



**WILLIAM THOMAS MOURA GARCIA**

**USO DE SOFTWARES COMERCIAIS NA AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO  
RELATIVA DE ANTENAS GNSS NO IFSULDEMINAS – *CAMPUS*  
INCONFIDENTES/MG**

**INCONFIDENTES/MG  
2016**

**WILLIAM THOMAS MOURA GARCIA**

**USO DE SOFTWARES COMERCIAIS NA AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO  
RELATIVA DE ANTENAS GNSS NO IFSULDEMINAS – *CAMPUS*  
INCONFIDENTES/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – *Campus* Inconfidentes, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Prof. Esp. Paulo Augusto Ferreira Borges

**INCONFIDENTES/MG  
2016**

**WILLIAM THOMAS MOURA GARCIA**

**USO DE SOFTWARES COMERCIAIS NA AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO  
RELATIVA DE ANTENAS GNSS NO IFSULDEMINAS – *CAMPUS*  
INCONFIDENTES/MG**

**Data de aprovação: \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_**

---

**Orientador: Prof. Esp. Paulo Augusto Ferreira Borges**  
**IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes**

---

**Prof. M.e Luciano Aparecido Barbosa**  
**IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes**

---

**Prof. M.e Hérica dos Reis Silva**  
**IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter iluminado meu caminho e minha vida nesta difícil jornada.

Aos meus pais Paulo e Cássia pelo amor, esforço, dedicação e compreensão em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

Ao meu irmão Diego que sempre me apoiou e me deu forças para nunca desistir.

Ao IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes e aos docentes do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica que me proporcionaram conhecimento, o desenvolvimento do caráter e da educação no processo de formação profissional. E em especial, ao professor Paulo Augusto Ferreira Borges por ter me auxiliado em todo o processo de execução deste trabalho e aos professores que diretamente se dedicaram a mim, os quais sem nomear terão os meus eternos agradecimentos.

Meus agradecimentos aos amigos e companheiros que fizeram parte da minha formação acadêmica e que vão continuar presentes em minha vida como eternos amigos. E por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

A minha gratidão.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível. ”

(Charles Chaplin)

## RESUMO

A finalidade desta pesquisa é exaltar a importância da calibração de antenas nos receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para as aplicações de alta acurácia e avaliar os resultados obtidos utilizando o método relativo em campo de calibração de antenas de receptores GNSS para os pilares do IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes. Em trabalhos que se almeja precisão na determinação de coordenadas geodésicas e de posicionamento de pontos com alta acurácia é de suma importância o conhecimento do centro de fase (CF) das antenas envolvidas no processamento. Esses valores são determinados mediante procedimentos de calibração através dos métodos absoluto ou relativo, os quais podem variar conforme a característica individual de cada antena afetando os valores de “offsets” necessários para a determinação das coordenadas precisas de um ponto. O offset do centro de fase médio pode ser dividido em dois elementos: o PCO (*Phase Center Offset*) e o PCV (*Phase Center Variation*). Neste trabalho determinou-se o PCO da antena ASH111661 através da Calibração Relativa em campo utilizando o pilar MGIN 93940 como referência e o pilar 93949 como pilar de calibração. Com isso, determinou-se as coordenadas geodésicas dos pilares e realizaram-se os experimentos que permitiram determinar e avaliar os diferentes parâmetros de calibração da antena ASH111661 utilizando os *softwares* LEICA *Geo Office* e GNSS Solution™. Diante dos resultados encontrados e expostos neste trabalho observa-se que os objetivos principais desta pesquisa foram alcançados, uma vez que pequenas discrepâncias milimétricas foram obtidas em comparação à calibração da antena ASH111661 fornecidas pelo NGS (*National Geographic Service*). Assim o produto final atendeu às expectativas, devido à falta de recurso, equipamentos e *softwares* para este tipo de estudo.

Palavras Chaves: PCO, PCV, NGS, *Softwares* GNSS

## ABSTRACT

The purpose of this research is to enhance the importance of antenna calibration in GNSS receivers for high accuracy applications and evaluate the results obtained using the relative method in GNSS (*Global Navigation Satellite System*) receiver antenna calibration in the field for the pillars of the IFSULDEMINAS – *CAMPUS Inconfidentes*. In some projects, that aim precision in the determination of geodetic coordinates and positioning of points with high accuracy is very important the knowledge of the antenna phase center involved in the processing. These values are determined by calibration procedures through absolute or relative basis, which may vary according to individual characteristic of each antenna affecting its "offsets" which are values needed for determining the precise coordinates of a point. The average phase center offset can be divided into two elements PCO (Phase Center Offset) and PCV (Phase Center Variation). On this project, it was accomplished the determination of the PCO from the ASH 111,661 through the relative calibration in the field using the MGIN 93940 pillar as a reference and pillar 93949 as a pillar of calibration. Thus, it was possible to determine the geodetic coordinates of the pillars and the experiments were carried out made possible to determine and evaluate the different calibration parameters ASH111661 antenna using the LEICA Geo Office software and GNSS Solution™. Thus, it was possible to determine the geodetic coordinates of the pillars and experiments were accomplished in order to determine and evaluate the different calibration parameters of the ASH111661 antenna using the LEICA Geo Office software and GNSS Solution™. Through the results found on this project, it is possible to realize that it was very well done because the main objectives were fully achieved and even with some millimeter discrepancies compared to the calibration ASH111661 antenna provided by NGS (*National Geographic Service*), it considers the final product amazing due to lack of resources, equipment and software for this type of study.

Key Words: PCO, PCV, NGS, GNSS *Software*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema geral do projeto GNSS .....	5
Figura 2 - Ocorrência do Multicaminho.....	11
Figura 3 - Antena Choke Ring .....	13
Figura 4 - Antena Pinwheel.....	13
Figura 5 - Componentes dos receptores GNSS.....	16
Figura 6 - Diagramas de Irradiação.....	19
Figura 7 - Diagrama de Irradiação .....	19
Figura 8 - Antenas Disponíveis para o emprego na recepção dos sinais GNSS .....	20
Figura 9 - Antena Microstrip.....	21
Figura 10 - Pontos e superfícies de referência de uma antena GNSS .....	22
Figura 11 - Centro de Fase de uma antena GNSS.....	23
Figura 12 - Dedução das Variações do Centro de Fase.....	24
Figura 13 - Interpretação do centro de fase médio e variações associadas .....	25
Figura 14 - Determinação do PCO pela rotação de antenas.....	28
Figura 15 - Calibração absoluta em Câmara Anecóica .....	29
Figura 16 - Calibração Absoluta em campo de forma manual.....	30
Figura 17 - Calibração Absoluta em campo de forma automatizada (Robô de Calibração)....	31
Figura 18 - Linha de base conhecida na Calibração Relativa .....	32
Figura 19 - Antena AOAD/M-T, Choke Ring 2D .....	33
Figura 20 - Localização do Pilar MGIN – 93940.....	37
Figura 21 - Localização do Pilar 93949 .....	38
Figura 22 - Antena ASH 111661.....	40
Figura 23 - Gabarito utilizado para convencionar as direções. ....	41
Figura 24 - Estação de Referência MGIN-93940.....	43
Figura 25 - Determinação das Diferenças de níveis entre os Pilares. ....	44
Figura 26 - Variações das Componentes na portadora L1 (E, N e h). ....	50
Figura 27 - Variações das Componentes na portadora L2 (E, N e h). ....	51
Figura 28 - Variações das diferenças de coordenadas no sentido Este e Norte. ....	53
Figura 29 - Variações das Componentes L1 (E, N e h).....	55
Figura 30 - Relatório da Estação Geodésica MGIN-93940. ....	67
Figura 31- Relatório da Estação Geodésica 93949. ....	68



Figura 32 - Relatório de Estação Geodésica 93953. ....	69
Figura 33- Características da Antena ASH 111661. ....	71
Figura 34- Nivelamento Geométrico pelo Datageosis Office. ....	74
Figura 35- Processamento L1 Leica Geo Office. ....	76
Figura 36- Processamento L1 Leica Geo Office. ....	77
Figura 37- Processamento L2 Leica Geo Office. ....	79
Figura 38 - Processamento L2 Leica Geo Office. ....	80
Figura 39 - Processamento L1/L2 Leica Geo Office. ....	82
Figura 40- Processamento L1/L2 Leica Geo Office. ....	83
Figura 41- Processamento Nordeste L1 Gnss Solutions™. ....	85
Figura 42 – Processamento Leste L1 Gnss Solutions™. ....	86
Figura 43 – Processamento Oeste L1 Gnss Solutions™. ....	87
Figura 44 – Processamento Noroeste L1 Gnss Solutions™. ....	88
Figura 45 – Processamento Sudoeste L1 Gnss Solutions™. ....	89
Figura 46 - Processamento Sudeste L1 Gnss Solutions™. ....	90
Figura 47 - Processamento Norte L1 Gnss Solutions™. ....	91
Figura 48 - Processamento Sul L1 Gnss Solutions™. ....	92
Figura 49 - Processamento Nordeste L1/L2 GNSS Solutions™. ....	94
Figura 50 - Processamento Leste L1/L2 GNSS Solutions™. ....	95
Figura 51 – Processamento Norte L1/L2 GNSS Solutions™. ....	96
Figura 52 - Processamento Noroeste L1/L2 GNSS Solutions™. ....	97
Figura 53 - Processamento Oeste L1/L2 GNSS Solutions™. ....	98
Figura 54 - Processamento Sudeste L1/L2 GNSS Solutions™. ....	99
Figura 55 - Processamento Sudoeste L1/L2 GNSS Solutions™. ....	100
Figura 56 - Processamento Sul L1/L2 GNSS Solutions™. ....	101

## LISTA DE TABELA

Tabela 1- Frequência dos sinais atuais e previstos para o GNSS.....	8
---	---

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes e efeitos dos erros sistemáticos envolvidos no GNSS.....	10
Quadro 2 - Panorama dos Formatos de correção. ....	35
Quadro 3 - Panorama das medições GNSS. ....	42
Quadro 4 - Coordenadas Precisas do Pilar 93949 sem os parâmetros de calibração da antena.	
Quadro 5 - Coordenadas Precisas do Pilar 93949 com os parâmetros de calibração da antena. .....	47
Quadro 6- PCO de Referência NGS.....	48
Quadro 7 - PCO da Antena ASH111661 (mm).....	49
Quadro 8 - Coordenadas das 8 direções estabelecidas para o pilar 93949.....	52
Quadro 9 - PCO da Antena ASH111661 processado com o GNSS Solutions™ (mm).....	54
Quadro 10 - Avaliação final dos parâmetros de calibração da antena ASH 111661. ....	56

## LISTA DE SIGLAS

ANTEX	<i>ingl. Antenna Exchange Format</i>
AOAD/M-T	<i>ingl. Allen Osborne Associates Dorne Margolin T</i>
ARP	<i>ingl. Antenna Reference Point</i>
BRN	Bernese
C/A	<i>ingl. Coarse Acquisition</i>
CF	Centro de Fase
CFM	Centro de Fase Médio
COMPASS	<i>ingl. BeiDou Navigation Satellite System</i>
DoD	<i>ingl. Department of Defense</i>
EC	<i>ingl. European Commission</i>
ESA	<i>ingl. European Space Agency</i>
GNSS	<i>ingl. Global Navigation Satellite System</i>
GLONASS	<i>rus. Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema</i>
GPS	<i>ingl. Global Positioning System</i>
HOW	<i>ingl. Hand Over Word</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	<i>ingl. International Civil Aviation Organization</i>
IFE	<i>ingl. Institut für Erdmessung</i>
IGS	<i>ingl. International GNSS Service.</i>
ITRF	<i>ingl. International Terrestrial Reference Frame</i>
ingl.	Inglês
LGO	<i>Leica Geo Office</i>
LGN	<i>Landesvermessung und Geobasisinformation - Landesbetrieb</i>
NAVSTAR	<i>ingl. Navigation Satellite with Time And Ranging</i>
NGS	<i>ingl. National Geographic Service</i>
P	<i>ingl. Precise or Protected</i>
PCO	<i>ingl. Phase Center Offset</i>

PCV	<i>ingl. Phase Center Variation</i>
PDOP	<i>ingl. position (3D) dilution of precision</i>
PRN	<i>ingl. Pseudo Random Noise</i>
PPP	Posicionamento por ponto preciso
PD	Pseudodistância
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX	<i>ingl. Receiver Independent Exchange Format</i>
S/A	<i>ingl. Selective Availability</i>
SBAS	<i>ingl. Satellite Based Augmentation Systems</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
TEQC	<i>Translate/Edit/Quality Check</i>
TGP	<i>ingl. Top of ground plane</i>
TPS	Sistema de Processamento Topográfico
TU	Tempo Universal
Z	<i>ingl. Z-count</i>

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. Objetivos .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1. Posicionamento pelo GNSS .....	4
2.1.1. NAVSTAR GPS .....	5
2.1.2. GLONASS .....	6
2.1.3. GALILEO .....	6
2.1.4. COMPASS/BEIDOU .....	7
2.2. Sinais GNSS .....	7
2.3. Erros no Posicionamento pelo GNSS .....	9
2.3.1. Erro ocasionado pelo efeito do Multicaminho .....	11
2.3.2. Erros relacionados ao receptor e à Antena GNSS .....	14
2.4. Receptores e Antenas para o Posicionamento pelo GNSS .....	15
2.4.1. Funções e características gerais das antenas .....	17
2.4.2. Tipos de antenas receptoras GNSS .....	20
2.4.3. Descrição do CF e das variações do centro de fase da antena .....	22
2.5. Calibração de Antenas de Receptores GNSS .....	26
2.5.1. Determinação da coordenada do centro de fase .....	26
2.5.2. Calibração absoluta em ambientes controlados (câmaras anecóicas) .....	28
2.5.3. Calibração absoluta em campo .....	29
2.5.4. Calibração Relativa em campo .....	32
2.5.5. Análise de diferentes serviços de calibração de antenas GNSS .....	34
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
3.1. Área de Estudo .....	37
3.2. Equipamentos .....	38
3.3. <i>Softwares</i> .....	38
3.3.1. GNSS Solutions™ .....	39
3.3.2. LEICA Geo Office .....	39
3.4. Metodologia .....	39
3.4.1. Levantamento de Campo .....	40

3.4.2.	Estação de referência MGIN-93940.....	42
3.4.3.	Nivelamento das estações.....	43
3.4.4.	Processamento dos Dados .....	44
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
4.1	Coordenadas precisas do pilar 93949 de calibração.....	46
4.2	Parâmetros de calibração obtidos nos experimentos de Calibração Relativa em campo. ....	48
4.2.1	Avaliação dos valores PCO utilizando o <i>software</i> LEICA <i>Geo Office</i> .....	48
4.2.2	Avaliação dos valores PCO utilizando o <i>software</i> GNSS <i>Solutions</i> <sup>TM</sup> .....	51
4.2.3	Avaliação final dos valores PCO utilizando o <i>software</i> Leica <i>Geo Office</i> . ....	56
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>
	ANEXO I – Relatórios das estações geodésicas homologadas pelo IBGE. ....	66
	ANEXO II – Características da Antena ASH 111661.....	70
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>72</b>
	APÊNDICE I – Nivelamento Geométrico pelo Datageosis Office.....	73
	APÊNDICE II – Processamento L1 Leica <i>Geo Office</i> . ....	75
	APÊNDICE III – Processamento L2 Leica <i>Geo Office</i> . ....	78
	APÊNDICE IV – Processamento L1/L2 Leica <i>Geo Office</i> . ....	81
	APÊNDICE V – Processamento L1 <i>Gnss Solutions</i> <sup>TM</sup> .....	84
	APÊNDICE VI – Processamento L1/L2 <i>GNSS Solutions</i> <sup>TM</sup> .....	93

## 1. INTRODUÇÃO

Em várias aplicações geodésicas e geofísicas é de suma importância a obtenção das coordenadas de pontos com alta acurácia. Por exemplo, na implantação e manutenção de redes geodésicas, no monitoramento do nível do mar, em posicionamento que requer posições ao nível do milímetro (ROTHACHER e MADER, 2002). Outras aplicações que necessitam da obtenção de coordenadas com alta acurácia são no monitoramento de grande estrutura (reservatório de hidrelétricas), no monitoramento de áreas de risco e no deslocamento de placas tectônicas, entre outras.

É importante conhecer com a máxima exatidão possível a posição do CF da antena do receptor GNSS para as aplicações geodésicas, uma vez que a posição é estimada, justamente, onde se encontra a antena. O estudo das variações do centro de fase de uma antena GNSS é de fundamental relevância e vem sendo objeto de intensa pesquisa (GÖRRES *et. al.*, 2006a), (KRUEGER *et. al.*, 2007), (BILICH *et. al.*, 2012), (HUINCA *et. al.*, 2012), (EL-HATTAB, 2013).

Para um posicionamento acurado uma importante fonte de erro deve ser considerada, refere-se às variações do centro de fase das antenas receptoras dos sinais GNSS. Ao lado dos erros atmosféricos e multicaminho, é um fator limitante para alcançar a acurácia necessária a esse tipo de posicionamento (WÜBBENA, 1996). O CF é um ponto virtual observado em uma antena GNSS onde recebe o sinal vindo de um satélite. Porém este ponto virtual não coincide com o centro geométrico da antena, ele pode variar de acordo com as características individuais

de cada antena e com a alteração da direção do sinal proveniente do satélite (SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

De acordo com Macedo (2015), para se ter o entendimento do CF de uma antena necessita-se da determinação do PCO e das PCVs. O PCO é um ponto materializado na antena no centro de fase médio e é caracterizado como sendo um vetor que tem origem no ponto de referência da antena (ARP). De acordo com Bartels (1997) as PCVs demonstram as mudanças do estado da fase da onda portadora em dependência do sinal incidente. Para a determinação desses parâmetros do CF da antena é necessário o processo de calibração de antenas. No qual determinam-se os valores que fazem com que erros ocasionados por estas variações do CF sejam minimizados no processamento de dados.

Diferentes métodos têm sido criados e melhorados para determinar a posição do PCO e dos PCVs. Existem múltiplos métodos de calibração: Primeiro a calibração absoluta em ambientes controlados, também conhecida como calibração absoluta em câmaras anecóicas, segundo a calibração absoluta em campo e o terceiro a Calibração Relativa em campo (GÖRRES et. al., 2006).

Foram iniciados em 1987 os estudos no âmbito de calibração de antenas GNSS em ambientes controlados que são denominados de câmaras anecóicas (SCHUPLER e CLARK, 2000). Os primeiros experimentos foram realizados por técnicas radiométricas para detectar e medir a energia do CF e determinar a amplitude e polarização de antenas GPS geodésicas (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Os primeiros resultados utilizando o Método de Calibração Absoluto em Campo, foram obtidos em 1996 pelo *Institut für Erdmessung* (IfE) da Universidade de Hannover. Esse método foi aprimorado no ano de 2000, onde se desenvolveu um mecanismo automatizado no qual permite rotações e inclinações automáticas da antena a ser calibrada (WÜBBENA et. al., 2000).

No ano de 1990 iniciou-se o desenvolvimento do Método de Calibração Relativa de antenas onde determinou-se o diagrama de fase de antenas GNSS a partir de características de uma antena de referência (BREUER et. al., 2001 *apud* FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Segundo Huinca (2014), no método de Calibração Relativo em campo realizam-se calibrações de antenas de interesse a partir de uma antena de referência já calibrada. Trata-se de um método de fácil emprego, porém existem algumas desvantagens. Dentre elas pode-se



citar: o fato dessa metodologia estar condicionadas as características do entorno da estação; o ambiente da antena; condições de multicaminho e variáveis meteorológicas. Os erros provenientes do entorno na estação ainda são um fator limitante nas calibrações realizadas em campo (LÖFGREN *et. al.*, 2009), de difícil redução e pode assim ser considerado como um fator limitante na precisão de posicionamentos GPS (SCHMITZ *et. al.*, 2004). A maior fonte de erro na aplicação do método relativo em campo refere-se ao efeito do multicaminho, provocado pelo sinal emitido do satélite que chega à antena do receptor via múltiplos caminhos, atribuídos à reflexão do sinal pelos objetos situados próximos a antena. Segundo Ray (1999), esse erro pode variar desde poucos centímetros até metros, dependendo da quantidade de obstruções existentes no entorno do ponto a ser posicionado, ou seja, na área de levantamento e da refratividade da superfície do material onde o sinal incide.

### 1.1. Objetivos

A realização deste trabalho teve como objetivos:

- Exaltar a importância da calibração de antenas nos receptores GNSS para as aplicações de alta acurácia;
- Analisar as diferentes coordenadas geodésicas obtidas entre uma mesma antena de um receptor GNSS com os parâmetros de calibração e sem os parâmetros;
- Comparar as diferenças de coordenadas geodésicas obtidas adotando o mesmo tipo de antena de receptor GNSS e sua calibração em *softwares* distintos;
- Avaliar os parâmetros de calibração PCO obtidos através do método de Calibração Relativo em campo.

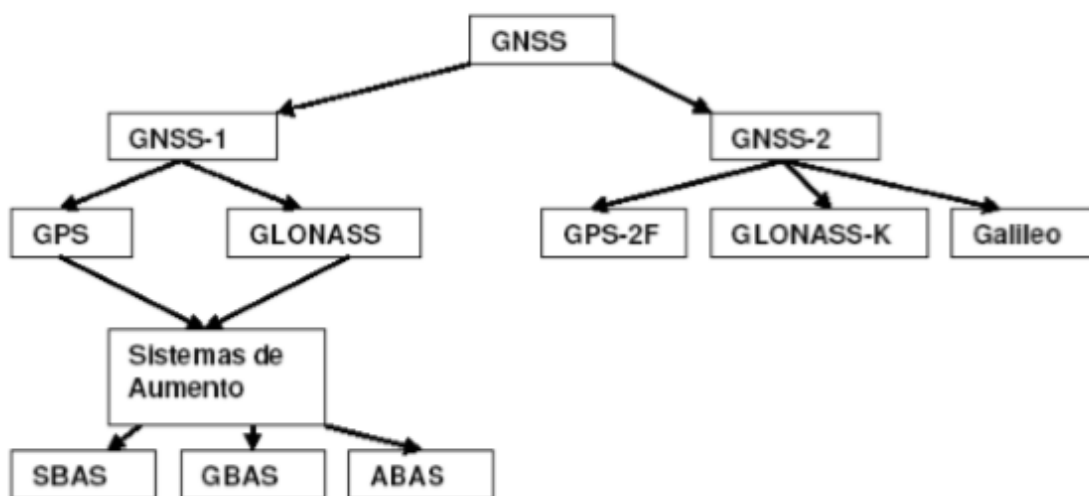
## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Posicionamento pelo GNSS**

A palavra GNSS deu início na 10ª Conferência de Navegação Aérea, no ano de 1991, quando o ICAO (*ingl. International Civil Aviation Organization*) identificou que no sistema de navegação do século XXI ofereceria um sistema global de navegação de modo que se embasasse em satélites artificiais que proporcionam dados de navegação e de observações ao usuário em tempo real e com o objetivo de se obter a determinação instantânea de posição, velocidade e tempo de um usuário. (HUINCA, 2009)

Em virtude deste conceito de GNSS, existem duas gerações, O GNSS-1 e o GNSS-2. O GNSS-1 baseia-se no NAVSTAR-GPS (*ingl. Navigation Satellite with Time and Ranging*) e GLONASS (*rus. Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema*) aliado aos sistemas de aumento elaborados por civis. O GNSS-2, por sua vez, contará com os satélites do Bloco IIF do NAVSTAR-GPS, GLONASS-K e o GALILEO. A Figura 1 nos mostra um esquema geral do projeto GNSS. (KRUEGER *et. al.*, 2007)

Figura 1 - Esquema geral do projeto GNSS



Fonte – Freiburger Junior (2007)

O sistema do GNSS é dividido em três segmentos: espacial, de controle e de usuários. O espacial consiste nos satélites em órbita ao redor da Terra. O de controle é monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites; determinar o sistema de tempo GPS; prever e definir as informações a serem transmitidas aos satélites. Por conseguinte, o segmento dos usuários está diretamente associado aos receptores, os quais devem ser apropriados para os propósitos a que se destinam. (MONICO, 2008)

O princípio básico de navegação pelo sistema GNSS consiste na medida de distâncias entre o usuário e quatro satélites, sendo estes acima do horizonte do observador. Conhecendo as coordenadas dos satélites em um sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas de um ponto na superfície terrestre. Pela perspectiva de observação geométrica, conhecendo-se três distâncias que não estejam no mesmo plano já seriam suficientes. Neste caso o problema se reduziria à solução de um sistema de três equações com três incógnitas. A quarta medida é necessária em razão do não sincronismo entre os relógios dos satélites e o do usuário, que adiciona uma incógnita no problema. (MONICO, 2008)

### 2.1.1. NAVSTAR GPS

Segundo Seeber (2003) o sistema NAVSTAR – GPS é um sistema de rádio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD – *Department of Defense*) em princípio, para atender aos interesses da força militar americana,

contudo, é um sistema de abrangência global, onde podem ser rastreados por qualquer usuário que possui em sua disposição no mínimo quatro satélites. É um dos sistemas mais precisos na determinação da posição tridimensional de pontos na superfície terrestre, na navegação e em informações sobre o tempo. Comumente conhecido como GPS atualmente sua constelação é composta por 31 satélites ativos, sendo que 5 satélites pertencem ao Bloco IIA, 12 satélites do Bloco IIR, 7 satélites do Bloco IIRM e 7 satélites do Bloco IIF (GPS.GOV, 2016). As órbitas dos satélites são circulares e possuem 6 planos orbitais com inclinação de  $55^\circ$  em relação ao Equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Os satélites situam-se a uma altitude de aproximadamente 20.200 km.

### 2.1.2. GLONASS

Segundo Monico (2008) a Rússia desenvolve o GLONASS desde 1970, este sistema, que é uma metodologia muito similar ao GPS, foi idealizado para proporcionar posicionamento 3D e velocidade, bem como informações de tempo, sob quaisquer condições climáticas, em nível local, regional e global, no entanto, pelo menos em tese, a acurácia das pseudodistâncias GLONASS é pior que a do GPS. Possui uma constelação de 24 satélites com 3 planos orbitais em uma inclinação de  $64,8^\circ$  em relação ao Equador e o período orbital é de 11 horas e 15 minutos, estando a uma altitude de aproximadamente 19.100km.

