

GABRIEL DINIZ DE OLIVEIRA

**POSICIONAMENTO RELATIVO EM TEMPO REAL E PÓS-PROCESSADO  
UTILIZANDO MICRORRECEPTOR GNSS USADO EM SMARTPHONE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

O48p  
2014

Oliveira, Gabriel Diniz de, 1988-

Posicionamento relativo em tempo real e pós-processado  
utilizando microrreceptor GNSS usado em Smartphone / Gabriel  
Diniz de Oliveira. – Viçosa, MG, 2014.

xii, 111f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndice.

Orientador: Moisés Ferreira Costa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.71-73.

1. Smartphone. 2. Sistema de posicionamento global.  
3. Satélites artificiais em navegação. 4. Sistemas de comunicação  
móvel. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia  
Civil. II. Título.

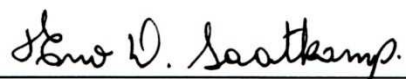
CDD 22. ed. 526.1

GABRIEL DINIZ DE OLIVEIRA

**POSICIONAMENTO RELATIVO EM TEMPO REAL E PÓS-PROCESSADO  
UTILIZANDO MICRORRECEPTOR GNSS USADO EM SMARTPHONE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

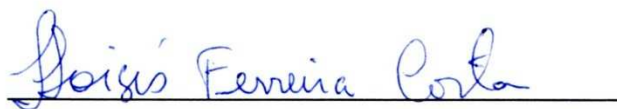
APROVADA: 22 de julho de 2014



Prof. Eno Darci Saatkamp



Prof. William Rodrigo Dal Poz



Prof. Moisés Ferreira Costa  
(Orientador)

## SUMÁRIO

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| LISTA DE FIGURAS .....                                              | 6  |
| LISTA DE TABELAS .....                                              | 11 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....                                | 13 |
| RESUMO .....                                                        | 14 |
| ABSTRACT .....                                                      | 16 |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                 | 17 |
| 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAS .....                                    | 17 |
| 1.1.1. HISTÓRICO DOS <i>SMARTPHONES</i> .....                       | 17 |
| 1.1.2. ESTADO DA ARTE .....                                         | 19 |
| 1.2. OBJETIVOS .....                                                | 22 |
| 1.2.1. OBJETIVO GERAL .....                                         | 22 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                  | 22 |
| 1.3. JUSTIFICATIVA .....                                            | 23 |
| 1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                    | 23 |
| 2. PRINCIPAIS COMPONENTES DE NAVEGAÇÃO DOS <i>SMARTPHONES</i> ..... | 25 |
| 2.1. GIROSCÓPIO .....                                               | 25 |

|                                           |                                                                             |    |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.                                      | ACELERÔMETRO .....                                                          | 26 |
| 2.3.                                      | MICRORRECEPTOR GNSS .....                                                   | 27 |
| 2.3.1.                                    | SiRFstar® .....                                                             | 28 |
| 2.3.2.                                    | PROTOCOLO NMEA .....                                                        | 29 |
| 2.3.3.                                    | PROTOCOLO SiRF BINÁRIO .....                                                | 30 |
| 3.                                        | MÉTODOS ATUAIS DE POSICIONAMENTO GNSS EM<br><i>SMARTPHONES</i> .....        | 32 |
| 3.1.                                      | POSICIONAMENTO POR PONTO SIMPLES .....                                      | 32 |
| 3.2.                                      | GPS ASSISTIDO (A-GPS) .....                                                 | 33 |
| 3.3.                                      | SISTEMA DE POSICIONAMENTO HÍBRIDO .....                                     | 33 |
| 4.                                        | POSICIONAMENTO RELATIVO .....                                               | 33 |
| 4.1.                                      | DUPLA DIFERENÇA .....                                                       | 34 |
| 4.1.1.                                    | ESTIMATIVA DAS COORDENADAS PELO MÉTODO<br>DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ) ..... | 36 |
| 4.1.2.                                    | MMQ RECURSIVO UTILIZANDO A MATRIZ DE GANHO<br>DE KALMAN .....               | 39 |
| 4.2.                                      | TRANSMISSÃO DAS CORREÇÕES .....                                             | 41 |
| 5.                                        | MATERIAIS E MÉTODOS .....                                                   |    |
| Erro: Origem da referência não encontrada |                                                                             |    |
| 5.1.                                      | MATERIAIS .....                                                             | 45 |
| 5.2.                                      | ÁREA DE ESTUDO .....                                                        | 46 |
| 5.3.                                      | METODOLOGIA .....                                                           | 49 |
| 5.3.1.                                    | MONTAGEM DO EXPERIMENTO .....                                               | 49 |
| 5.3.2.                                    | DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DOS<br>ALGORITMOS .....                     | 50 |
| 5.3.2.1.                                  | LEITURA DOS DADOS .....                                                     | 52 |
| 5.3.2.2.                                  | PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL .....                                           | 54 |

|          |                                       |    |
|----------|---------------------------------------|----|
| 5.3.2.3. | ARQUIVO RINEX .....                   | 56 |
| 5.3.3.   | PARÂMETROS DE PÓS-PROCESSAMENTO ..... | 57 |
| 6.       | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....         | 59 |
| 6.1.     | PÓS PROCESSAMENTO .....               | 61 |
| 6.2.     | PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL .....     | 64 |
| 6.2.1.1. | VALIDAÇÃO DO ALGORITMO .....          | 64 |
| 6.2.1.2. | RASTREIO COM MICRORRECEPTOR .....     | 69 |
| 7.       | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....      | 81 |
|          | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....      | 83 |
|          | ANEXO A .....                         | 86 |
|          | APÊNDICE B .....                      |    |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Histórico dos dispositivos para telefonia móvel .....                                                |    |
| Erro: Origem da referência não encontrada                                                                       |    |
| Figura 2 – Gráfico com sistemas operacionais para <i>smartphones</i> mais vendidos atualmente. ....             |    |
| 19                                                                                                              |    |
| Figura 3 – Yuan10 Skytraq S1315F-RAW .....                                                                      |    |
| 21                                                                                                              |    |
| Figura 4 – Rappen10 mMCX versão uBlox NEO-6P .....                                                              |    |
| 21                                                                                                              |    |
| Figura 5 – Denga10 NVS NV08C-CSM .....                                                                          |    |
| 21                                                                                                              |    |
| Figura 6 – Giroscópio. ....                                                                                     |    |
| 25                                                                                                              |    |
| Figura 7 – Componentes da força medida nos dispositivos móveis com acelerômetro .....                           | 27 |
| Figura 8 – Circuito Integrado SiRFstartIV. Microrreceptor GNSS de alta sensibilidade ao lado de uma moeda ..... | 28 |
| Figura 9 – Simples Diferença entre receptores .....                                                             | 34 |
| Figura 10 – Dupla Diferença entre receptores .....                                                              | 35 |
| Figura 11 – Localização das estações da RBMC-IP .....                                                           | 43 |
| Figura 12 – GPS SiRFstart IV no <i>smartphone</i> Samsung Galaxy SII. ....                                      | 45 |
| Figura 13 – Receptor GPS G-STAR IV da GlobalSat® .....                                                          | 46 |
| Figura 14 – GPS G-STAR instalado no marco do IBGE .....                                                         | 50 |
| Figura 15 – Fluxograma do programa principal .....                                                              | 35 |
| Figura 16 – Detalhes da mensagem NMEA PSR100. ....                                                              | 36 |
| Figura 17 – Código para leitura dos dados do Microrreceptor GNSS pela porta USB. ....                           | 36 |
| Figura 18 – Código para leitura dos dados da RBMC-IP. ....                                                      | 37 |

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 19 – Fluxograma do processamento dos dados GNSS em tempo real. ....                                                                                       |    |
| ... 40                                                                                                                                                           |    |
| Figura 20 – Cabeçalho de arquivo RINEX de observação. ....                                                                                                       | 41 |
| Figura 21 – Exemplo do corpo do arquivo RINEX de observações. ....                                                                                               | 42 |
| Figura 22 – Gráfico com as discrepâncias das coordenadas cartesianas pós-processadas .....                                                                       |    |
| 62                                                                                                                                                               |    |
| Figura 23 – Gráfico com as discrepâncias das coordenadas planas UTM pós-processadas .....                                                                        |    |
| 63                                                                                                                                                               |    |
| Figura 24 – Gráfico com as discrepâncias da componente horizontal das coordenadas UTM pós-processadas .....                                                      | 63 |
| Figura 25 – Gráfico com as discrepâncias da componente vertical das coordenadas UTM pós-processadas .....                                                        | 63 |
| Figura 26 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada época a época independentemente ..... | 65 |
| Figura 27 - Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada época a época independentemente ..... | 65 |
| Figura 28 - Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada época a época independentemente ..... | 66 |
| Figura 29 - Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada recursivamente .....                  | 66 |
| Figura 30 - Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada recursivamente .....                  | 67 |



|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 31 - Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada recursivamente .....                 | 67 |
| Figura 32 – Gráfico com os desvios em metros das coordenadas cartesianas geocêntricas da estação P539 da rede CORS, processada recursivamente .....             | 68 |
| Figura 33 – Gráfico com os desvios em metros das coordenadas planas UTM da estação P539 da rede CORS, processada recursivamente .....                           | 69 |
| Figura 34 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação MET, processada recursivamente em tempo real ..... | 70 |
| Figura 35 - Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação MET, processada recursivamente em tempo real ..... | 70 |
| Figura 36 - Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação MET, processada recursivamente em tempo real ..... | 71 |
| Figura 37 - Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação BAN, processada recursivamente em tempo real ..... | 71 |
| Figura 38 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação BAN, processada recursivamente em tempo real ..... | 72 |
| Figura 39 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação BAN, processada recursivamente em tempo real ..... | 72 |
| Figura 40 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação ETA, processada recursivamente em tempo real ..... | 73 |

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 41 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação ETA, processada recursivamente em tempo real .....   | 73 |
| Figura 42 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação ETA, processada recursivamente em tempo real .....   | 74 |
| Figura 43 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação CCE5, processada recursivamente em tempo real .....  | 74 |
| Figura 44 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação CCE5, processada recursivamente em tempo real .....  | 75 |
| Figura 45 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação CCE5, processada recursivamente em tempo real .....  | 75 |
| Figura 46 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação INCRA, processada recursivamente em tempo real ..... | 76 |
| Figura 47 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação INCRA, processada recursivamente em tempo real ..... | 76 |
| Figura 48 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação INCRA, processada recursivamente em tempo real ..... | 77 |
| Figura 49 – Gráfico com os desvios das coordenadas cartesianas estimadas em tempo real .....                                                                      | 79 |
| Figura 50 – Gráfico com os desvios das coordenadas planas UTM estimadas em tempo real .....                                                                       | 79 |
| Figura 51 – Gráfico com as resultantes dos desvios da componente horizontal das coordenadas planas UTM processadas em tempo real .....                            | 80 |

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 52 – Gráfico com a resultante dos desvios da componente vertical das coordenadas planas UTM processadas em tempo real ..... | 80 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Coordenadas de referência das estações utilizadas da rede CORS. ....                                                                    |    |
| .....                                                                                                                                              | 47 |
| Tabela 2 – Coordenadas UTM das estações utilizadas no experimento. ....                                                                            | 48 |
| Tabela 3 – Coordenadas cartesianas das estações utilizadas no experimento. ....                                                                    |    |
| .....                                                                                                                                              | 48 |
| Tabela 4 – Coordenadas cartesianas estimadas pelo posicionamento por ponto simples. ....                                                           | 59 |
| Tabela 5 - Coordenadas UTM estimadas pelo posicionamento por ponto simples. ....                                                                   | 59 |
| Tabela 6 – Discrepâncias das coordenadas cartesianas estimadas pelo posicionamento por ponto simples em relação às coordenadas de referência. .... |    |
| .....                                                                                                                                              | 60 |
| Tabela 7 – Discrepâncias das coordenadas UTM estimadas pelo posicionamento por ponto simples em relação às coordenadas de referência. ....         |    |
| .....                                                                                                                                              | 60 |
| Tabela 8 – Coordenadas cartesianas estimadas pelo pós-processamento. ....                                                                          |    |
| .....                                                                                                                                              | 61 |
| Tabela 9 – Coordenadas UTM estimadas pelo pós-processamento. ....                                                                                  | 61 |
| Tabela 10 – Discrepâncias das coordenadas cartesianas pós-processadas em relação às coordenadas de referência. ....                                |    |
|                                                                                                                                                    | 62 |
| Tabela 11 – Discrepâncias das coordenadas UTM pós-processadas em relação às coordenadas de referência. ....                                        | 47 |
| Tabela 12 – Coordenadas da estação P539 estimadas por algoritmo de processamento em tempo real. ....                                               | 68 |
| Tabela 13 – Discrepâncias das coordenadas da estação P539 em relação às coordenadas de referência. ....                                            | 68 |
| Tabela 14 – Coordenadas cartesianas estimadas em tempo real. ....                                                                                  | 78 |

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 15 – Coordenadas planas UTM estimadas em tempo real .....                                                            | 78 |
| Tabela 16 – Discrepâncias das coordenadas cartesianas estimadas em tempo real em relação às coordenadas de referência. .... | 78 |
| Tabela 17 – Discrepâncias das coordenadas planas UTM estimadas em tempo real em relação às coordenadas de referência. ....  | 79 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3G - Terceira geração de padrões e tecnologias de telefonia móvel  
A-GPS – *Assisted-GPS*  
ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*  
BNC - *BKG Ntrip Client*  
COM – *Communication Port*  
CORS - *Continuously Operating Reference Station*  
CSE – *Consumer Electronics Show*  
DGPS – *Differential GPS*  
DD – Dupla Diferença  
GLONASS – *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema*  
GNSS – *Global Navigation Satellite System*  
GPS – *Global Positioning System*  
GPL - *General Public License*  
GPRS - *General Packet Radio Service*  
GNU – Projeto de sistema operacional tipo Unix  
HTTP – *Hyper Text Transfer Protocol*  
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
MMQ – Método dos Mínimos Quadrados  
MVC – Matriz Variância Convariância  
NMEA – *National Marine Electronics Association*  
NTRIP - *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*  
PDA - *Personal Digital Assistant*  
PPP – Posicionamento por Ponto Preciso  
RINEX - *Receiver Independent Exchange Format*  
RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS  
RTCM - *Radio Technical Commission for Maritime Services*  
RTK – *Real Time Kinematic*  
SD – Simples Diferença  
TCXO - *Temperature Compensated Crystal Oscillators*  
TCP/IP - *Transfer Control Protocol / Internet Protocol*  
USB – *Universal Serial Bus*

## RESUMO

OLIVEIRA, Gabriel Diniz de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2014, **Posicionamento relativo em tempo real e pós-processado utilizando microrreceptor GNSS usado em smartphone**. Orientador: Moisés Ferreira Costa

Com o passar do tempo aumentou a necessidade da população em posicionamento a baixo custo, e por este motivo a procura por aparelhos de navegação tem crescido consideravelmente em todos os níveis de usuários. Destes dispositivos, a população no geral tem maior acesso aos *smartphones* devido a suas diversas funcionalidades. Os *smartphones* utilizam de microrreceptor GNSS como principal componente de posicionamento, sendo que sua observável básica é a pseudodistância derivada do código C/A. As fontes de dados para correções GPS estão cada vez mais disponíveis para a comunidade por meio de instituições como o IBGE com a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC). Com isso, tem-se uma maior possibilidade de melhorias na acurácia do posicionamento destes dispositivos com o posicionamento relativo pós-processado e até mesmo em tempo real. Com estas possibilidades e necessidades, este trabalho tem como objetivo o estabelecimento de metodologia que melhore a acurácia no posicionamento de dispositivos móveis que utilizam microrreceptor GNSS, utilizando a estimativa de mínimos quadrados recursiva com a matriz de ganho de Kalman aplicada no posicionamento relativo estático por dupla diferença da pseudodistância em linhas de base curtas. Para verificar a eficácia desta metodologia utilizou-se dados do microrreceptor SiRFstar IV que recebe dados na frequência L1 da constelação GPS. Foram utilizadas as estações de referência da RBMC para o processamento destes dados. Com rastreios de 15 minutos em pontos de coordenadas conhecidas teve-se um desvio médio na componente horizontal das coordenadas planas de 29 centímetros para o pós-processamento e 98 centímetros para o processamento em tempo real, sendo que, para o posicionamento por ponto simples o desvio médio foi de 6 metros. Com isso, concluiu-se que a utilização da metodologia de processamento relativo estático por estimativa dos mínimos quadrados recursiva melhorou a acurácia do posicionamento de forma significativa, onde dispositivos móveis

que até então eram indicados somente para navegação podem ser utilizados também para mapeamento.



