



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA CAMPUS SANTA MÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Guilherme Galli Rocha

IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE UMA REDE GEODÉSICA NO CAMPUS
SANTA MÔNICA - UFU

Uberlândia, 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA CAMPUS SANTA MÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Guilherme Galli Rocha

IMPLANTAÇÃO E ANÁLISE DE UMA REDE GEODÉSICA NO CAMPUS
SANTA MÔNICA - UFU

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção de aprovação na disciplina de
Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de
Engenharia Civil, da Universidade Federal de
Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. Nassau de Nogueira Nardez

*“Onde me encontro,
nunca estarei só.”*

A. Aquino

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, misericórdia e equilíbrio.

Agradeço aos meus irmãos pela inspiração em ser inteligente, destemido e ter um coração puro.

Agradeço minha mãe pelo amor incondicional, eterno e infinito.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Princípio do posicionamento por satélites	18
Figura 2: Fase da onda portadora	20
Figura 3: Posicionamento relativo com o GNSS	24
Figura 4: Posicionamento por GNSS	26
Figura 5: Posicionamento por GNSS	26
Figura 6: Mapa de Rede Altimétrica	30
Figura 7: Mapa de Rede Gravimétrica	31
Figura 8: Mapa de Rede Planialtimétrica	31
Figura 9: Mapa RBMC	33
Figura 10: Campus Santa Mônica UFU	34
Figura 11: Captação de dados da rede geodésica com todos materiais - UFU	35
Figura 12: Definição da posição de implantação	36
Figura 13: Marco geodésico IBGE	37
Figura 14: Marco geodésico IBGE	37
Figura 15: Forma metálica	37
Figura 16: Formas e concreto	37
Figura 17: Chapa metálica do IBGE	38
Figura 18: Chapa metálica	38
Figura 19: Marcos em produção	38
Figura 20: Marcos em produção	38
Figura 21: Chapa metálica do IBGE	38
Figura 22: Marcos em produção	38
Figura 23: Implantação do marco geodésico	39
Figura 24: Implantação	40
Figura 25: Implantação	40
Figura 26: Implantação	40
Figura 27: Levantamento 1	40
Figura 28: Levantamento 2	40
Figura 29: Levantamento 3	40
Figura 30: Fluxograma da Implantação da Rede Geodésica	41
Figura 31: Ponto 1	41
Figura 32: Ponto 2	41
Figura 33: Ponto 3	41
Figura 34: Ponto 4	42
Figura 35: Ponto 5	42
Figura 36: Ponto 6	42
Figura 37: Vetores do processamento com Base MGUB	43
Figura 38: Vetores do processamento com as Bases SPFE MGUB MGMT	44
Figura 39: Vetores do processamento com as Bases SPFE MGUB MGMT	45

Figura 40: Vetores do processamento com as Bases SPFE SPFR MGUB MGMT	46
Figura 41: Vetores do processamento com as Bases SPFE SPFR MGUB MGMT	46
Figura 42: Vetores do processamento com as Bases MGUB MGMT	47
Figura 43: Vetores do processamento com as Bases MGUB MGMT	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GNSS	22
Tabela 2 – Características técnicas para posicionamento relativo estático	25
Tabela 3 – Coordenadas e desvios com a Base MGUB	43
Tabela 4 – Coordenadas e desvios com as Bases SPFE MGUB MGMT	44
Tabela 5 – Coordenadas e desvios com as Bases SPFE SPFR MGUB MGMT	45
Tabela 6 – Coordenadas e desvios com as Bases MGUB MGMT	47

LISTA DE SIGLAS

EGNOS - European Geostationary Navigation Overlay System

GBAS - Ground Based Augmentation System

GIOVE - Galileo In-Orbit Validation Element

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

UFU - Universidade Federal de Uberlândia

WAAS - Wide Area Augmentation System

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 O Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS)	17
2.1.1 Princípio do Posicionamento por Satélites	18
2.1.2 Observáveis GNSS	18
2.1.2.1 Pseudodistância	18
2.1.2.2 Fase da Onda Portadora	20
2.1.3 Erros Associados às Observações GNSS	21
2.1.4 Métodos de Posicionamento pelo GNSS	22
2.1.5 Posicionamento Absoluto e PPP	23
2.1.6 Posicionamento Relativo	23
2.1.7 Posicionamento Relativo Estático	24
2.1.8 Posicionamento Diferencial (DGPS) e RTK (real time kinematic)	25
2.1.9 RTK – Cinemática em Tempo Real	25
2.2 Redes Geodésicas	27
2.2.1 Redes Geodésicas Verticais	27
2.2.1 Redes Geodésicas Horizontais	27
2.2.3 Redes Passivas	28
2.2.4 Redes Ativas	28
2.3 Etapas de Implantação de uma Rede Geodésica	28
2.4 Sistema Geodésico Brasileiro	29
2.5 Rede Altimétrica	30
2.6 Rede Gravimétrica	30
2.7 Rede Planimétrica	31
2.8 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC)	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Área de estudo	33
3.2 Materiais utilizados	34
3.3 Planejamento dos pontos e critérios de escolha	35
3.4 Construção e Implantação dos Marcos Geodésicos	36
3.5 Procedimentos de levantamento GNSS	40
3.6 Análise e Ajustamento de Dados	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 Pontos Implantados	41
4.2 Processamento dos Dados com a base MGUB	42

4.3 Processamento dos Dados com as Bases SPFE MGUB MGMT	43
4.4 Processamento dos Dados com as Bases SPFE SPFR MGUB MGMT	45
4.5 Processamento dos Dados com as bases MGUB MGMT ajustado	46
4.6 Discussão	48
5 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	50

RESUMO

As redes geodésicas constituem elementos essenciais para o progresso regional em distintas áreas do território nacional, ao fornecerem a base técnica necessária para diversas atividades científicas e de engenharia. Observa-se, contudo, que grande parte dos municípios brasileiros apresenta carência ou desatualização em suas infraestruturas geodésicas e cartográficas, o que compromete desde operações básicas de levantamento topográfico até o planejamento e execução de grandes obras estruturais. Nesse cenário, torna-se imprescindível o desenvolvimento e a implantação de redes de controle geodésico, que assegurem a preservação e atualização de bases locais. Em universidades, além de contribuírem para a viabilidade de obras físicas, servem como instrumentos de apoio às atividades de ensino, pesquisa e extensão. Nesse contexto foi materializada uma rede geodésica planimétrica composta por seis marcos de concreto edificadas no campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), situado no município de Uberlândia, no estado de Minas Gerais, seguindo os critérios técnicos estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estrategicamente posicionados em locais previamente selecionados. A coleta dos dados geodésicos foi realizada com tecnologia GNSS. A partir do levantamento foram realizados diversos processamentos relativos estáticos com bases de referência da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) por meio do software MAGNET Tools da empresa Topcon. Posteriormente, aplicou-se o ajustamento de observações por mínimos quadrados pelo método paramétrico. Os resultados obtidos alcançaram a precisão milimétrica, alguns pontos com precisão centimétrica. O melhor desempenho foi o processamento de base curta MGUB situado no campus Santa Mônica – UFU.

Palavras-chave: Rede Geodésica, Ajustamento, Posicionamento GNSS.

ABSTRACT

Geodetic networks are essential elements for regional progress in different areas of the country, as they provide the technical basis necessary for various scientific and engineering activities. However, it is observed that most Brazilian municipalities lack or are outdated in their geodetic and cartographic infrastructures, which compromises everything from basic topographic survey operations to the planning and execution of large structural works. In this scenario, the development and implementation of geodetic control networks is essential, ensuring the preservation and updating of local bases. In universities, in addition to contributing to the viability of physical works, they serve as instruments to support teaching, research and extension activities. In this context, a planimetric geodetic network was materialized, consisting of six concrete landmarks built on the Santa Mônica campus of the Federal University of Uberlândia (UFU), located in the municipality of Uberlândia, in the state of Minas Gerais, following the technical criteria established by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), strategically positioned in previously selected locations. The geodetic data were collected using GNSS technology. Several static relative processing operations were performed using reference bases from the Brazilian Continuous Monitoring Network (RBMC) using Topcon's MAGNET Tools software. Later, the least squares adjustment of observations was applied using the parametric method. The results achieved millimetric precision, with some points achieving centimetric precision. The best performance was the base MGUB located on the Santa Monica campus - UFU.

Keywords: Geodetic Network, Adjustment, GNSS Positioning.

1 INTRODUÇÃO

As redes geodésicas consistem em estruturas compostas por vetores posicionados fisicamente no terreno, cujas coordenadas estão vinculadas a um sistema geodésico de referência e são determinadas a partir de observações específicas (Klein *et al.*, 2011). As redes geodésicas possuem alta precisão e confiabilidade (Marini, 2002). A confiabilidade dos pontos que integram essas redes têm grande valor técnico à sua implantação. Essas redes têm aplicação em diversas áreas do conhecimento, destacando-se na definição de sistemas de referência, no suporte a projetos de mapeamento, em cadastros urbanos e rurais e no monitoramento de estruturas civis (Rosa, 2017).

A elaboração de uma rede geodésica envolve etapas essenciais como o planejamento, que estabelece a localização e a precisão desejada dos vértices. A etapa de observação compreende a coleta dos dados em campo, seguida do ajustamento das observações para obtenção das coordenadas tridimensionais mais precisas. Por fim, realiza-se o controle de qualidade, com o objetivo de identificar e mitigar possíveis inconsistências nas medições (Klein, 2014).

A implantação de redes geodésicas, segundo Rocha e Weshenfelder (2015), envolve a realização de quatro etapas principais: o planejamento, no qual se define a precisão e a localização dos vértices que comporão a rede; a materialização, que consiste na definição dos tipos de marcos a serem utilizados; a medição, onde são estabelecidas as técnicas para a obtenção dos dados da rede; e a documentação, que abrange a elaboração dos memoriais descritivos para cada marco implantado.

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1983), os levantamentos geodésicos compreendem um conjunto de procedimentos voltados à medição de grandezas físicas e geométricas, cuja finalidade é a determinação de coordenadas. A introdução do posicionamento via satélite representou um avanço significativo na geodésia moderna. O *Global Positioning System* (GPS), inicialmente desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e tornado plenamente operacional em 1995, teve seu uso civil ampliado a partir do século XXI. Posteriormente, outros sistemas foram incorporados, como o GLONASS (Rússia), Galileo (União Europeia) e BeiDou/COMPASS (China) em 2020.

A combinação desses sistemas, aliada a mecanismos de incremento de sinal, configura o *Global Navigation Satellite System* (GNSS). De acordo com Monico (2008), o funcionamento do GNSS baseia-se no conhecimento prévio das coordenadas dos satélites em um sistema de referência adequado, permitindo assim calcular com precisão a posição da

antena receptora. Essa técnica tem sido amplamente adotada na implementação e densificação de redes geodésicas.

