

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
MESTRADO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

IDOMAR AUGUSTO CERUTTI

DISSERTAÇÃO
“PRECISÃO E ACURÁCIA PLANIMÉTRICA DO RECEPTOR GPS GSTAR GS-
87: APLICABILIDADE EM TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO EMBARCADA
PARA SISTEMAS AGRÍCOLAS”

PONTA GROSSA
2012

IDOMAR AUGUSTO CERUTTI

DISSERTAÇÃO
“PRECISÃO E ACURÁCIA PLANIMÉTRICA DO RECEPTOR GPS
GSTAR GS-87: APLICABILIDADE EM TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO
EMBARCADA PARA SISTEMAS AGRÍCOLAS”

Dissertação apresentada ao curso
de Mestrado em Computação Aplicada
da Universidade Estadual de Ponta
Grossa, como requisito para obtenção do
título de Mestre.

Orientação: Prof.^a Dr.^a Selma
Regina Aranha Ribeiro

Coorientação: Prof. Dr. Ariangelo
Hauer Dias

PONTA GROSSA
2012

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor Tratamento da Informação Bicen / UEPG

C418p Cerutti, Idomar Augusto
Precisão e acurácia planimétrica do receptor Gstar GS-87 :
aplicabilidade em tecnologia de informação embarcada para sistemas
agrícolas / Idomar Augusto Cerutti. Ponta Grossa, 2012.
88 f.

Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada), Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro.
Coorientador: Prof. Dr. Ariangelo Hauer Dias.

1. GPS. 2. Robótica. 3. Software livre. 4. Agricultura de precisão. 5.
Agrobot. I. Ribeiro, Selma Regina Aranha. II. Dias, Ariangelo Hauer. III.
Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Computação
Aplicada. IV. T.

CDD: 006.3

TERMO DE APROVAÇÃO

IDOMAR AUGUSTO CERUTTI

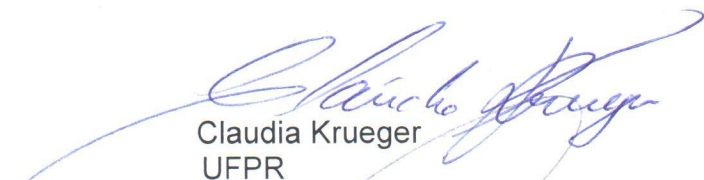
"PRECISÃO E ACURÁCIA PLANIMÉTRICA DO RECEPTOR GPS GSTAR GS-87: APLICABILIDADE EM TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO EMBARCADA PARA SISTEMAS AGRÍCOLAS."

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora.

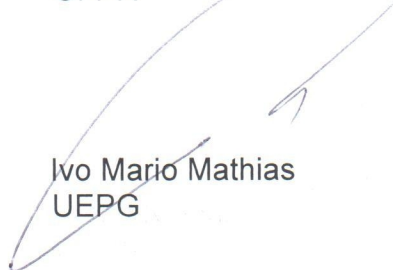
Orientador:



Selma Regina Aranha Ribeiro
UEPG



Claudia Krueger
UFPR



Ivo Mario Mathias
UEPG

Ponta Grossa, 23 de Julho de 2012.

AGRADECIMENTOS

A Prof.^a Dr.^a Selma Regina Aranha Ribeiro, pelas orientações, correções e principalmente pela paciência em tentar me explicar conceitos simples para profissionais da geociência, mas que eram complicados para minha mente informática.

Ao Prof. Dr. Ariangelo Hauer Dias, pelo auxílio na definição do problema a ser pesquisado.

A meu pai (*in memorium*) Alcides Cerutti, por sua frase no leito de morte para minha mãe Lourdes Cerutti "Dê estudo para nossos filhos, é a única coisa que ninguém pode roubar deles".

A minha mãe Lourdes Maraschin Cerutti, que com todas as dificuldades da vida, cumpriu a promessa e proporcionou oportunidade de estudo para os seus cinco filhos.

A minha esposa Prof.^a PhD Diolete Marcante Lati Cerutti, pela paciência nos momentos em que eu estava realizando a pesquisa e ausente de casa e, principalmente, pelo auxílio nas correções.

A meu filho Bruno Augusto Cerutti, pela compreensão da minha ausência de casa e também pelo auxílio nas coletas de dados realizadas.

A Prof.^a Dr.^a Claudia Krueger pelas orientações e correções durante a realização desta pesquisa.

A Eng.^a Cartográfica Msc. Suelen Huinca, pela paciência e ajuda durante a definição da metodologia desta pesquisa, colaborando para a realização desta.

Ao Prof. Dr. Ivo Mario Mathias pelas correções e orientações.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela oportunidade de realizar o mestrado.

A todos os colegas do mestrado que, direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão desta pesquisa.

A Deus, pela oportunidade que Ele propiciou em minha vida, permitindo que eu estudasse toda minha vida estudantil em instituições públicas.

RESUMO

O uso de informações georreferenciadas na agricultura de precisão tem crescido muito na última década. Além disso, o decréscimo do custo dos equipamentos de recepção GPS tem tornado possível o seu uso por produtores agrícolas que estavam distantes de tal tecnologia. Esta pesquisa objetiva avaliar a precisão e acurácia de receptor GPS modelo Gstar GS-87, para compreender sua aplicabilidade em sistemas de informação embarcado com sistema agrícolas. A pesquisa é parte do projeto Agrobot, que está sendo desenvolvido no Laboratório de Automação e Controle da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Foi utilizado computador embarcado Friendly ARM modelo Mini6410, com sistema operacional Linux versão 2.6.38. Foram realizados três levantamentos absolutos estáticos nos marcos geodésicos Castro (96005), UEPG Campus (91643) e UFPR Pilar 1000, bem como diversos levantamentos absolutos cinemáticos para comparar as coordenadas coletadas pelo receptor GPS Gstar GS-87, com os dados coletados pelo receptor GPS geodésico Leica GX-1230. Como resultado da pesquisa, em levantamentos absolutos estáticos, pode-se afirmar que o receptor apresenta acurácia bidimensional de $\pm 8,19$ m, com desvio padrão de 11,43 m e precisão bidimensional $\pm 13,78$ m com desvio padrão de 14,26 m. Em levantamentos absolutos cinemáticos o receptor tem uma precisão de $\pm 3,70$ m, com desvio padrão de 1,88 m. Também se observou uma diferença de tempo de 15 seg entre os dados coletados por ambos os receptores. Ainda foi observado que o receptor GPS Gstar GS-87 registrava adequadamente alterações de coordenadas quando estava em deslocamento com velocidade igual ou superior a 9 km/h. É possível afirmar que o receptor GPS Gstar GS-87 pode ser utilizado em sistemas de informação embarcado, onde a necessidade de precisão e acurácia sejam compatíveis com os dados apresentados nesta pesquisa.

Palavras chaves: GPS de baixo custo. Robótica. Software livre. Hardware livre. Levantamento absoluto estático. Levantamento absoluto cinemático. Agrobot.

ABSTRACT

The use of geo-referenced information in precision farming has increased greatly in the last decade. Furthermore, the decrease in the cost of GPS reception equipment has made possible their use by people who did not previously have access to this technology. This research aims to evaluate the precision and accuracy of the GPS receptor model Gstar GS-87, to understand its applicability for information systems embedded in agricultural systems. This research is part of the Agrobot project, which is being developed at the Laboratory of Automation and Control, State University of Ponta Grossa. An embedded computer Friendly ARM, model Mini6410 was used, with operating system Linux version 2.6.38. Static absolute surveys were conducted at three geodesic marks: Castro (96005), UEPG Campus (91643) and Pilar UFPR 1000. Several kinematic surveys were also carried out to compare the GPS coordinates collected by GPS receptor Gstar GS-87, with data collected by Geodetic GPS receptor Leica GX-1230. The static surveys from this research show that the GS-87 demonstrated a dimensional accuracy of ± 8.19 m, with standard deviation of 11.43 m, and bi-dimensional accuracy ± 13.78 m with a standard deviation of 14.26 m. In relation to kinematic surveying the receiver had an accuracy of ± 3.70 m with a standard deviation of 1.88 m. A time difference of 15 sec between the data collected for both receptors was observed. Also was observed that the GPS receptor Gstar GS-87 recorded changes of coordinates properly when it was on the move with a speed equal to or greater than 9 km/h. It can be argued that the GPS receiver Gstar GS-87 can be used in an embedded information system, where the need for precision and accuracy are consistent with the data presented in this study.

Keywords: GPS low cost. Robotic. Free *software*. Free Hardware. Absolut static survey. Absolut kinematic survey.

LISTA DE ABREVIATURAS

ARM	<i>Advanced Risk Machine</i>
CISC	<i>Complex Instruction Set Computer</i>
DGPS	<i>Digital Global Positioning System</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
GNNS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
LAGEH	Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia
LCL	<i>Lazarus Component Library</i>
MMU	<i>Memory Management Unit</i>
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
PDOP	<i>Posicional Dilution of Precision</i>
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
PRN	<i>Pseudo Random Noise</i>
RAD	<i>Rapid Application Development</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RISC	<i>Reduced Instructions Set Computer</i>
RCTM	<i>Radio Technical Committee for Maritime Service</i>
SPS	<i>Standard Positioning Service</i>
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
VCL	<i>Visual Component Library</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System, 1984</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precisão das medidas	28
Figura 2 - Função de Gauss	28
Figura 3 - Acurácia ou exatidão das medidas	29
Figura 4 - Fotografia da placa principal do computador embarcado Friendly ARM Mini 6410	31
Figura 5 - Receptor GPS Gstar GS-87	32
Figura 6 - Receptor GPS Gstar GS-87	33
Figura 7 - Receptor GPS Leica GX-1230	35
Figura 8 - Receptor GPS Gstar GS-87 sobre o marco número 96005, Castro - PR	37
Figura 9 - Localização do marco UFPR Pilar 1000.	39
Figura 10 - Área de estudo talhão de plantio da fazenda escola da UEPG	41
Figura 11 - Área de estudo fundos do LAGEH da UFPR	42
Figura 12 - Área de estudo, ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR	43
Figura 13 - Área de estudo Rua Octacília Hasselmann de Oliveira, Ponta Grossa-PR	44
Figura 14 - Levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, durante congestionamento	50
Figura 15 - Dispositivo completo, composto de conjunto de baterias (1), Friendly ARM (2), receptor GPS Gstar GS-87(3) e antena de recepção(4)	51
Figura 16 - Obstruções (árvores) nas proximidades do marco geodésico UEPG Campus (91643)	57
Figura 17 - Pontos coletados na fazenda escola da UEPG, durante levantamento absoluto cinemático realizado a pé com velocidade entre 3 e 5 km/h	63
Figura 18 - Pontos coletados na fazenda escola da UEPG, durante levantamento absoluto cinemático realizado com veículo, velocidade entre 9 e 16 km/h	64

- Figura 19 - Pontos coletados no contorno sul da BR-116 (Linha Verde), no momento do congestionamento enfrentado durante o levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR 66
- Figura 20 - Pontos coletados no contorno sul da BR-116, durante levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, indicação de diferença de 15 seg na coleta dos dados pelo receptor GPS Gstar GS-87 71
- Figura 21 - Pontos coletados durante levantamento cinemático, realizado na Rua Octacília Hasselman de Oliveira, com velocidade acima de 9 km/h 75
- Figura 22 - Pontos coletados durante levantamento cinemático, realizado na Rua Octacília Hasselman de Oliveira, com velocidade abaixo de 9 km/h 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento estático realizado no marco de número 96005	46
Tabela 2 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento absoluto cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR	47
Tabela 3 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento absoluto cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, considerando o erro em latitude	48
Tabela 4 - Exemplo de coleta realizada com velocidade entre 3 km/h e 9 km/h	49
Tabela 5 – Coordenadas coletadas no marco geodésico Castro (96005)	53
Tabela 6 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico Castro (96005)	54
Tabela 7 – Coordenadas coletadas no marco geodésico UEPG Campus (91643)	55
Tabela 8 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico UEPG Campus (91643)	56
Tabela 9 – Coordenadas coletadas no marco geodésico UFPR Pilar 1000	58
Tabela 10 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico UFPR Pilar 1000	59
Tabela 11 - Dados finais dos nove levantamentos estáticos realizados nos marcos geodésicos, com indicação de cada campanha	60
Tabela 12 - Média aritmética das coordenadas de latitude e longitude dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos	60
Tabela 13 - Distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as campanhas, dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos	61
Tabela 13 14- Distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as campanhas, dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos	62

Tabela 15 - Exemplo de dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, que se repetiam quando a velocidade de deslocamento foi inferior a 9 km/h	67
Tabela 16 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR por ambos receptores GPS	67
Tabela 17 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas	68
Tabela 18 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas considerando erro	69
Tabela 19 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias bidimensionais encontradas entre as coletas, considerando o erro	70
Tabela 20 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com deslocamento de 15 seg	71
Tabela 21 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas, considerando deslocamento de 15 seg	72
Tabela 22 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas considerando erro e deslocamento de 15 seg	73

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	Objetivos específicos	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1.	Hardware Livre	15
3.2.	Arquitetura RISC	15
3.3.	ARM (Advanced Risc Machines)	16
3.4.	Software Livre	18
3.5.	Linux e Ubuntu	18
3.6.	Rapid Application Developement	19
3.7.	Ambiente de desenvolvimento Lazarus	19
3.8.	Levantamentos de dados planialtimétricos	21
3.8.1.	Levantamentos terrestres	21
3.8.2.	Levantamentos Aéreos	22
3.9.	GPS 22	
3.9.1.	Segmento Espacial	23
3.9.2.	Segmento de Controle	24
3.9.3.	Segmento de Usuários	24
3.10.	Métodos de Posicionamento	25
3.10.1.	Método absoluto	26
3.11.	Precisão	27
3.12.	Acurácia ou Exatidão	29
4.	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1.	Material	30
4.2.	Métodos	35
4.2.1.	Levantamento absoluto estático	35
4.2.2.	Levantamento absoluto cinemático	39
4.2.3.	Levantamento absoluto cinemático com diferentes velocidades	43
4.2.4.	Análise estatística dos dados coletados nos levantamentos absolutos estáticos e cinemáticos	44
4.2.5.	Avaliação visual dos dados coletados nos levantamentos absolutos cinemáticos com diferentes velocidades	48
5.	RESULTADOS	51
5.1.	Levantamentos absolutos estáticos	52
5.1.1.	Levantamento absoluto estático no marco geodésico Castro (96005)	52
5.1.2.	Levantamento absoluto estático no marco geodésico UEPG Campus (91643)	54
5.1.3.	Levantamento absoluto estático no marco geodésico UFPR Pilar 100057	
5.2.	Levantamentos absolutos cinemáticos	62
5.2.1.	Levantamento absoluto cinemático na fazenda escola UEPG	62
5.2.2.	Levantamento absoluto cinemático no LAGEH UFPR	65

5.2.3.	Levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR	65
5.3.	Levantamento absoluto cinemático com variação de velocidade	74
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	Apêndices	86
	Apêndice 1	86
	Apêndice 2	87
	Anexos	88
	Anexo 1	84
	Anexo 2	84
	Anexo 3	85

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da precisão e acurácia planimétrica do receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS *Global Position System*) Gstar GS-87 (que usa *chipset* SiRF Star III) surgiu da necessidade de desenvolver um sistema computacional (unidade de controle) de localização em tempo real, do projeto AGROBOT, desenvolvido no Laboratório de Automação e Robótica da Universidade Estadual de Ponta Grossa-PR. Este projeto tem por finalidade desenvolver um robô agrícola (*Field robot*), com objetivo de movimentar-se por talhões de cultivo para realizar tarefas relacionadas à coleta de dados agrônômicos em pontos previamente determinados. Para tanto, torna-se necessário conhecer a localização em tempo real do robô.

A unidade de recepção de sinal GPS, modelo Gstar GS-87, será responsável pela geração das informações de posicionamento global por satélites em tempo real do robô. A escolha deste equipamento se deu em virtude do seu baixo custo em comparação com os disponíveis no mercado atual, sendo que este fator também contribui com o desenvolvimento do objetivo principal do AGROBOT. A unidade controle do AGROBOT irá utilizar um computador embarcado¹ na plataforma ARM (*Advanced Risk Machine*), também de baixo custo e baixo consumo de energia, que será descrito em 3.3. Para tanto há a necessidade de realização de testes de validação para avaliar a precisão e acurácia do receptor GPS Gstar GS-87 e identificar a sua usabilidade no AGROBOT.

¹ Catsoulis (2005) define computador embarcado como um computador que está integrado em outro sistema para fins de controle ou monitoramento. Tem-se vários exemplos incorporados em TVs, máquinas de lavar, telefones celulares, automóveis entre outros.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a precisão e a acurácia planimétrica das coordenadas geográficas determinadas pela unidade de recepção de sinal GPS Gstar GS-87.

2.1. Objetivos específicos

- Desenvolver um sistema computacional embarcado, que faça a leitura das mensagens NMEA 0183 (*National Marine Eletronics Assossiation*)² fornecidas pelo receptor GPS Gstar GS-87, filtre as mensagens que são relevantes para o AGROBOT e armazene as informações obtidas.
- Realizar observações sistematizadas em marcos geodésicos com o receptor GPS Gstar GS-87.
- Realizar posicionamentos cinemáticos com os receptores GPS Gstar GS-87 e Leica GX-1230.
- Realizar validações estatísticas, quanto à precisão e acurácia das observações realizadas em marcos geodésicos, bem como nos posicionamentos realizados com os dois receptores supracitados.

² National Marine Eletrocnics Assossiation é uma Associação de fabricantes de produtos eletrônicos para área marítima, o padrão NMEA 0183 é largamente aceito como padrão de interfaceamento entre dispositivos eletrônicos (NMEA, 2011).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica dos tópicos relevantes que foram utilizados para alcançar os objetivos da presente pesquisa, como *hardware* livre, plataforma ARM, *software* livre, Linux e Ubuntu, RAD (*Rapid Application Development*), ambiente de desenvolvimento Lazarus, levantamentos planialtimétricos, sistema GPS, precisão e acurácia ou exatidão.

3.1. Hardware Livre

Hardware livre é um *hardware* projetado e disponibilizado da mesma maneira que um *software* de código livre, o termo foi primeiramente empregado para refletir o lançamento irrestrito de informação sobre o projeto de *hardware*, tal como um diagrama, estrutura de produtos e dados de desenho de uma placa de circuito impresso.

3.2. Arquitetura RISC

A arquitetura³ RISC (*Reduced Instructions Set Computer* ou Computador com Conjunto de Instruções Reduzidas) surgiu como uma opção de competição para a arquitetura convencional CISC (*Complex Instruction Set Computer* ou Computador com Conjunto de Complexo de Instruções). Aletan (1992) aponta o aparecimento da arquitetura RISC como resultado dos avanços tecnológicos e de um estudo histórico de como os conjuntos de instruções são usados pelos compiladores.

Segundo Sharshunov (2004), a arquitetura RISC pode ser utilizada em microcontroladores simples e de baixo custo, bem como em microcontroladores de grandes projetos de superdesempenho. Fabricantes de computadores consolidados no mercado como IBM, Motorola, Apple já em 2004 estavam engajados no desenvolvimento de projetos que faziam uso da

³ A arquitetura é definida como o conjunto de atributos da máquina que um programador deve compreender para que consiga programar o computador específico com sucesso, ou seja, para que consiga compreender o que o programa irá fazer quando da sua execução.

arquitetura RISC. Sharshunov (2004) também cita os três princípios fundamentais da arquitetura RISC:

- Operações de processamento de dados devem ser implementadas apenas no formato registro a registro. Com isso haverá um grande número de registros e a troca de dados entre registradores e memória é implementada por comandos de *load/write* (leitura/escrita) especiais.
- O sistema de comando deve conter um pequeno número de comandos que são frequentemente usados com tamanho idêntico, formato regular e dois ou três tipos de endereçamento simples.
- Cada comando, independentemente do seu tipo, deve ser executado em um ciclo.

Autores como Esponda (1991) e Patterson (1985), nos estudos pioneiros sobre RISC, consideravam os princípios de *design* de arquitetura mais que uma receita especial de arquitetura e sim uma nova filosofia.

Martins (2005) explica de maneira simples a diferença fundamental da arquitetura RISC com a arquitetura CISC, também conhecida como Von-Neumman, atribuindo essa diferença ao barramento⁴ do microcontrolador. A arquitetura CISC utiliza o mesmo barramento tanto para fazer a busca de instruções na memória de programa quanto para acessar (escrever ou ler) a memória de dados. Já na arquitetura RISC são utilizados dois barramentos de endereços distintos para acessar instruções e dados.

3.3.ARM (Advanced Risc Machines)

ARM são processadores de arquitetura RISC de 32 bits, atualmente desenvolvidos pela ARM Corporation. Ryzhyk (2006) apresenta a história desse processador, que começou em 1983 quando a empresa Acorn Computer procurava um microprocessador de 16 bits para suas máquinas *desktop*. Depois de alguns anos de estudo e com o advento da arquitetura RISC, a empresa conseguiu lançar em 1985 o primeiro processador RISC comercial no mundo. O autor ainda afirma que, em meados de 1990, a

⁴ Barramento é um caminho compartilhado que faz a comunicação entre componentes de um sistema computacional, podendo ser barramento de dados, de endereços e controles (MURDOCCA; HEURING, 1999).

empresa Apple tomou a decisão estratégica de usar processador ARM em seus projetos, fundindo-se então com a Acorn Computer, dando origem à empresa ARM, com a terceira versão da arquitetura ARM, de endereçamento de 32 bits, suporte MMU (*Memory Management Unit*, ou em português, Unidade de Gerenciamento de Memória) e 64 bits de instruções multi-acumuladas. Desta forma a Apple entrou para o mercado de processadores embarcados.

Bates (1996) já previa que microcontroladores ARM seriam o futuro ideal para produtos portáteis, como telefones celulares, devido à facilidade de uso, confiabilidade, desempenho e baixo custo. Bates (1996) cita ainda algumas razões para esse tipo de microprocessador ser adequado para dispositivos portáteis:

(...) eles são projetados para baixo consumo de energia por unidade computação, essa baixa potência de consumo leva à queda da temperatura de funcionamento sem a necessidade de sistemas de resfriamento, reduzindo o custo, a complexidade e tamanho. Temperaturas operacionais mais baixas e menor complexidade levam ao aumento da confiabilidade. Os dispositivos ARM são pequenos (...) e eles proporcionam alto desempenho. Alguns dispositivos ARM são tão poderosos quanto máquinas *desktop* e ainda são capazes de executar usando energia a partir de duas pilhas AA.

Furber (2008) compara: em 1985 o primeiro processador ARM executava aproximadamente seis milhões de instruções por segundo e usava 0,1 watts; já em 2008 um típico computador embarcado, como o ARM968, ocupa 0,4 mm² na superfície do *chip* (microprocessador) de silício e executa perto de duzentos milhões de instruções por segundo consumindo 20 mW.

ARM (2011) observa a arquitetura dos micro-controladores ARM atuais. Sobre o aspecto da evolução desses processadores nota-se que já existe suporte para o ARM de 32 bits, assim como ARM com extensões de arquitetura as quais fornecem suporte para linguagem Java e uma maior segurança. Estas melhorias na arquitetura RISC básica são justificadas pela empresa para que os processadores ARM alcancem um bom equilíbrio entre alto desempenho, com tamanho reduzido do código e um baixo consumo de energia.

3.4. Software Livre

Software livre é definido, segundo Von Hippel e Von Krogh (2003), como uma aplicação (programa) para computador com o código-fonte disponível para inspeção, alteração e utilização por qualquer pessoa, seja ela física ou jurídica. Segundo FSF (2011), *Free Software Foundation* (Organização sem fins lucrativos com uma missão global de promover a liberdade de usuários de computadores e de defender os direitos de todos os usuários de *software* livre) também conceitua de maneira semelhante: *Software* livre é uma aplicação computacional que pode ser usada, copiada, estudada, modificada e redistribuída sem restrição.

Para discutir sobre *software* livre é necessário mencionar o sistema operacional Unix. Por definição, pode-se dizer que Unix é um sistema operacional de propósito geral, multiusuário e interativo, que oferece uma série de características, tais quais, sistema de arquivos hierárquico incorporando volumes desmontáveis, capacidade de iniciar processos assíncronos, linguagem de comando do sistema selecionável por base de usuários, compatibilidade com arquivos, dispositivos e processos de entrada e saída (I/O) entre outras. (RITCHIE & THOMPSON, 1974).

3.5. Linux e Ubuntu

Linux é um membro da grande família dos sistemas operacionais Unix. Esse sistema operacional foi inicialmente desenvolvido por Linus Torvalds, em 1991, como um sistema operacional para os computadores IBM, com o *kernel*⁵ (núcleo) baseado em Unix. (BOVET e CESATI, 2002). Ainda segundo Bovet e Cesati (2002), tecnicamente o diferencial do Linux em relação ao Unix é o fato dele não necessariamente incluir todas as aplicações do Unix, como utilitários de arquivos de sistema, sistema de janelas, interfaces gráficas, entre outros.

Bovet e Cesati (2002) também apontam como vantagens do Linux sobre os seus concorrentes comerciais ou outros sistemas baseados em Unix as seguintes características:

⁵ O *Kernel* é uma série de arquivos escritos em linguagem C e em linguagem *Assembly* que constituem o núcleo, o centro de todas as atividades desempenhadas pelo sistema operacional.

- É gratuito;
- É totalmente personalizável em todos seus componentes;
- Permite execução em plataformas simples e baratas;
- T tem alta padronização de seus códigos fontes;
- O *kernel* pode ser bem pequeno e compacto;
- É altamente compatível com os sistemas operacionais comercializados ou distribuídos atualmente.

3.6. Rapid Application Developement

Rapid Application Development (RAD), ou em português, Desenvolvimento Rápido de Aplicações, é uma metodologia de desenvolvimento de *software* que assim como as outras em geral, dispõe de métodos para escolha de arquiteturas e ferramentas, com o diferencial de ter como principal objetivo ser mais rápido, melhor e mais barato quando comparado à metodologia de desenvolvimento tradicional. (HIRSCHBERG, 2002).

A terminologia RAD foi utilizada pioneiramente por Martin (1991) que a define como um ciclo de desenvolvimento desenhado para ser muito mais rápido e obter resultados com maior qualidade do que os tradicionais ciclos de desenvolvimento.

Nesse contexto, surgiram as ferramentas RAD, valendo-se da metodologia de desenvolvimento rápido, produtivo e de alta qualidade. Em ambientes proprietários, como Windows, destacam-se como ferramentas RAD: o Microsoft Visual Basic e o Borland Delphi. Já em ambientes Linux, plataforma livre e *open source* (de código aberto), podem ser citados o HBasic, o projeto Gambas e o Lazarus.

3.7. Ambiente de desenvolvimento Lazarus

Ambiente de desenvolvimento Lazarus é um sistema de desenvolvimento *open source*, baseado no compilador Free Pascal. O ponto diferencial do Lazarus em relação ao Free Pascal, que é uma linguagem de programação e compilador, é o fato dele incluir uma IDE (*Integrated Development Environment* ou, em português, Ambiente Integrado de

Desenvolvimento) com um editor de códigos, um ambiente para desenho de formulários e seus componentes, assim como bibliotecas compatíveis com as bibliotecas visuais do Borland Delphi VCL (*Visual Component Library*) (LAZARUS, 2011).

A principal vantagem do RAD Lazarus é a possibilidade de uso das chamadas *Lazarus Component Library* (LCL) ou, em português, Bibliotecas de Componentes Lazarus, que incluem muitos componentes equivalentes aos componentes VCL do Borland Delphi, principalmente em aspectos visuais, os chamados GUI (*Graphical User Interface*, Interface Gráfica de Usuário), como botões, painéis, menus, caixas de texto entre outros.

Gaertner (2009) afirma que o Lazarus é uma importante ferramenta RAD, uma vez que facilita e acelera o desenvolvimento de programas em ambientes visuais ou gráficos, e também afirma que as principais diferenças entre Delphi e Lazarus são: Lazarus é totalmente *open source*; pode ser executado em mais de quinze plataformas, entre elas Windows 32, Windows 64, WinCE, Linux, FreeBSD, MacOS X/Darwin, DOS, OS/2, Netware e MorphOS; pode ser executado em processadores Intel x86, AMD64/x86_64, PowerPC, PowerPC64, Sparc e também nos microcontroladores ARM. Também pode ser considerado como uma vantagem o fato de o Lazarus ser gratuito até mesmo para uso comercial e possuir um mecanismo de licença de uso e distribuição bastante flexível.

O RAD Lazarus pode ser utilizado para desenvolver aplicações gráficas multiplataforma, pois existem bibliotecas públicas e proprietárias para manipular arquivos 2D ou 3D. Nele é possível desenvolver *softwares* de arquitetura cliente servidor de multiplataforma e até mesmo converter componentes VCL em componentes LCL. (GIROUX, 2011).

Considerando que o objetivo desta pesquisa é realizar a avaliação de equipamento de coleta de dados GPS, por meio de levantamentos planimétricos, é importante compreender alguns conceitos relevantes desta área, tais como levantamento de dados terrestres, topografia, levantamentos de dados aéreos e sistema de posicionamento global.

Tschiedel e Ferreira (2002) relacionam coleta de dados georreferenciados e agricultura, onde justificam esse elo como uma maneira de satisfazer a necessidade crescente de eficiência, em todos os setores da

economia, para manter a competitividade. Sendo assim eles visualizam nos avanços das tecnologias em georreferenciamento uma nova forma de enxergar a propriedade rural, deixando de ser somente uma propriedade e sim várias porções menores dentro da mesma, porém com características específicas. Desse modo o empresário rural, por controlar cada vez mais a sua linha de produção, pode ser mais competitivo no mercado.

3.8. Levantamentos de dados planialtimétricos

Segundo Nogueira (2009), levantamento de dados planialtimétricos é a coleta de dados de posicionamento com informações sobre coordenadas geográficas e altitude. A maneira como os dados são coletados varia em função da disponibilidade de técnicas e recursos que podem ser terrestres ou aéreos.

3.8.1. Levantamentos terrestres

Levantamento de dados terrestres ou levantamento de campo é um conjunto de operações efetuadas no terreno para obter as medidas de interesse para a representação desejada. Para a realização desse tipo de levantamento é necessário utilizar técnicas de topografia⁶.

O sistema de coordenadas topográficas é um sistema plano – retangular definido pelo eixo das ordenadas “y”, paralelo à direção Norte – Sul e um eixo “x” (abscissa) formando 90° com a ordenada na direção Leste – Oeste. Também existe a coordenada “z”, dada pela cota ou altitude. Este sistema tem uma origem arbitrária e por ser plano – retangular, como o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), é possível fazer sua transformação para UTM, por meio de uma translação de eixos. Assim, a sua origem deverá coincidir com um marco geodésico de coordenadas UTM conhecidas (NOGUEIRA, 2009).

⁶ Topografia é a ciência aplicada que utiliza medidas de distâncias horizontais e verticais, ângulos e orientação para, a partir de um projeção ortogonal sobre um plano, representar os pontos que definem a forma, as dimensões e as posições relativas de uma parte da superfície terrestre, sem considerar sua curvatura. (LOCH & CORDINI, 2000).

3.8.2. Levantamentos Aéreos

Quando são realizados levantamentos aéreos ou aerofotogramétricos, os dados obtidos pelas fotografias aéreas métricas, são transformados em produtos cartográficos (cartas planimétricas e planialtimétricas, cartas cadastrais, ortofotos, ortofotocartas e modelo digital de terreno) através de fotogrametria e foto interpretação. (NOGUEIRA, 2009).

Segundo definido por Andrade (1998), fotogrametria “é a ciência e a tecnologia de obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens”. Tem grande aplicação na elaboração de mapas.

Segundo Nogueira (2009), na fotogrametria, o posicionamento de pontos é realizado com o apoio de levantamento de campo e por métodos de triangulação fotogramétrica, também conhecido como aerotriangulação. O processo de transferência das informações da foto para o mapa, na fotogrametria digital, é feito primeiro pela conversão analógica/digital das aerofotos, utilizando *scanners* de alta resolução. Posteriormente ao se fazer uso de equipamentos restituidores analógicos ou digitais, são gerados produtos fotogramétricos em arquivos digitais.

Outra maneira importante de realizar coleta de dados planialtimétricos é por meio de sistemas de posicionamento por satélites, por exemplo GPS.

3.9. GPS

O GPS ou NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time And Raging – Global Positioning system*) é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo departamento de Defesa dos Estados Unidos da América – DoD (*Department of Defense*), com o objetivo de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas. A concepção do sistema GPS permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre, ou próxima a ela, tenha à disposição, no mínimo, quatro satélites para serem rastreados. Este número de satélites permite que se realize, por triangulação geométrica, posicionamento global em tempo real. (MONICO, 2000).

O sistema GPS é composto por três segmentos: segmento espacial, de controle e de usuários.

3.9.1. Segmento Espacial

O segmento espacial básico é formado de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, com uma altura orbital média de 20.200 km. Este segmento é uma parte importante do sistema, pois é mediante ele que se pode calcular a posição na superfície da Terra. Cada satélite carrega padrões de frequência altamente estáveis (césio e rubídio) com estabilidade entre 10^{-12} e 10^{-13} por dia, formando um referência de tempo muito precisa. (MONICO, 2000).

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2. Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Dessa forma, as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) de L1 e L2 são:

$$\S \quad L1 = 1.575,42 \text{ MHz e } \lambda = 19,05 \text{ cm}$$

$$\S \quad L2 = 1.227,60 \text{ MHz e } \lambda = 24,45 \text{ cm}$$

Os códigos gerados que formam o PRN (*Pseudo Random Noise*) são modulados, em fase, sobre essas duas portadoras, permitindo realizar medidas de distâncias a partir da medida do tempo de propagação da modulação. Uma PRN é uma seqüência binária (0 e 1 ou +1 ou -1), que pode ser univocamente identificada. Trata-se dos códigos C/A e P. (LEICK, 1998).

O código C/A (*Coarse Acquisition*, ou em português, de fácil aquisição), com comprimento de onda por volta de 293,26 m, é transmitido a uma razão de 1,023 MHz. Ele é gerado com base no produto de duas seqüências PR (*Pseudo-Random* - pseudo-aleatória), denominadas G1 e G2, cada uma com período de 1.023 bits, e o código C/A apresenta período de 1 ms. Cada satélite transmite um código C/A diferente. (MONICO, 2007).

O código P (*Precise*), reservado para os americanos, não está liberado para uso civil, tem comprimento de onda de 29,33 m e é transmitido na razão de 10,23 MHz.

Desde janeiro de 1999 foi decidido que dois novos sinais seriam implementados nos satélites, sendo: um código civil na onda portadora L2 (L2C) e uma terceira onda portadora L5 com uma frequência de 1.176,45 MHz e $\lambda = 25,5$ cm. Este segmento está em contínua modernização, a

constelação conta com 31 satélites em órbita desde julho de 2011 (LEANDO, 2008).

3.9.2. Segmento de Controle

O segmento de controle é composto por cinco estações de monitoramento (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia e Colorado Springs), que têm por principais tarefas: monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites; determinar o sistema de tempo GPS; prever as efemérides⁷ dos satélites e calcular as correções dos relógios dos satélites; atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite. (MONICO, 2000).

No segundo semestre de 2005 foram adicionados mais seis estações de monitoramento pertencentes ao NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) (KOWOMA, 2012).

3.9.3. Segmento de Usuários

Monico (2000) afirma que o segmento de usuários do sistema GPS é constituído pelos dispositivos receptores do sinal GPS, sendo que devem ter as características para os propósitos a que se destinam, dividindo-se em civil e militar. O autor cita os principais componentes de um receptor GPS:

- Antena com pré-amplificador;
- Seção de radiofrequência (RF) para identificação e processamento do sinal;
- microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados;
- Oscilador;
- Interface para usuário, painel de exibição e comandos;
- Provisão de energia;
- memória para armazenar os dados coletados;

⁷ Efemérides significam, em latim, “memorial diário”, “calendário” (ephemèris, idis), ou, em grego, “de cada dia” (ephémèris, idos). Tabela que fornece, em intervalos de tempo regularmente espaçados, as coordenadas que definem a posição de um astro (MOURÃO, 1987).

Os receptores GPS podem ser divididos segundo vários critérios, de acordo com a comunidade de usuários: civil e militar, de acordo com a aplicação: de navegação, geodésico, para SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e de aquisição de tempo. Ainda pode-se classificar de acordo com o tipo de dados que recebem: código C/A, código C/A e onda portadora L1, código C/A e ondas portadoras L1 e L2, código C/A e P e ondas portadoras L1 e L2, onda portadora L e, por último, as ondas portadoras L1 e L2. (MONICO, 2000).

Segundo Nogueira (2009), além do sistema GPS, previamente descrito, existem três outros sistemas de posicionamento global em funcionamento ou em desenvolvimento:

- GLONASS, denominado de *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema* (ou Global Navigation Satellite System), pertencente à Federação Russa, com características semelhantes, mas com diferentes implementações cujo funcionamento é similar ao sistema GPS (GLONASS, 2012).
- Galileo (*European Satetellite Navigation System*) é um sistema europeu que envolve a União Européia, a ESA (*European Space Agency*) e a indústria européia. foi concebido para uso civil, encontra-se em desenvolvimento, em 2011 foram lançados dois satélites e em 2012 mais dois. A capacidade operacional inicial deverá ser atingida em meados desta década (GALILEO, 2012).
- Compass, *Navigation Satellite System* (Sistema de Navegação por Satélite) ou Beidou-2, sob responsabilidade da China, encontra-se em desenvolvimento, e está previsto entrar em operação em 2015.

3.10. Métodos de Posicionamento

O uso de receptor GPS permite a determinação das coordenadas dos pontos em diferentes níveis de precisão, dependendo do método de posicionamento utilizado. As estratégias de observação com receptor GPS podem ser classificadas primeiramente, em função do número de receptores envolvidos no levantamento. O posicionamento absoluto ou por ponto utiliza apenas um receptor GPS, enquanto que o posicionamento relativo

utilizará pelo menos dois receptores GPS rastreando simultaneamente. (KRUEGER, 1996).

Na literatura a classificação quanto aos métodos de posicionamento é ampla, contudo pode-se, em linhas gerais dividi-los em: Absoluto ou por ponto; Relativo e Diferencial.

O primeiro método de posicionamento é aquele em que as coordenadas a serem determinadas estão associadas ao geocentro; No segundo caso estas coordenadas são determinadas com relação as coordenadas dos vértices das estação base a que estão atreladas; No caso do método de posicionamento diferencial as coordenadas são obtidas através das correções diferenciais geradas na estação de referência e enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação no formato RCTM (*Radio Technical Comittee for Maritime Service*) (Krueger, 1996).

Os posicionamentos absolutos e relativos podem ser realizados pelas técnicas estáticas e cinemáticas. No primeiro caso a antena encontra-se estática quando se está determinando a coordenada do ponto de interesse e no segundo caso a antena está em movimento, como, por exemplo, os veículos em movimento (Krueger, 2012).

3.10.1. Método absoluto

O método de posicionamento absoluto, também denominado posicionamento por ponto, caracteriza-se por usar apenas um receptor GPS (antena) na determinação das coordenadas, vinculadas ao sistema de referência, como, por exemplo, WGS-84 (*World Geodetic System*, 1984). Seu princípio fundamental está baseado nas medidas das pseudodistâncias⁸ entre o receptor e os satélites que estão emitindo o sinal.

Segundo Briones (1999), o usuário padrão SPS (*Standard Pontioning Service*) que está operando com o emprego do código C/A obterá precisão da ordem de 100 e 150 em 95% dos casos para posicionamento horizontal e vertical, respectivamente. Contudo nesta época a técnica de segurança SA (*Selective Availability*, em português – disponibilidade seletiva)

⁸ Pseudodistância é a distância geométrica formada entre o satélite e o usuário do sistema, acrescida principalmente de erros provenientes do não sincronismo entre os relógios do receptor e do satélite (LEICK, 1998).

estava ativada. Ela consiste na degradação do sinal dos satélites GPS. A partir de 2 de maio de 2000 esta técnica foi desativada. Desta forma a precisão passou a ser da ordem de 20 a 25 m para posicionamento horizontal e vertical, respectivamente, com nível de probabilidade de 95 (ELIAS, 2009).

Este tipo de posicionamento, absoluto, pode ser realizado no modo cinemático ou estático, e o resultado é uma navegação, independente de haver ou não movimento. A maior aplicabilidade deste posicionamento é no apoio à navegação, devido às precisões conseguidas, não é um posicionamento satisfatório na geodésia e na confecção de bases cartográficas de grande escala ou em trabalhos que exijam alta precisão.

Segundo IBGE (2012b), os usuários que desejam obter coordenadas com precisão devem utilizar o método chamado PPP (Posicionamento por Ponto Preciso). Neste caso são coletadas informações em campo (código e/ou fase da onda portadora), empregadas as efemérides precisas e as correções para o relógio dos satélites produzidas por centros de análises como a NOAA, NGS e JPL (*Jet Propulsion Laboratory*). Atualmente o Brasil conta com um serviço de consulta das correções *online*, disponibilizado pelo IBGE⁹.

De acordo com o uso que será dado para as informações fornecidas pelas unidades de recepção GPS, é importante conhecer o nível de precisão e acurácia dos valores coletados, para tanto é fundamental compreender os conceitos de precisão e acurácia, indicados na próxima seção.

3.11. Precisão

Segundo Andrade (1998), precisão é uma função de espalhamento dos resultados obtidos, quanto mais próximos da média os valores estão, mais preciso é o conjunto de dados, e por consequência quanto mais espalhados estão os valores em relação à média dos valores, menos precisos são os dados. Para determinar a precisão de um conjunto de dados, pode-se usar o exemplo de dois atiradores diferentes que efetuaram vários disparos num alvo. A Figura 1 mostra que o atirador da direita conseguiu concentrar mais seus disparos. De uma maneira simplista é aceito que este

⁹ <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/>

seja melhor atirador, pois seus disparos ficaram menos espalhados, embora nenhum dos dois tenha o centro do alvo na média dos disparos. Então pode-se afirmar que quanto menor o espalhamento, mais preciso são os resultados.

A medida de precisão deve, portanto, ser uma medida de espalhamento. A Curva de Gauss, também chamada de Curva Normal, oferece o parâmetro de medida do grau de espalhamento de uma variável em relação à sua média.

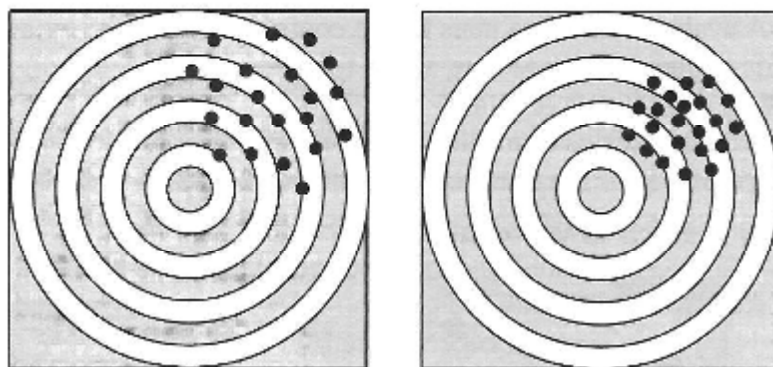


Figura 1 - Precisão das medidas
Fonte: ANDRADE, 1998

A Figura 2 mostra a função de densidade de probabilidade normal ou Gaussiana (ANDRADE 1998). O ápice da Curva de Gauss corresponde à média dos valores e a maior parte deles está próximo da média. A área delimitada pela curva pela abscissa e duas ordenadas representa o percentual de valores existentes naquele intervalo. O desvio padrão é a distância d entre a média e cada um dos dois pontos de inflexão que a curva apresenta. A área delimitada pela curva, pela abscissa e as ordenadas nos pontos de inflexão representa a medida da probabilidade da média real estar contida nesse intervalo.