## ABSTRACT

OLIVEIRA, Gabriel Diniz de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2014, **Relative positioning in real-time and post-processed using GNSS micro receiver used in smartphone**. Advisor: Moisés Ferreira Costa

Over time has increased the need for low cost positioning of the population, and for this reason the demand for navigation devices has grown considerably in all levels of users. Of these devices, the population in general has greater access to smartphones because of its many features. Smartphones using micro GNSS receiver has a main component of positioning, where the pseudorange is its basic observable. The data sources for GPS corrections are increasingly available to the community through institutions as the IBGE with the Brazilian Network for Continuous Monitoring (RBMC). Thus, there is a greater possibility of improvement in accuracy of positioning these devices with the post-processed relative positioning and even in real time. With these possibilities and needs, this study aims the establishment of methodology that improves the accuracy in the positioning devices using micro GNSS receiver with a recursive least squares estimation with the Kalman gain matrix applied in relative positioning static by double difference of pseudorange in short baselines. To verify the effectiveness of this methodology is used SiRFstar IV micro receiver data which receives data only in L1 frequency GPS constellation. Was used reference RBMC stations to process these data. With tracking 15 minutes in known points had a mean deviation in the horizontal component of the plane coordinates 29 cm for post-processing and 98 cm for the real time processing, and, for the single point positioning average deviation was 6 meters. With this, it was concluded that the use of static methods for processing on recursive least squares estimation improves the accuracy of positioning significantly, where mobile devices that were previously given only to navigation may also be used for mapping.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAS

Com o passar do tempo aumentou a necessidade da população por posicionamento a baixo custo e por este motivo a procura por aparelhos de navegação como GPS automotivo, *smartphones*, relógios com GPS e dentre outros tem crescido consideravelmente em todos os níveis de usuários.

Cabe salientar que desde o surgimento do primeiro sistema de posicionamento por satélite, houve uma grande evolução nos componentes eletrônicos, na tecnologia computacional e na capacidade de processamento. Isto fez com que os receptores ficassem cada vez menores e consumissem menos energia, proporcionando o crescimento no interesse por essa tecnologia, aumentando sua popularidade e o número de usuários (LEICK, 1995). Desta forma, existe uma diversidade de receptores GNSS disponíveis aos usuários em formatos, tamanhos e precisões diferentes, o que facilita uma melhor adequação a cada necessidade.

Dentre os dispositivos de localização existentes, a população no geral tem maior acesso aos *smartphones*, tendo em vista que estes aparelhos suprem diversas necessidades do dia a dia como o caso da telefonia móvel. Sendo assim, aperfeiçoar a técnica de posicionamento nestas plataformas traz a possibilidade de que um maior número de pessoas sejam beneficiadas.

#### 1.1.1. HISTÓRICO DOS SMARTPHONES

Em 2007 a Apple apresentou um novo modelo de telefone, o "iPhone". Aparelho com grande poder computacional, portabilidade e design inovador. Padrões atuais dos chamados *smartphones*.

A partir de 2010 com o lançamento do Nexus S, Samsung Galaxy S e Iphone 4 notou-se que o mercado de *smartphones* conseguiu acompanhar o desenvolvimento da até então líder de mercado Apple devido à similaridade das funcionalidades dos dispositivos no mesmo período.

Sequencialmente ouve-se o aparecimento dos *tablets* com funcionalidades muito similares aos *smartphones*, porém com telas proporcionais ao tamanho de livros. Devido à similaridade computacional diversos aplicativos para *smartphones* são de fácil portabilidade para *tablets*.

Em 2013 teve-se o aparecimento de *smartphones* com telas maiores que o usual, porém não o suficiente para serem consideradas um *tablet*, sendo então chamados de *foblets* (*fone* + *tablet*).

Na Figura 1 é apresentado um resumo do histórico da evolução dos *smartphones*.

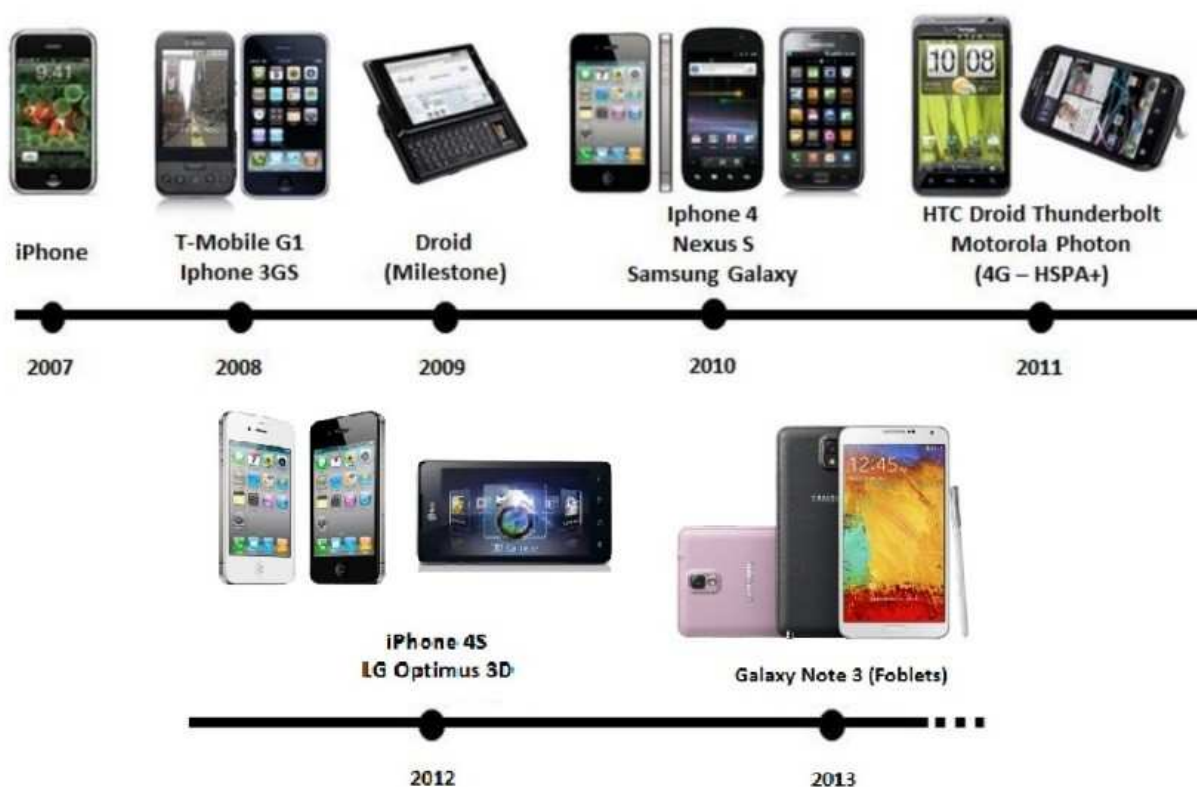


Figura 1 – Histórico dos dispositivos para telefonia móvel.

Devido à complexidade computacional dos *smartphones* se fez necessário a utilização de sistemas operacionais para gerir as funcionalidades destes dispositivos.

Diversos são os sistemas utilizados atualmente. No gráfico da Figura 2 são apresentados os mais vendidos na atualidade.

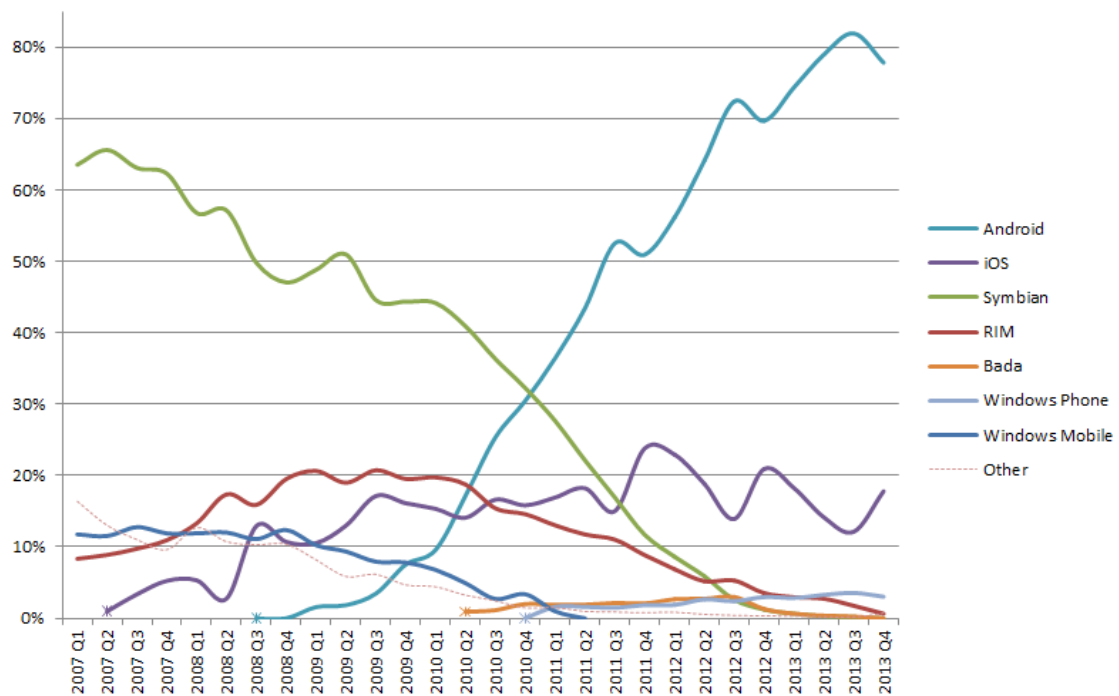


Figura 2: Gráfico com sistemas operacionais para *smartphones* mais vendidos atualmente. Fonte: Imagem: Wikipedia, Dados: Gartner. Ano 2014.

De acordo com o gráfico da Figura 2 percebe-se que a plataforma Android é a mais popular hoje em dia, porém não há como gerar inferências sobre qual possui melhor qualidade, uma vez que, sistemas mais robustos tendem a ser mais caros e podem interferir nas melhores vendas. Contudo é de se esperar que os sistemas mais vendidos sejam os mais usados.

### 1.1.2. ESTADO DA ARTE

Atualmente a principal forma de posicionamento utilizada nos dispositivos de navegação é o posicionamento por ponto simples. Este método, também utilizado nos *smartphones*, proporciona uma acurácia na ordem de 10 metros (MONICO 2008, pag. 282). No entanto, a prática nos mostra que em situações consideradas ótimas com ausência do multicaminhamento e boa constelação visível, tem-se esta acurácia reduzida para menos de 3 metros.

Com a utilização de aparelhos geodésicos associados a métodos de posicionamento relativo a acurácia chega a ordem de centímetros podendo ir a

milímetros nos casos de: Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), *Real Time Kinematic* (RTK) e dentre outros.

BARONI (2006) analisou o posicionamento diferencial por dupla diferença da pseudodistância com receptores Ashtech Z12 em uma linha de base de 5,20 metros. Utilizando somente dados da pseudodistância derivada do código C/A, também denominada de C1, e estimando os resultados por filtro de Kalman e mínimos quadrados isolados a cada ponto chegou-se a erros médios menores que  $0,312\text{ m} \pm 0,143\text{ m}$  e  $0,866\text{ m} \pm 1,591\text{ m}$  respectivamente. Neste caso, o filtro de Kalman apresentou precisões melhores que os mínimos quadrados sendo justificada pela sua característica recursiva em uma dinâmica simplificada. BARONI (2007) aplicou no conjunto de dados o processo de suavização das medidas para atenuar a média do erro, entretanto concluiu-se que este procedimento não afeta significativamente a precisão final e sua utilização em um ambiente de tempo real é discutível devido à complexidade do código.

SACZUK (2012) e OSZCZAK et al, (2011) realizaram trabalhos de decodificação dos dados GNSS coletados em dispositivos móveis até então não utilizados para mapeamento, como o caso dos *smartphones*. Desenvolveram softwares para decodificar as mensagens de navegação e gerar de arquivos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*). Utilizando aparelhos compostos pelos microrreceptores SiRFStar III e SiRFStar IV tiveram resultados na ordem de décímetros.

Infelizmente, assim como SACZUK (2012) pode-se verificar que se tem poucos estudos e pesquisas a respeito de posicionamento relativo com microrreceptores GNSS.

BAVARO (2012) apresenta 3 dispositivos de baixo custo que utilizam microrreceptor GNSS capaz de resolver as ambiguidades inteiras em cerca de 5 minutos alcançando uma precisão na ordem de 4 centímetros utilizando funções implementadas na biblioteca RTKLIB<sup>1</sup> e dados GPS e GLONASS. Estes dispositivos são ilustrados nas Figuras 3, 4 e 5. Seus resultados são impressionantes tendo em vista a dimensão dos dispositivos, proporcional ao tamanho de uma entrada USB.

---

1 Pacote de programas de código aberto para posicionamento GNSS.



Figura 3: Yuan10 Skytraq S1315F-RAW. (BAVARO, 2012)



Figura 4: Rappen10 mMCMX versão uBlox NEO-6P. (BAVARO, 2012)



Figura 5: Denga10 NVS NV08C-CSM. (BAVARO, 2012)

PENHA et al. (2009) obtiveram uma precisão abaixo de 50 centímetros na determinação de coordenadas planimétricas por meio do pós-processamento de dados obtidos pelo receptor de navegação da Garmim®. Com o uso dos softwares ASYNC e GAR2RNX os dados de pseudodistância e fase da onda portadora foram lidos em formato binário e convertidos para arquivos RINEX. Processados pela técnica de processamento relativo estático no software Ashtech Solutions 2.6 com tempo de rastreo de 2, 15 e 30 minutos teve-se um erro na precisão de 2 a 45 centímetros.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é definir de metodologia para posicionamento relativo em tempo real e pós-processado utilizando microrreceptor GNSS usado em *smartphones*.

### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos destacam:

- Definir metodologia para melhorar a acurácia do posicionamento utilizando dados de microrreceptores GNSS usados em *smartphones*;
- Analisar o posicionamento relativo utilizando o método dos mínimos quadrados (MMQ) época a época, e o método recursivo com a matriz de ganho de Kalman em tempo real e pós-processado;
- Gerar arquivos no formato RINEX a partir de dados rastreados por microrreceptores GNSS;
- Analisar dados de rastreo da rede CORS (*Continuously Operating Reference Station*) e RBMC;



- Implementação de algoritmos para ajustamento com o MMQ convencional e na forma recursiva utilizando a matriz de ganho de Kalman.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

A necessidade constante do homem em conhecer sua localização é o que motiva este trabalho e torna imprescindível a disseminação do conhecimento sobre posicionamento. Como as técnicas atuais de posicionamento preciso envolvem aparelhos de alto custo, estas ficam restritas ao uso. Sendo assim a evolução no posicionamento em dispositivos de baixo custo é de grande importância para toda a comunidade.

Como o *smartphone* é o dispositivo de localização mais popularizado, entende-se que aprimorar sua metodologia de posicionamento beneficiará um maior número de pessoas.

Com base em resultados de trabalhos anteriores apresentados no item 1.1.2 é de se esperar que a técnica de posicionamento relativo melhore consideravelmente a acurácia do posicionamento com microrreceptores, utilizando a dupla diferença da pseudodistância por ajustamento recursivo, mostrada no item 4.2.

### 1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em sete capítulos para o melhor entendimento do assunto abordado, conforme descrição:

Capítulo 2: Principais Componentes de Navegação dos *Smartphones* – Descrevem-se detalhes dos componentes mais utilizados nos *smartphones* para desenvolver a localização do dispositivo como: giroscópio que indica a direção, acelerômetro que determina a inclinação do dispositivo e o microrreceptor GNSS que determina a coordenada geográfica do usuário.

Capítulo 3: Métodos Atuais de Posicionamento GNSS em *Smartphones* – Este capítulo traz os métodos utilizados atualmente na determinação da



posição geográfica dos dispositivos de navegação. Sendo o posicionamento por ponto simples, A-GPS e sistema de posicionamento híbrido.

Capítulo 4: Posicionamento Relativo – Contêm neste capítulo algumas técnicas de posicionamento relativo existentes, como o DGPS utilizado com o mesmo propósito em outros trabalhos e a combinação linear da dupla diferença das observações utilizadas neste trabalho. Apresenta-se a estimativa da coordenada pelo método dos mínimos quadrados e também a utilização da matriz de ganho de Kalman no método recursivo.

Capítulo 5: Materiais e Métodos – Aborda-se neste capítulo o dispositivo utilizado no experimento e a localização dos pontos utilizados para coleta dos dados. Detalha-se a metodologia utilizada no experimento para a leitura dos dados, processamento em tempo real e pós-processamento com a geração de arquivos no formato RINEX.

Capítulo 6: Resultados e Discussões – Neste capítulo são apresentados e analisados os dados resultantes do pós-processamento e em tempo real dos dados rastreados pelo microrreceptor GNSS utilizado no experimento detalhado anteriormente.

Capítulo 7: Conclusões e Recomendações – Com base na análise dos dados são apresentadas conclusões sobre a metodologia empregada e recomendado novos estudos para trabalhos futuros.

## 2. PRINCIPAIS COMPONENTES DE NAVEGAÇÃO DOS SMARTPHONES

Atualmente os melhores processadores do mercado estão presentes nos *smartphones* tais com: *dual-core*, *quad-core* e até *octa-core* (apresentado na CES 2014 - *Consumer Electronics Show*) com frequências a quase 2.5 GHz, tornando os *smartphones* aparelhos com capacidade computacional muito elevada. Com isso, têm-se maiores facilidades em programar metodologias avançadas para resolver problemas cotidianos.

Os componentes usuais dos *smartphones* utilizados para navegação são o giroscópio, acelerômetro e microrreceptor GNSS:

### 2.1. GIROSCÓPIO



Figura 6: Giroscópio Mecânico. Fonte: Desconhecida.