O IBGE (2019) define as redes geodésicas como um conjunto de informações planimétricas, altimétricas e gravimétricas relacionadas às estações do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), as quais são essenciais para a realização de atividades de posicionamento em território nacional. Tais redes consistem em pontos implantados no solo e interligados por mensurações geodésicas, sendo frequentemente sinalizados por marcos físicos ou chapas metálicas (Dalazoana, 2010). Segundo Polezel (2007) as redes geodésicas são divididas em ativas e passivas: nas passivas, é necessária a ocupação direta dos pontos para obtenção de dados; nas ativas, esse processo é contínuo, realizado por receptores fixos como os utilizados na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), que fornece dados geodésicos em tempo real e diário.

O SGB, estruturado e mantido pelo IBGE, congrega uma diversidade de estações distribuídas por todo o país, servindo como referência oficial para levantamentos geodésicos. A manutenção e expansão das redes geodésicas são fundamentais para o progresso dos estados e municípios, por oferecerem suporte técnico imprescindível à execução de levantamentos e à implantação de obras de engenharia, como rodovias e pontes. Segundo Rosa (2017) as redes contribuem com o planejamento urbano, a regularização fundiária e a modernização da infraestrutura pública. Contudo, observa-se, em muitas localidades brasileiras, a carência ou desatualização das bases geodésicas e cartográficas, comprometendo desde simples levantamentos topográficos até a viabilidade de grandes obras estruturais.

Embora redes geodésicas, tradicionalmente sejam concebidas para abranger grandes áreas, de acordo com NBR 14.166/98 sua aplicação em espaços reduzidos como as redes de referência cadastral municipal e conforme NBR 13.133/94 em área rural são igualmente necessárias. Conforme observado em Luz (2019), as redes implantadas nos padrões do IBGE se mostram igualmente relevantes proporcionando melhores condições para ensino, infraestrutura de pesquisa e extensão, bem como para o desenvolvimento tecnológico na instituição.

1.1 Justificativa

Um dos principais problemas enfrentados pelas redes geodésicas é a destruição dos pontos, que, muitas vezes, não são repostos, causando dificuldades de acesso a informações oficiais e comprometendo a integração de trabalhos e produtos cartográficos regionais

(Sokora, 2020). A ausência de marcos permanentes e confiáveis também prejudica a realização de atividades acadêmicas que envolvem práticas de campo, ensino e pesquisa. Esse problema se agrava pelo fato de que muitos dos pontos atualmente utilizados em unidades acadêmicas são antigos, provisórios e não seguem as normas de implantação estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Diante desse cenário, justifica-se a criação de uma rede geodésica nos padrões do IBGE (2008) no campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizado em Uberlândia – MG. A implantação de uma rede geodésica confiável no campus proporcionará uma base estável e precisa para o desenvolvimento de atividades acadêmicas, contribuindo para a implantação de obras de infraestrutura, o apoio ao mapeamento cartográfico, bem como atendendo as demandas de ensino, pesquisa e extensão universitária.

Ademais, a rede proposta se alinha ao planejamento estratégico da instituição, uma vez que o plano diretor da unidade prevê a construção de novos edifícios e estruturas, sendo a rede uma ferramenta de suporte técnico às obras de expansão e às ações de infraestrutura previstas.

Assim, a proposta deste trabalho é planejar e implantar uma rede geodésica no campus Santa Mônica utilizando a tecnologia dos GNSS com vistas à análise da qualidade das coordenadas obtidas para cada ponto da rede. Após a definição dos melhores resultados foi feita a disponibilização das coordenadas finais dos pontos da rede à comunidade universitária e à sociedade civil. Dessa forma, tanto no contexto urbano, estratégico, acadêmico, a criação da rede geodésica representa uma ferramenta técnica essencial para o ordenamento territorial, a modernização da infraestrutura e a promoção do desenvolvimento sustentável e planejado no campus Santa Mônica da UFU.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Estabelecer uma rede geodésica de referência padrão IBGE (2008) com o uso da tecnologia GNSS no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os pontos estratégicos para a implantação dos marcos geodésicos no

Campus Santa Mônica da UFU, garantindo cobertura adequada para futuras aplicações;

- Construir os marcos geodésicos de acordo com padrão IBGE (2008);
- Realizar o levantamento geodésico utilizando tecnologia GNSS de alta precisão;
- Realizar o ajustamento dos dados coletados pelo método dos mínimos quadrados utilizando-se o modelo paramétrico e avaliar os parâmetros de qualidade;
- Documentar os procedimentos e resultados obtidos para possibilitar futuras manutenções e atualizações da rede no Campus Santa Mônica;
- Disponibilizar as informações geodésicas em formato acessível para projetos acadêmicos, de ensino, pesquisa, extensão e de infraestrutura dentro da UFU.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico irá explorar os conceitos essenciais que fundamentam o projeto, servindo como base teórica para as etapas do trabalho.

2.1 O Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS)

O GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite) refere-se a uma rede de satélites que permite a localização global de usuários em qualquer ponto do planeta. De acordo com o IBGE (2017), os principais sistemas que fazem parte do GNSS são: o NAVSTAR-GPS, sistema norte-americano em operação desde 1995; o GLONASS, sistema russo iniciado em 2011; o Beidou/Compass, sistema chinês que entrou em funcionamento na Ásia em 2011; e o Galileo, sistema europeu que iniciou suas operações em 2017 com alguns serviços funcionando.

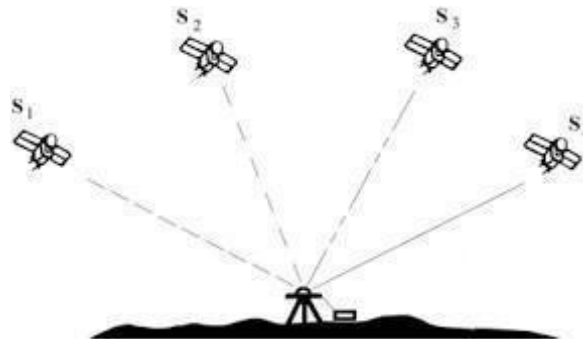
O avanço contínuo das tecnologias de posicionamento, impulsionado pelos desenvolvimentos científicos e tecnológicos, demonstrou que o GPS poderia ser expandido, interligando-se ao *Satellite Based Augmentation System* (SBAS) e ao *Ground Based Augmentation System* (GBAS), que representam, respectivamente, as estruturas espaciais e terrestres associadas ao sistema (IBGE, 2008). Esse aprimoramento foi denominado GNSS, que engloba os sistemas de navegação e suas respectivas infraestruturas, incluindo sistemas de suporte como o *Wide Area Augmentation System* (WAAS), dos Estados Unidos, e o *European Geostationary Navigation Overlay System* (EGNOS), da Europa (INCRA, 2013).

O Galileo lançou seu primeiro satélite experimental, denominado Galileo *In-Orbit Validation Element* (GIOVE), em 28 de dezembro de 2005, com o apoio da Agência Espacial Europeia (Monico, 2008). O sistema estava programado para operar com 18 satélites a partir de 2014 (Resende, 2017). Por outro lado, a China, inspirada em sua antiga tradição de navegação com a bússola, desenvolveu o sistema Beidou/Compass, iniciado em 1983, com o objetivo de melhorar sua rede de navegação utilizando satélites geoestacionários. Atualmente, o sistema conta com 16 satélites, sendo cinco com órbita média (semelhantes aos do GPS) e os outros com órbita geoestacionária ou inclinada (Resende, 2017).

2.1.1 Princípio do Posicionamento por Satélites

De acordo com Seeber (2003), o princípio fundamental do posicionamento por satélites é baseado na medição das distâncias entre o usuário e, no mínimo, quatro satélites. Como explica Monico (2008), conhecendo as coordenadas desses satélites em um sistema de referência, é possível calcular as coordenadas do usuário dentro do mesmo sistema de referência. Esse processo permite determinar com precisão a localização do usuário em qualquer lugar do planeta, a partir dos sinais recebidos dos satélites, conforme Figura (1).

Figura 1: Princípio do posicionamento por satélites



Fonte: Seeber (2003).

2.1.2 Observáveis GNSS

Os sinais enviados pelos satélites dos sistemas GNSS possibilitam a extração de quatro principais tipos de observações, segundo Seeber (2003):

- Pseudodistância com base na medição do código;
- Variação da pseudodistância por meio da contagem Doppler integrada;
- Fase da portadora ou diferença de fase da portadora;
- Diferenças no tempo de propagação obtidas por técnicas interferométricas.

Dentre essas observações, duas se destacam pelo uso mais frequente em aplicações de posicionamento: a pseudodistância e a fase da onda portadora. Ambas serão explicadas a seguir.

2.1.2.1 Pseudodistância

A pseudodistância é uma das observações mais utilizadas em sistemas de navegação por satélite, servindo como base para a determinação de posição, velocidade e tempo. Essa

medida é calculada multiplicando o tempo de viagem do sinal entre o satélite e o receptor pela velocidade da luz. No entanto, por conta da interferência de diversos erros durante a propagação do sinal — como os efeitos da ionosfera, da troposfera e os erros causados por múltiplos caminhos — essa medição não representa a distância real, sendo denominada *pseudodistância* (Monico, 2008; Polezel, 2010).

A determinação dessa observável envolve a correlação entre o código enviado pelo satélite e sua réplica interna no receptor. O atraso entre a emissão e a recepção do sinal é usado para estimar o tempo de propagação. Multiplicando esse tempo pela velocidade da luz, obtém-se a pseudodistância (Monico, 2008).

Devido à diferença na precisão dos relógios utilizados sendo os dos satélites extremamente precisos (atômicos), e os dos receptores menos sofisticados, há necessidade de ajustes. Essas diferenças são corrigidas com base no tempo do sistema GPS, conforme as equações:

$$t_{GPS} = t^s - dt^s \quad (1)$$

$$t_{GPS} = t_r - dt_r \quad (2)$$

Onde:

(t_{GPS}) sistema de tempo GPS;

(t^s) tempo do satélite;

(t_r) tempo do receptor (t_r) ;

(dt^s) é o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante ts , em segundos;

(dt_r) é o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante tr , em segundos.

