<b>633,386</b>
<b>Máximo</b>	<b>288647,732</b>	<b>Máximo</b>	<b>7475194,75</b>	<b>Máximo</b>	<b>636,697</b>
Soma	1154587,46	Soma	29900769,73	Soma	2539,608
Contagem	4	Contagem	4	Contagem	4
Nível de confiança(95,0%)	1,190998806	Nível de confiança(95,0%)	3,528311169	Nível de confiança(95,0%)	2,3117024
		<b>Sigma N</b>			
	<b>Leste</b>		<b>Norte</b>		<b>H</b>
<b>Média-desv. Pad</b>	<b>288646,117</b>		<b>7475190,21</b>		<b>633,4492</b>
<b>Média+desv pad</b>	<b>288647,613</b>		<b>7475194,65</b>		<b>636,3548</b>
Contagem	2		2		2
	50,00%		50,00%		50,00%

Apêndice E - Análise estatística dos dados C/A sem correção.

<b>Leste</b>		<b>Norte</b>		<b>Elevação</b>	
Média	288649,18	Média	7475187,9	Média	643,08393
<b>Erro padrão</b>	<b>0,03126</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,022644</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,111126</b>
Mediana	288649,11	Mediana	7475187,9	Mediana	642,87
Modo	288649,76	Modo	7475188	Modo	645,36
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,439873</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,318626</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>1,563685</b>
Variância da amostra	0,1934883	Variância da amostra	0,1015228	Variância da amostra	2,4451117
Curtose	-1,3609348	Curtose	-0,8881924	Curtose	-1,5825061
Assimetria	0,2366474	Assimetria	-0,36908	Assimetria	0,1616775
Intervalo	1,517	Intervalo	1,137	Intervalo	4,915
<b>Mínimo</b>	<b>288648,5</b>	<b>Mínimo</b>	<b>7475187</b>	<b>Mínimo</b>	<b>640,918</b>
<b>Máximo</b>	<b>288650</b>	<b>Máximo</b>	<b>7475188</b>	<b>Máximo</b>	<b>645,833</b>
Soma	57152537	Soma	1,48E+09	Soma	127330,62
Contagem	198	Contagem	198	Contagem	198
Nível de confiança(95,0%)	0,061648	Nível de confiança(95,0%)	0,0446554	Nível de confiança(95,0%)	0,2191499
		Sigma N			
	<b>Leste</b>		<b>Norte</b>		<b>H</b>
Média-desv. Pad	288648,7		7475188		641,5202
Média+desv pad	288649,6		7475188		644,6476
Contagem	122		109		99
	<b>61,62%</b>		<b>55,05%</b>		<b>50,00%</b>



## Apêndice F - Análise estatística dos dados C/A com correção IBGE.

	Leste		Norte		Elevação
Média	288648,6859	Média	7475191,317	Média	639,36956
<b>Erro padrão</b>	<b>0,03510245</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,0226438</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,122827</b>
Mediana	288648,594	Mediana	7475191,337	Mediana	639,227
Modo	288649,363	Modo	7475190,722	Modo	640,887
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,4939353</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,31862649</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>1,728328</b>
Variância da amostra	0,243972081	Variância da amostra	0,101522843	Variância da amostra	2,9871173
Curtose	-1,522216272	Curtose	-0,921379736	Curtose	-1,5817604
Assimetria	0,196921989	Assimetria	-0,344231779	Assimetria	0,1315546
Intervalo	1,574	Intervalo	1,153	Intervalo	5,343
<b>Mínimo</b>	<b>288648,013</b>	<b>Mínimo</b>	<b>7475190,7</b>	<b>Mínimo</b>	<b>637,132</b>
<b>Máximo</b>	<b>288649,587</b>	<b>Máximo</b>	<b>7475191,85</b>	<b>Máximo</b>	<b>642,475</b>
Soma	57152439,8	Soma	1480087881	Soma	126595,17
Contagem	198	Contagem	198	Contagem	198
Nível de confiança(95,0%)	0,06922485	Nível de confiança(95,0%)	0,044655385	Nível de confiança(95,0%)	0,2422245
		SIGMA N			
	<b>Leste</b>		<b>Norte</b>		<b>H</b>
Média-desv. Pad	288648,192		7475191		637,6412
Média+desv pad	288649,18		7475191,64		641,0979
Contagem	114		107		88
	57,58%		54,04%		44,44%