### 2.1.3. GALILEO

O GALILEO é um sistema de satélites e estações terrestres planejado para produzir informações relacionadas ao posicionamento global dos usuários e aberto ao uso civil. O projeto encontra-se em implementação pelo *European Commission* (EC) e *European Space Agency* (ESA) e prevê um total de 30 satélites em órbita terrestre com o objetivo de capacitar a comunidade europeia na aquisição independente de dados relacionados ao posicionamento global. O primeiro satélite do sistema Galileo, GIOVE – A, foi lançado no dia 28 de dezembro de 2005. As órbitas dos satélites serão circulares e seus planos orbitais terão uma inclinação de  $56^\circ$  em relação ao Equador, com um período orbital de 14 horas. Os satélites estarão a uma altitude de aproximadamente 24.000 km. O sistema GALILEO poderá ser operado com o GPS e GLONASS, os outros dois sistemas de posicionamento global existentes. (MONICO, 2008)

#### 2.1.4. COMPASS/BEIDOU

O sistema chinês *BeiDou Navigation Satellite System* (COMPASS/BEIDOU) foi iniciado em 1983, baseado na ideia de utilização de satélites geoestacionários, é um pouco diferente dos outros sistemas, ele consta com um total de 27 satélites em órbita média, 5 satélites em órbita geoestacionária e mais 3 satélites em órbita geossíncrona. As órbitas dos 27 satélites previstos, apresentam altitude média de 21.200 km e são distribuídos de maneira uniforme em 3 planos orbitais com uma inclinação de  $55^\circ$  em relação ao Equador. Já os satélites em órbita geossíncrona têm uma altitude de 37.785 km acima da Terra com ângulo de inclinação de  $55^\circ$ . (HOFMANN-WELLENHOF *et. al.*, 2008).

Segundo Hofmann-Wellenhof *et. al.* (2008), este sistema fornece dois serviços, um aberto para uso civil e outro para uso autorizado. O serviço civil poderá fornecer uma precisão de posição de até 10 metros, porém o autorizado permite uma precisão melhor. O primeiro satélite foi lançado em 2000 e o sistema está com uma capacidade operacional inicial desde 2012, contudo as autoridades chinesas preveem que toda a constelação esteja operando até 2020.

#### 2.2. Sinais GNSS

As observáveis básicas que permitem determinar posição, velocidade e tempo podem ser identificadas como pseudodistância a partir do código C/A (*Coarse Acquisition*), fase da onda portadora ou diferença de fase da onda portadora além de outras observáveis como variação Doppler e SRN (*Signal to Noise Ratio*). (MONICO, 2008)

A pseudodistância é a diferença entre o tempo registrado no receptor no instante de recepção do sinal e o tempo registrado no satélite no instante de transmissão do sinal, multiplicado pela velocidade da luz no vácuo. Já a fase da onda portadora é igual à diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no mesmo instante de recepção. Além da diferença de fase é necessário fazer a contagem do número de ciclos inteiros da primeira época de observação entre as antenas do receptor e o satélite, definida como ambiguidade. (MONICO, 2008)

Para as ondas portadoras do sistema GPS por exemplo, cada satélite transmite pelo menos dois sinais para o posicionamento: o sinal L1 e o sinal L2. Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10.23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120 respectivamente gerando então para a onda L1 (frequência) = 1575.42 MHz; e um (comprimento de onda)  $\lambda = 19$  cm e para onda L2= 1227.60 MHz;  $\lambda = 24$  cm. Atualmente o bloco IIF está em atividade com uma terceira portadora disponível a onda L5 (frequência) = 1176,45 MHz;  $\lambda$  (comprimento de onda) = 25,5 cm. (MONICO, 2008)

Apresentam-se na Tabela 1 os diferentes tipos de frequências dos sinais transmitidos pelos sistemas de satélites GNSS, mostrando-nos os sinais atualmente em uso como, por exemplo, L1 e L2 do GPS e também as frequências futuras dos sinais dos sistemas em desenvolvimento.

Tabela 1- Frequência dos sinais atuais e previstos para o GNSS.

Sistemas	Sinais	Frequência (MHz)
GPS	L1	1575,42
	L2	1227,60
	L5	1176,45
GLONASS	L1	1603,6875
	L2	1246
	L3	1202,25
GALILEO	L5	1176,45
	E1	1575,42
	E5a	1176,45
	E5b	1202,025
BEIDOU/COMPASS	E6	1278,75
	B1	1561,098
	B1-2	1589,742
	B2	1207,140
	B2-altBOC	1191,795
	B3-altBOC	1268,52
	L5	1176,45

Fonte: Lamontagne *et. al.*, (2012)

Ainda segundo Monico (2008) o código C/A que é outra observável que permite determinar a posição, tem um comprimento de onda por volta de 300 metros sendo transmitido a uma razão de 1.023 MHz e modulado somente sobre a onda portadora L1. O código C/A promove a medida da pseudodistância que proporciona obter a exatidão estipulada no GNSS. Este código não é criptografado, embora possa ter sua precisão degradada.

O código P (*Precise or Protected*) tem sido reservado para uso dos militares americanos e outros usuários autorizados, onde seu comprimento de onda é da ordem de 30 m e é transmitido na razão de 10.23 MHz (uma sequência de 10,23 milhões de dígitos binários por

segundo) modulado nas portadoras L1 e L2. Cada satélite contém o correspondente a 7 dias deste código PRN (*ingl. Pseudo Random Noise*), ou seja, uma semana das 38 possíveis, uma vez que há a repetição a cada 266 dias. Desta forma, todos os satélites transmitem na mesma frequência e podem ser identificados pela sua (única) semana correspondente. O seguimento do código atribuído a cada satélite é reiniciado a cada semana às 0hs TU (Tempo Universal) do sábado para domingo. O fato do código P ser modulado numa razão mais alta faz com que o mesmo seja mais preciso. (SEEBER, 2003)

O código P é criptografado no modo S/A (*ingl. Selective Availability*) e passa a ser denominado código Y, o qual não é disponível para os usuários civis. As mensagens de navegação são também moduladas sobre as portadoras. Estas mensagens contêm os parâmetros orbitais, dados para correção da propagação na atmosfera, parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, saúde dos satélites, etc. O acesso direto ao código P somente é possível para receptores bem sincronizados com o sistema de tempo GPS e posicionado sobre um ponto com coordenadas bem definidas. Esta é a razão pela qual, em geral, o acesso é realizado com o auxílio do código C/A via o HOW (*Hand Over Word*), o qual contém o contador Z (*Z-count*) que acompanha as mensagens dos satélites. O contador Z é definido como um número inteiro, com período de 1,5 segundos, e contado desde o início da semana GPS, identificando desta forma a época de registro dos dados em tempo GPS. Quando o contador Z é conhecido, a aquisição do código P pode ser feita nos próximos seis segundos. (SEEBER, 2003)

### 2.3. Erros no Posicionamento pelo GNSS

As principais fontes de erros do posicionamento por GNSS é um tema bem discutido pelos usuários deste sistema, a sua precisão depende da minimização ou eliminação desses erros que afetam as observáveis, sujeitas a erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros.

Os erros aleatórios não apresentam qualquer relação funcional com as medidas das observáveis e são, normalmente, as discrepâncias remanescentes nas observações depois que todos os erros grosseiros e sistemáticos são minimizados. Os erros sistemáticos podem ser determinados, reduzidos ou eliminados por técnicas apropriadas. Os erros grosseiros são causados normalmente por falhas humanas e devem ser eliminados. (SEEBER, 2003)

Para uma melhor acurácia, na teoria, esses erros deveriam ser eliminados, porém, eles são inevitáveis uma vez que sempre resta alguma fonte de erro sistemático. As fontes de erros

sistemáticos no GNSS podem ser classificadas em 4 grupos principais (Quadro 1): satélite, propagação do sinal, receptor/antena e a própria estação. (SEEBER, 2003)

Quadro 1 - Fontes e efeitos dos erros sistemáticos envolvidos no GNSS.

<b>FONTES</b>	<b>EFEITOS</b>
Satélite	Erro da órbita Erro do relógio Relatividade Atraso de Grupo
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Sinais refletidos Rotação da Terra
Receptor/Antena	Erro do relógio Erro entre os canais Centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas Marés terrestres Movimento do Pólo Carga dos oceanos Pressão da atmosfera

Fonte: Adaptado de Seeber (2003).

É bom frisar que marés terrestres, cargas dos oceanos e da atmosfera não são especificamente erros, mas variações que devem ser consideradas para os casos de posicionamento de alta precisão. (MONICO, 2008)

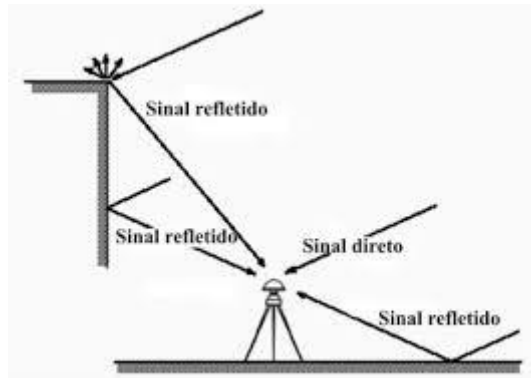
Entre as fontes de erros aqui citadas nesta pesquisa, não é de objetivo principal os estudos desses erros sistemáticos envolvidos nas observáveis. Porém o efeito do multicaminho é um contexto que será mais explorado por ser uma fonte muito importante para a determinação de coordenadas precisas de um determinado ponto.



### 2.3.1. Erro ocasionado pelo efeito do Multicaminho

O multicaminho é caracterizado como o próprio nome diz por diferentes caminhos de recepção do sinal, onde o receptor recebe além do sinal que chega diretamente à antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas a ela como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Ocorrência do Multicaminho



Fonte: Souza; Monico; Polezel (2004)

Observando a Figura 2, percebe-se que os sinais recebidos pelos receptores chegam em diferentes caminhos, direto e indireto. Com isso os sinais podem apresentar distorções na fase da onda portadora e na modulação sobre ela. Não existe um modelo geral para o efeito do multicaminho, pois a geometria de cada local que provém o sinal varia de forma diferente, portanto as observáveis de fase da onda portadora e a pseudodistância são atingidas por essa razão, o que afeta a qualidade do posicionamento. Esse efeito pode ser considerado a maior fonte de erro na Calibração Relativa em campo de antenas GNSS o que torna necessária sua quantificação e consideração no âmbito da calibração de antenas. (MONACO, 2008; SEEBER, 2003)

O multicaminho é provocado pelos seguintes fatores: geometria da constelação, superfícies refletoras, antena receptora, a potência do sinal, e depende também do programa de processamento empregado na avaliação das observações (BECKER, 1994 *apud* FREIBERGER JUNIOR, 2007). Segundo Leick (2004), satélites em baixos ângulos de elevação (menores que 20°) geram fortes incidências de multicaminho.

Ainda segundo Leick (2004) o impacto do erro produzido pelo multicaminho sobre a observável de fase da onda portadora pode-se chegar as seguintes conclusões:

- O efeito do multicaminho na fase da onda portadora é de um quarto do comprimento de onda, o que para a portadora L1 é de 4,8 cm;
- A fase da onda portadora da antena é inversamente proporcional ao comprimento de onda e a frequência do multicaminho é proporcional à distância perpendicular entre a superfície refletora, além de ser em função do ângulo de elevação do satélite;
- A fase da onda portadora livre dos efeitos da ionosfera, se comporta de maneira muito complicada quando sujeita ao multicaminho.

No que se refere a pseudodistância, o comportamento desse efeito é similar ao da fase da onda portadora, mas a variação apresenta ordem de magnitude várias vezes maior, podendo atingir até 150 metros. (RAY, 1999).

Uma forma de redução do sinal refletido pela seleção de antenas construídas com base na polarização do sinal GNSS seria moldar os padrões de radiação da antena para que ela receba somente sinais polarizados circularmente à direita. A antena *Choke Ring* tem essa característica, pois trata-se de uma antena com um plano de terra (disco metálico horizontal onde a antena é centrada) que contém uma série de círculos concêntricos com altura de aproximadamente um quarto do comprimento de onda, valor máximo do multicaminho para a portadora, no entanto é uma antena de alto custo e tamanho avantajado, o que torna muitas vezes inviável o seu uso. Observa-se na Figura 3 uma antena *Choke Ring* desenvolvida pela empresa Trimble. (EVENTZUR e SHAKED, 2008; KUNYSZ, 2010).

Figura 3 - Antena Choke Ring



Fonte - <<http://www.trimble.com/Infrastructure/Trimble-Choke-Ring-Antenna.aspx>>

Segundo Grewal *et. al.*, (2007) em virtude de algumas características das ondas eletromagnéticas a utilização de antenas com plano de terra não é muito eficiente, pois elas se deslocavam para a superfície superior do disco, alcançando a antena, e além disso, os sinais indiretos podem ser recebidos por baixo da antena. Um desenvolvimento mais recente em relação a antenas que reduzem o efeito do multicaminho é a *pinwheel*, com performance similar às antenas *choke ring* porém mais leve e de custo bem menor. A empresa Novatel desenvolveu a antena apresentada na Figura 4, composta por slots espirais otimizados para receber sinais circularmente polarizados à direita. (KUNYSZ, 2010)

Figura 4 - Antena Pinwheel



Fonte - <<http://www.novatel.com/products/gnss-antennas/>>

Segundo Souza (2008), encontra-se uma série de fatores que ajudam na detecção e análise do efeito do multicaminho na recepção de sinais GNSS, uma delas é a realização de experimentos repetitivamente, ou seja, a repetitividade pode ser testada quando o receptor está estacionado e não existem mudanças no entorno da estação, logo o erro é ocasionado apenas pela movimentação dos satélites em órbitas. Outros fatores é a utilização do software TEQC (*Translate/Edit/Quality Check*) e analisar a razão sinal ruído SNR (*ingl. Signal Noise Ratio*) pois esse vai sofrer flutuações se o sinal direto for perturbado pelo multicaminho.

Apesar dos diferentes avanços que se tem obtido nas várias formas de minimizar os efeitos do multicaminho, recomenda-se evitar levantamentos em locais propícios a essa ocorrência e utilizar as tecnologias apresentadas que são capazes de reduzir esse efeito, como as antenas (*choke ring e pinwheel*) e o *softwares* desenvolvidos (PEREZ, 2002).

### 2.3.2. Erros relacionados ao receptor e à Antena GNSS

Os erros relacionados ao receptor e à antena GNSS são: erro do relógio, erro entre os canais e centro de fase da antena do receptor. Esses erros são ocasionados pelo *hardware* do receptor e da antena, incluindo-se nesta última a fase *wind-up*.

O erro do relógio é ocasionado devido ao não sincronismo de tempo entre o satélite e o receptor. Isto ocorre devido ao fato de que os satélites apresentam relógios muito mais precisos do que aqueles encontrados nos receptores. De qualquer forma, no posicionamento relativo, os erros dos relógios são praticamente eliminados (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Quando o receptor possui mais que um canal pode ocorrer erro sistemático entre os canais, pois os sinais dos satélites percorrem caminhos eletrônicos diferentes ocasionando o erro entre os canais. Esse erro é eliminado de forma simples, onde o receptor dispõe de um dispositivo que realiza a calibração no início de cada levantamento. Adota-se um canal como padrão e cada canal rastreia simultaneamente um satélite em particular e determina os erros em relação a este canal padrão (SEEBER, 2003).

A variação do CF é um erro proveniente da não coincidência entre os centros mecânico e eletrônico das antenas, tornando-se então necessário determinar um vértice de referência para criar uma relação entre eles. (FREIBERGER JUNIOR, 2007). Segundo Monico (2008) o CF eletrônico da antena é um ponto virtual onde as medidas dos sinais são referenciadas. Ele não

é um ponto estável, varia conforme a direção (elevação e azimute) do satélite. Em geral esse ponto de referência é denominado de ARP (*Antenna Reference Point*).

A correção do erro de variação do CF é realizada por meio da calibração da antena, com isso, os erros ocasionados pela variação do centro de fase da antena é um contexto que será mais relatado em detalhes na seção 2.4.3 por ser uma fonte muito importante e que deve ser conhecida quando se almeja trabalhar com precisão milimétrica. O não conhecimento desses valores pode acarretar em erros na ordem de centímetros em função do padrão construtivo das antenas.

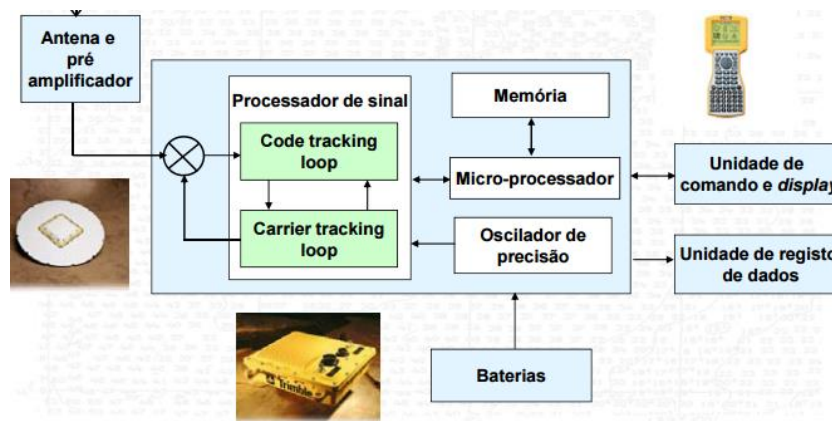
#### 2.4. Receptores e Antenas para o Posicionamento pelo GNSS

Os diversos equipamentos GNSS vem recebendo um notável grau de desenvolvimento com enfoque em diversas aplicações, estágios de projeto, implementações tecnológicas e pela modernização desses sistemas, com o objetivo de melhorar a qualidade das coordenadas geodésicas, o registro do tempo, a modularização e miniaturização dos receptores. Atualmente os usuários se deparam com receptores/antenas capazes de receberem sinais da constelação GPS, das constelações GPS/GLONASS e alguns equipamentos já estão sendo preparados para receber sinais da constelação GALILEO. Um dos principais aspectos tem sido a expansão das aplicações GPS e o aprimoramento da precisão, que trouxe à comunidade usuária uma gama de equipamentos de alta confiabilidade, voltados para aplicações específicas de posicionamento e navegação, o que diferem de preços conforme a tecnologia implementada. (FREIBERGER JUNIOR, 2004; HUINCA, 2014)

A instrumentação GNSS inclui um coletivo de tópicos e uma das principais fontes de erros no posicionamento preciso por GNSS é sobre as antenas de receptores GNSS. Neste tópico busca-se abordar as principais informações e características deste instrumento e conduzi-lo a uma literatura especializada de acordo com a importância sobre o assunto. (FREIBERGER JUNIOR, 2004).

Em geral, os receptores GNSS abrangem os mesmos conjuntos de funções, mesmo que suas implementações sejam distintas em diferentes tipos e marcas de receptores. Pode-se observar na Figura 5 os componentes primários de um receptor GNSS que são: antena e amplificador, processador de sinal, oscilador, microprocessador, unidade de controle e interface, suprimento de energia e memória. (SEEBER, 2003)

Figura 5 - Componentes dos receptores GNSS.



Fonte – Antunes (1990)

Analisando a Figura 5 e segundo Freiburger Junior (2004) qualquer receptor GNSS deve operar de acordo com as seguintes tarefas:

- A antena recebe as ondas eletromagnéticas enviadas pelos satélites, transforma essa energia em corrente elétrica, aumenta o sinal e envia para a parte eletrônica do receptor;
- O Processador do sinal recebe o sinal amplificado e combina com o sinal produzido pelo oscilador;
- O microprocessador domina as operações do receptor, recebe e processa o sinal, criptografa as mensagens de navegação, computa em tempo real as coordenadas geodésicas e as velocidades do ponto onde a antena está estacionada;
- A interface da unidade de controle permite a comunicação entre o usuário e receptor. Onde fornece informações importantes ao usuário, como por exemplo: número de satélites, PDOP, coordenadas geodésicas e precisões;
- A memória permite a gravação dos dados para um pós-processamento (cartão de memória removível) ou transmissão dos dados em tempo real a outro receptor via rádio modem;
- O suprimento de energia que geralmente é uma bateria que alimenta o receptor e a antena.

#### 2.4.1. Funções e características gerais das antenas

Suspeitam-se que as primeiras antenas de receptores GNSS foram criadas por Heinrich Hertz, em 1886, com objetivo de desenvolver estudos das teorias eletromagnéticas. Segundo IEEE Std (1983), a definição oficial de uma antena é "*um meio para irradiar ou receber ondas de rádio*". Outra definição indicada por IEEE Std (1983) diz que a antena do receptor GNSS é o elemento responsável pela detecção das ondas eletromagnéticas vindas dos satélites, podendo ser considerada um sensor que traduz o sinal do satélite incidente em informações de amplitude e fase.

Segundo Tranquilla *et. al.* (1989), a antena GNSS transforma a energia da onda em corrente elétrica, amplifica a força do sinal e disponibiliza os sinais ao processador do receptor. Ou seja, é um dispositivo que tem a função de converter a energia eletromagnética guiada pela linha de transmissão em energia eletromagnética irradiada, portanto, sua função é primordial em qualquer comunicação onde exista radiofrequência.

Alguns parâmetros relacionados às antenas devem ser levados em conta para o desempenho de sistemas baseados na emissão e recepção dessas ondas eletromagnéticas. E segundo Balanis (1998), as principais características de uma antena são: ganho, diretividade, eficiência na irradiação, diagrama de irradiação e abertura efetiva da antena.

O ganho e a diretividade de uma antena são essenciais para definir sua forma e sua dimensão, quanto maior a diretividade e o ganho, maior é a intensidade de potência irradiada pela antena em uma determinada região, o ganho é a capacidade da antena em concentrar na direção de interesse a potência que seria irradiada em outras direções. A diretividade segundo a IEEE Std (1983), é definida como a razão entre a intensidade de radiação em uma dada direção da antena e a média da intensidade de radiação de todas as direções ao redor da antena. A proporção da radiação média é obtida dividindo-se a potência total radiada pela antena por  $4\pi$ . Matematicamente pode ser escrita como (BALANIS, 1998):

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (1.1)$$

Onde:

D = diretividade

U = intensidade de radiação da antena de interesse;

U<sub>0</sub> = intensidade de radiação de fonte isotrópica;

P<sub>rad</sub> = potência total irradiada.

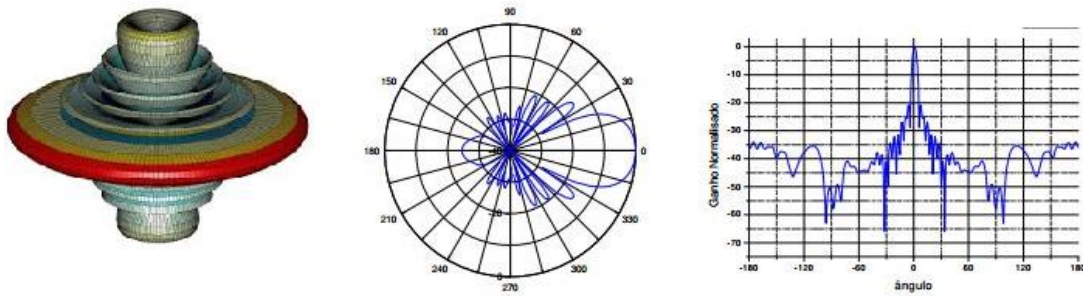
Segundo Huinca (2009), as antenas possuem características de radiações diferentes que são graficamente representadas por um diagrama de radiação. Para as antenas GNSS esses diagramas mostram as direções angulares em que a antena melhor recebe as irradiações eletromagnéticas, ou seja, qual o local em que as radiações incidem com maior intensidade.

Segundo o IEEE Std (1983), o padrão de radiação, padrão da antena ou ainda diagrama de radiação de uma antena é estabelecida como uma função matemática ou um conceito gráfico das propriedades de radiação da antena a cerca de uma função das coordenadas espaciais. Normalmente, o padrão de radiação é definido na região de campo distante (*far-field zone*) é representado em função de coordenadas direcionais. Os parâmetros de radiação englobam a densidade do fluxo de potência, intensidade de radiação, do campo elétrico ou magnético, diretividade, fase ou polarização.

Na Figura 6 tem-se a distribuição da energia radiada pela antena que por ser graficamente representada por diagramas tridimensionais, polares e retangulares. Segundo Smith (1988), a tridimensional permite visualizar a distribuição espacial de toda a potência envolvida. A polar é mais fácil de interpretar, os lóbulos são identificados pelo ângulo e amplitude do qual o lóbulo principal define os ângulos de ½ potência e o máximo ganho. No entanto para que a análise esteja correta necessita-se de dois planos, vertical e horizontal ou Plano E e Plano H. A retangular adapta-se para antenas de alto ganho, onde a pequena abertura do lóbulo principal compromete a interpretação do diagrama de irradiação polar.



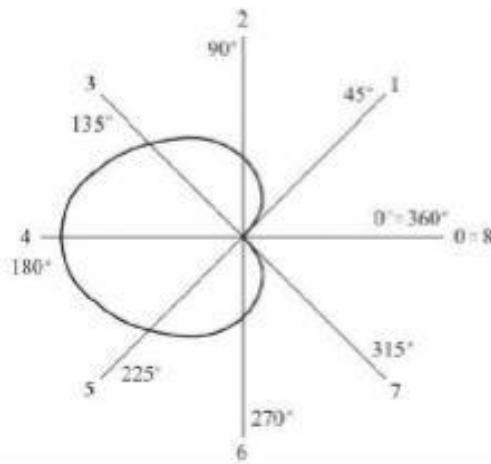
Figura 6 - Diagramas de Irradiação



Fonte – Miguel (2010)

Os valores proporcionais às intensidades medidas são marcados sobre linhas radiais, correspondentes às direções consideradas. Observa-se como exemplo a Figura 7, no sentido indicado pela linha 4 ( $180^\circ$ ) existe um máximo, enquanto que nas linhas 0 e 8 ( $0^\circ$  ou  $360^\circ$ ) os valores são nulos. A parte do diagrama compreendida entre dois nulos de irradiação é denominada lóbulo. Se o diagrama de uma antena apresentar lóbulos desiguais, o maior é dito lóbulo principal e os demais são ditos lóbulos secundários. (HUINCA *et. al.*, 2009, KRAUS *et. al.*, 2002).

Figura 7 - Diagrama de Irradiação



Fonte – Freiberger Junior (2007)

A principal característica de uma antena é o diagrama de irradiação uma vez que o interesse na orientação de uma antena no espaço é que o ponto de recepção se situe na direção do máximo do lóbulo principal. Segundo Freiberger Junior (2007), uma medida da capacidade da antena em concentrar a energia irradiada em torno da direção do máximo vem a ser a largura

do feixe. Este parâmetro é definido como o ângulo entre os pontos do lóbulo principal que correspondem à metade da potência irradiada na direção do máximo.

#### 2.4.2. Tipos de antenas receptoras GNSS

Segundo Seeber (2003), existem diversos tipos de antenas de receptores GNSS que vem sendo desenvolvidas, essas antenas são compostas basicamente de componentes metálicos dispostos em variadas configurações cujas dimensões são dadas em função do comprimento de onda. Nos dias atuais, os tipos de antenas GNSS disponíveis para o emprego na recepção dos sinais são (Figura 8):

- Monopolo ou Dipolo;
- Helicoidal;
- Helicoidal Espiral;
- Microstrip ou Patch; e
- *Choke Ring*.