A expressão da pseudodistância levando em consideração os principais erros é:

$$PD_R^S = \rho_r^s + c \left[dt_r - dt^s \right] + l_r^s + T_R^S + dm_r^s + \varepsilon \frac{S}{P_{Dr}}$$

Com os seguintes componentes:

ρ_r^s : é a distância entre o satélite e o receptor, em metros;

dt_r : é o erro do relógio do receptor, em segundos;

c : é a velocidade da luz no vácuo em ms^{-1} ;

ρ_r^s : é a distância geométrica entre sinal do satélite no instante da transmissão e do receptor no instante da recepção, em metros;

l_r^s : é o atraso devido à refração atmosférica na ionosférica, em metros;

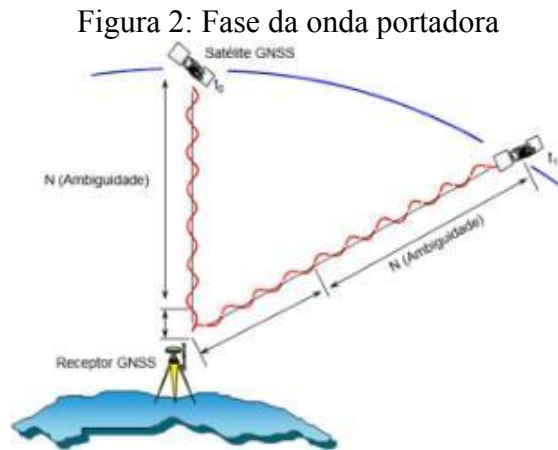
T_R^S : é o atraso devido à refração atmosférica na troposférica, em metros;

dm_r^s : é o erro de multicaminho do sinal entre o satélite e o receptor, em metros;

$\varepsilon_{Dr}^{\frac{S}{P}}$: é o erro da pseudodistância devido a efeitos e aleatórios em metros;

2.1.2.2 Fase da Onda Portadora

A fase da onda portadora é uma observável com altíssima precisão, sendo a principal utilizada em levantamentos geodésicos. Ela representa a diferença entre a fase do sinal recebido do satélite e a fase gerada pelo receptor, ambas registradas no mesmo instante tr (Monico, 2008).



Fonte: Monico (2008).

Essa observável oferece um nível de exatidão muito superior à pseudodistância aproximadamente mil vezes maior, sendo sensível a erros como ambiguidade de fase, interferências atmosféricas e caminhos múltiplos. Sua modelagem é representada pela seguinte equação a seguir:

$$\phi_r^s(t) = f \left(\frac{\rho_r^s - l_r^s + T_R^s + dm_r^s}{c} \right) + f * \left[dt_r(t) - dt^s \right] + [\phi_t^s(t_0) - \phi_r(t_0)] + N_r^s + \varepsilon \phi_r^s$$

Com os seguintes componentes:

c : a velocidade de propagação da luz no vácuo;

ϕ_t^s : é a fase inicial do satélite correspondente na época t_0 ;

ϕ_r : é a fase recebida no receptor relativo na época t_0 ;

N_r^s : é a ambiguidade de fase;

f : é a frequência nominal do sinal;

ρ_r^s : é a distância geométrica entre a antena do satélite e a do receptor;

l_r^s : é o erro devido à refração atmosférica na ionosfera;

T_R^s : é o erro devido à refração atmosférica na troposfera;

dm_r^s : é o erro do multicaminho da fase;

$\varepsilon \phi_r^s$: é o erro da fase da onda portadora.

A fase da onda portadora é essencial para aplicações que demandam alta precisão, e sua correta interpretação depende de um bom modelo de correção dos erros associados.

2.1.3 Erros Associados às Observações GNSS

As observações obtidas por meio dos sistemas GNSS, assim como qualquer medição técnica, estão suscetíveis a diferentes tipos de erros, classificados em aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Conforme explicado por Polezel (2010), os erros sistemáticos têm causas identificáveis, o que permite seu controle ou redução por meio de métodos de processamento e correção. Por outro lado, os erros aleatórios são imprevisíveis e naturais do processo de observação, não sendo elimináveis, embora sua influência possa ser atenuada por abordagens estatísticas. Já os erros grosseiros ocorrem por falhas humanas ou defeitos nos equipamentos utilizados, exigindo sua identificação e correção ou descarte das observações afetadas. Para isso, Marini (2002) destaca a importância de aplicar testes estatísticos específicos com o objetivo de detectar esses erros críticos.

No contexto do posicionamento por GNSS, a determinação da distância entre satélites e receptores pode ser comprometida por diversas fontes de erro. Esses fatores podem estar relacionados tanto ao satélite quanto ao meio de propagação do sinal, ao receptor e antena utilizados, bem como à estação de referência no solo (Monico, 2008).

O desempenho do sistema e a precisão das medições dependem da identificação e tratamento adequado dessas interferências. Técnicas como o uso de algoritmos corretivos, calibração de equipamentos e validações estatísticas são fundamentais para garantir resultados mais confiáveis.

As principais fontes de erro que impactam o posicionamento GNSS estão organizadas na Tabela 1, sendo agrupadas conforme sua origem: erros provenientes dos satélites, erros atmosféricos e de propagação, erros nos equipamentos receptores/antenas e erros relacionados à estação terrestre.

Tabela 1: Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GNSS

Fontes	Erros
Satélite	Erro da Órbita
	Erro do Relógio
	Relatividade
	Atraso nas duas portadoras no hardware do satélite
Propagação do sinal	Refração troposférica
	Refração Ionosférica
	Perdas de Ciclos
	Efeitos de multicaminho
	Rotação da terra
Receptor/Antena	Erro do Relógio
	Erro entre os canais
	Centro de fase da antena
	Fase wind-up
Estação	Erro nas coordenadas
	Multicaminho
	Marés Terrestres
	Movimento do Polo
	Carga Oceânica
	Pressão Atmosférica

Fonte: Monico (2008).

2.1.4 Métodos de Posicionamento pelo GNSS

O posicionamento por GNSS refere-se à determinação das coordenadas de pontos em um sistema geodésico de referência específico, e pode ser realizado de diferentes maneiras, conforme a técnica adotada, a precisão desejada e os equipamentos disponíveis. Segundo Monico (2008) e Polezel (2010), os métodos mais empregados na prática são o posicionamento absoluto, o posicionamento relativo e o Diferencial GPS (DGPS), sendo

possível também aplicar essas abordagens com o objeto de interesse em repouso ou em movimento, com processamento em tempo real ou posterior.

2.1.5 Posicionamento Absoluto e PPP

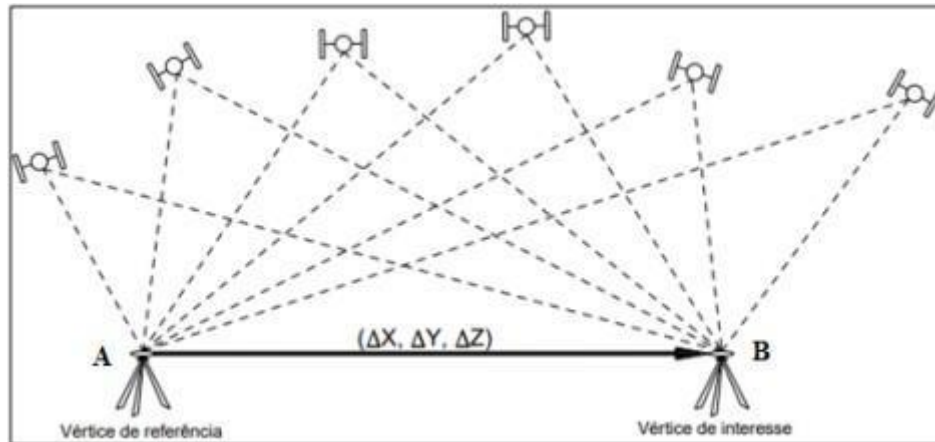
O método absoluto (também chamado de Posicionamento por Ponto – PP) utiliza apenas um receptor GNSS e determina diretamente as coordenadas do ponto em relação ao geocentro, com base nas observações de pseudodistância, geralmente derivadas do código civil C/A na portadora L1. Essa técnica é amplamente utilizada em aplicações de navegação que não requerem alta precisão (Monico, 2008; Seeber, 2003).

Quando há necessidade de maior precisão e o tempo real não é um fator essencial, pode-se utilizar o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), que emprega efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites fornecidas por serviços como o International GNSS Service (IGS). No Brasil, o IBGE disponibiliza um serviço de PPP totalmente online, que permite ao usuário obter coordenadas referenciadas ao SIRGAS 2000 e ao ITRF (IBGE, 2019). O processamento é feito com base em arquivos no formato RINEX ou HATANAKA, sendo necessário informar o tipo de levantamento, modelo da antena e altura do equipamento.

2.1.6 Posicionamento Relativo

O posicionamento relativo é uma técnica mais precisa, ideal para aplicações geodésicas, e requer pelo menos dois receptores GNSS. Um deles deve estar em uma estação com coordenadas conhecidas (denominada base), enquanto os outros ocupam os pontos de interesse (rovers) conforme a figura 3. As coordenadas dos pontos rovers são determinadas em relação à base a partir das componentes diferenciais ΔX , ΔY e ΔZ , obtidas no processamento dos dados dos vetores formados (Monico, 2008; INCRA, 2013).

Figura 3: Posicionamento relativo com o GNSS



Fonte: INCRA (2013).

Essa abordagem permite minimizar erros como os causados pela refração ionosférica e troposférica, tornando-se adequada para atividades que exigem alta precisão, como a implantação de redes geodésicas (IBGE, 2008). O tempo de observação influencia diretamente na qualidade do resultado, e, por isso, o método pode ser subdividido em **relativo estático** (com sessões superiores a 20 minutos) e **estático rápido** (com sessões de até 20 minutos).

2.1.7 Posicionamento Relativo Estático

No método de posicionamento relativo estático, é necessário que tanto os receptores instalados nos vértices de referência quanto aqueles nos vértices de interesse permaneçam imóveis no mínimo 20 minutos durante toda a coleta de dados. Esse tipo de levantamento demanda um período prolongado de rastreamento que cresce conforme a linha da base (distância entre ponto e a referência). É aconselhável seguir os valores fixados no Quadro 2.

Tabela 2: Características técnicas para posicionamento relativo estático

Linha de Base (km)	Tempo Mínimo (minutos)	Observáveis	Solução da Ambiguidade	Efemérides
0 - 10	20	L1 ou L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 - 20	30	L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 - 20	0	L1	Fixa	Transmitidas ou Precisas
20 - 100	120	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas
100 - 500	240	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas
500 - 1000	480	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas

Fonte: INCRA (2013).

2.1.8 Posicionamento Diferencial (DGPS) e RTK (real time kinematic)

O DGPS funciona por meio de uma estação base fixa, que conhece com precisão sua localização. Essa base compara sua posição real com a posição calculada a partir dos sinais GNSS recebidos, identificando os erros presentes nesses sinais. A partir disso, ela transmite correções em tempo real para receptores móveis (chamados de rovers), permitindo que estes obtenham posições com maior acurácia.