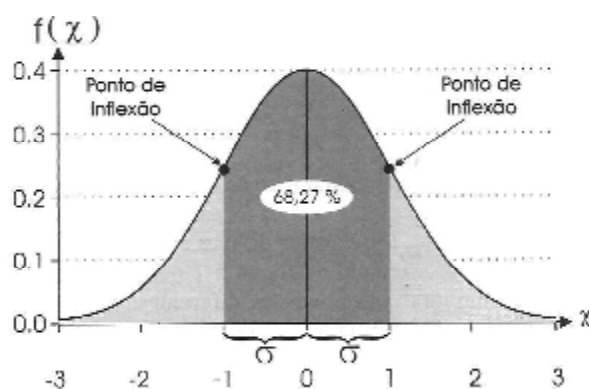


Figura 2 - Função de Gauss
Fonte: ANDRADE, 1998

3.12. Acurácia ou Exatidão

Segundo Andrade (1998), acurácia ou exatidão é o grau de confiabilidade dos dados. Para medir a acurácia de um conjunto de dados é necessário confrontar os valores do conjunto de dados com um valor considerado “verdade” ou alvo. Ainda usando o exemplo dos atiradores que efetuaram diversos disparos num determinado alvo, verifica-se na Figura 3 que ambos os atiradores foram igualmente exatos, embora com precisões diferentes, sendo que o atirador da direita é mais preciso que o da esquerda, haja vista que seus disparos foram mais próximos do alvo.

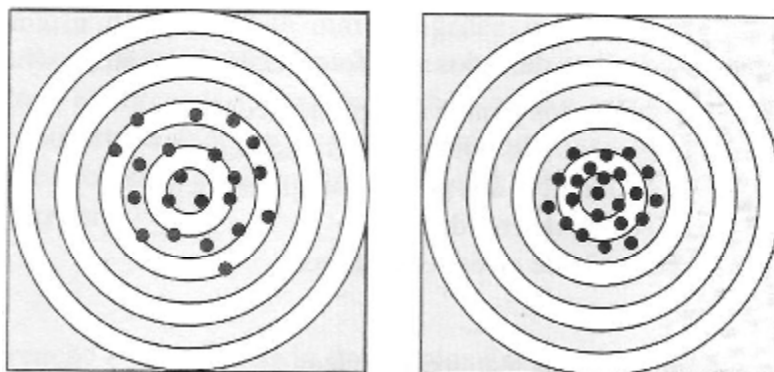


Figura 3 - Acurácia ou exatidão das medidas
Fonte: ANDRADE, 1998

A acurácia ou exatidão é atingida com a eliminação de erros sistemáticos, que são aqueles que se conhece a causa física. Eles podem ser modelados ou reduzidos por técnicas especiais de observação (GEMAEL, 2004). Estes erros podem ter origem nos instrumentos de medição, nas técnicas de medição e nos modelos sistemáticos. (ANDRADE, 1998).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Para alcançar os objetivos definidos nesta pesquisa foram utilizados os materiais listados a seguir.

Um computador embarcado Friendly ARM modelo Mini6410, fabricado por FriendlyARM Co. Ltd, cuja especificação técnica é:

- a) CPU: Samsung S3C6410A, ARM1176JZF-S, 533 MHz;
- b) DDR RAM: 256 Mb onboard e 32 bit data bus;
- c) Flash Memory: 1 Gb MLC Nand flash;
- d) LCD: 4.3 polegadas, colorido, sensível ao toque;
- e) Interfaces e acessórios externos:
 - Porta Ethernet, 100 Mbit RJ-45 (chipset DM9000)
 - Porta serial DB9 RS232 five-wire
 - Porta mini USB Slave 2.0
 - Saída de áudio
 - Entrada de microfone
 - Porta RCA, saída de TV
 - Porta USB Host 1.1
 - Conector padrão para leitura/gravação de cartão SD
 - Receptor de infravermelho
 - Conector de energia 5V
 - I2C-EEPROM chip (256 byte) para teste de I2C Bus
 - 4 * LEDs (verde)
 - 8 * Botões de usuário
 - Resistor ajustável para conversor AD
 - PWM sirene
 - Bateria backup para EPROM

A placa principal do Friendly ARM modelo Mini6410 é mostrada na Figura 4 mediante fotografia, onde é possível observar os itens importantes para o desenvolvimento deste trabalho, os quais estão destacados, sendo: K8, K7 (Botões para usuário interagir com o dispositivo); S1 (Off-On, Tecla para

ligar e desligar); Power Input (Conector para energia 5V); CON4 (UART3:TTL, Conector da porta serial para receber dados do GPS, mensagens NMEA-01830, bem como enviar energia para este); RJ-45 (Conector da porta de rede utilizado para transmitir dados para o computador desktop); SD Slot (Conector de cartão de memória SD, foi utilizado para armazenar os dados das leituras).

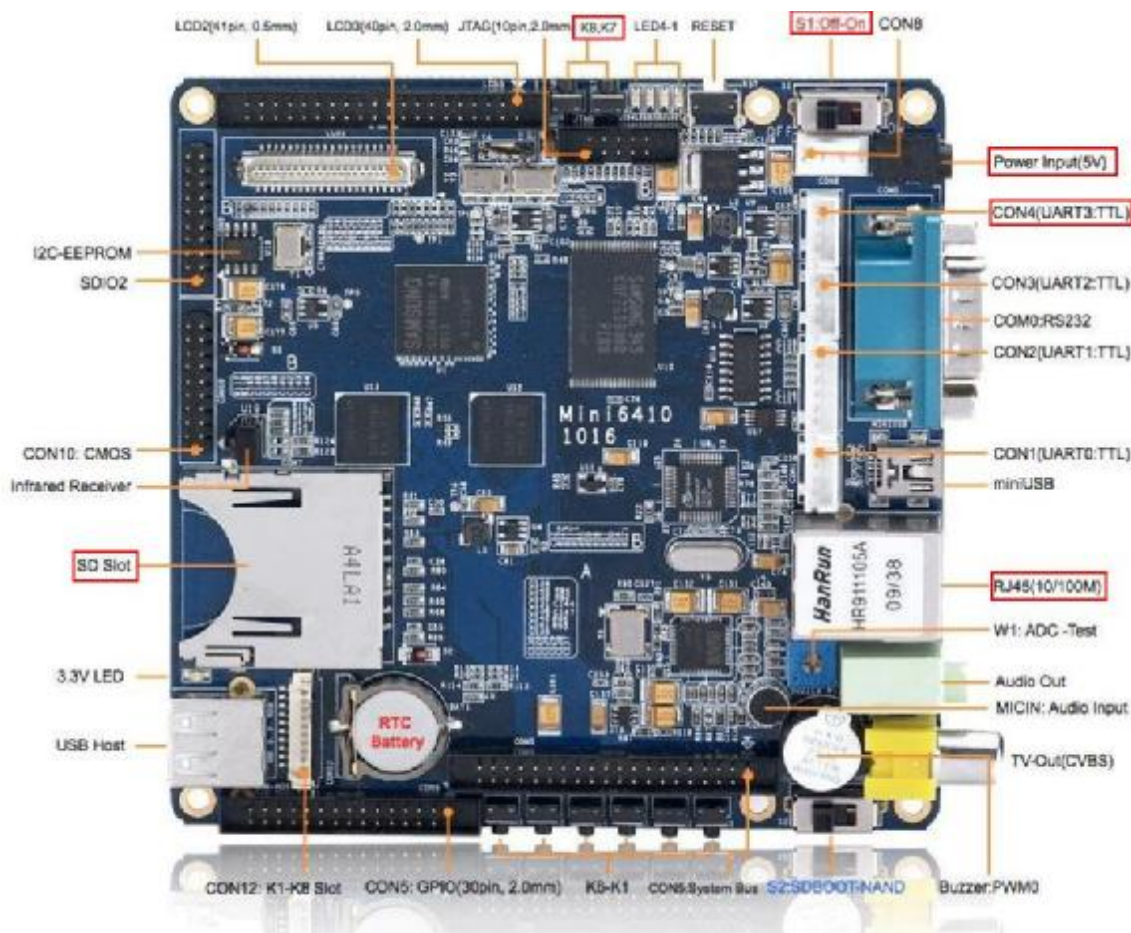


Figura 4 - Fotografia da placa principal do computador embarcado Friendly ARM Mini 6410
Fonte: ARM (2010)

Como receptor de sinal GPS, objeto de estudo desta pesquisa, foi utilizado o equipamento receptor GPS Gstar GS-87, com microcontrolador *chipset* GPS SiRFstar III, sendo este um microcontrolador GPS de alta sensibilidade, fabricado pela empresa SIRF Technology Holdings, Inc. Para transmitir as informações, esta unidade de recepção GPS utiliza o protocolo de comunicação definido pela National Marine Electronics Association's (NMEA 01830). A descrição completa deste protocolo pode ser obtida em NMEA (2012).

Pode-se observar na Figura 5 exemplo das mensagens NMEA enviadas pelo receptor GPS Gstar GS-87, com destaque para algumas informações relevantes para esta pesquisa: PDOP¹⁰ (*Posicional Dilution of Precision*), Protocolo, Hora UTC¹¹ (*Universal Time Coordinated*), Latitude, S/N (Sul/Norte), Longitude, Núm.Sat. (número de satélites que o receptor está recebendo informações no momento da coleta dos dados, Altitude, Velocidade de deslocamento e Rumo.

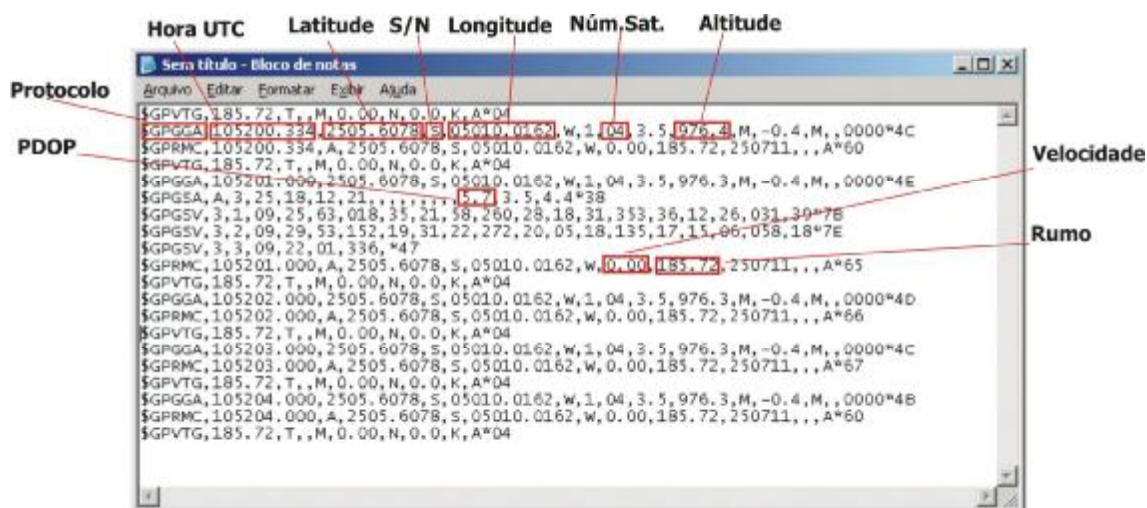


Figura 5 - Receptor GPS Gstar GS-87
Fonte: AUTOR

A Figura 6 exibe a fotografia do receptor GPS Gstar GS-87, com destaque para os conectores utilizados: Conector da antena, para conectar o receptor GPS à antena de recepção de sinal (1); Conector serial, utilizado para energizar o receptor GPS e transmitir as mensagens NMEA para a porta serial do Friendly ARM modelo Mini6410 (2).

¹⁰ PDOP pode ser interpretado como um valor inversamente proporcional ao volume de um tetraedro, o qual se forma pelos satélites observados e pela estação de observação. (LANGLEY. 2012)

¹¹ *Universal Time Coordinated* (Hora Universal Coordenada) é o fuso horário de referência a partir do qual se calculam todas as outras zonas horárias do mundo. As informações coletados pelos receptores GPS nessa pesquisa não consideram o deslocamento do fuso horário.

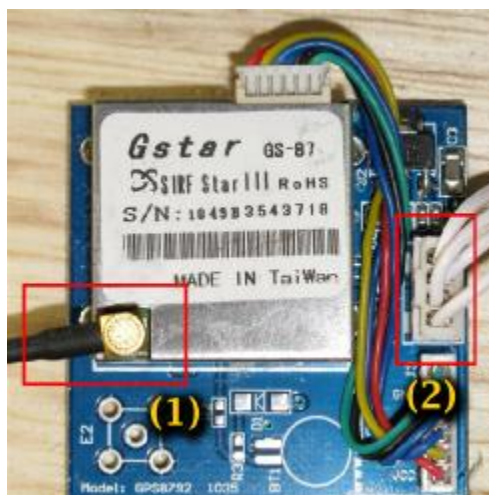


Figura 6 - Receptor GPS Gstar GS-87
Fonte: AUTOR

Para o equipamento ter autonomia e torná-lo portátil, foi construída uma fonte de energia com um conjunto de oito baterias tamanho AA, permitindo sua utilização em locais sem energia elétrica disponível. Testes realizados possibilitaram observar que nessa configuração o conjunto de oito baterias tamanho AA propicia uma autonomia de aproximadamente cinco horas de uso contínuo.

Como sistema operacional para o computador embarcado Friendly ARM modelo Mini6410 mostrado na Figura 4, foi utilizado o sistema operacional Linux versão 2.6.38, sendo este fornecido junto com o equipamento.

Para o ambiente de desenvolvimento das aplicações foi utilizado o sistema operacional Linux Ubuntu, versão 11.04 Natty, sendo este utilizado no microcomputador desktop.

A linguagem de programação Free Pascal Compiler e ambiente de desenvolvimento RAD Lazarus IDE v0.9.28.2-12, foram utilizados para o desenvolvimento dos programas empregados no Friendly ARM modelo Mini6410, para a captura e gravação das mensagens NMEA enviadas pelo receptor GPS Gstar GS-87. O ambiente de desenvolvimento foi configurado para cross-compiler, técnica que permite fazer uso um ambiente de desenvolvimento para compilar *software* para outro ambiente. Esta técnica *cross-compiler* foi usada em razão de não existir condição técnica para utilizar o Friendly ARM modelo Mini6410 para o desenvolvimento das aplicações, por

falta de memória. Foi necessária a utilização de um microcomputador desktop, com o Free Pascal Compiler e o RAD Lazarus instalado e configurado para gerar código cross-compiler para o sistema operacional do Friendly ARM modelo Mini6410.

O software GPS TrackMaker versão profissional 4.7, produzido por Geo Studio Technology Ltda, de Belo Horizonte-MG, foi utilizado para gerar sobreposição dos pontos coletados neste trabalho sobre imagens ilustrativas da base de imagens pública do Google Earth, dos locais de estudo. Isso permite a visualização e a contextualização de onde ocorreram os levantamentos a campo.

O veículo motocicleta Honda NX4 Falcon foi usado para a realização do levantamento cinemático na Fazenda Escola da UEPG (Universidade Estadual de Ponta Grossa-PR).

O veículo GM S10 foi utilizado, para realização do levantamento cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR (Universidade Federal do Paraná), em Curitiba-PR.

O receptor GPS Geodésico Leica GX-1230, que utiliza tecnologia SmarTrack, de dupla frequência, com precisão de Horizontal: 10 mm + 1 ppm, cinemático o *software* LEICA Geo Office Vertical: 20 mm + 1 ppm, cinemático GX1230, Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm, estático, canais 12 L1 + 12 L2/WAAS/EGNOS, com antena SmartTrack AX1202 e com pós processamento dos dados. Essa unidade de recepção GPS foi empregada para comparar os dados por ela recebidos com os dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87, nos levantamentos cinemáticos para avaliar a precisão do receptor GPS Gstar GS-87. A Figura 7 mostra fotografia do GPS Leica GX-1230.



Figura 7 - Receptor GPS Leica GX-1230
Fonte: Fabricante do dispositivo

4.2. Métodos

A fim de alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, foram realizados levantamentos absolutos em campo: estáticos, cinemáticos e cinemáticos com alteração de velocidade. Para a verificação da precisão e acurácia foram feitas análises estatísticas e visuais dos dados coletados em todas as campanhas realizadas. As próximas seções descrevem os levantamentos em campo supracitados e as análises estatísticas e visuais dos dados coletados.

4.2.1. Levantamento absoluto estático

Os levantamentos estáticos foram realizados como parte da avaliação da precisão e acurácia do receptor GPS Gstar GS-87, sendo que esses procedimentos ocorreram em forma de campanha, em três horários diferentes do dia, no início da manhã (entre às 08h14 e 09h31), no início da tarde (entre as 12h e 14h29) e no final da tarde (entre às 16h06 e 21h31), por um período contínuo de 20 minutos em cada campanha, gravando as seguintes informações: Hora UTC, latitude, longitude, altitude geométrica, número de satélites e PDOP. O intervalo de gravação utilizado foi de um segundo. As campanhas foram realizadas em três marcos geodésicos distintos, sendo dois destes marcos homologados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística) e um terceiro marco que compõem a primeira base de calibração de antenas GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) do LAGEH (Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia) da UFPR. Esta metodologia, três campanhas em três diferentes períodos do dia, foi escolhida em virtude da constelação de satélites, que enviam os sinais de posicionamento, estar em constante movimento, conforme descreve Monico (2000). Portanto foi importante testar o receptor GPS Gstar GS-87 em diferentes configurações no que diz respeito à constelação de satélites.

Para armazenar os dados (mensagens NMEA) dos levantamentos estáticos foi desenvolvido um sistema computacional (*software*), utilizando linguagem de programação Free Pascal Compiler e ambiente de desenvolvimento RAD Lazarus, descrito em 3.7. Essa aplicação tem por objetivo realizar a leitura das mensagens NMEA enviadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 e a posterior gravação dessas mensagens a intervalos regulares de um segundo, durante um período contínuo de vinte minutos. Ao final desse período de tempo a aplicação finaliza automaticamente a coleta de informações. O código fonte do software desenvolvido para realizar a captura dos dados dos levantamentos estáticos está disponível para download em: <<http://proxy.cd.inf.br/gps/gpsserial.lpr>>.

Em cada uma das campanhas, a antena do receptor GPS Gstar GS-87 foi instalada sobre o parafuso de centragem forçada existente em cada um dos marcos geodésicos utilizados. A Figura 8 mostra o marco geodésico de número 96005 (1), localizado no Centro Municipal da Agropecuária da Prefeitura Municipal de Castro-PR (2), com destaque para a antena de recepção de sinal GPS (2), e a unidade de recepção e armazenamento dos dados (3).



Figura 8 - Receptor GPS Gstar GS-87 sobre o marco número 96005, Castro - PR
Fonte: AUTOR

As coordenadas calculadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 foram comparadas com as coordenadas geodésicas dos marcos geodésicos utilizados. Determinou-se as distâncias vertical, horizontal e bidimensional entre elas. Os cálculos das distâncias verticais, horizontais e bidimensionais serão descritos em 4.2.4.

Os levantamentos estáticos foram realizados em três marcos geodésicos, descritos a seguir:

- Marco Geodésico homologado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de número 96005, com coordenadas geodésicas iguais a latitude $24^{\circ} 47' 17,2495''$ Sul e de longitude $50^{\circ} 00' 00,2927''$ Oeste e altitude geométrica igual a 991,80 m (sistema de referência SIRGAS 2000). Ele encontra-se localizado nas dependências do Centro Municipal da Agropecuária da Prefeitura Municipal de Castro-PR, Rua Francisco de Assis Andrade, nº. 141, Bairro Vila Rio Branco, 15 m SE do prédio da Secretaria Municipal de Saúde. O relatório desse marco pode ser obtido em <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=96005>, que será denominado nesta pesquisa Marco Geodésico Castro (Anexo 2).
- Marco Geodésico homologado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de número 91643, com as coordenadas geodésicas iguais a latitude $25^{\circ} 05' 43,3920''$ Sul e de longitude $50^{\circ} 06' 18,4961''$ Oeste e altitude geométrica igual a 912,41 m (sistema de referência SIRGAS 2000). Ele encontra-se localizado nas dependências do Campus

Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa-PR, Avenida Carlos Cavalcanti, 4748, Bairro Uvaranas, a 50 m SW do Bloco L, também conhecido como Bloco de Ciências Exatas e Naturais, em um canteiro gramado próximo ao estacionamento. Dista cerca de 210 m a E da Prefeitura do Campus. O relatório desse marco pode ser obtido em <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=91643>, que será denominado nesta pesquisa Marco Geodésico UEPG Campus (Anexo 3).

- Marco Geodésico conhecido como Pilar 1000 (Oeste), com as coordenadas geodésicas de latitude $25^{\circ} 26' 55,05943''$ Sul e de longitude $49^{\circ} 13' 52,30662''$ Oeste e altitude geométrica igual a 928,56 m (sistema de referência SIRGAS 2000). Ele pertence a base de calibração e se localiza nas dependências do Centro Politécnico da UFPR em Curitiba-PR, sobre o prédio anexo ao Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrologia. A Figura 9 mostra imagem ilustrativa do Google Earth com a localização do Pilar 1000 (Oeste), este pilar dista aproximadamente 35 metros sentido sul do marco geodésico homologado pelo IBGE de número 93970, com coordenadas geodésicas de latitude $25^{\circ} 26' 54,56200''$ Sul e de longitude $49^{\circ} 13' 52,21251''$ Oeste. O marco geodésico 93970 não pode ser utilizado para coleta de dados em virtude de este pertencer a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) e possuir sobre ele uma antena que está conectada a um receptor GNSS (GPS e GLONASS) que faz leituras contínuas dos dados coletados, Caso fosse posicionada a antena do receptor GPS Gstar GS-87 sobre este marco, haveria interferência nas referidas leituras e não havia autorização para tal. Este marco será denominado nesta pesquisa Marco Geodésico UFPR Pilar 1000, os dados desse marco foram fornecidos pelo LAGEH.



Figura 9 - Localização do marco UFPR Pilar 1000.

Fonte: Imagem capturada com software TrackMaker, base pública de imagens Google Earth.

4.2.2. Levantamento absoluto cinemático

Para avaliar o comportamento do receptor GPS Gstar GS-87, em movimento, foram realizados dois levantamentos cinemáticos em duas áreas de estudo diferentes, utilizando além do receptor GPS Gstar GS-87 também o receptor GPS Leica GX-1230 simultaneamente, sendo este receptor geodésico com adequado para realizar a verificação da precisão do receptor GPS Gstar GS-87, objeto deste estudo. Os dois receptores foram utilizados para coletar os dados, para posterior análise estatística das distâncias horizontal, vertical e bidimensional calculadas.

Para realizar este levantamento cinemático, foi desenvolvida uma aplicação a qual faz a leitura e gravação das mensagens NMEA gerados pelo receptor GPS Gstar GS-87. O intervalo de gravação utilizado para os levantamentos cinemáticos foi de um segundo. Porém, diferentemente da aplicação utilizada nos levantamentos estáticos, este não tem tempo total pré-definido de 20 minutos, o usuário utiliza um botão no dispositivo para finalizar a leitura. Esta aplicação grava as seguintes informações coletadas: Hora UTC, latitude, longitude, altitude geométrica, número de satélites, PDOP e velocidade. O código fonte do software desenvolvido para realizar a captura dos dados dos levantamentos cinemáticos está disponível em: <<http://proxy.cd.inf.br/gps/gpscine.lpr>>.

As áreas de estudo utilizadas nos levantamentos absolutos cinemáticos foram:

- Talhão de plantio da fazenda escola da UEPG. A Figura 10 mostra imagem ilustrativa do local, capturada com *software* TrackMaker, do local, com indicação de ponto inicial do polígono do talhão nas coordenadas de latitude 25° 05' 42,57431" Sul e de longitude 50° 03' 05,66895" Oeste (sistema de referência WGS-84), bem como o caminhamento realizado em um dos levantamentos. Foram executados dois levantamentos nesta área, sendo um deles com velocidade entre 3 km/h e 5 km/h (realizado a pé) e outro com velocidade entre 10 km/h e 16 km/h (utilizando veículo motocicleta Honda NX4 Falcon). A metodologia do caminhamento foi grade, sendo coletadas latitudes e longitudes dos pontos que compõem a trajetória descrita. Estava previsto que a coleta ocorresse simultaneamente com ambos os receptores - receptor GPS Gstar GS-87 e receptor GPS Leica GX-1230 - para posterior análise das distâncias encontradas. Porém, em virtude de problemas logísticos, os levantamentos foram realizados apenas com o receptor GPS Gstar GS-87. Observou-se que em pequenos deslocamentos em baixa velocidade, este receptor GPS não alterava as coordenadas coletadas. Em virtude disso, foi alterado o planejamento prévio e executados novos levantamentos em campo, cinemáticos com variações de velocidade, para avaliar o comportamento deste receptor.



Figura 10 - Área de estudo talhão de plantio da fazenda escola da UEPG
 Fonte Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

- Área cercada nos fundos do LAGEH, no Centro Politécnico da UFPR, em Curitiba-PR. A Figura 11 mostra imagem ilustrativa do Google Earth do local com indicação do marco geodésico de número 93970, com coordenadas geodésicas iguais a latitude 25° 26' 54,56200" Sul e de longitude 49° 13' 52,21251" Oeste e altitude geométrica igual a 923,78 m (sistema de referência SIRGAS 2000). Neste local de estudo, a metodologia de caminhamento utilizada foi na borda do polígono, com velocidade entre 3 km/h e 5 km/h (realizada a pé), sendo registradas as coordenadas com ambos os receptores simultaneamente - receptor GPS Gstar GS-87 e receptor GPS Leica GX-1230 - para posterior análise das distâncias encontradas.



Figura 11 - Área de estudo fundos do LAGEH da UFPR

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

- Ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR em Curitiba-PR. A Figura 12 mostra imagem ilustrativa do Google Earth do local com indicação do marco geodésico de número 93970 (ponto vermelho), com coordenadas geodésicas iguais a latitude $25^{\circ} 26' 54,56200''$ Sul e de longitude $49^{\circ} 13' 52,21251''$ Oeste e altitude geométrica igual a 923,78 m (sistema de referência SIRGAS 2000). A velocidade empregada nesse levantamento cinemático variou entre 0 km/h e 30 km/h (foi realizado utilizando veículo GM S10), sendo que as antenas de ambos os receptores foram fixadas no teto do veículo com uma distância de 1 m entre elas. Usou-se metodologia de caminhamento, sendo coletadas as coordenadas com ambos os receptores simultaneamente - receptor GPS Gstar GS-87 e

receptor GPS Leica GX-1230 - para posterior análise das distâncias horizontal, vertical e bidimensional encontradas.



Figura 12 - Área de estudo, ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

4.2.3. Levantamento absoluto cinemático com diferentes velocidades

Durante a realização dos levantamentos cinemáticos foi identificada uma característica não esperada do receptor GPS Gstar GS-87. Aparentemente este receptor não registra alteração das coordenadas se a velocidade de deslocamento for inferior a 9 km/h. Portanto realizaram-se levantamentos cinemáticos com diferentes velocidades. Para tal avaliação foram efetuados seis levantamentos cinemáticos com faixas diferentes de

velocidade, sendo três entre 5 e 8 km/h, uma entre 10 e 12 km/h, uma entre 11 e 16 km/h e uma última entre 14 e 20 km/h.

Os seis levantamentos cinemáticos foram realizados no trecho de aproximadamente 350 m na Rua Octacília Hasselmann de Oliveira, próximo ao cruzamento com a Avenida Vereador Ernani Batista Rosas. A Figura 13 mostra imagem ilustrativa do Google Earth do trecho utilizado, com indicação do ponto inicial com as coordenadas de latitude 25° 04' 05,82896" Sul e de longitude 50° 09' 08,04993" Oeste (sistema de referência WSG-84).



Figura 13 - Área de estudo Rua Octacília Hasselmann de Oliveira, Ponta Grossa-PR
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

4.2.4. Análise estatística dos dados coletados nos levantamentos absolutos estáticos e cinemáticos

Após todos os levantamentos realizados, os dados coletados e armazenados pelo Friendly ARM modelo Mini6410 foram analisados mediante estatística, para avaliar a precisão e a acurácia das coordenadas obtidas com o emprego receptor GPS Gstar GS-87.

Considerando que as coordenadas fornecidas pelos receptores utilizados nesta pesquisa estão em notação geodésica, estas distâncias foram convertidas em notação métrica, haja vista que, a avaliação e a compreensão destas distâncias são facilitadas quando realizadas nesta notação. Para isso foram calculados os valores dos arcos infinitesimais para latitude e para longitude em cada local de estudo, segundo equações dadas por Gemael (1959).

A equação 3.1 foi utilizada para calcular a primeira excentricidade do elipsoide de revolução (e^2).

$$e^2 = f(2 - f) \quad (3.1)$$

Onde:

e^2 = Primeira excentricidade do elipsóide;

f = Fator de achatamento do elipsóide.

Para calcular o raio de curvatura da seção transversal (N) foi utilizada a equação 3.2.

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 j}} \quad (3.2)$$

Onde:

a = Semi eixo maior do elipsóide;

j = Latitude média da região.

O cálculo do raio de curvatura da seção meridiana (M) foi efetuado utilizando-se a equação 3.3.

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 j)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.3)$$

Os valores dos parâmetros definidores do WSG 84 utilizados nas equações anteriores são apresentados a seguir (IBGE, 2012a).

$$f = \frac{1}{298,257223563}$$

$$a = 6.378.137m$$

A equação 3.4 foi utilizada no cálculo do arco de deslocamento infinitesimal em latitude geodésica (dj).

$$^dj = \sqrt{M^2 \cdot (1'')^2} \quad (3.4)$$

Onde:

$$1'' = 0,0000044848 \text{ rad}$$

O cálculo do arco de deslocamento infinitesimal em longitude geodésica (dl) foi realizado utilizando-se a equação 3.5.

$$dl = \sqrt{N^2 \cdot \cos^2 j \cdot (1'')^2} \quad (3.5)$$

Onde:

$$1'' = 0,0000044848 \text{ rad}$$

Utilizando os valores do arco infinitesimal, equações 3.4 e 3.5, calculado com a latitude média de cada área de estudo, foram calculados os valores das distâncias vertical, horizontal e bidimensional das coordenadas coletadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 em relação às coordenadas geodésicas precisas dos marcos geodésicos, descritos em 4.2.1, utilizados nos levantamentos estáticos.

A Tabela 1 mostra exemplo do cálculo da distância métrica vertical para os dados coletados no marco geodésico de número 96006, com as colunas Hr UTC (horário da coleta sem deslocamento de fuso horário), Lat. Marco (latitude homologada do marco geodésico), Lat. GS-87 (latitude calculada pelo receptor GPS Gstar GS-87), Dist. Geodésica (distância geodésica entre a latitude homologada e a latitude calculada pelo receptor GPS Gstar GS-87), Arc. Inf. Lat. (valor do arco infinitesimal calculado para a latitude média da área de estudo, esse valor é apresentado em metros) e Dist. (m) (distância métrica, calculada pela multiplicação da Dist. Geodésica pelo valor do Arc. Inf. Lat.). Ao final da tabela têm-se os valores da média aritmética, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo das distâncias encontradas.

Tabela 1 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento estático realizado no marco de número 96005

Hr UTC	Lat. Marco	Lat. GS-87	Dist. Geod.	Arc. Inf. Lat.	Dist. (m)
10:36:53	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
10:36:54	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
10:36:55	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
...	...	...	...	...	...
10:56:52	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
10:56:53	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
Média					0,726151679
Desv.padrão					0,000000000
Dist. mín.					0,726151679
Dist. máx.					0,726151679

Fonte: AUTOR

A análise estatística dos levantamentos absolutos cinemáticos foi realizada utilizando as coordenadas coletadas simultaneamente pelo receptor GPS Leica GX-1230 e pelo receptor GPS Gstar GS-87, considerando o horário da coleta como sendo parâmetro para parear os dados coletados. Da mesma forma, foram calculadas as distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as leituras coletadas pelos dois dispositivos receptores. Também foram calculados a média, o desvio padrão, os valores máximo e mínimo dessas distâncias.

A Tabela 2 exibe um exemplo do cálculo da distância métrica vertical para os dados coletados em levantamento cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, utilizando os receptores GPS Leica GX-1230 e Gstar GS87. Observa-se nas colunas: Hr UTC (horário da coleta sem deslocamento de fuso horário), Lat. Leica GX 1230 (latitude calculada pelo receptor GPS Leica GX-1230), Lat. GS-87 (latitude calculada pelo receptor GPS Gstar GS-87), Dist. Geod. (distância geodésica entre a latitude coletada pelo receptor GPS Leica GX-1230 e a latitude coletada pelo receptor GPS Gstar GS-87), Arc. Inf. Lat. (valor do arco infinitesimal calculado para a latitude média da área de estudo, este valor é apresentado em metros) e Dist. (m) (distância métrica, calculada pela multiplicação da Dist. Geodésica pelo valor do Arc. Inf. Lat.). Ao final da tabela têm-se os valores da média, desvio padrão, valores máximo e mínimo das distâncias calculadas.

Tabela 2 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento absoluto cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR

Hr UTC	Lat. Leica GX-1230	Lat. GS-87	Dist. Geod.	Arc. Inf. Lat.	Dist. (m)
16:38:43	-25° 27' 21,016'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0340"	30,771879	1,046
16:38:44	-25° 27' 21,016'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0340"	30,771879	1,046
16:38:45	-25° 27' 21,012'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0299"	30,771879	0,923
16:38:46	-25° 27' 21,005'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0230"	30,771879	0,708
16:38:47	-25° 27' 21,006'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0240"	30,771879	0,739
16:38:48	-25° 27' 21,026'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0440"	30,771879	1,354
...	...	...	...	...	...
16:58:18	-25° 26' 57,897'	-25° 26' 20,980"	0° 0' 0,1050"	30,771879	3,231
16:58:19	-25° 26' 57,966'	-25° 26' 20,980"	0° 0' 0,1739"	30,771879	5,354
16:58:20	-25° 26' 58,001'	-25° 26' 20,980"	0° 0' 0,2090"	30,771879	6,431
Média					69,902
Desvio padrão					40,181
Dist. mínima					0,308
Dist. máxima					171,646

Fonte: AUTOR

O receptor GPS Leica GX-1230 calcula, além das coordenadas geodésicas, o valor do erro vertical, horizontal e para altitude geométrica. Esses erros foram utilizados, conforme mostra a Tabela 3, para avaliar a precisão dos dados coletados. Um exemplo do cálculo da distância métrica considerando o erro em latitude. Para tal foram adicionadas a coluna Dist. (m) Menor (distância métrica decrescida do valor do erro na latitude) e também a coluna Dist. (m) Maior (distância métrica acrescida do valor do erro na latitude). Ao final da tabela são apresentados os valores da média, desvio padrão, valores máximo e mínimo das distâncias calculadas.

Tabela 3 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento absoluto cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, considerando o erro em latitude

Hora UTC	Dist. (m)	Erro Lat. (m)	Dist. (m) Menor	Dist. (m) Maior
16:38:43	1,046	0,020	1,026	1,066
16:38:44	1,046	0,024	1,022	1,070
16:38:45	0,923	0,024	0,899	0,947
16:38:46	0,708	0,024	0,684	0,732
16:38:47	0,739	0,024	0,715	0,763
16:38:48	1,354	0,024	1,330	1,378
...	...	...	...	...
16:58:18	3,231	0,045	3,186	3,276
16:58:19	5,354	0,045	5,309	5,399
16:58:20	6,431	0,045	6,386	6,476
Média	69,902		69,318	70,486
Desvio padrão	40,181		40,023	40,378
Dist. Mínima	0,308		-1,781	0,498
Dist. Máxima	171,646		171,624	171,668

Fonte: AUTOR

Segundo Gemael (1994), a média aritmética é um estimador eficiente, reúne predicados que a qualificam como um ótimo estimador da média populacional. O desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística. Portanto utilizou-se dessas duas grandezas estatísticas para avaliar a precisão e acurácia do receptor GPS Gstar GS-87.

4.2.5. Avaliação visual dos dados coletados nos levantamentos absolutos cinemáticos com diferentes velocidades

Após a realização dos levantamentos estáticos e cinemáticos, observou-se que o receptor GPS Gstar GS-87 não coletava adequadamente as pequenas variações de distância quando a velocidade de deslocamento era

baixa. Assim, para averiguar essa característica do receptor foi realizado o levantamento cinemático com diferentes velocidades, o que está descrito em 4.2.3. Com o objetivo de avaliar tais dados coletados, foi utilizado o *software* TrackMaker, para sobrepor os pontos coletados em cada um dos levantamentos sobre imagens ilustrativas do Google Earth da área de estudo. O objetivo desta sobreposição dos pontos coletados na imagem foi avaliar visualmente o intervalo de distância entre os pontos coletados, verificando se esta distância se repetia, haja vista que a velocidade de deslocamento foi constante.

A Figura 14 exibe a característica anteriormente apresentada. Durante o levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, houve um congestionamento no trecho exibido pela figura, impedindo a manutenção da velocidade. Desta forma, a velocidade empreendida ficou entre 0 km/h e 9 km/h, permanecendo o veículo parado em alguns momentos durante este levantamento. Observando-se as coordenadas das marcações coletadas de latitude e longitude, foi percebido que diversas destas marcações se repetiam, exatamente iguais, porém com hora UTC diferentes entre si. Tal fato indicou que o receptor GPS não registra variações nas coordenadas quando a velocidade é pequena e a distância entre a coleta atual e a anterior também é pequena. O ponto, na Figura 13, indicado pelo número 1, é um exemplo desta característica.

A Tabela 4 exibe conjunto de dados coletados durante o levantamento cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, em baixa velocidade, entre 3 km/h e 7 km/h. Na coluna Hr UTC, observa-se que os dados foram coletados entre as 16 h 42 min e 29 seg e as 16 h 43 min e 56 seg. Percebe-se que as coordenadas coletadas são exatamente iguais, porém, nesse intervalo de tempo, houve deslocamento em baixa velocidade e o receptor GPS Gstar GS-87 devia tê-lo registrado.

Tabela 4 - Exemplo de coleta realizada com velocidade entre 3 km/h e 9 km/h

(continua)

Hr UTC	Latitude	Longitude
16:42:29	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"
16:42:30	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"
16:42:31	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"

Tabela 4 - Exemplo de coleta realizada com velocidade entre 3 km/h e 9 km/h

(conclusão)

...	...	...
16:43:54	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"
16:43:55	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"
16:43:56	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"

Fonte: AUTOR

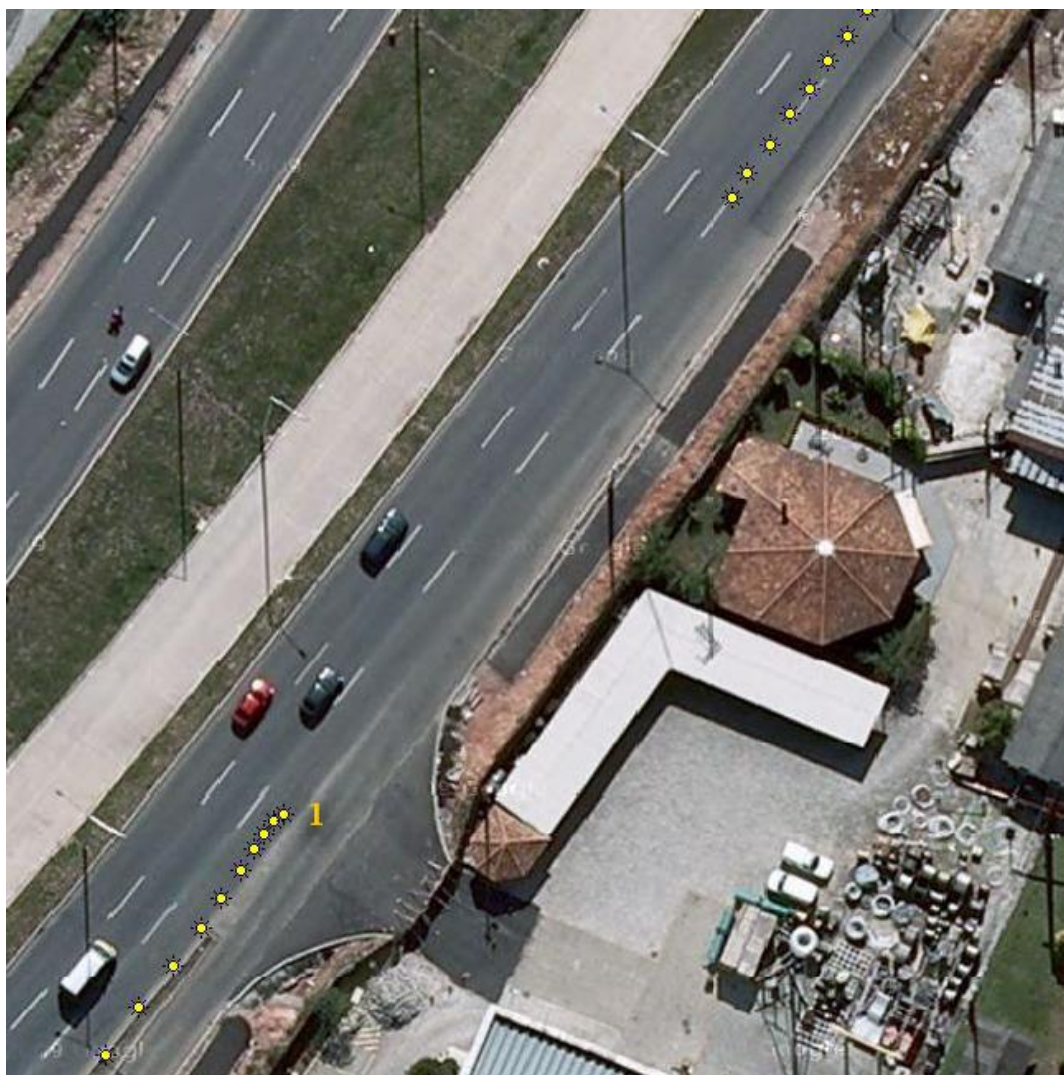


Figura 14 - Levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, durante congestionamento

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

A seção a seguir descreve os resultados obtidos com os levantamentos a campo realizados e descritos nesta seção.

5. RESULTADOS

Como primeiro resultado alcançado com o desenvolvimento desta pesquisa, apresenta-se o equipamento que foi adquirido, montado e programado para coletar e salvar os dados recebidos pelo receptor GPS Gstar GS-87. Para testar o equipamento, foram realizados levantamentos absolutos estáticos e cinemáticos, os quais atestaram a capacidade do conjunto desenvolvido tanto para o propósito do estudo, apresentado na seção 6, como para outras atividades, tais como: rastreamento de veículos, coleta de dados para a construção de mapas de colheitas, coleta de dados para a construção de mapas de solos, ou outras que necessitem de dados georreferenciados, com a precisão e acurácia compatíveis à do equipamento, verificada nesta pesquisa. Na Figura 15, observa-se a fotografia do dispositivo completo, com destaque para o conjunto de baterias (1), a placa principal do Friendly ARM modelo Mini6410 com tela sensível ao toque de 4,3 polegadas (2), o receptor GPS Gstar GS-87 (3), este conectado à antena de recepção de sinal GPS (4).