Figura 8 - Antenas Disponíveis para o emprego na recepção dos sinais GNSS



Fonte – Adaptado de Seeber (2003)

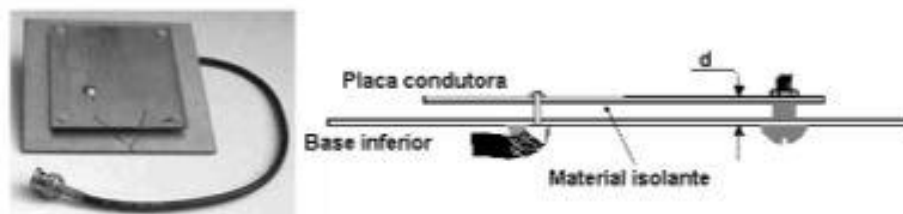
Antenas monopolo são antenas abertas que atuam como parte de uma antena dipolo, elas são de simples frequência e como vantagem são pequenas e de simples construção, muito utilizadas em receptores de navegação. A mais conhecida é a antena monopolo de um quarto de onda, tem padrão de radiação omnidirecional, não precisa ser orientada para manter os sinais constantes quando há mudança de seu posicionamento. A antena de dipolo quadrado pode ser resumida como dois dipolos lado a lado, emitindo quatro vezes mais potência. (FREIBERGER JUNIOR, 2007; SMITH, 1988)

A antena helicoidal é de simples frequência e o seu esqueleto de construção é mais complicada do que um dipolo (GREWAL *et. al.*, 2007). Possui forma espiral ou hélice e é produzida a partir de um ou múltiplos condutores. Essa antena é considerada de alto ganho, não é exigido que seja conectada a um plano de terra e ter polarização circular. Empregada com grande frequência na comunicação de satélites, pois não é necessário o ajuste de polarização (FUSCO, 2006). Da mesma forma observa-se o seu uso em receptores de navegação GNSS, uma vez que apresentam uma abertura compatível com o ângulo do sinal incidente dos satélites.

Segundo Grewal *et. al.* (2007), a antena helicoidal espiral fornece como benefício operar em dupla frequência, em L1 e L2. É muito utilizada em países onde existe a presença de neve no inverno, uma vez que evita o acúmulo de neve no topo da antena. Esse tipo de antena tem alto ganho, boa cobertura em todo seu hemisfério, no entanto não apresenta um centro de fase estável.

Atualmente, as antenas mais comuns são do tipo *microstrip* ou *patch* em consequência de sua fácil construção e de suas pequenas dimensões, o que possibilita que sejam empregadas em receptores GNSS portáteis, particularmente quando a antena é integrada ao corpo do receptor onde inicialmente tornaram populares nos anos 70 para as atividades espaciais e hoje se governam as aplicações comerciais. (BALANIS, 1998). A antena *microstrip* consiste de uma placa condutora de circuito impresso montada sobre uma base quadrada, isolados por um dielétrico, normalmente uma camada de ar. Nas antenas mais sofisticadas, o material de isolamento empregado é uma espécie de porcelana. A Figura 9 ilustra um exemplo de antena *microstrip*.

Figura 9 - Antena *Microstrip*



Fonte – Freiberger Junior (2007)

As antenas destinadas às aplicações de alta precisão, denominadas antenas geodésicas, devem ser capazes de receber ambas as frequências L1 e L2. Segundo Grewal *et. al.* (2007),

tem como desvantagens um menor ganho quando comparada a outras, o qual pode ser compensado com um pré-amplificador de baixo ruído, em geral de alta impedância. E ela não consegue rejeitar sinais advindos do multicaminho, principalmente sinais com ângulos de elevação abaixo do horizonte.

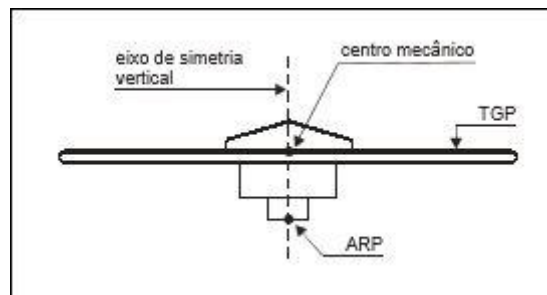
As antenas do tipo *choke ring* que possuem um plano de terra contendo círculos concêntricos com depressões de um quarto de onda foram citadas e explicadas na seção (2.3.2.1).

Dentre as características de uma antena de receptor GNSS, tem-se dado considerável importância ao estudo da variação do CF, um erro de caráter sistemático que afeta a precisão do posicionamento geodésico uma vez que se trabalha com valores na ordem do milímetro.

#### 2.4.3. Descrição do CF e das variações do centro de fase da antena

Antes de prosseguir com o conceito do centro de fase das antenas GNSS torna-se importante conhecer as dimensões nominais das antenas aos quais darão assistência ao entendimento da mesma. A Figura 10 ilustra a superfície denominada plano da Terra TGP (*ingl. Top of ground plane*), o centro mecânico da antena e o ponto notável ARP que originam as dimensões físicas de uma antena GNSS.

Figura 10 - Pontos e superfícies de referência de uma antena GNSS

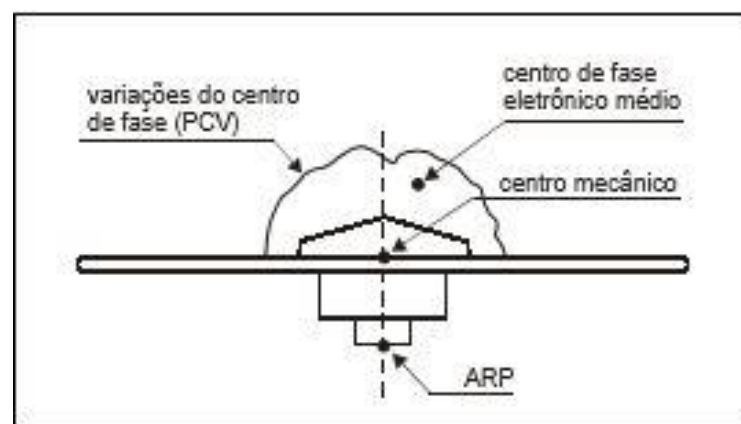


Fonte – Freiberger Junior (2004)

TGP é a superfície superior do disco que minimiza o efeito do multicaminho. O centro mecânico de uma antena GNSS é definido com precisão sub milimétrica, normalmente pela intersecção do eixo mecânico de simetria vertical com a superfície superior de proteção contra multicaminho (*ground plane*) (SEEBER, 2003). O ARP também é definido mecanicamente, sendo normalmente a intersecção do eixo vertical de simetria com a superfície mais inferior do corpo da antena.

A característica mais importante das antenas de recepção GNSS consiste em conhecer o centro de fase dessas antenas. Segundo Monico (2008), os sinais que refletem no centro de fase eletrônico da antena que é definido como o ponto virtual onde medidas dos sinais são referenciadas, não coincidem com o centro mecânico da antena. Na definição do centro de fase é pressuposto que toda medição de fase da portadora esteja vinculada a um ponto físico na antena. Normalmente, esse ponto de referência da antena é denominado de ARP que constitui a origem de todas as operações de centragem externa da antena e da medição de altura do instrumento em relação a um marco como pode-se observar na Figura 11.

Figura 11 - Centro de Fase de uma antena GNSS



Fonte – Freiberger Junior (2004)

A adversidade maior é que o centro de fase não é estável, ele varia de acordo com a elevação e o azimute do satélite GNSS, bem como a intensidade (frequência) do sinal observado. O centro de fase das antenas GNSS é diferente para as ondas portadoras L1, L2 e L5. Essas desigualdades podem afetar a precisão da combinação linear livre da ionosfera, principalmente quando se observa uma linha de base curta. (MONICO, 2008)

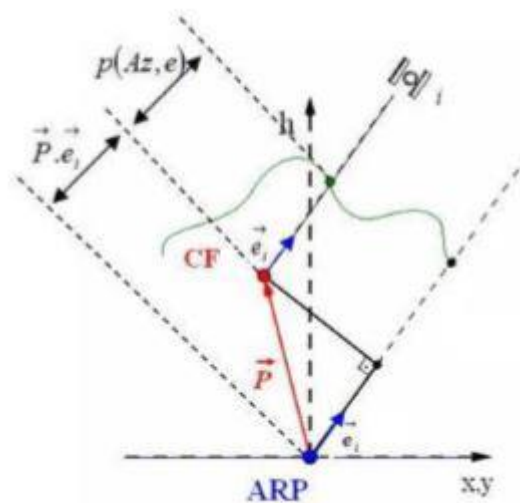
O fato de ignorar a posição do centro de fase pode encaminhar a erros na componente vertical de até 10 cm (MADER, 1999), no entanto dependendo do modelo da antena utilizada esse erro pode ser superior. A variação do CF com relação ao ARP é denominada de offset do centro de fase. São fornecidas pelos fabricantes as coordenadas verticais (*up*) dos offsets tanto para a portadora L1 quanto para a portadora L2 em relação ao ARP, para a maioria dos modelos de antenas GNSS. Todavia cada antena tem características próprias e elas devem ser tratadas individualmente, ou melhor, seus próprios parâmetros de calibração devem ser conhecidos.

Segundo Freiburger Junior (2004), observando-se a Figura 11, o offset do centro de fase médio é condicionado por uma parte mecânica e outra parte eletrônica. A primeira, chamada de offset do centro de fase médio (PCO) compõe-se do próprio deslocamento entre o centro de fase e o ARP; a segunda distância, denominada variação do centro de fase (PCV), consiste de um deslocamento adicional do CF, de caráter sistemático, que se comporta conforme a configuração dos satélites GNSS (azimute e ângulo de elevação).

O PCO com origem no ARP e extremidade no centro desta superfície esférica informa as coordenadas cartesianas do CFM (Centro de Fase Médio) nas componentes horizontais: N (norte) e E (este) e na componente h (vertical).

Para determinar os valores do PCV deve-se conhecer a direção que provém o sinal do satélite, que é demonstrada em função do azimute (Az) e da elevação (e) deste satélite (Figura 12).

Figura 12 - Dedução das Variações do Centro de Fase



Fonte: Freiburger Junior (2007)

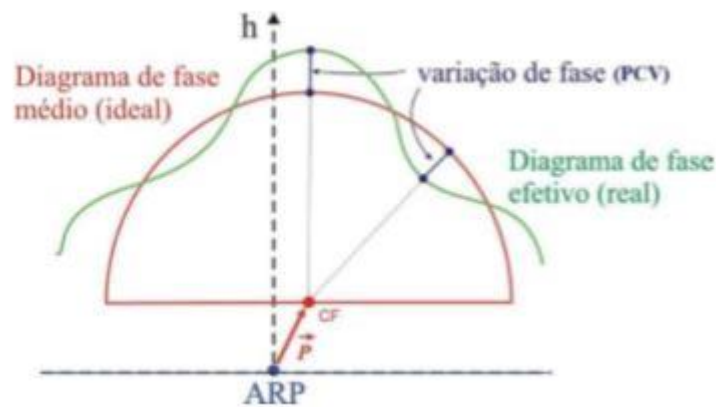
Para determinar o termo de correção dependente da direção do sinal  $p(Az, e)$ , utiliza-se a Equação 2.1:

$$dr(Az, e) = \vec{P} \cdot \vec{e}_1 + p(Az, e) . \quad (2.1)$$

Onde o termo  $\vec{P} \cdot \vec{e}_i$  é a medida algébrica da projeção do vetor  $p$  sobre a direção do vetor unitário  $\vec{e}_i$  na direção de um satélite  $i$ . A soma da medida da projeção  $\vec{P} \cdot \vec{e}_i$  com as correções  $p(Az, e)$  fornece a correção procurada  $dr(Az, e)$ . (HUINCA, 2009; VENTURI, 1990 *apud* FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Menge (2003) diz que os valores do PCV constituem as distâncias entre o diagrama de fase efetivo (real) e o diagrama de fase médio (ideal) que mais se aproxima do comportamento real (Figura 13). Os valores do PCV descrevem o estado de retardo ou adiantamento da fase em relação ao diagrama de fase médio, o qual é vinculado ao CF.

Figura 13 - Interpretação do centro de fase médio e variações associadas



Fonte: Freiburger Junior (2007)

As variações do centro de fase compreendem uma das indispensáveis fontes de erro no sistema de recepção do sinal (SEEBER, 2003). A qualidade nos resultados do processamento GNSS resulta também do modelo/tipo de antena utilizado no levantamento visto que as características do centro de fase eletrônico são diferentes em cada tipo de antena. A determinação da variação do centro de fase das antenas GNSS relaciona-se à calibração destes instrumentos, tema abordado nesta pesquisa, com isso empenha-se na tentativa de desenvolver procedimentos de calibração de antenas de receptores GNSS para suprimir esses erros apresentados. Os principais métodos de calibração existentes até então serão tratados na próxima seção.

## 2.5. Calibração de Antenas de Receptores GNSS

A calibração de antenas de receptores GNSS tem por objetivo determinar os parâmetros definidores das coordenadas do PCO e dos correspondentes termos dos PCVs dependentes de azimute e elevação. Esses parâmetros são fundamentais para se obter precisão em levantamentos geodésicos. Segundo Freiburger Junior (2007) os atuais métodos para estas determinações são:

- Calibração absoluta em ambientes controlados (câmaras anecóicas);
- Calibração absoluta em campo;
- Calibração Relativa em campo;

O desenvolvimento de calibração demonstra valores que significam o avanço e atraso da fase do sinal, variações do CF, para um referencial centrado na antena e dependem da direção de recepção do sinal do satélite. Os valores determinados por esses métodos de calibração fazem com que os erros ocasionados pelas variações do CF sejam minimizados quando utilizados no processamento dos dados das observações. Na sequência, apresenta-se uma descrição sucinta dos métodos empregados atualmente na calibração de antenas GNSS. Cada método apresenta vantagens e desvantagens, dispendo-se de diferentes possibilidades para a avaliação do comportamento eletrônico e funcional das antenas GNSS. (FREIBERGER JUNIOR, 2007)

### 2.5.1. Determinação da coordenada do centro de fase

As coordenadas do centro de fase médio definidas pelo vetor PCO que se compõe do próprio deslocamento entre o centro de fase e o ARP são anexados a um ponto de referência mecânico na antena, definido como a origem de um sistema de referência de coordenadas cartesianas (Seção 2.4.3). A definição da componente vertical do PCO como função das PCVs dependentes do ângulo de elevação torna-se uma tarefa crítica devido aos fatores associados à definição da constelação GNSS. (FREIBERGER JUNIOR, 2007)

Segundo Seeber (2003), a componente vertical é particularmente sensível à configuração geométrica dos satélites e à influência de erros de refração atmosférica não-modelados. De outro modo, as coordenadas horizontais do PCO podem ser determinadas em função das PCV azimutais por métodos simples (RYF, 1993). Na maior parte dos casos,



caracterizam-se por valores na ordem de milímetros ou centímetros e se localizam próximos ao eixo de rotação da antena, dependendo do modelo de fabricação.

Em concordância com o método de calibração escolhido, as coordenadas do centro de fase, definidas pelo vetor PCO, com componentes norte, leste e vertical podem ser deduzidas por meio das seguintes combinações de dados vetoriais:

- PCO relativo (vinculado a uma antena de referência);
- Componentes norte e leste absolutas e componente vertical relativa; e
- PCO absoluto.

Segundo Menge (2003), existem 3 métodos fundamentais para estas determinações:

- Linha de base conhecida (base de calibração);
- Intercâmbio de antenas;
- Rotação horizontal da antena.

Na presente pesquisa, utilizou-se o método rotação horizontal da antena que é apresentado em sequência. Sobre os demais métodos fundamentais indicados anteriormente consultar Freiburger Junior (2007).

Segundo Freiburger Junior (2007) no método de rotação horizontal da antena a ser calibrada, após a rotação da antena, novas observações são realizadas, incluindo uma segunda linha de base denominada  $\vec{L}_{ROT}$  (Equação 2.2).

$$\begin{aligned}\vec{L}_{CALC} - \vec{p}^c &= \vec{L}_{ROT} + \vec{p}^c \quad \therefore \\ 2\vec{p}^c &= \vec{L}_{CALC} - \vec{L}_{ROT} \quad (2.2) \\ P^c &= \frac{1}{2}(\vec{L}_{CALC} - \vec{L}_{ROT})\end{aligned}$$

Onde:

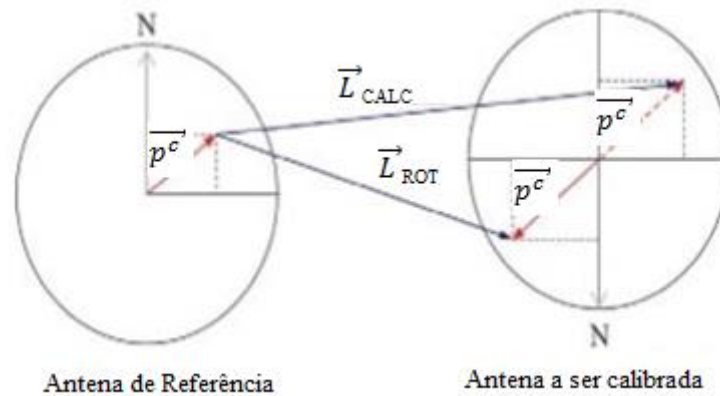
$\vec{L}_{ROT}$  = segunda linha de base

$\vec{L}_{CALC}$  = linha de base calculada

$P^c$  = PCO da antena a ser calibrada

Em um caso mais simples, são efetuadas observações em duas direções (norte e sul) de acordo com a ilustração da Figura 14.

Figura 14 - Determinação do PCO pela rotação de antenas.

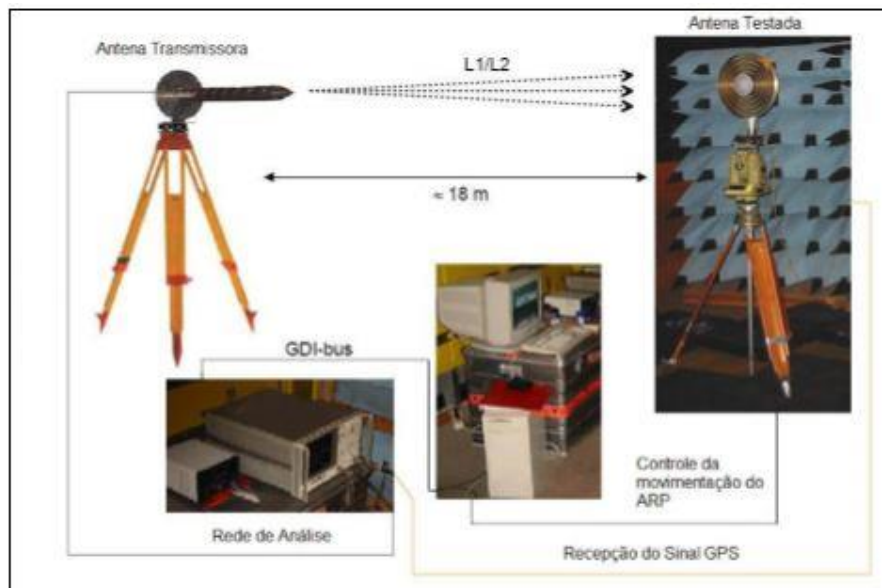


Fonte: Adaptado de Freiburger Junior (2007)

#### 2.5.2. Calibração absoluta em ambientes controlados (câmaras anecóicas)

A calibração absoluta de antenas GNSS pode ser executada em câmaras anecóicas, que compete a um ambiente que diminui a quantidade de reflexão ou reverberação de ondas de diferentes tipos, incluindo frequências de rádio e micro-ondas. Esse tipo de calibração emprega sinais GNSS simulados, irradiados por uma fonte fixa (antena transmissora) que reflete da mesma maneira sobre a antena a ser testada. Esta é fixada em um suporte capaz de realizar rotações e inclinações da antena em torno de um ponto referenciado ao ARP (Figura 15). (HUINCA, 2009)

Figura 15 - Calibração absoluta em Câmara Anecóica



Fonte: Huinca (2009).

O processo consiste em associar diversas informações como as coordenadas do PCO para cada frequência e os correspondentes diagramas de fase da antena (SCHUPLER e CLARK, 2000). Além de garantir a vantagem do isolamento de sinais eletromagnéticos em seu interior, visto que os sinais refletidos são praticamente eliminados. No entanto, elas apresentam estruturas complexas quanto ao instrumental mecânico e aos elementos computacionais, além de difíceis procedimentos de medição e alto custo operacional.

### 2.5.3. Calibração absoluta em campo

O IfE da Universidade de Hannover criou a calibração absoluta em campo, conforme ilustra a Figura 16, o qual concebeu as primeiras instruções deste método de calibração, primeiramente de forma manual (WÜBBENA *et. al.*, 1996) e posteriormente inaugurando a automação dos procedimentos (WÜBBENA *et. al.*, 2000a e 2000b), ilustrado pela Figura 17. Segundo Schmitz e Wübbena (2001), o princípio deste método para a descrição precisa das PCVs, é a determinação e separação dos erros contidos nas observações GNSS em dois dias siderais médios consecutivos, as variações do centro de fase e a influência do efeito de multicaminho. Estes efeitos são erros diferentes e independentes, ambos provenientes da estação de calibração.

Figura 16 - Calibração Absoluta em campo de forma manual.



Fonte: Wübbena et al., (1996)

Ainda de acordo com Schmitz e Wübbena (2001), esse método consiste em realizar rastreios de satélites GNSS em dois dias siderais médios consecutivos. Em um dos dois dias de rastreio (normalmente, no segundo dia), a antena a ser calibrada é sujeita a movimentos de rotação e inclinação em torno de um ponto conhecido, de forma que os PCVs sejam recuperados como observáveis quando se compara os dois conjuntos de dados.

Supõe antecipadamente que, em condições imutáveis do entorno da estação, o multicaminho se repete em mesmos períodos, podendo ser detectados e minimizados pela comparação entre os resíduos da dupla-diferença de fase das observações dos dois dias siderais (WÜBBENA *et. al.*, 2000). Segundo Freiburger Junior (2007) as PCVs da antena a ser calibrada são detectadas na dupla-diferença de fase sem as influências das PCVs e do efeito de multicaminho da antena de referência, que não são incluídas nos resultados uma vez que esta permanece inalterada. Portanto, embora se trate do processamento diferencial de uma linha de base, as PCVs são obtidas absolutamente, sem dependência das características da antena de referência.

Em dias atuais a calibração absoluta pode ser executada em tempo real com emprego de um mecanismo automatizado (Figura 17) que realiza rotações e inclinações automáticas na antena a ser calibrada (WÜBBENA *et. al.*, 2000b).

Figura 17 - Calibração Absoluta em campo de forma automatizada (Robô de Calibração)



Fonte: Wübbena *et. al.*, (1996)

Para que o processo de calibração absoluta seja de forma automatizado foi desenvolvido um projeto de robô em parceria com a empresa Geo++ e o IfE. Com esse robô é possível realizar movimentos programados, posicionando a antena em ângulos e azimutes variados para simular alteração da geometria dos satélites. Com isso, é possível adquirir observações homogêneas ao longo do hemisfério superior da antena incluindo ângulos de elevação abaixo de  $0^\circ$  (BÖDER *et. al.*, 2001).

Segundo Wübbena *et. al.* (1996), a quantidade média de posições assumidas pela antena em um processo de calibração pode variar entre 6 a 8 mil, porém este número depende da constelação dos satélites visíveis no momento dessa calibração. A calibração absoluta em campo com emprego de robô fornece PCVs absolutas com precisão melhor que 0,5 mm na portadora L1 e melhor que 1 mm na portadora L2. Esse equipamento também pode ser utilizado para realizar análises do efeito do multicaminho em estações permanentes.

Conforme Rothacher e Schmid (2002), este método combina as vantagens dos outros dois métodos de calibração (absoluto em campo e absoluto em ambientes controlados) que são:

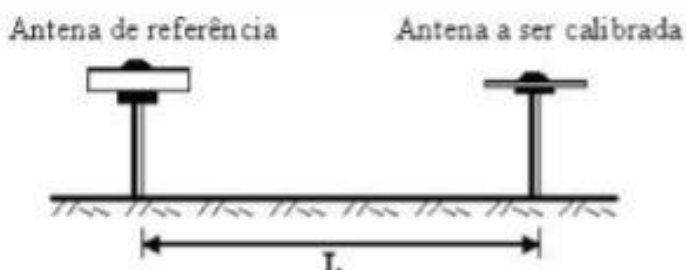
- a) cobertura homogênea de observações no horizonte da antena;
- b) redução do efeito de multicaminho;
- c) determinação das PCVs em ângulos de até  $0^\circ$  de elevação;
- d) realização dos experimentos com a antena em um campo aberto.

Os dados de calibração produzidos por este método de calibração já podem ser encontrados para a maioria das antenas GNSS disponíveis no mercado.

#### 2.5.4. Calibração Relativa em campo

Segundo Mader (1999), em uma Calibração Relativa, todos os parâmetros PCOs e PCVs da antena a ser calibrada são determinados em relação a uma antena adotada como referência do qual, normalmente, os valores das variações do centro de fase, PCVs, são considerados zero. Porém, uma informação mais atualizada diz que desde 2006 o IGS (*ingl. International GNSS Service*) recomenda que a antena utilizada como referência seja do modelo “AOAD/M-T (*Allen Osborne Associates Dorne Margolin T*), conforme ilustra a Figura 19, sendo a mais comum desse modelo a *Choke Ring*. As primeiras medidas utilizando esta metodologia foram desenvolvidas pelo NGS (*National Geodetic Survey*). A Figura 18 ilustra a Calibração Relativa em campo que consiste em utilizar duas antenas separadas por uma linha de base (L) muito curta de posições conhecidas com acurácia.

Figura 18 - Linha de base conhecida na Calibração Relativa



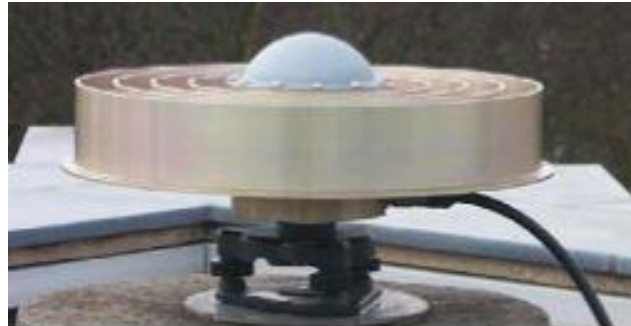
Fonte: Freiburger Junior (2007)

A linha de base geralmente curta ( $\pm 5$  metros), são uma suposição para que as influências dos erros orbitais, da ionosfera e da troposfera se tornem menores no processamento relativo. As medições de campo são geralmente condicionadas às características dos arredores da estação, vinculadas ao multicaminho dos sinais. São necessários períodos de observação normalmente de 24 horas a fim de proporcionar cobertura de dados de satélites no hemisfério completo da antena e reduzir a influência do efeito de multicaminho (WANNINGER, 2000).