Como apresentado na Figura 6, o giroscópio é um dispositivo que consiste de um rotor suspenso por um suporte formado por dois círculos articulados. Seu funcionamento baseia-se no princípio da inércia. O eixo em rotação tem um efeito de memória (momento angular) que guarda direção fixa em relação ao círculo máximo.

O giroscópio veio a substituir as bússolas compostas por agulha magnética onde é possível determinar a orientação espacial sem o auxílio de coordenadas geográficas.

O giroscópio serve como referência de direção, mas não de posição. Ou seja, é possível movimentar um giroscópio normalmente no espaço sem qualquer trabalho além do necessário para transportar sua massa. A resistência surge contrária a forças que atuem de maneira a rotacionar seu eixo de rotação a qualquer configuração não paralela à sua posição original. Assim, um veículo munido de um giroscópio e sensores apropriados pode medir com precisão qualquer mudança em sua orientação.

Este dispositivo é muito utilizado na navegação aérea, auxiliando na correção automática do curso da aeronave no modo de piloto automático.

As agências espaciais utilizam um aparelho baseado no giroscópio conhecido como giroscópio humano para o treinamento de astronautas. O astronauta utiliza o peso como motor e tem a sensação de "driblar a gravidade". Somente depois de estar apto ao Giroscópio humano o astronauta estará pronto para fazer viagens espaciais.

No caso dos *smarthphones* utilizam-se giroscópios MEMS (micro eletromecânico). Estes giroscópios são muito utilizados devido à inexistência de partes móveis e porque apresentam um tamanho muito reduzido em relação aos demais. Estes são fabricados em silício micro maquinados, funcionam segundo o princípio do efeito de Coriolis, ou seja, quando um corpo de massa  $m$  efetua uma rotação com velocidade angular  $w$  apresentando uma velocidade  $v$ , será gerada no corpo uma força de Coriolis (Cardoso, 2009)

$$F_c = -2m (w \times v). \quad (1)$$

## 2.2. ACELERÔMETRO

Instrumento capaz de medir a aceleração sobre o dispositivo em que foi instalado. Quando está parada, a força medida é igual à força da gravidade, quando em queda livre sua força medida é igual à zero. Para a navegação o maior interesse se encontra na determinação das componentes da força da gravidade para determinar a inclinação do dispositivo.

Nos *smartphones* uma de suas aplicações é bastante conhecida, o ajuste da tela de acordo a inclinação do aparelho.

Este sistema é muito utilizado para navegação aérea e em sistemas de sensoriamento remoto onde é medida a inclinação do conjunto aeronave e câmera no momento do registro da imagem.

Na Figura 7 apresentam-se as componentes das forças exercidas nos dispositivos móveis.

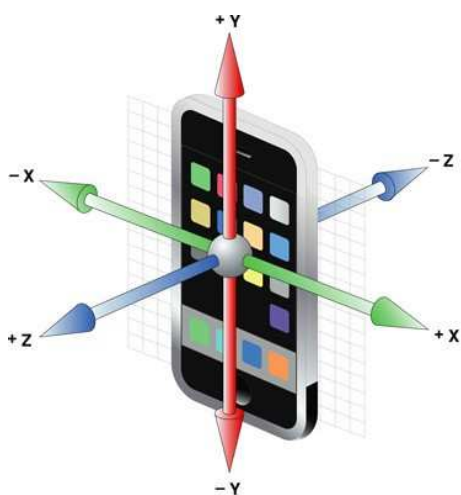


Figura 7: Componentes de força medida nos dispositivos móveis com acelerômetro.

Fonte: Decom-UFOP, 2012.

### 2.3. MICRORRECEPTOR GNSS

O sistema de posicionamento global, popularmente conhecido como GPS, e sua generalização GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é um sistema de navegação por satélite que fornece a um aparelho receptor a posição do mesmo, sob quaisquer condições atmosféricas, a qualquer momento e em qualquer lugar na Terra, desde que o receptor se encontre no campo de visão de, pelo menos, quatro satélites.

Se tratando a priori de um sistema de navegação em que não utiliza de outros sistemas de melhoramento para determinar a posição dos *smartphones*, seu método de determinação da coordenada denomina-se de posicionamento absoluto ou também de posicionamento por ponto simples. Sendo sua precisão comprometida pelos efeitos atmosféricos, precisão da coordenada do satélite e

dentre outros, espera-se uma acurácia de até 3 metros em situações ótimas e maior que 15 metros em situações de dados mínimos.

### 2.3.1. SiRFstar®

SiRFstar é uma família de circuitos integrados que possuem microrreceptores GNSS de alta sensibilidade e microprocessadores com softwares próprios para determinação da localização. Sua arquitetura foi desenvolvida para obter o posicionamento com baixo consumo de energia.

Seu software está preparado para decodificar as efemérides transmitidas e armazená-las em memória própria para determinação do primeiro posicionamento de forma mais rápida.

Recebem dados somente da frequência L1 do sistema GPS, gerando assim as observáveis de pseudodistância do tipo C1.

Estes dispositivos são munidos de osciladores de cristal com compensador de temperatura (TCXO).

Pela Figura 8 percebe-se o tamanho destes dispositivos.

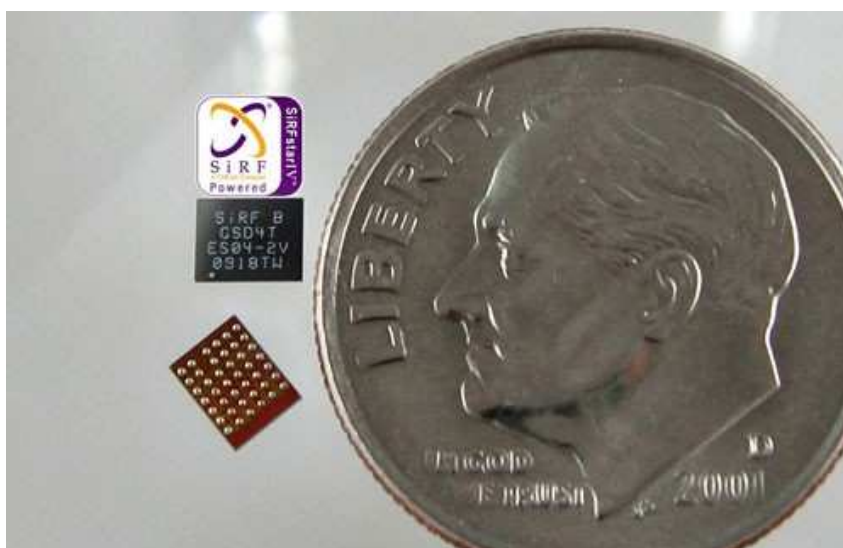


Figura 8: Circuito Integrado SiRFstarIV. Microrreceptor GNSS de alta sensibilidade ao lado de uma moeda. Fonte: Desconhecida.

Estes circuitos integrados possuem dois tipos de protocolos de entrada e saída dos dados. O protocolo NMEA e o protocolo SiRF binário.

### 2.3.2. PROTOCOLO NMEA

O padrão NMEA-0183 é um conjunto de especificações de dados que padroniza as mensagens de navegação para dispositivos eletrônicos definidos pela *National Marine Electronics Association* (NMEA).

As mensagens do padrão NMEA são compostas por frases que começam com o símbolo \$ e finalizam com uma nova linha (<CR> <LF> ou “\n”).

Os primeiros cinco caracteres da mensagem são destinados a indicar a origem e o tipo da mensagem. No caso de dados GPS as mensagens inicializam com a sigla GP. No caso de dados GLONASS seriam GL.

Exemplo:

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

As principais mensagens de saída são:

- GGA — *Global Positioning System Fixed Data*

Fornecem dados da posição, qualidade da posição, número de satélites sendo rastreados, dados de precisão e altitude.

- GLL — *Geographic Position - Latitude/Longitude*

Posição em latitude/longitude e momento no tempo UTC em que foi feito o posicionamento.

- GSA — *GNSS DOP and Active Satellites*

Apresenta os satélites utilizados pelos valores de PRN (*Pseudo Range Noise*), PDOP, GDOP e HDOP (*Dilution of Precision*).

- GSV — *GNSS Satellites in View*

Dados sobre os satélites como azimuth e elevação.

- RMC — *Recommended Minimum Specific GNSS Data*

Dados básicos de navegação. Tempo UTC da posição, Latitude/Longitude, Velocidade e direção do dispositivo e data da observação.

- VTG — *Course Over Ground and Ground Speed*

Velocidade e direção a partir de referência.

O *NMEA Reference Manual* (SiRF 2005) fornece detalhes das mensagens NMEA que são por definição o padrão de saída dos dispositivos SiRFstar.

### 2.3.3. PROTOCOLO SiRF BINÁRIO

O protocolo binário da SiRF é o padrão de saída que contém os dados brutos do GPS nos produtos da família SiRFstar.

OSZCZAK e SERZYSKO (2011) e FERREIRA (2010) apresentam os seguintes detalhes deste protocolo, onde as mensagens são um conjunto de bytes de tamanho variável, mas não maior que  $2^{12}$  bytes, compostos por:

- Sequência Inicial: 2 bytes (15 bits) de valor fixo correspondente a 'A0A2' em hexadecimal.
- Comprimento do Payload: 2 bytes que especificam o tamanho da mensagem.
- *Payload*: Corpo da mensagem com os dados propriamente ditos. O primeiro byte representa o ID da mensagem.
- *Checksum*: 2 bytes para checagem da mensagem.
- Sequência Final: 2 bytes de valor fixo correspondente a 'B0B3' em hexadecimal.

As principais mensagens de saída do protocolo binário da SiRF são:

- Mensagem ID 2: *Measure Navigation Data Out*

Apresenta a coordenada e velocidade do dispositivo no sistema cartesiano geodésico, HDOP, Satélites utilizados, semana e segundos da semana GPS do posicionamento, e qual canal usado para cada satélite.

- Mensagem ID 4: *Measure Tracker Data Out*

Fornecer informações sobre os satélites tais como azimute e elevação no tempo GPS.

- Mensagem ID 7: *Clock Status Data*

Mensagem com a semana GPS estendida, correção do erro do relógio do receptor e tempo GPS estimado.

- Mensagem ID 28: *Navigation Library Measurement Data*

Cada mensagem desta traz a informação de pseudodistância, frequência e fase da onda de um respectivo satélite informado bem como o tempo GPS de recepção do sinal.

- Mensagem ID 30: *Navigation Library SV State Data*

Os dados desta mensagem relatam a posição e velocidade do satélite calculada no tempo GPS especificado.

O *SiRF Binary Protocol Reference Manual* (SiRF 2008) fornece informações detalhadas sobre o Protocolo SiRF binário.



### 3. MÉTODOS ATUAIS DE POSICIONAMENTO GNSS EM SMARTPHONES

#### 3.1. POSICIONAMENTO POR PONTO SIMPLES

Para realizar este tipo de posicionamento necessita-se de apenas de um receptor GNSS. MONICO (2008) apresenta que por meio da pseudodistância derivada do código C/A presente na portadora L1, e das coordenadas dos satélites rastreados, determina-se a posição da antena (X, Y e Z) e o erro do relógio do receptor ( $dt'$ ). Como se tem quatro parâmetros (incógnitas) o mínimo de 4 satélites é necessário para realizar o processamento. No geral, erros da troposfera e multicaminhamento são negligenciados, mas podem ser modelados.

Sendo a posição estimada época a época de forma independente, o tempo de rastreio sobre um ponto estacionário não influencia na qualidade do resultado. A precisão deste método esta associada principalmente aos erros atmosféricos, multicaminhamento do sinal transmitido, erro no relógio do receptor e a precisão da posição dos satélites. Salienta-se que neste método de posicionamento são utilizadas efemérides transmitidas para o calculo das posições do satélite, e atualmente sua precisão esta em torno de 1 metro.

Este método de posicionamento é frequentemente utilizado em receptores de navegação e levantamentos expeditos.

Considerando como uma observação a pseudodistância (PD) coletada por um receptor  $i$  de um satélite  $p$ , para cada satélite visível tem-se uma equação de observação linearizada (MONICO, 2008):

$$E(\Delta PD_i^p) = a_i^p \Delta X_i + b_i^p \Delta Y_i + c_i^p \Delta Z_i + c(dt_i - dt^p) + I_i^p + T_i^p \quad (2)$$

Sendo,  $\Delta PD_i^p$  a diferença entre a pseudodistância observada menos a calculada. Os coeficientes  $a_i^p$ ,  $b_i^p$  e  $c_i^p$  são termos da linearização da equação de observação que compõem a matriz A no ajustamento dos mínimos

quadrados pelo método paramétrico (GEMAEL, 1994). O fator  $c$  é a velocidade da luz no vácuo. Os termos  $I_i^p$  e  $T_i^p$  são referentes ao erro da ionosfera e troposfera respectivamente. Sendo o erro do relógio do satélite,  $dt^p$ , calculado a partir das efemérides transmitidas nos restam apenas quatro incógnitas ( $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$  e  $dt_i$ ), referentes a correção da coordenada e erro do relógio do receptor.

### 3.2. GPS ASSISTIDO (A-GPS)

Sistema que pode melhorar o desempenho de inicialização, pois recebe dados de suporte por meio de uma conexão de dados ajudando o aparelho a calcular as coordenadas da posição atual.

A assistência se divide em duas categorias:

- Informações usadas de forma a se ter aquisição de satélites mais rápida.

Ele pode fornecer dados orbitais ou almanaque dos satélites GPS permitindo que o receptor localize os satélites mais rapidamente, e em alguns casos a rede pode fornecer tempo preciso.

- Cálculo da posição por servidor usando informações do receptor GPS

Coordenadas precisas para a localização de torres permitem um melhor conhecimento das condições atmosféricas, entre outras que afetam o sinal de GPS, possibilitando cálculo mais preciso da posição.

### 3.3. SISTEMA DE POSICIONAMENTO HÍBRIDO

Sistemas para encontrar a localização de um dispositivo móvel utilizando várias tecnologias de posicionamento. O microrreceptor GNSS é um componente importante em tais sistemas, sendo combinado com a transmissão da posição das torres de celular, do provedor de sinal de internet sem fio e/ou *bluetooth*, dentre outros sensores de sistemas de posicionamento locais.

## 4. POSICIONAMENTO RELATIVO

Método não utilizado em *smartphones* devido aos circuitos integrados dos microrreceptores GNSS, juntamente com o sistema operacional, terem restrições de segurança que dificultam a utilização deste modo, já que é necessária a comunicação entre os dispositivos.

### 4.1. DUPLA DIFERENÇA

A combinação linear da dupla diferença das observáveis GNSS é um método bastante usual no posicionamento relativo devido ao fato de minimizar erros correlacionados espacialmente, principalmente em linhas de base curta, tais como: erros atmosféricos, erro de órbita, dentre outros.

Há várias possibilidades de realizar combinações lineares das observações GNSS. Podem-se citar as combinações lineares realizadas entre dois receptores (por exemplo, simples, dupla e tripla diferença) e as combinações lineares realizadas em um mesmo receptor de dupla frequência (por exemplo, a combinação *ion-free*, *wide lane*, *narrow lane*, entre outras) (MONICO, 2008; LEICK, 1995).

Usualmente calcula-se a simples diferenças (SD) das observações de dois receptores que rastreiam simultaneamente o mesmo satélite. A formação d SD é ilustrada na Figura 9.

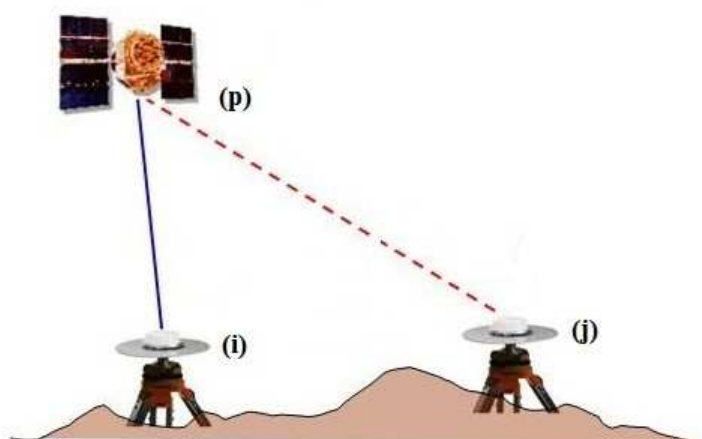


Figura 9 – Simples Diferença entre receptores

A equação de observação da SD das pseudodistâncias observadas simultaneamente é dada por (MONICO 2008):

$$\Delta PD_{i,j}^p + v_{PD_{SD}} = \Delta \rho_{i,j}^p + c(dt_i - dt_j) ; \quad (3)$$

sendo:

$$\Delta \rho_{i,j}^p = \rho_i^p - \rho_j^p , \quad (4)$$

onde:

$v_{PD_{SD}}$  é o resíduo da simples diferença;

$\rho_i^p$  é a distância entre o receptor  $i$  ao satélite  $p$ ,

$\rho_j^p$  é a distância entre o receptor  $j$  ao satélite  $p$ .

Na combinação da SD o erro do relógio do satélite é eliminado.

A dupla diferença (DD) é a diferença entre duas simples diferenças (SD), a Figura 10 ilustra a DD.