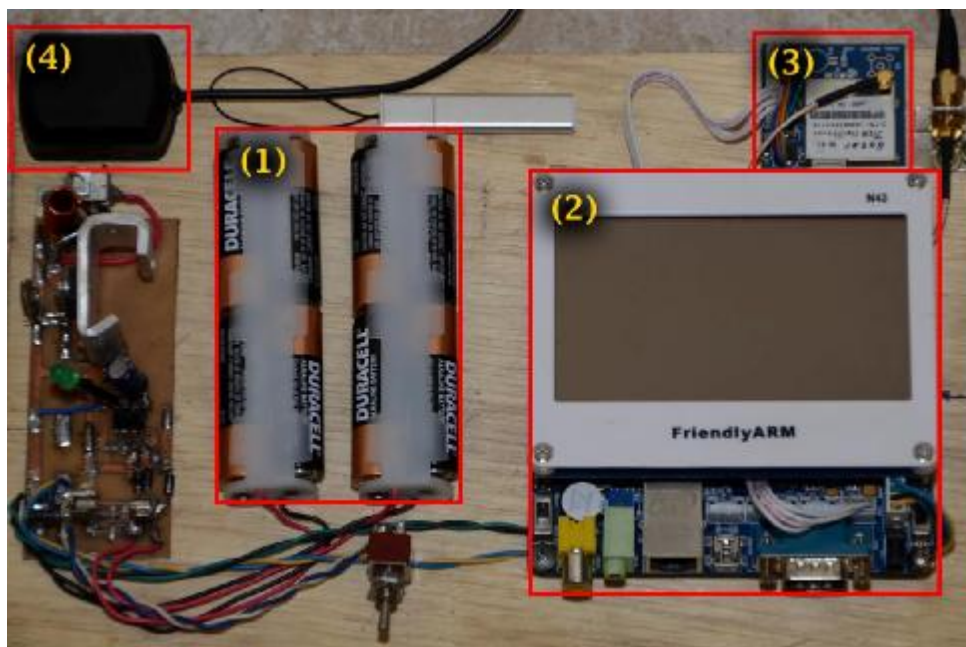


Figura 15 - Dispositivo completo, composto de conjunto de baterias (1), Friendly ARM (2), receptor GPS Gstar GS-87(3) e antena de recepção(4)
Fonte: AUTOR

A seguir são apresentados os resultados dos levantamentos absolutos a campo: estático (seção 4.2.1), cinemático (seção 4.2.2) e cinemático com alteração de velocidade (seção 4.2.3).

5.1. Levantamentos absolutos estáticos

Conforme apresentado em 4.2.1 foram realizadas nove campanhas para coletar dados em três marcos geodésicos previamente descritos e cujos resultados são apresentados a seguir.

5.1.1. Levantamento absoluto estático no marco geodésico Castro (96005)

O levantamento absoluto estático no marco geodésico Castro (96005), foi realizado no dia 05 de outubro de 2011, com céu aberto e sem nuvens. A campanha da manhã iniciou-se às 08 h e 36 min, a campanha da tarde teve início às 12 h e a campanha da noite, às 17 h 20 min.

Após a realização das três campanhas (manhã, tarde e noite), no marco geodésico Castro, os dados coletados foram analisados estatisticamente. Utilizando as equações 3.4 e 3.5, descritos em 4.2.4, com a latitude desse marco $24^{\circ} 47' 17,2495''$ Sul, foram calculados os valores dos arcos infinitesimais para latitude e longitude respectivamente: 30,769138 m e 28,089374 m. Tem-se que os valores de e^2 , N e M para essa latitude são 0,006694379990141, 6.381,89 e 6.346,64 respectivamente.

Para o cálculo das distâncias métricas vertical, horizontal e bidimensional, primeiramente foi calculada a distância geodésica em graus das coordenadas calculadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 (latitude e longitude) em relação às coordenadas oficiais do marco geodésico Castro, para posteriormente converter esta distância em notação métrica, por meio da multiplicação destas distâncias pelo valor do arco infinitesimal da latitude e da longitude, apresentando em 4.2.4.

A Tabela 5 exibe o conjunto com os três valores iniciais e os três valores finais de cada uma das campanhas realizadas nos três períodos do dia no marco geodésico Castro, onde têm-se: Período (período do dia em que foi realizada a coleta), Hr UTC (hora da coleta, sem deslocamento de fuso

horário), Latitude (latitude calculada pelo receptor), Dist. Lat. (distância da latitude coletada em relação à latitude do marco geodésico), Longitude (longitude calculado pelo receptor), Dist. Long. (distância da longitude coletada em relação à longitude do marco geodésico) e Dist. Bidim. (distância bidimensional da latitude e longitude calculadas em relação às coordenadas do marco geodésico). Pode-se observar que, nos dados apresentados, os valores se repetem durante as campanhas, porém não são iguais nas diferentes campanhas realizadas em períodos distintos do dia (manhã, tarde e noite).

Tabela 5 – Coordenadas coletadas no marco geodésico Castro (96005)

Período	Hr UTC	Latitude	Dist.Lat.	Longitude	Dist.Long.	Dist.Bidim.
Manhã	10:36:53	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Manhã	10:36:54	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Manhã	10:36:55	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
...	...	...	...	...	...	...
Manhã	10:56:51	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Manhã	10:56:52	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Manhã	10:56:53	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Tarde	14:00:17	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Tarde	14:00:18	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Tarde	14:00:19	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
...	...	...	...	...	...	...
Tarde	14:20:15	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Tarde	14:20:16	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Tarde	14:20:17	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Noite	19:20:43	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
Noite	19:20:44	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
Noite	19:20:45	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
...	...	...	...	...	...	...
Noite	19:40:41	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
Noite	19:40:42	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
Noite	19:40:43	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053

Observação: As colunas de distâncias são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

Após calcular as distâncias métricas (vertical, horizontal e bidimensional), foram calculadas as médias aritméticas para esse conjunto de dados coletados, bem como, o desvio padrão entre elas. A Tabela 6 mostra os valores da média aritmética das distâncias vertical, horizontal e bidimensional, bem como os valores do desvio padrão dessas médias para a campanha realizada no marco geodésico Castro. Nesta tabela têm-se as colunas: Per. (período em que a coleta foi realizada), Leit. (número de observações coletadas), Sat. (média aritmética do número de satélites), PDOP (média aritmética do valor PDOP), Méd. Dist. (média aritmética das distâncias

encontradas) e Desv. Pad. (desvio padrão das médias), sendo as duas últimas colunas calculadas para latitude, longitude e distância bidimensional. Observa-se que, nos três períodos de coleta de dados, todas as 1200 leituras das coordenadas de cada campanha (manhã, tarde e noite) foram exatamente iguais, sendo que o desvio padrão para essas campanhas foi igual a zero. Percebe-se também que a menor média aritmética das distâncias foi encontrada na campanha da manhã para a latitude com o valor de 0,726152 m e a maior média aritmética das distâncias ocorreu na campanha da tarde para a distância bidimensional com o valor de 17,793800 m. A média aritmética total da distância bidimensional encontrada foi de 6,867310 m com um desvio padrão de 7,732754 m.

Tabela 6 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico Castro (96005)

Castro									
				Latitude		Longitude		Bidimensional	
Per.	Leit.	Sat	PDOP	Méd.Dist.	Desv.Pad	Méd.Dist.	Desv.Pad	Méd.Dist.	Desv.Pad
Man.	1.200	10,55	1,30	0,726152	-	0,707852	-	1,014076	-
Tar.	1.200	7,78	2,14	10,50766	-	14,35996	-	17,7938	-
Noi.	1.200	8,07	2,05	1,676918	-	0,637629	-	1,794053	-
Tot	3.600			4,303577	4,404088	5,235146	6,452279	6,86731	7,732754

Observação: As colunas Méd. Dist. e Desv. Pad. são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

Foi realizado levantamento de obstruções no dia 28/08/2012, para construir o mapa de obstrução vertical, que foi utilizado para avaliar a disponibilidade de satélites para o marco Castro – 96005, para a data do levantamento, que pode ser observado no apêndice 1, onde tem-se que esse marco não é encoberto significativamente por obstruções, que possam prejudicar as leituras (GNSS,2012).

5.1.2. Levantamento absoluto estático no marco geodésico UEPG Campus (91643)

O levantamento estático no marco geodésico UEPG Campus (91643) foi realizado no dia 20 de setembro de 2011, com céu aberto e sem nuvens. A campanha da manhã iniciou às 08 h 14 min, a campanha da tarde, às 14 h 29 min e a campanha da noite, às 19 h 31 min.

Os valores dos arcos infinitesimais para a latitude 25° 05' 43,3920" Sul, do marco geodésico UEPG Campus, calculados pela aplicação das equações 3.4 e 3.5 descritas em 4.2.4, são: 30,770407 m para latitude e

28,019790 m para longitude. Tem-se que os valores de e^2 , N e M para essa latitude são 0,00669437999014, 6.381,98 e 6.346,90 respectivamente.

O procedimento para o cálculo das distâncias métricas vertical, horizontal e bidimensional foi o mesmo utilizado nos cálculos das distâncias dos levantamentos do marco geodésico Castro, apresentado em 5.1.1.

A Tabela 7 exibe o conjunto com os três valores iniciais e os três valores finais de cada uma das campanhas realizadas nos três períodos do dia, no marco geodésico UEPG Campus. Esta tabela mostra as mesmas colunas previamente descritas em 5.1.1. O padrão de repetição das coordenadas coletadas, durante as campanhas, ocorreu também neste levantamento, porém observou-se que no levantamento realizado pela manhã as primeiras quatro leituras são diferentes entre si, e as demais são iguais. Nas campanhas da tarde e da noite, as coordenadas se repetem nas 1200 leituras de cada campanha, tanto para latitude como para longitude.

Tabela 7 – Coordenadas coletadas no marco geodésico UEPG Campus (91643)

Período	Hr Utm	Latitude	Dist.Lat.	Longitude	Dist.Long.	Dist.Bidim.
Manhã	10:14:58	-25 05' 43,96200"	17,539132	-50 06' 20,47799"	55,529622	58,233668
Manhã	10:14:59	-25 05' 43,81800"	13,108194	-50 06' 20,05801"	43,764111	45,685032
Manhã	10:15:00	-25 05' 43,77001"	11,631214	-50 06' 19,90800"	39,561143	41,235533
...	...	...	...	...	...	...
Manhã	10:34:56	-25 05' 43,72800"	10,338857	-50 06' 19,77599"	35,859728	37,320398
Manhã	10:34:57	-25 05' 43,72800"	10,338857	-50 06' 19,77599"	35,859728	37,320398
Manhã	10:34:58	-25 05' 43,72800"	10,338857	-50 06' 19,77599"	35,859728	37,320398
Tarde	16:29:07	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Tarde	16:29:08	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Tarde	16:29:09	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
...	...	...	...	...	...	...
Tarde	16:49:05	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Tarde	16:49:06	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Tarde	16:49:07	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Noite	23:31:46	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
Noite	23:31:47	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
Noite	23:31:48	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
...	...	...	...	...	...	...
Noite	23:51:44	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
Noite	23:51:45	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
Noite	23:51:46	-25 05' 43,1200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678

Observação: As colunas de distâncias são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

A Tabela 8 mostra os valores da média aritmética das distâncias vertical, horizontal e bidimensional, bem como os valores do desvio padrão dessas médias para os dados coletados no marco geodésico UEPG

Campus. Nesta tabela têm-se as colunas: Per. (período em que a coleta foi realizada), Leit. (número de observações coletadas), Sat. (média aritmética do número de satélites), PDOP (média aritmética do valor PDOP), Méd. Dist. (média aritmética das distâncias encontradas) e Desv. Pad. (desvio padrão das médias), sendo as duas últimas colunas calculadas para latitude, longitude e distância bidimensional. Nota-se que a menor média aritmética das distâncias foi encontrada na campanha da tarde para a longitude com o valor de 0,787356 m e a maior média aritmética das distâncias ocorreu na campanha da manhã para a distância bidimensional com o valor de 37,348036 m. A média aritmética total da distância bidimensional encontrada foi de 15,619649 m, com um desvio padrão de 15,382869 m.

Tabela 8 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico UEPG Campus (91643)

Campus UEPG									
				Latitude		Longitude		Bidimensional	
Per.	Leit.	Sat.	PDOP	Méd.Dist.	Desv.Pad.	Méd.Dist.	Desv.Pad.	Méd.Dist.	Desv.Pad.
Man.	1.200	8,22	1,85	10,34823	0,225512	35,88577	0,620407	37,34804	0,659108
Tar.	1.200	9,03	1,67	3,877071	-	0,787356	-	3,956212	-
Noi.	1.200	8,87	1,44	3,692449	-	4,149731	-	5,554678	-
Total	3.600			5,72585	3,097707	13,60762	15,81678	15,61965	15,38287

Observação: As colunas Méd. Dist. e Desv. Pad. são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

Durante a realização das campanhas no marco geodésico UEPG Campus observou-se um detalhe pertinente, este marco está posicionado próximo de obstruções, como árvores, construções e redes de energia elétrica, que podem estar interferindo na qualidade do sinal que chega até o receptor. Monico (2000) observa que existem fatores que influenciam na qualidade da recepção de sinal GPS, provocando erros nos dados coletados, que podem ser significativos. Um dos problemas apontados pelo autor é conhecido por multicaminhamento ou sinais refletidos:

O receptor pode, em algumas circunstâncias, receber, além do sinal que chega diretamente à antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas a ela, tais como construções, carros, árvores, massa de água, cercas, etc. (MONICO, 2000, p. 145).

Foi realizado levantantamento das obstruções, em 14/09/2011, para construir o mapa de obstrução vertical e o gráfico de disponibilidades de

satélites para o marco UEPG Campus, para a data do levantamento, que podem ser observados no apêndice 2, eles mostram que na campanha da manhã o número de satélites sem obstrução foi de 4 satélites, sendo que o receptor GPS registrou recepção de sinal de 8 e em alguns momentos 9 satélites, isso indica que podem haver problemas de multicaminhamento nos sinais recebidos (GNSS,2012). A Figura 16 mostra fotografia capturada no local desse marco, ilustrando a situação apontada.



Figura 16 - Obstruções (árvores) nas proximidades do marco geodésico UEPG Campus (91643)

Fonte: AUTOR

5.1.3. Levantamento absoluto estático no marco geodésico UFPR Pilar 1000

As campanhas dos levantamentos estáticos no marco geodésico UFPR Pilar 1000 foram realizadas no dia 15 de dezembro de 2011, com céu aberto e sem nuvens. A campanha da manhã iniciou às 09 h 31 min, a da tarde às 13 h 19 min e a da noite às 16 h e 06 min.

Com as equações 3.4 e 3.5, descritas em 4.2.4, foram calculados os valores dos arcos infinitesimais para a latitude $25^{\circ} 26' 55,05943$ Sul, do marco geodésico UFPR Pilar 1000, cujos valores são: 30,771880 m para latitude e 27,938800 m para longitude. Tem-se que os valores de e^2 , N e M para essa latitude são 0,00669437999014, 6.382,08 e 6.347,20 respectivamente.

Utilizando os valores dos arcos infinitesimais da latitude e da longitude foram calculadas as distâncias métricas vertical, horizontal e bidimensional. Primeiramente foi calculada a distância geodésica em graus das coordenadas coletadas (latitude e longitude) em relação às coordenadas oficiais do marco geodésico UFPR Pilar 1000, para posteriormente convertê-la em notação métrica, pela multiplicação desta distância pelo valor do arco infinitesimal da latitude e da longitude, conforme descrito em 4.2.4. A Tabela 9 exibe um conjunto com os três valores iniciais e os três valores finais de cada uma das campanhas realizadas nos três períodos do dia no marco geodésico UFPR Pilar 1000.

O mesmo comportamento apresentado nos levantamentos realizados nos marcos geodésicos Castro e UEPG Campus também se repetiu nesta campanha. As 1200 leituras efetuadas em cada uma das três campanhas realizadas neste marco geodésico tiveram exatamente os mesmo valores, sendo os desvios padrões das médias aritméticas das distâncias iguais a zero.

Tabela 9 – Coordenadas coletadas no marco geodésico UFPR Pilar 1000

Período	Hr UTC	Latitude	Dif.Lat.	Longitude	Dif.Long.	Dif.Bidim.
manhã	11:31:29	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
manhã	11:31:30	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
manhã	11:31:31	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
...	...	...	...	...	...	...
manhã	11:51:27	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
manhã	11:51:28	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
manhã	11:51:29	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
tarde	15:19:33	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
tarde	15:19:34	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
tarde	15:19:35	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
...	...	...	...	...	...	...
tarde	15:39:31	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
tarde	15:39:32	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
Tarde	15:39:33	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
Noite	18:06:58	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
Noite	18:06:59	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
Noite	18:07:00	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
...	...	...	...	...	...	...
Noite	18:26:56	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
Noite	18:26:57	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
Noite	18:26:58	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613

Observação: As colunas de distâncias são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

A Tabela 10 mostra as colunas: Per. (período em que a coleta foi realizada), Leit. (número de observações coletadas), Sat. (média aritmética

do número de satélites), PDOP (média aritmética do valor PDOP), Méd. Dist. (média aritmética das distâncias encontradas) e Desv. Pad. (desvio padrão das médias), sendo as duas últimas colunas calculadas para latitude, longitude e distância bidimensional. Observa-se que a menor média das distâncias ocorreu na campanha da manhã para a longitude com o valor de 0,2999504 m e a maior média das distâncias ocorreu na campanha da tarde para a distância bidimensional com o valor de 3,026233 m. A média aritmética total da distância bidimensional encontrada foi de 2,048850 m com um desvio padrão de 0,925258 m.

Tabela 10 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico UFPR Pilar 1000

UFPR Pilar 1000									
				Latitude		Longitude		Bidimensional	
Per.	Leit.	Sat.	PDOP	Méd. Dist.	Desv.Pad.	Méd.Dist.	Desv.Pad.	Méd.Dist.	Desv.Pad.
Man.	1.200	8,78	1,60	2,693463	-	0,2999504	-	0,806703	-
Tar.	1.200	9,99	1,59	2,693463	-	1,379618	-	3,026233	-
Noi.	1.200	8,78	1,54	1,556134	-	1,71209	-	2,313613	-
Total	3.600			2,314353	0,536142	1,130404	0,603009	2,04885	0,925258

Observação: As colunas Méd. Dist. e Desv. Pad. são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

O marco geodésico UFPR Pilar 1000, está situado numa área descampada, sem obstruções verticais, essa condição evita a situação de multicaminhamento.

Foi construída a Tabela 11, que mostra as distâncias para latitude, longitude e bidimensional, para todos os levantamentos absolutos estáticos realizados nos 3 marcos geodésicos, onde tem-se: Local (local do marco geodésico), Per. (período do dia), Leit. (números de leituras coletadas), Méd.Dist.Lat. (média aritmética das distâncias de latitude), Méd.Dist.Long (média aritmética das distâncias de longitude) e Méd.Dist.Bidim. (média aritmética das distâncias bidimensionais). Pode-se observar que a média aritmética das distâncias da latitude foi em 4,196838 m com desvio padrão de 3,462691 m, sendo o valor máximo encontrado de 10,50766. Para longitude obteve-se a média aritmética das distâncias igual a 6,657723 m, com desvio padrão igual a 11,149200 m e a maior distância encontrada igual a 35,88577 m. Pode-se também observar que a média aritmética das distâncias bidimensionais foi igual a 8,178600 m com desvio padrão de 11,428056 m. Observa-se que os maiores valores de distância encontrados foram no

levantamento UEPG Campus, vale ressaltar que esse marco pode ter problemas de obstrução, conforme descrito em 5.1.2.

Tabela 11 - Dados finais dos nove levantamentos estáticos realizados nos marcos geodésicos, com indicação de cada campanha

Local	Per.	Leit.	N.Sat.	PDOP	Méd.Dist.Lat.	Méd.Dist.Long.	Méd.Dist.Bidim.
Castro	Man.	1.200	10,55	1,30	0,726152	0,707852	1,014076
Castro	Tar.	1.200	7,78	2,14	10,50766	14,35996	17,7938
Castro	Noi.	1.200	8,07	2,05	1,676918	0,637629	1,794053
UEPG Campus	Man.	1.200	8,22	1,85	10,34823	35,88577	37,34804
UEPG Campus	Tar.	1.200	9,03	1,67	3,877071	0,787356	3,956212
UEPG Campus	Noi.	1.200	8,87	1,44	3,692449	4,149731	5,554678
UFPR Pilar 1000	Man.	1.200	8,78	1,60	1,556134	1,71209	2,313613
UFPR Pilar 1000	Tar.	1.200	9,99	1,59	2,693463	0,299504	0,806703
UFPR Pilar 1000	Noi.	1.200	8,78	1,54	2,693463	1,379618	3,026233
Média					4,196838	6,657723	8,1786
Desvio					3,462691	11,149200	11,42806
Máximo					10,50766	35,88577	37,34804
Mínimo					0,726152	0,299504	0,806703

Observação: Os valores das médias das distâncias são apresentados em metros.

Fonte: AUTOR

As comparações realizadas entre as coordenadas calculadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 e as coordenadas dos marcos geodésicos permitem a avaliação da acurácia das observações. Para avaliar a precisão das observações coletadas, foram calculadas as médias aritméticas da latitude e longitude em cada campanha, que podem ser visualizadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Média aritmética das coordenadas de latitude e longitude dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos

Local	Período	Latitude	Longitude
UEPG	Manhã	-25 05' 43,72829"	-50 06' 19,77692"
UEPG	Tarde	-25 05' 43,51801"	-50 06' 18,46800"
UEPG	Noite	-25 05' 43,51200"	-50 06' 18,34801"
Castro	Manhã	-24 47' 17,22599"	-50 00' 00,31799"
Castro	Tarde	-24 47' 16,90800"	-49 59' 59,82601"
Castro	Noite	-24 47' 17,30400"	-50 00' 00,27000"
UFPR	Manhã	-25 26' 54,97199"	-49 13' 52,29599"
UFPR	Tarde	-25 26' 54,97199"	-49 13' 52,35600"
UFPR	Noite	-25 26' 55,11001"	-49 13' 52,36799"

Fonte: AUTOR

Utilizando a mesma metodologia previamente descrita, foram calculadas as distâncias verticais, horizontais e bidimensionais das distâncias entre as observações de cada local de campanha, por exemplo, distância entre

a coleta realizada no marco geodésico UEPG Campus pela manhã, com a coleta realizada nesse mesmo marco geodésico no período da tarde.

A Tabela 13 mostra as distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as observações de cada campanha. Têm-se as colunas: Local (local da observação), Per. 1 (período 1 da comparação), Per. 2 (período 2 da comparação), Dist. Seg (distância em segundos) e Dist. Mét. (distância métrica) para latitude e longitude, bem como Dist. Mét. (distância métrica) bidimensional. Ao final pode-se visualizar a média aritmética, o desvio padrão e os valores máximo e mínimo para as colunas de distâncias métricas. A média aritmética das distâncias bidimensionais é de 13,776884 m, com um desvio padrão de 14,260327 m, sendo o valor máximo de 40,586406 m e o valor mínimo de 1,676607 m.

Considerando que o marco geodésico UEPG Campus pode ter problemas relacionados com obstrução e multicaminhamento, conforme apresentado em 5.1.2, ao final da Tabela 13 são apresentados os cálculos da média aritmética, desvio padrão, valores máximo e mínimo, desconsiderando-se os dados das coletas realizadas nas campanhas do marco UEPG Campus. Pode-se observar que os valores da média aritmética, desvio padrão e valor máximo diminuíram para 7,132839 m, 5,592810 m e 16,929026 m respectivamente. O valor mínimo manteve-se em 1,676607 m.

Tabela 13 - Distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as campanhas, dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos

(continua)

			Latitude		Longitude		Bidimens.
Marco	Per. 1	Per. 2	Dist.Seg	Dist.Mét	Dist.Seg	Dist.Mét	Dist. Mét.
UEPG	Manhã	Tarde	0,210200	6,467940	1,308900	36,675104	37,241073
UEPG	Manhã	Noite	0,216200	6,652562	1,428900	40,037479	40,586406
UEPG	Tarde	Noite	0,006000	0,184622	0,120000	3,362375	3,367440
Castro	Manhã	Tarde	0,317900	9,781509	0,491900	13,817164	16,929026
Castro	Manhã	Noite	0,078100	2,403070	0,047900	1,345481	2,754099
Castro	Tarde	Noite	0,396000	12,184579	0,096000	2,696580	12,479403
UFPR	Manhã	Tarde	-	-	0,060010	1,676607	1,676607
UFPR	Manhã	Noite	0,138010	4,246827	0,071910	2,009079	4,698078
UFPR	Tarde	Noite	0,138010	4,246827	0,011900	0,332472	4,259821
Geral			Média	5,129771		11,328038	13,776884
			Desvio	3,877022		14,949554	14,260327
			Máximo	12,184579		40,037479	40,586406
			Mínimo	-		0,332472	1,676607

Tabela 13 14- Distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as campanhas, dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos

(conclusão)

			Latitude		Longitude		Bidimens.
Marco	Per. 1	Per. 2	Dist.Seg	Dist.Mét	Dist.Seg	Dist.Mét	Dist. Mét.
Desconsiderando UEPG			Média	5,477135		3,646230	7,132839
			Desvio	4,203047		4,604053	5,592810
			Máximo	12,184579		13,817164	16,929026
			Mínimo	-		0,332472	1,676607

Fonte: AUTOR

Com relação ao erro encontrado entre as campanhas dos levantamentos estáticos, observou-se que para a latitude a média das distâncias encontradas entre as coordenadas registradas pelo receptor e a coordenada dos marcos geodésicos foi de 4,20 m, sendo o desvio padrão de 3,46 m. O maior valor encontrado foi de 10,50 m e o menor valor foi de 0,72 m. Para a longitude, a média das distâncias encontradas foi de 6,65 m com desvio padrão de 11,14 m. O maior valor encontrado foi de 35,88 m e o foi de 0,30 m. Para a distância bidimensional, a média dos valores encontrados foi de 8,18 m com desvio padrão de 11,43 m. A maior distância bidimensional encontrada foi de 37,35 m e a menor foi de 0,81 m.

Neste sentido é importante destacar que as coordenadas registradas nos levantamentos estáticos no local UEPG Campus podem ter interferência das árvores muito próximas ao marco geodésico. Na Tabela 21 verificam-se os dados finais dos nove levantamentos estáticos realizados. Esses resultados permitem avaliar a acurácia do receptor GPS Gstar GS-87.

5.2. Levantamentos absolutos cinemáticos

Para avaliar o comportamento do receptor GPS Gstar GS-87 em movimento, foram executados diversos levantamentos absolutos cinemáticos, em diferentes condições e locais.

5.2.1. Levantamento absoluto cinemático na fazenda escola UEPG

Inicialmente estava prevista a realização de um levantamento cinemático a ser realizado simultaneamente com os receptores GPS Gstar GS-87 e Leica GX-1230, porém por problemas de logística não houve a possibilidade de realizar com ambos os receptores GPS. O levantamento foi realizado somente com o receptor GPS Gstar GS-87 e mostrou a característica

que posteriormente foi confirmada com os levantamentos cinemáticos em diferentes velocidades, de que este receptor GPS calcula as coordenadas quando em deslocamentos em velocidade igual ou superior a 9 km/h.

O levantamento cinemático na fazenda escola da UEPG foi realizado no dia 26 de agosto de 2011, com céu aberto e sem nuvens, apresentado na Figura 17. A campanha iniciou às 10 h 37 min. Esse levantamento foi realizado a pé, com velocidade variando de 3 a 5 km/h usando formato de grade. Em cada um dos conjuntos de pontos amarelos que são exibidos, estão identificados diversos conjuntos de coordenadas iguais com indicação de hora diferentes. Como exemplo, pode-se citar o ponto destacado pelo número 1, onde se tem 102 registros com as mesmas coordenadas, latitude 25° 05' 54.30001" Sul e longitude 50° 02' 46,14000" Oeste, sendo que o horário varia das 14h 36 min às 14 h 38 min.



Figura 17 - Pontos coletados na fazenda escola da UEPG, durante levantamento absoluto cinemático realizado a pé com velocidade entre 3 e 5 km/h

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

O anexo mostra, a título de exemplo, os dados coletados nessa campanha com a repetição das coordenadas de latitude e longitude em diferentes horários.

O levantamento absoluto cinemático realizado na fazenda escola UEPG foi repetido uma semana após a realização do primeiro, na mesma área, também com céu aberto e sem nuvens, iniciando às 11 h 45 min. Porém agora utilizando veículo moto Honda NX4 Falcon, com velocidade variando de 12 a 16 km/h. Os dados coletados neste levantamento apresentaram a característica esperada, com intervalos regulares de distância entre cada ponto de coleta, o que pode ser observado na Figura 18.



Figura 18 - Pontos coletados na fazenda escola da UEPG, durante levantamento absoluto cinemático realizado com veículo, velocidade entre 9 e 16 km/h
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

Estes levantamentos absolutos cinemáticos realizados na fazenda escola UEPG não permitiram realizar avaliações estatísticas para calcular as distâncias e comparar os dados com os do receptor GPS Leica GX-1230. Porém, após a realização do levantamento absoluto cinemático no LAGEH UFPR, fazendo comparações, contribuíram para determinar que o receptor GPS Gstar GS-87 apresentava a característica descrita nesta seção e que havia a necessidade de novos levantamentos cinemáticos, agora com

variação de velocidades para entender quais seriam os limites para o receptor detectar as variações de deslocamento.

5.2.2. Levantamento absoluto cinemático no LAGEH UFPR

O levantamento absoluto cinemático no LAGEH UFPR foi realizado no dia 02 de dezembro de 2011, iniciando às 13 h 01 min, com céu aberto e sem nuvens. Após coletar os dados com ambos os receptores GPS (Gstar GS-87 e Leica GX-1230), observou-se a mesma característica apresentada no primeiro levantamento absoluto cinemático realizado na fazenda escola UEPG, descrito em 5.2.1. Devido à baixa velocidade de deslocamento durante este levantamento (realizado a pé, entre 3 e 5 km/h), o receptor GPS Gstar GS-87 não alterou as coordenadas durante toda trajetória descrita. Todas as marcações registradas estavam sendo apresentadas com valores iguais, tanto para latitude quanto para longitude. Esse levantamento foi repetido novamente três horas após o primeiro, e os novos dados apresentaram esta mesma característica. Em virtude disto, foi alterada a metodologia e foi planejado um novo levantamento cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com velocidade de deslocamento igual e/ou superior a 9 km/h, o qual é descrito a seguir.

5.2.3. Levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR

Para avaliação da precisão do receptor GPS Gstar GS-87 em termos de variação de velocidade, foi realizado um levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com velocidade igual e/ou superior a 9 km/h. Para este levantamento realizado no dia 09 de dezembro de 2011, iniciado às 14 h 01 min, com céu aberto e sem nuvens, utilizou-se o veículo GM-S10, sendo que as antenas de ambos os receptores GPS (Leica GX-1230 e Gstar GS-87) foram fixadas no teto do veículo com uma distância de 1 m. Foi determinado o trajeto pela faixa de rolamento utilizada pelos veículos. A faixa de velocidade de deslocamento ficou entre 4 km/h e 35 km/h.

Durante a realização do levantamento ocorreu congestionamento na via, fazendo com o receptor GPS Gstar GS-87 apresentasse a mesma característica detectada no levantamento cinemático

realizado a pé nos fundos do LAGEH, ou seja, não alterou as coordenadas quando em deslocamentos em baixa velocidade. Em virtude deste fato, foi excluído o conjunto de dados no intervalo de 14 h 45 min 25 seg até 14 h 48 min 00 seg.

A Figura 19 ilustra esta situação, com um exemplo dos dados coletados nesse trecho. As marcações em amarelo foram coletadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 e as em preto foram coletadas pelo receptor GPS Leica GX-1230. No ponto destacado pelo número 1, existem 55 registros de coletas com as mesmas coordenadas, porém com tempos diferentes.



Figura 19 - Pontos coletados no contorno sul da BR-116 (Linha Verde), no momento do congestionamento enfrentado durante o levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

A Tabela 14 mostra um conjunto de dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 durante o congestionamento, quando a velocidade foi inferior a 9 km/h, pode-se observar a repetição das coordenadas de latitude e longitude durante um intervalo de tempo de 55 segundos.

Tabela 15 - Exemplo de dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, que se repetiam quando a velocidade de deslocamento foi inferior a 9 km/h

Hr UTC	Latitude	Longitude
16:45:10	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:45:11	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:45:12	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:45:13	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
...	...	...
16:46:00	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:46:01	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:46:02	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:46:03	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:46:04	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"

Fonte: AUTOR

Para avaliação dos dados coletados neste levantamento cinemático, os dados foram pareados pela hora UTC da coleta de ambos os receptores GPS. Foram calculadas as distâncias métricas verticais, horizontais e bidimensionais entre as coordenadas coletadas pelos dois receptores. O receptor GPS Leica GX-1230 tem precisão milimétrica e foi considerado verdade de campo para as coordenadas reais do local.

A Tabela 15 apresenta o conjunto com nove exemplos de valores coletados por ambos os receptores GPS, sendo três valores do início, três do meio e três do final da campanha. Observam-se as colunas: Hr UTC (hora da coleta sem deslocamento de fuso horário), Latitude e Longitude para ambos os receptores. Para o receptor Leica GX-1230 adicionalmente têm-se: Er. Lat (erro na latitude em unidade métrica) e Er. Long. (erro na longitude em unidade métrica).

Tabela 16 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR por ambos receptores GPS

Hr UTC	Leica GX-1230				Gstar GS-87	
	Latitude	Er.Lat.	Longitude	Er.Long.	Latitude	Longitude
16:38:17	-25° 27' 21,016"	0,022	-49° 14' 4,669"	0,016	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
16:38:18	-25° 27' 21,016"	0,022	-49° 14' 4,669"	0,016	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
16:38:19	-25° 27' 21,016"	0,022	-49° 14' 4,669"	0,016	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
...	...	...	...	...	...	...
16:52:16	-25° 27' 20,201"	0,212	-49° 13' 44,042"	0,292	-25° 27' 22,176"	-049° 13' 45,078"
16:52:17	-25° 27' 20,362"	0,212	-49° 13' 44,107"	0,292	-25° 27' 22,356"	-049° 13' 45,162"
16:52:18	-25° 27' 20,519"	2,387	-49° 13' 44,177"	2,389	-25° 27' 22,536"	-049° 13' 45,252"
...	...	...	...	...	...	...
16:58:18	-25° 26' 57,897"	0,045	-49° 13' 49,877"	0,027	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"
16:58:19	-25° 26' 57,966"	0,045	-49° 13' 49,935"	0,027	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"
16:58:20	-25° 26' 58,001"	0,045	-49° 13' 50,007"	0,027	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"

Fonte: AUTOR

Com as coordenadas pareadas pela hora UTC, foram calculadas as diferenças entre as coordenadas coletadas por ambos os receptores GPS. O valor do arco infinitesimal para latitude, calculado com a equação 3.4, é de 30,771879 m. O valor do arco infinitesimal para longitude, calculado com a equação 3.5, é de 27,938832 m. Tem-se que os valores de e^2 , N e M para essa latitude são 0,00669437999014132, 6.382,08 e 6.347,20 respectivamente. Foi considerada como latitude média da região a coordenada 25° 26' 54,562" Sul, que é a latitude do marco geodésico 93970, que fica localizado nos fundos do LAGEH. A Figura 11, apresentada em 4.2.2, exhibe a localização deste marco em relação à área de estudo para este levantamento absoluto cinemático.

A Tabela 16 exhibe o exemplo do conjunto de dados coletados, onde têm-se: Hr UTC (hora da coleta sem o deslocamento de fuso horário), Dist. Seg. (distância em segundos) e Dist. Mét. (distância métrica) para as coordenadas de latitude e longitude, bem como a Dist. Mét. (distância métrica) bidimensional. Para calcular a Dis. Mét. foi utilizado o valor do arco infinitesimal tanto para latitude, quanto para longitude, multiplicando-se estas pelo valor da Dist. Seg. Ao final da tabela são apresentados a média aritmética das distâncias, o desvio padrão e os valores mínimo e o máximo entre as distâncias calculadas, as quais foram coletadas por ambos os receptores GPS, tendo as coordenadas de latitude e longitude pareadas mediante Hr UTC.

Tabela 17 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas

Hr UTC	Latitude		Longitude		Bidimensional
	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Mét.
16:38:17	0,034	1,046244	0,113	3,157088	3,325933
16:38:18	0,034	1,046244	0,113	3,157088	3,325933
16:38:19	0,034	1,046244	0,113	3,157088	3,325933
...	...	...	...	...	...
16:52:16	1,975	60,774462	1,036	28,944630	67,315131
16:52:17	1,994	61,359128	1,055	29,475468	68,071623
16:52:18	2,017	62,066881	1,075	30,034245	68,951821
...	...	...	...	...	...
16:58:18	0,105	3,231047	0,409	11,426982	11,874999
16:58:19	0,174	5,354307	0,351	9,806530	11,173032
16:58:20	0,209	6,431323	0,279	7,794934	10,105588
Média		69,902060		51,288977	90,058014
Desvio		40,181444		32,475898	45,559232
Mínimo		0,307719		0,447021	0,893491
Máximo		171,645545		130,669919	214,650420

Fonte: AUTOR

O receptor GPS Leica GX-1230 calcula e registra os valores encontrados para os erros, em unidade métrica, para latitude e longitude no momento da coleta. Com esses valores, foram calculadas as distâncias métricas menor e maior. A Tabela 17 apresenta exemplo dos valores calculados para estas diferenças, para latitude e longitude, onde se tem: Hr UTC (hora da coleta, sem considerar o deslocamento de fuso horário); Erro (valor do erro, calculado e registrado pelo receptor GPS Leica GX-1230 em unidade métrica para o momento da coleta tanto para latitude quanto para longitude); Dist. Mét.< (distância métrica menor) que é obtida pela subtração da distância métrica e o erro no momento da coleta, tanto para latitude quanto para longitude; Dist. Mét.> (distância métrica maior) que é obtida pela soma da distância métrica e o erro no momento da coleta, tanto para latitude quanto para longitude.

Tabela 18 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas considerando erro

Hr UTC	Latitude				Longitude			
	Erro	Dist.Mét.	Dist.Mét.<	Dist.Mét.>	Erro	Dist.Mét.	Dist.Mét.<	Dist.Mét.>
16:38:17	0,022	1,046244	1,024244	1,068244	0,016	3,157088	3,141088	3,173088
16:38:18	0,022	1,046244	1,024244	1,068244	0,016	3,157088	3,141088	3,173088
16:38:19	0,022	1,046244	1,024244	1,068244	0,016	3,157088	3,141088	3,173088
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16:52:16	0,212	60,77446	60,56246	60,98646	0,037	28,94463	28,65263	29,23663
16:52:17	0,212	61,35913	61,14713	61,57113	0,037	29,47547	29,18347	29,76747
16:52:18	2,387	62,06688	59,67988	64,45388	0,037	30,03424	27,64524	32,423240
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16:58:18	0,045	3,231047	3,186047	3,276047	0,027	11,42698	11,39998	11,453980
16:58:19	0,045	5,354307	5,309307	5,399307	0,027	9,80653	9,77953	9,833530
16:58:20	0,045	6,431323	6,386323	6,476323	0,027	7,794934	7,767934	7,821934
Média		69,90206	69,31829	70,48583		51,28898	50,81334	51,764610
Desvio		40,18144	40,02301	40,37785		32,4759	32,61892	32,373400
Mínimo		0,307719	1,78058	0,497719		0,447021	0,427021	0,4670210
Máximo		171,6455	171,6235	171,6675		130,6699	130,6519	130,68790

Observação: as colunas de erro são apresentadas em metros;

Fonte: AUTOR

Para a distância bidimensional, os cálculos foram feitos levando-se em consideração os erros (em metros) fornecidos pelo receptor GPS Leica GX-1230, quando da coleta de dados. A Tabela 18 apresenta um exemplo dos valores calculados para estas distâncias bidimensionais, onde têm-se: Hr UTC (hora da coleta, desconsiderando o deslocamento de fuso horário), Dist. Mét.< (distância métrica menor) que é obtida pela resultante da

distância métrica menor da latitude pela distância métrica menor da longitude, Dist. Mét.> (distância métrica maior) que é obtida pela resultante da distância métrica maior da latitude pela distância métrica maior da longitude.

Tabela 19 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias bidimensionais encontradas entre as coletas, considerando o erro

	Bidimensional		
Hr UTC	Dist.Mét.	Dist.Met.<	Dist.Mét.>
16:38:17	3,325933	3,303863	3,348079
16:38:18	3,325933	3,303863	3,348079
16:38:19	3,325933	3,303863	3,348079
...	...	...	...
16:52:16	67,31513	66,9984	67,63231
16:52:17	68,07162	67,75431	68,38937
16:52:18	68,95182	65,77194	72,14963
...	...	...	...
16:58:18	11,875	11,83683	11,91328
16:58:19	11,17303	11,1278	11,21833
16:58:20	10,10559	10,05614	10,15507
Média	90,05801	89,34567	90,77644
Desvio	45,55923	45,49954	45,67136
Mínimo	0,893491	0,862402	0,924591
Máximo	214,6504	214,622	214,6788

Fonte: AUTOR

Durante a avaliação das distâncias métricas encontradas, percebeu-se que os valores coletados armazenados eram numericamente maiores que visualmente perceptíveis. Quando da sobreposição dos pontos coletados, por ambos os receptores GPS, sobre a imagem do local da coleta, as marcações estavam visualmente próximas, porém os cálculos indicavam distâncias superiores a 100 m, como pode ser visualizado na Tabela 15, onde a maior distância encontrada foi de 171,645545 m.

Foram então plotadas as marcações de ambos os receptores, com indicação da hora UTC da coleta. Observou-se que, visualmente as coletas não estavam pareadas em relação ao tempo. Os dados coletados pelo receptor GPS Leica GX-1230 estavam com uma diferença 15 seg em relação aos dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87. Esse problema pode estar relacionado à qualidade do oscilador de quartzo do relógio interno do receptor GPS Gstar GS-87. Como pode ser visualizado na Figura 20, as marcações em amarelo são os dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 e as em preto foram coletadas pelo receptor GPS Leica GX-1230. Percebe-

se, mediante destaque em vermelho, que as marcações com hora UTC 18 h 48 min 45 seg estão visualmente distantes, sendo que deveriam estar próximas.



Figura 20 - Pontos coletados no contorno sul da BR-116, durante levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, indicação de diferença de 15 seg na coleta dos dados pelo receptor GPS Gstar GS-87

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

Em virtude do fato exposto, os dados coletados foram novamente analisados. Deslocou-se o conjunto de dados do receptor GPS Gstar GS-87 em 15 seg em relação aos dados do receptor GPS Leica GX-1230, e os dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 na hora UTC 16 h 48 min 45 seg foram comparados com os dados coletados pelo receptor GPS Leica GX-1230 na hora UTC 16 h 49 min. A Tabela 19 mostra o exemplo do conjunto de dados coletados nesse levantamento, com deslocamento de 15 seg entre os dois receptores.