Pode-se observar na Figura 19 o modelo de antena adotada pelo IGS/NGS que apresenta valores pré-definidos do PCO nas portadoras L1 e L2, este tipo de antena é a

referência utilizada para a Calibração Relativa, sendo também a mais usada nas estações integrantes da rede global do IGS. (HUINCA, 2009)

Figura 19 - Antena AOAD/M-T, *Choke Ring* 2D



Fonte: Huinca (2009)

Segundo Wanninger (2000), o princípio de medição pelo método relativo pode ser aperfeiçoado por meio de rotações das antenas em torno de seu eixo central, inclinações da antena sobre um ponto conhecido ou intercâmbio de antenas. A rotação da antena pode ser feita manualmente (forma simples) ou de forma automatizada. Com a rotação da antena a ser calibrada, o prévio conhecimento das coordenadas precisas (planas) da linha de base pode ser desconsiderado uma vez que elas são estimadas no processamento. Diante disso, apenas a diferença vertical entre o ARP das duas antenas deve ser mensurada por nivelamento de alta precisão.

Segundo Wübbena *et. al.* (2000), existem algumas desvantagens do método relativo que são:

- A determinação do PCO pela comparação de coordenadas, o que caracteriza a dependência dessas observações com o centro de fase da antena de referência.
- O erro do multicaminho deve ser separado das variações do centro de fase no qual esse efeito deve ser especialmente considerado.

Essas calibrações também são influenciadas pela instrumentação utilizada, porém, apesar das restrições impostas pela dependência de uma antena de referência, linha de base curta, entre outros, este tipo de método tem ingressado muito nas atividades geodésicas principalmente por apresentar facilidade na implementação do método, baixo custo e execução de cálculo por *softwares* comerciais.

### 2.5.5. Análise de diferentes serviços de calibração de antenas GNSS

A Alemanha é o país que apresenta estudos mais otimizados na área de calibração de antenas, pois lá se encontram as empresas que fornecem esse serviço e as principais instituições que trabalham com este tema. As Universidades de Karlsruhe e Dresden, LGN (*Landesvermessung und Geobasisinformation – Landesbetrieb*) e Wasoft realizam pesquisas com o método de Calibração Relativo. A instituição GEO++, NGS e a Universidade de Hannover (IfE) trabalham com o método de calibração Absoluto com robô (GÖRRES *et. al.*, 2006).

Quando se realiza posicionamento GNSS utilizando diversas antenas deve-se tomar cuidado em observar o modelo dessas antenas, bem como seus parâmetros de calibração (valores do PCO e PCV), de modo que as coordenadas geodésicas pós-processadas possam ser determinadas com precisão (NOAA, 2011). Esses parâmetros são disponibilizados à comunidade usuária e podem ser encontrados na internet no site <http://www.ngs.noaa.gov>. A empresa GEO++ também disponibiliza um banco de dados com parâmetros de antenas ou somente os parâmetros de calibração de uma antena de interesse, os quais podem ser obtidos por e-mail, ambos com custo para o usuário.

O NGS disponibiliza esses parâmetros de calibração no antigo formato `ant_info.003` e no novo formato dos parâmetros de calibração `ngs08.atx`, no site da instituição. Esses parâmetros devem ser utilizados para fins de levantamento, engenharia, mapeamento e infraestrutura (NOAA, 2011).

No entanto, quando se deseja realizar levantamento geodésico de alta precisão, por exemplo, para definição de um sistema de referência, estações de monitoramento contínuo, monitoramento de estruturas, ou estimativa do atraso troposférico, as antenas devem ser calibradas individualmente (LEICA GEOSYSTEMS AG, 2016). Schupler e Clark (2000) aplicaram o método de calibração de antenas em um ambiente controlado e verificaram que antenas GPS apresentam entre si características e propriedades eletrônicas diferentes, ainda que sejam fisicamente similares.



Segundo Huinca (2014), a determinação dos valores do CF das antenas pode ser obtida aplicando-se qualquer uma das metodologias anteriormente descritas: absoluta e relativa. As correções do CF de antenas de receptores GNSS obtidos após procedimento de calibração e processamento de dados podem ser armazenadas em arquivos com diferentes formatos, os quais diferem apenas no conteúdo existente.

Os arquivos que contém esses valores de PCO e PCV podem ter os seguintes formatos: ANTEX, IGS/NGS, Geo++ e Bernese. O formato ANTEX (*Antenna Exchange Format*) (extensão ATX) e o formato Geo++ (extensão ANT) armazenam valores de PCO, PCV dependente de elevação e PCV dependente de elevação e azimute, em nível absoluto. Já o antigo formato do IGS/NGS, (extensão APC) armazena valores de PCO, PCV dependente de elevação em nível relativo, também atualmente disponibiliza o formato ANTEX, denominado de ngs\_08.atx. O formato Bernese (extensão BRN) fornece os parâmetros de PCO, PCV dependente de elevação e PCV dependente de elevação e azimute, em nível absoluto. Mais detalhes sobre os formatos de calibração de antenas encontram-se em Freiburger Junior (2007).

Ao término de um processamento de uma antena calibrada, os resultados da calibração são armazenados em arquivos de texto com diferentes formatos, indicados no quadro 2, na sequência, é feita breve descrição do conteúdo destas informações. (WANNINGER, 2002 *apud* FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Quadro 2 - Panorama dos Formatos de correção.

FORMATO	PCO	PCV		DESVIO-PADRÃO	ARQUIVO
		ELEVAÇÃO (+E)	AZIM-ELEV (+AE)		
Padrão	x	x	x	x	<i>rpt</i>
ANTEX	x	x	x		<i>atx</i>
IGS/NGS	x	x			<i>apc</i>
Geo++	x	x	x		<i>ant</i>
PCO	x				<i>pco</i>
Vetor		x	x		<i>pl1</i> <i>pl2</i> <i>pl0</i>

Fonte: Freiburger Junior (2007)

## Descrição do quadro 2:

a) Formato padrão do programa WAANT desenvolvido pela Wasoft: no arquivo rpt são gravadas as informações da calibração em um formato padrão. As medidas são dadas em metros e a convenção de sinais segue o formato Geo++. O arquivo rpt pode ser empregado como um protocolo de calibração e documentação das correções.

b) Formato ANTEX: foi testado desde março de 2003 no âmbito do IGS e aos poucos está substituindo o antigo formato IGS (ROTHACHER e SCHMID, 2002). Nele, é possível identificar o nível da correção (absoluta ou relativa), verificar se as correções se referem a um determinado grupo de antenas ou a antenas individuais. O formato ANTEX suporta todos os tipos de PCO e PCV, onde os conjuntos de dados de correção podem ser dispostos em um único arquivo.

c) Formato NGS ou antigo formato IGS: nestes formatos, o PCO e as PCV dependentes de elevação (+E) determinados para um modelo de antena e podem ser armazenados em um arquivo. Ambos os formatos são similares, exceto as primeiras linhas do conjunto de correções. Valores nulos são atribuídos às correções caso não haja um valor de correção para ângulos de elevação baixos (por exemplo, abaixo de  $10^\circ$ ). Se for estimado apenas o PCO, é atribuído zero às PCV.

d) Formato Geo++: ao contrário dos formatos ANTEX e IGS/NGS, todas as informações são dadas em metros e as PCV com os sinais contrários. Se não há observações em ângulos de elevação baixos, é atribuído zero às correções.

e) Formato PCO: serve exclusivamente ao armazenamento intermediário dos resultados do PCO que devem ser introduzidos em nova execução do processo.

f) Formato vetorial: permite a representação gráfica das PCV com outros programas, por exemplo MATLAB. Os valores das PCV são dados em colunas, separados em três arquivos de dados com extensão pl1, pl2 e pl0 nas frequências L1, L2 e combinação linear livre de ionosfera, respectivamente.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Área de Estudo

Para a realização do presente trabalho adotou-se os pilares do IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes. Foram utilizados os pilares MGIN – 93940 como estação de referência e o pilar SATGPS 93949 (marco da lavanderia) como o pilar de calibração obtendo-se uma linha de base entre os pilares de aproximadamente 50 metros. A Figura 20 e Figura 21 vão melhor ilustrar a localização da área de estudo.

Figura 20 - Localização do Pilar MGIN – 93940



Figura 21 - Localização do Pilar 93949



### 3.2. Equipamentos

Os equipamentos utilizados para realização dos trabalhos foram:

- 1 (um) receptor GNSS da Spectra Precision, modelo ProMark™220 com precisão no método estático de: Horizontal: 5 mm + 0,5 ppm e vertical: 10 mm + 0,5 ppm;
- 1 (um) receptor GNSS da TRIMBLE NETR5;
- 1 (uma) antena GNSS, o modelo ASH 111661;
- 1(uma) antena ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00)
- 1 (uma) Estação Total Leica TS02 - 5" - precisão 1.5 mm + 2 ppm
- 1 (uma) bateria externa para o receptor GNSS da Spectra Precision.
- 1 (um) notebook;
- 1 (um) Gabarito para orientação dos sentidos (rosa dos ventos).
- 1(um) Nível Leica Sprinter 150 M
- 1 (uma) Mira Cód. Barras – 4M Telescópica de Alumínio
- 1 (um) Tripé de Alumínio – Leica
- 1 (uma) Sapata Esférica para mira de Alumínio.

### 3.3. Softwares

Para o processamento e manipulação dos dados GNSS obtidos foram utilizados os *softwares* GNSS Solutions™ na versão 3.80.8, LEICA Geo Office 7.0, Sprinter DataLoader e o Software DataGeosis Office Educacional. O Microsoft Excel 2013 para elaboração de

planilhas e gráficos eletrônicos para realização dos cálculos necessários e Microsoft Word 2013 para a descrição desta pesquisa.

### 3.3.1. GNSS Solutions™

O programa GNSS *Solutions*™ é um *software* comercial que disponibiliza o acesso gratuito ao processamento L1/L2 por 30 dias e é desenvolvido pela empresa Ashtech *Solutions*™. Oferece ferramentas para processamentos de dados GNSS, incluindo-se componentes desenvolvidos para ajudar nas tarefas de planejamento, pós-processamento e em tempo real além do controle de qualidade, elaboração de relatórios e exportação de dados. (ASHTECH, 2010)

Para obter o *software* basta acessar o *link* para *download* <http://gnss-solutions.software.informer.com/3.8>.

### 3.3.2. LEICA Geo Office

O programa LEICA Geo Office é um *software* comercial desenvolvido pela Leica Geosystems que permite o gerenciamento do projeto de forma integrada, sem a necessidade de transferências dados entre os diversos módulos, importa e combina perfeitamente dados de todos os seus instrumentos para produzir os resultados finais. Sendo um *software* para suporte a instrumentos GNSS, TPS (Sistema de Processamento Topográfico) e Níveis. (Geosystems, 2010)

## 3.4. Metodologia

Nessa seção será apresentada a metodologia envolvida num teste preliminar de uma Calibração Relativa em campo no IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes, a determinação das coordenadas precisas dos pilares que compõem esta base de calibração e comparação das coordenadas geodésicas precisas obtidas com diferentes valores de PCO.

Na Seção 3.4.1 apresenta-se a metodologia aplicada para determinar parâmetros de calibração de uma antena GNSS com o método de Calibração Relativa em campo. Nesse experimento determinaram-se os parâmetros (PCO) da antena de modelo ASH 111661.

A importância e as características da estação de referência utilizada são apresentadas na Seção 3.4.2. Na Seção 3.4.3 será apresentado o processo de nivelamento das estações para determinação da componente vertical do PCO das antenas GNSS, que se fundamenta na diferença de nível entre o ARP da antenna de referência e o ARP da antenna a ser calibrada.

Na seção 3.4.4 apresenta-se os processamentos GNSS realizados a partir dos *softwares* GNSS Solutions™ e o LEICA Geo Office 7.0

#### 3.4.1. Levantamento de Campo

Programou-se um experimento de campo a ser executado nas dependências do IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes, com o propósito de aprofundar os estudos sobre antenas de receptores GNSS, onde buscou-se detectar e avaliar a ordem de grandeza do *offset* do centro de fase da antenna ASH 111661 como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Antena ASH 111661



Baseando-se em experimentos já realizados por outros autores internacionais e nacionais, apresenta-se na sequência uma metodologia visando a determinação do offset do CF da antenna ASH111661 onde pode-se observar as suas características no Anexo II. De acordo com o NGS utilizou-se o conector da antenna para a indicação do Norte.

Para a realização do experimento e determinação dos parâmetros de calibração da antenna ASH 111661 foram utilizados os pilares MGIN-93940 como estação de referência (Seção 3.4.2) e o pilar SATGPS 93949 onde foi instalada a antenna a ser calibrada. Aplicou-se o método de

Calibração Relativo em campo e determinou-se os parâmetros de calibração (PCO) a nível relativo. A antena a ser calibrada foi rotacionada manualmente e os dados foram pós-processados com os programas *GNSS Solutions™* e *LEICA Geo Office™*.

O experimento consistiu no rastreamento da constelação GNSS (GPS+GLONASS) em dias consecutivos e em um intervalo de tempo de 24 horas. Esta situação revela uma mínima variação na geometria da constelação GNSS, onde se calcula que os efeitos atmosféricos e do multicaminho sejam minimizados na estação. O objetivo é comparar as coordenadas geodésicas de um mesmo ponto, obtidas em seções consecutivas (8 seções) em diferentes direções (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste) a fim de se avaliar o efeito da rotação sobre as coordenadas calculadas e assim estimar o comportamento do centro de fase da antena.

Convencionou-se 4 sentidos (norte-sul, nordeste-sudoeste, leste-oeste e sudeste-noroeste), ortogonais entre si, para definir o sistema de orientação da antena. Esses sentidos, foram materializados por um gabarito de direções (rosa dos ventos), colocado no pino central do pilar conforme ilustra a Figura 23. Para a determinação do norte e, conseqüentemente, orientação da antena, utilizou-se uma Estação Total Leica TS02 que através de duas coordenadas conhecidas dos pilares SATGPS 93953 (marco do cruzeiro) e o pilar SATGPS 93949 foi possível calcular o azimute entre os pilares e orientar-se a direção do norte de quadrícula. Não foi necessária alta acurácia na determinação da orientação, sendo, portanto, desnecessário o cálculo da convergência meridiana e o fator de deformação angular para orientação ao norte geodésico.

Figura 23 - Gabarito utilizado para convencionar as direções.



Foram programadas 8 seções de rastreamento, sendo cada uma com a antena orientada em um sentido (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste), com um tempo mínimo de 24 horas em cada direção. A taxa de gravação dos dados pelo receptor ProMark™220 foi de 15 segundos, compatível com a taxa de gravação do receptor da estação de referência MGIN- 93940 e empregou-se máscara de elevação de 10° a fim de se reduzir a presença de sinais de multicaminho nas observações. O quadro 3 exibe um panorama das medições, incluindo informações como as direções, os dias, a hora de início e término dos levantamentos, o pilar utilizado e a identificação da antena.

Quadro 3 - Panorama das medições GNSS.

N.	Antena	Direção	Medição						
			Início	Hora	Dia GPS	Fim	Hora	Dia GPS	Pilar
1	ASH 111661	NORTE	09/08/2016	09:55	222	10/08/2016	09:55	223	93949
2	ASH 111661	LESTE	10/08/2016	11:33	223	11/08/2016	11:33	224	93949
3	ASH 111661	SUL	11/08/2016	12:01	224	12/08/2016	12:01	225	93949
4	ASH 111661	OESTE	12/08/2016	12:54	225	13/08/2016	12:54	226	93949
5	ASH 111661	NORDESTE	13/08/2016	13:14	226	14/08/2016	13:14	227	93949
6	ASH 111661	SUDESTE	14/08/2016	13:36	227	15/08/2016	13:36	228	93949
7	ASH 111661	SUDOESTE	16/08/2016	10:54	229	17/08/2016	10:54	230	93949
8	ASH 111661	NOROESTE	17/08/2016	18:04	230	18/08/2016	18:04	231	93949

#### 3.4.2. Estação de referência MGIN-93940

A estação de referência MGIN-93940 utilizada no presente estudo é operada pelo IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes em cooperação com a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) desde 10/10/2007.

A estação MGIN consiste basicamente de um receptor TRIMBLE NETR5 e uma antena ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00). A sua localização consiste em um pilar quadrangular de concreto engastado na parede medindo 7,10 m de altura e 0,40 m de lado e no final acrescido de um tubo de PVC de altura por 0,30 m de diâmetro, com dispositivo de



centragem forçada, padrão IBGE e chapa de identificação posicionada na parede onde se apoia o pilar a 1,70 m do chão. Esta estação está localizada no Prédio da Coordenação do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica do IFSULDEMINAS - *Campus* Inconfidentes.

Os arquivos de observação desta estação podem ser obtidos de forma rápida e prática por meio da transferência de dados via internet onde tem-se o acesso pelo site <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. A Figura 24 ilustra a antena ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM55971.00) da estação MGIN-93940.

Figura 24 - Estação de Referência MGIN-93940.

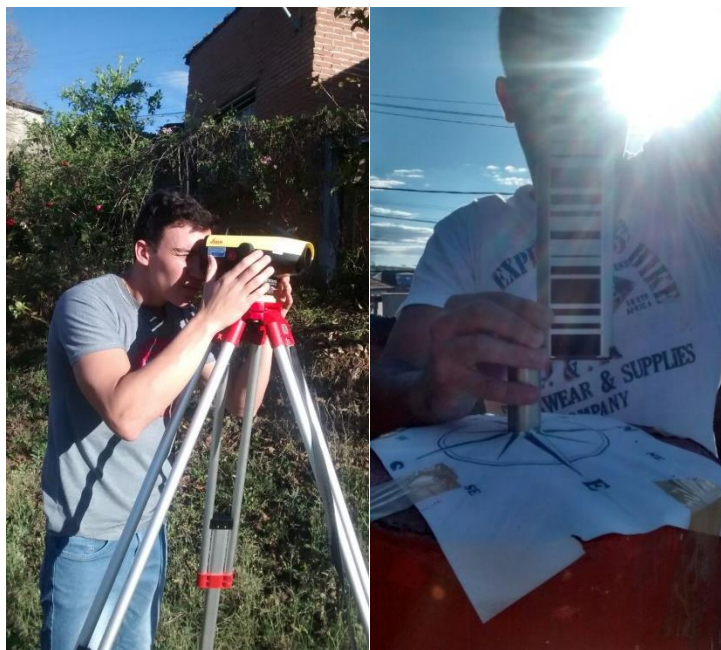


#### 3.4.3. Nivelamento das estações

Na Calibração Relativa, para se determinar a componente vertical do PCO das antenas GNSS necessita-se obter a diferença de nível entre o ARP da antena de referência e o ARP da antena a ser calibrada. Essa diferença de nível foi determinada pelo método de nivelamento geométrico composto empregando o nível digital Leica Sprinter 150M, de precisão de 1,5 mm/km.

Realizou-se o duplo nivelamento geométrico por duas linhas distintas entre um pilar e outro, tendo como referência os pinos centrais embutidos nos pilares, considerando como a altura de cada antena.

Figura 25 - Determinação das Diferenças de níveis entre os Pilares.



A Figura 25 ilustra o nivelamento das estações, onde determinou-se a diferença de nível entre as duas estações, suas precisões e tolerâncias (Apêndice I). Fixou-se as antenas em seus respectivos pilares, orientou-se para a direção desejada e iniciou-se as medições GNSS.

#### 3.4.4. Processamento dos Dados

O *Software* Sprinter DataLoader foi o responsável pelo descarregamento dos dados e posterior importação utilizando-se o *software* DataGeosis Office Educacional para o cálculo das diferenças de níveis entre os pilares.

As observações GNSS foram submetidas ao processamento com os *softwares* GNSS *Solutions*<sup>TM</sup> e *LEICA Geo Office*<sup>TM</sup>. Utilizou-se o primeiro para a determinação da linha de base e também na determinação dos parâmetros de calibração da antena para a fase da portadora L1, obtendo-se os valores de PCO. O processamento L2 não foi realizado separadamente por não estar disponível esta função no GNSS *Solutions*<sup>TM</sup>. Já O *software* *LEICA Geo Office* foi utilizado também para a determinação da linha de base na determinação dos parâmetros de calibração da antena para as fases das portadoras L1 e L2, obtendo-se os valores de PCO necessários à comparação com os resultados obtidos no processamento L1/L2 com o *software* GNSS *Solutions*<sup>TM</sup>.

Como os dados coletados foram obtidos ao longo de 24 horas de dados em dias diferentes, necessitou-se a junção dos arquivos RINEX da estação MGIN 93940 referentes aos dois dias de rastreamento de modo a obter um único arquivo de base, permitindo assim a obtenção de um único vetor na linha de base. Com isso fez-se o processamento da linha de base para as 8 direções (Norte, Leste, Sul, Oeste, Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste) separadamente e considerando-se as fases de onda portadoras L1/L2 e depois apenas as fases de onda portadora L1 e L2, individualmente, determinando assim as coordenadas e as precisões no sistema de referências SIRGAS 2000 para o pilar 93949 de calibração da antena (marco da lavanderia).

Na segunda etapa determinou-se o PCO da antena a ser calibrada, obtida em duas fases: cálculo das componentes planas do PCO. Nessa fase introduziram-se os parâmetros de calibração da antena de referência e o  $\Delta h$  proveniente do nivelamento entre as duas estações.

O PCO foi determinado com base na diferença entre a média das coordenadas encontradas no processamento a partir da base RBMC. Determinou-se assim a componente vertical do PCO da antena a ser calibrada em relação à antena de referência. Assim a diferença vertical provinda do processamento da linha de base é comparada com a diferença de nível ( $\Delta h$ ), determinada via nivelamento.

As componentes Este e Norte da antena a ser calibrada foram determinadas adotando-se a média do processamento das portadoras L1/L2 de todos os dias/direções como referência e a partir dessa referência fez-se o processamento utilizando as portadoras L1 e L2 individualmente. Com isso obteve-se uma diferença em milímetros considerada como as componentes para obtenção do PCO.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados os resultados envolvidos no teste preliminar de uma Calibração Relativa em campo no IFSULDEMINAS – *Campus* Inconfidentes, onde na seção 4.1 mostra a determinação das coordenadas precisas do pilar 93949 de calibração, na seção 4.2 encontra-se os parâmetros de calibração obtidos nos experimentos de Calibração Relativa em campo. Na subseção 4.2.1 mostra a avaliação dos valores PCO utilizando o *software* LEICA *Geo Office*<sup>TM</sup>. Na subseção 4.2.2 mostra a avaliação dos valores PCO utilizando o *software* GNSS *Solutions*<sup>TM</sup> e por fim na subseção 4.2.3 fez-se uma avaliação final dos valores PCO utilizando o *software* LEICA *Geo Office*<sup>TM</sup>.

##### 4.1 Coordenadas precisas do pilar 93949 de calibração.

Após realizada a metodologia descrita na seção 3.4, podem ser verificadas nos quadros 4 e 5 as coordenadas geodésicas precisas dos pilares que compõem a base de calibração no sistema de referência SIRGAS 2000 (época 2000,4). As coordenadas foram obtidas após o processamento e ajustamento das observações, onde fez-se uma avaliação das coordenadas obtidas com o processamento sem os parâmetros de calibração da antena ASH111661 e incluindo os parâmetros de calibração estabelecidos pelo NGS. Observa-se que os desvios-padrão estão na ordem do milímetro.

Quadro 4 - Coordenadas Precisas do Pilar 93949 sem os parâmetros de calibração da antena.

Quadro 5 - Coordenadas Precisas do Pilar 93949 com os parâmetros de calibração da antena.

Quadro 4 - Processamento Sem Modelo de Antena (m)				Quadro 5 - Processamento Com Modelo de Antena (m)			
<b>Coordenadas Monografia SATGPS 93949</b>				<b>Coordenadas Monografia SATGPS 93949</b>			
	<b>Pilar 93949</b>	<b>Desvio Padrão</b>			<b>Pilar 93949</b>	<b>Desvio Padrão</b>	
<b>Este</b>	363128,180	0,001		<b>Este</b>	363128,180	0,001	
<b>Norte</b>	7531218,558	0,002		<b>Norte</b>	7531218,558	0,002	
<b>Altitude</b>	884,833	0,008		<b>Altitude</b>	884,833	0,008	
<b>Processamento GNSS Solution™ L1/L2</b>				<b>Processamento GNSS Solution™ L1/L2</b>			
	<b>Pilar SATGPS 93949</b>	<b>Diferença Monografia</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>Pilar SATGPS 93949</b>	<b>Diferença Monografia</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Este</b>	363128,173	-0,006	0,001	<b>Este</b>	363128,174	-0,006	0,001
<b>Norte</b>	7531218,555	-0,002	0,001	<b>Norte</b>	7531218,556	-0,002	0,001
<b>Altitude</b>	884,909	0,076	0,001	<b>Altitude</b>	884,834	0,001	0,001
<b>Processamento LEICA Geo Office™ L1/L2</b>				<b>Processamento LEICA Geo Office™ L1/L2</b>			
	<b>Pilar SATGPS 93949</b>	<b>Diferença Monografia</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>Pilar SATGPS 93949</b>	<b>Diferença Monografia</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Este</b>	363128,172	-0,007	0,000	<b>Este</b>	363128,174	-0,006	0,000
<b>Norte</b>	7531218,555	-0,002	0,000	<b>Norte</b>	7531218,556	-0,001	0,000
<b>Altitude</b>	884,906	0,073	0,000	<b>Altitude</b>	884,830	-0,002	0,000

Observando os quadros apresentados, vale ressaltar, que essas coordenadas foram calculadas fazendo-se uma média das 8 seções (Norte, Leste, Sul, Oeste, Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste) adotadas como experimentos e a posição de altitude das coordenadas consideradas na monografia SATGPS 93949 foram estabelecidas em uma comparação entre a diferença de nível obtida no nivelamento com a diferença de nível obtida no processamento, onde prevaleceu-se as altitudes obtida pelo nivelamento geométrico devido a uma melhor acurácia encontrada.

#### 4.2 Parâmetros de calibração obtidos nos experimentos de Calibração Relativa em campo.

Nessa seção serão apresentados os valores do PCO obtidos do experimento realizado através do método de Calibração Relativa em campo utilizando-se o pilar 93949 no IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.

Foram determinados valores de PCO (componente norte, componente este e altitude) utilizando-se para fins de análise e comparação dos valores de referência do PCO da antena ASH111661 prescrito pelo NGS descrito no quadro 6.

Quadro 6- PCO de Referência NGS.