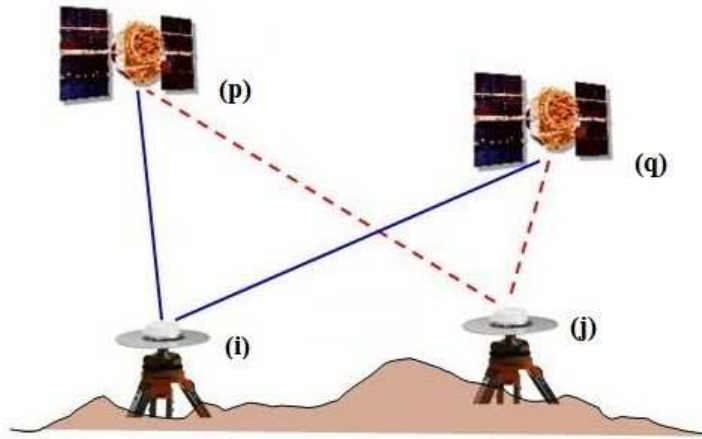


Figura 10: Dupla Diferença entre receptores

A equação de DD para a pseudodistância é dada por (MONICO 2008):

$$\Delta PD_{i,j}^{p,q} + v_{PD_{DD}} = \Delta \rho_{i,j}^{p,q} ; \quad (5)$$

sendo:

$$\Delta \rho_{i,j}^{p,q} = \Delta \rho_{i,j}^p - \Delta \rho_{i,j}^q \quad . \quad (6)$$

onde:

$v_{PD_{DD}}$  é o resíduo da dupla diferença;

$\Delta \rho_{i,j}^p$  é a distância entre o receptor  $i$  ao satélite  $p$ ,

$\Delta \rho_{i,j}^q$  é a distância entre o receptor  $j$  ao satélite  $p$ .

Quando combinada as observações nas DD's eliminam-se os erros do relógio do receptor  $dt_r$ , e são minimizados erros atmosféricos como o atraso da ionosfera e troposfera, e erros de orbita. Salienta-se que para linhas de base médias e longas a correlação espacial dos erros e significativamente menor, comprometendo a precisão do posicionamento relativo.

#### 4.1.1.1. ESTIMATIVA DAS COORDENADAS PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ)

Para se estimar a coordenada do receptor pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), utilizando equações de dupla diferença da pseudodistância, se faz necessário conhecer a coordenada do receptor base e ter uma estimativa inicial do receptor *rover*.

Para o processamento dos dados deve-se atentar para a simultaneidade das observações dos dois receptores e o uso dos mesmos satélites rastreados em ambos.

No método paramétrico, os valores observados ajustados são dados em função dos parâmetros ajustados, ou seja (TEUNISSEN, 2001):

$$L_a = F(X_a); \quad (7)$$

em que  $X_a = X_0 + X$ , sendo  $X_0$  o vetor dos parâmetros aproximados e  $X$  o vetor das correções aos parâmetros aproximados.

Considerando  $n$  como o número de observações e  $u$  o número de parâmetros incógnitos, o modelo funcional linearizado é dado por (GEMAEL, 1994):

$$V_{n \times 1} = L_{n \times 1} - A_{n \times u} \cdot X_{u \times 1}, \text{ onde } n > u \quad (8)$$

sendo:

$V$  – Vetor dos resíduos;

$L$  – Vetor das observações brutas menos o vetor das observações aproximadas;

$A$  – Matriz design (Jacobiana);

$X$  – Vetor dos parâmetros (incógnitas).

De acordo com a teoria do MMQ a soma dos quadrados dos resíduos deve ser mínima. Considerando que as  $n$  observações são obtidas com diferentes graus de precisão, torna-se necessário a introdução de uma ponderação, ou seja, um peso. Nesse caso o MMQ se apresenta como:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 p_i = V^T P V = \text{mínimo} ; \quad (9)$$

em que  $P$  é a matriz ( $n \times n$ ) dos pesos, simétrica e definida positiva a qual é dada por:

$$P = \sigma_0^2 \Sigma_{Lb}^{-1} ; \quad (10)$$

sendo  $\sigma_0^2$  o fator de variância a priori, usualmente atribuído  $\sigma_0^2 = 1$ .

O modelo estocástico usualmente utilizado para combinação linear das DD's em um instante  $t$  é apresentado por (MONICO, 2008; HOFFMAN, 2008; TALBOT, 1991;) como:

$$\Sigma_{L_b} = \Sigma_{\phi DD_t} = 2\sigma^2 \begin{pmatrix} 2 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 2 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

onde  $\sigma$  é a variância da observação que é considerada igual para todas.

A matriz Jacobiana, também conhecida como matriz design ou simplesmente matriz  $A$ , é desenvolvida pela linearização do modelo de dupla diferença da pseudodistância, sendo para uma época  $t$  as observação entre os receptores  $i$  e  $j$  para os satélites  $p$  e  $q$ ,  $L_{ij}^{pq}(t)$  tem-se, (BLEWITT, 1997; HOFFMAN, 2008):

$$A_{ij}^{pq}(t) = \begin{pmatrix} \frac{\partial \rho_{ij}^{pq}(t)}{\partial x_j} & \frac{\partial \rho_{ij}^{pq}(t)}{\partial y_j} & \frac{\partial \rho_{ij}^{pq}(t)}{\partial z_j} \end{pmatrix}; \quad (12)$$

em que:

$$\frac{\partial \rho_{ij}^{pq}(t)}{\partial x_j} = \frac{x_{j0} - x^q(t)}{\rho_j^q(t)} - \frac{x_{j0} - x^p(t)}{\rho_j^p(t)}; \quad (13)$$

$$\frac{\partial \rho_{ij}^{pq}(t)}{\partial y_j} = \frac{y_{j0} - y^q(t)}{\rho_j^q(t)} - \frac{y_{j0} - y^p(t)}{\rho_j^p(t)}; \quad (14)$$

$$\frac{\partial \rho_{ij}^{pq}(t)}{\partial z_j} = \frac{z_{j0} - z^q(t)}{\rho_j^q(t)} - \frac{z_{j0} - z^p(t)}{\rho_j^p(t)}; \quad (15)$$

onde:

$\frac{\partial \rho(t)}{\partial x}$  – é derivada parcial da distância em relação a componente  $x$ ,

$\frac{\partial \rho(t)}{\partial y}$  – é derivada parcial da distância em relação a componente  $y$ ,

$\frac{\partial \rho(t)}{\partial z}$  – é derivada parcial da distância em relação a componente  $z$ ,

$x_{j0}$ ,  $y_{j0}$ ,  $z_{j0}$  – são as coordenadas aproximadas do receptor.

O vetor dos parâmetros que minimiza a forma quadrática da equação (9) é dado por:

$$X_{ux1} = (A^T P A)^{-1} (A^T P L). \quad (16)$$

Aplicando a lei de propagação das covariâncias obtém-se a matriz variância-covariância (MVC) dos parâmetros ajustados.

$$\Sigma x_{uxu} = \hat{\sigma}_0^2 (A^T P A)^{-1}, \quad (17)$$

$\hat{\sigma}_0^2$  é o fato de variância a posteriori, o qual é dado por:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n - u}. \quad (18)$$

#### 4.1.2. MMQ RECURSIVO UTILIZANDO A MATRIZ DE GANHO DE KALMAN

Com a utilização do MMQ de forma independente em cada época do processamento a redundância nas observações fica restrita ao número de satélites utilizados. Entretanto, no levantamento estático existe o acúmulo de observações para os mesmos parâmetros ao longo do tempo.

Com a entrada de novas observações, pode-se melhorar a estimativa dos parâmetros e expressar esta nova estimativa  $\hat{X}$  como uma combinação linear da antiga estimativa  $\hat{X}_{old}$  com as novas observações  $b_{new}$  (STRANG & BORRE, 1997 p. 543):

$$\hat{X}_{new} = L \cdot \hat{X}_{old} + K \cdot b_{new}. \quad (19)$$

Kalman (1960) introduziu uma nova abordagem para filtragem e previsão de problemas lineares. Contudo, as fórmulas de atualização dos parâmetros podem ser escritas de várias maneiras equivalentes, isto faz com que diversas exposições para o filtro de Kalman sejam difíceis de ser entendida. (STRANG; BORRE, 1997)



O filtro de Kalman é composto de predição e correção dos parâmetros, separando a predição e utilizando somente a parte da correção. Apresenta-se a seguir um procedimento de forma clara para se realizar estimativas recursivas dos parâmetros.

Neste caso, inicia-se o procedimento com uma primeira estimativa para a correção dos  $u$  parâmetros, calculada pelo MMQ mostrado anteriormente na equação (16) e sua MVC pela equação (17).

Atualiza-se a correção dos parâmetros pelo vetor dado por (TEUNISSEN, 1998 *apud* SILVA, 2009):

$$X_k = X_{k-1} + K_k V_k ; \quad (20)$$

em que,  $k = 1, 2, \dots$   $V_k$  é o vetor dos resíduos predito e  $K_k$  é a matriz de ganho de Kalman, os quais são dados por:

$$V_k = L_k - A_k X_{k-1} ; \quad (21)$$

$$K_k = \Sigma_{X_{k-1}} A_k^T \Sigma_{L_k}^{-1} , \quad (22)$$

em que:

$L_k$  - um vetor de dimensão  $n_x 1$  das  $n$  novas observações, e;

$A_k$  - matriz design  $n_x u$  calculada com as novas observações,

$X_{k-1}$  - parâmetros ajustados da época anterior,

$\Sigma_{X_{k-1}}$  - matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados da época anterior,

$\Sigma_{L_k}^{-1}$  - matriz variância-covariância das novas observações.

A atualização da MVC é dada por (TEUNISSEN, 1998 *apud* SILVA, 2009):

$$\Sigma_{X_k} = (I - K_k A_k) \Sigma_{X_{k-1}} , \quad (23)$$

sendo  $I$  a matriz identidade de dimensão  $u_x u$ .

Sabe-se que na navegação época a época por satélite gera-se um número excessivo de dados para processamento. Contudo, este procedimento permite atualizar a estimativa para novas observações sem a necessidade de armazenar as observações anteriores.

## 4.2. TRANSMISSÃO DAS CORREÇÕES

Há cerca de 10 anos, surgiu uma nova forma de transmissão das correções utilizando a Internet, a NTRIP (*Networked Transport of RTCM via internet Protocol*). Graças à popularização da conexão sem fio (*wireless*), assim como o acesso pela telefonia celular, essa técnica está se tornando cada vez mais viável. O NTRIP é um protocolo baseado no HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) desenvolvido com o propósito de substituir o enlace de rádio pela conexão via Internet.

A instituição responsável pela padronização da transmissão de dados GNSS, a Comissão Técnica de Rádio para Serviços Marítimos (RTCM – *Radio Technical Commission for Maritime Services*), iniciou a padronização em 1985 com o RTCM 1.0. (SAATKAMP, 2013)

Em 2004, já na sua versão 3.0 chegou a um acordo com os fabricantes de receptores sobre a utilização do formato RTCM como padrão para a transmissão contínua de dados GNSS em levantamentos estáticos ou cinemáticos (WEBER et al, 2005).

O NTRIP é um protocolo concebido de forma a disseminar correções diferenciais ou outros tipos de dados GNSS, para usuários móveis ou estacionários, em fluxos contínuos por meio da Internet. Este padrão permite conexões simultâneas de computadores, Laptops, PDAs e *smartphones* que possuem acesso à Internet, como, por exemplo, GPRS ou modem 3G. (IBGE, 2014)

Em resumo, suas principais características são:

- Está baseado em HTTP (*Hipertext Transfer Protocol*);
- Têm a disponibilidade de distribuir qualquer tipo de dados GNSS em fluxo;
- Têm a capacidade de aceitar uma grande quantidade de usuários simultaneamente;
- O acesso aos dados é realizado de forma segura sem a necessidade de o usuário estar em contato direto com as estações de referência;

- Está habilitado a fornecer o fluxo de dados por meio de qualquer rede móvel TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*);

Um fator muito importante na transmissão das correções é sua latência, que representa o tempo entre a geração dos dados pela estação de referência e sua utilização pela estação móvel. Este fator é controlado principalmente pelas características técnicas do servidor dos dados que realiza sua leitura, processamento e envio das correções. Um segundo fator de influência na latência da transmissão é a capacidade de transmissão do meio de comunicação. A largura de banda necessária para disseminar as correções GNSS é relativamente pequena. Aproximadamente 0,5 Kb/s para DGPS e 5 Kb/s para RTK (GONZÁLEZ-MATESANZ et al, 2004). Para um bom desempenho de uma rede de processamento em tempo real, é essencial um bom sistema de comunicações, de preferência com uma latência inferior a 2 segundos (TALBOT, 1991).

Os atuais modelos de processador existentes no mercado e também presentes nos *smartphones*, fornecem uma tranquilidade quanto à latência do processamento dos dados. Entretanto, somadas as latências de transmissão e processamento dos dados, podem ocorrer grandes problemas para sistemas de navegação de veículos que realizam deslocamentos rápidos, como o caso de aeronaves, onde uma pequena latência pode representar dezenas de metros de diferença no posicionamento. Para casos de levantamento estático, navegação de pedestres, dentre outras, este problema pode passar despercebido.

No Brasil, tem-se a RBMC-IP que é um serviço para posicionamento em tempo real a partir das estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), para usuários que fazem uso da técnica RTK ou DGPS nos seus levantamentos. Os dados são disponibilizados via protocolo Internet (NTRIP). Atualmente, o servidor “caster” do IBGE recebe dados de 74 estações da RBMC conforme apresentado no mapa da Figura 11. Os receptores destas estações foram configurados para transmitir as correções DGPS e RTK no formato RTCM 3.0. Estes dados trafegam pela Internet até um servidor localizado no IBGE ([gps-ntrip.ibge.gov.br:2021](http://gps-ntrip.ibge.gov.br:2021)), onde eles são acessados pelo usuário mediante senha e login. O fluxo de dados de uma determinada estação

de referência pode ser acessado por até 1.000 usuários simultaneamente (IBGE, 2014).



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE  
Diretoria de Geociências - DGC  
Coordenação de Geodésia - CGED

## RBMC - SERVIÇO RBMC-IP



IGURA 11 – Localização das estações da RBMC-IP (IBGE, 2014).

O BKG *Ntrip Client* (BNC) é um programa que decodifica, converte e processa em tempo real o fluxo de dados GNSS recebidos por um enlace de transmissão de um servidor. O BNC foi escrito sob a licença GNU *General Public License* (GPL) e com isso possui seu código fonte aberto e disponível para download. Dentre as diversas funcionalidades do software BNC destaca-se a conversão de dados recebidos no formato NTRIP para o formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) e a disponibilização das observações no formato ASCII, por protocolo TCP/IP, por meio de uma porta específica no computador local, sincronizadas e transmitidas em tempo real para outros softwares e/ou dispositivos presentes no computador.

## 5. MATERIAS E MÉTODOS

### 5.1. MATERIAIS

No desenvolvimento da metodologia deste trabalho utilizou-se o microrreceptor GPS SiRFstar IV, que é utilizado no *smartphone* Samsung Galaxy SII apresentado na Figura 12.



Figura 12 – GPS SiRFstar IV no smartphone Samsung Galaxy SII. Fonte: [www.csr.com](http://www.csr.com)

O microrreceptor SiRFstar IV recebe dados GPS com alta sensibilidade operando em faixas de -160dBm, com consumo energético de apenas 8mW e ocupa menos de 20 milímetros quadrados dos dispositivos (CSR, 2014).

Entretanto, a conectividade dos circuitos integrados em smartphones com computadores é limitada devido a padrões de segurança do sistema operacional, com isso optou-se neste trabalho em utilizar o receptor GPS G-STAR IV modelo BU-353S4 da GlobalSat® que possui conectividade USB para saída e entrada de dados.

O receptor G-STAR é munido do mesmo microrreceptor, SiRFstar IV, presente no smartphone Samsung Galaxy SII. Como apresentado na Figura 13, este possui 53 mm de diâmetro e base com ímã para apoio.



Figura 13 – Receptor GPS G-STAR IV da GlobalSat®.

Os softwares SiRFLive® e SiRFDemo® foram desenvolvidos pela SiRF Technology Inc., para ambiente Windows com a finalidade de receber e gerenciar os dados de dispositivos que utilizam receptores GPS da SiRF. Nestes softwares é possível configurar o dispositivo utilizado, bem como gravar os dados recebidos tanto pelo protocolo NMEA como pelo protocolo SiRF Binário.

Neste trabalho utilizou-se o MATLAB® para comunicar, processar e armazenar os dados rastreados pelo receptor em tempo real. MATLAB® é uma linguagem de alto nível em um ambiente interativo de programação numérica desenvolvida pela MatWorks®. Com a licença da versão R2012b adquirida pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, teve-se a possibilidade de analisar dados, processar algoritmos e criar gráficos com resultados de metodologias em estudo.

Para o pós-processamento dos arquivos RINEX gerados por algoritmos no MATLAB® utilizou-se o software *LEICA Geo Office*, também com a licença do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa.