Tabela 20 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com deslocamento de 15 seg

(continua)

Leica GX-1230					Gstar GS-87		
Hr UTC	Latitude	Er. Lat.	Longitude	Er.Long.	Hr UTC	Latitude	Longitude
16:38:32	-25° 27' 21,016"	0,024	-49° 14' 4,669"	0,02	16:38:17	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
16:38:33	-25° 27' 21,016"	0,024	-49° 14' 4,669"	0,02	16:38:18	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"

Tabela 19 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com deslocamento de 15 seg

(conclusão)

Leica GX-1230					Gstar GS-87		
Hr UTC	Latitude	Er. Lat.	Longitude	Er.Long.	Hr UTC	Latitude	Longitude
16:38:34	-25° 27' 21,016"	0,022	-49° 14' 4.669"	0,02	16:38:19	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
...	...	...	...	...	...	...	...
16:40:20	-25° 27' 25,841"	0,029	-49° 14' 14,743"	0,027	16:40:05	-25° 27' 25,878"	-049° 14' 14,832"
16:40:21	-25° 27' 25,601"	0,029	-49° 14' 14,908"	0,027	16:40:06	-25° 27' 25,638"	-049° 14' 14,994"
16:40:22	-25° 27' 25,36"	0,027	-49° 14' 15,071"	0,027	16:40:07	-25° 27' 25,398"	-049° 14' 15,156"
...	...	...	...	...	...	...	...
16:58:33	-25° 26' 57,854"	1,646	-49° 13' 50,277"	0,153	16:58:18	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"
16:58:34	-25° 26' 57,856"	0,249	-49° 13' 50,277"	0,122	16:58:19	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"
16:58:35	-25° 26' 57,856"	0,249	-49° 13' 50,277"	0,122	16:58:20	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"

Observação: as colunas de erro são apresentadas em metros;

Fonte: AUTOR

Novamente foram calculadas as distâncias entre as coletas realizadas com ambos os receptores, agora com os dados deslocados em 15 seg entre si. A Tabela 20 exibe as distâncias vertical, horizontal e bidimensional encontradas entre as coletas realizadas com ambos os receptores GPS, com o deslocamento de 15 seg entre elas, cujas colunas estão descritas em 5.2.3. Comparando os resultados com os apresentados na Tabela 16, pode-se perceber que a média aritmética da distância na latitude diminuiu de 69,902060 m para 2,522338 m. O valor máximo para latitude também diminuiu de 171,645545 m para 9,231564 m. Para a longitude a média aritmética decresceu de 51,288977 m para 2,340014m. O valor máximo para longitude decresceu de 130,669919 m para 6,258298 m. A média aritmética da distância dimensional diminuiu de 90,058014 m para 3,705557 m. O valor máximo para esta distância também diminuiu de 214,650420 m para 9,553354 m.

Tabela 21 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas, considerando deslocamento de 15 seg

(continua)

Hr UTC	Latitude		Longitude		Bidimensional
	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Mét.
16:38:32	0,034	1,046244	0,113000	3,157088	3,325933
16:38:33	0,034	1,046244	0,113000	3,157088	3,325933
16:38:34	0,034	1,046244	0,113000	3,157088	3,325933
...	...	...	...	...	...
16:40:20	0,037	1,138560	0,089000	2,486556	2,734827
16:40:21	0,037	1,138560	0,086000	2,402740	2,658848
16:40:22	0,038	1,169331	0,085000	2,374801	2,647077
...	...	...	...	...	...

Tabela 20 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas, considerando deslocamento de 15 seg

(conclusão)

	Latitude		Longitude		Bidimensional
Hr UTC	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Mét.
16:58:33	0,062	1,907857	0,009000	0,251449	1,924355
16:58:34	0,064	1,969400	0,009000	0,251449	1,985388
16:58:35	0,064	1,969400	0,009000	0,251449	1,985388
Média		2,522338		2,340014	3,705557
Desvio		1,772029		1,511136	1,878914
Mínimo		-		-	0,471199
Máximo		9,231564		6,258298	9,553354

Fonte: AUTOR

Os cálculos, considerando os erros apresentados pelo receptor GPS Leica GX-1230 para o momento da coleta, também foram refeitos. A Tabela 21 mostra exemplo dos valores calculados para estas diferenças, para latitude e longitude. As colunas apresentadas já foram descritas nesta seção.

Tabela 22 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas considerando erro e deslocamento de 15 seg

	Latitude				Longitude			
Hr UTC	Dif.Mét.	Erro	Dif.Mét.<	Dif.Mét.>	Dif.Mét.	Erro	Dif.Mét.<	Dif.Mét.>
16:38:32	1,046244	0,024000	1,022244	1,070244	3,157088	0,020000	3,137088	3,177088
16:38:33	1,046244	0,024000	1,022244	1,070244	3,157088	0,020000	3,137088	3,177088
16:38:34	1,046244	0,022000	1,024244	1,068244	3,157088	0,020000	3,137088	3,177088
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16:40:20	1,138560	0,029000	1,109560	1,167560	2,486556	0,027000	2,459556	2,513556
16:40:21	1,138560	0,029000	1,109560	1,167560	2,402740	0,027000	2,375740	2,429740
16:40:22	1,169331	0,027000	1,142331	1,196331	2,374801	0,027000	2,347801	2,401801
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16:58:33	1,907857	1,646000	0,261857	3,553857	0,251449	0,153000	0,098449	0,404449
16:58:34	1,969400	0,249000	1,720400	2,218400	0,251449	0,122000	0,129449	0,373449
16:58:35	1,969400	0,249000	1,720400	2,218400	0,251449	0,122000	0,129449	0,373449
Média	2,522338		1,923953	3,120724	2,340014		1,862425	2,817603
Desvio	1,772029		2,175867	2,163148	1,511136		1,806542	1,990771
Mínimo	-		3,512984	0,050772	-		3,868734	0,020000
Máximo	9,231564		9,209564	9,394220	6,258298		6,242298	9,358256

Fonte: AUTOR

Deve-se observar que, devido à distância de 1 m entre as antenas dos receptores GPS durante o levantamento, os valores das distâncias tendem a diminuir em até 1 m. O valor de 1 m de distância entre as antenas não pode simplesmente ser subtraído das distâncias calculadas, pois o sentido

do levantamento sempre é na mesma direção para ambos os receptores (norte-sul, leste-oeste).

A comparação dos dados coletados por ambos os receptores, durante o levantamento cinemático, permite a avaliação da precisão do receptor em estudo. Este tipo de comparação não pode ser utilizado para avaliação da acurácia.

5.3. Levantamento absoluto cinemático com variação de velocidade

Conforme já descrito em 4.2.3, não são obtidos resultados adequados com o receptor GPS Gstar GS-87 quando em deslocamento de baixa velocidade (abaixo de 9 km/h). Em virtude desta característica, foram planejados novos levantamentos cinemáticos com variação de velocidade, para identificar a partir de que velocidade o receptor GPS Gstar GS-87 coleta as informações de maneira adequada.

Foram realizados seis levantamentos cinemáticos, conforme descrito em 4.2.5, no dia 04 de março de 2012, com céu azul e sem nuvens, iniciando às 17 h 16 min 47 seg, sendo três destes com velocidade superior a 10 km/h e outros três com velocidade inferior a 10 km/h. Observou-se que em velocidades iguais e/ou superior a 9 km/h, o receptor GPS Gstar GS-87 registrou as coletas com intervalos regulares entre elas, conforme se pode observar na Figura 21, onde cada marcação em amarelo é um ponto de coleta com intervalo de tempo de 1 seg e a distância entre os pontos é inferior a 5 m.



Figura 21 - Pontos coletados durante levantamento cinemático, realizado na Rua Octacília Hasselman de Oliveira, com velocidade acima de 9 km/h
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

Entretanto, quando a velocidade de deslocamento é inferior a 9 km/h, o receptor GPS Gstar GS-87 não calcula os dados com intervalos regulares, repetindo as mesmas coordenadas, tanto de latitude quanto de longitude. Esta característica pode ser observada na Figura 22, no ponto marcado em rosa, houve 72 registros, com intervalo de 1 seg, com as mesmas coordenadas.



Figura 22 - Pontos coletados durante levantamento cinemático, realizado na Rua Octacília Hasselman de Oliveira, com velocidade abaixo de 9 km/h
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento desta pesquisa, puderam ser observados alguns aspectos importantes e relevantes relacionados aos dispositivos testados e avaliados.

Diversos testes foram realizados com o dispositivo Friendly ARM modelo Mini 6410, sendo um dos primeiros para definir qual sistema operacional seria utilizado para a realização da pesquisa, outros para a escolha da configuração ideal para a execução do *software* que coleta e registra os dados do receptor GPS Gstar GS-87 e testes para avaliação da autonomia do conjunto de baterias. Observou-se que o dispositivo Friendly ARM modelo Mini 6410 pode ser utilizado com sistema operacional Linux, o qual foi utilizado na pesquisa, bem como, Win CE e Android. Isso permite que este dispositivo possa ser empregado em diversas configurações como suporte na solução de problemas diferentes, nas mais distintas áreas de pesquisa.

Considerando que o tamanho físico do dispositivo é pequeno (menor que 15 cm), ele pode ser embarcado com certa facilidade em pequenos espaços. Como possui diversas portas de entrada e saída, pode ser utilizado para monitorar sensores e armazenar os dados no cartão SD que pode ser conectado a ele. Este tem conectividade tanto via cabo quanto *wireless*, tornando fácil a tarefa de descarregar os dados registrados.

Um aspecto importante a ser ressaltado é a fragilidade do conector de entrada de energia, tornando a tarefa um tanto desgastante. Durante a realização dos testes, diversas vezes, o dispositivo desligou por mau contato na conexão de entrada de energia. Para uso em ambiente de campo, sobre um equipamento agrícola, por exemplo, é importante alterar essa característica, fixando a conexão de entrada de energia. Também é pertinente observar que será necessário construir um invólucro para proteger o dispositivo das intempéries.

Com relação aos testes realizados para avaliar a precisão e acurácia do receptor GPS Gstar GS-87, pôde-se observar algumas características importantes para o desenvolvimento do projeto de construção do robô de campo, onde a finalidade do receptor GPS será informar para o robô qual é sua real localização geográfica. As considerações são realizadas

para os levantamentos absolutos estáticos e cinemáticos e as principais características são expostas a seguir.

- Levantamentos absolutos estáticos

Foi possível observar que, para realizar levantamentos absolutos estáticos, o receptor GPS Gstar GS-87 não registrou alterações das coordenadas, o que seria esperado. A partir do momento em que o receptor GPS Gstar GS-87 recebe as primeiras informações dos satélites, ele mantém as mesmas coordenadas até que haja um deslocamento significativo ou um deslocamento com velocidade superior a 9 km/h. Então, se o receptor for mantido ligado na mesma posição, as coordenadas calculadas serão sempre as mesmas.

Com relação ao erro encontrado entre todas as campanhas dos levantamentos absolutos estáticos, nos marcos geodésicos, observou-se que para a latitude a média aritmética das distâncias encontradas entre as coordenadas registradas pelo receptor e a coordenada dos marcos geodésicos foi de 4,20 m, sendo o desvio padrão de 3,46 m. O maior valor encontrado foi de 10,50 m e o menor valor foi de 0,72 m. Para a longitude, a média aritmética das distâncias encontradas foi de 6,65 m com desvio padrão de 11,14 m. O maior valor encontrado foi de 35,88 m e menor o foi de 0,30 m. Para a distância bidimensional, a média aritmética dos valores encontrados foi de 8,18 m com desvio padrão de 11,43 m. A maior distância bidimensional encontrada foi de 37,35 m e a menor foi de 0,81 m.

Neste sentido é importante destacar que as coordenadas registradas nos levantamentos estáticos no local UEPG Campus podem ter interferência das árvores muito próximas ao marco geodésico, que causam obstrução.

A avaliação da precisão dos dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87, em levantamento absolutos estáticos, conforme apresentado no final da seção 5.1, Tabela 13, permite afirmar que o receptor GPS Gstar GS-87 tem uma precisão bidimensional +/- 13,78 m, com um desvio padrão de 14,26 m, sendo a maior distância encontrada de 40,59 m e a menor de 1,68 m. Essa medida permite avaliar o quão espalhadas estão as coordenadas coletadas entre si. Porém, ainda vale ressaltar que os dados coletados no levantamento estático UEPG Campus podem conter um erro

intrínseco devido ao problema de obstrução de sinal que pode causar multicaminhamento, que foram verificadas com mapas de obstruções, conforme previamente descrito em 5.1.2. Se for desconsiderado o conjunto de dados coletados neste levantamento estático, a precisão bidimensional do receptor em estudo altera para $\pm 7,13$ m, com um desvio padrão de 5,59 m, sendo a maior distância encontrada de 16,93 m e a menor de 1,68 m.

- Levantamentos absolutos cinemáticos

Para os levantamentos absolutos cinemáticos, observou-se que o registro correto das coordenadas só ocorreu quando a velocidade de deslocamento foi superior a 9 km/h, conforme apresentado nos resultados dos levantamentos cinemáticos com variação de velocidade, onde foram realizados seis levantamentos cinemáticos, sendo três deles com velocidade inferior a 9 km/h e outros três com velocidade igual ou superior a 9 km/h. O receptor GPS Gstar GS-87 só registrou as alterações de coordenadas quando o deslocamento foi em velocidade igual ou superior a 9 km/h. O entendimento desta característica é importante, haja vista que o robô que irá fazer uso deste dispositivo precisará trafegar em velocidade igual ou superior a 9 km/h, para que o registro das coordenadas seja realizado de maneira adequada.

Comparando as coordenadas registradas pelo receptor GPS Gstar GS-87 com receptor GPS Leica GX-1230, pode-se afirmar que o receptor em estudo tem uma precisão de erro de aproximadamente 10 m. A média aritmética das distâncias encontradas para a latitude foi de 2,52 m, com um desvio padrão de 1,77 m. A maior distância encontrada foi de 9,23 m e a menor distância foi de 0,00 m. Para a longitude, obteve-se um valor para a média aritmética igual a 2,34 m, com desvio padrão de 1,51 m. A maior distância encontrada foi de 6,26 m. Quanto à distância bidimensional, a média aritmética das distâncias foi de 3,70 m, com desvio padrão de 1,88 m. Sendo a maior distância bidimensional encontrada igual a 9,55 m e a menor distância igual a 0,00 m. Vale ressaltar que, devido à distância de 1 m entre as antenas utilizadas durante o levantamento, as distâncias podem diminuir em até 1 m.

Observou-se também uma diferença de tempo de 15 segundos entre as coordenadas coletadas por ambos os receptores, receptor GPS Gstar GS-87 e receptor GPS Leica GX-1230. A razão desta diferença de tempo não foi explicada pela presente pesquisa, exigindo mais estudos para definir os

motivos que levaram a esta ocorrência. A diferença pode ter origem na qualidade dos osciladores de quartzos que são utilizados pelos receptores GPS, o que o torna instáveis.

Para fazer o registro dos caminhamentos (latitude e longitude) realizados pelo robô em campo, pode-se afirmar que o receptor GPS Gstar GS-87 é adequado, dentro de uma margem de erro de +/- 10 m.

Considerando o custo de aquisição de conjunto completo, formado pelo receptor GPS Gstar GS-87, computador embarcado Friendly ARM modelo Mini 6410 e a unidade de baterias, é possível verificar a viabilidade de sua utilização como unidade de recepção e registro das coordenadas de localização do robô em campo.

Segundo Elias (2009), a precisão esperada para esse equipamento era de 20 a 25 m, entende-se que o equipamento em estudo tem uma precisão melhor que a esperada.

Cabe ressaltar que, devido ao problema de multicaminhamento, a utilização do receptor GPS Gstar GS-87 para calcular as coordenadas em áreas onde existam obstruções verticais deve ser feita com cautela, pois essa condição altera significativamente o nível de acurácia e precisão das coordenadas calculadas.

A julgar que o robô de campo irá fazer uso das coordenadas geográficas coletadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 em tempo real, é importante ressaltar que o nível de acurácia deve ser o melhor possível, para tanto é recomendável realizar estudos para possíveis implementações de seu uso com técnicas de DGPS (*Differential Global Positioning System*).

Para trabalhos futuros recomenda-se a realização de pesquisa a fim de avaliar a precisão e acurácia dos dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 relacionados a altimetria, diferenças nas altitudes coletadas em relação as reais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALETAN, S.O. **An overview of RISC architecture**. In Proceedings of the 1992 ACM/SIGAPP Symposium on Applied computing: technological challenges of the 1990's (SAC '92), Hal Berghel, Ed Deaton, George Hedrick, David Roach, and Roger Wainwright (Eds.). ACM, New York, 1992.

ANDRADE, J.B. de. **Fotogrametria**. Curitiba, SBEE, 1998.

ARM, **Advanced RISC Machines Corporation**. Disponível em <<http://www.arm.com/products/processors/>> Acesso em 20 mai. 2011.

ARM, Advanced RISC Machines Corporation. Disponível em <http://armdevs.googlecode.com/files/overview_mini6410.pdf>. Acesso em 20 dez. 2010.

BATES, S. **Case Study: Advanced Risc Machines, The Future Today**. The Institution of Electrical Engineers. Publicado em IEE, Savoy Place, Londres, 1996.

BOVET, D.; CESATI, M. **Understanding the Linux Kernel**, Second Edition. Andy Oram (Ed.). O'Reilly & Associates Inc., Sebastopol, 2002

BRIONES, A. B. **Análise do posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro**. Curitiba, 1999. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

CATSOULIS, J. **Designing Embedded Hardware**, Second Edition. O'Reilly & Associates Inc, Sebastopol, 2005.

ELIAS, A. R.; PIROLI, E. L. Techniques of GPS positioning for precision agriculture. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia V2 N1 Jan – Abr 2009. Guarapuava.

ESPONDA, M. **The RISC Concept** - A Survey of Implementations. Technical Report, Freie Universität Berlin, Berlin, 1991.

FSF, **Free Software Foundation**. Disponível em < <http://www.fsf.org>>. Acesso em 15 nov. 2011.

FURBER, S. **The Future of Computer Technology and its Implications for the Computer Industry**, THE COMPUTER JOURNAL, Vol. 51 No. 6, 2008.

GAERTNER, M. **Lazarus for cross-platform development**. Linux Journal, Seattle, 2009.

GALILEO. **Galileo Navigation**. Disponível em: <<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>>. Acesso em 6 ago; 2012.

GLONASS. **Federal Space Agency**: Information-Analytical Centre. Disponível em: <<http://www.glonass-center.ru/en/>>. Acesso em 6 ago; 2012.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**: aplicações geodésicas. Curitiba, Ed UFPR, 1994.

GIROUX, M. **Lazarus Free Pascal** - Développement rapide, LIBERLOG, Rennes, 2011.

GNSS, **GNSS Planning**, Disponível em: <<http://www.ashtech.com/gnss-planning-17876.kjsp>>. Acesso em: 29 ago. 2012.

HIRSCHBERG, M. A. **Rapid Application Development**: A Brief Overview, Software Tech News, vol. 2, 2002.

IBGE, **Sistemas de Referência**, Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/sisref_2.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2012a.

IBGE, **Posicionamento por ponto Preciso**, Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/>>. Acesso em: 08 ago. 2012b.

Langley, R. B. **GPS World**. Dilution of Precision. Cleveland. May 1999. Disponível em: <<http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/gpsworld.may99.pdf>>. Acesso em 16 ago. 2012.

LAZARUS, **Documentação online Lazarus e FreePascal**. Disponível em <<http://wiki.lazarus.freepascal.org>>. Acesso em 7 out. 2011.

LEANDRO, R. F. et al. Innovation: The GPS L2C Signal. **GPS World**. Cleveland. October 2008. Disponível em <<http://www.gpsworld.com/gnss-system/gps-modernization/innovation-the-gps-l2c-signal-4258>>. Acesso em 28 jul. 2012.

LEICK, A. **GLONASS Satellite Surveying**. Journal of Surveying Engineering, v 124, n. 2, p. 91-9, 1998.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia contemporânea**: planimetria. 2. Edição. Florianópolis, EdUFSC, 2000.

KOWOMA, **The GPS System**. Disponível em <http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm>. Acesso em 3 ago. 2012.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. 267 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

KRUEGER, C. P. **Posicionamento por Satélites**: Métodos de Posicionamento por satélites. Disponível em: <http://www.lage.ufpr.br/novo/downloads/levgeod2/Parte6_metodos.pdf> acesso em 5 ago. 2012.

MARTIN, J. **Rapid Application Development**. Macmillan Publishing, Indianapolis, USA. 1991.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados**. São Paulo, Novatec, 2005.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: Descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo, UNESP, 2000.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**: Descrição, fundamentos e aplicações. 2ª Edição. São Paulo, Editora UNESP, 2007.

MOURÃO, R. R. de F. **Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica**. Rio de Janeiro, Editora Nova Fronteira, 1987.

MURDOCCA, M. J.; HEURING, V. P. **Introdução à Arquitetura de Computadores**, Campus, Rio de Janeiro, 1999.

NMEA, **National Marine Electronics Association**. Disponível em <http://www.nmea.org/content/about_the_nmea/about_the_nmea.asp>. Acesso em 20 dez. 2011.

NMEA, **The NMEA 0183 Protocol**. Disponível em <<http://www.cs.put.poznan.pl/wswitala/download/pdf/NMEAdescription.pdf>>. Acesso em 23 mar. 2012.

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia**: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis, UFSC, 2009.

PATTERSON, D. **Reduced Instruction Set Computers**. Communications of the ACM, Vol. 28, No.1, Janeiro 1985.

RITCHIE, D.M.; THOMPSON K. **The UNIX time-sharing system**. Commun. ACM 17, 7 .Julho 1974.

RYZHYK, L. **The ARM Architecture**. Chicago University, Illinois, E.U.A, 2006. Disponível em: <<http://www.cse.unsw.edu.au/~cs9244/06/seminars/08-leonidr.pdf>>. Acesso em: 14 jun 2011.

SHARSHUNOV, S. G. **Functional Tests for RISC-microprocessors**. Automation and Remote Control, vol 65, num 11, 2004.

TANENBAUM, A. S. **Structured Computer Organization** (5th Edition). Amsterdam, 2006.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M.F. **Introdução à agricultura de precisão**: Conceitos e vantagens. Ci. Rural, 32:159-163, 2002.

VON HIPPEL, E.; VON KROGH, G. **Open Source software and the private-collective** innovation model: issues for organization science. *Organization Science*, v. 14, n. 2, 2003.

Apêndices

Apêndice 1

Mapa de obstrução vertical e gráfico de disponibilidade de satélites do Marco Geodésico Castro.

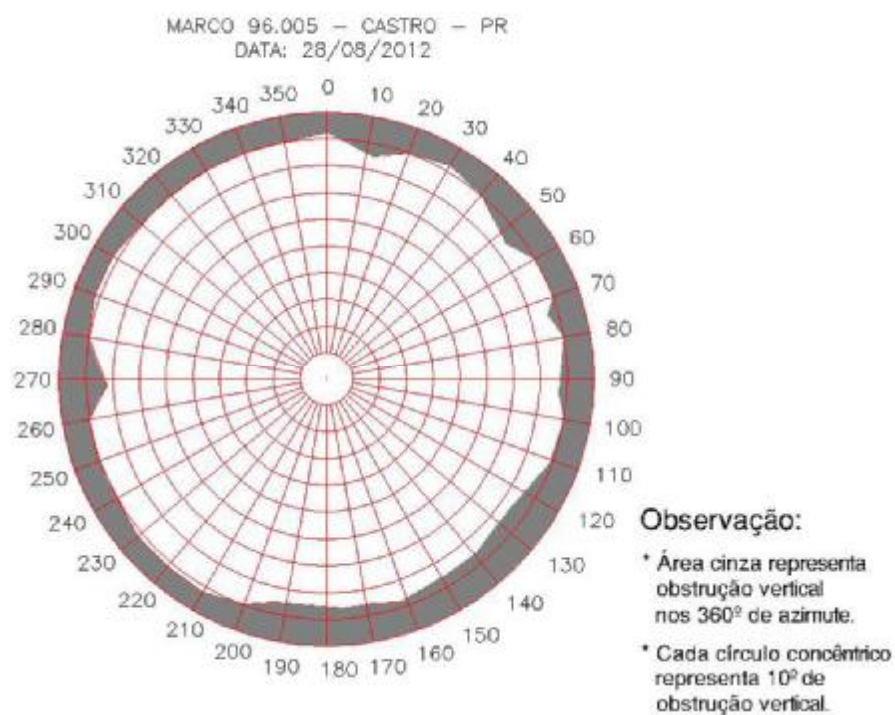
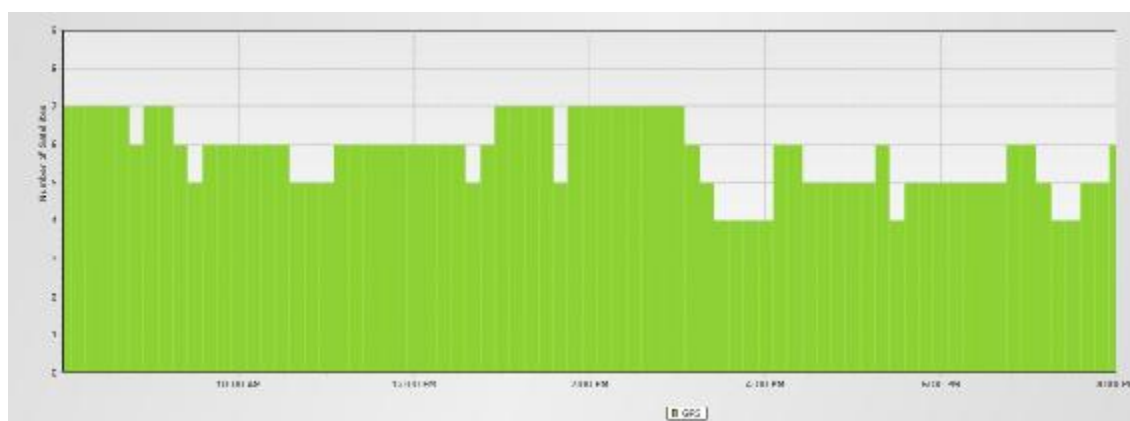


Gráfico de disponibilidade de satélites para o Marco Geodésico Castro, para o dia 05/10/2011.



Apêndice 2

Mapa de obstrução vertical e gráfico de disponibilidade de satélites do Marco Geodésico UEPG Campus, realizado em 14/09/2011.

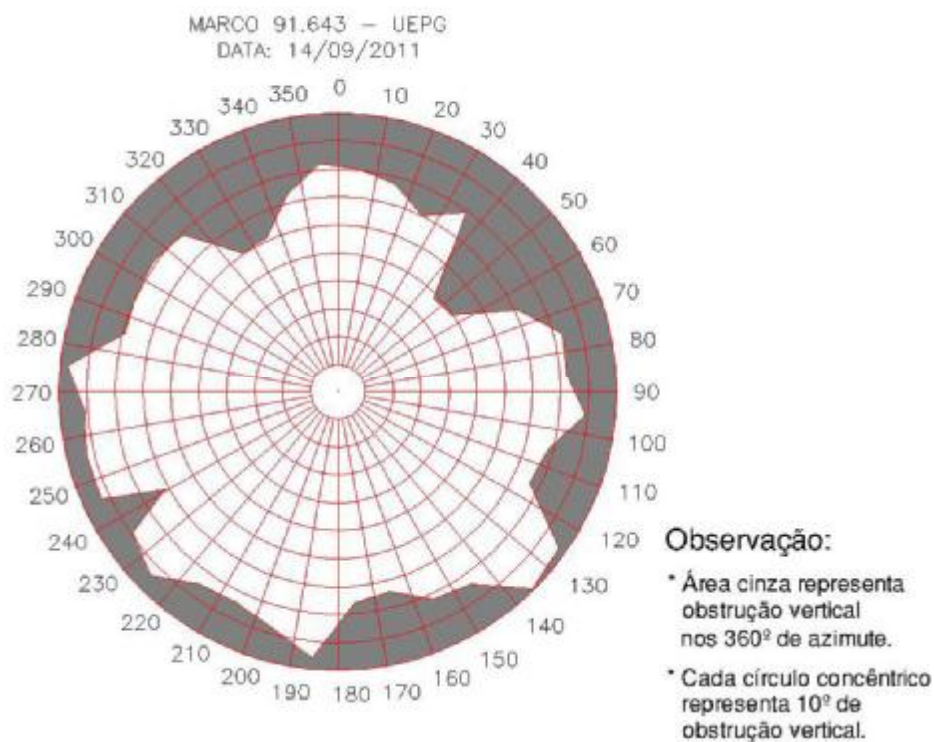
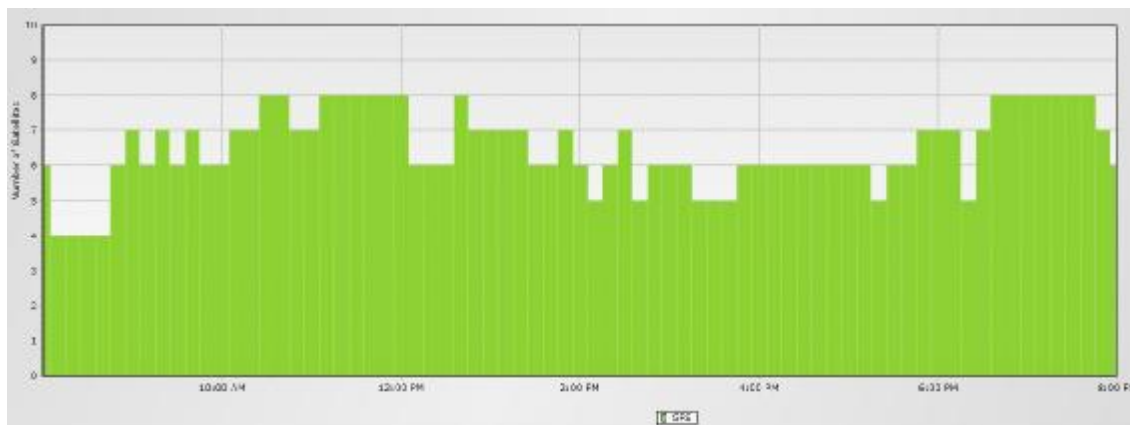


Gráfico de disponibilidade de satélites para o Marco Geodésico UEPG Campus, para o dia 28/07/2011.



Anexos

Anexo 1

Exemplo de dados coletados no levantamento cinemático na fazenda escola UEPG, que se repetiam quando a velocidade de deslocamento era pequena.

Hr UTC	Latitude	Longitude
14:36:57	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:36:58	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:36:59	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:37:00	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:37:01	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:37:02	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
...	...	...
14:38:32	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:33	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:34	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:35	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:36	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:37	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:38	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"

Fonte: AUTOR

Anexo 2 – Memorial Descritivo Marco Geodésico Castro

IBGE		Relatório de Estação Geodésica																																																																																																																																																							
Estação:	96005	Nome da Estação:	96005																																																																																																																																																						
Município:	CASTRO	Tipo:	Estação Planimétrica - SAT																																																																																																																																																						
Última Visita:	01/12/2007	Situação Marco Principal:	Bom																																																																																																																																																						
UF:		PR																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DADOS PLANIMÉTRICOS</th> <th colspan="2">DADOS ALTIMÉTRICOS</th> <th colspan="2">DADOS GRAVIMÉTRICOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Latitude</td> <td>24° 47' 15,502" S</td> <td>Altitude Ortométrica(m)</td> <td>987,84</td> <td>Gravidade(mGal)</td> <td>987,84</td> </tr> <tr> <td>Longitude</td> <td>49° 55' 58,544" W</td> <td>Altitude Geométrica(m)</td> <td>994,88</td> <td>Sigma Gravidade(mGal)</td> <td>994,88</td> </tr> <tr> <td>Fonte</td> <td>CPS Geodasica</td> <td>Fonte</td> <td>CPS Geodasica</td> <td>Procedido</td> <td>Procedido</td> </tr> <tr> <td>Origem</td> <td>Ajustada</td> <td>Data Medição</td> <td>01/12/2007</td> <td>Datum</td> <td>Datum</td> </tr> <tr> <td>S Datum</td> <td>SAD-69</td> <td>Data Cálculo</td> <td>28/5/2010</td> <td>Data Medição</td> <td>Data Medição</td> </tr> <tr> <td>A Data Medição</td> <td>01/12/2007</td> <td>Sigma Altitude Geométrica(m)</td> <td>MAPGEO2010</td> <td>Data Cálculo</td> <td>Data Cálculo</td> </tr> <tr> <td>D Data Cálculo</td> <td>31/12/2008</td> <td>Modelo Geoidal</td> <td>MAPGEO2010</td> <td>Correção Topográfica</td> <td>Correção Topográfica</td> </tr> <tr> <td>S Sigma Latitude(m)</td> <td>0,006</td> <td></td> <td></td> <td>Antena Bouguer</td> <td>Antena Bouguer</td> </tr> <tr> <td>D Sigma Longitude(m)</td> <td>0,009</td> <td></td> <td></td> <td>Antena An-Live</td> <td>Antena An-Live</td> </tr> <tr> <td>U UTM(N)</td> <td>7.258.106,323</td> <td></td> <td></td> <td>Densidade</td> <td>Densidade</td> </tr> <tr> <td>E UTM(E)</td> <td>601.127,054</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MC</td> <td>-51</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Latitude</td> <td>24° 47' 17,2495" S</td> <td>Altitude Ortométrica(m)</td> <td>987,84</td> <td>Gravidade(mGal)</td> <td>987,84</td> </tr> <tr> <td>Longitude</td> <td>50° 00' 03,2027" W</td> <td>Altitude Geométrica(m)</td> <td>991,80</td> <td>Sigma Gravidade(mGal)</td> <td>991,80</td> </tr> <tr> <td>Fonte</td> <td>CPS Geodasica</td> <td>Fonte</td> <td>CPS Geodasica</td> <td>Procedido</td> <td>Procedido</td> </tr> <tr> <td>Origem</td> <td>Ajustada</td> <td>Data Medição</td> <td>01/12/2007</td> <td>Datum</td> <td>Datum</td> </tr> <tr> <td>S Datum</td> <td>SIRGAS2000</td> <td>Data Cálculo</td> <td>28/5/2010</td> <td>Data Medição</td> <td>Data Medição</td> </tr> <tr> <td>A Data Medição</td> <td>01/12/2007</td> <td>Sigma Altitude Geométrica(m)</td> <td>MAPGEO2010</td> <td>Data Cálculo</td> <td>Data Cálculo</td> </tr> <tr> <td>D Data Cálculo</td> <td>31/12/2008</td> <td>Modelo Geoidal</td> <td>MAPGEO2010</td> <td>Correção Topográfica</td> <td>Correção Topográfica</td> </tr> <tr> <td>S Sigma Latitude(m)</td> <td>0,002</td> <td></td> <td></td> <td>Antena Bouguer</td> <td>Antena Bouguer</td> </tr> <tr> <td>D Sigma Longitude(m)</td> <td>0,002</td> <td></td> <td></td> <td>Antena An-Live</td> <td>Antena An-Live</td> </tr> <tr> <td>U UTM(N)</td> <td>7.258.142,739</td> <td></td> <td></td> <td>Densidade</td> <td>Densidade</td> </tr> <tr> <td>E UTM(E)</td> <td>601.071,201</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MC</td> <td>-51</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS		Latitude	24° 47' 15,502" S	Altitude Ortométrica(m)	987,84	Gravidade(mGal)	987,84	Longitude	49° 55' 58,544" W	Altitude Geométrica(m)	994,88	Sigma Gravidade(mGal)	994,88	Fonte	CPS Geodasica	Fonte	CPS Geodasica	Procedido	Procedido	Origem	Ajustada	Data Medição	01/12/2007	Datum	Datum	S Datum	SAD-69	Data Cálculo	28/5/2010	Data Medição	Data Medição	A Data Medição	01/12/2007	Sigma Altitude Geométrica(m)	MAPGEO2010	Data Cálculo	Data Cálculo	D Data Cálculo	31/12/2008	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	Correção Topográfica	S Sigma Latitude(m)	0,006			Antena Bouguer	Antena Bouguer	D Sigma Longitude(m)	0,009			Antena An-Live	Antena An-Live	U UTM(N)	7.258.106,323			Densidade	Densidade	E UTM(E)	601.127,054					MC	-51					Latitude	24° 47' 17,2495" S	Altitude Ortométrica(m)	987,84	Gravidade(mGal)	987,84	Longitude	50° 00' 03,2027" W	Altitude Geométrica(m)	991,80	Sigma Gravidade(mGal)	991,80	Fonte	CPS Geodasica	Fonte	CPS Geodasica	Procedido	Procedido	Origem	Ajustada	Data Medição	01/12/2007	Datum	Datum	S Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	28/5/2010	Data Medição	Data Medição	A Data Medição	01/12/2007	Sigma Altitude Geométrica(m)	MAPGEO2010	Data Cálculo	Data Cálculo	D Data Cálculo	31/12/2008	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	Correção Topográfica	S Sigma Latitude(m)	0,002			Antena Bouguer	Antena Bouguer	D Sigma Longitude(m)	0,002			Antena An-Live	Antena An-Live	U UTM(N)	7.258.142,739			Densidade	Densidade	E UTM(E)	601.071,201					MC	-51				
DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS																																																																																																																																																					
Latitude	24° 47' 15,502" S	Altitude Ortométrica(m)	987,84	Gravidade(mGal)	987,84																																																																																																																																																				
Longitude	49° 55' 58,544" W	Altitude Geométrica(m)	994,88	Sigma Gravidade(mGal)	994,88																																																																																																																																																				
Fonte	CPS Geodasica	Fonte	CPS Geodasica	Procedido	Procedido																																																																																																																																																				
Origem	Ajustada	Data Medição	01/12/2007	Datum	Datum																																																																																																																																																				
S Datum	SAD-69	Data Cálculo	28/5/2010	Data Medição	Data Medição																																																																																																																																																				
A Data Medição	01/12/2007	Sigma Altitude Geométrica(m)	MAPGEO2010	Data Cálculo	Data Cálculo																																																																																																																																																				
D Data Cálculo	31/12/2008	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	Correção Topográfica																																																																																																																																																				
S Sigma Latitude(m)	0,006			Antena Bouguer	Antena Bouguer																																																																																																																																																				
D Sigma Longitude(m)	0,009			Antena An-Live	Antena An-Live																																																																																																																																																				
U UTM(N)	7.258.106,323			Densidade	Densidade																																																																																																																																																				
E UTM(E)	601.127,054																																																																																																																																																								
MC	-51																																																																																																																																																								
Latitude	24° 47' 17,2495" S	Altitude Ortométrica(m)	987,84	Gravidade(mGal)	987,84																																																																																																																																																				
Longitude	50° 00' 03,2027" W	Altitude Geométrica(m)	991,80	Sigma Gravidade(mGal)	991,80																																																																																																																																																				
Fonte	CPS Geodasica	Fonte	CPS Geodasica	Procedido	Procedido																																																																																																																																																				
Origem	Ajustada	Data Medição	01/12/2007	Datum	Datum																																																																																																																																																				
S Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	28/5/2010	Data Medição	Data Medição																																																																																																																																																				
A Data Medição	01/12/2007	Sigma Altitude Geométrica(m)	MAPGEO2010	Data Cálculo	Data Cálculo																																																																																																																																																				
D Data Cálculo	31/12/2008	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica	Correção Topográfica																																																																																																																																																				
S Sigma Latitude(m)	0,002			Antena Bouguer	Antena Bouguer																																																																																																																																																				
D Sigma Longitude(m)	0,002			Antena An-Live	Antena An-Live																																																																																																																																																				
U UTM(N)	7.258.142,739			Densidade	Densidade																																																																																																																																																				
E UTM(E)	601.071,201																																																																																																																																																								
MC	-51																																																																																																																																																								
- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/05/2011 - Relatório em http://geopos.ipe.gov.br/documentos/geodasica/RelatorioAjustamento.pdf - Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2008 - Relatório em http://geopos.ipe.gov.br/documentos/geodasica/REL_sirgas2000.pdf - Ajustamento Planimétrico Sado SAD-69 em 15/02/2006 - Relatório em http://geopos.ipe.gov.br/documentos/geodasica/REL_sad69.pdf - Dados Planimétricos para Fonte para esta estação obtidos no Igep/1 a 1:25000, folhas SIRGAS2000 - SAD-69																																																																																																																																																									
Localização																																																																																																																																																									
Nas dependências do Centro Municipal de Agropecuária da Prefeitura Municipal da cidade de Castro/PR, situado na Rua Francisco de Assis Andrade, nº 141, Bairro Vila Rio Branco, 15 m SE do prédio da Secretaria Municipal de Saúde.																																																																																																																																																									
Descrição																																																																																																																																																									
Pilar de concreto de formato hexagonal 1,20 m de altura sobre uma base triangular com 0,20 m de altura, no centro do topo uma base de alumínio com dispositivo de centragem forçada. Chapa de metal cravada 0,20 m abaixo do topo direcionada para o Oeste.																																																																																																																																																									
Anexão																																																																																																																																																									
Partir ao lado da Igreja Maria Nossa, São, Santa Ana, situada na Praça Dr. Getúlio Vargas na cidade de Castro/PR e seguir pela Rua Pandá Calagem. Com 00,1 Km seguir a esquerda pela Rua Mariana Marques. Com 00,6 Km passar pelo Parque Lacustre. Com 00,8 Km seguir a esquerda passar pela Estação Ferroviária pela Avenida Miguel Couto. Com 01,0 Km chegar a rotatória e seguir a direita em direção ao Bairro Vila Rio Branco e Estação Municipal pela Rua Francisco de Assis Andrade. Com 01,3 Km seguir a esquerda pela Rua Conselheiro Genuíno. Com 01,4 Km seguir a esquerda passar pela entrada do Centro Administrativo da Prefeitura. Com 01,6 Km chegar ao local da estação em frente a Secretaria Municipal de Saúde.																																																																																																																																																									
Observação																																																																																																																																																									
Concedido da estação: Sr. Márcio Sávio Jakelin Martins responsável pela chave do dispositivo de centragem forçada, situado no Centro Municipal de Agropecuária da Prefeitura na Rua Francisco de Assis Andrade, nº 141, Bairro Vila Rio Branco.																																																																																																																																																									
Foto(s)																																																																																																																																																									
																																																																																																																																																									
Ver info: http://www.ipe.gov.br/geopos/geodasica/RelatorioAjustamento.pdf Relatório de Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/05/2011 Relatório de Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2008 Relatório de Ajustamento Planimétrico Sado SAD-69 em 15/02/2006																																																																																																																																																									
NSF - Núcleo de Serviço de Apoio Técnico - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística		Relatório de Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/05/2011																																																																																																																																																							

Anexo 3 – Memorial Descritivo Marco Geodésico UEPG Campus



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	91643	Nome da Estação :	91643	Tipo :	Estação Planimétrica - SAT
Município :	PONTA GROSSA			UF :	PR
Última Visita:	15/5/1998	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS			DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	25° 05' 41.6454" S	Altitude Ortométrica(m)	908.39	Gravidade(mGal)		
Longitude	50° 06' 16.7396" W	Altitude Geométrica(m)	914.96	Sigma Gravidade(mGal)		
Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão		
Origem	Ajustada	Data Medição	15/9/1995	Datum		
S Datum	SAD-69	Data Cálculo	28/6/2010	Data Medição		
A Data Medição	15/9/1995	Sigma Altitude Geométrica(m)		Data Cálculo		
D Data Cálculo	15/9/1998	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica		
6 Sigma Latitude(m)	0.013			Anomalia Bouguer		
9 Sigma Longitude(m)	0.043			Anomalia Air-Grav		
UTM(N)	7.224.235.064			Densidade		
UTM(E)	590.282.694					
MC	-51					
Latitude	25° 05' 43.3920" S	Altitude Ortométrica(m)	906.45	Gravidade(mGal)		
S Longitude	50° 06' 16.4961" W	Altitude Geométrica(m)	912.41	Sigma Gravidade(mGal)		
I Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão		
R Origem	Ajustada	Data Medição	15/9/1995	Datum		
G Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	28/6/2010	Data Medição		
A Data Medição	15/9/1995	Sigma Altitude Geométrica(m)	0.008	Data Cálculo		
S Data Cálculo	23/11/2004	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica		
2 Sigma Latitude(m)	0.001			Anomalia Bouguer		
9 Sigma Longitude(m)	0.004			Anomalia Air-Grav		
0 UTM(N)	7.224.191.282			Densidade		
0 UTM(E)	590.232.810					
MC	-51					

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/05/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/basesdado/geodesia/RelatorioAjustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2005 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sirgas2000.pdf
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1995 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sad69.pdf
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Localização

No Campus da Universidade Estadual de Ponta Grossa, a 50 m a SW do Bloco I, também conhecido como Bloco de Ciências Exatas e Naturais, em um canteiro gramado próximo ao estacionamento. Distância de 210 m a E da Prefeitura do Campus e a 130 m a E da agência do BANESTADO.