Essa técnica é relativamente simples e normalmente opera utilizando apenas a frequência L1 dos satélites. As correções são transmitidas por rádio ou via internet, utilizando protocolos como o NTRIP. O DGPS pode alcançar uma precisão entre 1 e 3 metros, sendo adequado para atividades como navegação, agricultura de precisão básica e levantamentos topográficos menos exigentes.

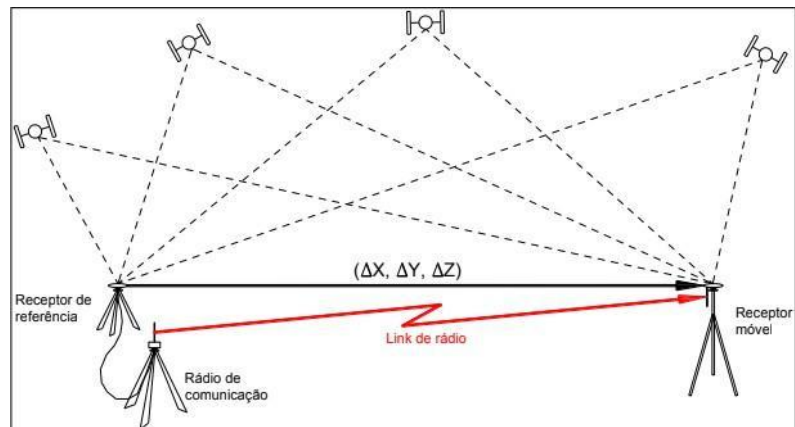
2.1.9 RTK – Cinemática em Tempo Real

O RTK é uma técnica mais precisa, que também utiliza uma estação de referência, mas se baseia na análise da fase da portadora dos sinais GNSS, o que permite um cálculo muito mais detalhado da posição relativa entre base e rover.

Os sistemas RTK operam com múltiplas frequências conforme figura 4 (L1, L2, L5) e

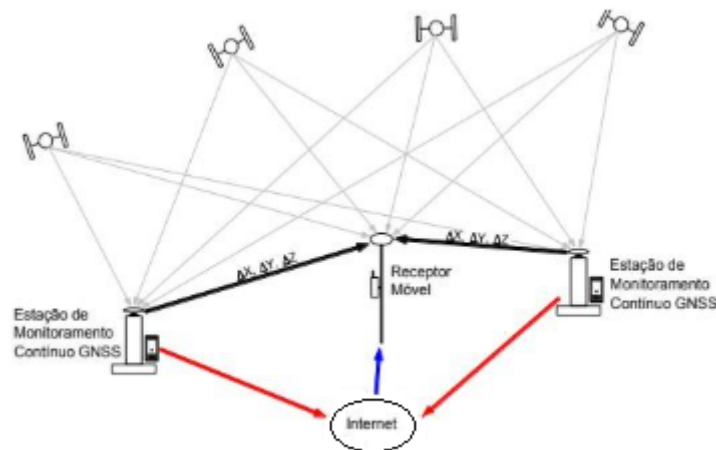
necessitam de uma comunicação constante e de baixa latência entre a base e o receptor móvel, feita por rádio ou internet. A técnica é capaz de atingir precisão centimétrica, em torno de 1 a 3 cm na horizontal e até 5 cm na vertical, sendo ideal para aplicações de alta precisão como levantamentos geodésicos, construção civil, agricultura de precisão avançada e drones.

Figura 4: Posicionamento por GNSS



Fonte: INCRA (2013).

Figura 5: Posicionamento por GNSS



Fonte: INCRA (2013).

Esse método de posicionamento permite determinar múltiplos vetores, conforme a quantidade de estações de referência utilizadas. Dessa forma, torna-se possível realizar o ajustamento das observações, o que contribui para aumentar a precisão e o controle dos resultados.

2.2 Redes Geodésicas

As redes geodésicas representam uma organização de pontos definidos no terreno, cujas coordenadas são determinadas com base em um sistema de referência geodésico. Essas coordenadas podem ser obtidas por meio de medições terrestres — como ângulos e distâncias — ou utilizando tecnologias espaciais, como os sistemas GNSS. De acordo com Larocca (2000) e Klein (2014), essas redes podem ser classificadas de acordo com as dimensões das coordenadas (horizontais ou verticais) e com o modo de operação dos pontos (ativos ou passivos).

A utilização dessas redes é essencial para diversas aplicações em engenharia, como levantamentos topográficos, cadastro territorial, monitoramento de estruturas e projetos de infraestrutura. No Brasil, o IBGE é o órgão responsável por estabelecer e manter o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), que inclui uma rede tridimensional de alta precisão, tendo a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) como principal estrutura, composta por marcos denominados SAT-GPS (IBGE, 2017).

2.2.1 Redes Geodésicas Verticais

As redes verticais são compostas por pontos que possuem unicamente a coordenada altimétrica, que representa a altitude ortométrica (H). Elas são obtidas por meio de nivelamento geométrico e são geralmente materializadas com marcos de concreto ou placas metálicas instaladas em locais estáveis (Freitas e Blitzkow, 1999). Embora possam conter coordenadas planimétricas, estas são obtidas de forma imprecisa, o que as torna menos confiáveis que as redes horizontais (Larocca, 2000).

2.2.2 Redes Geodésicas Horizontais

Já as redes horizontais são compostas por pontos com coordenadas bidimensionais, determinadas em relação a um sistema geodésico de referência baseado em um elipsoide de revolução, definido pelos comprimentos de seus semi-eixos maior (a) e menor (b). As altitudes, quando presentes, são calculadas de forma estimada ou através de modelos de ondulação geoidal (Krakiwski et al., 1986, apud Larocca, 2000).

2.2.3 Redes Passivas

As redes passivas são caracterizadas pelo fato de seus vértices não serem monitorados continuamente. Os pontos só são observados novamente quando se faz necessário utilizá-los. A classificação dessas redes leva em consideração o comprimento dos vetores que ligam os pontos, dividindo-as em quatro ordens:

1ª ordem: vetores iguais ou superiores a 20 km;

2ª ordem: vetores entre 10 km e 20 km;

3ª ordem: vetores de 5 km a 10 km;

4ª ordem: vetores de 1 km a 5 km.

Conforme Resende (2017), a seleção dos pontos que compõem essas redes deve atender a critérios como abrangência espacial planejada, facilidade de conexão entre os pontos, visibilidade entre vértices próximos e possibilidade de medições redundantes.

2.2.4 Redes Ativas

As redes ativas surgiram com o avanço das tecnologias GNSS, possibilitando o rastreamento contínuo dos sinais emitidos por satélites. Nelas, receptores GNSS instalados permanentemente em pontos fixos registram dados ininterruptamente. Essa operação contínua define o caráter ativo da rede. Os dados obtidos variam conforme o objetivo da rede, sendo utilizados para fornecer coordenadas planimétricas, altitudes ou outras informações geodésicas (Bueno, 2005). No Brasil, a RBMC é o exemplo mais representativo de rede ativa.

2.3 Etapas de Implantação de uma Rede Geodésica

Segundo Klein (2014), a construção de uma rede geodésica envolve as seguintes etapas principais:

Planejamento da rede: Etapa inicial que envolve a coleta de informações técnicas e normativas, como as especificações do IBGE (2017) para implantação dos marcos e levantamentos GNSS, além do reconhecimento da área de estudo e análise de estações do SGB próximas. Ferramentas como imagens aéreas e Google Earth são frequentemente utilizadas.

Implantação dos marcos: Consiste na instalação física dos pontos da rede, com a escolha dos tipos de marcos conforme a finalidade do levantamento. Para monitoramento de

estruturas, por exemplo, utilizam-se marcos com centragem forçada. O documento do IBGE (2008) sobre padronização de marcos pode ser consultado para orientar essa etapa.

Coleta de dados: Fase de observações em campo com uso de métodos GNSS. O posicionamento relativo estático é o mais indicado, dada sua alta precisão.

Ajuste das observações: Etapa dedicada à estimativa das coordenadas dos vértices com base nos dados coletados, considerando também as incertezas associadas.

Controle de qualidade: Envolve a análise dos resultados do ajuste para identificar possíveis erros ou inconsistências.

Divulgação dos resultados: Os dados finais da rede, incluindo as coordenadas de cada ponto, são disponibilizados por meio de relatórios, monografias ou outros meios, conforme as necessidades dos usuários.

2.4 Sistema Geodésico Brasileiro

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), conforme definido pelo IBGE (1983) por meio da Resolução PR nº 22 de 21 de julho de 1983, compreende um conjunto de pontos geodésicos fixados fisicamente no território nacional. Esses pontos, em sua maioria, estão representados por marcos de concreto com placas metálicas embutidas no topo (IBGE, 2018).

Com a evolução tecnológica no campo do posicionamento por satélites, o SGB passou a ser classificado em duas fases distintas:

Fase clássica: corresponde à implantação inicial das redes geodésicas, utilizando métodos convencionais de levantamento. Essa etapa caracteriza-se por redes passivas, nas quais é necessário ocupar pelo menos dois marcos para referenciar um novo ponto (Fortes, 2007 apud Rosa, 2017).

Fase moderna: também chamada de fase espacial, refere-se à era das redes ativas, formadas por estações que realizam a coleta contínua de dados GNSS, durante todos os dias do ano (Rosa, 2017).

A partir de 2005, o SGB adotou como referência oficial o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), utilizando os dados da realização do ano 2000, com época 2000.4 (IBGE, 2005). O sistema é composto por três principais redes: altimétrica, gravimétrica e planimétrica, conforme detalhado a seguir.

2.5 Rede Altimétrica

A rede altimétrica do SGB é formada por estações geodésicas que definem a componente vertical do sistema. Tais pontos são estabelecidos por técnicas de nivelamento geométrico e fixados por marcos de concreto ou placas metálicas, denominados Referência de Nível (RN) (Freitas; Blitzkow, 1999). Essa rede tem como referência principal o datum de Imbituba (SC). Entretanto, no caso específico do estado do Amapá, foi necessário adotar um datum distinto — o datum altimétrico de Santana — devido à inviabilidade de atravessar o baixo curso do Rio Amazonas. Por isso, a média do nível do mar no porto de Santana foi utilizada como referência alternativa.