## Apêndice G - Análise estatística dos dados C/A com correção Santiago &amp; Cintra.

	Leste		Norte		Elevação
Média	288649,0265	Média	7475191,761	Média	637,46038
<b>Erro padrão</b>	<b>0,03775197</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,03434102</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,127649</b>
Mediana	288648,851	Mediana	7475191,807	Mediana	637,2215
Modo	288649,784	Modo	7475191,709	Modo	639,244
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,53121734</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,483221</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>1,796183</b>
Variância da amostra	0,282191862	Variância da amostra	0,233502538	Variância da amostra	3,2262738
Curtose	-1,357642581	Curtose	-0,719231004	Curtose	-1,5775248
Assimetria	0,342710267	Assimetria	-0,645097289	Assimetria	0,1702045
Intervalo	1,741	Intervalo	1,382	Intervalo	5,636
<b>Mínimo</b>	<b>288648,318</b>	<b>Mínimo</b>	<b>7475190,93</b>	<b>Mínimo</b>	<b>635,011</b>
<b>Máximo</b>	<b>288650,059</b>	<b>Máximo</b>	<b>7475192,31</b>	<b>Máximo</b>	<b>640,647</b>
Soma	57152507,25	Soma	1480087969	Soma	126217,16
Contagem	198	Contagem	198	Contagem	198
Nível de confiança(95,0%)	0,074449914	Nível de confiança(95,0%)	0,067723245	Nível de confiança(95,0%)	0,2517344
		SIGMA N			
	Leste		Norte		H
Média-desv. Pad	288648,495		7475191,28		635,6642
Média+desv pad	288649,558		7475192,24		639,2566
Contagem	124		152		100
	62,63%		76,77%		50,51%

**Apêndice H** - Análise estatística dos dados C/A com correção INCRA.

	Leste		Norte		Elevação
Média	288647,2626	Média	7475193,395	Média	632,15964
<b>Erro padrão</b>	<b>0,03695504</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,0258179</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>0,121079</b>
Mediana	288647,193	Mediana	7475193,412	Mediana	631,8895
Modo	288647,801	Modo	7475193,533	Modo	633,8
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,52000357</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>0,3632901</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>1,703727</b>
Variância da amostra	0,270403712	Variância da amostra	0,131979695	Variância da amostra	2,9026841
Curtose	-1,564048581	Curtose	-0,964390326	Curtose	-1,5752192
Assimetria	0,180988146	Assimetria	-0,336466327	Assimetria	0,1800297
Intervalo	1,638	Intervalo	1,182999999	Intervalo	5,42
<b>Mínimo</b>	<b>288646,565</b>	<b>Mínimo</b>	<b>7475192,75</b>	<b>Mínimo</b>	<b>629,845</b>
<b>Máximo</b>	<b>288648,203</b>	<b>Máximo</b>	<b>7475193,94</b>	<b>Máximo</b>	<b>635,265</b>
Soma	57152157,99	Soma	1480088292	Soma	125167,61
Contagem	198	Contagem	198	Contagem	198
Nível de confiança(95,0%)	0,072878308	Nível de confiança(95,0%)	0,050914973	Nível de confiança(95,0%)	0,2387766
		SIGMA N			
	<b>Leste</b>		<b>Norte</b>		<b>H</b>
Média-desv. Pad	288646,743		7475193,03		630,4559
Média+desv pad	288647,783		7475193,76		633,8634
Contagem	109		115		96
	55,05%		58,08%		48,48%