Descrição

O marco principal é do tipo padrão do IAP, tem estrutura de concreto com base triangular. O pilar é em forma hexagonal e mede 1,10 m de altura por 0,40 m de espessura, sua base é um triângulo equilátero e mede 1,30 m de lado, por 0,15 m de altura do solo. Está fixada no topo dispositivo de centragem forçada com rosca universal, onde são referenciadas as observações.

Itinerário

Partir da porta da Igreja Imaculada Conceição, na Av. General Carlos Cavalcanti, no bairro Uvaranas da cidade de Ponta Grossa-PR e seguir com az. Mag. 85 graus em direção a U.E.P.G. Com 4 km dobrar a Av. e dobrar à direita pela Alameda Nabuco Araújo az. Mag. 98 graus, com 4,6 km dobrar à esquerda az. Mag. 189 graus, adentrando a área da U.E.P.G.; c/Com 5,2 km chegar ao estacionamento do Bloco I, setor de Ciências Exatas e Naturais. Daí visse o marco az. Mag. 60 graus e a 30 m de distância.

Observação

As chaves do protetor do dispositivo de centragem forçada, estão sob a guarda do Prof. Arnaldo Cerigato na U.E.P.G. diretor - José Carlos Borsato. O pilar teve sua construção fora do centro da base triangular.

Foto(s)



Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor Tratamento da Informação Bicen / UEPG

C418p Cerutti, Idomar Augusto
Precisão e acurácia planimétrica do receptor Gstar GS-87 :
aplicabilidade em tecnologia de informação embarcada para sistemas
agrícolas / Idomar Augusto Cerutti. Ponta Grossa, 2012.
88 f.

Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada), Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Selma Regina Aranha Ribeiro.
Coorientador: Prof. Dr. Ariangelo Hauer Dias.

1. GPS. 2. Robótica. 3. Software livre. 4. Agricultura de precisão. 5.
Agrobot. I. Ribeiro, Selma Regina Aranha. II. Dias, Ariangelo Hauer. III.
Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado em Computação
Aplicada. IV. T.

CDD: 006.3

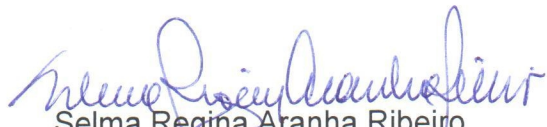
TERMO DE APROVAÇÃO

IDOMAR AUGUSTO CERUTTI

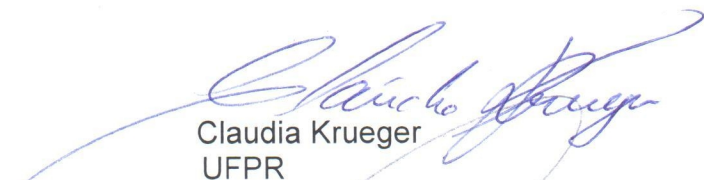
"PRECISÃO E ACURÁCIA PLANIMÉTRICA DO RECEPTOR GPS GSTAR GS-87: APLICABILIDADE EM TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO EMBARCADA PARA SISTEMAS AGRÍCOLAS."

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora.

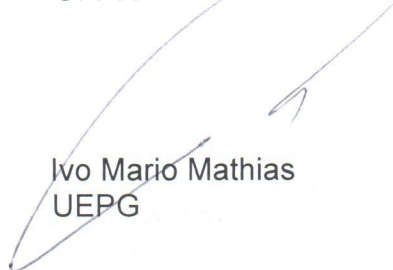
Orientador:



Selma Regina Aranha Ribeiro
UEPG



Claudia Krueger
UFPR



Ivo Mario Mathias
UEPG

Ponta Grossa, 23 de Julho de 2012.

AGRADECIMENTOS

A Prof.^a Dr.^a Selma Regina Aranha Ribeiro, pelas orientações, correções e principalmente pela paciência em tentar me explicar conceitos simples para profissionais da geociência, mas que eram complicados para minha mente informática.

Ao Prof. Dr. Ariangelo Hauer Dias, pelo auxílio na definição do problema a ser pesquisado.

A meu pai (*in memorium*) Alcides Cerutti, por sua frase no leito de morte para minha mãe Lourdes Cerutti "Dê estudo para nossos filhos, é a única coisa que ninguém pode roubar deles".

A minha mãe Lourdes Maraschin Cerutti, que com todas as dificuldades da vida, cumpriu a promessa e proporcionou oportunidade de estudo para os seus cinco filhos.

A minha esposa Prof.^a PhD Diolete Marcante Lati Cerutti, pela paciência nos momentos em que eu estava realizando a pesquisa e ausente de casa e, principalmente, pelo auxílio nas correções.

A meu filho Bruno Augusto Cerutti, pela compreensão da minha ausência de casa e também pelo auxílio nas coletas de dados realizadas.

A Prof.^a Dr.^a Claudia Krueger pelas orientações e correções durante a realização desta pesquisa.

A Eng.^a Cartográfica Msc. Suelen Huinca, pela paciência e ajuda durante a definição da metodologia desta pesquisa, colaborando para a realização desta.

Ao Prof. Dr. Ivo Mario Mathias pelas correções e orientações.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela oportunidade de realizar o mestrado.

A todos os colegas do mestrado que, direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão desta pesquisa.

A Deus, pela oportunidade que Ele propiciou em minha vida, permitindo que eu estudasse toda minha vida estudantil em instituições públicas.

RESUMO

O uso de informações georreferenciadas na agricultura de precisão tem crescido muito na última década. Além disso, o decréscimo do custo dos equipamentos de recepção GPS tem tornado possível o seu uso por produtores agrícolas que estavam distantes de tal tecnologia. Esta pesquisa objetiva avaliar a precisão e acurácia de receptor GPS modelo Gstar GS-87, para compreender sua aplicabilidade em sistemas de informação embarcado com sistema agrícolas. A pesquisa é parte do projeto Agrobot, que está sendo desenvolvido no Laboratório de Automação e Controle da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Foi utilizado computador embarcado Friendly ARM modelo Mini6410, com sistema operacional Linux versão 2.6.38. Foram realizados três levantamentos absolutos estáticos nos marcos geodésicos Castro (96005), UEPG Campus (91643) e UFPR Pilar 1000, bem como diversos levantamentos absolutos cinemáticos para comparar as coordenadas coletadas pelo receptor GPS Gstar GS-87, com os dados coletados pelo receptor GPS geodésico Leica GX-1230. Como resultado da pesquisa, em levantamentos absolutos estáticos, pode-se afirmar que o receptor apresenta acurácia bidimensional de $\pm 8,19$ m, com desvio padrão de 11,43 m e precisão bidimensional $\pm 13,78$ m com desvio padrão de 14,26 m. Em levantamentos absolutos cinemáticos o receptor tem uma precisão de $\pm 3,70$ m, com desvio padrão de 1,88 m. Também se observou uma diferença de tempo de 15 seg entre os dados coletados por ambos os receptores. Ainda foi observado que o receptor GPS Gstar GS-87 registrava adequadamente alterações de coordenadas quando estava em deslocamento com velocidade igual ou superior a 9 km/h. É possível afirmar que o receptor GPS Gstar GS-87 pode ser utilizado em sistemas de informação embarcado, onde a necessidade de precisão e acurácia sejam compatíveis com os dados apresentados nesta pesquisa.

Palavras chaves: GPS de baixo custo. Robótica. Software livre. Hardware livre. Levantamento absoluto estático. Levantamento absoluto cinemático. Agrobot.

ABSTRACT

The use of geo-referenced information in precision farming has increased greatly in the last decade. Furthermore, the decrease in the cost of GPS reception equipment has made possible their use by people who did not previously have access to this technology. This research aims to evaluate the precision and accuracy of the GPS receptor model Gstar GS-87, to understand its applicability for information systems embedded in agricultural systems. This research is part of the Agrobot project, which is being developed at the Laboratory of Automation and Control, State University of Ponta Grossa. An embedded computer Friendly ARM, model Mini6410 was used, with operating system Linux version 2.6.38. Static absolute surveys were conducted at three geodesic marks: Castro (96005), UEPG Campus (91643) and Pilar UFPR 1000. Several kinematic surveys were also carried out to compare the GPS coordinates collected by GPS receptor Gstar GS-87, with data collected by Geodetic GPS receptor Leica GX-1230. The static surveys from this research show that the GS-87 demonstrated a dimensional accuracy of ± 8.19 m, with standard deviation of 11.43 m, and bi-dimensional accuracy ± 13.78 m with a standard deviation of 14.26 m. In relation to kinematic surveying the receiver had an accuracy of ± 3.70 m with a standard deviation of 1.88 m. A time difference of 15 sec between the data collected for both receptors was observed. Also was observed that the GPS receptor Gstar GS-87 recorded changes of coordinates properly when it was on the move with a speed equal to or greater than 9 km/h. It can be argued that the GPS receiver Gstar GS-87 can be used in an embedded information system, where the need for precision and accuracy are consistent with the data presented in this study.

Keywords: GPS low cost. Robotic. Free *software*. Free Hardware. Absolut static survey. Absolut kinematic survey.

LISTA DE ABREVIATURAS

ARM	<i>Advanced Risk Machine</i>
CISC	<i>Complex Instruction Set Computer</i>
DGPS	<i>Digital Global Positioning System</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
GNNS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
LAGEH	Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia
LCL	<i>Lazarus Component Library</i>
MMU	<i>Memory Management Unit</i>
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
PDOP	<i>Posicional Dilution of Precision</i>
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
PRN	<i>Pseudo Random Noise</i>
RAD	<i>Rapid Application Development</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RISC	<i>Reduced Instructions Set Computer</i>
RCTM	<i>Radio Technical Committee for Maritime Service</i>
SPS	<i>Standard Positioning Service</i>
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
VCL	<i>Visual Component Library</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System, 1984</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precisão das medidas	28
Figura 2 - Função de Gauss	28
Figura 3 - Acurácia ou exatidão das medidas	29
Figura 4 - Fotografia da placa principal do computador embarcado Friendly ARM Mini 6410	31
Figura 5 - Receptor GPS Gstar GS-87	32
Figura 6 - Receptor GPS Gstar GS-87	33
Figura 7 - Receptor GPS Leica GX-1230	35
Figura 8 - Receptor GPS Gstar GS-87 sobre o marco número 96005, Castro - PR	37
Figura 9 - Localização do marco UFPR Pilar 1000.	39
Figura 10 - Área de estudo talhão de plantio da fazenda escola da UEPG	41
Figura 11 - Área de estudo fundos do LAGEH da UFPR	42
Figura 12 - Área de estudo, ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR	43
Figura 13 - Área de estudo Rua Octacília Hasselmann de Oliveira, Ponta Grossa-PR	44
Figura 14 - Levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, durante congestionamento	50
Figura 15 - Dispositivo completo, composto de conjunto de baterias (1), Friendly ARM (2), receptor GPS Gstar GS-87(3) e antena de recepção(4)	51
Figura 16 - Obstruções (árvores) nas proximidades do marco geodésico UEPG Campus (91643)	57
Figura 17 - Pontos coletados na fazenda escola da UEPG, durante levantamento absoluto cinemático realizado a pé com velocidade entre 3 e 5 km/h	63
Figura 18 - Pontos coletados na fazenda escola da UEPG, durante levantamento absoluto cinemático realizado com veículo, velocidade entre 9 e 16 km/h	64

- Figura 19 - Pontos coletados no contorno sul da BR-116 (Linha Verde), no momento do congestionamento enfrentado durante o levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR 66
- Figura 20 - Pontos coletados no contorno sul da BR-116, durante levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, indicação de diferença de 15 seg na coleta dos dados pelo receptor GPS Gstar GS-87 71
- Figura 21 - Pontos coletados durante levantamento cinemático, realizado na Rua Octacília Hasselman de Oliveira, com velocidade acima de 9 km/h 75
- Figura 22 - Pontos coletados durante levantamento cinemático, realizado na Rua Octacília Hasselman de Oliveira, com velocidade abaixo de 9 km/h 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento estático realizado no marco de número 96005	46
Tabela 2 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento absoluto cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR	47
Tabela 3 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento absoluto cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, considerando o erro em latitude	48
Tabela 4 - Exemplo de coleta realizada com velocidade entre 3 km/h e 9 km/h	49
Tabela 5 – Coordenadas coletadas no marco geodésico Castro (96005)	53
Tabela 6 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico Castro (96005)	54
Tabela 7 – Coordenadas coletadas no marco geodésico UEPG Campus (91643)	55
Tabela 8 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico UEPG Campus (91643)	56
Tabela 9 – Coordenadas coletadas no marco geodésico UFPR Pilar 1000	58
Tabela 10 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico UFPR Pilar 1000	59
Tabela 11 - Dados finais dos nove levantamentos estáticos realizados nos marcos geodésicos, com indicação de cada campanha	60
Tabela 12 - Média aritmética das coordenadas de latitude e longitude dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos	60
Tabela 13 - Distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as campanhas, dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos	61
Tabela 13 14- Distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as campanhas, dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos	62

Tabela 15 - Exemplo de dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, que se repetiam quando a velocidade de deslocamento foi inferior a 9 km/h	67
Tabela 16 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR por ambos receptores GPS	67
Tabela 17 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas	68
Tabela 18 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas considerando erro	69
Tabela 19 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias bidimensionais encontradas entre as coletas, considerando o erro	70
Tabela 20 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com deslocamento de 15 seg	71
Tabela 21 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas, considerando deslocamento de 15 seg	72
Tabela 22 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas considerando erro e deslocamento de 15 seg	73

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	Objetivos específicos	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1.	Hardware Livre	15
3.2.	Arquitetura RISC	15
3.3.	ARM (Advanced Risc Machines)	16
3.4.	Software Livre	18
3.5.	Linux e Ubuntu	18
3.6.	Rapid Application Developement	19
3.7.	Ambiente de desenvolvimento Lazarus	19
3.8.	Levantamentos de dados planialtimétricos	21
3.8.1.	Levantamentos terrestres	21
3.8.2.	Levantamentos Aéreos	22
3.9.	GPS 22	
3.9.1.	Segmento Espacial	23
3.9.2.	Segmento de Controle	24
3.9.3.	Segmento de Usuários	24
3.10.	Métodos de Posicionamento	25
3.10.1.	Método absoluto	26
3.11.	Precisão	27
3.12.	Acurácia ou Exatidão	29
4.	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1.	Material	30
4.2.	Métodos	35
4.2.1.	Levantamento absoluto estático	35
4.2.2.	Levantamento absoluto cinemático	39
4.2.3.	Levantamento absoluto cinemático com diferentes velocidades	43
4.2.4.	Análise estatística dos dados coletados nos levantamentos absolutos estáticos e cinemáticos	44
4.2.5.	Avaliação visual dos dados coletados nos levantamentos absolutos cinemáticos com diferentes velocidades	48
5.	RESULTADOS	51
5.1.	Levantamentos absolutos estáticos	52
5.1.1.	Levantamento absoluto estático no marco geodésico Castro (96005)	52
5.1.2.	Levantamento absoluto estático no marco geodésico UEPG Campus (91643)	54
5.1.3.	Levantamento absoluto estático no marco geodésico UFPR Pilar 100057	
5.2.	Levantamentos absolutos cinemáticos	62
5.2.1.	Levantamento absoluto cinemático na fazenda escola UEPG	62
5.2.2.	Levantamento absoluto cinemático no LAGEH UFPR	65

5.2.3.	Levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR	65
5.3.	Levantamento absoluto cinemático com variação de velocidade	74
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	Apêndices	86
	Apêndice 1	86
	Apêndice 2	87
	Anexos	88
	Anexo 1	84
	Anexo 2	84
	Anexo 3	85

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da precisão e acurácia planimétrica do receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS *Global Position System*) Gstar GS-87 (que usa *chipset* SiRF Star III) surgiu da necessidade de desenvolver um sistema computacional (unidade de controle) de localização em tempo real, do projeto AGROBOT, desenvolvido no Laboratório de Automação e Robótica da Universidade Estadual de Ponta Grossa-PR. Este projeto tem por finalidade desenvolver um robô agrícola (*Field robot*), com objetivo de movimentar-se por talhões de cultivo para realizar tarefas relacionadas à coleta de dados agrônômicos em pontos previamente determinados. Para tanto, torna-se necessário conhecer a localização em tempo real do robô.

A unidade de recepção de sinal GPS, modelo Gstar GS-87, será responsável pela geração das informações de posicionamento global por satélites em tempo real do robô. A escolha deste equipamento se deu em virtude do seu baixo custo em comparação com os disponíveis no mercado atual, sendo que este fator também contribui com o desenvolvimento do objetivo principal do AGROBOT. A unidade controle do AGROBOT irá utilizar um computador embarcado¹ na plataforma ARM (*Advanced Risk Machine*), também de baixo custo e baixo consumo de energia, que será descrito em 3.3. Para tanto há a necessidade de realização de testes de validação para avaliar a precisão e acurácia do receptor GPS Gstar GS-87 e identificar a sua usabilidade no AGROBOT.

¹ Catsoulis (2005) define computador embarcado como um computador que está integrado em outro sistema para fins de controle ou monitoramento. Tem-se vários exemplos incorporados em TVs, máquinas de lavar, telefones celulares, automóveis entre outros.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a precisão e a acurácia planimétrica das coordenadas geográficas determinadas pela unidade de recepção de sinal GPS Gstar GS-87.

2.1. Objetivos específicos

- Desenvolver um sistema computacional embarcado, que faça a leitura das mensagens NMEA 0183 (*National Marine Eletronics Assossiation*)² fornecidas pelo receptor GPS Gstar GS-87, filtre as mensagens que são relevantes para o AGROBOT e armazene as informações obtidas.
- Realizar observações sistematizadas em marcos geodésicos com o receptor GPS Gstar GS-87.
- Realizar posicionamentos cinemáticos com os receptores GPS Gstar GS-87 e Leica GX-1230.
- Realizar validações estatísticas, quanto à precisão e acurácia das observações realizadas em marcos geodésicos, bem como nos posicionamentos realizados com os dois receptores supracitados.

² National Marine Eletrocnics Assossiation é uma Associação de fabricantes de produtos eletrônicos para área marítima, o padrão NMEA 0183 é largamente aceito como padrão de interfaceamento entre dispositivos eletrônicos (NMEA, 2011).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica dos tópicos relevantes que foram utilizados para alcançar os objetivos da presente pesquisa, como *hardware* livre, plataforma ARM, *software* livre, Linux e Ubuntu, RAD (*Rapid Application Development*), ambiente de desenvolvimento Lazarus, levantamentos planialtimétricos, sistema GPS, precisão e acurácia ou exatidão.

3.1. Hardware Livre

Hardware livre é um *hardware* projetado e disponibilizado da mesma maneira que um *software* de código livre, o termo foi primeiramente empregado para refletir o lançamento irrestrito de informação sobre o projeto de *hardware*, tal como um diagrama, estrutura de produtos e dados de desenho de uma placa de circuito impresso.

3.2. Arquitetura RISC

A arquitetura³ RISC (*Reduced Instructions Set Computer* ou Computador com Conjunto de Instruções Reduzidas) surgiu como uma opção de competição para a arquitetura convencional CISC (*Complex Instruction Set Computer* ou Computador com Conjunto de Complexo de Instruções). Aletan (1992) aponta o aparecimento da arquitetura RISC como resultado dos avanços tecnológicos e de um estudo histórico de como os conjuntos de instruções são usados pelos compiladores.

Segundo Sharshunov (2004), a arquitetura RISC pode ser utilizada em microcontroladores simples e de baixo custo, bem como em microcontroladores de grandes projetos de superdesempenho. Fabricantes de computadores consolidados no mercado como IBM, Motorola, Apple já em 2004 estavam engajados no desenvolvimento de projetos que faziam uso da

³ A arquitetura é definida como o conjunto de atributos da máquina que um programador deve compreender para que consiga programar o computador específico com sucesso, ou seja, para que consiga compreender o que o programa irá fazer quando da sua execução.

arquitetura RISC. Sharshunov (2004) também cita os três princípios fundamentais da arquitetura RISC:

- Operações de processamento de dados devem ser implementadas apenas no formato registro a registro. Com isso haverá um grande número de registros e a troca de dados entre registradores e memória é implementada por comandos de *load/write* (leitura/escrita) especiais.
- O sistema de comando deve conter um pequeno número de comandos que são frequentemente usados com tamanho idêntico, formato regular e dois ou três tipos de endereçamento simples.
- Cada comando, independentemente do seu tipo, deve ser executado em um ciclo.

Autores como Esponda (1991) e Patterson (1985), nos estudos pioneiros sobre RISC, consideravam os princípios de *design* de arquitetura mais que uma receita especial de arquitetura e sim uma nova filosofia.

Martins (2005) explica de maneira simples a diferença fundamental da arquitetura RISC com a arquitetura CISC, também conhecida como Von-Neumman, atribuindo essa diferença ao barramento⁴ do microcontrolador. A arquitetura CISC utiliza o mesmo barramento tanto para fazer a busca de instruções na memória de programa quanto para acessar (escrever ou ler) a memória de dados. Já na arquitetura RISC são utilizados dois barramentos de endereços distintos para acessar instruções e dados.

3.3.ARM (Advanced Risc Machines)

ARM são processadores de arquitetura RISC de 32 bits, atualmente desenvolvidos pela ARM Corporation. Ryzhyk (2006) apresenta a história desse processador, que começou em 1983 quando a empresa Acorn Computer procurava um microprocessador de 16 bits para suas máquinas *desktop*. Depois de alguns anos de estudo e com o advento da arquitetura RISC, a empresa conseguiu lançar em 1985 o primeiro processador RISC comercial no mundo. O autor ainda afirma que, em meados de 1990, a

⁴ Barramento é um caminho compartilhado que faz a comunicação entre componentes de um sistema computacional, podendo ser barramento de dados, de endereços e controles (MURDOCCA; HEURING, 1999).

empresa Apple tomou a decisão estratégica de usar processador ARM em seus projetos, fundindo-se então com a Acorn Computer, dando origem à empresa ARM, com a terceira versão da arquitetura ARM, de endereçamento de 32 bits, suporte MMU (*Memory Management Unit*, ou em português, Unidade de Gerenciamento de Memória) e 64 bits de instruções multi-acumuladas. Desta forma a Apple entrou para o mercado de processadores embarcados.

Bates (1996) já previa que microcontroladores ARM seriam o futuro ideal para produtos portáteis, como telefones celulares, devido à facilidade de uso, confiabilidade, desempenho e baixo custo. Bates (1996) cita ainda algumas razões para esse tipo de microprocessador ser adequado para dispositivos portáteis:

(...) eles são projetados para baixo consumo de energia por unidade computação, essa baixa potência de consumo leva à queda da temperatura de funcionamento sem a necessidade de sistemas de resfriamento, reduzindo o custo, a complexidade e tamanho. Temperaturas operacionais mais baixas e menor complexidade levam ao aumento da confiabilidade. Os dispositivos ARM são pequenos (...) e eles proporcionam alto desempenho. Alguns dispositivos ARM são tão poderosos quanto máquinas *desktop* e ainda são capazes de executar usando energia a partir de duas pilhas AA.

Furber (2008) compara: em 1985 o primeiro processador ARM executava aproximadamente seis milhões de instruções por segundo e usava 0,1 watts; já em 2008 um típico computador embarcado, como o ARM968, ocupa 0,4 mm² na superfície do *chip* (microprocessador) de silício e executa perto de duzentos milhões de instruções por segundo consumindo 20 mW.

ARM (2011) observa a arquitetura dos micro-controladores ARM atuais. Sobre o aspecto da evolução desses processadores nota-se que já existe suporte para o ARM de 32 bits, assim como ARM com extensões de arquitetura as quais fornecem suporte para linguagem Java e uma maior segurança. Estas melhorias na arquitetura RISC básica são justificadas pela empresa para que os processadores ARM alcancem um bom equilíbrio entre alto desempenho, com tamanho reduzido do código e um baixo consumo de energia.

3.4. Software Livre

Software livre é definido, segundo Von Hippel e Von Krogh (2003), como uma aplicação (programa) para computador com o código-fonte disponível para inspeção, alteração e utilização por qualquer pessoa, seja ela física ou jurídica. Segundo FSF (2011), *Free Software Foundation* (Organização sem fins lucrativos com uma missão global de promover a liberdade de usuários de computadores e de defender os direitos de todos os usuários de *software* livre) também conceitua de maneira semelhante: *Software* livre é uma aplicação computacional que pode ser usada, copiada, estudada, modificada e redistribuída sem restrição.

Para discutir sobre *software* livre é necessário mencionar o sistema operacional Unix. Por definição, pode-se dizer que Unix é um sistema operacional de propósito geral, multiusuário e interativo, que oferece uma série de características, tais quais, sistema de arquivos hierárquico incorporando volumes desmontáveis, capacidade de iniciar processos assíncronos, linguagem de comando do sistema selecionável por base de usuários, compatibilidade com arquivos, dispositivos e processos de entrada e saída (I/O) entre outras. (RITCHIE & THOMPSON, 1974).

3.5. Linux e Ubuntu

Linux é um membro da grande família dos sistemas operacionais Unix. Esse sistema operacional foi inicialmente desenvolvido por Linus Torvalds, em 1991, como um sistema operacional para os computadores IBM, com o *kernel*⁵ (núcleo) baseado em Unix. (BOVET e CESATI, 2002). Ainda segundo Bovet e Cesati (2002), tecnicamente o diferencial do Linux em relação ao Unix é o fato dele não necessariamente incluir todas as aplicações do Unix, como utilitários de arquivos de sistema, sistema de janelas, interfaces gráficas, entre outros.

Bovet e Cesati (2002) também apontam como vantagens do Linux sobre os seus concorrentes comerciais ou outros sistemas baseados em Unix as seguintes características:

⁵ O *Kernel* é uma série de arquivos escritos em linguagem C e em linguagem *Assembly* que constituem o núcleo, o centro de todas as atividades desempenhadas pelo sistema operacional.

- É gratuito;
- É totalmente personalizável em todos seus componentes;
- Permite execução em plataformas simples e baratas;
- T tem alta padronização de seus códigos fontes;
- O *kernel* pode ser bem pequeno e compacto;
- É altamente compatível com os sistemas operacionais comercializados ou distribuídos atualmente.

3.6. Rapid Application Developement

Rapid Application Development (RAD), ou em português, Desenvolvimento Rápido de Aplicações, é uma metodologia de desenvolvimento de *software* que assim como as outras em geral, dispõe de métodos para escolha de arquiteturas e ferramentas, com o diferencial de ter como principal objetivo ser mais rápido, melhor e mais barato quando comparado à metodologia de desenvolvimento tradicional. (HIRSCHBERG, 2002).

A terminologia RAD foi utilizada pioneiramente por Martin (1991) que a define como um ciclo de desenvolvimento desenhado para ser muito mais rápido e obter resultados com maior qualidade do que os tradicionais ciclos de desenvolvimento.

Nesse contexto, surgiram as ferramentas RAD, valendo-se da metodologia de desenvolvimento rápido, produtivo e de alta qualidade. Em ambientes proprietários, como Windows, destacam-se como ferramentas RAD: o Microsoft Visual Basic e o Borland Delphi. Já em ambientes Linux, plataforma livre e *open source* (de código aberto), podem ser citados o HBasic, o projeto Gambas e o Lazarus.

3.7. Ambiente de desenvolvimento Lazarus

Ambiente de desenvolvimento Lazarus é um sistema de desenvolvimento *open source*, baseado no compilador Free Pascal. O ponto diferencial do Lazarus em relação ao Free Pascal, que é uma linguagem de programação e compilador, é o fato dele incluir uma IDE (*Integrated Development Environment* ou, em português, Ambiente Integrado de

Desenvolvimento) com um editor de códigos, um ambiente para desenho de formulários e seus componentes, assim como bibliotecas compatíveis com as bibliotecas visuais do Borland Delphi VCL (*Visual Component Library*) (LAZARUS, 2011).

A principal vantagem do RAD Lazarus é a possibilidade de uso das chamadas *Lazarus Component Library* (LCL) ou, em português, Bibliotecas de Componentes Lazarus, que incluem muitos componentes equivalentes aos componentes VCL do Borland Delphi, principalmente em aspectos visuais, os chamados GUI (*Graphical User Interface*, Interface Gráfica de Usuário), como botões, painéis, menus, caixas de texto entre outros.

Gaertner (2009) afirma que o Lazarus é uma importante ferramenta RAD, uma vez que facilita e acelera o desenvolvimento de programas em ambientes visuais ou gráficos, e também afirma que as principais diferenças entre Delphi e Lazarus são: Lazarus é totalmente *open source*; pode ser executado em mais de quinze plataformas, entre elas Windows 32, Windows 64, WinCE, Linux, FreeBSD, MacOS X/Darwin, DOS, OS/2, Netware e MorphOS; pode ser executado em processadores Intel x86, AMD64/x86_64, PowerPC, PowerPC64, Sparc e também nos microcontroladores ARM. Também pode ser considerado como uma vantagem o fato de o Lazarus ser gratuito até mesmo para uso comercial e possuir um mecanismo de licença de uso e distribuição bastante flexível.

O RAD Lazarus pode ser utilizado para desenvolver aplicações gráficas multiplataforma, pois existem bibliotecas públicas e proprietárias para manipular arquivos 2D ou 3D. Nele é possível desenvolver *softwares* de arquitetura cliente servidor de multiplataforma e até mesmo converter componentes VCL em componentes LCL. (GIROUX, 2011).

Considerando que o objetivo desta pesquisa é realizar a avaliação de equipamento de coleta de dados GPS, por meio de levantamentos planimétricos, é importante compreender alguns conceitos relevantes desta área, tais como levantamento de dados terrestres, topografia, levantamentos de dados aéreos e sistema de posicionamento global.

Tschiedel e Ferreira (2002) relacionam coleta de dados georreferenciados e agricultura, onde justificam esse elo como uma maneira de satisfazer a necessidade crescente de eficiência, em todos os setores da

economia, para manter a competitividade. Sendo assim eles visualizam nos avanços das tecnologias em georreferenciamento uma nova forma de enxergar a propriedade rural, deixando de ser somente uma propriedade e sim várias porções menores dentro da mesma, porém com características específicas. Desse modo o empresário rural, por controlar cada vez mais a sua linha de produção, pode ser mais competitivo no mercado.

3.8. Levantamentos de dados planialtimétricos

Segundo Nogueira (2009), levantamento de dados planialtimétricos é a coleta de dados de posicionamento com informações sobre coordenadas geográficas e altitude. A maneira como os dados são coletados varia em função da disponibilidade de técnicas e recursos que podem ser terrestres ou aéreos.

3.8.1. Levantamentos terrestres

Levantamento de dados terrestres ou levantamento de campo é um conjunto de operações efetuadas no terreno para obter as medidas de interesse para a representação desejada. Para a realização desse tipo de levantamento é necessário utilizar técnicas de topografia⁶.

O sistema de coordenadas topográficas é um sistema plano – retangular definido pelo eixo das ordenadas “y”, paralelo à direção Norte – Sul e um eixo “x” (abscissa) formando 90° com a ordenada na direção Leste – Oeste. Também existe a coordenada “z”, dada pela cota ou altitude. Este sistema tem uma origem arbitrária e por ser plano – retangular, como o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), é possível fazer sua transformação para UTM, por meio de uma translação de eixos. Assim, a sua origem deverá coincidir com um marco geodésico de coordenadas UTM conhecidas (NOGUEIRA, 2009).

⁶ Topografia é a ciência aplicada que utiliza medidas de distâncias horizontais e verticais, ângulos e orientação para, a partir de um projeção ortogonal sobre um plano, representar os pontos que definem a forma, as dimensões e as posições relativas de uma parte da superfície terrestre, sem considerar sua curvatura. (LOCH & CORDINI, 2000).

3.8.2. Levantamentos Aéreos

Quando são realizados levantamentos aéreos ou aerofotogramétricos, os dados obtidos pelas fotografias aéreas métricas, são transformados em produtos cartográficos (cartas planimétricas e planialtimétricas, cartas cadastrais, ortofotos, ortofotocartas e modelo digital de terreno) através de fotogrametria e foto interpretação. (NOGUEIRA, 2009).

Segundo definido por Andrade (1998), fotogrametria “é a ciência e a tecnologia de obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens”. Tem grande aplicação na elaboração de mapas.

Segundo Nogueira (2009), na fotogrametria, o posicionamento de pontos é realizado com o apoio de levantamento de campo e por métodos de triangulação fotogramétrica, também conhecido como aerotriangulação. O processo de transferência das informações da foto para o mapa, na fotogrametria digital, é feito primeiro pela conversão analógica/digital das aerofotos, utilizando *scanners* de alta resolução. Posteriormente ao se fazer uso de equipamentos restituidores analógicos ou digitais, são gerados produtos fotogramétricos em arquivos digitais.

Outra maneira importante de realizar coleta de dados planialtimétricos é por meio de sistemas de posicionamento por satélites, por exemplo GPS.

3.9. GPS

O GPS ou NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time And Raging – Global Positioning system*) é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo departamento de Defesa dos Estados Unidos da América – DoD (*Department of Defense*), com o objetivo de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas. A concepção do sistema GPS permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre, ou próxima a ela, tenha à disposição, no mínimo, quatro satélites para serem rastreados. Este número de satélites permite que se realize, por triangulação geométrica, posicionamento global em tempo real. (MONICO, 2000).

O sistema GPS é composto por três segmentos: segmento espacial, de controle e de usuários.

3.9.1. Segmento Espacial

O segmento espacial básico é formado de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, com uma altura orbital média de 20.200 km. Este segmento é uma parte importante do sistema, pois é mediante ele que se pode calcular a posição na superfície da Terra. Cada satélite carrega padrões de frequência altamente estáveis (césio e rubídio) com estabilidade entre 10^{-12} e 10^{-13} por dia, formando um referência de tempo muito precisa. (MONICO, 2000).

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2. Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Dessa forma, as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) de L1 e L2 são:

$$\S \quad L1 = 1.575,42 \text{ MHz e } \lambda = 19,05 \text{ cm}$$

$$\S \quad L2 = 1.227,60 \text{ MHz e } \lambda = 24,45 \text{ cm}$$

Os códigos gerados que formam o PRN (*Pseudo Random Noise*) são modulados, em fase, sobre essas duas portadoras, permitindo realizar medidas de distâncias a partir da medida do tempo de propagação da modulação. Uma PRN é uma seqüência binária (0 e 1 ou +1 ou -1), que pode ser univocamente identificada. Trata-se dos códigos C/A e P. (LEICK, 1998).

O código C/A (*Coarse Acquisition*, ou em português, de fácil aquisição), com comprimento de onda por volta de 293,26 m, é transmitido a uma razão de 1,023 MHz. Ele é gerado com base no produto de duas seqüências PR (*Pseudo-Random* - pseudo-aleatória), denominadas G1 e G2, cada uma com período de 1.023 bits, e o código C/A apresenta período de 1 ms. Cada satélite transmite um código C/A diferente. (MONICO, 2007).

O código P (*Precise*), reservado para os americanos, não está liberado para uso civil, tem comprimento de onda de 29,33 m e é transmitido na razão de 10,23 MHz.

Desde janeiro de 1999 foi decidido que dois novos sinais seriam implementados nos satélites, sendo: um código civil na onda portadora L2 (L2C) e uma terceira onda portadora L5 com uma frequência de 1.176,45 MHz e $\lambda = 25,5$ cm. Este segmento está em contínua modernização, a

constelação conta com 31 satélites em órbita desde julho de 2011 (LEANDO, 2008).

3.9.2. Segmento de Controle

O segmento de controle é composto por cinco estações de monitoramento (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia e Colorado Springs), que têm por principais tarefas: monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites; determinar o sistema de tempo GPS; prever as efemérides⁷ dos satélites e calcular as correções dos relógios dos satélites; atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite. (MONICO, 2000).

No segundo semestre de 2005 foram adicionados mais seis estações de monitoramento pertencentes ao NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) (KOWOMA, 2012).

3.9.3. Segmento de Usuários

Monico (2000) afirma que o segmento de usuários do sistema GPS é constituído pelos dispositivos receptores do sinal GPS, sendo que devem ter as características para os propósitos a que se destinam, dividindo-se em civil e militar. O autor cita os principais componentes de um receptor GPS:

- Antena com pré-amplificador;
- Seção de radiofrequência (RF) para identificação e processamento do sinal;
- microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados;
- Oscilador;
- Interface para usuário, painel de exibição e comandos;
- Provisão de energia;
- memória para armazenar os dados coletados;

⁷ Efemérides significam, em latim, “memorial diário”, “calendário” (*ephemèris, idis*), ou, em grego, “de cada dia” (*ephémèris, idos*). Tabela que fornece, em intervalos de tempo regularmente espaçados, as coordenadas que definem a posição de um astro (MOURÃO, 1987).

Os receptores GPS podem ser divididos segundo vários critérios, de acordo com a comunidade de usuários: civil e militar, de acordo com a aplicação: de navegação, geodésico, para SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e de aquisição de tempo. Ainda pode-se classificar de acordo com o tipo de dados que recebem: código C/A, código C/A e onda portadora L1, código C/A e ondas portadoras L1 e L2, código C/A e P e ondas portadoras L1 e L2, onda portadora L e, por último, as ondas portadoras L1 e L2. (MONICO, 2000).

Segundo Nogueira (2009), além do sistema GPS, previamente descrito, existem três outros sistemas de posicionamento global em funcionamento ou em desenvolvimento:

- GLONASS, denominado de *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema* (ou Global Navigation Satellite System), pertencente à Federação Russa, com características semelhantes, mas com diferentes implementações cujo funcionamento é similar ao sistema GPS (GLONASS, 2012).
- Galileo (*European Satetellite Navigation System*) é um sistema europeu que envolve a União Européia, a ESA (*European Space Agency*) e a indústria européia. foi concebido para uso civil, encontra-se em desenvolvimento, em 2011 foram lançados dois satélites e em 2012 mais dois. A capacidade operacional inicial deverá ser atingida em meados desta década (GALILEO, 2012).
- Compass, *Navigation Satellite System* (Sistema de Navegação por Satélite) ou Beidou-2, sob responsabilidade da China, encontra-se em desenvolvimento, e está previsto entrar em operação em 2015.

3.10. Métodos de Posicionamento

O uso de receptor GPS permite a determinação das coordenadas dos pontos em diferentes níveis de precisão, dependendo do método de posicionamento utilizado. As estratégias de observação com receptor GPS podem ser classificadas primeiramente, em função do número de receptores envolvidos no levantamento. O posicionamento absoluto ou por ponto utiliza apenas um receptor GPS, enquanto que o posicionamento relativo

utilizará pelo menos dois receptores GPS rastreando simultaneamente. (KRUEGER, 1996).

Na literatura a classificação quanto aos métodos de posicionamento é ampla, contudo pode-se, em linhas gerais dividi-los em: Absoluto ou por ponto; Relativo e Diferencial.

O primeiro método de posicionamento é aquele em que as coordenadas a serem determinadas estão associadas ao geocentro; No segundo caso estas coordenadas são determinadas com relação as coordenadas dos vértices das estação base a que estão atreladas; No caso do método de posicionamento diferencial as coordenadas são obtidas através das correções diferenciais geradas na estação de referência e enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação no formato RCTM (*Radio Technical Comittee for Maritime Service*) (Krueger, 1996).

Os posicionamentos absolutos e relativos podem ser realizados pelas técnicas estáticas e cinemáticas. No primeiro caso a antena encontra-se estática quando se está determinando a coordenada do ponto de interesse e no segundo caso a antena está em movimento, como, por exemplo, os veículos em movimento (Krueger, 2012).

3.10.1. Método absoluto

O método de posicionamento absoluto, também denominado posicionamento por ponto, caracteriza-se por usar apenas um receptor GPS (antena) na determinação das coordenadas, vinculadas ao sistema de referência, como, por exemplo, WGS-84 (*World Geodetic System*, 1984). Seu princípio fundamental está baseado nas medidas das pseudodistâncias⁸ entre o receptor e os satélites que estão emitindo o sinal.

Segundo Briones (1999), o usuário padrão SPS (*Standard Pontioning Service*) que está operando com o emprego do código C/A obterá precisão da ordem de 100 e 150 em 95% dos casos para posicionamento horizontal e vertical, respectivamente. Contudo nesta época a técnica de segurança SA (*Selective Availability*, em português – disponibilidade seletiva)

⁸ Pseudodistância é a distância geométrica formada entre o satélite e o usuário do sistema, acrescida principalmente de erros provenientes do não sincronismo entre os relógios do receptor e do satélite (LEICK, 1998).

estava ativada. Ela consiste na degradação do sinal dos satélites GPS. A partir de 2 de maio de 2000 esta técnica foi desativada. Desta forma a precisão passou a ser da ordem de 20 a 25 m para posicionamento horizontal e vertical, respectivamente, com nível de probabilidade de 95 (ELIAS, 2009).

Este tipo de posicionamento, absoluto, pode ser realizado no modo cinemático ou estático, e o resultado é uma navegação, independente de haver ou não movimento. A maior aplicabilidade deste posicionamento é no apoio à navegação, devido às precisões conseguidas, não é um posicionamento satisfatório na geodésia e na confecção de bases cartográficas de grande escala ou em trabalhos que exijam alta precisão.

Segundo IBGE (2012b), os usuários que desejam obter coordenadas com precisão devem utilizar o método chamado PPP (Posicionamento por Ponto Preciso). Neste caso são coletadas informações em campo (código e/ou fase da onda portadora), empregadas as efemérides precisas e as correções para o relógio dos satélites produzidas por centros de análises como a NOAA, NGS e JPL (*Jet Propulsion Laboratory*). Atualmente o Brasil conta com um serviço de consulta das correções *online*, disponibilizado pelo IBGE⁹.

De acordo com o uso que será dado para as informações fornecidas pelas unidades de recepção GPS, é importante conhecer o nível de precisão e acurácia dos valores coletados, para tanto é fundamental compreender os conceitos de precisão e acurácia, indicados na próxima seção.

3.11. Precisão

Segundo Andrade (1998), precisão é uma função de espalhamento dos resultados obtidos, quanto mais próximos da média os valores estão, mais preciso é o conjunto de dados, e por consequência quanto mais espalhados estão os valores em relação à média dos valores, menos precisos são os dados. Para determinar a precisão de um conjunto de dados, pode-se usar o exemplo de dois atiradores diferentes que efetuaram vários disparos num alvo. A Figura 1 mostra que o atirador da direita conseguiu concentrar mais seus disparos. De uma maneira simplista é aceito que este

⁹ <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/>

seja melhor atirador, pois seus disparos ficaram menos espalhados, embora nenhum dos dois tenha o centro do alvo na média dos disparos. Então pode-se afirmar que quanto menor o espalhamento, mais preciso são os resultados.

A medida de precisão deve, portanto, ser uma medida de espalhamento. A Curva de Gauss, também chamada de Curva Normal, oferece o parâmetro de medida do grau de espalhamento de uma variável em relação à sua média.

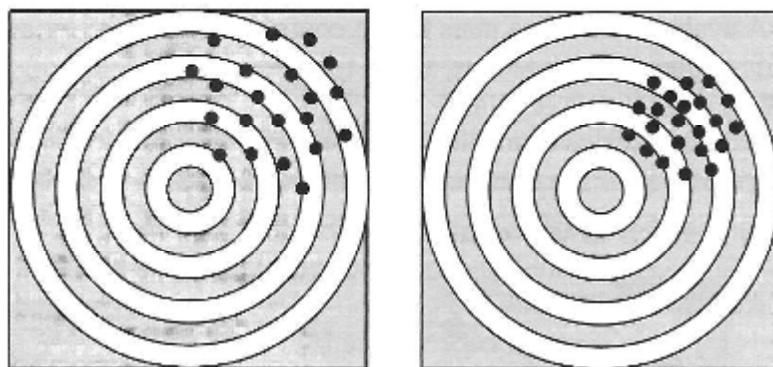


Figura 1 - Precisão das medidas
Fonte: ANDRADE, 1998

A Figura 2 mostra a função de densidade de probabilidade normal ou Gaussiana (ANDRADE 1998). O ápice da Curva de Gauss corresponde à média dos valores e a maior parte deles está próximo da média. A área delimitada pela curva pela abscissa e duas ordenadas representa o percentual de valores existentes naquele intervalo. O desvio padrão é a distância d entre a média e cada um dos dois pontos de inflexão que a curva apresenta. A área delimitada pela curva, pela abscissa e as ordenadas nos pontos de inflexão representa a medida da probabilidade da média real estar contida nesse intervalo.