Figura 6: Mapa de Rede Altimétrica

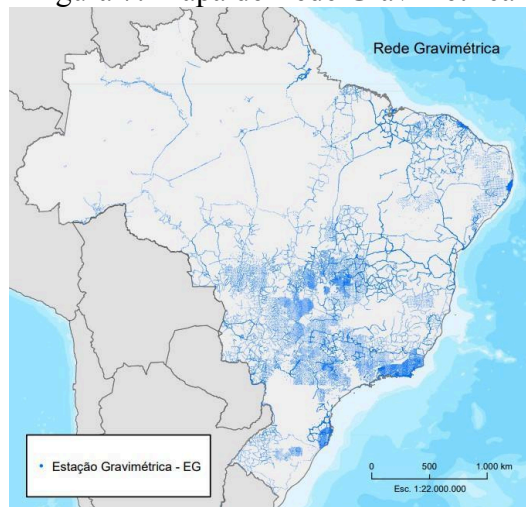


Fonte: IBGE (2020)

2.6 Rede Gravimétrica

A rede gravimétrica é constituída por estações que fornecem dados sobre a aceleração da gravidade em locais específicos, essenciais para definir o modelo geoidal terrestre e para o cálculo preciso de altitudes científicas (como ortométricas e normais) (IBGE, 2018). Conforme Gemael (2002), a análise de dados gravimétricos em conjunto com redes internacionais é crucial para o estudo do geopotencial terrestre.

Figura 7: Mapa de Rede Gravimétrica

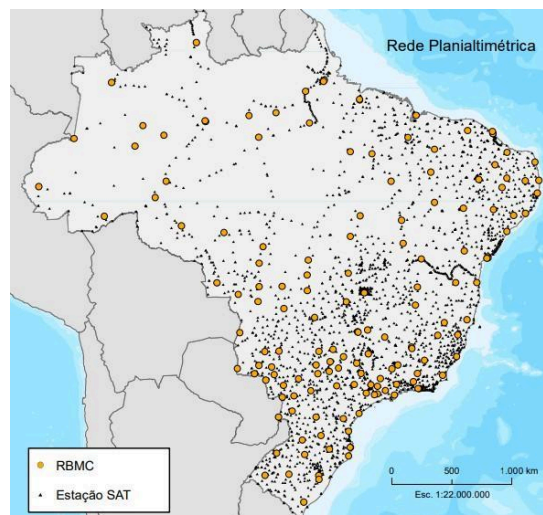


Fonte: IBGE (2020)

2.7 Rede Planimétrica

Esta rede representa os pontos com coordenadas horizontais ou planialtimétricas, sendo composta por diferentes tipos de estações: SAT (que utilizam GNSS ou tecnologia DOPPLER), vértices de triangulação (VT) e estações de poligonal (EP) (IBGE, 2018). Esses pontos oferecem suporte direto a levantamentos geodésicos e topográficos em todo o território brasileiro.

Figura 8: Mapa de Rede Planialtimétrica



Fonte: IBGE (2020).

2.8 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC)

A RBMC é composta por um conjunto de estações fixas, distribuídas por todo o Brasil, equipadas com receptores GNSS de alta precisão que operam continuamente. Essas estações registram sinais de satélites 24 horas por dia, permitindo a obtenção de dados geodésicos precisos, atualizados e confiáveis. Com isso, torna-se possível realizar levantamentos com base em posicionamento relativo, já que essas estações funcionam como referências geodésicas oficiais com coordenadas conhecidas, vinculadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) (IBGE, 2017).

Criada em dezembro de 1996 pelo IBGE, a RBMC é a principal infraestrutura ativa de apoio à geodésia no país. Seu papel é fundamental tanto na manutenção do SGB quanto no suporte a diversos levantamentos que exigem alta precisão. Além disso, ela é amplamente utilizada em aplicações como monitoramento ambiental, obras de engenharia, estudos geofísicos e agricultura de precisão (Fortes et al., 2007 apud Rosa, 2017).

Conforme o IBGE (2017), a RBMC oferece dois principais tipos de serviços:

Pós-processamento: dados diários no formato RINEX 2.0 são disponibilizados gratuitamente no Portal de Geociências do IBGE, junto com efemérides transmitidas, permitindo que usuários processem seus próprios levantamentos com base em dados de referência confiáveis.

Tempo real (RBMC-IP): fornece, via internet, correções instantâneas de posicionamento GNSS por meio de técnicas como RTK e NTRIP, utilizadas em atividades que exigem resultados imediatos, como topografia, obras e monitoramento de estruturas.

Segundo Marini (2002), as estações da rede operam com sinais GNSS de dupla frequência (L1 e L2), o que contribui para a eliminação de erros causados pela ionosfera e aumenta a precisão dos cálculos. Além disso, muitas estações são capazes de rastrear satélites de diferentes sistemas globais, como GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou, o que reforça ainda mais a qualidade dos dados.

Um dos grandes diferenciais da RBMC é o acesso gratuito aos seus dados. Isso permite que profissionais, pesquisadores e instituições tenham acesso a informações de alta qualidade sem custo, promovendo avanços tecnológicos e econômicos em diversas áreas. A rede também insere o Brasil em iniciativas internacionais, como o Serviço Internacional de GNSS (IGS), reforçando seu papel no cenário global da geodésia.

Em síntese, a RBMC representa um dos pilares do posicionamento geoespacial de precisão no Brasil, sendo uma ferramenta indispensável para quem necessita de dados confiáveis e atualizados para aplicações técnicas, científicas ou operacionais.

Figura 9: Mapa RBMC



Fonte: IBGE (2024).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção apresentam-se os procedimentos metodológicos adotados para alcançar os objetivos propostos:

3.1 Área de estudo

O Campus Santa Mônica, situado no bairro de mesmo nome na região leste de Uberlândia, é o maior e mais importante da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Com aproximadamente 290 mil metros quadrados e mais de 22 mil estudantes, o campus abriga a Reitoria, além de diversos setores administrativos e suplementares da instituição. Sua infraestrutura inclui salas de aula, laboratórios, bibliotecas, auditórios, restaurantes universitários e espaços de convivência, oferecendo um ambiente favorável às atividades de

ensino, pesquisa e extensão conforme ilustra a figura 10.

Figura 10: Campus Santa Mônica UFU



Figura 11: Captação de dados da rede geodésica com todos materiais - UFU



Fonte: Autor (2025).

3.3 Planejamento dos pontos e critérios de escolha

A definição dos parâmetros técnicos deste estudo possibilitou a seleção dos pontos destinados à instalação dos marcos que compõem a rede geodésica proposta. Inicialmente, a escolha preliminar dos locais foi realizada utilizando a plataforma Google Earth®, priorizando áreas com baixa interferência no sinal GNSS, reduzido tráfego urbano e com ampla visibilidade do horizonte quanto possível, de modo a minimizar obstáculos que poderiam causar erros de multicaminho. Concluída essa seleção inicial, procedeu-se à visita *in loco* para validar os pontos escolhidos.

O planejamento da disposição dos marcos considerou informações sobre as características do terreno, visando uma organização eficiente da rede em campo bem como, a verificação junto ao setor de obras da UFU da não coincidência da posição dos marcos com as futuras obras previstas. Após a definição da quantidade e da localização dos marcos, analisou-se a geometria da rede, buscando o fechamento adequado de figuras geométricas, etapa fundamental para a pré-análise da estrutura da rede.

Figura 12: Definição da posição de implantação



Fonte: Adaptado do Google Earth (2025).

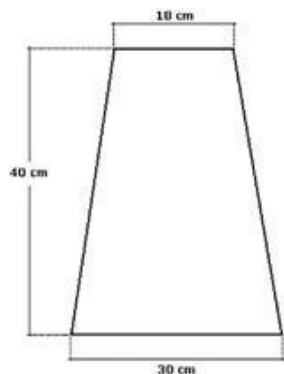
Buscou-se garantir que os marcos implantados estivessem estrategicamente distribuídos, pautando no rastreo completo do campus Santa Mônica proporcionando maior precisão nos levantamentos geodésicos. A maioria dos pontos foram posicionados nas extremidades de forma que sejam visíveis pelo lado de fora do campus para servir de base para levantamento fora do campus Santa Mônica UFU.

3.4 Construção e Implantação dos Marcos Geodésicos

Os marcos utilizados neste trabalho seguem o padrão estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme as diretrizes do documento de “Padronização de Marcos Geodésicos” publicado em 2008. De acordo com essas especificações, os marcos apresentam formato de tronco de pirâmide, com base quadrada de 30 cm de lado, topo quadrado de 18 cm de lado e altura de 40 cm, características ilustradas na Figura 13 e 14. Para a execução dos marcos, foi adotada a proporção de concreto 1:3:3 (cimento, areia e brita) até completar a forma. Além disso, as faces internas da forma utilizada na moldagem foram untadas com óleo queimado para facilitar sua remoção, processo que

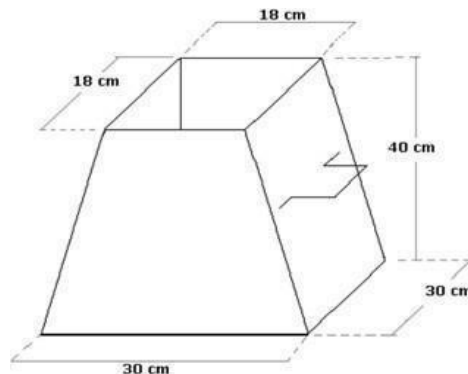
deve ser realizado com o auxílio de um martelo de borracha, evitando danos à estrutura.

Figura 13: Marco geodésico IBGE



Fonte: IBGE (2008).

Figura 14: Marco geodésico IBGE



Fonte: IBGE (2008).

A construção dos marcos foi realizada utilizando duas formas metálicas (Figura 15), fornecidas pelo Laboratório de Topografia da Faculdade de Engenharia Civil da UFU respeitando as dimensões previamente estabelecidas.

Figura 15: Forma metálica



Fonte: Autor (2025)

Figura 16: Formas e concreto

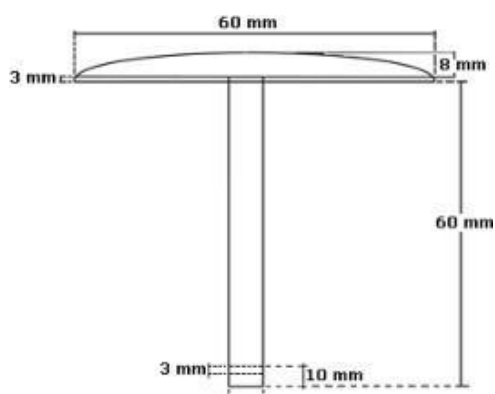


Fonte: Autor (2025)

De acordo com essas orientações do IBGE, os marcos que integrarão a rede devem atender às seguintes especificações: ser confeccionados em concreto, contendo uma chapa metálica fixada em seu topo. A chapa deve apresentar, na parte superior, o nome da estação, seguido de sua identificação e inscrição “Protegido por Lei”.

A fixação da chapa padrão é realizada durante a concretagem sendo cravejada no centro do topo quando o concreto atingir uma consistência adequada para suportar a inserção sem deformações.