Antena	Frequência	PCO (mm)		
		NORTE	ESTE	ALTITUDE
ASH111661	L1	-0,5	-1,4	75,4
	L2	-2,2	-1,0	71,9

Fonte: NGS (2016)

##### 4.2.1 Avaliação dos valores PCO utilizando o *software* LEICA *Geo Office*

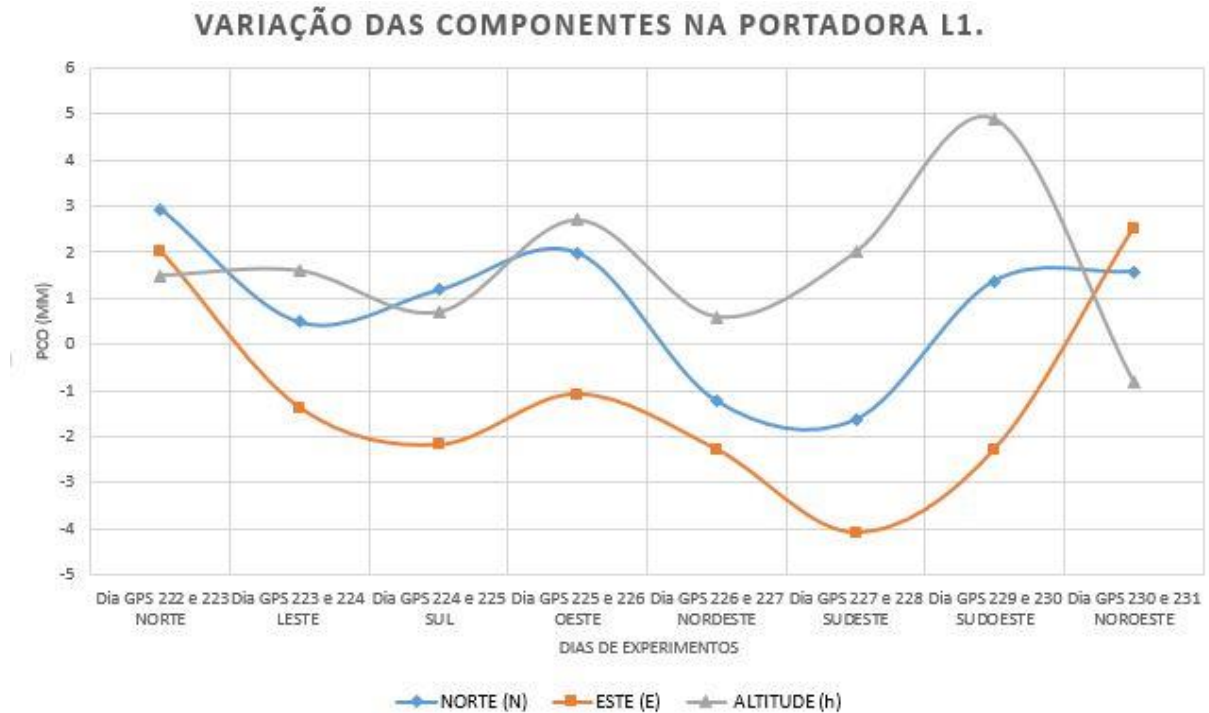
Os valores do PCO (N, E, h) e desvio padrão da antena ASH111661 podem ser verificados no quadro 7. Pode-se observar que a mesma antena para diferentes dias e em função da posição em que a antena está orientada apresenta PCO diferentes, tanto para L1 quanto para L2. As maiores variações para ambas as componentes se encontram na portadora L2, principalmente na componente da altitude. Observa-se que os resultados estão na ordem do milímetro.

Quadro 7 - PCO da Antena ASH111661 (mm).

DIA GPS 222 e 223 - Posição NORTE						
	L1	Diferença NGS	Desvio Padrão	L2	Diferença NGS	Desvio Padrão
PCO E	-3,4	2,0	0,2	2,0	-3,0	0,2
PCO N	-3,4	2,9	0,4	-0,9	-1,2	0,4
PCO h	73,9	1,5	0,5	70,2	1,7	0,5
DIA GPS 223 e 224 - Posição LESTE						
	L1	Diferença NGS	Desvio Padrão	L2	Diferença NGS	Desvio Padrão
PCO E	-0,1	-1,3	0,2	-0,1	-0,9	0,1
PCO N	-0,9	0,4	0,3	0,4	-2,6	0,2
PCO h	73,8	1,6	0,4	71,5	0,4	0,2
DIA GPS 224 e 225 - Posição SUL						
	L1	Diferença NGS	Desvio Padrão	L2	Diferença NGS	Desvio Padrão
PCO E	0,7	-2,1	0,2	0,3	-1,3	0,1
PCO N	-1,6	1,1	0,4	0,1	-2,3	0,3
PCO h	74,7	0,7	0,4	70,1	1,8	0,3
DIA GPS 225 e 226 - Posição OESTE						
	L1	Diferença NGS	Desvio Padrão	L2	Diferença NGS	Desvio Padrão
PCO E	-0,3	-1,0	0,2	0,1	-1,0	0,1
PCO N	-2,4	1,9	0,3	-2,9	0,7	0,2
PCO h	72,7	2,7	0,4	79,6	-7,7	0,2
DIA GPS 226 e 227 - Posição NORDESTE						
	L1	Diferença NGS	Desvio Padrão	L2	Diferença NGS	Desvio Padrão
PCO E	0,8	-2,2	0,0	1,2	-2,2	0,2
PCO N	0,7	-1,2	0,0	-3,4	1,2	0,4
PCO h	74,8	0,6	0,0	73,1	-1,2	0,4
DIA 227 e 228 - Posição SUDESTE						
	L1	Diferença NGS	Desvio Padrão	L2	Diferença NGS	Desvio Padrão
PCO E	2,6	-4,0	0,1	-2,3	1,3	0,2
PCO N	1,1	-1,6	0,3	-2,4	0,2	0,3
PCO h	73,4	2,0	0,3	72,2	-0,3	0,3
DIA 229 e 230 - Posição SUDOESTE						
	L1	Diferença NGS	Desvio Padrão	L2	Diferença NGS	Desvio Padrão
PCO E	0,8	-2,2	0,2	4,3	-5,3	0,1
PCO N	-1,8	1,3	0,4	1,6	-3,8	0,2
PCO h	70,5	4,9	0,4	65,2	6,7	0,2
DIA 230 e 231 - Posição NOROESTE						
	L1	Diferença NGS	Desvio Padrão	L2	Diferença NGS	Desvio Padrão
PCO E	-3,9	2,5	0,2	0,3	-1,3	0,0
PCO N	-2,0	1,5	0,3	-1,5	-0,6	0,2
PCO h	76,2	-0,8	0,4	68,7	3,2	0,3

O gráfico apresentado na Figura 26 ilustra os valores do Quadro 7 onde podemos observar as variações nos experimentos para as componentes norte, leste e de altitude na portadora L1.

Figura 26 - Variações das Componentes na portadora L1 (E, N e h).

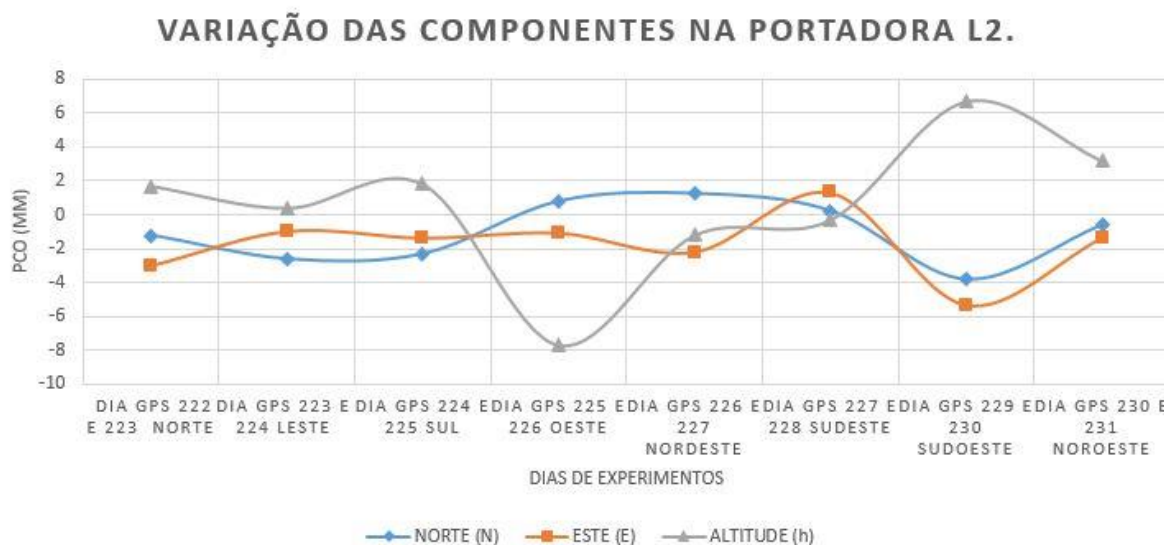


Verifica-se na Figura 26 que a maior variação encontrada é de 2,9 mm na componente norte e de -4,0 mm no componente leste, e na altitude a maior variação é de 4,9 mm.

O gráfico apresentado na Figura 27 ilustra os valores do Quadro 7 onde podemos observar as variações nos experimentos para as componentes norte, leste e de altitude na portadora L2.



Figura 27 - Variações das Componentes na portadora L2 (E, N e h).



Nota-se na Figura 27 que as maiores variações encontradas no processamento utilizando a portadora L2 é de -3,8 mm na componente norte e de -5,3 mm na componente leste, e na altitude a maior variação é de -7,7 mm.

Comparando um valor médio de todos os dias, todas as direções, processados com o *software* LEICA *Geo Office* e utilizando a portadora L1/L2 como referência; as componentes norte, este e altitude na portadora L1, verificou-se que a maior variação encontrada é de 2,9 mm na componente norte e de -4,1 mm no componente leste, e na altitude a maior variação é de 4,9 mm. Para a portadora L2 nas componentes norte, este e altitude pode-se verificar que as maiores variações encontradas no processamento é de -3,8 mm na componente norte e de -5,3 mm na componente leste, e na altitude a maior variação é de -7,7 mm.

#### 4.2.2 Avaliação dos valores PCO utilizando o *software* GNSS *Solutions*<sup>TM</sup>

O quadro 8 apresenta a discrepância das coordenadas obtidas das 8 direções e a média das coordenadas processadas sem os parâmetros de calibração da antena ASH111661 com a portadora L1/L2 das 8 seções utilizada como referência para estabelecer os parâmetros de calibração da antena ASH111661 na portadora L1 usando o *software* GNSS *Solutions*<sup>TM</sup>.

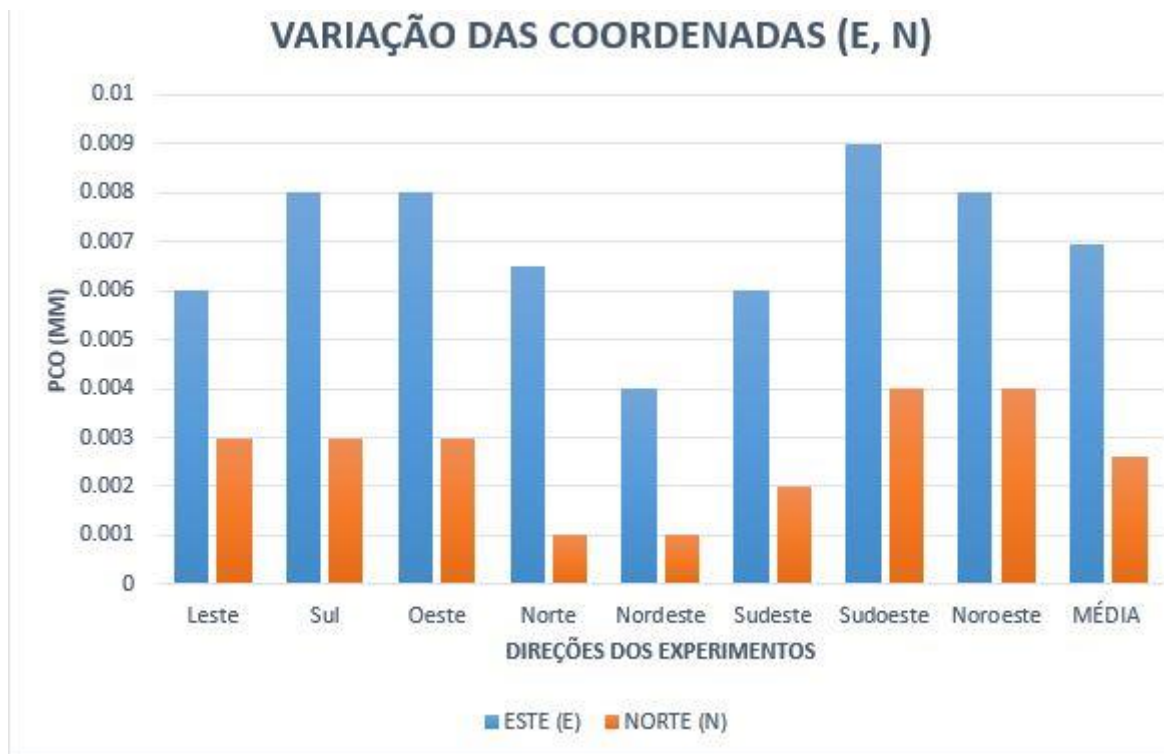
Quadro 8 - Coordenadas das 8 direções estabelecidas para o pilar 93949.

Direções/DiasGPS	ESTE (m)	Diferença Monografia 93949 (m)	NORTE (m)	Diferença Monografia 93949 (m)	ALTITUDE (m)	Diferença Monografia 93949 (m)
Leste – 223 e 224	363128,174	-0,006	7531218,555	-0,003	884,907	0,074
Sul – 224 e 225	363128,172	-0,008	7531218,555	-0,003	884,912	0,079
Oeste – 225 e 226	363128,172	-0,008	7531218,555	-0,003	884,912	0,079
Norte – 222 e 223	363128,1735	-0,0065	7531218,557	-0,001	884,909	0,076
Nordeste – 226 e 227	363128,176	-0,004	7531218,557	-0,001	884,911	0,078
Sudeste – 227 e 228	363128,174	-0,006	7531218,556	-0,002	884,909	0,076
Sudoeste – 229 e 230	363128,171	-0,009	7531218,554	-0,004	884,910	0,077
Noroeste – 230 e 231	363128,172	-0,008	7531218,554	-0,004	884,909	0,076
<b>MÉDIA</b>	<b>363128,173</b>	<b>-0,006</b>	<b>7531218,555</b>	<b>-0,002</b>	<b>884,909</b>	<b>0,077</b>

Avaliando-se os resultados do quadro 8 podemos perceber que a maior variação na coordenada LESTE (E) foi de 9 mm e no sentido Sudoeste da antena. Já a diferença na coordenada NORTE (N) foram de 4 mm nos sentidos Sudoeste e Noroeste; e a variação na coordenada da ALTITUDE (h) foram de 7,9 cm nos sentidos Sul e Oeste. Essa alta diferença na coordenada da altitude (h) se deve ao fato dos dados serem processados sem os parâmetros de calibração da antena ASH111661 estabelecidos pelo NGS.

O gráfico da Figura 28 ilustra os valores do Quadro 8 fornecido das diferenças de coordenadas no sentido Este e Norte para melhor avaliar a variação milimétrica das coordenadas em função do sentido de posicionamento da antena.

Figura 28 - Variações das diferenças de coordenadas no sentido Este e Norte.



Analisando o gráfico da Figura 26 podemos perceber que o sentido em que a antena teve maior variação nas coordenadas foi na posição Sudoeste da antena onde teve maior diferença tanto para as coordenadas Este (E) quanto nas coordenadas Norte (N) e o sentido em que se teve menor variação nas coordenadas foi na direção Nordeste.

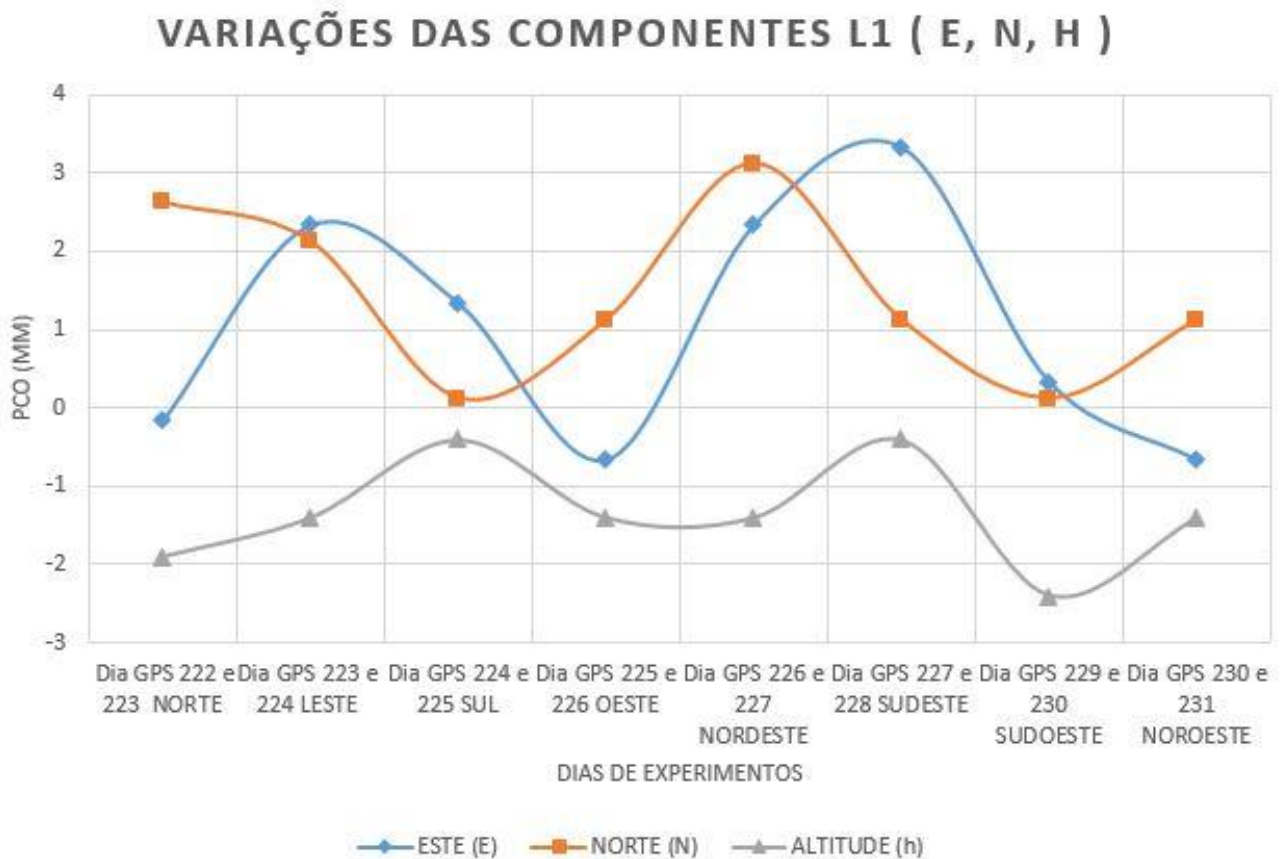
A partir dessas análises de coordenadas feitas, buscou-se encontrar os valores do PCO (PCO N, PCO E, PCO h) e desvio padrão da antena ASH111661 que podem ser verificados no quadro 9. Em função da disponibilidade do *software* usado, fez-se essa análise apenas para a portadora L1, adotando-se como referência a portadora L1/L2 processada com este mesmo *software*. Podemos observar que a mesma antena para diferentes dias e em função da posição em que a antena está orientada apresenta PCO diferentes na portadora L1. Nota-se que os dados estão na ordem do milímetro.

Quadro 9 - PCO da Antena ASH111661 processado com o GNSS *Solutions*<sup>TM</sup> (mm).

<b>DIA GPS 222 e 223 - Posição NORTE</b>			
	<b>L1</b>	<b>Diferença NGS</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>PCO E</b>	-1,5	-0,1	1,0
<b>PCO N</b>	2,1	2,6	1,0
<b>PCO h</b>	73,5	-1,9	1,0
<b>DIA GPS 223 e 224 - Posição LESTE</b>			
	<b>L1</b>	<b>Diferença NGS</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>PCO E</b>	0,9	2,3	1,0
<b>PCO N</b>	1,6	2,1	1,0
<b>PCO h</b>	74,0	-1,4	1,0
<b>DIA GPS 224 e 225 - Posição SUL</b>			
	<b>L1</b>	<b>Diferença NGS</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>PCO E</b>	-0,1	1,3	1,0
<b>PCO N</b>	-0,3	0,1	1,0
<b>PCO h</b>	75,0	-0,4	1,0
<b>DIA GPS 225 e 226 - Posição OESTE</b>			
	<b>L1</b>	<b>Diferença NGS</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>PCO E</b>	-2,0	-0,6	1,0
<b>PCO N</b>	0,6	1,1	1,0
<b>PCO h</b>	74,0	-1,4	1,0
<b>DIA GPS 226 e 227 - Posição NORDESTE</b>			
	<b>L1</b>	<b>Diferença NGS</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>PCO E</b>	0,9	2,3	1,0
<b>PCO N</b>	2,6	3,1	1,0
<b>PCO h</b>	74,0	-1,4	1,0
<b>DIA 227 e 228 - Posição SUDESTE</b>			
	<b>L1</b>	<b>Diferença NGS</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>PCO E</b>	1,9	3,3	1,0
<b>PCO N</b>	0,6	1,1	1,0
<b>PCO h</b>	75,0	-0,4	1,0
<b>DIA 229 e 230 - Posição SUDOESTE</b>			
	<b>L1</b>	<b>Diferença NGS</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>PCO E</b>	-1,0	0,3	1,0
<b>PCO N</b>	-0,3	0,1	1,0
<b>PCO h</b>	73,0	-2,4	1,0
<b>DIA 230 e 231 - Posição NOROESTE</b>			
	<b>L1</b>	<b>Diferença NGS</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>PCO E</b>	-2,0	-0,6	1,0
<b>PCO N</b>	0,6	1,1	1,0
<b>PCO H</b>	74,0	-1,4	1,0

O Gráfico da Figura 29 ilustra os valores do quadro 9 onde pode-se observar as variações nos experimentos para as componentes norte, leste e de altitude na portadora L1 usando o software *GNSS Solution*<sup>TM</sup>.

Figura 29 - Variações das Componentes L1 (E, N e h).



Verifica-se no gráfico da Figura 27 que a maior variação encontrada é de 3,1 mm na componente norte e de 3,3 mm no componente este, e na altitude a maior variação é de -2,4 mm.

#### 4.2.3 Avaliação final dos valores PCO utilizando o *software* Leica Geo Office.

Os valores do PCO (PCO N, PCO E, PCO h) e desvio padrão da antena ASH111661 podem ser verificados no quadro 10. Podemos observar uma variação final encontrada para os valores de PCO nas portadoras L1 e L2 individualmente, adotando-se como referência a média de todos os dias/direções processados utilizando a portadora L1/L2 do *software* Leica Geo Office. Os valores Este, Norte e Altitude encontrados para as portadoras L1 e L2 foram determinados a partir da média de todos os dias/direções individualmente e avaliados com o processamento de referência L1/L2. As maiores variações para ambas as componentes se encontram na portadora L2 obtendo uma variação de 2,2 mm na componente Este (E). Observe-se que os dados estão na ordem do milímetro.

Quadro 10 - Avaliação final dos parâmetros de calibração da antena ASH 111661.

<b>Parâmetros de Calibração da Antena ASH 111661 pelo NGS</b>				
<b>Antena</b>	<b>Frequência</b>	<b>PCO (mm)</b>		
		<b>ESTE (E)</b>	<b>NORTE (N)</b>	<b>ALTITUDE (h)</b>
<b>ASH111661</b>	L1	-1,4	-0,5	75,4
	L2	-1,0	-2,2	71,9

<b>Parâmetros de Calibração da Antena ASH 111661 determinados pelo <i>software</i> Leica Geo Office</b>							
<b>Antena</b>	<b>Frequência</b>	<b>PCO (mm)</b>					
		<b>ESTE (E)</b>	<b>DIFERENÇA NGS</b>	<b>NORTE (N)</b>	<b>DIFERENÇA NGS</b>	<b>ALTITUDE (h)</b>	<b>DIFERENÇA NGS</b>
<b>ASH 111661</b>	L1	-0,3	1,1	-1,3	-0,8	73,8	-1,6
	L2	1,2	2,2	-0,6	1,6	70,9	-1,0

## 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Analisando os resultados fornecidos pelos quadros 4 e 5, podemos perceber claramente a importância do uso dos parâmetros de calibração da antena em projetos que envolvem alto nível de acurácia, principalmente, quando se trata do processamento altimétrico. Fica evidente que a diferença de altitude comparado com a coordenada de referência do pilar 93949, tem uma variação de 7,6 cm considerando o software GNSS *Solution*<sup>TM</sup> e 7,3 cm considerando os resultados obtidos no software LEICA *Geo Office*. Em contrapartida, ao realizar a análise em relação às coordenadas obtidas no processamento incluindo os parâmetros de calibração da antena fornecidos pelo NGS, essa diferença cai de 7,6 cm para 1,4 mm para o software GNSS *Solution*<sup>TM</sup> e de 7,3 cm para 2,2 mm para o software LEICA *Geo Office*.

Foram processados dados GNSS de 8 sessões de 24 horas utilizando como estação de referência a MGIN 93940, objetivando a determinação das coordenadas geodésicas do pilar de calibração 93949 (marco da lavanderia) que compõem a base de calibração utilizado neste experimento. Determinou-se os valores do PCO da antena ASH 111661, obtidos do experimento realizado através do método de Calibração Relativa em campo no IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. Os resultados são relativos, porém surpreendentes, visto que se utilizou como antena de referência Zephyr Gns Geodetic Model 2 (TRM55971.00), parâmetros determinados absolutamente. Observou-se que, a mesma antena, para dias distintos e posições diferentes (Norte, Leste, Sul, Oeste, Nordeste, Sudeste, Sudoeste

e Noroeste) apresentam PCO diferente tanto para L1 quanto para L2. As maiores variações para ambas as componentes se encontram na portadora L2.

Os parâmetros gerados utilizando a portadora L1 foram analisados pelo programa GNSS *Solution*<sup>TM</sup>, onde pode-se concluir que a maioria dos experimentos foram conduzidos de forma correta pois apresentam diferenças na ordem milimétrica. Verifica-se que a maior variação encontrada é de 3,1 mm na componente norte e de 3,3 mm no componente leste, e na altitude a maior variação é de -2,4 mm.

Diante do que foi desenvolvido e exposto neste trabalho conseguiu-se alcançar os objetivos propostos, pois mesmo havendo algumas discrepâncias milimétricas dos resultados, considera-se o produto final surpreendente, devido à falta de recurso, equipamentos e *softwares* para este tipo de estudo. Como recomendações deste trabalho para futuras pesquisas cita-se:

- Utilizar softwares e estudos que investigam o efeito do multicaminho no pilar do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes;
- Reocupar o pilar 93949 para determinar coordenadas geodésicas, com dois receptores Leica GPS 1200 e com uma antena Choke Ring (2D e 3D) simultaneamente, utilizando como estação base a MGIN 93940, visando o ajustamento dos dados e determinação de coordenadas corrigidas para a época;
- Realizar experimentos de calibrações com diferentes tipos de condições climáticas;
- Processar os dados de calibrações de antenas utilizando os softwares apropriados para este tipo de estudo. Ex: Wasoft Kalib e CCANTEX
- Pesquisar a influência da temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar na determinação dos parâmetros de calibração;
- Averiguar estatisticamente os resultados de calibração;
- Realizar sempre o nivelamento geométrico entre os pilares para analisar se houve algum tipo de deslocamento da base de calibração;
- Construir outro pilar no IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes próximo ao pilar 93953 situado no cruzeiro visando minimizar a distância da linha de base (aproximadamente 5 m) entre os pilares e que haja resolução dos inteiros das ambiguidades;



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES,C.M.C, LISBOA, Faculdade de Ciências da Universidade de. **Sistema GNSS..** Disponível em: <[http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/3\\_Posiciona2-2014.pdf](http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/3_Posiciona2-2014.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2016. 1990

ASHTECH. **GNSS Solutions.** Disponível em: <<http://www.spectraprecision.com/media/custom/upload/File-1419862016.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2016. 2010.