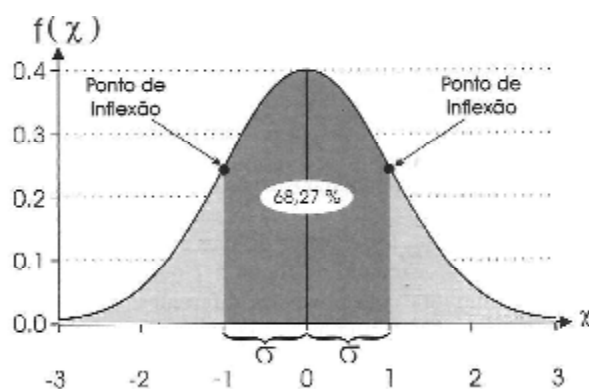


Figura 2 - Função de Gauss
Fonte: ANDRADE, 1998

3.12. Acurácia ou Exatidão

Segundo Andrade (1998), acurácia ou exatidão é o grau de confiabilidade dos dados. Para medir a acurácia de um conjunto de dados é necessário confrontar os valores do conjunto de dados com um valor considerado “verdade” ou alvo. Ainda usando o exemplo dos atiradores que efetuaram diversos disparos num determinado alvo, verifica-se na Figura 3 que ambos os atiradores foram igualmente exatos, embora com precisões diferentes, sendo que o atirador da direita é mais preciso que o da esquerda, haja vista que seus disparos foram mais próximos do alvo.

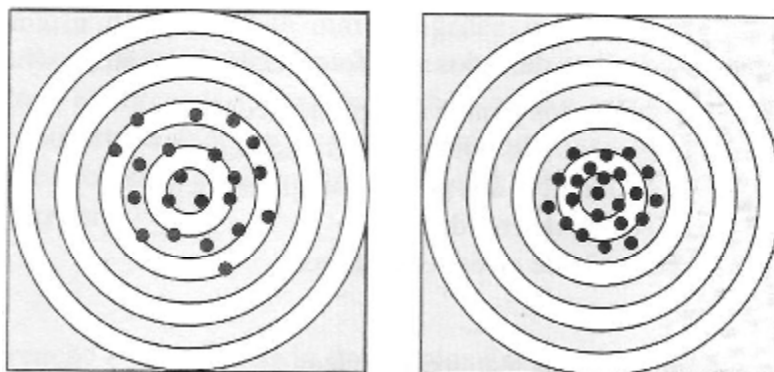


Figura 3 - Acurácia ou exatidão das medidas
Fonte: ANDRADE, 1998

A acurácia ou exatidão é atingida com a eliminação de erros sistemáticos, que são aqueles que se conhece a causa física. Eles podem ser modelados ou reduzidos por técnicas especiais de observação (GEMAEL, 2004). Estes erros podem ter origem nos instrumentos de medição, nas técnicas de medição e nos modelos sistemáticos. (ANDRADE, 1998).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Para alcançar os objetivos definidos nesta pesquisa foram utilizados os materiais listados a seguir.

Um computador embarcado Friendly ARM modelo Mini6410, fabricado por FriendlyARM Co. Ltd, cuja especificação técnica é:

- a) CPU: Samsung S3C6410A, ARM1176JZF-S, 533 MHz;
- b) DDR RAM: 256 Mb onboard e 32 bit data bus;
- c) Flash Memory: 1 Gb MLC Nand flash;
- d) LCD: 4.3 polegadas, colorido, sensível ao toque;
- e) Interfaces e acessórios externos:
 - Porta Ethernet, 100 Mbit RJ-45 (chipset DM9000)
 - Porta serial DB9 RS232 five-wire
 - Porta mini USB Slave 2.0
 - Saída de áudio
 - Entrada de microfone
 - Porta RCA, saída de TV
 - Porta USB Host 1.1
 - Conector padrão para leitura/gravação de cartão SD
 - Receptor de infravermelho
 - Conector de energia 5V
 - I2C-EEPROM chip (256 byte) para teste de I2C Bus
 - 4 * LEDs (verde)
 - 8 * Botões de usuário
 - Resistor ajustável para conversor AD
 - PWM sirene
 - Bateria backup para EPROM

A placa principal do Friendly ARM modelo Mini6410 é mostrada na Figura 4 mediante fotografia, onde é possível observar os itens importantes para o desenvolvimento deste trabalho, os quais estão destacados, sendo: K8, K7 (Botões para usuário interagir com o dispositivo); S1 (Off-On, Tecla para

ligar e desligar); Power Input (Conector para energia 5V); CON4 (UART3:TTL, Conector da porta serial para receber dados do GPS, mensagens NMEA-01830, bem como enviar energia para este); RJ-45 (Conector da porta de rede utilizado para transmitir dados para o computador desktop); SD Slot (Conector de cartão de memória SD, foi utilizado para armazenar os dados das leituras).

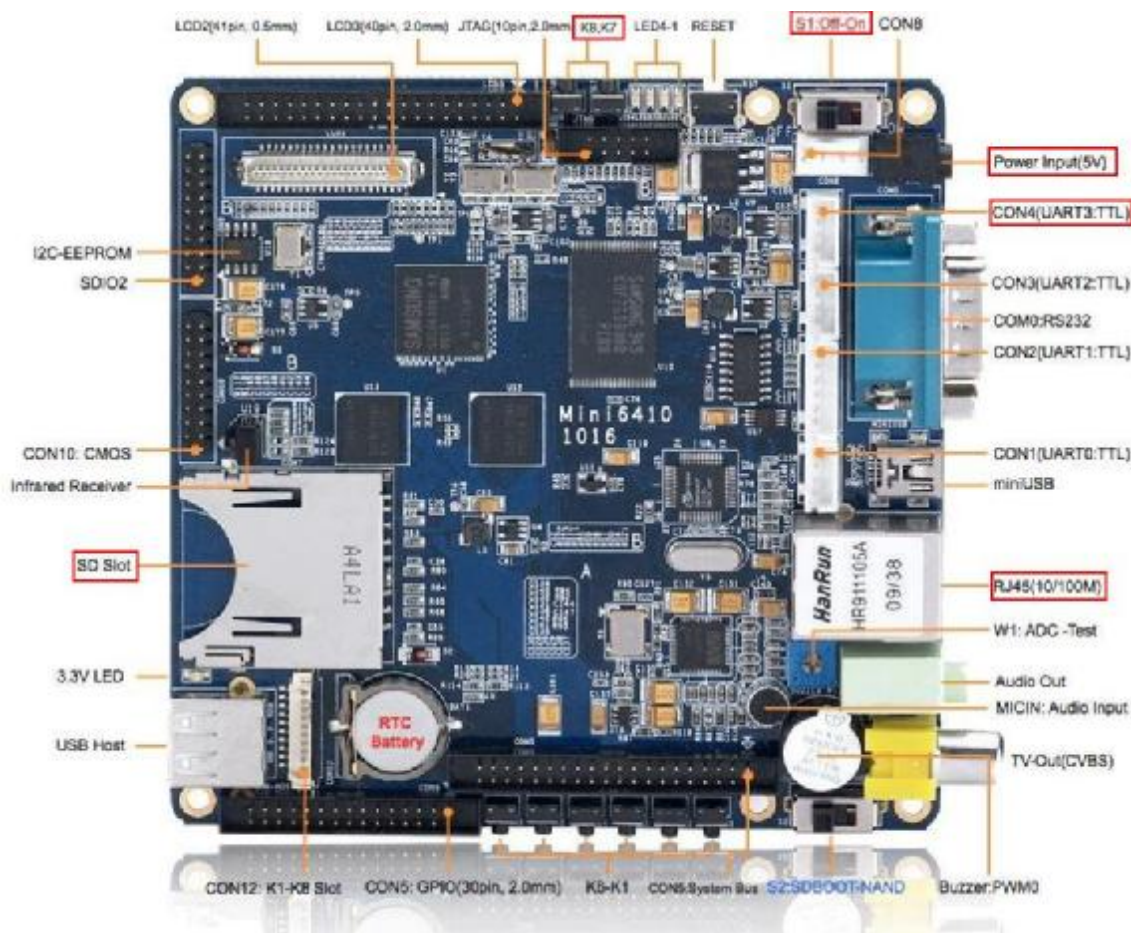


Figura 4 - Fotografia da placa principal do computador embarcado Friendly ARM Mini 6410
Fonte: ARM (2010)

Como receptor de sinal GPS, objeto de estudo desta pesquisa, foi utilizado o equipamento receptor GPS Gstar GS-87, com microcontrolador *chipset* GPS SiRFstar III, sendo este um microcontrolador GPS de alta sensibilidade, fabricado pela empresa SIRF Technology Holdings, Inc. Para transmitir as informações, esta unidade de recepção GPS utiliza o protocolo de comunicação definido pela National Marine Electronics Association's (NMEA 01830). A descrição completa deste protocolo pode ser obtida em NMEA (2012).

Pode-se observar na Figura 5 exemplo das mensagens NMEA enviadas pelo receptor GPS Gstar GS-87, com destaque para algumas informações relevantes para esta pesquisa: PDOP¹⁰ (*Posicional Dilution of Precision*), Protocolo, Hora UTC¹¹ (*Universal Time Coordinated*), Latitude, S/N (Sul/Norte), Longitude, Núm.Sat. (número de satélites que o receptor está recebendo informações no momento da coleta dos dados, Altitude, Velocidade de deslocamento e Rumo.

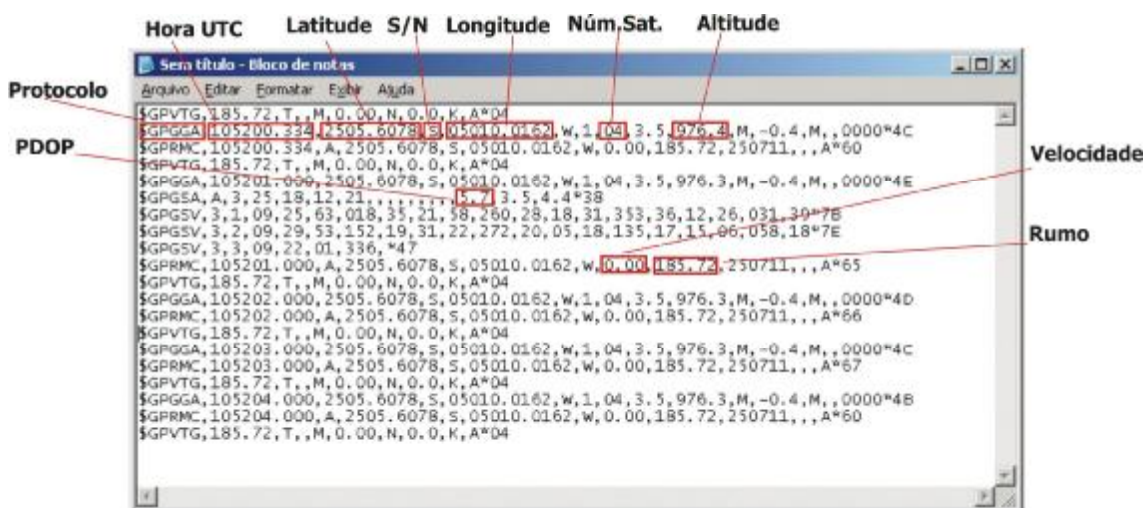


Figura 5 - Receptor GPS Gstar GS-87
Fonte: AUTOR

A Figura 6 exibe a fotografia do receptor GPS Gstar GS-87, com destaque para os conectores utilizados: Conector da antena, para conectar o receptor GPS à antena de recepção de sinal (1); Conector serial, utilizado para energizar o receptor GPS e transmitir as mensagens NMEA para a porta serial do Friendly ARM modelo Mini6410 (2).

¹⁰ PDOP pode ser interpretado como um valor inversamente proporcional ao volume de um tetraedro, o qual se forma pelos satélites observados e pela estação de observação. (LANGLEY. 2012)

¹¹ *Universal Time Coordinated* (Hora Universal Coordenada) é o fuso horário de referência a partir do qual se calculam todas as outras zonas horárias do mundo. As informações coletados pelos receptores GPS nessa pesquisa não consideram o deslocamento do fuso horário.

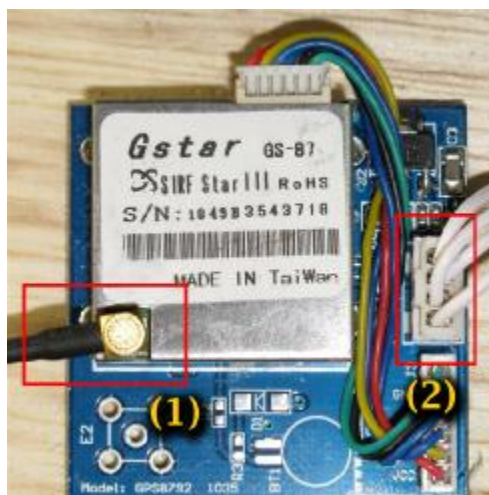


Figura 6 - Receptor GPS Gstar GS-87
Fonte: AUTOR

Para o equipamento ter autonomia e torná-lo portátil, foi construída uma fonte de energia com um conjunto de oito baterias tamanho AA, permitindo sua utilização em locais sem energia elétrica disponível. Testes realizados possibilitaram observar que nessa configuração o conjunto de oito baterias tamanho AA propicia uma autonomia de aproximadamente cinco horas de uso contínuo.

Como sistema operacional para o computador embarcado Friendly ARM modelo Mini6410 mostrado na Figura 4, foi utilizado o sistema operacional Linux versão 2.6.38, sendo este fornecido junto com o equipamento.

Para o ambiente de desenvolvimento das aplicações foi utilizado o sistema operacional Linux Ubuntu, versão 11.04 Natty, sendo este utilizado no microcomputador desktop.

A linguagem de programação Free Pascal Compiler e ambiente de desenvolvimento RAD Lazarus IDE v0.9.28.2-12, foram utilizados para o desenvolvimento dos programas empregados no Friendly ARM modelo Mini6410, para a captura e gravação das mensagens NMEA enviadas pelo receptor GPS Gstar GS-87. O ambiente de desenvolvimento foi configurado para cross-compiler, técnica que permite fazer uso um ambiente de desenvolvimento para compilar *software* para outro ambiente. Esta técnica *cross-compiler* foi usada em razão de não existir condição técnica para utilizar o Friendly ARM modelo Mini6410 para o desenvolvimento das aplicações, por

falta de memória. Foi necessária a utilização de um microcomputador desktop, com o Free Pascal Compiler e o RAD Lazarus instalado e configurado para gerar código cross-compiler para o sistema operacional do Friendly ARM modelo Mini6410.

O software GPS TrackMaker versão profissional 4.7, produzido por Geo Studio Technology Ltda, de Belo Horizonte-MG, foi utilizado para gerar sobreposição dos pontos coletados neste trabalho sobre imagens ilustrativas da base de imagens pública do Google Earth, dos locais de estudo. Isso permite a visualização e a contextualização de onde ocorreram os levantamentos a campo.

O veículo motocicleta Honda NX4 Falcon foi usado para a realização do levantamento cinemático na Fazenda Escola da UEPG (Universidade Estadual de Ponta Grossa-PR).

O veículo GM S10 foi utilizado, para realização do levantamento cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR (Universidade Federal do Paraná), em Curitiba-PR.

O receptor GPS Geodésico Leica GX-1230, que utiliza tecnologia SmarTrack, de dupla frequência, com precisão de Horizontal: 10 mm + 1 ppm, cinemático o *software* LEICA Geo Office Vertical: 20 mm + 1 ppm, cinemático GX1230, Horizontal: 5 mm + 0.5 ppm, estático, canais 12 L1 + 12 L2/WAAS/EGNOS, com antena SmartTrack AX1202 e com pós processamento dos dados. Essa unidade de recepção GPS foi empregada para comparar os dados por ela recebidos com os dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87, nos levantamentos cinemáticos para avaliar a precisão do receptor GPS Gstar GS-87. A Figura 7 mostra fotografia do GPS Leica GX-1230.



Figura 7 - Receptor GPS Leica GX-1230
Fonte: Fabricante do dispositivo

4.2. Métodos

A fim de alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, foram realizados levantamentos absolutos em campo: estáticos, cinemáticos e cinemáticos com alteração de velocidade. Para a verificação da precisão e acurácia foram feitas análises estatísticas e visuais dos dados coletados em todas as campanhas realizadas. As próximas seções descrevem os levantamentos em campo supracitados e as análises estatísticas e visuais dos dados coletados.

4.2.1. Levantamento absoluto estático

Os levantamentos estáticos foram realizados como parte da avaliação da precisão e acurácia do receptor GPS Gstar GS-87, sendo que esses procedimentos ocorreram em forma de campanha, em três horários diferentes do dia, no início da manhã (entre às 08h14 e 09h31), no início da tarde (entre as 12h e 14h29) e no final da tarde (entre às 16h06 e 21h31), por um período contínuo de 20 minutos em cada campanha, gravando as seguintes informações: Hora UTC, latitude, longitude, altitude geométrica, número de satélites e PDOP. O intervalo de gravação utilizado foi de um segundo. As campanhas foram realizadas em três marcos geodésicos distintos, sendo dois destes marcos homologados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística) e um terceiro marco que compõem a primeira base de calibração de antenas GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) do LAGEH (Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia) da UFPR. Esta metodologia, três campanhas em três diferentes períodos do dia, foi escolhida em virtude da constelação de satélites, que enviam os sinais de posicionamento, estar em constante movimento, conforme descreve Monico (2000). Portanto foi importante testar o receptor GPS Gstar GS-87 em diferentes configurações no que diz respeito à constelação de satélites.

Para armazenar os dados (mensagens NMEA) dos levantamentos estáticos foi desenvolvido um sistema computacional (*software*), utilizando linguagem de programação Free Pascal Compiler e ambiente de desenvolvimento RAD Lazarus, descrito em 3.7. Essa aplicação tem por objetivo realizar a leitura das mensagens NMEA enviadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 e a posterior gravação dessas mensagens a intervalos regulares de um segundo, durante um período contínuo de vinte minutos. Ao final desse período de tempo a aplicação finaliza automaticamente a coleta de informações. O código fonte do software desenvolvido para realizar a captura dos dados dos levantamentos estáticos está disponível para download em: <<http://proxy.cd.inf.br/gps/gpsserial.lpr>>.

Em cada uma das campanhas, a antena do receptor GPS Gstar GS-87 foi instalada sobre o parafuso de centragem forçada existente em cada um dos marcos geodésicos utilizados. A Figura 8 mostra o marco geodésico de número 96005 (1), localizado no Centro Municipal da Agropecuária da Prefeitura Municipal de Castro-PR (2), com destaque para a antena de recepção de sinal GPS (2), e a unidade de recepção e armazenamento dos dados (3).



Figura 8 - Receptor GPS Gstar GS-87 sobre o marco número 96005, Castro - PR
Fonte: AUTOR

As coordenadas calculadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 foram comparadas com as coordenadas geodésicas dos marcos geodésicos utilizados. Determinou-se as distâncias vertical, horizontal e bidimensional entre elas. Os cálculos das distâncias verticais, horizontais e bidimensionais serão descritos em 4.2.4.

Os levantamentos estáticos foram realizados em três marcos geodésicos, descritos a seguir:

- Marco Geodésico homologado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de número 96005, com coordenadas geodésicas iguais a latitude $24^{\circ} 47' 17,2495''$ Sul e de longitude $50^{\circ} 00' 00,2927''$ Oeste e altitude geométrica igual a 991,80 m (sistema de referência SIRGAS 2000). Ele encontra-se localizado nas dependências do Centro Municipal da Agropecuária da Prefeitura Municipal de Castro-PR, Rua Francisco de Assis Andrade, nº. 141, Bairro Vila Rio Branco, 15 m SE do prédio da Secretaria Municipal de Saúde. O relatório desse marco pode ser obtido em <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=96005>, que será denominado nesta pesquisa Marco Geodésico Castro (Anexo 2).
- Marco Geodésico homologado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de número 91643, com as coordenadas geodésicas iguais a latitude $25^{\circ} 05' 43,3920''$ Sul e de longitude $50^{\circ} 06' 18,4961''$ Oeste e altitude geométrica igual a 912,41 m (sistema de referência SIRGAS 2000). Ele encontra-se localizado nas dependências do Campus

Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa-PR, Avenida Carlos Cavalcanti, 4748, Bairro Uvaranas, a 50 m SW do Bloco L, também conhecido como Bloco de Ciências Exatas e Naturais, em um canteiro gramado próximo ao estacionamento. Dista cerca de 210 m a E da Prefeitura do Campus. O relatório desse marco pode ser obtido em <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=91643>, que será denominado nesta pesquisa Marco Geodésico UEPG Campus (Anexo 3).

- Marco Geodésico conhecido como Pilar 1000 (Oeste), com as coordenadas geodésicas de latitude $25^{\circ} 26' 55,05943''$ Sul e de longitude $49^{\circ} 13' 52,30662''$ Oeste e altitude geométrica igual a 928,56 m (sistema de referência SIRGAS 2000). Ele pertence a base de calibração e se localiza nas dependências do Centro Politécnico da UFPR em Curitiba-PR, sobre o prédio anexo ao Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrologia. A Figura 9 mostra imagem ilustrativa do Google Earth com a localização do Pilar 1000 (Oeste), este pilar dista aproximadamente 35 metros sentido sul do marco geodésico homologado pelo IBGE de número 93970, com coordenadas geodésicas de latitude $25^{\circ} 26' 54,56200''$ Sul e de longitude $49^{\circ} 13' 52,21251''$ Oeste. O marco geodésico 93970 não pode ser utilizado para coleta de dados em virtude de este pertencer a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) e possuir sobre ele uma antena que está conectada a um receptor GNSS (GPS e GLONASS) que faz leituras contínuas dos dados coletados, Caso fosse posicionada a antena do receptor GPS Gstar GS-87 sobre este marco, haveria interferência nas referidas leituras e não havia autorização para tal. Este marco será denominado nesta pesquisa Marco Geodésico UFPR Pilar 1000, os dados desse marco foram fornecidos pelo LAGEH.



Figura 9 - Localização do marco UFPR Pilar 1000.

Fonte: Imagem capturada com software TrackMaker, base pública de imagens Google Earth.

4.2.2. Levantamento absoluto cinemático

Para avaliar o comportamento do receptor GPS Gstar GS-87, em movimento, foram realizados dois levantamentos cinemáticos em duas áreas de estudo diferentes, utilizando além do receptor GPS Gstar GS-87 também o receptor GPS Leica GX-1230 simultaneamente, sendo este receptor geodésico com adequado para realizar a verificação da precisão do receptor GPS Gstar GS-87, objeto deste estudo. Os dois receptores foram utilizados para coletar os dados, para posterior análise estatística das distâncias horizontal, vertical e bidimensional calculadas.

Para realizar este levantamento cinemático, foi desenvolvida uma aplicação a qual faz a leitura e gravação das mensagens NMEA gerados pelo receptor GPS Gstar GS-87. O intervalo de gravação utilizado para os levantamentos cinemáticos foi de um segundo. Porém, diferentemente da aplicação utilizada nos levantamentos estáticos, este não tem tempo total pré-definido de 20 minutos, o usuário utiliza um botão no dispositivo para finalizar a leitura. Esta aplicação grava as seguintes informações coletadas: Hora UTC, latitude, longitude, altitude geométrica, número de satélites, PDOP e velocidade. O código fonte do software desenvolvido para realizar a captura dos dados dos levantamentos cinemáticos está disponível em: <<http://proxy.cd.inf.br/gps/gpscine.lpr>>.

As áreas de estudo utilizadas nos levantamentos absolutos cinemáticos foram:

- Talhão de plantio da fazenda escola da UEPG. A Figura 10 mostra imagem ilustrativa do local, capturada com *software* TrackMaker, do local, com indicação de ponto inicial do polígono do talhão nas coordenadas de latitude 25° 05' 42,57431" Sul e de longitude 50° 03' 05,66895" Oeste (sistema de referência WGS-84), bem como o caminhamento realizado em um dos levantamentos. Foram executados dois levantamentos nesta área, sendo um deles com velocidade entre 3 km/h e 5 km/h (realizado a pé) e outro com velocidade entre 10 km/h e 16 km/h (utilizando veículo motocicleta Honda NX4 Falcon). A metodologia do caminhamento foi grade, sendo coletadas latitudes e longitudes dos pontos que compõem a trajetória descrita. Estava previsto que a coleta ocorresse simultaneamente com ambos os receptores - receptor GPS Gstar GS-87 e receptor GPS Leica GX-1230 - para posterior análise das distâncias encontradas. Porém, em virtude de problemas logísticos, os levantamentos foram realizados apenas com o receptor GPS Gstar GS-87. Observou-se que em pequenos deslocamentos em baixa velocidade, este receptor GPS não alterava as coordenadas coletadas. Em virtude disso, foi alterado o planejamento prévio e executados novos levantamentos em campo, cinemáticos com variações de velocidade, para avaliar o comportamento deste receptor.



Figura 10 - Área de estudo talhão de plantio da fazenda escola da UEPG
 Fonte Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

- Área cercada nos fundos do LAGEH, no Centro Politécnico da UFPR, em Curitiba-PR. A Figura 11 mostra imagem ilustrativa do Google Earth do local com indicação do marco geodésico de número 93970, com coordenadas geodésicas iguais a latitude 25° 26' 54,56200" Sul e de longitude 49° 13' 52,21251" Oeste e altitude geométrica igual a 923,78 m (sistema de referência SIRGAS 2000). Neste local de estudo, a metodologia de caminhamento utilizada foi na borda do polígono, com velocidade entre 3 km/h e 5 km/h (realizada a pé), sendo registradas as coordenadas com ambos os receptores simultaneamente - receptor GPS Gstar GS-87 e receptor GPS Leica GX-1230 - para posterior análise das distâncias encontradas.



Figura 11 - Área de estudo fundos do LAGEH da UFPR

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

- Ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR em Curitiba-PR. A Figura 12 mostra imagem ilustrativa do Google Earth do local com indicação do marco geodésico de número 93970 (ponto vermelho), com coordenadas geodésicas iguais a latitude 25° 26' 54,56200" Sul e de longitude 49° 13' 52,21251" Oeste e altitude geométrica igual a 923,78 m (sistema de referência SIRGAS 2000). A velocidade empregada nesse levantamento cinemático variou entre 0 km/h e 30 km/h (foi realizado utilizando veículo GM S10), sendo que as antenas de ambos os receptores foram fixadas no teto do veículo com uma distância de 1 m entre elas. Usou-se metodologia de caminhamento, sendo coletadas as coordenadas com ambos os receptores simultaneamente - receptor GPS Gstar GS-87 e

receptor GPS Leica GX-1230 - para posterior análise das distâncias horizontal, vertical e bidimensional encontradas.



Figura 12 - Área de estudo, ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

4.2.3. Levantamento absoluto cinemático com diferentes velocidades

Durante a realização dos levantamentos cinemáticos foi identificada uma característica não esperada do receptor GPS Gstar GS-87. Aparentemente este receptor não registra alteração das coordenadas se a velocidade de deslocamento for inferior a 9 km/h. Portanto realizaram-se levantamentos cinemáticos com diferentes velocidades. Para tal avaliação foram efetuados seis levantamentos cinemáticos com faixas diferentes de

velocidade, sendo três entre 5 e 8 km/h, uma entre 10 e 12 km/h, uma entre 11 e 16 km/h e uma última entre 14 e 20 km/h.

Os seis levantamentos cinemáticos foram realizados no trecho de aproximadamente 350 m na Rua Octacília Hasselmann de Oliveira, próximo ao cruzamento com a Avenida Vereador Ernani Batista Rosas. A Figura 13 mostra imagem ilustrativa do Google Earth do trecho utilizado, com indicação do ponto inicial com as coordenadas de latitude 25° 04' 05,82896" Sul e de longitude 50° 09' 08,04993" Oeste (sistema de referência WSG-84).



Figura 13 - Área de estudo Rua Octacília Hasselmann de Oliveira, Ponta Grossa-PR
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

4.2.4. Análise estatística dos dados coletados nos levantamentos absolutos estáticos e cinemáticos

Após todos os levantamentos realizados, os dados coletados e armazenados pelo Friendly ARM modelo Mini6410 foram analisados mediante estatística, para avaliar a precisão e a acurácia das coordenadas obtidas com o emprego receptor GPS Gstar GS-87.

Considerando que as coordenadas fornecidas pelos receptores utilizados nesta pesquisa estão em notação geodésica, estas distâncias foram convertidas em notação métrica, haja vista que, a avaliação e a compreensão destas distâncias são facilitadas quando realizadas nesta notação. Para isso foram calculados os valores dos arcos infinitesimais para latitude e para longitude em cada local de estudo, segundo equações dadas por Gemael (1959).

A equação 3.1 foi utilizada para calcular a primeira excentricidade do elipsoide de revolução (e^2).

$$e^2 = f(2 - f) \quad (3.1)$$

Onde:

e^2 = Primeira excentricidade do elipsóide;

f = Fator de achatamento do elipsóide.

Para calcular o raio de curvatura da seção transversal (N) foi utilizada a equação 3.2.

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 j}} \quad (3.2)$$

Onde:

a = Semi eixo maior do elipsóide;

j = Latitude média da região.

O cálculo do raio de curvatura da seção meridiana (M) foi efetuado utilizando-se a equação 3.3.

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 j)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.3)$$

Os valores dos parâmetros definidores do WSG 84 utilizados nas equações anteriores são apresentados a seguir (IBGE, 2012a).

$$f = \frac{1}{298,257223563}$$

$$a = 6.378.137m$$

A equação 3.4 foi utilizada no cálculo do arco de deslocamento infinitesimal em latitude geodésica (dj).

$$^dj = \sqrt{M^2 \cdot (1'')^2} \quad (3.4)$$

Onde:

$$1'' = 0,0000044848 \text{ rad}$$

O cálculo do arco de deslocamento infinitesimal em longitude geodésica (dl) foi realizado utilizando-se a equação 3.5.

$$dl = \sqrt{N^2 \cdot \cos^2 j \cdot (1'')^2} \quad (3.5)$$

Onde:

$$1'' = 0,0000044848 \text{ rad}$$

Utilizando os valores do arco infinitesimal, equações 3.4 e 3.5, calculado com a latitude média de cada área de estudo, foram calculados os valores das distâncias vertical, horizontal e bidimensional das coordenadas coletadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 em relação às coordenadas geodésicas precisas dos marcos geodésicos, descritos em 4.2.1, utilizados nos levantamentos estáticos.

A Tabela 1 mostra exemplo do cálculo da distância métrica vertical para os dados coletados no marco geodésico de número 96006, com as colunas Hr UTC (horário da coleta sem deslocamento de fuso horário), Lat. Marco (latitude homologada do marco geodésico), Lat. GS-87 (latitude calculada pelo receptor GPS Gstar GS-87), Dist. Geodésica (distância geodésica entre a latitude homologada e a latitude calculada pelo receptor GPS Gstar GS-87), Arc. Inf. Lat. (valor do arco infinitesimal calculado para a latitude média da área de estudo, esse valor é apresentado em metros) e Dist. (m) (distância métrica, calculada pela multiplicação da Dist. Geodésica pelo valor do Arc. Inf. Lat.). Ao final da tabela têm-se os valores da média aritmética, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo das distâncias encontradas.

Tabela 1 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento estático realizado no marco de número 96005

Hr UTC	Lat. Marco	Lat. GS-87	Dist. Geod.	Arc. Inf. Lat.	Dist. (m)
10:36:53	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
10:36:54	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
10:36:55	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
...	...	...	...	...	...
10:56:52	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
10:56:53	-24° 47' 17,2495"	-24° 47' 17,22599"	0° 0' 0,02360"	30,76913894	0,726151679
Média					0,726151679
Desv.padrão					0,000000000
Dist. mín.					0,726151679
Dist. máx.					0,726151679

Fonte: AUTOR

A análise estatística dos levantamentos absolutos cinemáticos foi realizada utilizando as coordenadas coletadas simultaneamente pelo receptor GPS Leica GX-1230 e pelo receptor GPS Gstar GS-87, considerando o horário da coleta como sendo parâmetro para parear os dados coletados. Da mesma forma, foram calculadas as distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as leituras coletadas pelos dois dispositivos receptores. Também foram calculados a média, o desvio padrão, os valores máximo e mínimo dessas distâncias.

A Tabela 2 exibe um exemplo do cálculo da distância métrica vertical para os dados coletados em levantamento cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, utilizando os receptores GPS Leica GX-1230 e Gstar GS87. Observa-se nas colunas: Hr UTC (horário da coleta sem deslocamento de fuso horário), Lat. Leica GX 1230 (latitude calculada pelo receptor GPS Leica GX-1230), Lat. GS-87 (latitude calculada pelo receptor GPS Gstar GS-87), Dist. Geod. (distância geodésica entre a latitude coletada pelo receptor GPS Leica GX-1230 e a latitude coletada pelo receptor GPS Gstar GS-87), Arc. Inf. Lat. (valor do arco infinitesimal calculado para a latitude média da área de estudo, este valor é apresentado em metros) e Dist. (m) (distância métrica, calculada pela multiplicação da Dist. Geodésica pelo valor do Arc. Inf. Lat.). Ao final da tabela têm-se os valores da média, desvio padrão, valores máximo e mínimo das distâncias calculadas.

Tabela 2 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento absoluto cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR

Hr UTC	Lat. Leica GX-1230	Lat. GS-87	Dist. Geod.	Arc. Inf. Lat.	Dist. (m)
16:38:43	-25° 27' 21,016'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0340"	30,771879	1,046
16:38:44	-25° 27' 21,016'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0340"	30,771879	1,046
16:38:45	-25° 27' 21,012'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0299"	30,771879	0,923
16:38:46	-25° 27' 21,005'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0230"	30,771879	0,708
16:38:47	-25° 27' 21,006'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0240"	30,771879	0,739
16:38:48	-25° 27' 21,026'	-25° 27' 20,980"	0° 0' 0,0440"	30,771879	1,354
...	...	...	...	...	...
16:58:18	-25° 26' 57,897'	-25° 26' 20,980"	0° 0' 0,1050"	30,771879	3,231
16:58:19	-25° 26' 57,966'	-25° 26' 20,980"	0° 0' 0,1739"	30,771879	5,354
16:58:20	-25° 26' 58,001'	-25° 26' 20,980"	0° 0' 0,2090"	30,771879	6,431
Média					69,902
Desvio padrão					40,181
Dist. mínima					0,308
Dist. máxima					171,646

Fonte: AUTOR

O receptor GPS Leica GX-1230 calcula, além das coordenadas geodésicas, o valor do erro vertical, horizontal e para altitude geométrica. Esses erros foram utilizados, conforme mostra a Tabela 3, para avaliar a precisão dos dados coletados. Um exemplo do cálculo da distância métrica considerando o erro em latitude. Para tal foram adicionadas a coluna Dist. (m) Menor (distância métrica decrescida do valor do erro na latitude) e também a coluna Dist. (m) Maior (distância métrica acrescida do valor do erro na latitude). Ao final da tabela são apresentados os valores da média, desvio padrão, valores máximo e mínimo das distâncias calculadas.

Tabela 3 - Exemplo de cálculo da distância vertical em levantamento absoluto cinemático realizado na área de estudo ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, considerando o erro em latitude

Hora UTC	Dist. (m)	Erro Lat. (m)	Dist. (m) Menor	Dist. (m) Maior
16:38:43	1,046	0,020	1,026	1,066
16:38:44	1,046	0,024	1,022	1,070
16:38:45	0,923	0,024	0,899	0,947
16:38:46	0,708	0,024	0,684	0,732
16:38:47	0,739	0,024	0,715	0,763
16:38:48	1,354	0,024	1,330	1,378
...	...	...	...	...
16:58:18	3,231	0,045	3,186	3,276
16:58:19	5,354	0,045	5,309	5,399
16:58:20	6,431	0,045	6,386	6,476
Média	69,902		69,318	70,486
Desvio padrão	40,181		40,023	40,378
Dist. Mínima	0,308		-1,781	0,498
Dist. Máxima	171,646		171,624	171,668

Fonte: AUTOR

Segundo Gemael (1994), a média aritmética é um estimador eficiente, reúne predicados que a qualificam como um ótimo estimador da média populacional. O desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística. Portanto utilizou-se dessas duas grandezas estatísticas para avaliar a precisão e acurácia do receptor GPS Gstar GS-87.

4.2.5. Avaliação visual dos dados coletados nos levantamentos absolutos cinemáticos com diferentes velocidades

Após a realização dos levantamentos estáticos e cinemáticos, observou-se que o receptor GPS Gstar GS-87 não coletava adequadamente as pequenas variações de distância quando a velocidade de deslocamento era

baixa. Assim, para averiguar essa característica do receptor foi realizado o levantamento cinemático com diferentes velocidades, o que está descrito em 4.2.3. Com o objetivo de avaliar tais dados coletados, foi utilizado o *software* TrackMaker, para sobrepor os pontos coletados em cada um dos levantamentos sobre imagens ilustrativas do Google Earth da área de estudo. O objetivo desta sobreposição dos pontos coletados na imagem foi avaliar visualmente o intervalo de distância entre os pontos coletados, verificando se esta distância se repetia, haja vista que a velocidade de deslocamento foi constante.

A Figura 14 exibe a característica anteriormente apresentada. Durante o levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, houve um congestionamento no trecho exibido pela figura, impedindo a manutenção da velocidade. Desta forma, a velocidade empreendida ficou entre 0 km/h e 9 km/h, permanecendo o veículo parado em alguns momentos durante este levantamento. Observando-se as coordenadas das marcações coletadas de latitude e longitude, foi percebido que diversas destas marcações se repetiam, exatamente iguais, porém com hora UTC diferentes entre si. Tal fato indicou que o receptor GPS não registra variações nas coordenadas quando a velocidade é pequena e a distância entre a coleta atual e a anterior também é pequena. O ponto, na Figura 13, indicado pelo número 1, é um exemplo desta característica.

A Tabela 4 exibe conjunto de dados coletados durante o levantamento cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, em baixa velocidade, entre 3 km/h e 7 km/h. Na coluna Hr UTC, observa-se que os dados foram coletados entre as 16 h 42 min e 29 seg e as 16 h 43 min e 56 seg. Percebe-se que as coordenadas coletadas são exatamente iguais, porém, nesse intervalo de tempo, houve deslocamento em baixa velocidade e o receptor GPS Gstar GS-87 devia tê-lo registrado.

Tabela 4 - Exemplo de coleta realizada com velocidade entre 3 km/h e 9 km/h

(continua)

Hr UTC	Latitude	Longitude
16:42:29	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"
16:42:30	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"
16:42:31	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"

Tabela 4 - Exemplo de coleta realizada com velocidade entre 3 km/h e 9 km/h

(conclusão)

...	...	...
16:43:54	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"
16:43:55	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"
16:43:56	-25° 27' 02,71199"	-49° 14' 12,99599"

Fonte: AUTOR

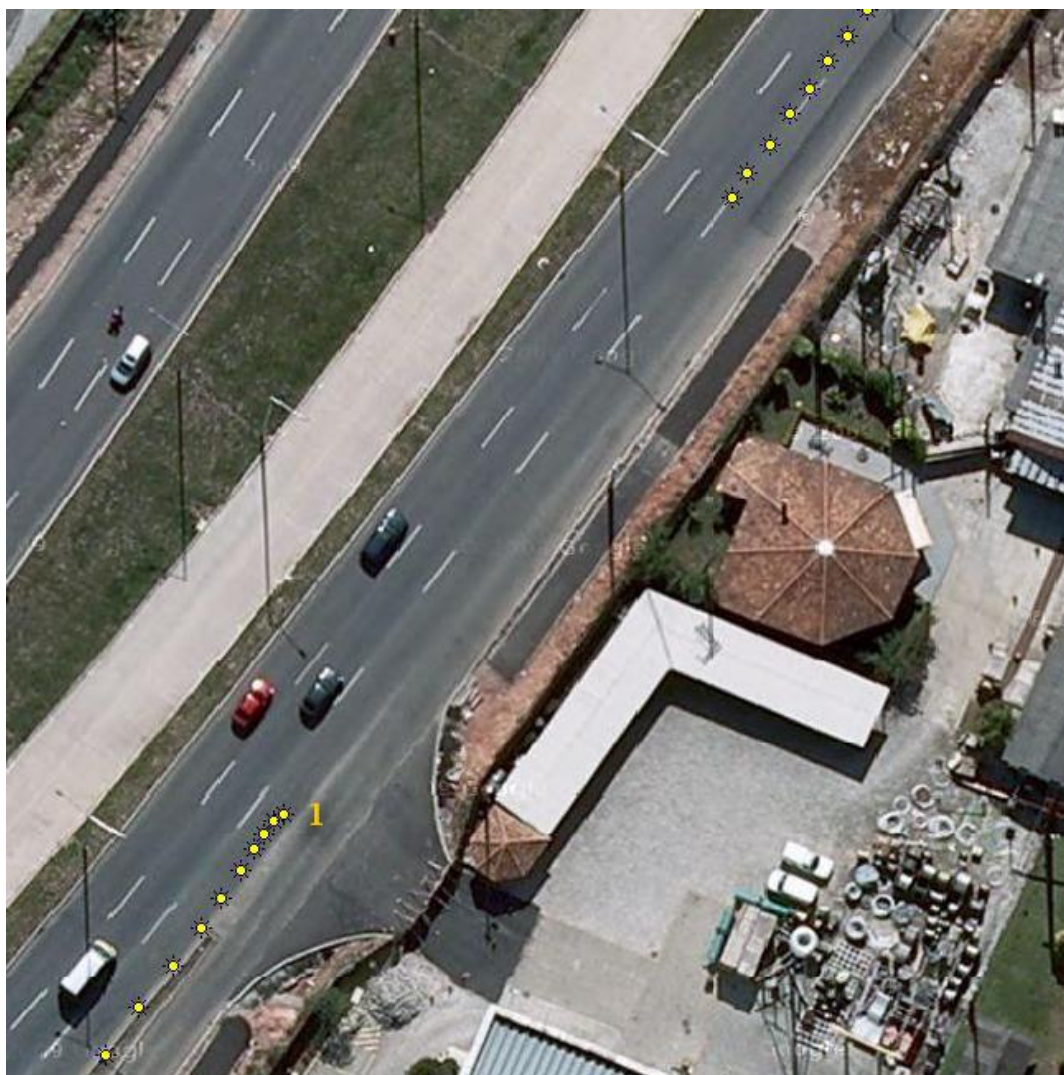


Figura 14 - Levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, durante congestionamento

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, base pública de imagens Google Earth

A seção a seguir descreve os resultados obtidos com os levantamentos a campo realizados e descritos nesta seção.

5. RESULTADOS

Como primeiro resultado alcançado com o desenvolvimento desta pesquisa, apresenta-se o equipamento que foi adquirido, montado e programado para coletar e salvar os dados recebidos pelo receptor GPS Gstar GS-87. Para testar o equipamento, foram realizados levantamentos absolutos estáticos e cinemáticos, os quais atestaram a capacidade do conjunto desenvolvido tanto para o propósito do estudo, apresentado na seção 6, como para outras atividades, tais como: rastreamento de veículos, coleta de dados para a construção de mapas de colheitas, coleta de dados para a construção de mapas de solos, ou outras que necessitem de dados georreferenciados, com a precisão e acurácia compatíveis à do equipamento, verificada nesta pesquisa. Na Figura 15, observa-se a fotografia do dispositivo completo, com destaque para o conjunto de baterias (1), a placa principal do Friendly ARM modelo Mini6410 com tela sensível ao toque de 4,3 polegadas (2), o receptor GPS Gstar GS-87 (3), este conectado à antena de recepção de sinal GPS (4).