Figura 17: Chapa metálica do IBGE



Fonte: IBGE (2008)

Figura 18: Chapa metálica



Fonte: Autor (2025)

Nas figuras 19 até 22 os marcos geodésicos na fase de concretagem.

Figura 19: Marcos em produção



Fonte: IBGE (2008)

Figura 20: Marcos em produção



Fonte: Autor (2025)

Figura 21: Chapa metálica do IBGE



Fonte: Autor (2025)

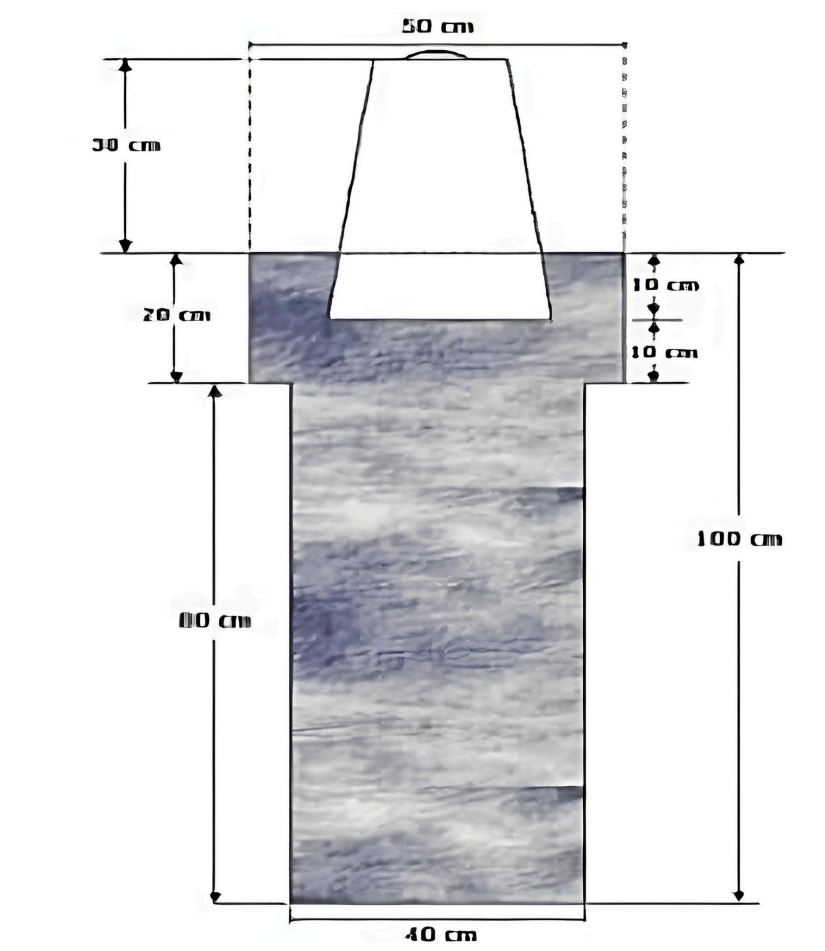
Figura 22: Marcos em produção



Fonte: Autor (2025)

Seguindo o documento de Padronização do IBGE 2008, a implantação dos marcos consiste em realizar uma escavação inicial com dimensões de 50 cm de lado até a profundidade de 20 cm. A partir desse ponto, a escavação deve ser estreitada para 40 cm de lado e aprofundada por mais 80 cm. Em seguida, a massa de concreto de fundação deve ser lançada até restarem 7 cm para o preenchimento total da cava (Figura 23). Após a massa atingir consistência adequada, o marco deve ser firmemente fixado e nivelado, e o preenchimento final da fundação deve ser concluído com o restante da massa.

Figura 23: Implantação do marco geodésico



Fonte: IBGE (2008).

Na Figura 24 observa a escavação realizada conforme as dimensões preconizadas do pelo IBGE, nota -se que em todos os pontos utilizou-se uma armadura metálica para melhor fixação e estabilidade do marco geodésico. Na Figura 25 e 26 a escavação já foi preenchida com concreto onde posteriormente será instalado.

Figura 24: Implantação



Fonte: Autor (2025)

Figura 25: Implantação



Fonte: Autor (2025)

Figura 26: Implantação



Fonte: Autor (2025)

3.5 Procedimentos de levantamento GNSS

Foram utilizados 2 receptores de dupla frequência da marca Navin, modelo Polaris S100 devidamente posicionados nos vértices de interesse e estabilizados por um bipé e nivelados por meio de nível de bolha fixados nos bastões conforme observa-se nas Figuras 27,28 e 29. Foi realizado o levantamento dos dados em um dia específico, com ocupação de no mínimo 30 minutos em cada um dos pontos. O objetivo da coleta de dados inicial é fazer a análise dos dados obtidos e posteriormente fazer novos rastreios com tempos maiores.

Figura 27: Levantamento 1



Fonte: Autor (2025)

Figura 28: Levantamento 2



Fonte: Autor (2025)

Figura 29: Levantamento3

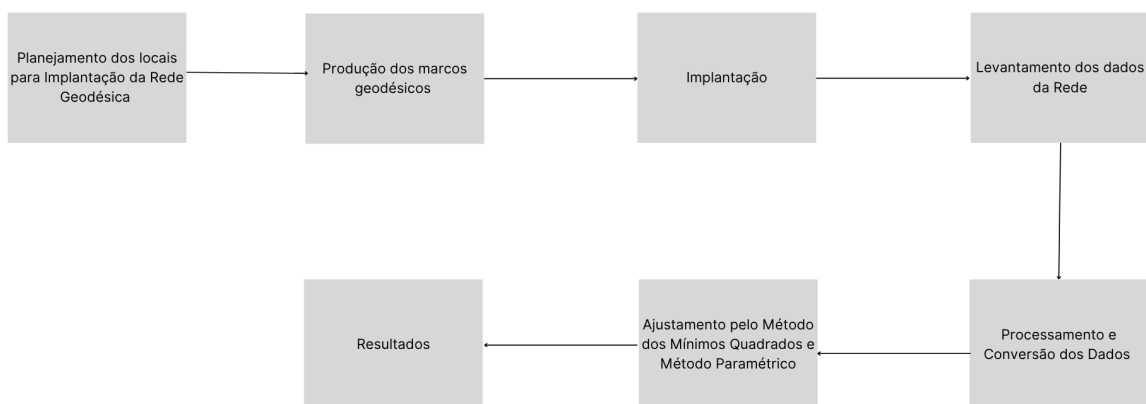


Fonte: Autor (2025)

3.6 Análise e Ajustamento de Dados

Os dados foram processados pelo método paramétrico e o ajustamento foi processado em parceria com a Universidade Federal de Uberlândia Campus Monte Carmelo.

Figura 30 Fluxograma da Implantação da Rede Geodésica



Fonte: Autor (2025)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Pontos Implantados

Os marcos geodésicos foram implantados conforme Figuras 31-36, foram posicionados nivelados e cimentados nas bases pré moldadas (Figura 24 e 25). O acabamento foi feito com massa de cimento para corrigir as imperfeições e posteriormente receber a pintura específica.

Figura 31: Ponto 1



Fonte: Autor (2025)

Figura 32: Ponto 2



Fonte: Autor (2025)

Figura 33: Ponto 3



Fonte: Autor (2025)

Figura 34: Ponto 4



Fonte: Autor (2025)

Figura 35: Ponto 5



Fonte: Autor (2025)

Figura 36: Ponto 6



Fonte: Autor (2025)

4.2 Processamento dos Dados com a base MGUB

Foram processados os dados de diferentes bases, todos com tempo de rastreamento de 30 minutos e os resultados comparando umas com as outras serão mostrados a seguir no texto. É importante salientar que em todos os processamentos realizados foram utilizadas as efemérides precisas, que são arquivos de correção de órbita dos satélites e de relógio. Estes arquivos são carregados no software de processamento para realizar as correções citadas. Após o processamento é aplicado o ajustamento dos dados pelo método dos mínimos quadrados e pelo método paramétrico.

O primeiro processamento foi realizado utilizando-se uma única estação da RBMC em Uberlândia, situada no Campus Santa Mônica, denominada MGUB, que está situada a menos de 700 m do ponto mais distante.

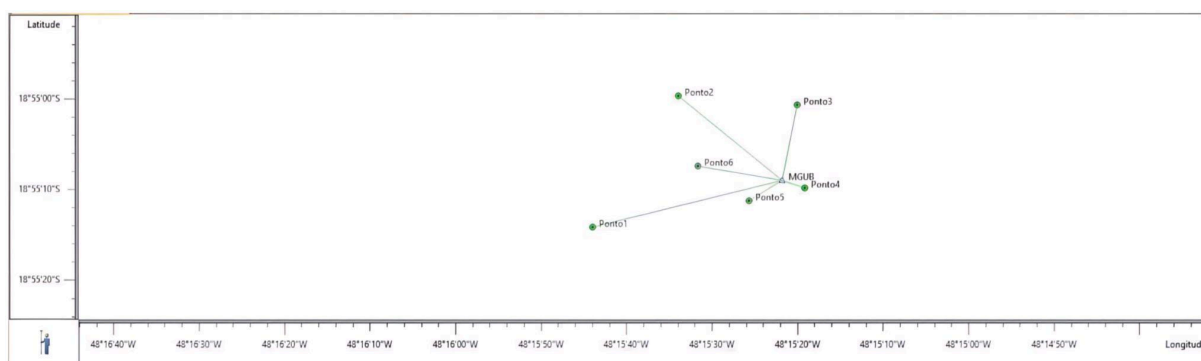
Tabela 3: Coordenadas e desvios com Base MGUB

Nome	Latitude	Desvio Padrão Lat. (m)	Longitude	Desvio Padrão Long.(m)	Altitude Geométrica (m)	Desvio Padrão Alt. G. (m)
Ponto 1	18°55'14,09779"S	0,001	48°15'43,99437"W	0,001	848,456	0,003
Ponto 2	18°54'59,63863"S	0,001	48°15'33,98493"W	0,001	844,52	0,003
Ponto 3	18°55'00,69070"S	0,004	48°15'20,08815"W	0,006	859,551	0,009
Ponto 4	18°55'09,84054"S	0,001	48°15'19,15094"W	0,001	865,609	0,006
Ponto 5	18°55'11,25341"S	0,007	48°15'25,66215"W	0,004	862,308	0,018
Ponto 6	18°55'07,37344"S	0,002	48°15'31,68400"W	0,002	855,414	0,006
MGUB	18°55'08,98803"S	0,001	48°15'21,77767"W	0,001	868,155	0,004

Fonte: Autor (2025)

O resultado do processamento com a base MGUB, observa-se para a coordenadas latitude os desvios ficaram entre 1 e 7 mm e na longitude os valores foram melhores, entre 1 e 6 mm de desvio. Na coordenada altitude geométrica o desvio padrão mínimo foi de 3 mm e o máximo de 1,8 cm para o ponto 5. Observa-se na Figura 37 que todos os vetores linha de base tiveram solução fixa das ambiguidades.