BALANIS C. A. Antenna Theory: analysis and design. 2nd edition. New York: Wiley,1998.

BARTELS, G. A. **GPS–Antenna Phase Center Measurements Performed in an Anechoic Chamber.** Series 08 Astrodynamics and Satellite Systems 02. Delft University Press, 1997.

BILICH, A.; SCHMITZ, M.; GÖRRES, B.; ZEIMETZ, P.; MADER, G.; WÜBBENA, G. **Three-Method Absolute Antenna Calibration Comparison.** IGS Workshop University of Warmia and Mazury (UWM). July 23-27, Olsztyn, Poland, 2012.

BÖDER, V.; MENGE, F.; SEEGER, G.; WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M. **How To Deal With Station Dependent Errors – New Developments Of The Absolute Field Calibration Of PCV And Phase-Multipath With A Precise Robot.** In: ION GPS 2001.

BREUER, B; CAMPBELL, J.; GÖRRES B.; HAWIG, J.; WOHLLEBEN, R. Kalibrierung von GPS-Antennen für hochgenaue geodätische Anwendungen. Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, **Navigation und Kommunikation (SPN)**, 2/95. 1995

EL-HATTAB, A. I. **Influence of GPS Antenna Phase Center Variation on Precise Positioning**. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics. No. 2, pp. 272-277, 2013.

EVEN-TZUR, G; SHAKED, D. **GPS Antenna Height and Its Influence on Pseudorange Multipath**. Proceedings of FIG Working Week 2008 – Integrating Generations. 2008

FREIBERGER JUNIOR, J. **Antenas de Receptores GPS: Características Gerais**. 24p. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Investigações Da Calibração Relativa de Antenas GNSS**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2007.

FUSCO, V. F. **Teoria e Técnicas de Antenas: Princípios e Práticas**. Bookman, Porto Alegre, 2006.

GEOSYSTEMS, Leica. **Leica Geo Office Datasheet**. 2010. Disponível em: <[http://www.leica-geosystems.com.br/downloads123/zz/off/geo-office/brochures-datasheet/Leica\\_Geo\\_Office\\_Datasheet\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com.br/downloads123/zz/off/geo-office/brochures-datasheet/Leica_Geo_Office_Datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2016.

GÖRRES, B.; CAMPBELL, J.; BECKER, M.; SIEMES, M. **Absolute Calibration of GPS Antennas: Laboratory Results and Comparison with Field and Robot Techniques**. GPS Solutions, vol. 10, pp 136-145, 2006a.

GÖRRES, B.; CAMPBELL, J.; SIEMES, M. **New Anechoic Chamber Results and Comparison with Field and Robot Techniques**. IGS Meeting Bern, 2006.

GPS.GOV. Disponível em <<http://www.gps.gov/systems/gps/space/>>. Acesso em: 02 de maio de 2016. 2016.

GPS.GOV. Disponível em <http://www.gps.gov/systems/gps/space/#orbits>. Acesso em: 11 de julho de 2016. 2016.

GREWAL, M. S; WEILL, L. R; ANDREWS, A. P. **Global Positioning Systems, Inertial Navigation, And Integration**. Second Edition. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Publicado no ano de 2007. 2007.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more**. Springer Science & Business Media, 2008.

HUINCA, S.C.M. **Análise de influências ambientais na calibração de antenas de receptoresGPS**. 212p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2014.

HUINCA, S.C.M. **Calibração Relativa de Antenas GNSS na BCAL/UFPR**. 127p. Tese (Mestre em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.

HUINCA, S. C. M.; KRUEGER, C. P.; MAYER, M.; KNÖPFLER, A.; HECK, B. **First Results of Relative Field Calibration of a GPS Antenna at BCAL/UFPR**. Geodesy for Planet Earth. International Association of Geodesy Symposia, vol. 136, pp 739744, 2012.

IEEE. **IEEE Standard definitions of terms for antennas** – Std 145-1983. Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York, USA. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/iel1/2462/1290/00030651.pdf?arnumber=30651>>. Pesquisa realizada em 02 de agosto de 2016. 1983.

KRAUS, J. D.; MARHEFKA, R. J. **Antennas: for all applications**. 3th Edition. New York: Mc Graw-Hill. 2002.

KRUEGER, C. P.; FREIBERGER, J.; HECK, B.; MAYER, M.; KNÖPFLER, A.; SCHÄFER, B. **Establishing a GNSS Receiver Antenna Calibration Field in the Framework of Probab**.Earth: Our Changing Planet. Proceedings of IUGG XXIV General Assembly Perugia, Italy. 2007.

KUNYSZ, W. **High Performance GPS Pinwheel Antenna**.NovAtel Inc. Disponível em <[http://www.sokkia.com.tw/novatel/Documents/Papers/gps\\_pinwheel\\_ant.pdf](http://www.sokkia.com.tw/novatel/Documents/Papers/gps_pinwheel_ant.pdf)>. Acesso em 06 de setembro de 2016. 2010.

LAMONTAGNE, G.; LANDRY, R. Jr.; KOUKI, A. B. Direct RF Sampling GNSS Receiver Design and Jitter Analysis. **Scientific Research**, v. 3, n. 4, 2012.

LEICA GEOSYSTEMS. Disponível em <<http://www.leica-geosystems.com>>. Acesso em: 02 de agosto de 2016. 2016.

- LEICK, A. GPS Satellite Surveying – 3. edition. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- LÖFGREN, R H; JOHANSSON, J; NING T; SCHERNECK H G. **Site-Dependent Effects in GNSS-Observations - Reflections as Disturbances and/or Signals**. Department of Radio and Space Science, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009. EGU General Assembly. 2009.
- MACEDO, F.L. **Determinação dos parâmetros PCOs e PCVs de antenas GNSS utilizando propagação numérica**. 135p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.
- MADER, G. **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey**. GPS Solutions, Vol. 3, N°1, p.50-58, 1999.
- MENGE, F. **Zur Kalibrierung der Phasenzentrumsvariationen von GPSAntennen für die hochpräzise Positionsbestimmung**. 198 f. Genehmigte Dissertation. Hannover, 2003.
- MIGUEL, João. **Antenas, Cabos e Rádio-Enlace**. Disponível em: <[http://www.feng.pucrs.br/~jmiguel/\\_antenas/Curso de Antenas - Completo.pdf](http://www.feng.pucrs.br/~jmiguel/_antenas/Curso de Antenas - Completo.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2016. 2010.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo, Editora UNESP, 2008.
- NGS. National Geodetic Survey. Disponível em <<http://www.ngs.noaa.gov/ ANTCAL/>>. Pesquisa realizada em 02 de agosto de 2016. 2016.
- NOVATEL. **GNSS & GPS Antennas**. Disponível em: <<http://www.novatel.com/products/gnss-antennas/>>. Acesso em: 21 set. 2016.
- PEREZ, José Aurélio Silva. **Campo de velocidade para as estações da RBMC e do IGS localizadas na placa sulamericana: estimativa a partir do processamento de dados gps**. 2002. 166 f. Tese (Mestrado) - Curso de Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.
- RAY, J.K.; **Use of Multiple Antennas to Mitigate Carrier Phase Multipath in Reference Stations**. In: International Technical Meeting, 12.Nashville, Proceedings. Kansas City: The satellite Division of the Institute of Navigation, 1999. p. 269-280. 1999.

ROTHACHER, M. MADER, G. **Receiver and Satellite Antenna Phase Center Offsets and Variations. Network, Data and Analysis Center Workshop 2002**, Position Paper of the “Antenna Session”, IGS Workshop, p. 141-152, Ottawa, 2002.

ROTHACHER, M.; SCHMID, R. **GPS-Antennenkalibrierungen aus nationaler und internationaler Sicht**. In: Tagungsband des 4. SAPOS-Symposiums, Hannover. 2002.

RYF, A. Zur Kalibrierung von GPS-Antennen. VPK 7/93, S. 452-455 Disponível em :<<http://www.geometh.ethz.ch/about/staff/adrian/ryf.asp>>. Último Acesso: 15 de setembro de 2016. 1993.

SCHUPLER, B. R.; CLARK, T. A. **High Accuracy Characterization of Geodetic GPS Antennas Using Anechoic Chamber and Field Tests**. Proceedings of the ION GPS 2000, 19-22 September, Salt Lake City, UT. 2000.

SCHMITZ, M., WÜBBENA, G., BOETTCHER, G. **Near Field Effects of a Car Roof on TPCHIPERPLUS Phase Variations**. Geo++ White Paper. Disponível em <[www.geopp.com/publications](http://www.geopp.com/publications), Garbsen>. Acesso em 11 de abril de 2016. 2004.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter. 586 p. 2003.

BARTELS, G. A. **GPS–Antenna Phase Center Measurements Performed in an Anechoic Chamber**. Series 08 Astrodynamics and Satellite Systems 02. Delft University Press, 1997.

SMITH, **Curso de Antenas Completo**. Paraná. 1988.

SOUZA, Eniuce Menezes de; MONICO, João Francisco Galera; POLEZEL, Wesley Gildo Canducci. **Atenuando o Multicaminho: Possibilidades e Técnicas**. Primeiro Simposio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife/Pernambuco. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/geodesia/Artigos/G010.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2016. 2004.

SOUZA, E M D. **Análise de Wavelets para Detecção e Correção do Multicaminho no Posicionamento Relativo GNSS Estático e Cinemático**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista. 2008.

TRANQUILLA, J. M.; COLPITTS, B. G.; CARR, J. P. Measurement of lowmultipath Antennas for Topex. In: 5th INTERNATIONAL GEODETIC SYMPOSIUM ON SATELLITE POSITIONING. Las Cruces, New Mexico. P. 356-361. 1989.

TRIMBLE. **Trimble Choke Ring Geodetic Antenna.** Disponível em: <<http://www.trimble.com/Infrastructure/Trimble-Choke-Ring-Antenna.aspx>>. Acesso em: 21 set. 2016. 2016.

WANNINGER, L.; MAY, M. **Carrier phase multipath calibration of GPS reference stations.** Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GPS 2000, Salt Lake City, UT, USA, September 19-22, 2000.

WÜBBENA, G.; MENGE, F.; SCHMITZ, M.; SEEGER, G.; VÖLKSEN, C. **A new approach for field calibration of antenna phase center variations.** In: Proceedings of the 9th. International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS-96. 1996.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; MENGE, F.; BÖDER, V.; SEEGER, G. **Automated absolute field calibration of GPS-Antennas in real time.** In: Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS 2000, Salt Lake City, UT, USA, September 19-22, 2000.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; MENGE, F.; BÖDER, V.; SEEGER, G. **Automated absolute field calibration of GPS-Antennas in real time.** In: Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS 2000, p. 2512-2522. Salt Lake City, Utah. 2000b.

## **ANEXOS**

ANEXO I – Relatórios das estações geodésicas homologadas pelo IBGE.



Figura 30 - Relatório da Estação Geodésica MGIN-93940.



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	93940	Nome da Estação :	93940	Tipo :	Estação GPS
Município :	INCONFIDENTES			UF :	MG
Última Visita:	10/10/2007	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	22 ° 19 ' 06,8233 " S	Altitude Ortométrica(m)		Gravidade(mGal)	
Longitude	46 ° 19 ' 40,8866 " W	Fonte		Datum	
Altitude Geométrica(m)	883,720	Sigma Altitude(m)		Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum		Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição			
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo			
Data Medição	10/10/2007				
Data Cálculo	19/12/2007				
Sigma Latitude(m)	0,001				
Sigma Longitude(m)	0,001				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,004				
UTM(N)	7.531.309,952				
UTM(E)	383.219,729				
MC	-45				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sirgas2000.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

### Localização

No Prédio da Coordenação do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica do Instituto Federal Sul de Minas Gerais - IFSULMINAS - Campus Inconfidentes (Antiga EAFI) - Inconfidentes - MG.

### Descrição

Pilar quadrangular de concreto engastado na parede medindo 7,10 m de altura e 0,40 m de lado e no final acrescido de um tubo de PVC com 1,20 m de altura por 0,30 m de diâmetro, com dispositivo de centragem forçada padrão IBGE e chapa de identificação a 1,70 m do chão.

### Itinerário

Praça Tiradentes - 416 - Centro - Inconfidentes - MG - Cep 27578-000.

### Observação

Contato: Qualquer professor do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica do Instituto - Tel.: (35) 3484-1200 ou [joao.olympio@ifsuldeminas.edu.br](mailto:joao.olympio@ifsuldeminas.edu.br).  
Identificação da Estação da RBMC: MGIN.

Foto(s):



Figura 31- Relatório da Estação Geodésica 93949.



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	93949	Nome da Estação :	93949	Tipo :	Estação GPS
Município :	INCONFIDENTES			UF :	MG
Última Visita:	28/11/2007	Situação Marco Principal :	Bom		

### DADOS PLANIALTIMÉTRICOS

Latitude	22 ° 19 ' 09,7687 " S
Longitude	48 ° 19 ' 44,1140 " W
Altitude Geométrica(m)	884,825
Fonte	GPS Geodésico
Origem	Ajustada
Datum	SIRGAS2000
Data Medição	28/11/2007
Data Cálculo	28/11/2007
Sigma Latitude(m)	0,001
Sigma Longitude(m)	0,002
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,008
UTM(N)	7.531.218,558
UTM(E)	363.128,180
MC	-45

### DADOS ALTIMÉTRICOS

Altitude Ortométrica(m)
Fonte
Sigma Altitude(m)
Datum
Data Medição
Data Cálculo

### DADOS GRAVIMÉTRICOS

Gravidade(mGal)
Datum
Data Medição
Data Cálculo

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sirgas2000.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

#### Localização

Na Praça Tiradentes, nº 416 - Centro, a 25 m aquém do prédio da lavanderia, que situa-se nos fundos do prédio principal do Instituto Federal Sul de Minas Gerais - Campus Inconfidentes (Antiga EAFI) - Inconfidentes - MG.

#### Descrição

Pilar de concreto medindo 1,20 m de altura por 0,30 m de diâmetro sobre uma base de 1,20 m x 1,15 m. Possui um pino de centragem forçada em seu topo e uma chapa padrão IBGE fixada em sua face voltada para o Norte.

#### Observação

Contato: Qualquer professor do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica do Instituto - Tel.: (35) 3464-1200 ou [joao.olympio@ifsuldeminas.edu.br](mailto:joao.olympio@ifsuldeminas.edu.br). As coordenadas estão referidas ao final da rosca do pino de centragem forçada.



Figura 32 - Relatório de Estação Geodésica 93953.



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	93953	Nome da Estação :	93953	Tipo :	Estação GPS
Município :	INCONFIDENTES			UF :	MG
Última Visita:	10/10/2007	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	22 ° 18 ' 33,7880 " S	Altitude Ortométrica(m)		Gravidade(mGal)	
Longitude	48 ° 19 ' 55,3514 " W	Fonte		Datum	
Altitude Geométrica(m)	930,827	Sigma Altitude(m)		Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum		Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição			
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo			
Data Medição	10/10/2007				
Data Cálculo	28/11/2007				
Sigma Latitude(m)	0,002				
Sigma Longitude(m)	0,002				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,013				
UTM(N)	7.532.322,245				
UTM(E)	362.796,871				
MC	-45				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sirgas2000.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

### Localização

Entre a torre de telefonia celular da Vivo e o Cruzeiro situado na principal elevação - sentido saída para a Rodovia MG-290 pela estrada de chão, Fazenda do Instituto Federal Sul de Minas - Campus Inconfidentes (Antiga EAFI) - Inconfidentes - MG.

### Descrição

Pilar de concreto medindo 1,20 m de altura por 0,30 m de diâmetro sobre base de 1,20 m x 1,10 m. Possui um pino de centragem forçada em seu topo e uma chapa padrão IBGE fixada em sua face voltada para o Norte.

### Observação

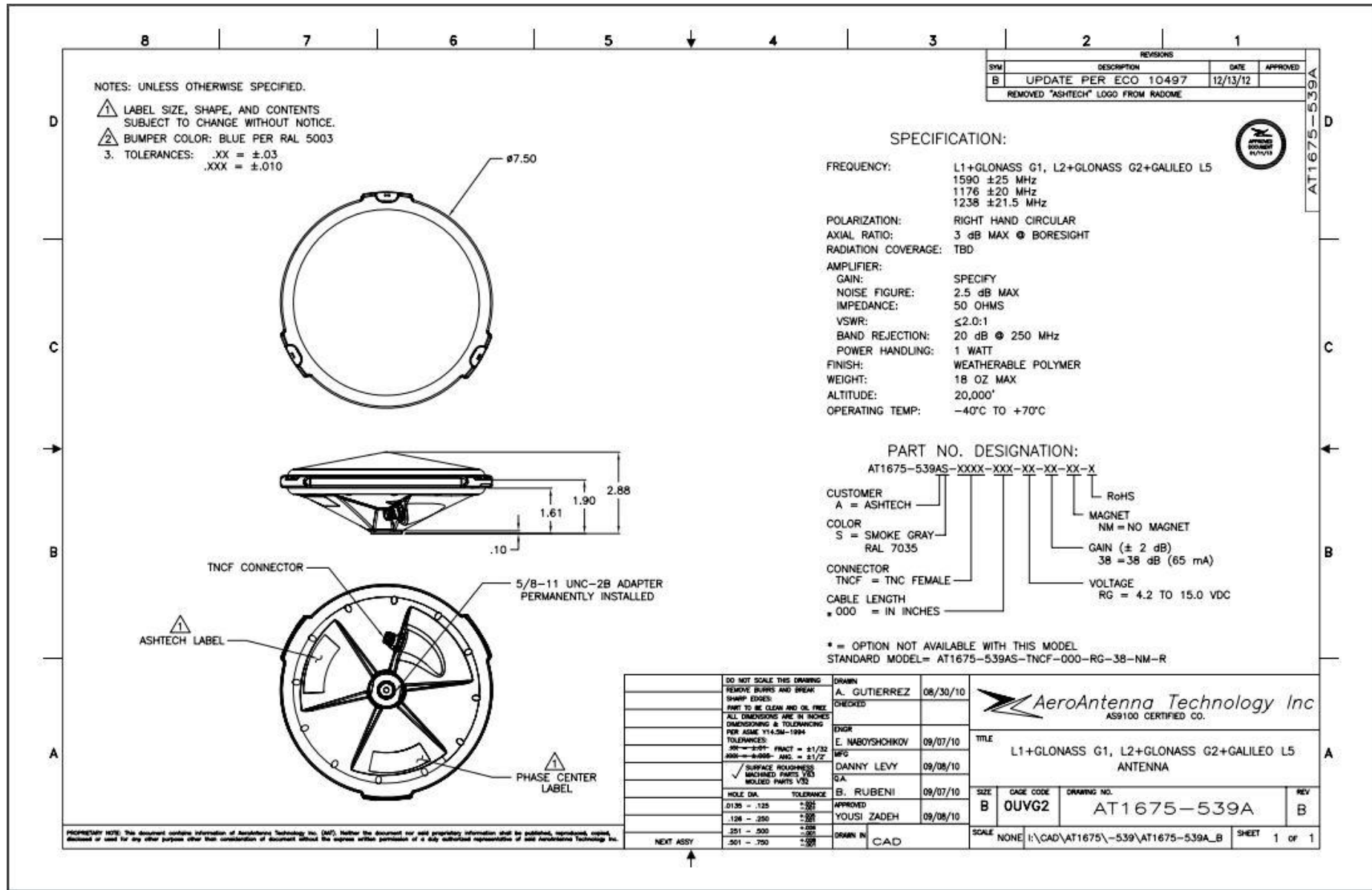
Contato: Qualquer professor do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica do Instituto - Tel.: (35) 3464-1200 ou joao.olympio@ifsuldeminas.edu.br. As coordenadas estão referidas ao final da rosca do pino de centragem forçada.

Foto(s)



ANEXO II – Características da Antena ASH 111661.

Figura 33- Características da Antena ASH 111661.



## APÊNDICES

APÊNDICE I – Nivelamento Geométrico pelo Datageosis Office.

Figura 34- Nivelamento Geométrico pelo Datageosis Office.

DataGeosis Office - [Nivelamento 24-08-16]

Arquivo Editar Visualizar Ferramentas Caderneta Janelas Ajuda

Projetos

- Nivelamento Pilares
  - Cadernetas
  - Nivelamento
    - Nivelamento 24-08-16
    - Nivelamento 22-08-16
  - Geodésia
  - Locações
  - Poligonais
  - Desenhos
  - Modelo de terreno
  - Perfis
  - Reconstituição
  - Modelo 3D
  - Relatórios

Tipo Circuito: Fechado Camadas (Medições): TERRENO Canadas...

RN Partida: 883,720 Erro obtido: -0,0003 m Erro relativo: ND mm/km

RN Chegada: 500,000 Perimetro: 0,0000 m

RN de Controles... Mostrar Correções... Atualizar Ajuda

Estaca	PV	Dist Lateral	D.H.	Ré	Intermed	Vante	HI	Cota Prev.	Correção	Cota
93940			0,0000	-0,424			883,2960	883,7200	0,0000	883,7200
P1			0,0000			2,229	883,2960	881,0667	0,0000	881,0667
P1			0,0000	0,488			881,5552	881,0667	0,0000	881,0667
P2			0,0000			2,638	881,5552	878,9173	0,0001	878,9174
P2			0,0000	2,437			881,3548	878,9173	0,0000	878,9174
P3			0,0000			0,164	881,3548	881,1908	0,0001	881,1909
P3			0,0000	3,682			884,8726	881,1908	0,0000	881,1909
93949	1		0,0000			0,040	884,8726	884,8329	0,0001	884,8331
93949	2		0,0000	0,038			884,8715	884,8329	0,0000	884,8331
P4	3		0,0000			3,683	884,8715	881,1888	0,0002	881,1890
P4	4		0,0000	0,163			881,3524	881,1888	0,0000	881,1890
P5	5		0,0000			2,437	881,3524	878,9152	0,0002	878,9154
P5	6		0,0000	2,639			881,5548	878,9152	0,0000	878,9154
P6	7		0,0000			0,488	881,5548	881,0662	0,0003	881,0665
P6	8		0,0000	2,229			883,2960	881,0662	0,0000	881,0665
93940	9		0,0000			-0,424	883,2960	883,7197	0,0003	883,7200

Interface

Projetos Propriedades Comandos Processamentos



APÊNDICE II – Processamento L1 Leica Geo Office.

Figura 35- Processamento L1 Leica Geo Office.

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC LESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC LESTE	I4	08/10/2016 11:33:00	No	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1723	7531218.5549	884.9068	0.0002	0.0003	0.0004

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NORDESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC NORDESTE	NORDESTE	08/13/2016 13:15:15	No	sí	GPS/GL...	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1732	7531218.5566	884.9078	0.0002	0.0004	0.0004

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NOROESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC NOROESTE	NOROESTE	08/17/2016 18:08:45	No	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1684	7531218.5538	884.9092	0.0002	0.0003	0.0004

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NORTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC NORTE	0001	08/09/2016 09:56:15	No	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1693	7531218.5514	884.9078	0.0003	0.0005	0.0006
	0002	08/09/2016 18:54:15	No	sí	GPS	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1685	7531218.5535	884.9060	0.0002	0.0003	0.0004

Figura 36- Processamento L1 Leica Geo Office.

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC OESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC OESTE	OESTE	08/12/2016 12:54:45	No	sí	GPS	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1720	7531218.5534	884.9057	0.0002	0.0003	0.0004

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUDOESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC SUDOESTE	SUDOESTE	08/16/2016 10:53:45	No	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1732	7531218.5540	884.9035	0.0002	0.0004	0.0004

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUL]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC SUL	SUL1	08/11/2016 12:02:15	No	sí	GPS/GL...	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1731	7531218.5542	884.9077	0.0002	0.0004	0.0004

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUDESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC SUDESTE	SUDESTE	08/14/2016 13:36:15	No	sí	GPS/GL...	Estático	Fase: todo fijo	L1	363128.1750	7531218.5570	884.9064	0.0001	0.0003	0.0003

APÊNDICE III – Processamento L2 Leica Geo Office.

Figura 37- Processamento L2 Leica Geo Office.

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC LESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC LESTE	I4	08/10/2016 11:33:00	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363128.1723	7531218.5563	884.9045	0.0001	0.0002	0.0002

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NORDESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC NORDESTE	NORDESTE	08/13/2016 13:15:15	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363128.1349	7531218.8258	884.8832	0.0002	0.0004	0.0004

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NORTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC NORTE	0001	08/09/2016 09:56:15	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363128.1760	7531218.5553	884.9024	0.0004	0.0007	0.0008
	0002	08/09/2016 18:54:15	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363128.1727	7531218.5545	884.9040	0.0001	0.0002	0.0003

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NOROESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Documentos abiertos	Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
William TCC NOROESTE	NOROESTE	08/17/2016 18:08:45	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363128.1727	7531218.5543	884.9017	0.0001	0.0002	0.0003

Figura 38 - Procesamiento L2 Leica Geo Office.

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC OESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
OESTE	08/12/2016 12:54:45	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363128.1724	7531218.5529	884.9126	0.0001	0.0002	0.0002

Documentos abiertos

William TCC OESTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
SUESTE	08/14/2016 13:36:15	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363127.9727	7531218.5279	884.8492	0.0002	0.0003	0.0003

Documentos abiertos

William TCC SUESTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUDOESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
SUDOESTE	08/16/2016 10:53:45	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363128.1767	7531218.5575	884.8982	0.0001	0.0002	0.0002

Documentos abiertos

William TCC SUDOESTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUL]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
SUL1	08/11/2016 12:02:15	No	no	GPS	Estático	Flotante	L2	363128.1727	7531218.5560	884.9031	0.0001	0.0003	0.0003

Documentos abiertos

William TCC SUL

APÊNDICE IV – Processamento L1/L2 Leica Geo Office.

Figura 39 - Procesamiento L1/L2 Leica Geo Office.

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC LESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Id del punto	Época / Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
I4	08/10/2016 11:33:00 No	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1730	7531218.5563	884.9047	0.0001	0.0002	0.0002

Documentos abiertos: William TCC LESTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NOROESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Id del punto	Época / Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
NOROESTE	08/17/2016 18:08:45 No	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1705	7531218.5552	884.9066	0.0001	0.0002	0.0002

Documentos abiertos: William TCC NOROESTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NORTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Id del punto	Época / Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
0001	08/09/2016 09:56:15 Sí	sí	GPS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1725	7531218.5552	884.9053	0.0001	0.0003	0.0003
0002	08/09/2016 18:54:15 Sí	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1712	7531218.5563	884.9076	0.0001	0.0002	0.0002

Documentos abiertos: William TCC NORTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC NORDESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

Id del punto	Época / Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
NORDESTE	08/13/2016 13:15:15 No	sí	GPS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1733	7531218.5580	884.9073	0.0001	0.0002	0.0002

Documentos abiertos: William TCC NORDESTE



Figura 40- Procesamiento L1/L2 Leica Geo Office.