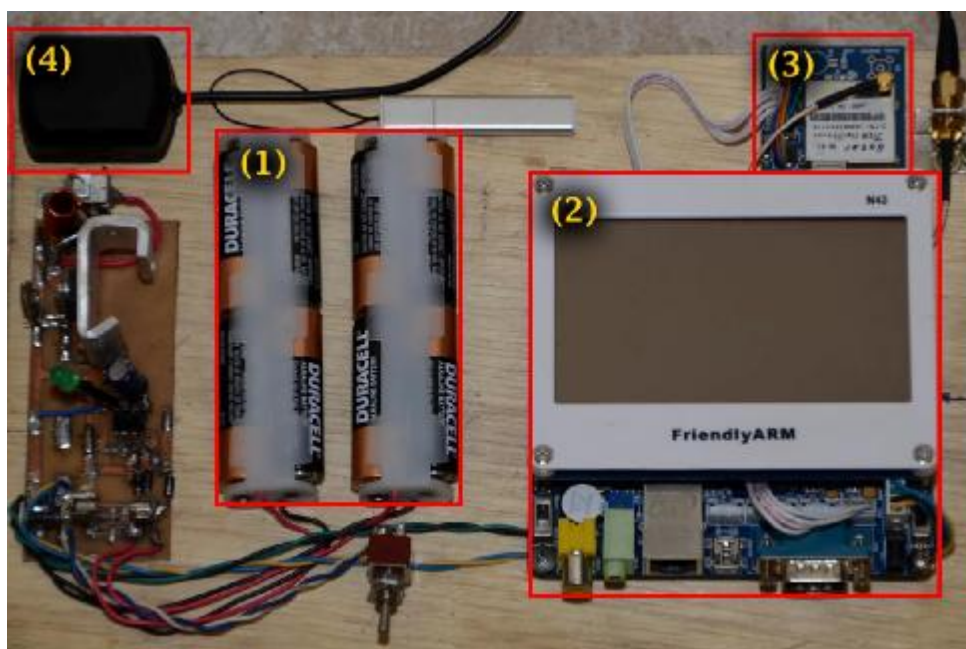


Figura 15 - Dispositivo completo, composto de conjunto de baterias (1), Friendly ARM (2), receptor GPS Gstar GS-87(3) e antena de recepção(4)
Fonte: AUTOR

A seguir são apresentados os resultados dos levantamentos absolutos a campo: estático (seção 4.2.1), cinemático (seção 4.2.2) e cinemático com alteração de velocidade (seção 4.2.3).

5.1. Levantamentos absolutos estáticos

Conforme apresentado em 4.2.1 foram realizadas nove campanhas para coletar dados em três marcos geodésicos previamente descritos e cujos resultados são apresentados a seguir.

5.1.1. Levantamento absoluto estático no marco geodésico Castro (96005)

O levantamento absoluto estático no marco geodésico Castro (96005), foi realizado no dia 05 de outubro de 2011, com céu aberto e sem nuvens. A campanha da manhã iniciou-se às 08 h e 36 min, a campanha da tarde teve início às 12 h e a campanha da noite, às 17 h 20 min.

Após a realização das três campanhas (manhã, tarde e noite), no marco geodésico Castro, os dados coletados foram analisados estatisticamente. Utilizando as equações 3.4 e 3.5, descritos em 4.2.4, com a latitude desse marco $24^{\circ} 47' 17,2495''$ Sul, foram calculados os valores dos arcos infinitesimais para latitude e longitude respectivamente: 30,769138 m e 28,089374 m. Tem-se que os valores de e^2 , N e M para essa latitude são 0,006694379990141, 6.381,89 e 6.346,64 respectivamente.

Para o cálculo das distâncias métricas vertical, horizontal e bidimensional, primeiramente foi calculada a distância geodésica em graus das coordenadas calculadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 (latitude e longitude) em relação às coordenadas oficiais do marco geodésico Castro, para posteriormente converter esta distância em notação métrica, por meio da multiplicação destas distâncias pelo valor do arco infinitesimal da latitude e da longitude, apresentando em 4.2.4.

A Tabela 5 exibe o conjunto com os três valores iniciais e os três valores finais de cada uma das campanhas realizadas nos três períodos do dia no marco geodésico Castro, onde têm-se: Período (período do dia em que foi realizada a coleta), Hr UTC (hora da coleta, sem deslocamento de fuso

horário), Latitude (latitude calculada pelo receptor), Dist. Lat. (distância da latitude coletada em relação à latitude do marco geodésico), Longitude (longitude calculado pelo receptor), Dist. Long. (distância da longitude coletada em relação à longitude do marco geodésico) e Dist. Bidim. (distância bidimensional da latitude e longitude calculadas em relação às coordenadas do marco geodésico). Pode-se observar que, nos dados apresentados, os valores se repetem durante as campanhas, porém não são iguais nas diferentes campanhas realizadas em períodos distintos do dia (manhã, tarde e noite).

Tabela 5 – Coordenadas coletadas no marco geodésico Castro (96005)

Período	Hr UTC	Latitude	Dist.Lat.	Longitude	Dist.Long.	Dist.Bidim.
Manhã	10:36:53	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Manhã	10:36:54	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Manhã	10:36:55	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
...	...	...	...	...	...	...
Manhã	10:56:51	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Manhã	10:56:52	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Manhã	10:56:53	-24° 47' 17,22599"	0,726152	-50° 00' 00,31799"	0,707852	1,014076
Tarde	14:00:17	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Tarde	14:00:18	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Tarde	14:00:19	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
...	...	...	...	...	...	...
Tarde	14:20:15	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Tarde	14:20:16	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Tarde	14:20:17	-24° 47' 16,90800"	10,507661	-49° 59' 59,82601"	14,359957	17,793800
Noite	19:20:43	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
Noite	19:20:44	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
Noite	19:20:45	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
...	...	...	...	...	...	...
Noite	19:40:41	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
Noite	19:40:42	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053
Noite	19:40:43	-24° 47' 17,30400"	1,676918	-50° 00' 00,27000"	0,637629	1,794053

Observação: As colunas de distâncias são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

Após calcular as distâncias métricas (vertical, horizontal e bidimensional), foram calculadas as médias aritméticas para esse conjunto de dados coletados, bem como, o desvio padrão entre elas. A Tabela 6 mostra os valores da média aritmética das distâncias vertical, horizontal e bidimensional, bem como os valores do desvio padrão dessas médias para a campanha realizada no marco geodésico Castro. Nesta tabela têm-se as colunas: Per. (período em que a coleta foi realizada), Leit. (número de observações coletadas), Sat. (média aritmética do número de satélites), PDOP (média aritmética do valor PDOP), Méd. Dist. (média aritmética das distâncias

encontradas) e Desv. Pad. (desvio padrão das médias), sendo as duas últimas colunas calculadas para latitude, longitude e distância bidimensional. Observa-se que, nos três períodos de coleta de dados, todas as 1200 leituras das coordenadas de cada campanha (manhã, tarde e noite) foram exatamente iguais, sendo que o desvio padrão para essas campanhas foi igual a zero. Percebe-se também que a menor média aritmética das distâncias foi encontrada na campanha da manhã para a latitude com o valor de 0,726152 m e a maior média aritmética das distâncias ocorreu na campanha da tarde para a distância bidimensional com o valor de 17,793800 m. A média aritmética total da distância bidimensional encontrada foi de 6,867310 m com um desvio padrão de 7,732754 m.

Tabela 6 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico Castro (96005)

Castro									
				Latitude		Longitude		Bidimensional	
Per.	Leit.	Sat	PDOP	Méd.Dist.	Desv.Pad	Méd.Dist.	Desv.Pad	Méd.Dist.	Desv.Pad
Man.	1.200	10,55	1,30	0,726152	-	0,707852	-	1,014076	-
Tar.	1.200	7,78	2,14	10,50766	-	14,35996	-	17,7938	-
Noi.	1.200	8,07	2,05	1,676918	-	0,637629	-	1,794053	-
Tot	3.600			4,303577	4,404088	5,235146	6,452279	6,86731	7,732754

Observação: As colunas Méd. Dist. e Desv. Pad. são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

Foi realizado levantamento de obstruções no dia 28/08/2012, para construir o mapa de obstrução vertical, que foi utilizado para avaliar a disponibilidade de satélites para o marco Castro – 96005, para a data do levantamento, que pode ser observado no apêndice 1, onde tem-se que esse marco não é encoberto significativamente por obstruções, que possam prejudicar as leituras (GNSS,2012).

5.1.2. Levantamento absoluto estático no marco geodésico UEPG Campus (91643)

O levantamento estático no marco geodésico UEPG Campus (91643) foi realizado no dia 20 de setembro de 2011, com céu aberto e sem nuvens. A campanha da manhã iniciou às 08 h 14 min, a campanha da tarde, às 14 h 29 min e a campanha da noite, às 19 h 31 min.

Os valores dos arcos infinitesimais para a latitude 25° 05' 43,3920" Sul, do marco geodésico UEPG Campus, calculados pela aplicação das equações 3.4 e 3.5 descritas em 4.2.4, são: 30,770407 m para latitude e

28,019790 m para longitude. Tem-se que os valores de e^2 , N e M para essa latitude são 0,00669437999014, 6.381,98 e 6.346,90 respectivamente.

O procedimento para o cálculo das distâncias métricas vertical, horizontal e bidimensional foi o mesmo utilizado nos cálculos das distâncias dos levantamentos do marco geodésico Castro, apresentado em 5.1.1.

A Tabela 7 exibe o conjunto com os três valores iniciais e os três valores finais de cada uma das campanhas realizadas nos três períodos do dia, no marco geodésico UEPG Campus. Esta tabela mostra as mesmas colunas previamente descritas em 5.1.1. O padrão de repetição das coordenadas coletadas, durante as campanhas, ocorreu também neste levantamento, porém observou-se que no levantamento realizado pela manhã as primeiras quatro leituras são diferentes entre si, e as demais são iguais. Nas campanhas da tarde e da noite, as coordenadas se repetem nas 1200 leituras de cada campanha, tanto para latitude como para longitude.

Tabela 7 – Coordenadas coletadas no marco geodésico UEPG Campus (91643)

Período	Hr Utm	Latitude	Dist.Lat.	Longitude	Dist.Long.	Dist.Bidim.
Manhã	10:14:58	-25 05' 43,96200"	17,539132	-50 06' 20,47799"	55,529622	58,233668
Manhã	10:14:59	-25 05' 43,81800"	13,108194	-50 06' 20,05801"	43,764111	45,685032
Manhã	10:15:00	-25 05' 43,77001"	11,631214	-50 06' 19,90800"	39,561143	41,235533
...	...	...	...	...	...	...
Manhã	10:34:56	-25 05' 43,72800"	10,338857	-50 06' 19,77599"	35,859728	37,320398
Manhã	10:34:57	-25 05' 43,72800"	10,338857	-50 06' 19,77599"	35,859728	37,320398
Manhã	10:34:58	-25 05' 43,72800"	10,338857	-50 06' 19,77599"	35,859728	37,320398
Tarde	16:29:07	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Tarde	16:29:08	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Tarde	16:29:09	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
...	...	...	...	...	...	...
Tarde	16:49:05	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Tarde	16:49:06	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Tarde	16:49:07	-25 05' 43,51801"	3,877071	-50 06' 18,46800"	0,787356	4,497001
Noite	23:31:46	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
Noite	23:31:47	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
Noite	23:31:48	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
...	...	...	...	...	...	...
Noite	23:51:44	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
Noite	23:51:45	-25 05' 43,51200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678
Noite	23:51:46	-25 05' 43,1200"	3,692449	-50 06' 18,34801"	4,149731	5,554678

Observação: As colunas de distâncias são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

A Tabela 8 mostra os valores da média aritmética das distâncias vertical, horizontal e bidimensional, bem como os valores do desvio padrão dessas médias para os dados coletados no marco geodésico UEPG

Campus. Nesta tabela têm-se as colunas: Per. (período em que a coleta foi realizada), Leit. (número de observações coletadas), Sat. (média aritmética do número de satélites), PDOP (média aritmética do valor PDOP), Méd. Dist. (média aritmética das distâncias encontradas) e Desv. Pad. (desvio padrão das médias), sendo as duas últimas colunas calculadas para latitude, longitude e distância bidimensional. Nota-se que a menor média aritmética das distâncias foi encontrada na campanha da tarde para a longitude com o valor de 0,787356 m e a maior média aritmética das distâncias ocorreu na campanha da manhã para a distância bidimensional com o valor de 37,348036 m. A média aritmética total da distância bidimensional encontrada foi de 15,619649 m, com um desvio padrão de 15,382869 m.

Tabela 8 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico UEPG Campus (91643)

Campus UEPG									
				Latitude		Longitude		Bidimensional	
Per.	Leit.	Sat.	PDOP	Méd.Dist.	Desv.Pad.	Méd.Dist.	Desv.Pad.	Méd.Dist.	Desv.Pad.
Man.	1.200	8,22	1,85	10,34823	0,225512	35,88577	0,620407	37,34804	0,659108
Tar.	1.200	9,03	1,67	3,877071	-	0,787356	-	3,956212	-
Noi.	1.200	8,87	1,44	3,692449	-	4,149731	-	5,554678	-
Total	3.600			5,72585	3,097707	13,60762	15,81678	15,61965	15,38287

Observação: As colunas Méd. Dist. e Desv. Pad. são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

Durante a realização das campanhas no marco geodésico UEPG Campus observou-se um detalhe pertinente, este marco está posicionado próximo de obstruções, como árvores, construções e redes de energia elétrica, que podem estar interferindo na qualidade do sinal que chega até o receptor. Monico (2000) observa que existem fatores que influenciam na qualidade da recepção de sinal GPS, provocando erros nos dados coletados, que podem ser significativos. Um dos problemas apontados pelo autor é conhecido por multicaminhamento ou sinais refletidos:

O receptor pode, em algumas circunstâncias, receber, além do sinal que chega diretamente à antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas a ela, tais como construções, carros, árvores, massa de água, cercas, etc. (MONICO, 2000, p. 145).

Foi realizado levantamento das obstruções, em 14/09/2011, para construir o mapa de obstrução vertical e o gráfico de disponibilidades de

satélites para o marco UEPG Campus, para a data do levantamento, que podem ser observados no apêndice 2, eles mostram que na campanha da manhã o número de satélites sem obstrução foi de 4 satélites, sendo que o receptor GPS registrou recepção de sinal de 8 e em alguns momentos 9 satélites, isso indica que podem haver problemas de multicaminhamento nos sinais recebidos (GNSS,2012). A Figura 16 mostra fotografia capturada no local desse marco, ilustrando a situação apontada.



Figura 16 - Obstruções (árvores) nas proximidades do marco geodésico UEPG Campus (91643)

Fonte: AUTOR

5.1.3. Levantamento absoluto estático no marco geodésico UFPR Pilar 1000

As campanhas dos levantamentos estáticos no marco geodésico UFPR Pilar 1000 foram realizadas no dia 15 de dezembro de 2011, com céu aberto e sem nuvens. A campanha da manhã iniciou às 09 h 31 min, a da tarde às 13 h 19 min e a da noite às 16 h e 06 min.

Com as equações 3.4 e 3.5, descritas em 4.2.4, foram calculados os valores dos arcos infinitesimais para a latitude $25^{\circ} 26' 55,05943$ Sul, do marco geodésico UFPR Pilar 1000, cujos valores são: 30,771880 m para latitude e 27,938800 m para longitude. Tem-se que os valores de e^2 , N e M para essa latitude são 0,00669437999014, 6.382,08 e 6.347,20 respectivamente.

Utilizando os valores dos arcos infinitesimais da latitude e da longitude foram calculadas as distâncias métricas vertical, horizontal e bidimensional. Primeiramente foi calculada a distância geodésica em graus das coordenadas coletadas (latitude e longitude) em relação às coordenadas oficiais do marco geodésico UFPR Pilar 1000, para posteriormente convertê-la em notação métrica, pela multiplicação desta distância pelo valor do arco infinitesimal da latitude e da longitude, conforme descrito em 4.2.4. A Tabela 9 exibe um conjunto com os três valores iniciais e os três valores finais de cada uma das campanhas realizadas nos três períodos do dia no marco geodésico UFPR Pilar 1000.

O mesmo comportamento apresentado nos levantamentos realizados nos marcos geodésicos Castro e UEPG Campus também se repetiu nesta campanha. As 1200 leituras efetuadas em cada uma das três campanhas realizadas neste marco geodésico tiveram exatamente os mesmo valores, sendo os desvios padrões das médias aritméticas das distâncias iguais a zero.

Tabela 9 – Coordenadas coletadas no marco geodésico UFPR Pilar 1000

Período	Hr UTC	Latitude	Dif.Lat.	Longitude	Dif.Long.	Dif.Bidim.
manhã	11:31:29	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
manhã	11:31:30	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
manhã	11:31:31	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
...	...	...	...	...	...	...
manhã	11:51:27	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
manhã	11:51:28	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
manhã	11:51:29	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,29599"	0,299504	0,806703
tarde	15:19:33	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
tarde	15:19:34	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
tarde	15:19:35	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
...	...	...	...	...	...	...
tarde	15:39:31	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
tarde	15:39:32	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
Tarde	15:39:33	-25° 26' 54,97199"	2,693463	-49° 13' 52,35600"	1,379618	3,026233
Noite	18:06:58	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
Noite	18:06:59	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
Noite	18:07:00	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
...	...	...	...	...	...	...
Noite	18:26:56	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
Noite	18:26:57	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613
Noite	18:26:58	-25° 26' 55,11001"	1,556134	-49° 13' 52,36799"	1,712090	2,313613

Observação: As colunas de distâncias são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

A Tabela 10 mostra as colunas: Per. (período em que a coleta foi realizada), Leit. (número de observações coletadas), Sat. (média aritmética

do número de satélites), PDOP (média aritmética do valor PDOP), Méd. Dist. (média aritmética das distâncias encontradas) e Desv. Pad. (desvio padrão das médias), sendo as duas últimas colunas calculadas para latitude, longitude e distância bidimensional. Observa-se que a menor média das distâncias ocorreu na campanha da manhã para a longitude com o valor de 0,2999504 m e a maior média das distâncias ocorreu na campanha da tarde para a distância bidimensional com o valor de 3,026233 m. A média aritmética total da distância bidimensional encontrada foi de 2,048850 m com um desvio padrão de 0,925258 m.

Tabela 10 - Análise estatística do levantamento estático marco geodésico UFPR Pilar 1000

UFPR Pilar 1000									
				Latitude		Longitude		Bidimensional	
Per.	Leit.	Sat.	PDOP	Méd. Dist.	Desv.Pad.	Méd.Dist.	Desv.Pad.	Méd.Dist.	Desv.Pad.
Man.	1.200	8,78	1,60	2,693463	-	0,2999504	-	0,806703	-
Tar.	1.200	9,99	1,59	2,693463	-	1,379618	-	3,026233	-
Noi.	1.200	8,78	1,54	1,556134	-	1,71209	-	2,313613	-
Total	3.600			2,314353	0,536142	1,130404	0,603009	2,04885	0,925258

Observação: As colunas Méd. Dist. e Desv. Pad. são apresentadas em metros.

Fonte: AUTOR

O marco geodésico UFPR Pilar 1000, está situado numa área descampada, sem obstruções verticais, essa condição evita a situação de multicaminhamento.

Foi construída a Tabela 11, que mostra as distâncias para latitude, longitude e bidimensional, para todos os levantamentos absolutos estáticos realizados nos 3 marcos geodésicos, onde tem-se: Local (local do marco geodésico), Per. (período do dia), Leit. (números de leituras coletadas), Méd.Dist.Lat. (média aritmética das distâncias de latitude), Méd.Dist.Long (média aritmética das distâncias de longitude) e Méd.Dist.Bidim. (média aritmética das distâncias bidimensionais). Pode-se observar que a média aritmética das distâncias da latitude foi em 4,196838 m com desvio padrão de 3,462691 m, sendo o valor máximo encontrado de 10,50766. Para longitude obteve-se a média aritmética das distâncias igual a 6,657723 m, com desvio padrão igual a 11,149200 m e a maior distância encontrada igual a 35,88577 m. Pode-se também observar que a média aritmética das distâncias bidimensionais foi igual a 8,178600 m com desvio padrão de 11,428056 m. Observa-se que os maiores valores de distância encontrados foram no

levantamento UEPG Campus, vale ressaltar que esse marco pode ter problemas de obstrução, conforme descrito em 5.1.2.

Tabela 11 - Dados finais dos nove levantamentos estáticos realizados nos marcos geodésicos, com indicação de cada campanha

Local	Per.	Leit.	N.Sat.	PDOP	Méd.Dist.Lat.	Méd.Dist.Long.	Méd.Dist.Bidim.
Castro	Man.	1.200	10,55	1,30	0,726152	0,707852	1,014076
Castro	Tar.	1.200	7,78	2,14	10,50766	14,35996	17,7938
Castro	Noi.	1.200	8,07	2,05	1,676918	0,637629	1,794053
UEPG Campus	Man.	1.200	8,22	1,85	10,34823	35,88577	37,34804
UEPG Campus	Tar.	1.200	9,03	1,67	3,877071	0,787356	3,956212
UEPG Campus	Noi.	1.200	8,87	1,44	3,692449	4,149731	5,554678
UFPR Pilar 1000	Man.	1.200	8,78	1,60	1,556134	1,71209	2,313613
UFPR Pilar 1000	Tar.	1.200	9,99	1,59	2,693463	0,299504	0,806703
UFPR Pilar 1000	Noi.	1.200	8,78	1,54	2,693463	1,379618	3,026233
Média					4,196838	6,657723	8,1786
Desvio					3,462691	11,149200	11,42806
Máximo					10,50766	35,88577	37,34804
Mínimo					0,726152	0,299504	0,806703

Observação: Os valores das médias das distâncias são apresentados em metros.

Fonte: AUTOR

As comparações realizadas entre as coordenadas calculadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 e as coordenadas dos marcos geodésicos permitem a avaliação da acurácia das observações. Para avaliar a precisão das observações coletadas, foram calculadas as médias aritméticas da latitude e longitude em cada campanha, que podem ser visualizadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Média aritmética das coordenadas de latitude e longitude dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos

Local	Período	Latitude	Longitude
UEPG	Manhã	-25 05' 43,72829"	-50 06' 19,77692"
UEPG	Tarde	-25 05' 43,51801"	-50 06' 18,46800"
UEPG	Noite	-25 05' 43,51200"	-50 06' 18,34801"
Castro	Manhã	-24 47' 17,22599"	-50 00' 00,31799"
Castro	Tarde	-24 47' 16,90800"	-49 59' 59,82601"
Castro	Noite	-24 47' 17,30400"	-50 00' 00,27000"
UFPR	Manhã	-25 26' 54,97199"	-49 13' 52,29599"
UFPR	Tarde	-25 26' 54,97199"	-49 13' 52,35600"
UFPR	Noite	-25 26' 55,11001"	-49 13' 52,36799"

Fonte: AUTOR

Utilizando a mesma metodologia previamente descrita, foram calculadas as distâncias verticais, horizontais e bidimensionais das distâncias entre as observações de cada local de campanha, por exemplo, distância entre

a coleta realizada no marco geodésico UEPG Campus pela manhã, com a coleta realizada nesse mesmo marco geodésico no período da tarde.

A Tabela 13 mostra as distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as observações de cada campanha. Têm-se as colunas: Local (local da observação), Per. 1 (período 1 da comparação), Per. 2 (período 2 da comparação), Dist. Seg (distância em segundos) e Dist. Mét. (distância métrica) para latitude e longitude, bem como Dist. Mét. (distância métrica) bidimensional. Ao final pode-se visualizar a média aritmética, o desvio padrão e os valores máximo e mínimo para as colunas de distâncias métricas. A média aritmética das distâncias bidimensionais é de 13,776884 m, com um desvio padrão de 14,260327 m, sendo o valor máximo de 40,586406 m e o valor mínimo de 1,676607 m.

Considerando que o marco geodésico UEPG Campus pode ter problemas relacionados com obstrução e multicaminhamento, conforme apresentado em 5.1.2, ao final da Tabela 13 são apresentados os cálculos da média aritmética, desvio padrão, valores máximo e mínimo, desconsiderando-se os dados das coletas realizadas nas campanhas do marco UEPG Campus. Pode-se observar que os valores da média aritmética, desvio padrão e valor máximo diminuíram para 7,132839 m, 5,592810 m e 16,929026 m respectivamente. O valor mínimo manteve-se em 1,676607 m.

Tabela 13 - Distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as campanhas, dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos

(continua)

			Latitude		Longitude		Bidimens.
Marco	Per. 1	Per. 2	Dist.Seg	Dist.Mét	Dist.Seg	Dist.Mét	Dist. Mét.
UEPG	Manhã	Tarde	0,210200	6,467940	1,308900	36,675104	37,241073
UEPG	Manhã	Noite	0,216200	6,652562	1,428900	40,037479	40,586406
UEPG	Tarde	Noite	0,006000	0,184622	0,120000	3,362375	3,367440
Castro	Manhã	Tarde	0,317900	9,781509	0,491900	13,817164	16,929026
Castro	Manhã	Noite	0,078100	2,403070	0,047900	1,345481	2,754099
Castro	Tarde	Noite	0,396000	12,184579	0,096000	2,696580	12,479403
UFPR	Manhã	Tarde	-	-	0,060010	1,676607	1,676607
UFPR	Manhã	Noite	0,138010	4,246827	0,071910	2,009079	4,698078
UFPR	Tarde	Noite	0,138010	4,246827	0,011900	0,332472	4,259821
Geral			Média	5,129771		11,328038	13,776884
			Desvio	3,877022		14,949554	14,260327
			Máximo	12,184579		40,037479	40,586406
			Mínimo	-		0,332472	1,676607

Tabela 13 14- Distâncias horizontais, verticais e bidimensionais entre as campanhas, dos levantamentos absolutos estáticos realizados nos marcos geodésicos

(conclusão)

			Latitude		Longitude		Bidimens.
Marco	Per. 1	Per. 2	Dist.Seg	Dist.Mét	Dist.Seg	Dist.Mét	Dist. Mét.
Desconsiderando UEPG			Média	5,477135		3,646230	7,132839
			Desvio	4,203047		4,604053	5,592810
			Máximo	12,184579		13,817164	16,929026
			Mínimo	-		0,332472	1,676607

Fonte: AUTOR

Com relação ao erro encontrado entre as campanhas dos levantamentos estáticos, observou-se que para a latitude a média das distâncias encontradas entre as coordenadas registradas pelo receptor e a coordenada dos marcos geodésicos foi de 4,20 m, sendo o desvio padrão de 3,46 m. O maior valor encontrado foi de 10,50 m e o menor valor foi de 0,72 m. Para a longitude, a média das distâncias encontradas foi de 6,65 m com desvio padrão de 11,14 m. O maior valor encontrado foi de 35,88 m e o foi de 0,30 m. Para a distância bidimensional, a média dos valores encontrados foi de 8,18 m com desvio padrão de 11,43 m. A maior distância bidimensional encontrada foi de 37,35 m e a menor foi de 0,81 m.

Neste sentido é importante destacar que as coordenadas registradas nos levantamentos estáticos no local UEPG Campus podem ter interferência das árvores muito próximas ao marco geodésico. Na Tabela 21 verificam-se os dados finais dos nove levantamentos estáticos realizados. Esses resultados permitem avaliar a acurácia do receptor GPS Gstar GS-87.

5.2. Levantamentos absolutos cinemáticos

Para avaliar o comportamento do receptor GPS Gstar GS-87 em movimento, foram executados diversos levantamentos absolutos cinemáticos, em diferentes condições e locais.

5.2.1. Levantamento absoluto cinemático na fazenda escola UEPG

Inicialmente estava prevista a realização de um levantamento cinemático a ser realizado simultaneamente com os receptores GPS Gstar GS-87 e Leica GX-1230, porém por problemas de logística não houve a possibilidade de realizar com ambos os receptores GPS. O levantamento foi realizado somente com o receptor GPS Gstar GS-87 e mostrou a característica

que posteriormente foi confirmada com os levantamentos cinemáticos em diferentes velocidades, de que este receptor GPS calcula as coordenadas quando em deslocamentos em velocidade igual ou superior a 9 km/h.

O levantamento cinemático na fazenda escola da UEPG foi realizado no dia 26 de agosto de 2011, com céu aberto e sem nuvens, apresentado na Figura 17. A campanha iniciou às 10 h 37 min. Esse levantamento foi realizado a pé, com velocidade variando de 3 a 5 km/h usando formato de grade. Em cada um dos conjuntos de pontos amarelos que são exibidos, estão identificados diversos conjuntos de coordenadas iguais com indicação de hora diferentes. Como exemplo, pode-se citar o ponto destacado pelo número 1, onde se tem 102 registros com as mesmas coordenadas, latitude 25° 05' 54.30001" Sul e longitude 50° 02' 46,14000" Oeste, sendo que o horário varia das 14h 36 min às 14 h 38 min.



Figura 17 - Pontos coletados na fazenda escola da UEPG, durante levantamento absoluto cinemático realizado a pé com velocidade entre 3 e 5 km/h

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

O anexo mostra, a título de exemplo, os dados coletados nessa campanha com a repetição das coordenadas de latitude e longitude em diferentes horários.

O levantamento absoluto cinemático realizado na fazenda escola UEPG foi repetido uma semana após a realização do primeiro, na mesma área, também com céu aberto e sem nuvens, iniciando às 11 h 45 min. Porém agora utilizando veículo moto Honda NX4 Falcon, com velocidade variando de 12 a 16 km/h. Os dados coletados neste levantamento apresentaram a característica esperada, com intervalos regulares de distância entre cada ponto de coleta, o que pode ser observado na Figura 18.



Figura 18 - Pontos coletados na fazenda escola da UEPG, durante levantamento absoluto cinemático realizado com veículo, velocidade entre 9 e 16 km/h
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

Estes levantamentos absolutos cinemáticos realizados na fazenda escola UEPG não permitiram realizar avaliações estatísticas para calcular as distâncias e comparar os dados com os do receptor GPS Leica GX-1230. Porém, após a realização do levantamento absoluto cinemático no LAGEH UFPR, fazendo comparações, contribuíram para determinar que o receptor GPS Gstar GS-87 apresentava a característica descrita nesta seção e que havia a necessidade de novos levantamentos cinemáticos, agora com

variação de velocidades para entender quais seriam os limites para o receptor detectar as variações de deslocamento.

5.2.2. Levantamento absoluto cinemático no LAGEH UFPR

O levantamento absoluto cinemático no LAGEH UFPR foi realizado no dia 02 de dezembro de 2011, iniciando às 13 h 01 min, com céu aberto e sem nuvens. Após coletar os dados com ambos os receptores GPS (Gstar GS-87 e Leica GX-1230), observou-se a mesma característica apresentada no primeiro levantamento absoluto cinemático realizado na fazenda escola UEPG, descrito em 5.2.1. Devido à baixa velocidade de deslocamento durante este levantamento (realizado a pé, entre 3 e 5 km/h), o receptor GPS Gstar GS-87 não alterou as coordenadas durante toda trajetória descrita. Todas as marcações registradas estavam sendo apresentadas com valores iguais, tanto para latitude quanto para longitude. Esse levantamento foi repetido novamente três horas após o primeiro, e os novos dados apresentaram esta mesma característica. Em virtude disto, foi alterada a metodologia e foi planejado um novo levantamento cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com velocidade de deslocamento igual e/ou superior a 9 km/h, o qual é descrito a seguir.

5.2.3. Levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR

Para avaliação da precisão do receptor GPS Gstar GS-87 em termos de variação de velocidade, foi realizado um levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com velocidade igual e/ou superior a 9 km/h. Para este levantamento realizado no dia 09 de dezembro de 2011, iniciado às 14 h 01 min, com céu aberto e sem nuvens, utilizou-se o veículo GM-S10, sendo que as antenas de ambos os receptores GPS (Leica GX-1230 e Gstar GS-87) foram fixadas no teto do veículo com uma distância de 1 m. Foi determinado o trajeto pela faixa de rolamento utilizada pelos veículos. A faixa de velocidade de deslocamento ficou entre 4 km/h e 35 km/h.

Durante a realização do levantamento ocorreu congestionamento na via, fazendo com o receptor GPS Gstar GS-87 apresentasse a mesma característica detectada no levantamento cinemático

realizado a pé nos fundos do LAGEH, ou seja, não alterou as coordenadas quando em deslocamentos em baixa velocidade. Em virtude deste fato, foi excluído o conjunto de dados no intervalo de 14 h 45 min 25 seg até 14 h 48 min 00 seg.

A Figura 19 ilustra esta situação, com um exemplo dos dados coletados nesse trecho. As marcações em amarelo foram coletadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 e as em preto foram coletadas pelo receptor GPS Leica GX-1230. No ponto destacado pelo número 1, existem 55 registros de coletas com as mesmas coordenadas, porém com tempos diferentes.

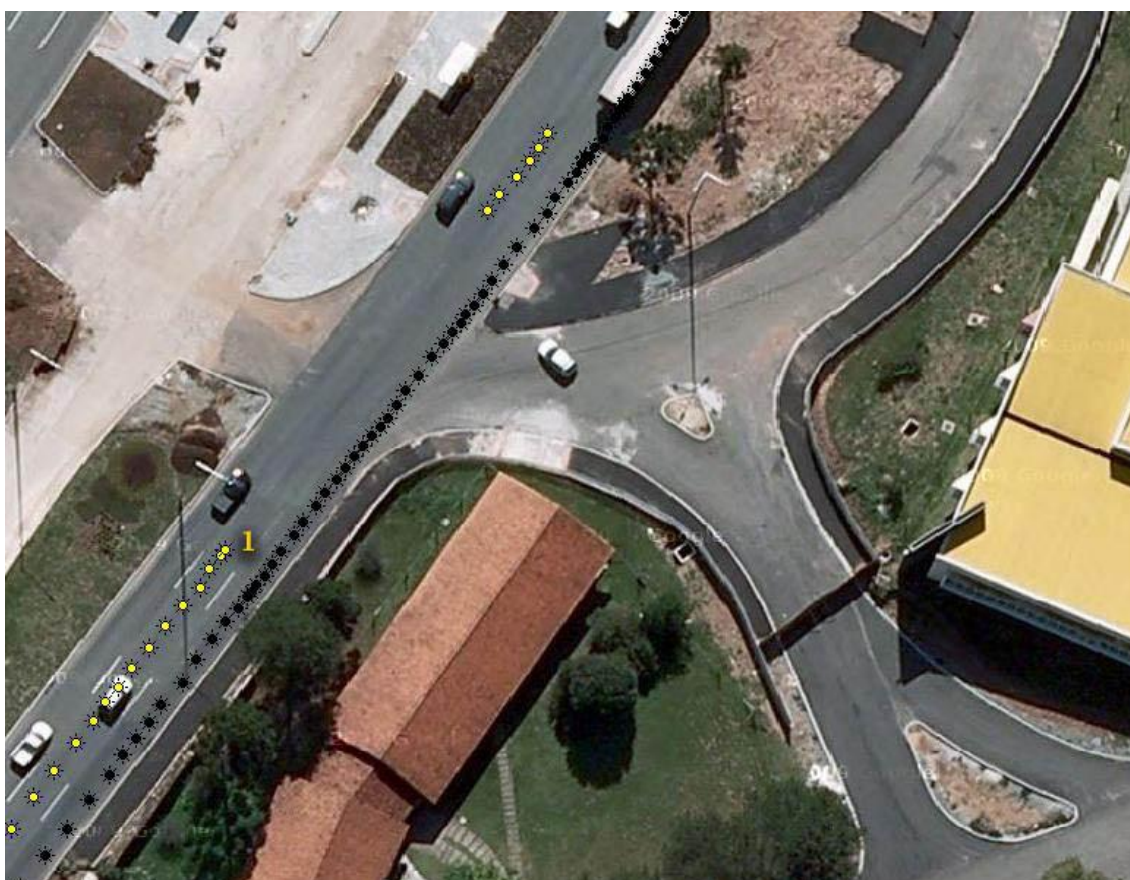


Figura 19 - Pontos coletados no contorno sul da BR-116 (Linha Verde), no momento do congestionamento enfrentado durante o levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR

Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

A Tabela 14 mostra um conjunto de dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 durante o congestionamento, quando a velocidade foi inferior a 9 km/h, pode-se observar a repetição das coordenadas de latitude e longitude durante um intervalo de tempo de 55 segundos.

Tabela 15 - Exemplo de dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, que se repetiam quando a velocidade de deslocamento foi inferior a 9 km/h

Hr UTC	Latitude	Longitude
16:45:10	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:45:11	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:45:12	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:45:13	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
...	...	...
16:46:00	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:46:01	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:46:02	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:46:03	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"
16:46:04	-25° 26' 57,14999"	-49° 14' 08,59200"

Fonte: AUTOR

Para avaliação dos dados coletados neste levantamento cinemático, os dados foram pareados pela hora UTC da coleta de ambos os receptores GPS. Foram calculadas as distâncias métricas verticais, horizontais e bidimensionais entre as coordenadas coletadas pelos dois receptores. O receptor GPS Leica GX-1230 tem precisão milimétrica e foi considerado verdade de campo para as coordenadas reais do local.

A Tabela 15 apresenta o conjunto com nove exemplos de valores coletados por ambos os receptores GPS, sendo três valores do início, três do meio e três do final da campanha. Observam-se as colunas: Hr UTC (hora da coleta sem deslocamento de fuso horário), Latitude e Longitude para ambos os receptores. Para o receptor Leica GX-1230 adicionalmente têm-se: Er. Lat (erro na latitude em unidade métrica) e Er. Long. (erro na longitude em unidade métrica).

Tabela 16 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR por ambos receptores GPS

Hr UTC	Leica GX-1230				Gstar GS-87	
	Latitude	Er.Lat.	Longitude	Er.Long.	Latitude	Longitude
16:38:17	-25° 27' 21,016"	0,022	-49° 14' 4,669"	0,016	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
16:38:18	-25° 27' 21,016"	0,022	-49° 14' 4,669"	0,016	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
16:38:19	-25° 27' 21,016"	0,022	-49° 14' 4,669"	0,016	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
...	...	...	...	...	...	...
16:52:16	-25° 27' 20,201"	0,212	-49° 13' 44,042"	0,292	-25° 27' 22,176"	-049° 13' 45,078"
16:52:17	-25° 27' 20,362"	0,212	-49° 13' 44,107"	0,292	-25° 27' 22,356"	-049° 13' 45,162"
16:52:18	-25° 27' 20,519"	2,387	-49° 13' 44,177"	2,389	-25° 27' 22,536"	-049° 13' 45,252"
...	...	...	...	...	...	...
16:58:18	-25° 26' 57,897"	0,045	-49° 13' 49,877"	0,027	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"
16:58:19	-25° 26' 57,966"	0,045	-49° 13' 49,935"	0,027	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"
16:58:20	-25° 26' 58,001"	0,045	-49° 13' 50,007"	0,027	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"

Fonte: AUTOR

Com as coordenadas pareadas pela hora UTC, foram calculadas as diferenças entre as coordenadas coletadas por ambos os receptores GPS. O valor do arco infinitesimal para latitude, calculado com a equação 3.4, é de 30,771879 m. O valor do arco infinitesimal para longitude, calculado com a equação 3.5, é de 27,938832 m. Tem-se que os valores de e^2 , N e M para essa latitude são 0,00669437999014132, 6.382,08 e 6.347,20 respectivamente. Foi considerada como latitude média da região a coordenada 25° 26' 54,562" Sul, que é a latitude do marco geodésico 93970, que fica localizado nos fundos do LAGEH. A Figura 11, apresentada em 4.2.2, exhibe a localização deste marco em relação à área de estudo para este levantamento absoluto cinemático.

A Tabela 16 exhibe o exemplo do conjunto de dados coletados, onde têm-se: Hr UTC (hora da coleta sem o deslocamento de fuso horário), Dist. Seg. (distância em segundos) e Dist. Mét. (distância métrica) para as coordenadas de latitude e longitude, bem como a Dist. Mét. (distância métrica) bidimensional. Para calcular a Dis. Mét. foi utilizado o valor do arco infinitesimal tanto para latitude, quanto para longitude, multiplicando-se estas pelo valor da Dist. Seg. Ao final da tabela são apresentados a média aritmética das distâncias, o desvio padrão e os valores mínimo e o máximo entre as distâncias calculadas, as quais foram coletadas por ambos os receptores GPS, tendo as coordenadas de latitude e longitude pareadas mediante Hr UTC.

Tabela 17 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas

Hr UTC	Latitude		Longitude		Bidimensional
	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Mét.
16:38:17	0,034	1,046244	0,113	3,157088	3,325933
16:38:18	0,034	1,046244	0,113	3,157088	3,325933
16:38:19	0,034	1,046244	0,113	3,157088	3,325933
...	...	...	...	...	...
16:52:16	1,975	60,774462	1,036	28,944630	67,315131
16:52:17	1,994	61,359128	1,055	29,475468	68,071623
16:52:18	2,017	62,066881	1,075	30,034245	68,951821
...	...	...	...	...	...
16:58:18	0,105	3,231047	0,409	11,426982	11,874999
16:58:19	0,174	5,354307	0,351	9,806530	11,173032
16:58:20	0,209	6,431323	0,279	7,794934	10,105588
Média		69,902060		51,288977	90,058014
Desvio		40,181444		32,475898	45,559232
Mínimo		0,307719		0,447021	0,893491
Máximo		171,645545		130,669919	214,650420

Fonte: AUTOR

O receptor GPS Leica GX-1230 calcula e registra os valores encontrados para os erros, em unidade métrica, para latitude e longitude no momento da coleta. Com esses valores, foram calculadas as distâncias métricas menor e maior. A Tabela 17 apresenta exemplo dos valores calculados para estas diferenças, para latitude e longitude, onde se tem: Hr UTC (hora da coleta, sem considerar o deslocamento de fuso horário); Erro (valor do erro, calculado e registrado pelo receptor GPS Leica GX-1230 em unidade métrica para o momento da coleta tanto para latitude quanto para longitude); Dist. Mét.< (distância métrica menor) que é obtida pela subtração da distância métrica e o erro no momento da coleta, tanto para latitude quanto para longitude; Dist. Mét.> (distância métrica maior) que é obtida pela soma da distância métrica e o erro no momento da coleta, tanto para latitude quanto para longitude.

Tabela 18 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas considerando erro

Hr UTC	Latitude				Longitude			
	Erro	Dist.Mét.	Dist.Mét.<	Dist.Mét.>	Erro	Dist.Mét.	Dist.Mét.<	Dist.Mét.>
16:38:17	0,022	1,046244	1,024244	1,068244	0,016	3,157088	3,141088	3,173088
16:38:18	0,022	1,046244	1,024244	1,068244	0,016	3,157088	3,141088	3,173088
16:38:19	0,022	1,046244	1,024244	1,068244	0,016	3,157088	3,141088	3,173088
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16:52:16	0,212	60,77446	60,56246	60,98646	0,037	28,94463	28,65263	29,23663
16:52:17	0,212	61,35913	61,14713	61,57113	0,037	29,47547	29,18347	29,76747
16:52:18	2,387	62,06688	59,67988	64,45388	0,037	30,03424	27,64524	32,423240
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16:58:18	0,045	3,231047	3,186047	3,276047	0,027	11,42698	11,39998	11,453980
16:58:19	0,045	5,354307	5,309307	5,399307	0,027	9,80653	9,77953	9,833530
16:58:20	0,045	6,431323	6,386323	6,476323	0,027	7,794934	7,767934	7,821934
Média		69,90206	69,31829	70,48583		51,28898	50,81334	51,764610
Desvio		40,18144	40,02301	40,37785		32,4759	32,61892	32,373400
Mínimo		0,307719	1,78058	0,497719		0,447021	0,427021	0,4670210
Máximo		171,6455	171,6235	171,6675		130,6699	130,6519	130,68790

Observação: as colunas de erro são apresentadas em metros;

Fonte: AUTOR

Para a distância bidimensional, os cálculos foram feitos levando-se em consideração os erros (em metros) fornecidos pelo receptor GPS Leica GX-1230, quando da coleta de dados. A Tabela 18 apresenta um exemplo dos valores calculados para estas distâncias bidimensionais, onde têm-se: Hr UTC (hora da coleta, desconsiderando o deslocamento de fuso horário), Dist. Mét.< (distância métrica menor) que é obtida pela resultante da

distância métrica menor da latitude pela distância métrica menor da longitude, Dist. Mét.> (distância métrica maior) que é obtida pela resultante da distância métrica maior da latitude pela distância métrica maior da longitude.