Figura 37: Vetores do processamento com Base MGUB



Fonte: Autor (2025)

4.3 Processamento dos Dados com as Bases SPFE MGUB MGMT

Neste processamento, utilizou-se, além da Base MGUB, mais duas outras bases, a SPFE e a MGMT. SPFE localizada em Fernandópolis (SP) e MGMT em Monte Carmelo (MG), com os comprimentos dos vetores linhas de base de 258 km e 85 km, respectivamente.

Tabela 4: Coordenadas e desvios com as Bases SPFE MGUB MGMT

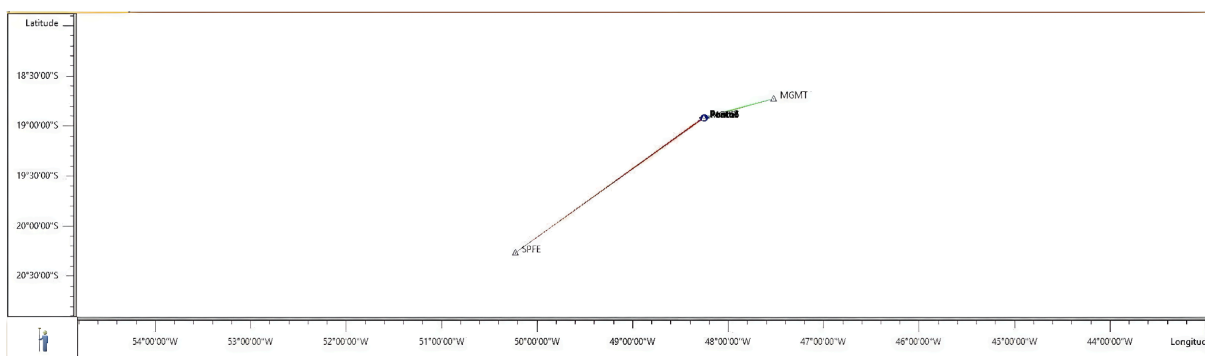
Nome	Latitude	Desvio Padrão Lat. (m)	Longitude	Desvio Padrão Long.(m)	Altitude Geométrica (m)	Desvio Padrão Alt. G. (m)
Ponto1	18°55'14,09779"S	0,005	48°15'43,99437"W	0,006	848,456	0,016
Ponto 2	18°54'59,63862"S	0,005	48°15'33,98494"W	0,006	844,519	0,015
Ponto 3	18°55'00,69070"S	0,016	48°15'20,08822"W	0,026	859,556	0,038
Ponto 4	18°55'09,84054"S	0,007	48°15'19,15094"W	0,007	865,609	0,027
Ponto 5	18°55'11,25341"S	0,032	48°15'25,66215"W	0,017	862,308	0,079
Ponto 6	18°55'07,37347"S	0,012	48°15'31,68396"W	0,01	855,417	0,027
MGUB	18°55'09,00207"S	0,001	48°15'21,78740"W	0,001	868,155	0,004
MGMT	18°43'26,77271"S	0,001	47°31'25,66202"W	0,001	912,469	0,003
SPFE	20°15'46,35079"S	0,002	50°13'43,30270"W	0,002	496,128	0,01

Fonte: Autor (2025)

No resultado dos pontos observa-se que os maiores desvios na latitude foram de 1,2 cm 1,6 cm e 3,2 cm para os pontos 6, 3 e 5, respectivamente. Ainda para a latitude, observa-se que o desvio padrão mais baixo foi de 5 mm para os pontos 1 e 2. Já para a coordenada longitude o maior desvio padrão foi de 2,6 cm e o menor de 6 mm. A altitude geométrica o maior desvio foi o ponto 5 com 7,9 cm.

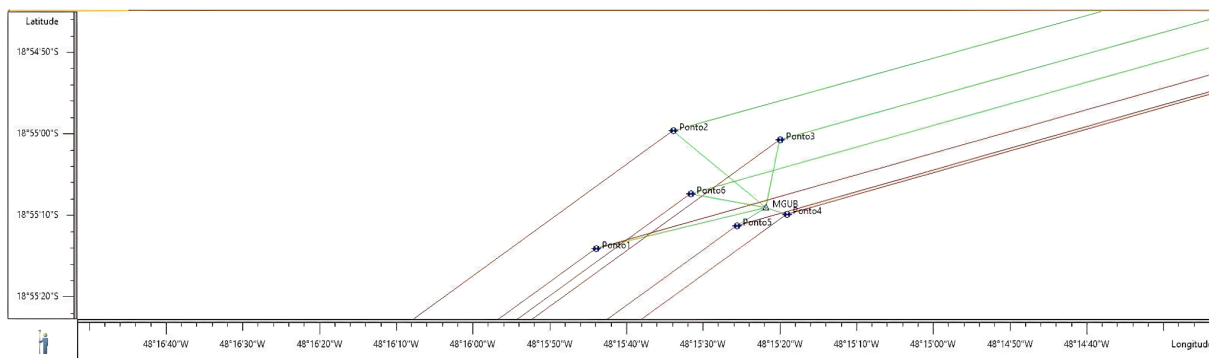
Nesse processamento para a base MGUB todos os vetores linha de base tiveram solução fixa das ambiguidades, para a base MGMT os vetores linhas de base dos pontos 1, 4 e 5 tiveram solução flutuante e os pontos 2, 3 e 6 a solução foi fixa. Para a base MBFE todos os vetores ficaram flutuantes (Figura 38 e 39). Os pontos com os maiores desvios foram 3 e 5.

Figura 38: Vetores do processamento com as Bases SPFE MGUB MGMT



Fonte: Autor (2025)

Figura 39: Vetores do processamento com as Bases SPFE MGUB MGMT



Fonte: Autor (2025)

4.4 Processamento dos Dados com as Bases SPFE SPFR MGUB MGMT

Neste processamento, utilizou-se a Base MGUB e mais três outras bases, a SPFE, SPFR e MGMT. A Base SPFR é localizada em Franca (SP), os comprimentos dos vetores linhas de base de 258 km (SPFE), 85 km (MGMT) e 200 km (SPFR), respectivamente.

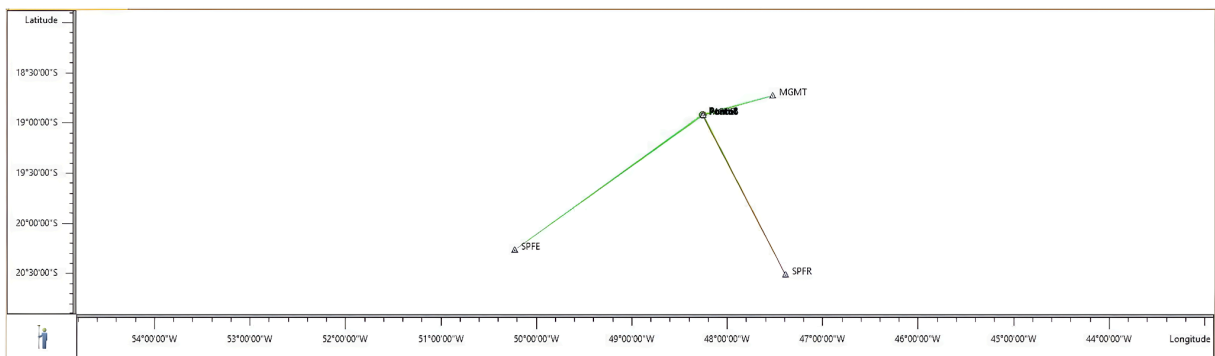
Tabela 5: Coordenadas e desvios com as Bases SPFE SPFR MGUB MGMT

Nome	Latitude	Desvio Padrão Lat. (m)	Longitude	Desvio Padrão Long.(m)	Altitude Geométrica (m)	Desvio Padrão Alt. G. (m)
Ponto 1	18°55'14,09779"S	0,006	48°15'43,99437"W	0,006	848,456	0,018
Ponto 2	18°54'59,63861"S	0,006	48°15'33,98493"W	0,007	844,518	0,017
Ponto 3	18°55'00,69068"S	0,018	48°15'20,08827"W	0,029	859,556	0,043
Ponto 4	18°55'09,84054"S	0,008	48°15'19,15094"W	0,008	865,609	0,03
Ponto 5	18°55'11,25341"S	0,036	48°15'25,66215"W	0,02	862,308	0,09
Ponto 6	18°55'07,37352"S	0,013	48°15'31,68397"W	0,012	855,42	0,031
MGUB	18°55'09,00207"S	0,001	48°15'21,78740"W	0,001	868,155	0,004
MGMT	18°43'26,77271"S	0,001	47°31'25,66202"W	0,001	912,469	0,003
SPFR	20°30'38,06463"S	0,001	47°23'11,91050"W	0,001	1030,987	0,007
SPFE	20°15'46,38848"S	0,002	50°13'43,35625"W	0,002	495,43	0,01

Fonte: Autor (2025)

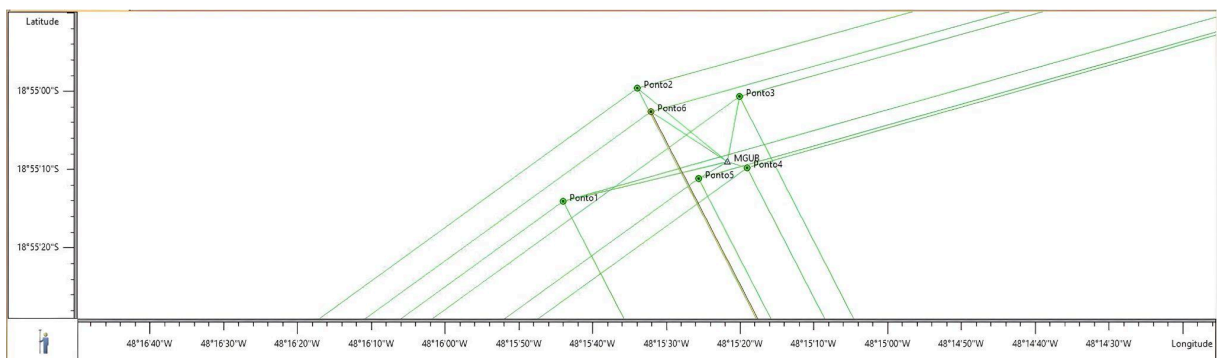
Observa-se que o ponto 5 obteve o maior desvio padrão da latitude com 3,6 mm e a menor 0,6 mm para os pontos 1 e 2. Já para a longitude o maior valor de desvio foi de 2,9 mm no ponto 3 e o menor foi de 0,6mm no ponto 1. A altitude geométrica do ponto 5 teve o maior desvio com 9,0 cm. Nesse processamento utilizou as bases UB, MT, FE e FR. Todos os vetores de linha de base obtiveram solução fixa para todas as bases desse processamento, com exceção do ponto 6 em relação à base de Franca que obteve uma solução flutuante (Figura 40 e 41).