## 5.2. ÁREA DE ESTUDO

Para analisar o algoritmo de processamento em tempo real desenvolvido pela pesquisa utilizou-se os dados de observações das estações P602 e P539, pertencentes à rede CORS – *Continuously Operating Reference Station*. Teve-se o cuidado de selecionar dados contínuos para se verificar somente falhas no

processamento. A distância entre estas estações é de aproximadamente 5 km e suas coordenadas referentes ao IGS08 na época 2005.0 são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Coordenadas de referência das estações utilizadas da rede CORS

| Coordenadas Cartesianas - Referência (Metros) |                 |                 |                 |      |
|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
|                                               | X               | Y               | Z               |      |
| P602                                          | 2609902,09<br>8 | 4479243,84<br>0 | 3704216,78<br>0 |      |
| P539                                          | 2607160,91<br>0 | 4482780,87<br>4 | 3701802,56<br>7 |      |
| Coordenadas UTM - Referência (Metros)         |                 |                 |                 |      |
|                                               | E               | N               | h               | MC   |
| P602                                          | 249273,656      | 6042544,95<br>0 | 648,227         | -57° |
| P539                                          | 245041,881      | 6045366,09<br>7 | 601,080         | -57° |

Para analisar metodologia proposta de processamento em tempo real dos dados rastreados por microrreceptores GNSS foi rastreado os marcos de coordenadas conhecidas nas cidades de Viçosa/MG e Vitória/ES, ambas próximas ao meridiano 41° W e ao paralelo 20° S.

Na cidade de Viçosa/MG utilizaram-se os marcos denominados MET, ETA, BAN do IBGE e o marco CCE5 do Departamento de Engenharia de Agrimensura, localizados no interior do campus da Universidade Federal de Viçosa. Em Vitória/ES utilizou-se o marco denominado INCRA localizado na sede do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária do Espírito Santo – INCRA/ES.

Nos casos dos marcos MET, ETA, BAN e CCE5 utilizou-se como base de referência a estação ativa da RBMC denominada VICO. E para o marco INCRA utilizou-se a estação CEFÉ também da RBMC.

Realizaram-se os rastreios das estações na cidade de Viçosa no dia 28/04/2014 e na cidade de Vitória no dia 12/05/2014.



Para todos os processamentos teve-se o cuidado de utilizar linhas de base curtas (<15km) para poder-se negligenciar os efeitos atmosféricos no posicionamento relativo.

As distâncias das linhas de base são:

- VICO – MET: 0,6 km
- VICO – ETA: 0,5 km
- VICO – BAN: 0,6 km
- VICO – CCE5: 0,3 km
- CEFE – INCRA: 4,2 km

Nas Tabelas 2 e 3 apresentam-se as coordenadas de referência para estas estações rastreadas. As coordenadas estimadas estão referenciadas ao sistema SIRGAS 2000, sendo na Tabela 2 apresentadas no plano de projeção UTM com as alturas referentes ao elipsoide e na Tabela 3 as coordenadas cartesianas geocêntricas.

Tabela 2 – Coordenadas UTM das estações utilizadas no experimento

| Coordenadas UTM - Referência (Metros) |                |                 |         |      |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|---------|------|
|                                       | E              | N               | h       | MC   |
| MET                                   | 722366,43<br>3 | 7702656,5<br>08 | 695,770 | -45° |
| BAN                                   | 721649,25<br>8 | 7703351,4<br>92 | 706,030 | -45° |
| ETA                                   | 722060,58<br>2 | 7702350,6<br>05 | 691,980 | -45° |
| CCE5                                  | 721903,79<br>3 | 7702473,6<br>89 | 650,779 | -45° |
| INCRA                                 | 358663,62<br>1 | 7751498,5<br>96 | -4,157  | -39° |

Tabela 3 – Coordenadas cartesianas das estações utilizadas no experimento

| Coordenadas Cartesianas - Referência (metros) |                 |                 |                 |
|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                               | X               | Y               | Z               |
|                                               |                 | -               | -               |
| MET                                           | 4373687,45<br>5 | 4059181,47<br>2 | 2247083,61<br>1 |

|       |                 |                      |                      |
|-------|-----------------|----------------------|----------------------|
| BAN   | 4373378,49<br>3 | -<br>4059885,52<br>9 | -<br>2246446,35<br>4 |
| ETA   | 4373399,05<br>9 | -<br>4059325,49<br>5 | -<br>2247372,02<br>6 |
| CCE5  | 4373294,51<br>3 | -<br>4059444,55<br>1 | -<br>2247244,28<br>7 |
| INCRA | 4559606,08<br>1 | -<br>3874204,93<br>4 | -<br>2201915,31<br>8 |

### 5.3. METODOLOGIA

Descrevem-se neste capítulo os passos desenvolvidos na montagem do experimento para os rastreios dos marcos e processamento pela metodologia desenvolvida e em software comercial. O código fonte referente à metodologia de processamento em tempo real proposta neste trabalho encontra-se presente no apêndice 'B'.

O pós-processamento dos dados rastreados foi realizado pelo software *Leica GEO Office* utilizando dados do código da portadora (C1) e fase da onda (L1). O tempo de rastreio foi de aproximadamente 15 minutos para todos os marcos apresentados. Os detalhes do processamento encontram-se no anexo 'B'.

#### 5.3.1. MONTAGEM DO EXPERIMENTO

Utilizou-se o GPS G-STAR IV da GlobalSat instalando-o nos marcos apresentados na seção 5.2, centralizado no pino de centragem forçada com o auxílio do seu ímã na parte inferior, conforme apresentado na figura 14.

Conectado a um notebook pela saída USB, realiza sua comunicação nos sistemas operacionais por uma porta serial virtualizada. Na plataforma Windows é denominada e localizada por COM (COM1, COM2, COM3...), na

plataforma Linux por '/dev/ttyS0' e na plataforma MAC OS por '/dev/tty.KeySerial1'.

Para cada estação utilizada realizou-se rastreios dos dados por um período de 15 minutos ininterruptos.

No caso do processamento em tempo real realizou-se a conexão com a internet pelo notebook com um modem 3G para receber os dados das estações da RBMC. O acesso ao provedor dos dados do IBGE é feito por login e senha com o auxílio do software BNC apresentado na seção 4.3.



Figura 14 – GPS G-STAR instalado no marco do IBGE.

#### 5.3.2. DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DOS ALGORITMOS

A princípio, tinha-se o objetivo de realizar a coleta e processamento dos dados diretamente com o microrreceptor do *smartphone*, com isso iniciou-se a implementação da metodologia na plataforma JAVA para servir de subsídio no desenvolvimento de um aplicativo do sistema operacional Android.

Contudo, este procedimento foi interrompido por não se conseguir acesso direto aos dados do circuito integrado da SiRF devido aos padrões de segurança do sistema Android.

Por isso, utilizou-se neste trabalho o GPS G-STAR que realiza comunicação direta do circuito integrado com outros sistemas operacionais e abre a possibilidade de utilização de qualquer linguagem de programação para recepção e processamento dos dados.

Escolheu-se o MATLAB para programação e processamento dos dados devido à facilidade de implementação dos algoritmos, graças às diversas extensões e funções existentes.

Nos próximos tópicos descrevem-se os detalhes da elaboração de cada funcionalidade da metodologia proposta conforme apresentado no fluxograma da Figura 15.

Abrir Porta USB

Abrir Porta TCP

Ler dados USB

Ler dados TCP

Sim

Não

Processamento das DD

Não

Finalizar Rastreio?

Gerar Arquivo RINEX

Fechar Porta USB

Fechar Porta TCP

Figura 15 – Fluxograma do programa principal.

#### 5.3.2.1.LEITURA DOS DADOS

Antes de se iniciar os procedimentos apresentados se faz necessário a configuração inicial do microrreceptor GPS da SiRF para transmitir os dados pelo protocolo SiRF Binário, pois seu padrão de transmissão inicial é o NMEA. Esta mudança é feita pela mensagem PSRF100, conforme detalhes apresentados na Figura 16.

*\$PSRF100,0,115200,8,1,0*

*Paridade:0=None 1 = Odd 2 = Even*

*Stop Bits*  
*Data Bits*  
*Taxa de Transmissão (Baud Rate)*  
*Tipo de Protocolo 0 = SiRF binary 1 = NMEA*  
*Mensagem ID*

Figura 16 – Detalhes da mensagem NMEA PSR100.

Por meio da comunicação serial pela porta USB recebeu-se os dados do microrreceptor GPS da SiRF no MATLAB pelo protocolo SiRF Binário, sendo este tido como *rover*. A comunicação pelo MATLAB se faz pela função *serial()*, onde é fundamental entrar com, pelo menos, os parâmetros da porta de entrada, taxa de transmissão e o tamanho de alocação dos dados na memória, conforme código apresentado na Figura 17

```

USBport = 'COM4';
objUSB = serial(USBport);
objUSB.BaudRate = 115200;
objUSB.InputBufferSize = 2^18;

```

Figura 17 – Código para leitura dos dados do Microrreceptor GNSS pela porta USB.

É importante ser alocado um valor alto na memória referente aos dados de entrada para não haver perda de dados devido à latência do processamento. Como tem-se dispositivos cada vez mais avançados com memórias cada vez maiores, estes valores altos alocados na memória não afetam o desenvolvimento de demais sistemas.

Os dados da base de referência são recebidos por protocolo TCP/IP, decodificados e emitidos pelo *software* BNC – *BKG Ntrip Client*. Tem-se no MATLAB a função *tcpip()* que controla este fluxo de dados, onde sugere-se sua configuração conforme código da Figura 18.

```

porta = 19;
objTCP = tcpip('localhost',porta);
objTCP.InputBufferSize = 2^18;

```

Figura 18 – Código para leitura dos dados da RBMC-IP.

Por padrão a latência de dados do receptor *rover* é de 1 segundo, e a da base foi configurado para 5 segundos. Com isso, fez-se necessário a sincronização dos dados para garantir-se a simultaneidade das observações exigida pelo posicionamento relativo. Durante o processo de sincronização dos dados aproveitou-se para receber as coordenadas calculadas pelo GPS na forma de posicionamento por ponto simples, sendo estas, utilizadas como parâmetro inicial no ajustamento.

#### 5.3.2.2.PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL

Garantindo-se da sincronização dos dados segue para o processamento das duplas diferenças da pseudodistância.

Inicialmente verificaram-se os dados antes de iniciar o ajustamento da linha de base. Nesta etapa deve-se confirmar se foi feita a leitura de dados dos mesmos satélites para *rover* e base, se os dados de erro do relógio do receptor estão disponíveis e se o mínimo de dados de 4 satélites estão disponíveis.

Em cada época do processamento verificou-se o satélite de máxima elevação para ser considerado como base no cálculo das duplas diferenças.

Confirmada a integridade dos dados determinou-se a matriz peso,  $P$ , do ajustamento, considerando o número de satélites com dados disponíveis igual a  $n$  tem-se a matriz  $P$  definida por:

$$P_{n-1 \times n-1} = \begin{bmatrix} 4 & \cdots & 2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 2 & \cdots & 4 \end{bmatrix}^{-1} . \quad (24)$$

Calculou-se o vetor das simples diferenças por meio da diferença entre as observações do receptor base menos as observações do receptor *rover*. E as duplas diferenças por meio da diferença entre a simples diferença do satélite base menos as demais simples diferenças. A técnica utilizada para se determinar o satélite base no cálculo das DD's foi por meio do critério de maior

ângulo de elevação. Com isso, atribuiu-se o vetor destas DD's como sendo o vetor das observações brutas  $L_b$  de dimensão  $n-1 \times 1$ .

Para o cálculo das observações calculadas deve-se observar que os dados recebidos no mesmo instante nos receptores são transmitidos pelos satélites em instantes diferentes, com isso deve-se calcular a coordenada do satélite para o instante de transmissão da base e do *rover* separadamente. Para se determinar a coordenada do satélite no tempo de transmissão utilizam-se as coordenadas e velocidades computadas pelo microrreceptor GPS e disponibilizadas pela mensagem ID30.

Com as coordenadas dos satélites no tempo de transmissão de cada receptor calculou-se a distância geométrica entre as coordenadas aproximadas das estações *rover* e base até o satélite.

Nestes termos tem-se o vetor  $L_{n-1 \times 1}$  calculado por:

$$L = DD^{Obs} - DD^{Calc} \quad . \quad (25)$$

Desenvolveu-se a matriz jacobiana calculando a equação (12) para cada observação dos satélites utilizados, exceto para o satélite base. A dimensão da matriz será de  $n-1 \times 3$ , sendo as coordenadas X,Y e Z, da localização do receptor, os 3 parâmetros, e as observações são as duplas diferenças que correspondem ao número de satélites ( $n$ ) menos um.

A primeira estimativa das coordenadas se faz pelo método tradicional dos mínimos quadrados, onde o vetor das correções dos parâmetros é dado pela equação (16) e a matriz variância covariância é calculada pela equação (17):

Nas demais épocas utilizam-se do método recursivo com a matriz de ganho de Kalman, onde as fórmulas foram apresentadas na seção 4.2.2.

A Figura 19 apresenta o fluxograma do processamento em tempo real dos dados coletados pelo microrreceptor GNSS.



Figura 19 – Fluxograma do processamento dos dados GNSS em tempo real.

### 5.3.2.3.ARQUIVO RINEX

Ao final de cada rastreio criou-se um arquivo no formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) versão 2.11 com as observações armazenadas durante o levantamento.

A primeira proposta do formato RINEX foi desenvolvida pelo Instituto de Astronomia da Universidade de Berna para a fácil troca de informações entre dados GPS a serem coletados durante a grande campanha EUREF GPS 89, que envolveu mais de 60 receptores de GPS de quatro fabricantes diferentes (GURTNER, 2007).

Cada tipo de arquivo consiste em uma seção de cabeçalho e uma seção de dados. A seção de cabeçalho contém informações globais para o arquivo inteiro e é colocado no início do arquivo. A seção de cabeçalho contém os rótulos de cabeçalho das colunas 61-80 para cada linha contida na seção de cabeçalho. Esses rótulos são obrigatórios e devem aparecer exatamente como apresentado por GURTNER (2007). A Figura 19 apresenta um exemplo de cabeçalho usado.

|                                                           |                  |                 |                      |
|-----------------------------------------------------------|------------------|-----------------|----------------------|
| 2.11                                                      | OBSERVATION DATA | G               | RINEX VERSION / TYPE |
| ProcDD_v1_1_1.m                                           | Gabriel          | 12-MAI-14 07:50 | PGM / RUN BY / DATE  |
| The file contains L1 pseudorange data of the SIRFSTART IV |                  |                 | COMMENT              |
| INCRA                                                     |                  |                 | MARKER NAME          |
| 1                                                         |                  |                 | MARKER NUMBER        |
| GABRIEL DINIZ                                             | DEC/UFV          |                 | OBSERVER / AGENCY    |
| 0                                                         | SIRFSTARIV       | 4.0.4           | REC # / TYPE / VERS  |
| 0                                                         | <NONE>           |                 | ANT # / TYPE         |
| 4559612.0                                                 | -3874211.0       | -2201917.0      | APPROX POSITION XYZ  |
| 0.0000                                                    | 0.0000           | 0.0000          | ANTENNA: DELTA H/E/N |
| 1 0                                                       |                  |                 | WAVELENGTH FACT L1/2 |
| 2 C1 L1                                                   |                  |                 | # / TYPES OF OBSERV  |
| 5.000                                                     |                  |                 | INTERVAL             |
| 2014 5 19 16 22 20.0000000                                |                  |                 | TIME OF FIRST OBS    |
|                                                           |                  |                 | END OF HEADER        |

Figura 20 – Cabeçalho de arquivo RINEX de observação.

A ordem das informações do cabeçalho não precisa seguir necessariamente o exemplo, exceto o registro “RINEX VERSION / TYPE” que deve estar na primeira linha do arquivo e “END OF HEADER” indicando o final do cabeçalho e início da seção de dados.

Para cada época de rastreo registram-se os dados de pseudodistância (C1) e fase da onda (L1), e são registrados no arquivo RINEX conforme exemplo da Figura 20:

```
14  4 28 19 49 10.00000000  0  9G 1G 3G11G14G19G22G27G31G32
24809144.129    130373648.299
21770318.582    114404532.264
23383240.711    122880465.268
21209244.065    111455965.784
21263960.711    111743556.698
22634334.983    118944925.100
21638237.602    113710392.033
22668504.830    119124472.863
22890887.107    120293056.619
```

Figura 21 – Exemplo do corpo do arquivo RINEX de observações.

Na primeira linha escreveu-se o registro da época com os seguintes itens: ano (2 dígitos), mês, dia, hora, minuto, segundo. Nesta ordem e referenciados ao tempo GPS. Seguindo na mesma linha tem-se o campo para indicar a ocorrência de algum evento como nova ocupação ou movimentação da antena, no caso de não ocorrência entrou-se com o valor 0. E por fim conclui-se com o número de satélites observados naquela época listados com seu número de identificação PRN (*Pseudo Range Noise*).

Nas demais linhas apresentam-se as observáveis de cada satélite em uma nova linha na sequência correspondente aos satélites identificados na primeira linha. Inseriram-se os tipos de observações (C1 L1) na ordem apresentada no cabeçalho pelo campo “# / TYPES OF OBSERV”.

Todas as observações gravadas no arquivo RINEX foram corrigidas do erro do relógio do receptor.

### 5.3.3. ESTRATÉGIA DE PÓS-PROCESSAMENTO

Conforme apresentado na seção 5.1, utilizou-se o software *LEICA Geo Office* para o pós-processamento dos arquivos RINEX gerados de acordo com a metodologia apresentada anteriormente.