Tabela 19 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias bidimensionais encontradas entre as coletas, considerando o erro

	Bidimensional		
Hr UTC	Dist.Mét.	Dist.Met.<	Dist.Mét.>
16:38:17	3,325933	3,303863	3,348079
16:38:18	3,325933	3,303863	3,348079
16:38:19	3,325933	3,303863	3,348079
...	...	...	...
16:52:16	67,31513	66,9984	67,63231
16:52:17	68,07162	67,75431	68,38937
16:52:18	68,95182	65,77194	72,14963
...	...	...	...
16:58:18	11,875	11,83683	11,91328
16:58:19	11,17303	11,1278	11,21833
16:58:20	10,10559	10,05614	10,15507
Média	90,05801	89,34567	90,77644
Desvio	45,55923	45,49954	45,67136
Mínimo	0,893491	0,862402	0,924591
Máximo	214,6504	214,622	214,6788

Fonte: AUTOR

Durante a avaliação das distâncias métricas encontradas, percebeu-se que os valores coletados armazenados eram numericamente maiores que visualmente perceptíveis. Quando da sobreposição dos pontos coletados, por ambos os receptores GPS, sobre a imagem do local da coleta, as marcações estavam visualmente próximas, porém os cálculos indicavam distâncias superiores a 100 m, como pode ser visualizado na Tabela 15, onde a maior distância encontrada foi de 171,645545 m.

Foram então plotadas as marcações de ambos os receptores, com indicação da hora UTC da coleta. Observou-se que, visualmente as coletas não estavam pareadas em relação ao tempo. Os dados coletados pelo receptor GPS Leica GX-1230 estavam com uma diferença 15 seg em relação aos dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87. Esse problema pode estar relacionado à qualidade do oscilador de quartzo do relógio interno do receptor GPS Gstar GS-87. Como pode ser visualizado na Figura 20, as marcações em amarelo são os dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 e as em preto foram coletadas pelo receptor GPS Leica GX-1230. Percebe-

se, mediante destaque em vermelho, que as marcações com hora UTC 18 h 48 min 45 seg estão visualmente distantes, sendo que deveriam estar próximas.



Figura 20 - Pontos coletados no contorno sul da BR-116, durante levantamento absoluto cinemático realizado nas ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, indicação de diferença de 15 seg na coleta dos dados pelo receptor GPS Gstar GS-87
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

Em virtude do fato exposto, os dados coletados foram novamente analisados. Deslocou-se o conjunto de dados do receptor GPS Gstar GS-87 em 15 seg em relação aos dados do receptor GPS Leica GX-1230, e os dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 na hora UTC 16 h 48 min 45 seg foram comparados com os dados coletados pelo receptor GPS Leica GX-1230 na hora UTC 16 h 49 min. A Tabela 19 mostra o exemplo do conjunto de dados coletados nesse levantamento, com deslocamento de 15 seg entre os dois receptores.

Tabela 20 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com deslocamento de 15 seg

(continua)

Leica GX-1230					Gstar GS-87		
Hr UTC	Latitude	Er. Lat.	Longitude	Er.Long.	Hr UTC	Latitude	Longitude
16:38:32	-25° 27' 21,016"	0,024	-49° 14' 4,669"	0,02	16:38:17	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
16:38:33	-25° 27' 21,016"	0,024	-49° 14' 4,669"	0,02	16:38:18	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"

Tabela 19 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, com deslocamento de 15 seg

(conclusão)

Leica GX-1230					Gstar GS-87		
Hr UTC	Latitude	Er. Lat.	Longitude	Er.Long.	Hr UTC	Latitude	Longitude
16:38:34	-25° 27' 21,016"	0,022	-49° 14' 4.669"	0,02	16:38:19	-25° 27' 20,982"	-049° 14' 4,782"
...	...	...	...	...	...	...	...
16:40:20	-25° 27' 25,841"	0,029	-49° 14' 14,743"	0,027	16:40:05	-25° 27' 25,878"	-049° 14' 14,832"
16:40:21	-25° 27' 25,601"	0,029	-49° 14' 14,908"	0,027	16:40:06	-25° 27' 25,638"	-049° 14' 14,994"
16:40:22	-25° 27' 25,36"	0,027	-49° 14' 15,071"	0,027	16:40:07	-25° 27' 25,398"	-049° 14' 15,156"
...	...	...	...	...	...	...	...
16:58:33	-25° 26' 57,854"	1,646	-49° 13' 50,277"	0,153	16:58:18	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"
16:58:34	-25° 26' 57,856"	0,249	-49° 13' 50,277"	0,122	16:58:19	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"
16:58:35	-25° 26' 57,856"	0,249	-49° 13' 50,277"	0,122	16:58:20	-25° 26' 57,792"	-049° 13' 50,286"

Observação: as colunas de erro são apresentadas em metros;

Fonte: AUTOR

Novamente foram calculadas as distâncias entre as coletas realizadas com ambos os receptores, agora com os dados deslocados em 15 seg entre si. A Tabela 20 exibe as distâncias vertical, horizontal e bidimensional encontradas entre as coletas realizadas com ambos os receptores GPS, com o deslocamento de 15 seg entre elas, cujas colunas estão descritas em 5.2.3. Comparando os resultados com os apresentados na Tabela 16, pode-se perceber que a média aritmética da distância na latitude diminuiu de 69,902060 m para 2,522338 m. O valor máximo para latitude também diminuiu de 171,645545 m para 9,231564 m. Para a longitude a média aritmética decresceu de 51,288977 m para 2,340014m. O valor máximo para longitude decresceu de 130,669919 m para 6,258298 m. A média aritmética da distância dimensional diminuiu de 90,058014 m para 3,705557 m. O valor máximo para esta distância também diminuiu de 214,650420 m para 9,553354 m.

Tabela 21 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas, considerando deslocamento de 15 seg

(continua)

Hr UTC	Latitude		Longitude		Bidimensional
	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Mét.
16:38:32	0,034	1,046244	0,113000	3,157088	3,325933
16:38:33	0,034	1,046244	0,113000	3,157088	3,325933
16:38:34	0,034	1,046244	0,113000	3,157088	3,325933
...	...	...	...	...	...
16:40:20	0,037	1,138560	0,089000	2,486556	2,734827
16:40:21	0,037	1,138560	0,086000	2,402740	2,658848
16:40:22	0,038	1,169331	0,085000	2,374801	2,647077
...	...	...	...	...	...

Tabela 20 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas, considerando deslocamento de 15 seg

(conclusão)

Hr UTC	Latitude		Longitude		Bidimensional
	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Seg.	Dist.Mét.	Dist.Mét.
16:58:33	0,062	1,907857	0,009000	0,251449	1,924355
16:58:34	0,064	1,969400	0,009000	0,251449	1,985388
16:58:35	0,064	1,969400	0,009000	0,251449	1,985388
Média		2,522338		2,340014	3,705557
Desvio		1,772029		1,511136	1,878914
Mínimo		-		-	0,471199
Máximo		9,231564		6,258298	9,553354

Fonte: AUTOR

Os cálculos, considerando os erros apresentados pelo receptor GPS Leica GX-1230 para o momento da coleta, também foram refeitos. A Tabela 21 mostra exemplo dos valores calculados para estas diferenças, para latitude e longitude. As colunas apresentadas já foram descritas nesta seção.

Tabela 22 - Exemplo de dados coletados no levantamento absoluto cinemático ruas do entorno ao Centro Politécnico da UFPR, distâncias encontradas entre as coletas considerando erro e deslocamento de 15 seg

Hr UTC	Latitude				Longitude			
	Dif.Mét.	Erro	Dif.Mét.<	Dif.Mét.>	Dif.Mét.	Erro	Dif.Mét.<	Dif.Mét.>
16:38:32	1,046244	0,024000	1,022244	1,070244	3,157088	0,020000	3,137088	3,177088
16:38:33	1,046244	0,024000	1,022244	1,070244	3,157088	0,020000	3,137088	3,177088
16:38:34	1,046244	0,022000	1,024244	1,068244	3,157088	0,020000	3,137088	3,177088
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16:40:20	1,138560	0,029000	1,109560	1,167560	2,486556	0,027000	2,459556	2,513556
16:40:21	1,138560	0,029000	1,109560	1,167560	2,402740	0,027000	2,375740	2,429740
16:40:22	1,169331	0,027000	1,142331	1,196331	2,374801	0,027000	2,347801	2,401801
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16:58:33	1,907857	1,646000	0,261857	3,553857	0,251449	0,153000	0,098449	0,404449
16:58:34	1,969400	0,249000	1,720400	2,218400	0,251449	0,122000	0,129449	0,373449
16:58:35	1,969400	0,249000	1,720400	2,218400	0,251449	0,122000	0,129449	0,373449
Média	2,522338		1,923953	3,120724	2,340014		1,862425	2,817603
Desvio	1,772029		2,175867	2,163148	1,511136		1,806542	1,990771
Mínimo	-		3,512984	0,050772	-		3,868734	0,020000
Máximo	9,231564		9,209564	9,394220	6,258298		6,242298	9,358256

Fonte: AUTOR

Deve-se observar que, devido à distância de 1 m entre as antenas dos receptores GPS durante o levantamento, os valores das distâncias tendem a diminuir em até 1 m. O valor de 1 m de distância entre as antenas não pode simplesmente ser subtraído das distâncias calculadas, pois o sentido

do levantamento sempre é na mesma direção para ambos os receptores (norte-sul, leste-oeste).

A comparação dos dados coletados por ambos os receptores, durante o levantamento cinemático, permite a avaliação da precisão do receptor em estudo. Este tipo de comparação não pode ser utilizado para avaliação da acurácia.

5.3. Levantamento absoluto cinemático com variação de velocidade

Conforme já descrito em 4.2.3, não são obtidos resultados adequados com o receptor GPS Gstar GS-87 quando em deslocamento de baixa velocidade (abaixo de 9 km/h). Em virtude desta característica, foram planejados novos levantamentos cinemáticos com variação de velocidade, para identificar a partir de que velocidade o receptor GPS Gstar GS-87 coleta as informações de maneira adequada.

Foram realizados seis levantamentos cinemáticos, conforme descrito em 4.2.5, no dia 04 de março de 2012, com céu azul e sem nuvens, iniciando às 17 h 16 min 47 seg, sendo três destes com velocidade superior a 10 km/h e outros três com velocidade inferior a 10 km/h. Observou-se que em velocidades iguais e/ou superior a 9 km/h, o receptor GPS Gstar GS-87 registrou as coletas com intervalos regulares entre elas, conforme se pode observar na Figura 21, onde cada marcação em amarelo é um ponto de coleta com intervalo de tempo de 1 seg e a distância entre os pontos é inferior a 5 m.



Figura 21 - Pontos coletados durante levantamento cinemático, realizado na Rua Octacília Hasselman de Oliveira, com velocidade acima de 9 km/h
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

Entretanto, quando a velocidade de deslocamento é inferior a 9 km/h, o receptor GPS Gstar GS-87 não calcula os dados com intervalos regulares, repetindo as mesmas coordenadas, tanto de latitude quanto de longitude. Esta característica pode ser observada na Figura 22, no ponto marcado em rosa, houve 72 registros, com intervalo de 1 seg, com as mesmas coordenadas.



Figura 22 - Pontos coletados durante levantamento cinemático, realizado na Rua Octacília Hasselman de Oliveira, com velocidade abaixo de 9 km/h
Fonte: Imagem capturada com *software* TrackMaker, banco de imagens públicas Google Earth

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento desta pesquisa, puderam ser observados alguns aspectos importantes e relevantes relacionados aos dispositivos testados e avaliados.

Diversos testes foram realizados com o dispositivo Friendly ARM modelo Mini 6410, sendo um dos primeiros para definir qual sistema operacional seria utilizado para a realização da pesquisa, outros para a escolha da configuração ideal para a execução do *software* que coleta e registra os dados do receptor GPS Gstar GS-87 e testes para avaliação da autonomia do conjunto de baterias. Observou-se que o dispositivo Friendly ARM modelo Mini 6410 pode ser utilizado com sistema operacional Linux, o qual foi utilizado na pesquisa, bem como, Win CE e Android. Isso permite que este dispositivo possa ser empregado em diversas configurações como suporte na solução de problemas diferentes, nas mais distintas áreas de pesquisa.

Considerando que o tamanho físico do dispositivo é pequeno (menor que 15 cm), ele pode ser embarcado com certa facilidade em pequenos espaços. Como possui diversas portas de entrada e saída, pode ser utilizado para monitorar sensores e armazenar os dados no cartão SD que pode ser conectado a ele. Este tem conectividade tanto via cabo quanto *wireless*, tornando fácil a tarefa de descarregar os dados registrados.

Um aspecto importante a ser ressaltado é a fragilidade do conector de entrada de energia, tornando a tarefa um tanto desgastante. Durante a realização dos testes, diversas vezes, o dispositivo desligou por mau contato na conexão de entrada de energia. Para uso em ambiente de campo, sobre um equipamento agrícola, por exemplo, é importante alterar essa característica, fixando a conexão de entrada de energia. Também é pertinente observar que será necessário construir um invólucro para proteger o dispositivo das intempéries.

Com relação aos testes realizados para avaliar a precisão e acurácia do receptor GPS Gstar GS-87, pôde-se observar algumas características importantes para o desenvolvimento do projeto de construção do robô de campo, onde a finalidade do receptor GPS será informar para o robô qual é sua real localização geográfica. As considerações são realizadas

para os levantamentos absolutos estáticos e cinemáticos e as principais características são expostas a seguir.

- Levantamentos absolutos estáticos

Foi possível observar que, para realizar levantamentos absolutos estáticos, o receptor GPS Gstar GS-87 não registrou alterações das coordenadas, o que seria esperado. A partir do momento em que o receptor GPS Gstar GS-87 recebe as primeiras informações dos satélites, ele mantém as mesmas coordenadas até que haja um deslocamento significativo ou um deslocamento com velocidade superior a 9 km/h. Então, se o receptor for mantido ligado na mesma posição, as coordenadas calculadas serão sempre as mesmas.

Com relação ao erro encontrado entre todas as campanhas dos levantamentos absolutos estáticos, nos marcos geodésicos, observou-se que para a latitude a média aritmética das distâncias encontradas entre as coordenadas registradas pelo receptor e a coordenada dos marcos geodésicos foi de 4,20 m, sendo o desvio padrão de 3,46 m. O maior valor encontrado foi de 10,50 m e o menor valor foi de 0,72 m. Para a longitude, a média aritmética das distâncias encontradas foi de 6,65 m com desvio padrão de 11,14 m. O maior valor encontrado foi de 35,88 m e menor o foi de 0,30 m. Para a distância bidimensional, a média aritmética dos valores encontrados foi de 8,18 m com desvio padrão de 11,43 m. A maior distância bidimensional encontrada foi de 37,35 m e a menor foi de 0,81 m.

Neste sentido é importante destacar que as coordenadas registradas nos levantamentos estáticos no local UEPG Campus podem ter interferência das árvores muito próximas ao marco geodésico, que causam obstrução.

A avaliação da precisão dos dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87, em levantamento absolutos estáticos, conforme apresentado no final da seção 5.1, Tabela 13, permite afirmar que o receptor GPS Gstar GS-87 tem uma precisão bidimensional $\pm 13,78$ m, com um desvio padrão de 14,26 m, sendo a maior distância encontrada de 40,59 m e a menor de 1,68 m. Essa medida permite avaliar o quão espalhadas estão as coordenadas coletadas entre si. Porém, ainda vale ressaltar que os dados coletados no levantamento estático UEPG Campus podem conter um erro

intrínseco devido ao problema de obstrução de sinal que pode causar multicaminhamento, que foram verificadas com mapas de obstruções, conforme previamente descrito em 5.1.2. Se for desconsiderado o conjunto de dados coletados neste levantamento estático, a precisão bidimensional do receptor em estudo altera para $\pm 7,13$ m, com um desvio padrão de 5,59 m, sendo a maior distância encontrada de 16,93 m e a menor de 1,68 m.

- Levantamentos absolutos cinemáticos

Para os levantamentos absolutos cinemáticos, observou-se que o registro correto das coordenadas só ocorreu quando a velocidade de deslocamento foi superior a 9 km/h, conforme apresentado nos resultados dos levantamentos cinemáticos com variação de velocidade, onde foram realizados seis levantamentos cinemáticos, sendo três deles com velocidade inferior a 9 km/h e outros três com velocidade igual ou superior a 9 km/h. O receptor GPS Gstar GS-87 só registrou as alterações de coordenadas quando o deslocamento foi em velocidade igual ou superior a 9 km/h. O entendimento desta característica é importante, haja vista que o robô que irá fazer uso deste dispositivo precisará trafegar em velocidade igual ou superior a 9 km/h, para que o registro das coordenadas seja realizado de maneira adequada.

Comparando as coordenadas registradas pelo receptor GPS Gstar GS-87 com receptor GPS Leica GX-1230, pode-se afirmar que o receptor em estudo tem uma precisão de erro de aproximadamente 10 m. A média aritmética das distâncias encontradas para a latitude foi de 2,52 m, com um desvio padrão de 1,77 m. A maior distância encontrada foi de 9,23 m e a menor distância foi de 0,00 m. Para a longitude, obteve-se um valor para a média aritmética igual a 2,34 m, com desvio padrão de 1,51 m. A maior distância encontrada foi de 6,26 m. Quanto à distância bidimensional, a média aritmética das distâncias foi de 3,70 m, com desvio padrão de 1,88 m. Sendo a maior distância bidimensional encontrada igual a 9,55 m e a menor distância igual a 0,00 m. Vale ressaltar que, devido à distância de 1 m entre as antenas utilizadas durante o levantamento, as distâncias podem diminuir em até 1 m.

Observou-se também uma diferença de tempo de 15 segundos entre as coordenadas coletadas por ambos os receptores, receptor GPS Gstar GS-87 e receptor GPS Leica GX-1230. A razão desta diferença de tempo não foi explicada pela presente pesquisa, exigindo mais estudos para definir os

motivos que levaram a esta ocorrência. A diferença pode ter origem na qualidade dos osciladores de quartzos que são utilizados pelos receptores GPS, o que o torna instáveis.

Para fazer o registro dos caminhamentos (latitude e longitude) realizados pelo robô em campo, pode-se afirmar que o receptor GPS Gstar GS-87 é adequado, dentro de uma margem de erro de +/- 10 m.

Considerando o custo de aquisição de conjunto completo, formado pelo receptor GPS Gstar GS-87, computador embarcado Friendly ARM modelo Mini 6410 e a unidade de baterias, é possível verificar a viabilidade de sua utilização como unidade de recepção e registro das coordenadas de localização do robô em campo.

Segundo Elias (2009), a precisão esperada para esse equipamento era de 20 a 25 m, entende-se que o equipamento em estudo tem uma precisão melhor que a esperada.

Cabe ressaltar que, devido ao problema de multicaminhamento, a utilização do receptor GPS Gstar GS-87 para calcular as coordenadas em áreas onde existam obstruções verticais deve ser feita com cautela, pois essa condição altera significativamente o nível de acurácia e precisão das coordenadas calculadas.

A julgar que o robô de campo irá fazer uso das coordenadas geográficas coletadas pelo receptor GPS Gstar GS-87 em tempo real, é importante ressaltar que o nível de acurácia deve ser o melhor possível, para tanto é recomendável realizar estudos para possíveis implementações de seu uso com técnicas de DGPS (*Differential Global Positioning System*).

Para trabalhos futuros recomenda-se a realização de pesquisa a fim de avaliar a precisão e acurácia dos dados coletados pelo receptor GPS Gstar GS-87 relacionados a altimetria, diferenças nas altitudes coletadas em relação as reais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALETAN, S.O. **An overview of RISC architecture**. In Proceedings of the 1992 ACM/SIGAPP Symposium on Applied computing: technological challenges of the 1990's (SAC '92), Hal Berghel, Ed Deaton, George Hedrick, David Roach, and Roger Wainwright (Eds.). ACM, New York, 1992.

ANDRADE, J.B. de. **Fotogrametria**. Curitiba, SBEE, 1998.

ARM, **Advanced RISC Machines Corporation**. Disponível em <<http://www.arm.com/products/processors/>> Acesso em 20 mai. 2011.

ARM, Advanced RISC Machines Corporation. Disponível em <http://armdevs.googlecode.com/files/overview_mini6410.pdf>. Acesso em 20 dez. 2010.

BATES, S. **Case Study: Advanced Risc Machines, The Future Today**. The Institution of Electrical Engineers. Publicado em IEE, Savoy Place, Londres, 1996.

BOVET, D.; CESATI, M. **Understanding the Linux Kernel**, Second Edition. Andy Oram (Ed.). O'Reilly & Associates Inc., Sebastopol, 2002

BRIONES, A. B. **Análise do posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro**. Curitiba, 1999. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

CATSOULIS, J. **Designing Embedded Hardware**, Second Edition. O'Reilly & Associates Inc, Sebastopol, 2005.

ELIAS, A. R.; PIROLI, E. L. Techniques of GPS positioning for precision agriculture. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia V2 N1 Jan – Abr 2009. Guarapuava.

ESPONDA, M. **The RISC Concept** - A Survey of Implementations. Technical Report, Freie Universität Berlin, Berlin, 1991.

FSF, **Free Software Foundation**. Disponível em < <http://www.fsf.org>>. Acesso em 15 nov. 2011.

FURBER, S. **The Future of Computer Technology and its Implications for the Computer Industry**, THE COMPUTER JOURNAL, Vol. 51 No. 6, 2008.

GAERTNER, M. **Lazarus for cross-platform development**. Linux Journal, Seattle, 2009.

GALILEO. **Galileo Navigation**. Disponível em: <<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>>. Acesso em 6 ago; 2012.

GLONASS. **Federal Space Agency**: Information-Analytical Centre. Disponível em: <<http://www.glonass-center.ru/en/>>. Acesso em 6 ago; 2012.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**: aplicações geodésicas. Curitiba, Ed UFPR, 1994.

GIROUX, M. **Lazarus Free Pascal** - Développement rapide, LIBERLOG, Rennes, 2011.

GNSS, **GNSS Planning**, Disponível em: <<http://www.ashtech.com/gnss-planning-17876.kjsp>>. Acesso em: 29 ago. 2012.

HIRSCHBERG, M. A. **Rapid Application Development**: A Brief Overview, Software Tech News, vol. 2, 2002.

IBGE, **Sistemas de Referência**, Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/sisref_2.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2012a.

IBGE, **Posicionamento por ponto Preciso**, Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/>>. Acesso em: 08 ago. 2012b.

Langley, R. B. **GPS World**. Dilution of Precision. Cleveland. May 1999. Disponível em: <<http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/gpsworld.may99.pdf>>. Acesso em 16 ago. 2012.

LAZARUS, **Documentação online Lazarus e FreePascal**. Disponível em <<http://wiki.lazarus.freepascal.org>>. Acesso em 7 out. 2011.

LEANDRO, R. F. et al. Innovation: The GPS L2C Signal. **GPS World**. Cleveland. October 2008. Disponível em <<http://www.gpsworld.com/gnss-system/gps-modernization/innovation-the-gps-l2c-signal-4258>>. Acesso em 28 jul. 2012.

LEICK, A. **GLONASS Satellite Surveying**. Journal of Surveying Engineering, v 124, n. 2, p. 91-9, 1998.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia contemporânea**: planimetria. 2. Edição. Florianópolis, EdUFSC, 2000.

KOWOMA, **The GPS System**. Disponível em <http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm>. Acesso em 3 ago. 2012.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. 267 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

KRUEGER, C. P. **Posicionamento por Satélites**: Métodos de Posicionamento por satélites. Disponível em: <http://www.lage.ufpr.br/novo/downloads/levgeod2/Parte6_metodos.pdf> acesso em 5 ago. 2012.

MARTIN, J. **Rapid Application Development**. Macmillan Publishing, Indianapolis, USA. 1991.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados**. São Paulo, Novatec, 2005.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: Descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo, UNESP, 2000.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**: Descrição, fundamentos e aplicações. 2ª Edição. São Paulo, Editora UNESP, 2007.

MOURÃO, R. R. de F. **Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica**. Rio de Janeiro, Editora Nova Fronteira, 1987.

MURDOCCA, M. J.; HEURING, V. P. **Introdução à Arquitetura de Computadores**, Campus, Rio de Janeiro, 1999.

NMEA, **National Marine Electronics Association**. Disponível em <http://www.nmea.org/content/about_the_nmea/about_the_nmea.asp>. Acesso em 20 dez. 2011.

NMEA, **The NMEA 0183 Protocol**. Disponível em <<http://www.cs.put.poznan.pl/wswitala/download/pdf/NMEAdescription.pdf>>. Acesso em 23 mar. 2012.

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia**: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis, UFSC, 2009.

PATTERSON, D. **Reduced Instruction Set Computers**. Communications of the ACM, Vol. 28, No.1, Janeiro 1985.

RITCHIE, D.M.; THOMPSON K. **The UNIX time-sharing system**. Commun. ACM 17, 7 .Julho 1974.

RYZHYK, L. **The ARM Architecture**. Chicago University, Illinois, E.U.A, 2006. Disponível em: <<http://www.cse.unsw.edu.au/~cs9244/06/seminars/08-leonidr.pdf>>. Acesso em: 14 jun 2011.

SHARSHUNOV, S. G. **Functional Tests for RISC-microprocessors**. Automation and Remote Control, vol 65, num 11, 2004.

TANENBAUM, A. S. **Structured Computer Organization** (5th Edition). Amsterdam, 2006.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M.F. **Introdução à agricultura de precisão**: Conceitos e vantagens. Ci. Rural, 32:159-163, 2002.

VON HIPPEL, E.; VON KROGH, G. **Open Source software and the private-collective** innovation model: issues for organization science. *Organization Science*, v. 14, n. 2, 2003.

Apêndices

Apêndice 1

Mapa de obstrução vertical e gráfico de disponibilidade de satélites do Marco Geodésico Castro.

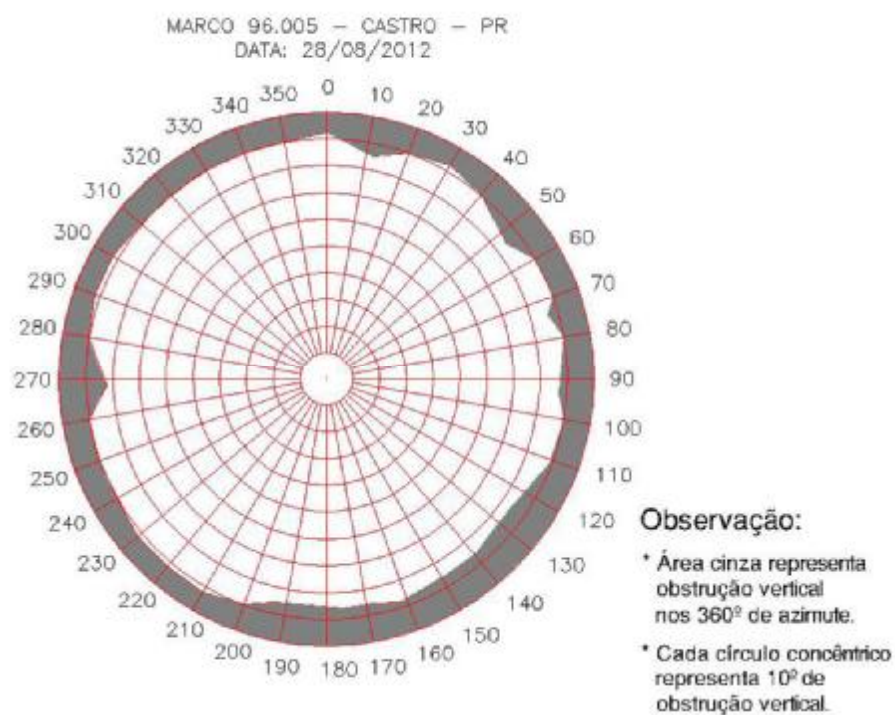
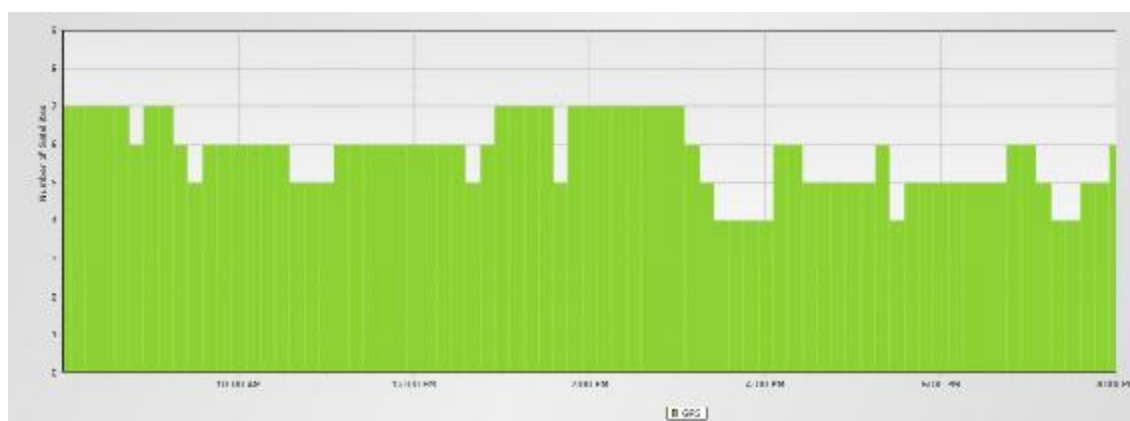


Gráfico de disponibilidade de satélites para o Marco Geodésico Castro, para o dia 05/10/2011.



Apêndice 2

Mapa de obstrução vertical e gráfico de disponibilidade de satélites do Marco Geodésico UEPG Campus, realizado em 14/09/2011.

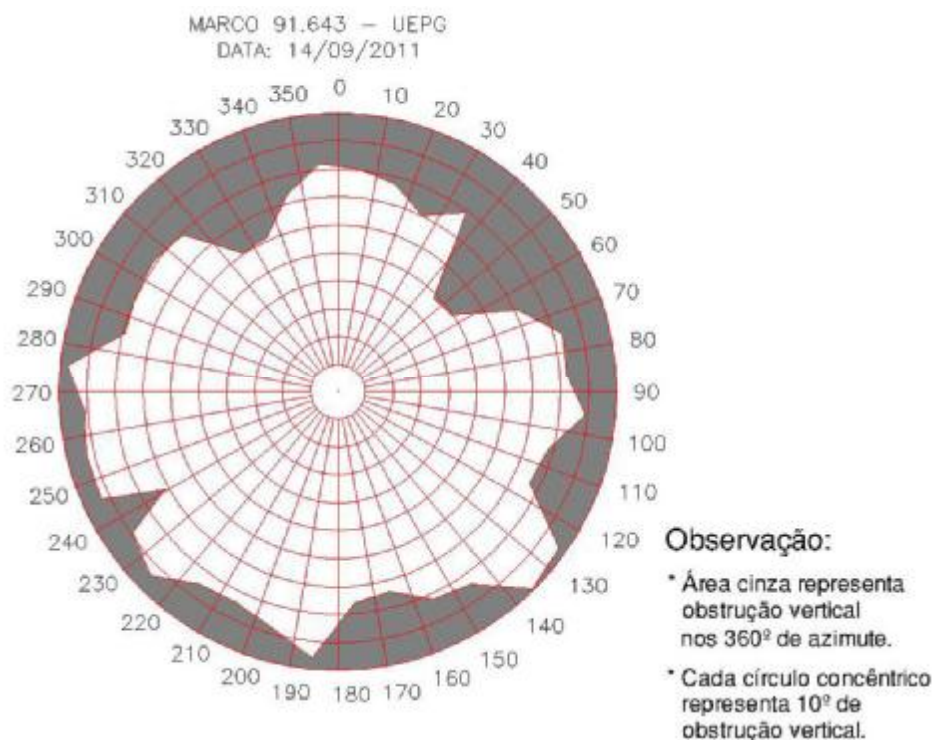
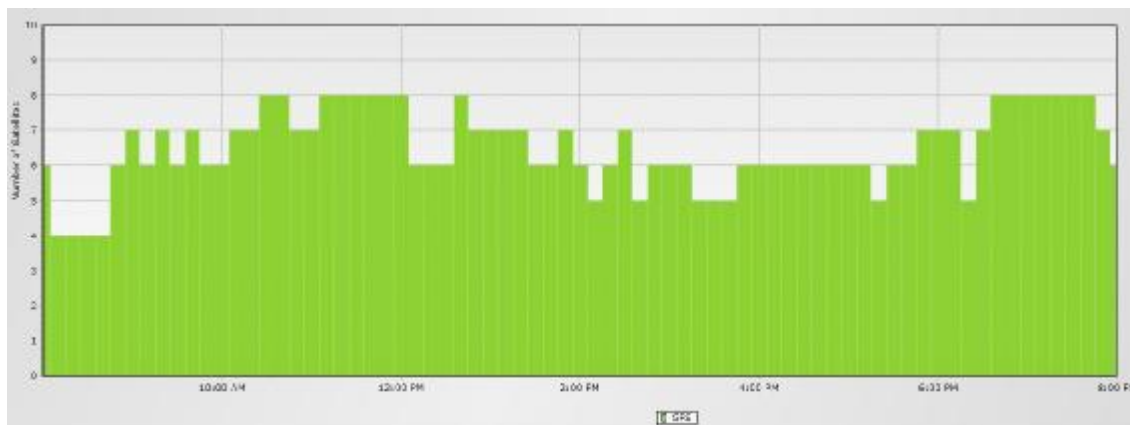


Gráfico de disponibilidade de satélites para o Marco Geodésico UEPG Campus, para o dia 28/07/2011.



Anexos

Anexo 1

Exemplo de dados coletados no levantamento cinemático na fazenda escola UEPG, que se repetiam quando a velocidade de deslocamento era pequena.

Hr UTC	Latitude	Longitude
14:36:57	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:36:58	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:36:59	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:37:00	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:37:01	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:37:02	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
...	...	...
14:38:32	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:33	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:34	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:35	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:36	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:37	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"
14:38:38	-25 05' 54.30001"	-50 02' 46.14000"

Fonte: AUTOR

Anexo 2 – Memorial Descritivo Marco Geodésico Castro



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	96005	Nome da Estação :	96005	Tipo :	Estação Planimétrica - SAT
Município :	CASTRO				UF: PR
Última Valsa:	9/11/2007	Situação Marco Principal:	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS				DADOS ALTIMÉTRICOS				DADOS GRAVIMÉTRICOS			
Latitude		24 ° 47 ' 15,5062 " S		Altitude Ortométrica(m)		987,84		Gravidade(mGal)			
Longitude		49 ° 06 ' 58,5454 " W		Altitude Geométrica(m)		994,88		Sigma Gravidade(mGal)			
Fonte		GPS Geodésico		Fonte		GPS Geodésico		Precisão			
Origem		Ajustado		Data Medição		6/11/2007		Datum			
Datum		SAD-69		Data Cálculo		28/9/2010		Data Medição			
A Data Medição		6/11/2007		Sigma Altitude Geométrica(m)				Data Cálculo			
B Data Cálculo		31/12/2008		Modelo Geoidal		MAPGEO2010		Correção Topográfica			
2 Sigma Latitude(m)		0,006						Anomalia Bouguer			
9 Sigma Longitude(m)		0,009						Anomalia Air-Grav			
UTM(N)		7 258 106,523						Densidade			
UTM(E)		601,127,054									
MG		-51									
Latitude		24 ° 47 ' 17,2495 " S		Altitude Ortométrica(m)		987,86		Gravidade(mGal)			
Longitude		50 ° 06 ' 10,0227 " W		Altitude Geométrica(m)		991,80		Sigma Gravidade(mGal)			
Fonte		GPS Geodésico		Fonte		GPS Geodésico		Precisão			
Origem		Ajustado		Data Medição		6/11/2007		Datum			
Datum		SIRGAS2000		Data Cálculo		28/9/2010		Data Medição			
A Data Medição		6/11/2007		Sigma Altitude Geométrica(m)		0,013		Data Cálculo			
B Data Cálculo		31/12/2008		Modelo Geoidal		MAPGEO2010		Correção Topográfica			
2 Sigma Latitude(m)		0,002						Anomalia Bouguer			
0 Sigma Longitude(m)		0,002						Anomalia Air-Grav			
UTM(N)		7 258 142,759						Densidade			
UTM(E)		601,072,201									
MG		-51									

- [Apresentação Adicional Simulada de Rede Alimétrica em 15/06/2011 - Relatório em *Ap/Agenda/Agenda.gov.br/documentos/gaodocs/RelatorioAjustesweb.pdf*](#)
- [Apresentação Planilhão SRSAS2009 em 29/11/2004 em 06/03/2008 - Relatório em *Ap/Agenda/Agenda.gov.br/documentos/gaodocs/REL_srgas2009.pdf*](#)
- [Apresentação Planilhão Global SCD 69 em 15/09/1996 - Relatório em *Ap/Agenda/Agenda.gov.br/documentos/gaodocs/REL_scd69.pdf*](#)
- [Dados Planilhão para Cálculo das Áreas das Unidades de Conservação do Brasil e 1250000 - Anexo SRSAS2000 em SCD-69](#)

LOGGED IN

Nas dependências do Centro Municipal de Agropecuária da Prefeitura Municipal da cidade de Castro/PR, situado na Rua Francisco de Assis Andrade, nº 141, Bairro Vila Rio Branco, 15 m SE do prédio da Secretaria Municipal de Saúde.

Descrição

Placa de concreto de formato hexagonal 1,20 m de altura sobre uma base triangular com 0,20 m de altura, no centro do lago uma base de alumínio com dispositivo de contração forçada. Chapa de metal cravada 0,20 m abaixo do lago direcionada para o Ceste.

பெரிய நகரம்

Partir ao lado da Igreja Maria Nossa, S/A, São Ana, situada na Praça Dr. Getúlio Vargas na cidade de Castro/PR e seguir pela Rua Pinela Calegari, com 00,1 Km seguir a esquerda pela Rua Mariana Marques, com 00,6 Km passar pelo Parque Laurota, com 00,6 Km seguir a esquerda passar pelo Estádio Ferrovil, pela Avenida Miguel Couto, com 01,0 Km chegar a rodovia e seguir a direita em direção ao Barro Vivo Mo Branco e Estádio Municipal pela Rua Francisco de Assis Andrade, com 01,3 Km seguir a esquerda pela Rua Conselheiro Genuíno, com 01,4 Km seguir a esquerda passar pela entrada do Centro Administrativo da Prefeitura, com 01,6 Km chegar ao local da estação em frente a Secretária Municipal de Saúde.

Observations

Concededor da estação: Sr. Mário Silva Jaksemin Martins responsável pela chave do dispositivo de centragem forçada, situado no Centro Municipal da Agropecuária da Prefeitura na Rua Francisco de Assis Almeida, nº 141, Bairro Vila Rio Branco.

For the first time



bioRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2017.09.27.200000>; this version posted September 27, 2017. The copyright holder for this preprint (which was not certified by peer review) is the author/funder, who has granted bioRxiv a license to display the preprint in perpetuity. It is made available under aCC-BY-NC-ND 4.0 International license.

Anexo 3 – Memorial Descritivo Marco Geodésico UEPG Campus



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	91643	Nome da Estação :	91643	Tipo :	Estação Planimétrica - SAT
Município :	PONTA GROSSA			UF :	PR
Última Visita:	15/5/1998	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS			DADOS ALTIMÉTRICOS			DADOS GRAVIMÉTRICOS		
Latitude	25° 05' 41.6454" S	Altitude Ortométrica(m)	908.39	Gravidade(mGal)				
Longitude	50° 06' 16.7396" W	Altitude Geométrica(m)	914.96	Sigma Gravidade(mGal)				
Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão				
Origem	Ajustada	Data Medição	15/9/1995	Datum				
S Datum	SAD-69	Data Cálculo	28/6/2010	Data Medição				
A Data Medição	15/9/1995	Sigma Altitude Geométrica(m)		Data Cálculo				
D Data Cálculo	15/9/1998	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica				
6 Sigma Latitude(m)	0.013			Anomalia Bouguer				
9 Sigma Longitude(m)	0.043			Anomalia Air-Grav				
UTM(N)	7.224.235.064			Densidade				
UTM(E)	590.282.694							
MC	-51							
Latitude	25° 05' 43.3920" S	Altitude Ortométrica(m)	906.45	Gravidade(mGal)				
S Longitude	50° 06' 16.4961" W	Altitude Geométrica(m)	912.41	Sigma Gravidade(mGal)				
I Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão				
R Origem	Ajustada	Data Medição	15/9/1995	Datum				
G Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	28/6/2010	Data Medição				
A Data Medição	15/9/1995	Sigma Altitude Geométrica(m)	0.008	Data Cálculo				
S Data Cálculo	23/11/2004	Modelo Geoidal	MAPGEO2010	Correção Topográfica				
2 Sigma Latitude(m)	0.001			Anomalia Bouguer				
9 Sigma Longitude(m)	0.004			Anomalia Air-Grav				
0 UTM(N)	7.224.191.282			Densidade				
0 UTM(E)	590.232.810							
MC	-51							

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/05/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/basesdado/geodetica/RelatorioAjustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2005 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodetica/REL_sirgas2000.pdf
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1995 - Relatório em http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodetica/REL_sad69.pdf
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Localização

No Campus da Universidade Estadual de Ponta Grossa, a 50 m a SW do Bloco I, também conhecido como Bloco de Ciências Exatas e Naturais, em um canteiro gramado próximo ao estacionamento. Distância de 210 m a E da Prefeitura do Campus e a 130 m a E da agência do BANESTADO.

Descrição

O marco principal é do tipo padrão do IAP, tem estrutura de concreto com base triangular. O pilar é em forma hexagonal e mede 1,10 m de altura por 0,40 m de espessura, sua base é um triângulo equilátero e mede 1,30 m de lado, por 0,15 m de altura do solo. Está fixada no topo dispositivo de centragem forçada com rosca universal, onde são referenciadas as observações.

Itinerário

Partir da porta da Igreja Imaculada Conceição, na Av. General Carlos Cavalcanti, no bairro Uvaranas da cidade de Ponta Grossa-PR e seguir com az. Mag. 85 graus em direção a U.E.P.G. Com 4 km dobrar a Av. e dobrar à direita pela Alameda Nabuco Araújo az. Mag. 98 graus, com 4,6 km dobrar à esquerda az. Mag. 189 graus, adentrando a área da U.E.P.G.; c/Com 5,2 km chegar ao estacionamento do Bloco I, setor de Ciências Exatas e Naturais. Daí visse-se o marco az. Mag. 60 graus e a 30 m de distância.

Observação

As chaves do protetor do dispositivo de centragem forçada, estão sob a guarda do Prof. Arnaldo Cerigato na U.E.P.G. diretor - José Carlos Borsato. O pilar teve sua construção fora do centro da base triangular.

Foto(s)