Figura 40: Vetores do processamento com as Bases SPFE SPFR MGUB MGMT



Fonte: Autor (2025)

Figura 41: Vetores do processamento com as Bases SPFE SPFR MGUB MGMT



Fonte: Autor (2025)

4.5 Processamento dos Dados com as bases MGUB MGMT ajustado

Neste processamento, utilizou-se a Base MGUB e a MGMT, com os comprimentos dos vetores linhas de base de até 700 m para a MGUB e 85 km para a MGMT.

Na Figura 44 observa que o ponto 5 obteve o maior desvio padrão na latitude com

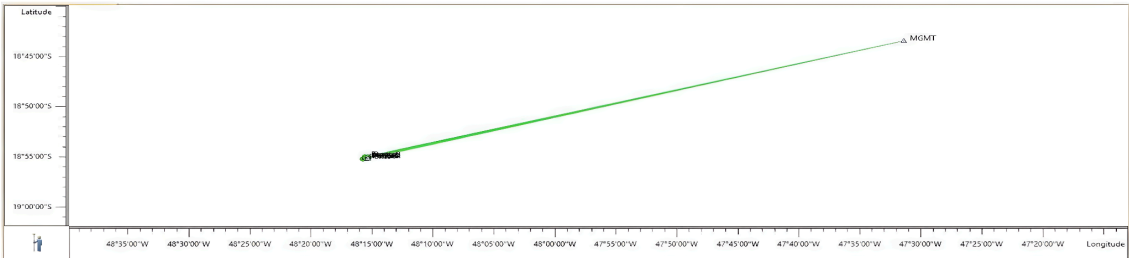
14,2 cm e a menor 1,3 cm para o ponto 2. Já a longitude o maior valor de desvio foi de 11,8 cm no ponto 5 e o menor foi de 1,6 cm no ponto 2. A altitude geométrica do ponto 5 teve o maior desvio padrão com 29,4 cm seguido pelo ponto 4 com 25,5 cm. Nesse processamento utilizou 2 bases UB, MT. Todos os vetores obtiveram solução fixa para as 2 bases.

Tabela 6: Coordenadas e desvios com as Bases MGUB MGMT

Nome	Latitude	Desvio Padrão Lat. (m)	Longitude	Desvio Padrão Long. (m)	Altitude Geométrica (m)	Desvio Padrão Alt. G. (m)
Ponto 1	18°55'14,09779"S	0,055	48°15'43,99437"W	0,047	848,456	0,169
Ponto 2	18°54'59,63863"S	0,013	48°15'33,98493"W	0,016	844,52	0,042
Ponto 3	18°55'00,69070"S	0,027	48°15'20,08815"W	0,031	859,551	0,062
Ponto 4	18°55'09,84054"S	0,064	48°15'19,15094"W	0,083	865,609	0,285
Ponto 5	18°55'11,25341"S	0,142	48°15'25,66215"W	0,118	862,308	0,294
Ponto 6	18°55'07,37344"S	0,046	48°15'31,68400"W	0,027	855,414	0,081
MGUB	18°55'09,00207"S	0,001	48°15'21,78740"W	0,001	868,155	0,004
MGMT	18°43'26,77271"S	0,001	47°31'25,66202"W	0,001	912,469	0,003

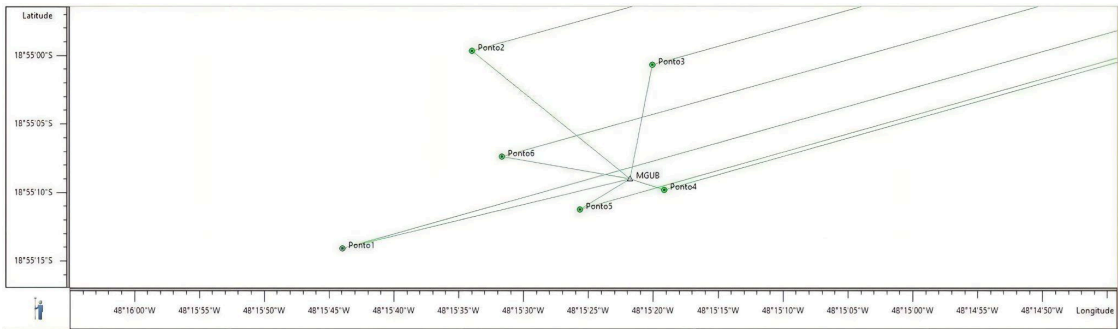
Fonte: Autor (2025)

Figura 42: Vetores do processamento com as Bases MGUB MGMT



Fonte: Autor (2025)

Figura 43: Vetores do processamento com as Bases MGUB MGMT



Fonte: Autor (2025)

4.6 Discussão

Dentre os processamentos, o melhor resultado obtido foi aquele que apresentou os menores erros nas coordenadas, neste caso o Processamento com apenas a base MGUB, sendo os erros todos na ordem milimétrica, menos a coordenada vertical do Ponto 5 com um erro de 1,8 cm. Nos demais processamentos, onde buscou-se testar algumas configurações de processamento com diferentes Bases da RBMC, escolheu-se as mais próximas possíveis, e em todas as configurações aplicou-se o ajustamento de observações.

Os resultados dos processamentos com mais de uma base, apresentaram erros maiores que o realizado com uma base curta, a MGUB. Ainda, observa-se um resultado contraditório com a teoria, o processamento do item 4.5 obteve solução fixa para todos os vetores linha de base, mesmo assim, os erros ficaram em sua maioria na casa do centímetro. Essa situação pode ser explicada pelo fato do tempo de rastreo dos pontos não serem suficientes para gerar uma solução fixa das ambiguidades para bases muito distantes da área de estudo, assim, sempre que se processa os dados com uma base longa, as precisões ficam prejudicadas.

O ponto 5 apresentou em geral altos desvios, configurando-se um ponto destaque para futuros levantamentos com maior tempo de rastreo, uma vez que obteve os piores resultados nos processamentos com diferentes configurações de estações Base.

5 CONCLUSÃO

A implantação da rede geodésica foi executada com êxito, com base nas etapas descritas. Conclui-se que todas foram integralmente realizadas, proporcionando uma compreensão aprofundada sobre redes geodésicas, seu planejamento e métodos de ajuste.

A materialização dos marcos seguiu os padrões estabelecidos pelo IBGE, incluindo a construção e implantação conforme as exigências técnicas. As coordenadas dos marcos foram obtidas por meio do processamento GNSS.

Apesar da ausência de homologação oficial pelo IBGE, a rede foi processada e ajustada adequadamente. O método paramétrico demonstrou ser o mais preciso, com desvios padrão das coordenadas planas mantendo-se na ordem dos milímetros, superando outros métodos em termos de precisão.

A rede geodésica implantada constitui um legado técnico para a universidade, podendo ser utilizada em atividades acadêmicas que exigem marcos geodésicos com coordenadas conhecidas. Isso inclui aulas práticas de diferentes disciplinas e cursos, bem

como monografias que utilizarão as informações de cada marco da rede. De modo abrangente a rede beneficiará o ensino, pesquisa e extensão. Trata-se de uma iniciativa alinhada ao plano diretor da instituição e que promove o uso de tecnologia de ponta no ambiente universitário.

Conforme o plano diretor que prevê a expansão do campus, a rede geodésica está disponível para apoiar futuras obras de engenharia, contribuindo para o desenvolvimento da UFU.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, replicar em outros campi da instituição, ampliando os resultados obtidos com o modelo aplicado à infraestrutura universitária.

Sugere-se repetir o rastreamento dos pontos para homologar a rede geodésica no IBGE de acordo com o tempo mínimo necessário e comparar as coordenadas obtidas e identificar possíveis inconsistências no ajustamento dos dados.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14.166: Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.
- BLITZKOW, D.; FREITAS, S. R. C. **Altitudes e Geopotencial**. IGeS Bulletin – International Geoid Service, Milain, n. 9, p. 47-62, jun. 1999
- BUENO, R. **Redes Ativas de GPS**. Mundo Geo, 2005. Disponível em: <https://mundogeo.com/blog/2005/09/27/redes-ativas-de-gps/>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**, Rio de Janeiro, 2017.
- IBGE. Resolução PR N o 22: **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro** – 21 de julho de 1983
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Padronização de Marcos Geodésicos** – agosto de 2008
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**, 2008.
- INCRA. **Instituto Nacional De Colonização E Reforma Agrária. Manual Técnico de Posicionamento**. 1. Ed. Brasil, 2013.
- KLEIN, I. **Controle de Qualidade no Ajustamento de Observações Geodésicas**. 2011. 322p.
- Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- KLEIN, I. **Proposta de um Novo Método para o Planejamento de Redes Geodésicas**. 2014. 148p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- LAROCCA A. P. C. **Análise de Estratégias para Processamento de Redes Geodésicas com o Sistema de Posicionamento Global - GPS**. 2000. 230p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CAMARGO, P. O. **Ajustamento de Observações**. Presidente Prudente: UNESP, 2000. 222p.

LUZ, S. J. V. **Implantação de uma rede geodésica com GNSS no campus Araras da UFU de Monte Carmelo**. 2019. 63p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2019.

MARINI, M. C. **Integração da Rede GPS ITESP ao Sistema Geodésico Brasileiro**. 2002. 119p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2002.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2008, 473.

POLEZEL, W. G. C.; DALBELO, L. F. A.; MONICO, J. F. C.; CAMARGO, P. O.; ISHIKAWA, M. I.; RAMOS, V. M. A.; MOKOTI, G. M.; TAVARES, R. P. **Rede GNSS Ativa Do Estado De São Paulo: Implantação E Funcionalidades**. In: Simpósio Brasileiro de Geomática, 2, Presidente Prudente, Anais. São Paulo: UNESP. 2007. P456-460.

POLEZEL, W. G. C. **Investigações Sobre o Impacto da Modernização do GNSS no Posicionamento**. 2010. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2010.

REZENDE, G. C. **Densificação da rede geodésica horizontal no município de monte carmelô – MG**. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2017.

ROCHA, S. R.; WESCHENFELDER, J. **Delimitação de terreno de marinha, estudo de caso do litoral do RGS**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 67, p. 1723–1731, 2015.

ROSA, R. S. **Implantação de uma rede geodésica horizontal no município de monte carmelô – MG**. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2017.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin, New York: Walter Gruyter, 2003, 612p.