Recorreu-se aos dados de navegação obtidos pelas estações de base da RBMC referente às efemérides transmitidas, para se realizar este processamento.

No geral, as definições padrões de processamento do LEICA Geo Office são satisfatórias, sendo que, neste trabalho as principais configurações utilizadas foram: intervalo de gravação de 15 segundos, ângulo de elevação de 15°, modelo troposférico de Hopfield e modelo Ionosférico padrão do software. Mais detalhes dos processamentos estão presentes no anexo 'A'.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se neste capítulo os resultados para todos os processamentos realizados com o dispositivo utilizado. Cada coordenada estimada é comparada com as coordenadas de referência das estações da RBMC apresentadas na seção 5.2.

As coordenadas cartesianas X, Y e Z estimadas pelos procedimentos apresentados foram convertidas em coordenadas planas UTM pelo software ProGrid v1.1 disponibilizado gratuitamente pelo IBGE.

Como dito na seção 5.3.2.1, enquanto é feita a sincronização dos dados, recebeu-se do microrreceptor as coordenadas computadas pelo sistema do dispositivo que utiliza do posicionamento por ponto simples. Nas Tabelas 4 e 5 são apresentadas as coordenadas deste posicionamento inicial.

Tabela 4 – Coordenadas cartesianas estimadas pelo posicionamento por ponto pimple

| Coordenadas Cartesianas - Iniciais (metros) |                 |                 |                 |
|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                             | X               | Y               | Z               |
| MET                                         | 4373697,00<br>0 | 4059186,40<br>5 | 2247093,02<br>7 |
| BAN                                         | 4373388,00<br>0 | 4059895,00<br>0 | 2246460,00<br>0 |
| ETA                                         | 4373403,00<br>0 | 4059326,00<br>0 | 2247370,00<br>0 |
| CCE5                                        | 4373303,20<br>0 | 4059448,00<br>0 | 2247251,80<br>0 |
| INCRA                                       | 4559611,94<br>9 | 3874207,63<br>5 | 2201924,33<br>1 |

Tabela 5 – Coordenadas UTM estimadas pelo posicionamento por ponto simples

| Coordenadas UTM - Iniciais (metros) |                |                 |         |      |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|---------|------|
|                                     | E              | N               | h       | MC   |
| MET                                 | 722369,2<br>42 | 7702651,<br>335 | 708,788 | -45° |
| BAN                                 | 721648,6<br>79 | 7703343,<br>491 | 723,406 | -45° |

|       |                |                 |         |      |
|-------|----------------|-----------------|---------|------|
| ETA   | 722062,9<br>33 | 7702353,<br>615 | 694,284 | -45° |
| CCE5  | 721907,1<br>23 | 7702469,<br>708 | 661,590 | -45° |
| INCRA | 358666,3<br>61 | 7751490,<br>941 | 8,743   | -39° |

Quando estas coordenadas iniciais são comparadas com as coordenadas de referência verificaram-se as seguintes discrepâncias apresentadas nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Discrepâncias das coordenadas cartesianas estimadas pelo posicionamento por ponto simples em relação às coordenadas de referência.

| Desvios Coord. Cartesianas- Inicial (metros) |            |            |            |            |
|----------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                              | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ | Resultante |
| MET                                          | 9,545      | -4,933     | -9,416     | 14,286     |
| BAN                                          | 9,507      | -9,471     | -13,646    | 19,139     |
| ETA                                          | 3,941      | -0,505     | 2,026      | 4,460      |
| CCE5                                         | 8,687      | -3,449     | -7,513     | 11,992     |
| INCRA                                        | 5,868      | -2,701     | -9,013     | 11,089     |

Tabela 7 – Discrepâncias das coordenadas UTM estimadas pelo posicionamento por ponto simples em relação às coordenadas de referência.

| Desvios Coord. UTM - Inicial (metros) |            |            |            |                         |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|-------------------------|
|                                       | $\Delta E$ | $\Delta N$ | $\Delta h$ | Resultante Planimétrica |
| MET                                   | 2,809      | -5,173     | 13,018     | 5,886                   |
| BAN                                   | -0,579     | -8,001     | 17,376     | 8,022                   |
| ETA                                   | 2,351      | 3,010      | 2,304      | 3,819                   |
| CCE5                                  | 3,330      | -3,981     | 10,811     | 5,190                   |
| INCRA                                 | 2,740      | -7,655     | 12,900     | 8,130                   |
|                                       |            | Média      | 11,282     | 6,210                   |

Como se pode perceber pelos dados da Tabela 6, os resultados com o posicionamento por ponto simples originou erros nas coordenadas cartesianas na média de 6,6 metros, variando de 13,6 metros na estação BAN a 0,5 metro na estação ETA.

De acordo com a Tabela 7, verificou-se pela resultante planimétrica, um erro planimétrico médio de 6,2 metros, variando de 3,8 metros na estação ETA a 8,1 metros na estação INCRA. Pela componente  $\Delta h$  constatou-se um erro

altimétrico médio de 11,2 metros, variando de 2,3 metros na estação ETA a 17,4 na estação BAN.

## 6.1. PÓS-PROCESSAMENTO

Após o processamento dos arquivos RINEX, com dados de 15 minutos de rastreio, no software LEICA Geo Office, obteve-se as coordenadas apresentadas nas Tabela 8 e 9.

Tabela 8 – Coordenadas cartesianas estimadas pelo pós-processamento

| Coordenadas Cartesianas - Pós-Proc. (metros) |                 |                 |                 |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                              | X               | Y               | Z               |
| MET                                          | 4373687,24<br>2 | 4059181,60<br>1 | 2247083,62<br>2 |
| BAN                                          | 4373379,07<br>9 | 4059885,34<br>6 | 2246446,45<br>6 |
| ETA                                          | 4373398,79<br>0 | 4059325,75<br>0 | 2247372,03<br>3 |
| CCE5                                         | 4373294,78<br>7 | 4059444,64<br>2 | 2247244,18<br>4 |
| INCRA                                        | 4559605,94<br>9 | 3874205,00<br>6 | 2201915,37<br>6 |

Tabela 9 – Coordenadas UTM estimadas pelo pós-processamento

| Coordenadas UTM - Pós-Proc. (metros) |                |                 |         |      |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|---------|------|
|                                      | E              | N               | h       | MC   |
| MET                                  | 722366,1<br>92 | 7702656,<br>477 | 695,710 | -45° |
| BAN                                  | 721649,7<br>89 | 7703351,<br>496 | 706,351 | -45° |
| ETA                                  | 722060,2<br>12 | 7702350,<br>595 | 691,960 | -45° |
| CCE5                                 | 721903,9<br>15 | 7702473,<br>875 | 650,988 | -45° |
| INCRA                                | 358663,4<br>83 | 7751498,<br>523 | -4,188  | -39° |

Subtraindo-se as coordenadas estimadas pelas coordenadas de referência apresentadas nas Tabelas 2 e 3, os desvios em metros encontrados nas coordenadas pós-processadas estão presentes nas Tabela 10 e 11.

Tabela 10 – Discrepâncias das coordenadas cartesianas pós-processadas em relação às coordenadas de referência

| Desvios Coordenadas Cartesianas - Pós Processadas (metros) |            |            |            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                                            | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ | Resultante |
| MET                                                        | -0,213     | -0,129     | -0,011     | 0,249      |
| BAN                                                        | 0,586      | 0,183      | -0,102     | 0,622      |
| ETA                                                        | -0,269     | -0,255     | -0,007     | 0,370      |
| CCE5                                                       | 0,274      | -0,091     | 0,103      | 0,306      |
| INCRA                                                      | -0,132     | -0,072     | -0,058     | 0,161      |

Tabela 11 – Discrepâncias das coordenadas UTM pós-processadas em relação às coordenadas de referência

| Desvios Coordenadas UTM - Pós Processadas (metros) |            |            |            |                           |
|----------------------------------------------------|------------|------------|------------|---------------------------|
|                                                    | $\Delta E$ | $\Delta N$ | $\Delta h$ | Resultante e Planimétrica |
| MET                                                | -0,241     | -0,031     | -0,060     | 0,243                     |
| BAN                                                | 0,531      | 0,004      | 0,321      | 0,531                     |
| ETA                                                | -0,370     | -0,010     | -0,020     | 0,370                     |
| CCE5                                               | 0,122      | 0,185      | 0,209      | 0,222                     |
| INCRA                                              | -0,138     | -0,073     | -0,031     | 0,156                     |
|                                                    |            | Média      | 0,128      | 0,305                     |

Nas Figuras 22 e 23 apresentam-se os gráficos com os valores das Tabelas 10 e 11 respectivamente.

Figura 22 – Gráfico com as discrepâncias das coordenadas cartesianas pós-processadas

Figura 23 – Gráfico com as discrepâncias das coordenadas planas UTM pós-processadas

Pelos dados da Tabela 10 e Figura 22, verificaram-se erros nas coordenadas cartesianas na média de 0,16 metros, variando de 0,59 m na estação BAN a 0,01 m na estação ETA.

E pela Tabela 11 e Figura 23, verificou-se pela resultante planimétrica, um erro planimétrico médio de 0,29 m, variando de 0,15 m na estação INCRA a 0,53 m na estação BAN. Pela componente  $\Delta h$  constatou-se um erro altimétrico médio de 0,13 m, variando de 0,2 m na estação ETA a 0,32 m na estação BAN.

Nas Figuras 24 e 25 apresentam-se os gráficos com a resultante das discrepâncias na horizontal e vertical respectivamente, com os dados apresentados na Tabela 11.

Figura 24 – Gráfico com as discrepâncias da componente horizontal das coordenadas UTM pós-processadas

Figura 25 - Gráfico com as discrepâncias da componente vertical das coordenadas UTM pós-processadas

Pode-se perceber pelas Figuras 24 e 25 que as componentes verticais apresentaram-se com melhores resultados do que as componentes horizontais. Tal fato se origina dos altos valores nas componentes  $\Delta E$  apresentadas na Tabela 11.

As discrepâncias no plano apresentaram-se melhores do que 53 centímetros para todas as estações analisadas, representando uma excelente melhora na acurácia das coordenadas em relação às coordenadas iniciais.

A solução flutuante (*float*) para estes dados pode ser explicada devido à baixa qualidade dos dados L1 rastreados. Atualmente existe pouco material



teórico a respeito da aquisição destes dados devido a proteção de patentes e políticas empresariais das companhias fabricantes desta tecnologia.

## 6.2. PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL

### 6.2.1. VALIDAÇÃO DO ALGORITMO

Inicialmente processaram-se as observações dos dados de duas estações ativas da rede de monitoramento dos Estados Unidos (CORS) com o objetivo de verificar e validar a potencialidade do processamento com a metodologia sugerida utilizando os receptores mais robustos que ao microrreceptor em estudo.

Como apresentado na seção 5.2 a distância da linha de base entre as estações P539 e P602 é de aproximadamente 5 km. Realizou-se o processamento utilizando a estação P602 como base e a P539 como rover.

Os dados destas estações são gravados com intervalo de 15 segundos. Neste processamento utilizou-se 20 minutos de rastreo que corresponde a 80 épocas.

Nas figuras 26 a 31 apresentam-se os gráficos com as discrepâncias das coordenadas cartesianas geocêntricas X, Y e Z em relação às coordenadas de referência. Para os gráficos das Figuras 26, 27 e 28 foi utilizado o MMQ para cada época de forma independente, já nas Figuras 29, 30 e 31 foi utilizado o método recursivo com a matriz de ganho de Kalman.

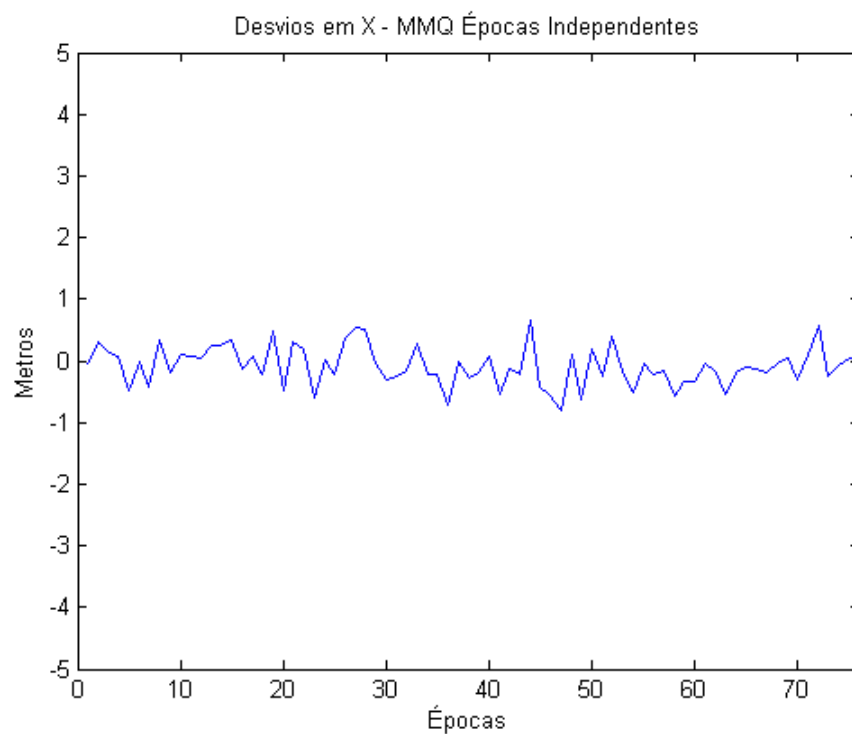


Figura 26 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada época a época independente.

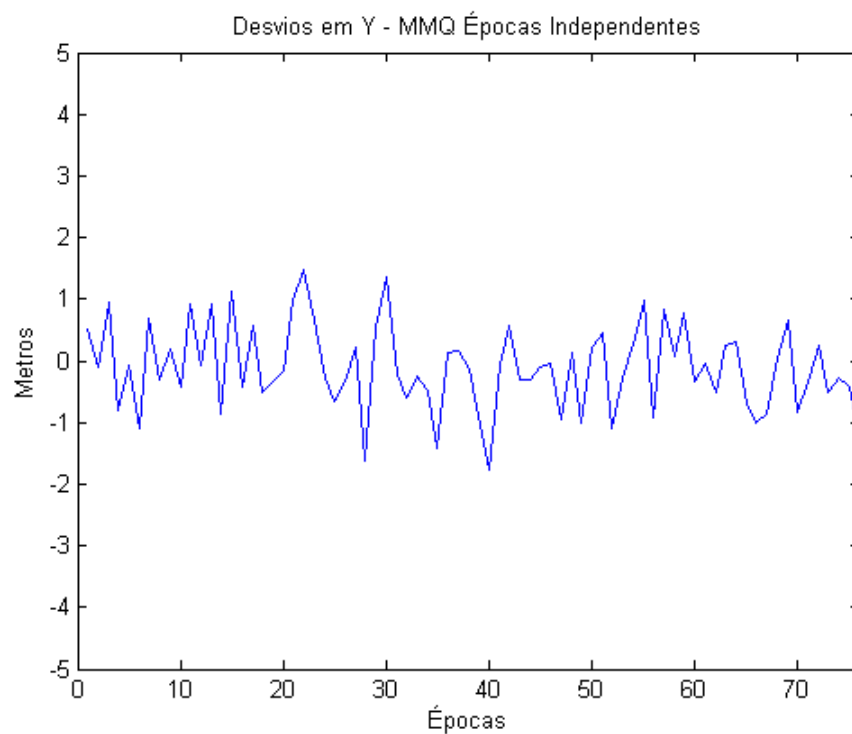


Figura 27 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada época a época independente.

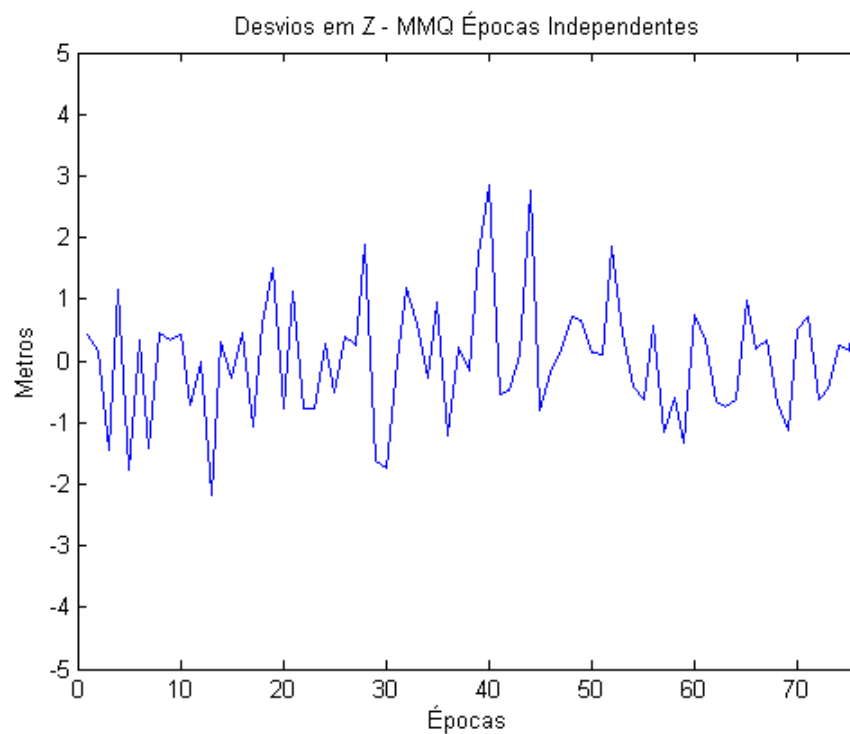


Figura 28 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada época a época independente.