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC OESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
OESTE	08/12/2016 12:54:45	No	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1708	7531218.5548	884.9067	0.0001	0.0001	0.0002

Documentos abiertos

William TCC OESTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUDESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
SUDESTE	08/14/2016 13:36:15	No	sí	GPS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1742	7531218.5563	884.9069	0.0001	0.0001	0.0001

Documentos abiertos

William TCC SUDESTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUDOESTE]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
SUDOESTE	08/16/2016 10:53:45	No	sí	GPS/GLONASS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1720	7531218.5555	884.9054	0.0001	0.0002	0.0002

Documentos abiertos

William TCC SUDOESTE

LEICA Geo Office - [Proyecto William TCC SUL]

Archivo Importar Editar Ver Herramientas Resultados Exportar Ventana Ayuda

84

Id del punto	Época	Guardado	Estado ambigüedades	Tipo GNSS	Tipo	Tipo de solución	Frecuencia	X local	Y local	Alt Elip.	Q Posic.	Q Alt.	Pos. + Q Alt.
SUL1	08/11/2016 12:02:15	No	sí	GPS	Estático	Fase: todo fijo	L1 + L2	363128.1729	7531218.5552	884.9056	0.0001	0.0001	0.0002

Documentos abiertos

William TCC SUL

APÊNDICE V – Processamento L1 Gns Solutions™.

Figura 41- Processamento Nordeste L1 Gns Solutions™.

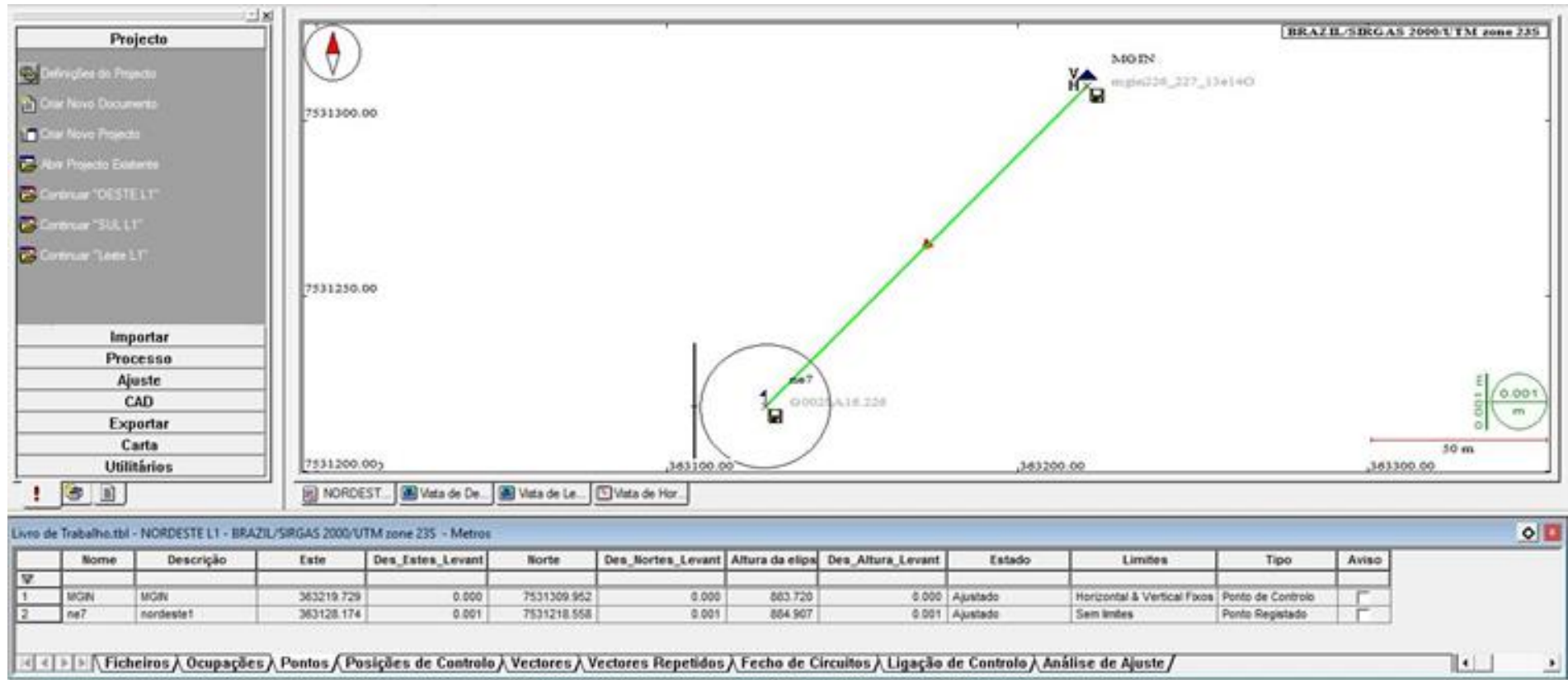


Figura 42 – Processamento Leste L1 Gns Solutions™.

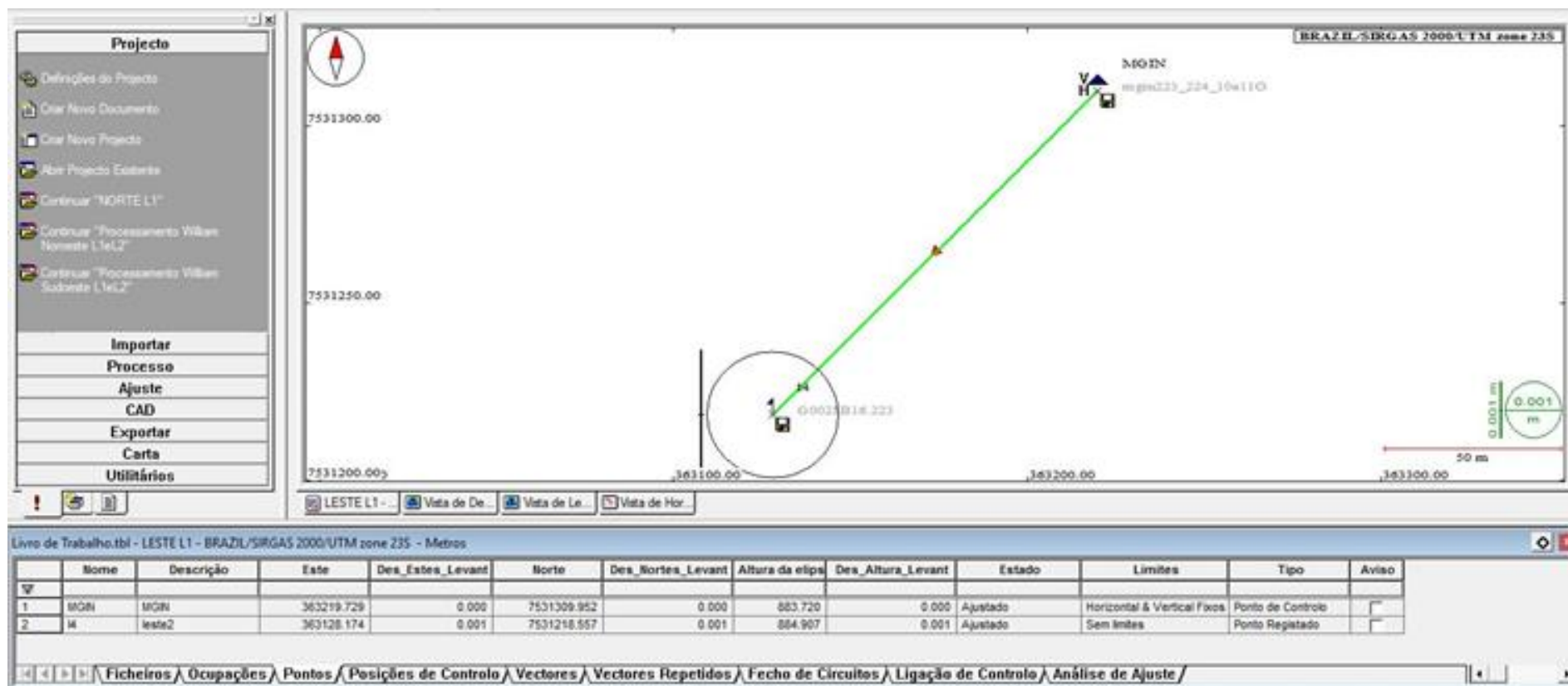


Figura 43 – Processamento Oeste L1 Gns Solutions™

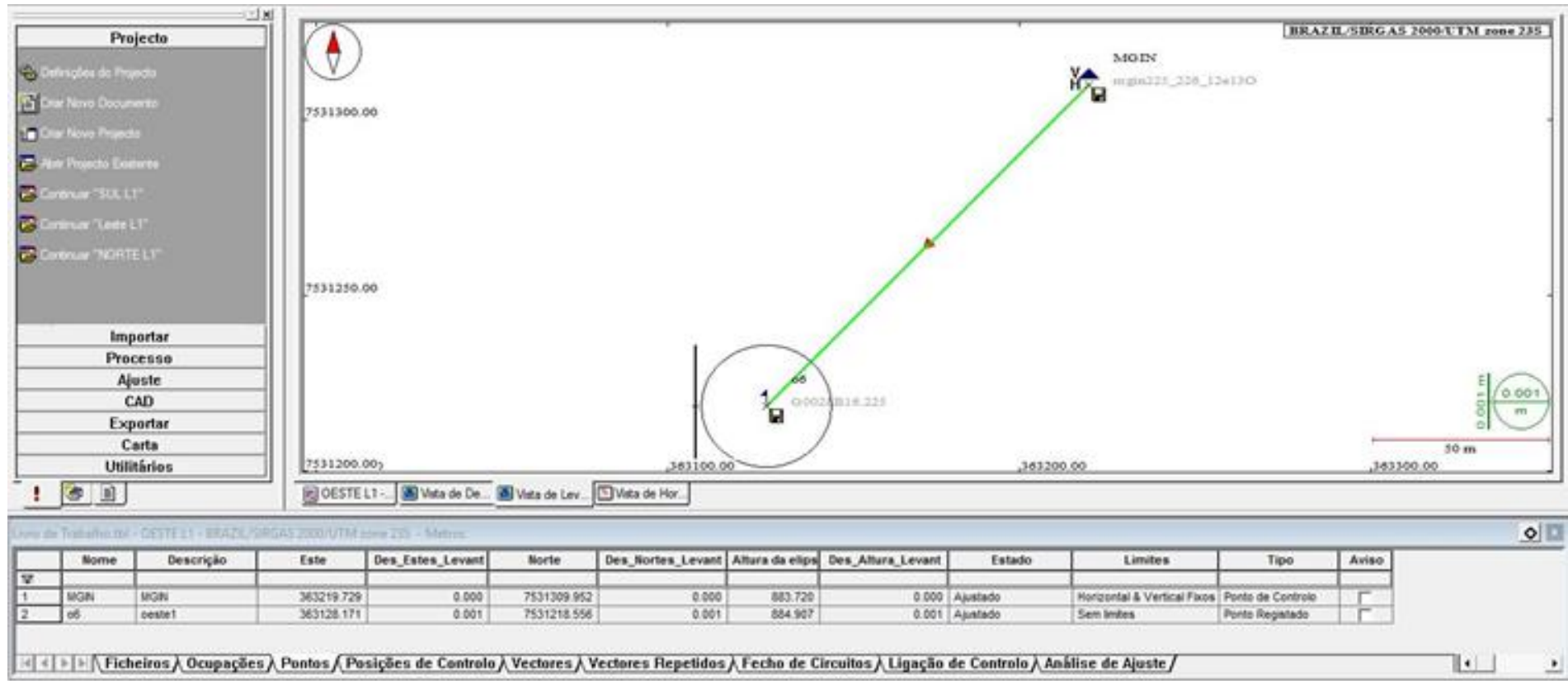


Figura 44 – Processamento Noroeste L1 Gns Solutions™.

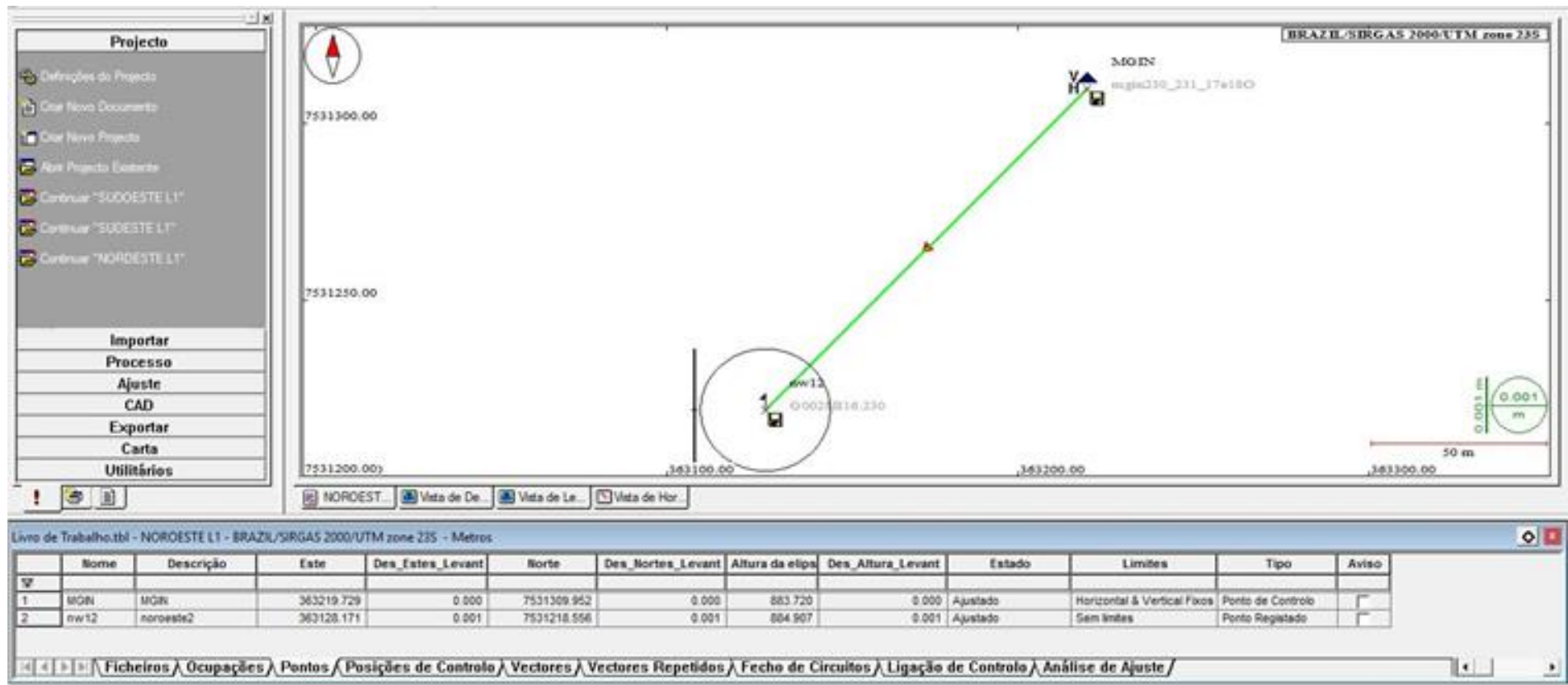


Figura 45 – Processamento Sudoeste L1 Gns Solutions™.

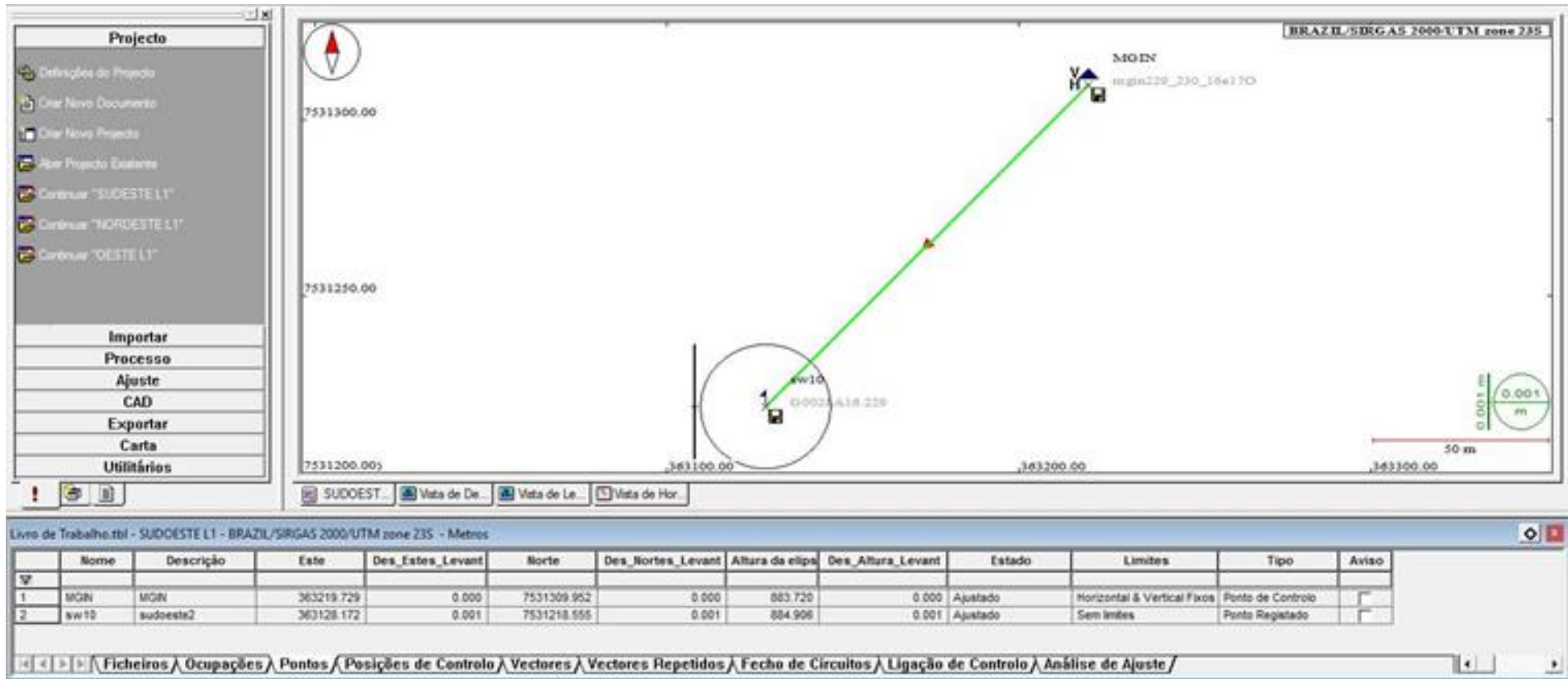


Figura 46 - Processamento Sudeste L1 Gns Solutions™.

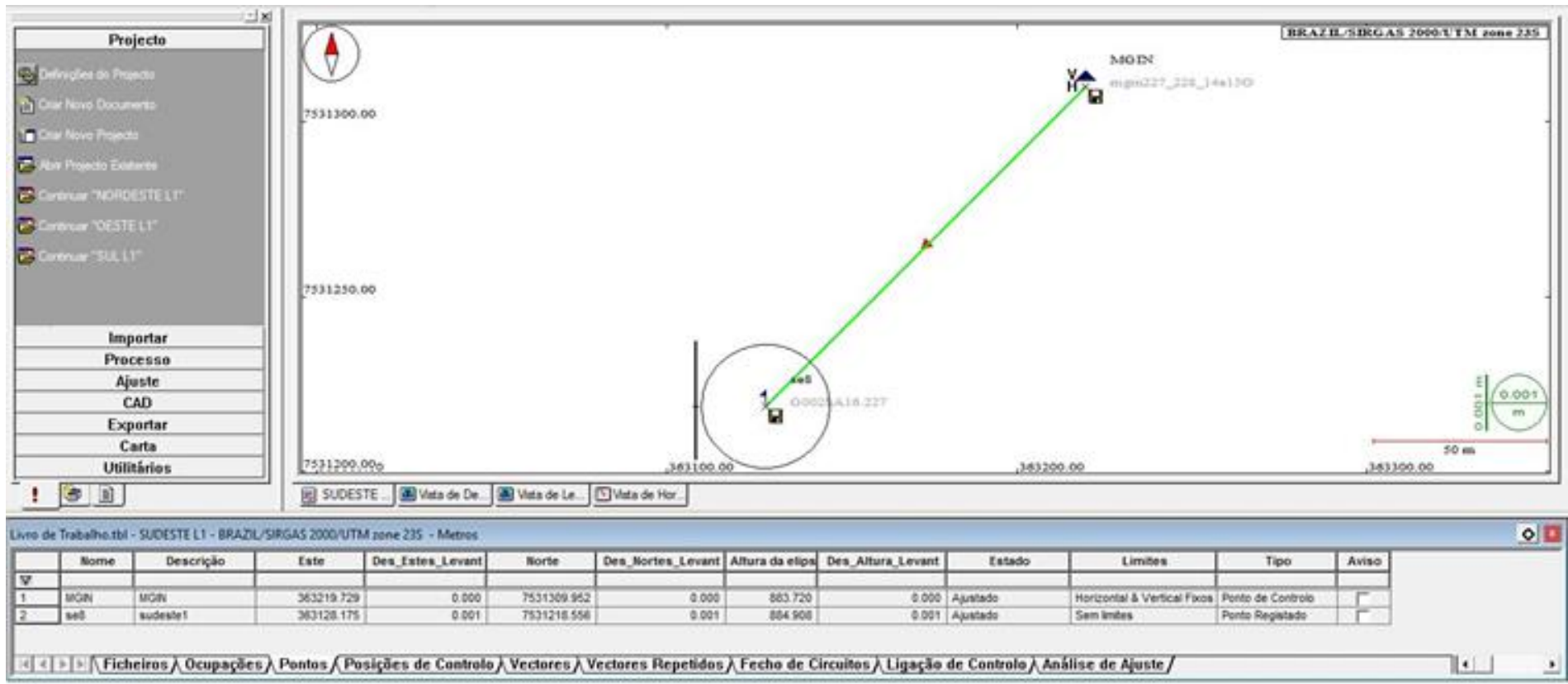




Figura 47 - Processamento Norte L1 Gns Solutions™.

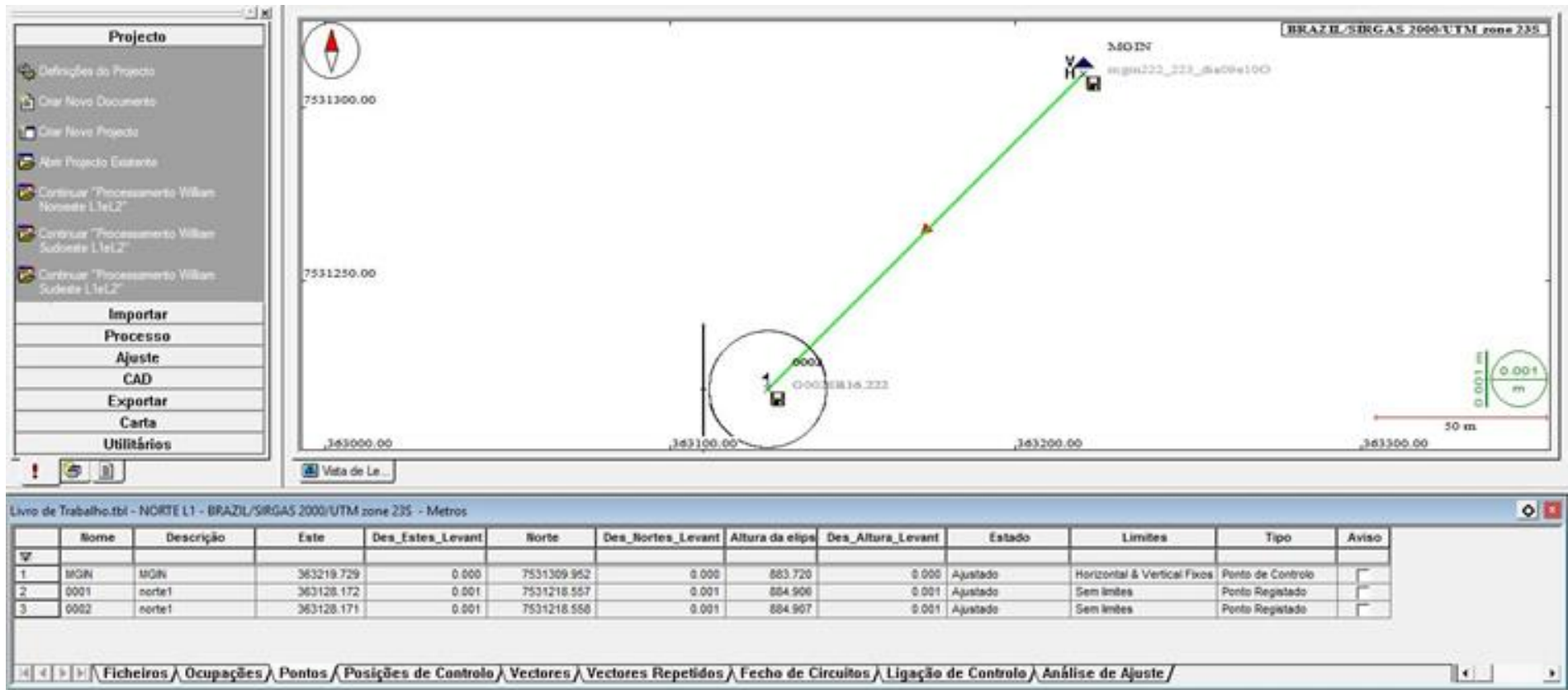
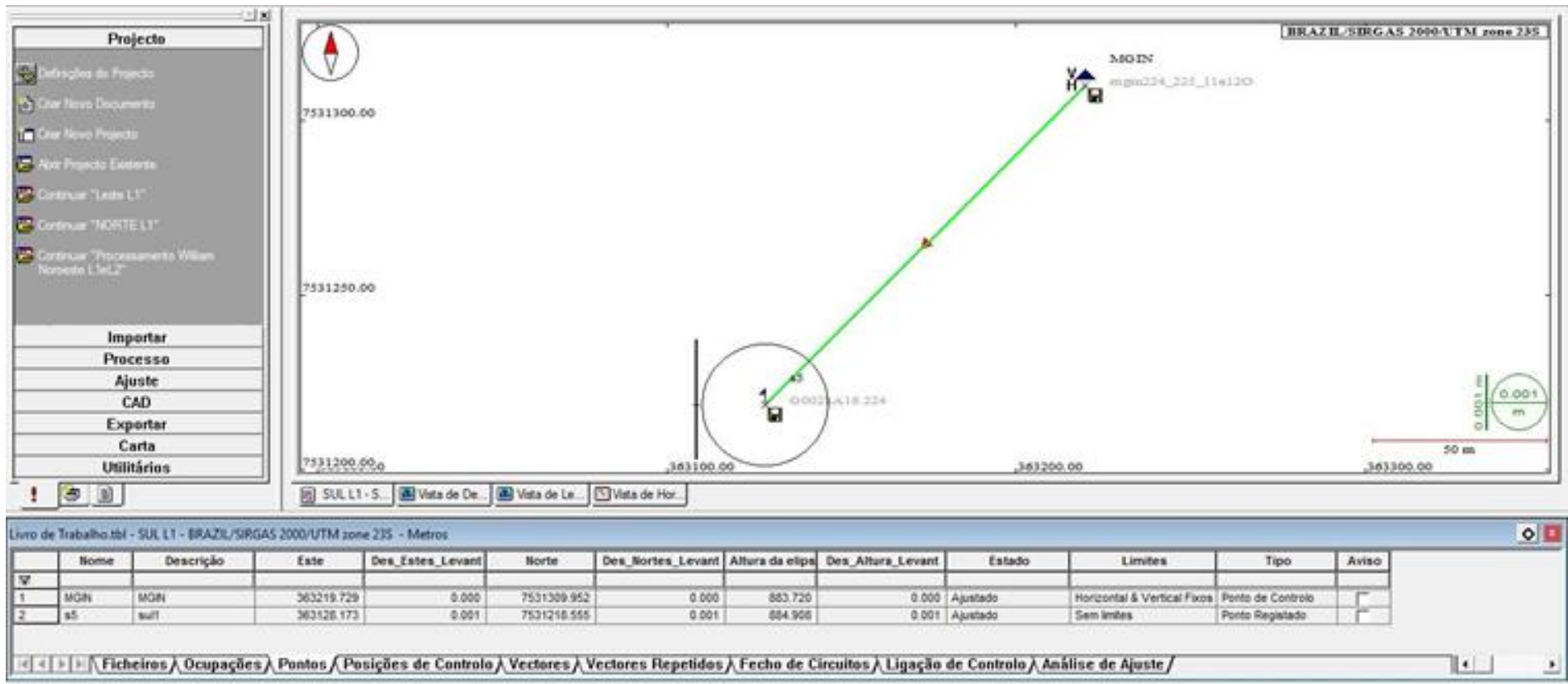


Figura 48 - Processamento Sul L1 Gns Solutions™.