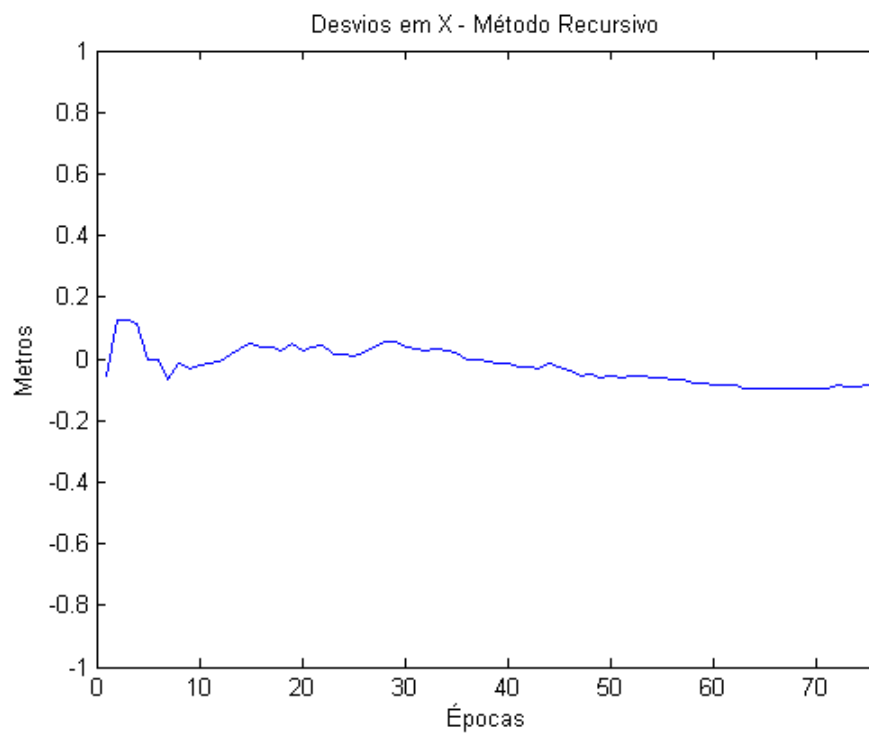


Figura 29 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada recursivamente.

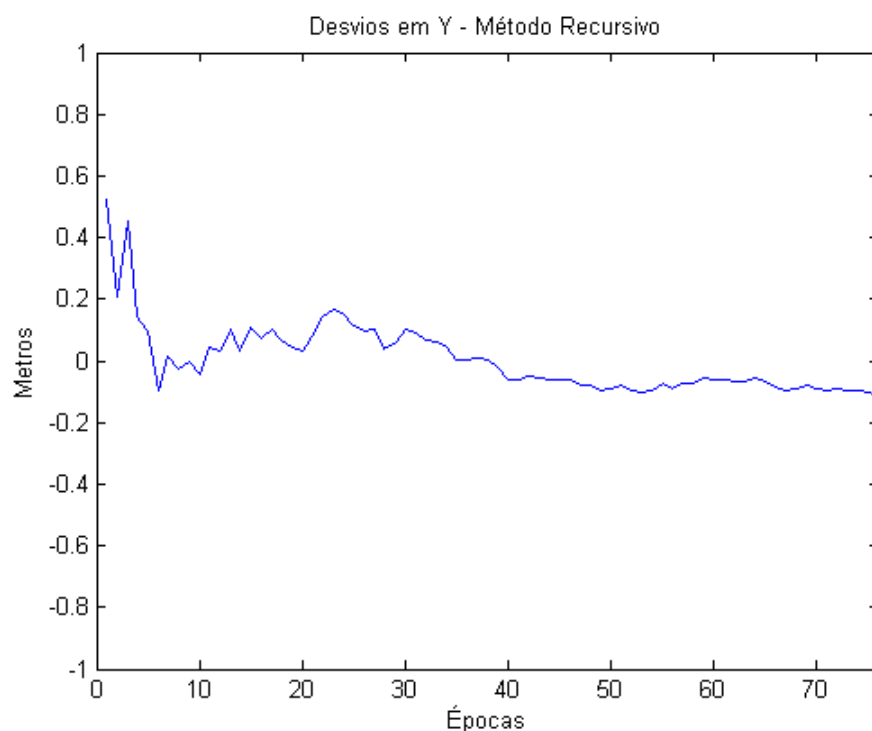


Figura 30 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada recursivamente.

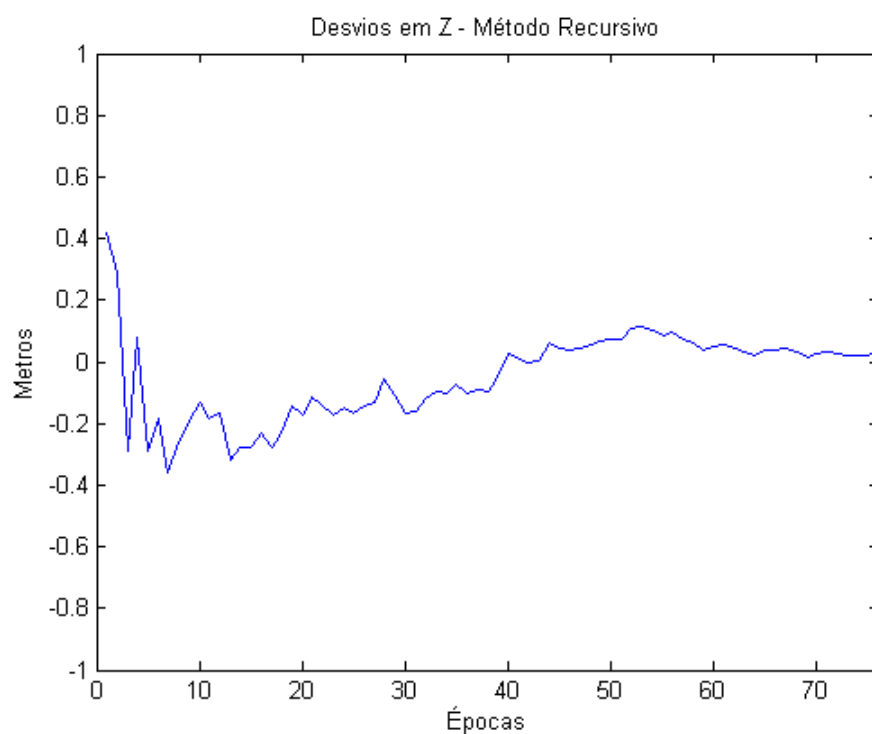


Figura 31 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da rede CORS, processada recursivamente.

Com o processamento dos dados da rede CORS utilizando o algoritmo proposto de processamento em tempo real, verificou-se que, utilizado MMQ de

forma independente em cada época ocorreu variações de: -0,80 m a 0,69 m na coordenada X, -1,77 m a 1,47 m na coordenada Y e -2,17 m a 2,86 m na coordenada Z, conforme apresentado pelos gráficos nas Figuras 26 a 28.

Realizando o processamento dos mesmos dados pelo MMQ recursivo utilizando a matriz de ganho de Kalman, os valores convergem para as coordenadas de referência. As coordenadas da última época são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Coordenadas da Estação P539 Estimadas por Algoritmo de Processamento em Tempo Real

| Coordenadas Cartesianas - Estimadas (Metros) |                 |                 |                 |      |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
|                                              | X               | Y               | Z               |      |
| P539                                         | 2607160,99<br>7 | 4482780,99<br>5 | 3701802,61<br>0 |      |
| Coordenadas UTM - Estimadas (Metros)         |                 |                 |                 |      |
|                                              | E               | N               | h               | MC   |
| P539                                         | 245041,894      | 6045366,14<br>9 | 601,226         | -57° |

Comparando estas coordenadas com as coordenadas de referência da estação P539, apresentada na Tabela 1, chegou-se as seguintes discrepâncias apresentados na Tabela 13 com seu respectivo gráfico nas Figuras 32 e 33.

Tabela 13 – Discrepâncias das Coordenadas da Estação P539 em Relação às Coordenadas de Referência

| Discrepâncias Coordenadas Cartesianas (Metros) |            |            |            |
|------------------------------------------------|------------|------------|------------|
|                                                | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ |
| P539                                           | -0,087     | -0,121     | 0,043      |
| Discrepâncias Coordenadas UTM (Metros)         |            |            |            |
|                                                | $\Delta E$ | $\Delta N$ | $\Delta h$ |
| P539                                           | 0,013      | 0,052      | 0,146      |

Figura 32 – Gráfico com as discrepâncias em metros das coordenadas cartesianas geocêntrica da estação P539 da rede CORS, processada recursivamente.

Figura 33 – Gráfico com as discrepâncias em metros das coordenadas planas UTM da estação P539 da rede CORS, processada recursivamente.

Observou-se um erro médio nas coordenadas cartesianas de 0,05 m, sendo o maior na componente Y com 0,12 m e a menor na componente Z com 0,04 m. Com as coordenadas planas, verificou-se que o erro planimétrico é de 0,05 m, e o erro altimétrico de 0,15 m.

Analisando os dados dos gráficos das Figuras 26 a 31 constatou-se que para os casos de levantamento estático o método recursivo se torna extremamente mais indicado que o MMQ isoladamente em cada época, sendo que este pode ser usual em casos de navegação ou levantamento cinemático.

Nos gráficos das Figuras 29 a 31 verifica-se estabilidade na convergência a partir da época 60, que representa 15 minutos de rastreo.

Com estes resultados pode-se comprovar a eficiência do algoritmo implementado, com isso realizou-se os rastreios dos marcos apresentados na seção 5.2.

#### 6.2.2. RASTREIO COM MICRORRECEPTOR

Os dados destas estações bases VICO e CEFE da RBMC são disponibilizados com intervalo de gravação de 5 segundos. Com isso, tem-se um rastreo 15 minutos corresponde a 180 épocas processadas.

Nas Figuras 34 a 48 apresenta-se os gráficos com os desvios das coordenadas rastreadas pelo microrreceptor GPS das 5 estações MET, BAN, ETA, CCE5 e INCRA.

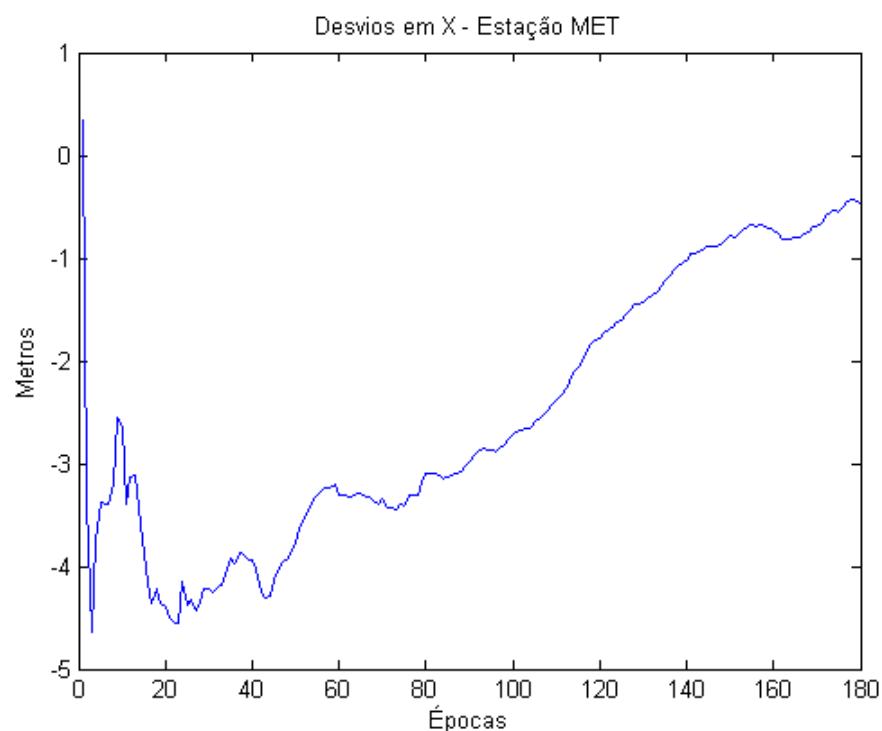


Figura 34 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação MET, processada recursivamente em tempo real.

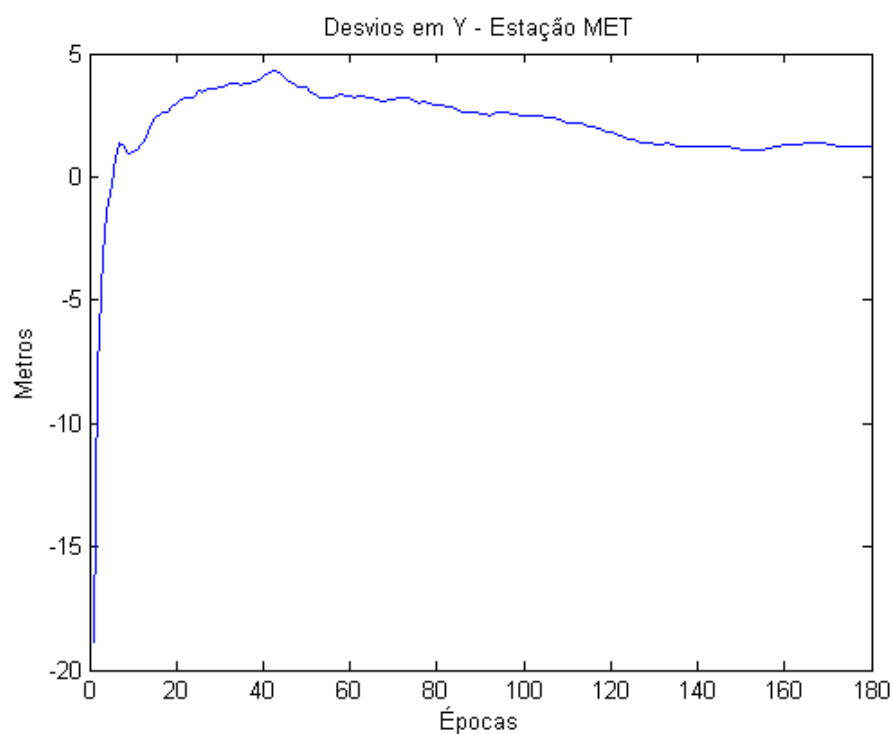


Figura 35 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação MET, processada recursivamente em tempo real.

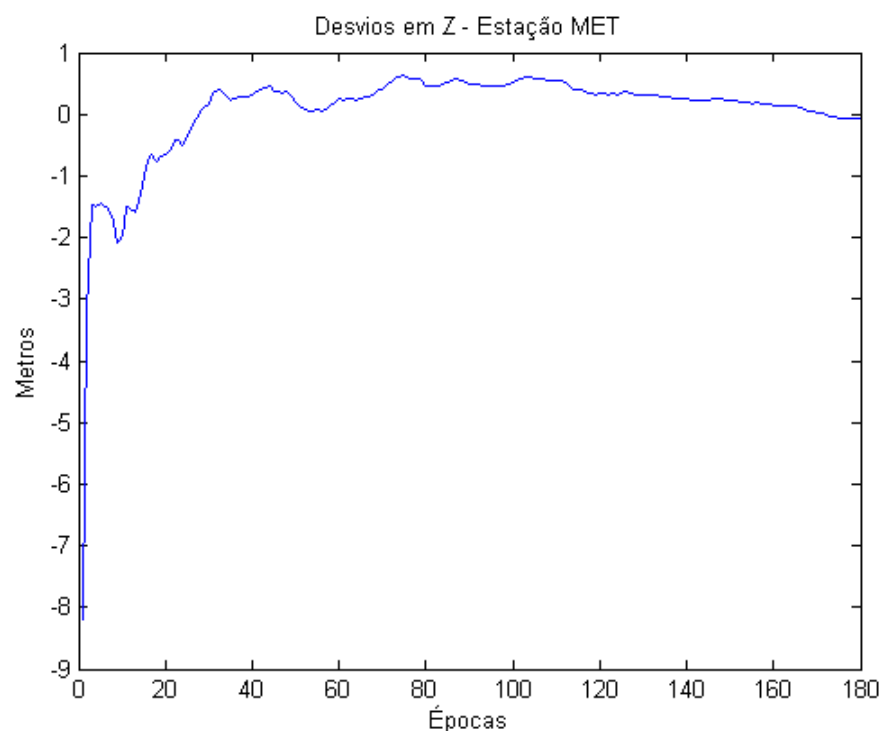


Figura 36 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação MET, processada recursivamente em tempo real.