APÊNDICE VI – Processamento L1/L2 GNSS Solutions™.

Figura 49 - Processamento Nordeste L1/L2 GNSS Solutions™.

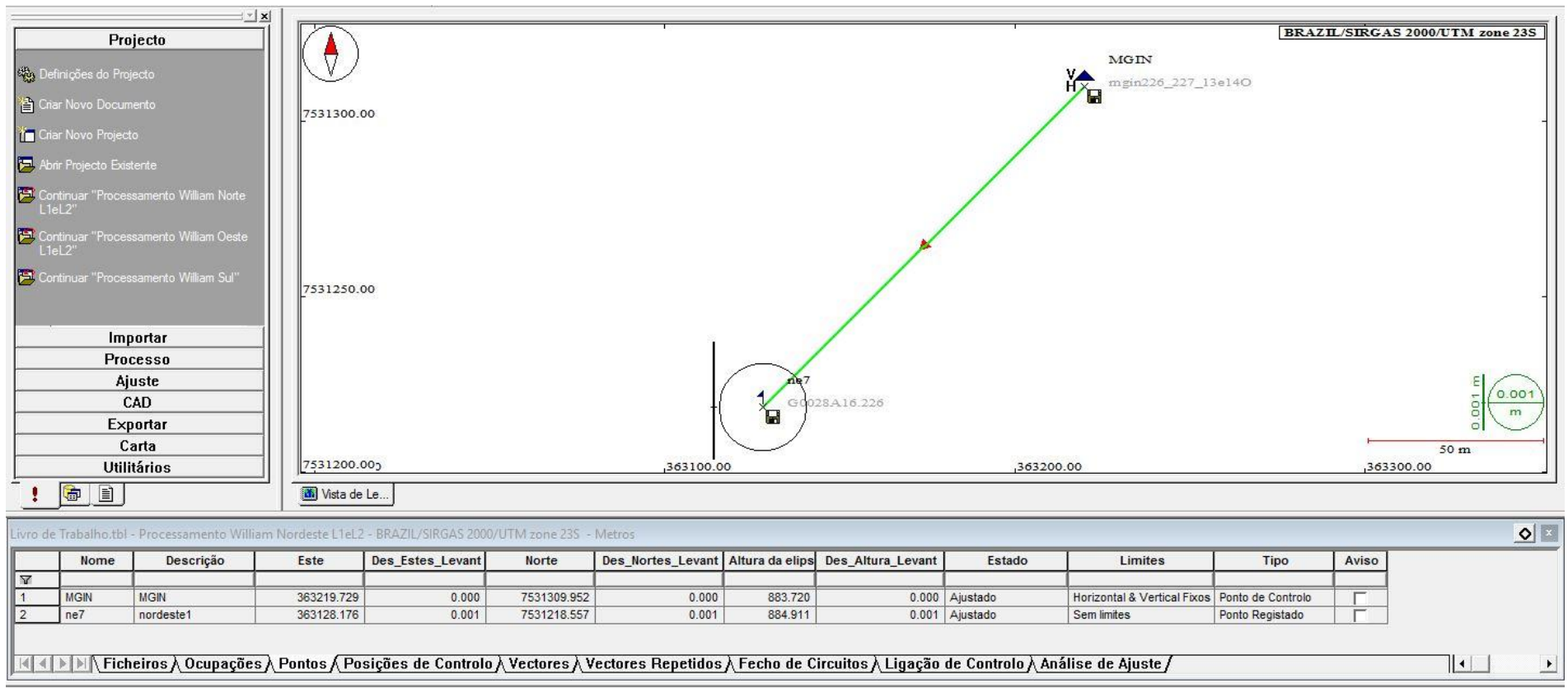


Figura 50 - Processamento Leste L1/L2 GNSS Solutions™.

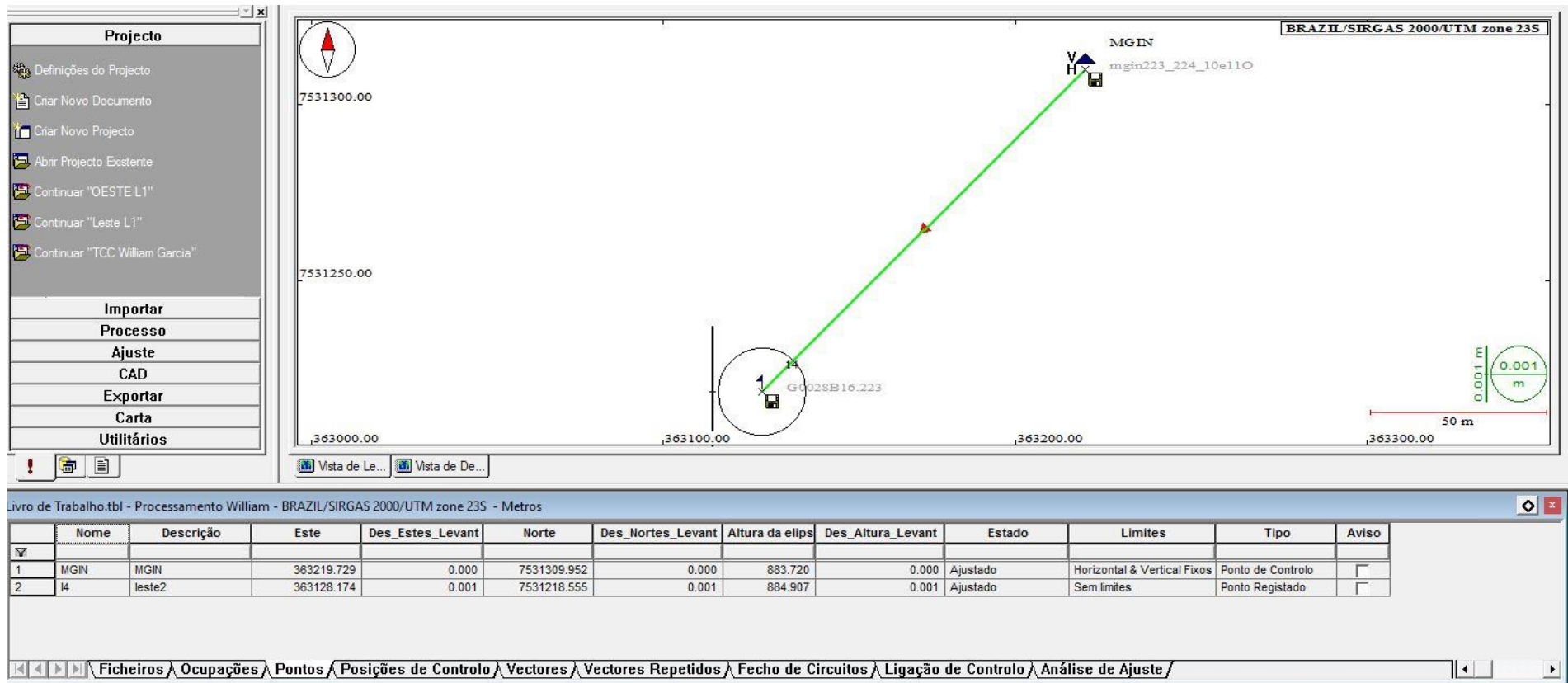


Figura 51 – Processamento Norte L1/L2 GNSS Solutions™.

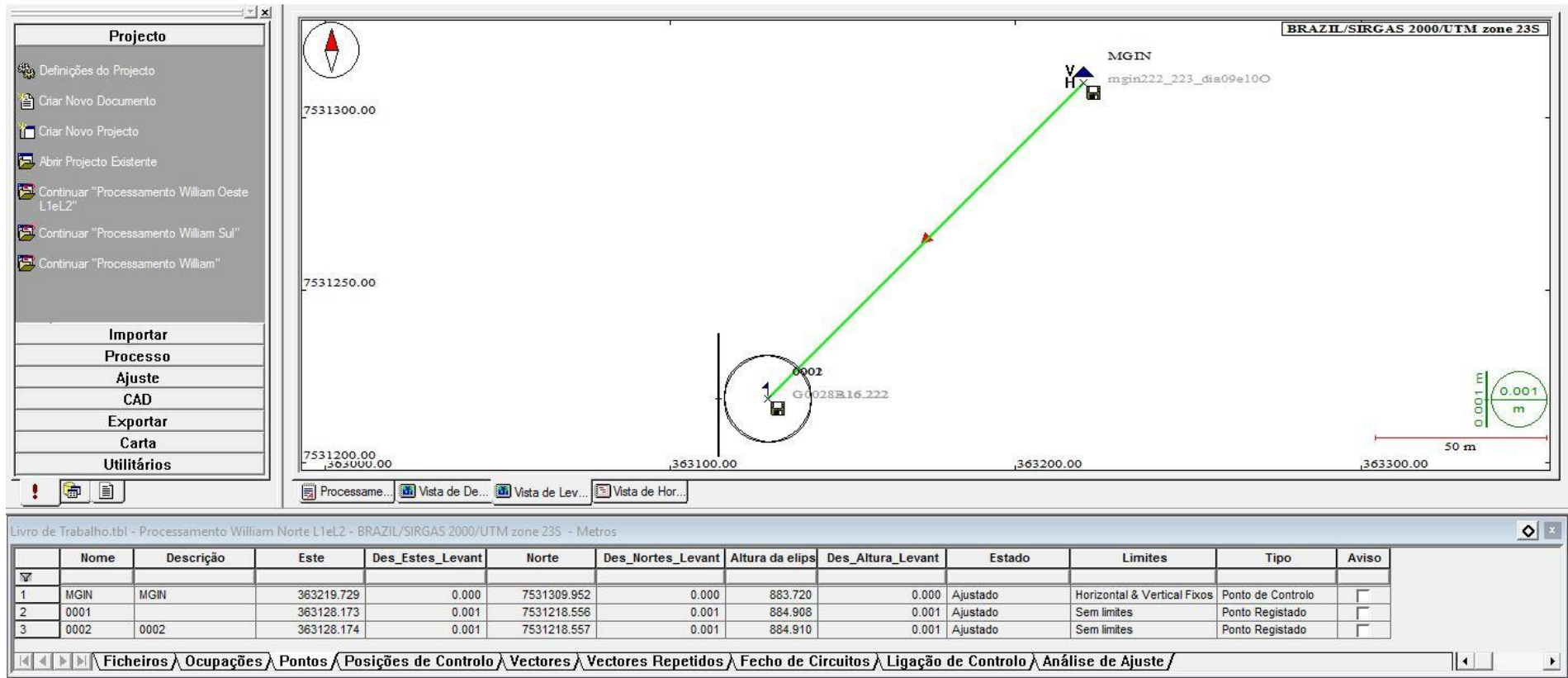


Figura 52 - Processamento Noroeste L1/L2 GNSS Solutions™.

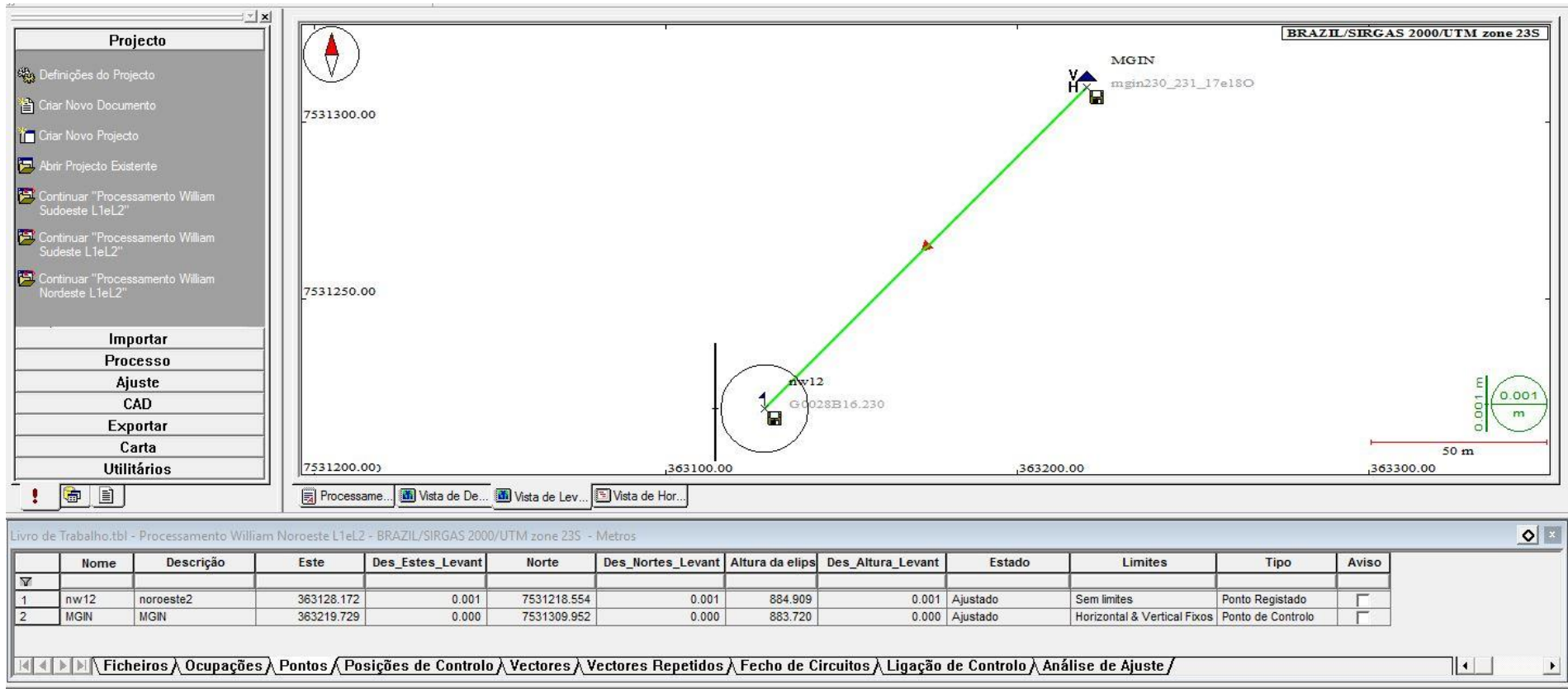


Figura 53 - Processamento Oeste L1/L2 GNSS Solutions™.

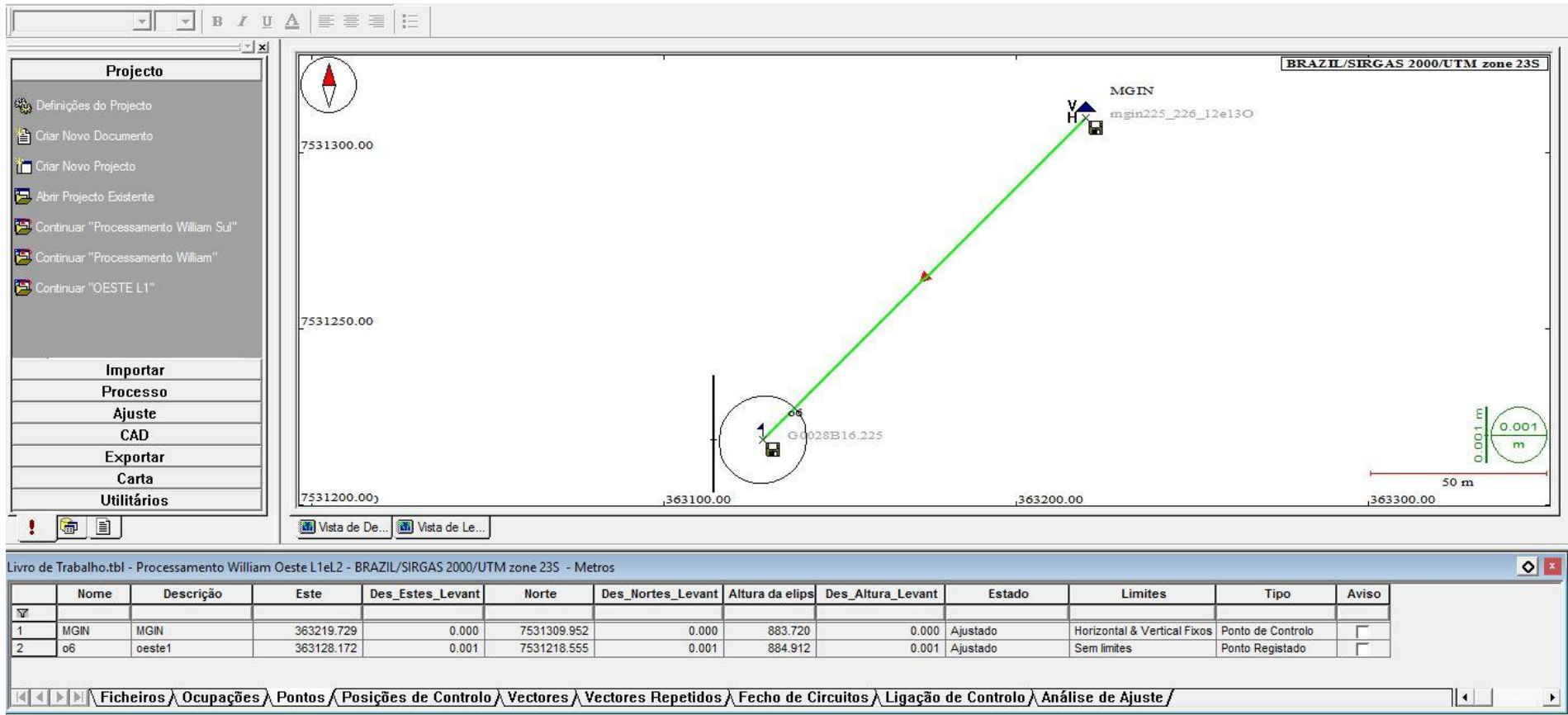




Figura 54 - Processamento Sudeste L1/L2 GNSS Solutions™.

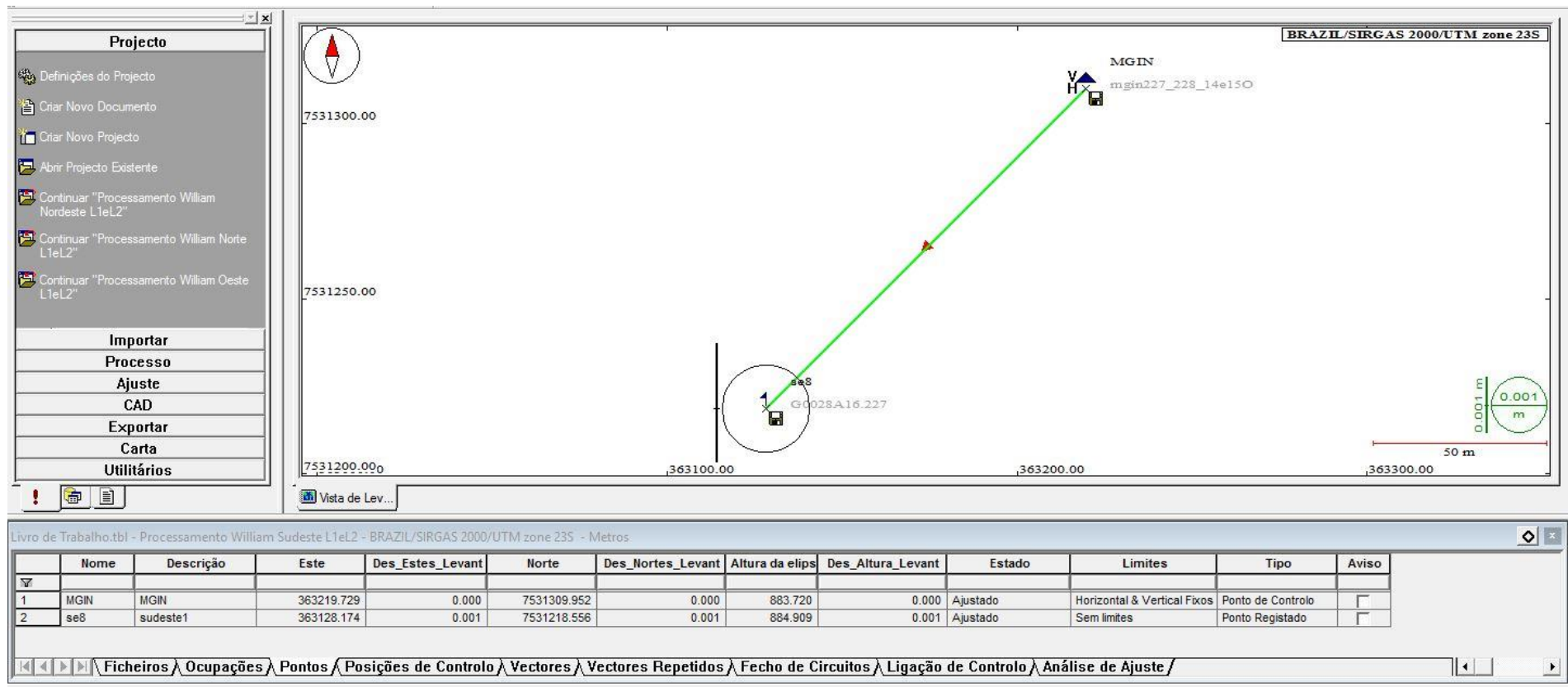


Figura 55 - Processamento Sudoeste L1/L2 GNSS Solutions™.

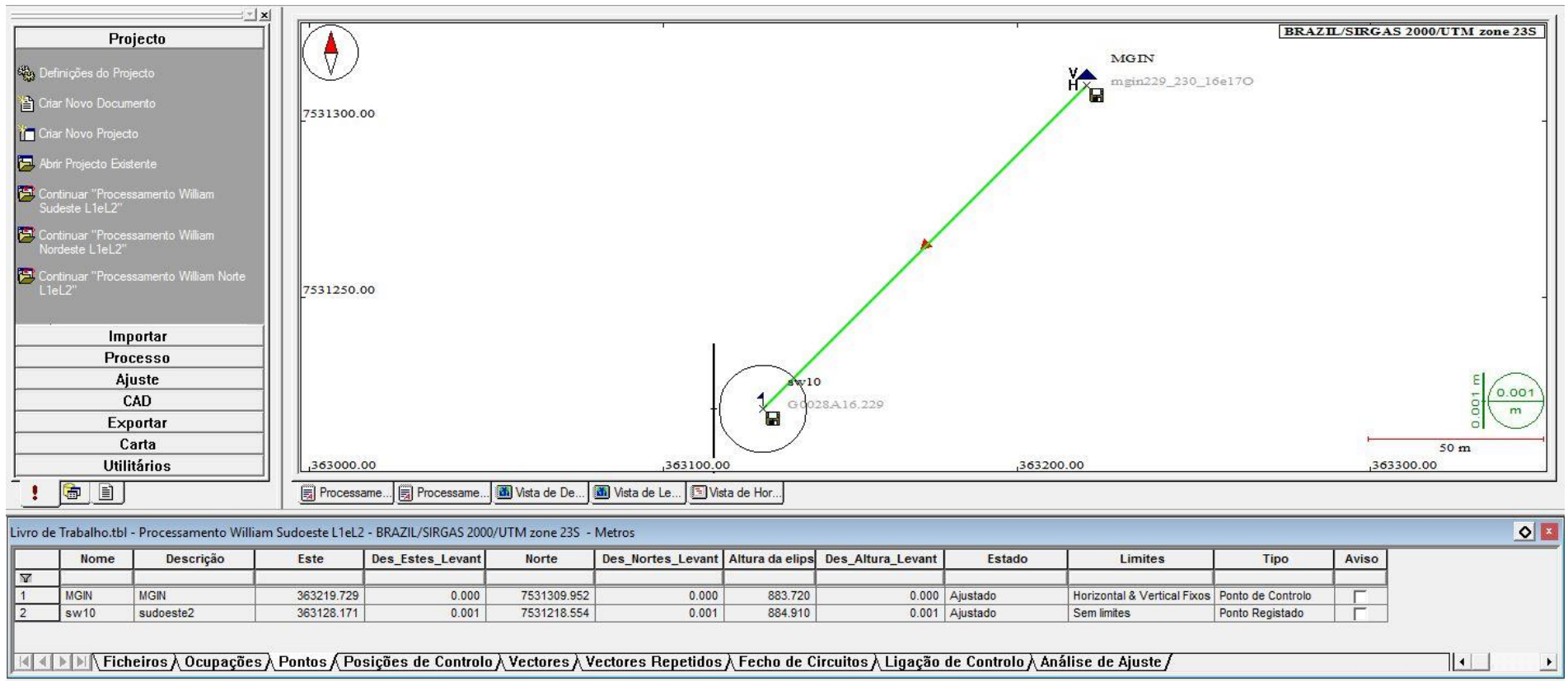


Figura 56 - Processamento Sul L1/L2 GNSS Solutions™.