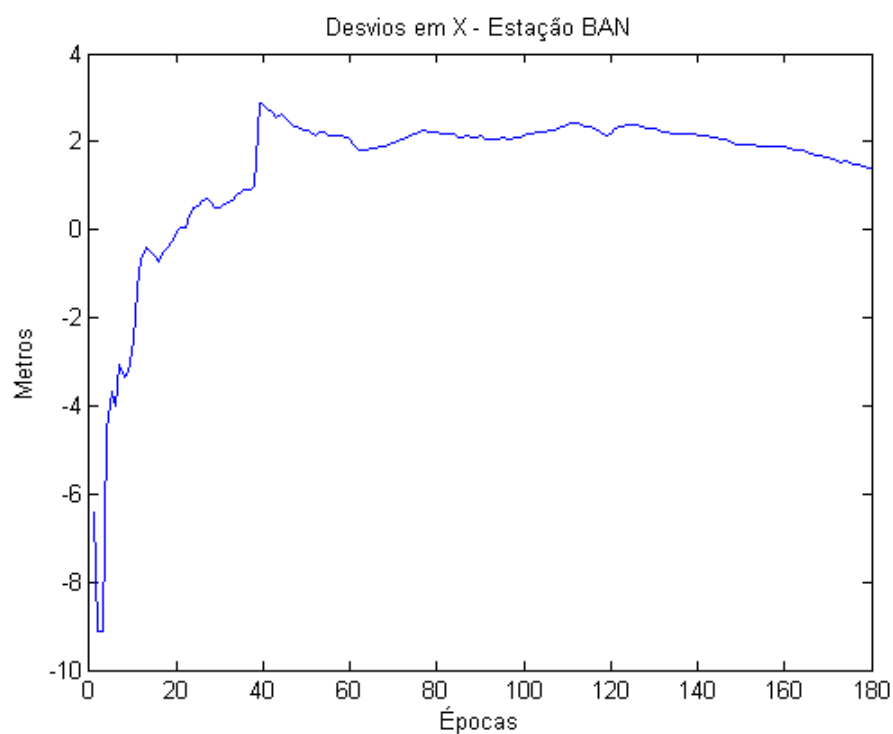


Figura 37 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação BAN, processada recursivamente em tempo real.



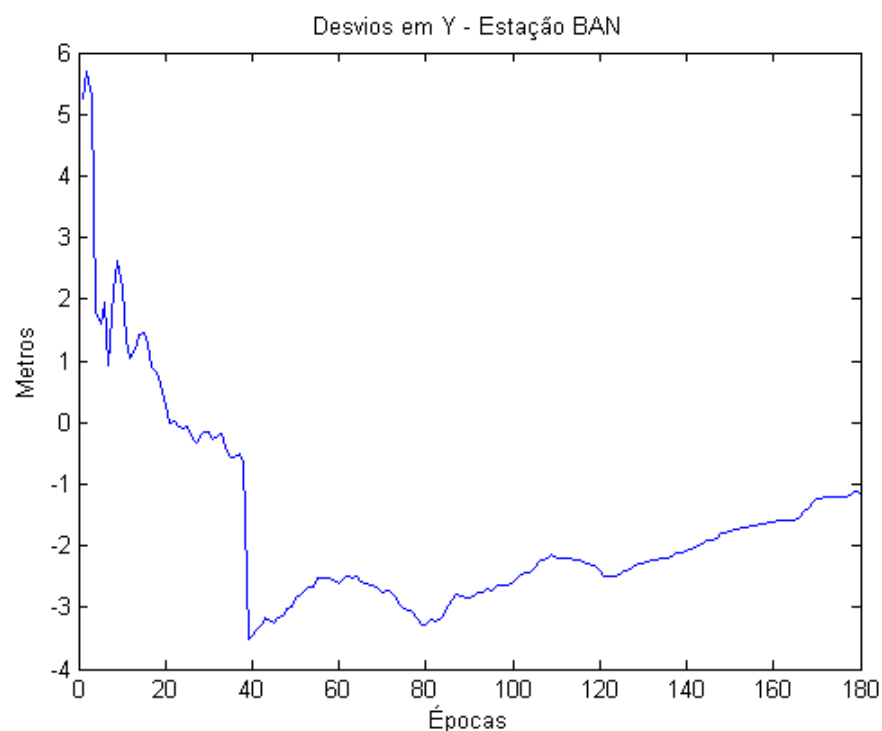


Figura 38 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação BAN, processada recursivamente em tempo real.

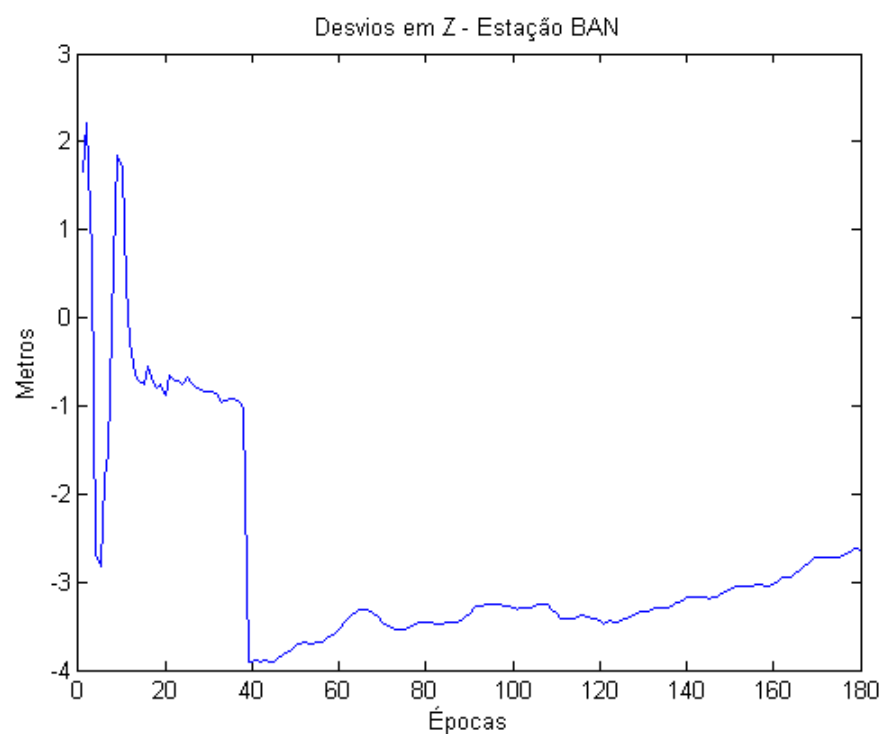


Figura 39 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação BAN, processada recursivamente em tempo real.

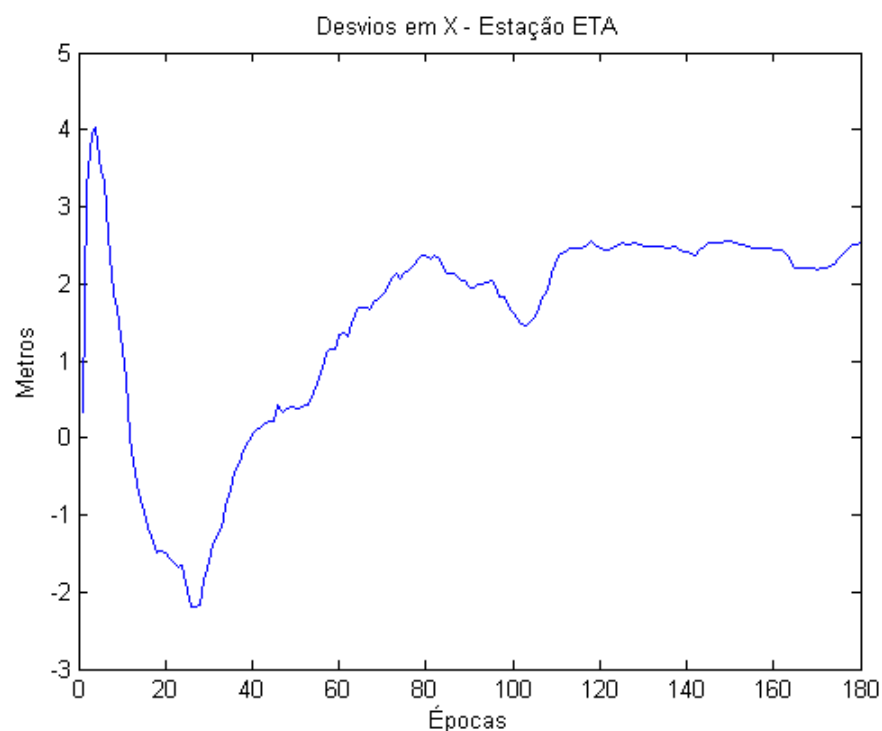


Figura 40 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação ETA, processada recursivamente em tempo real.

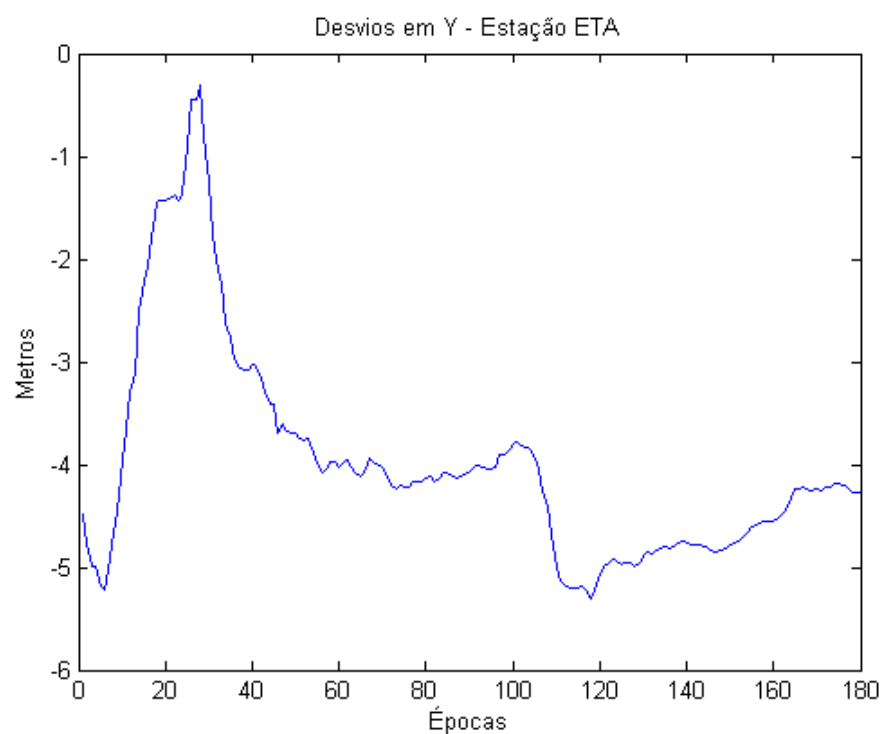


Figura 41 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação ETA, processada recursivamente em tempo real.

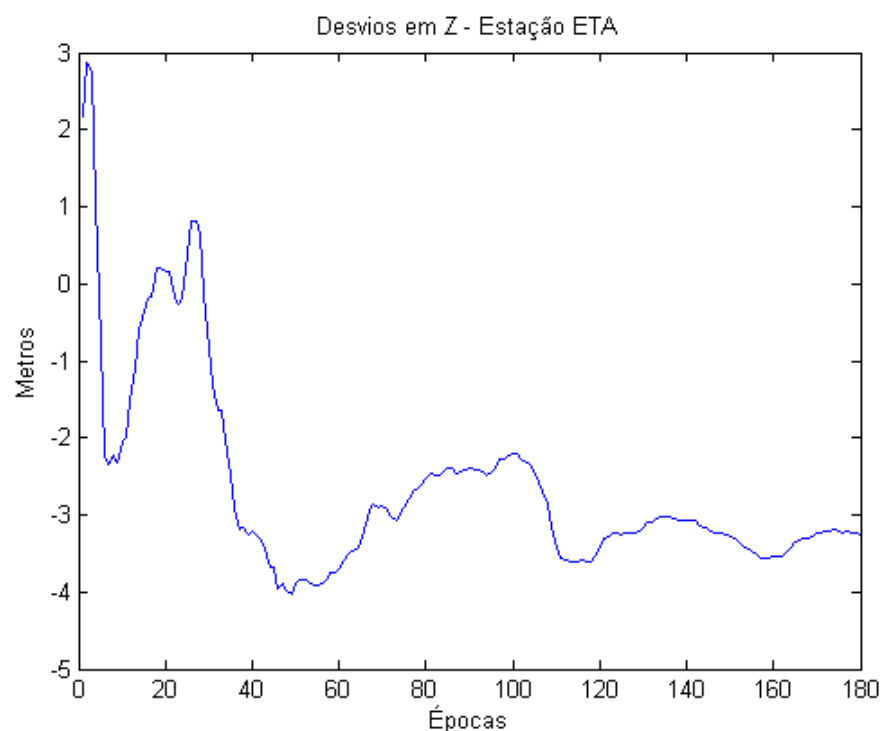


Figura 42 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação ETA, processada recursivamente em tempo real.

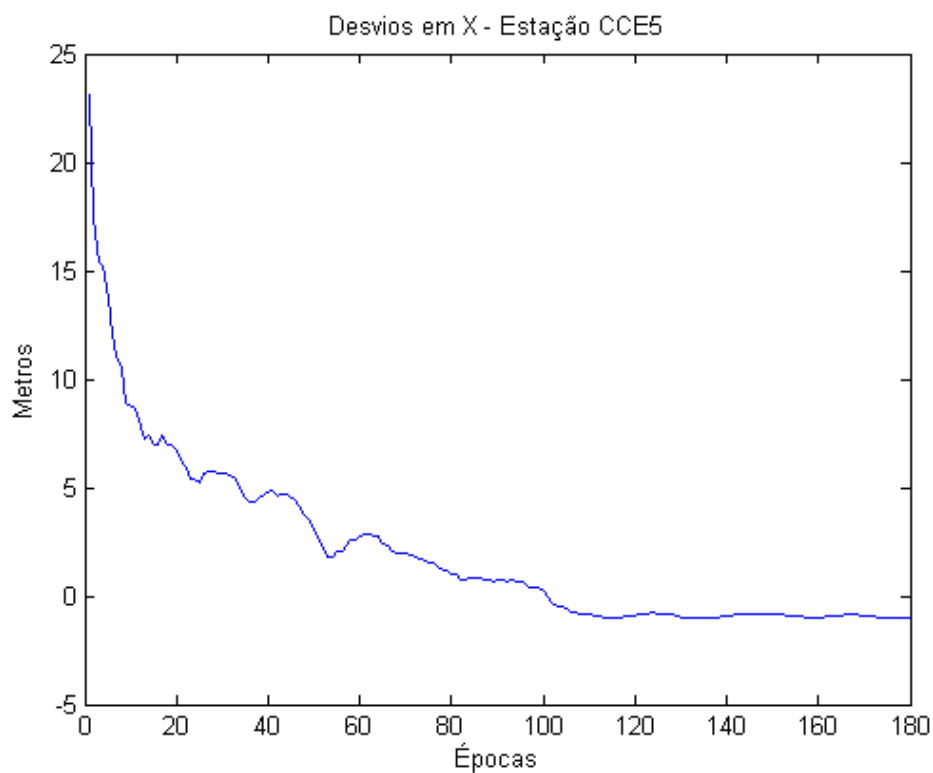


Figura 43 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação CCE5, processada recursivamente em tempo real.

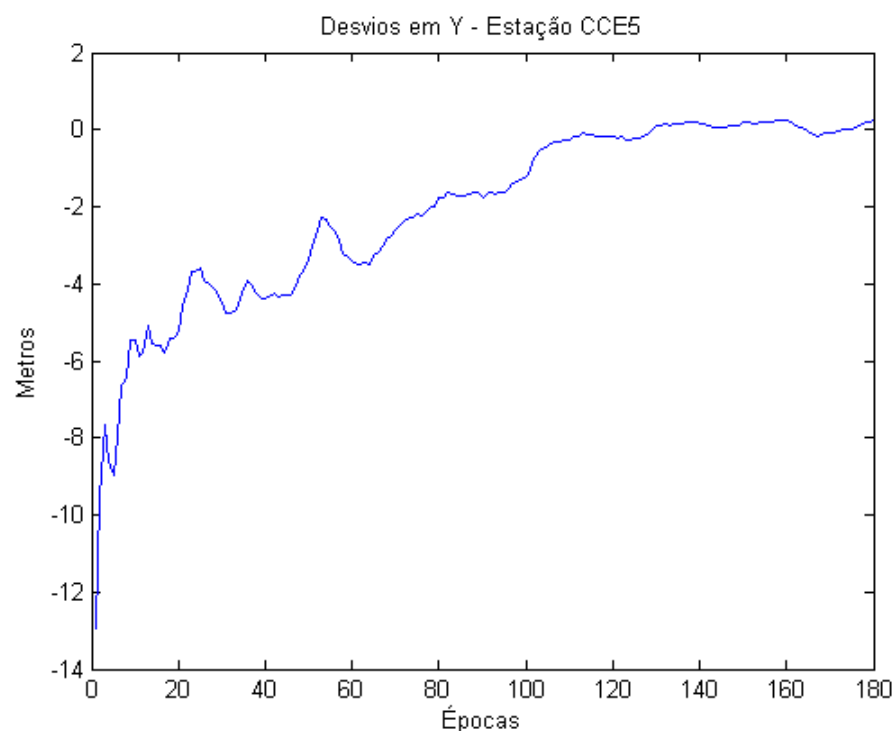


Figura 44 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação CCE5, processada recursivamente em tempo real.

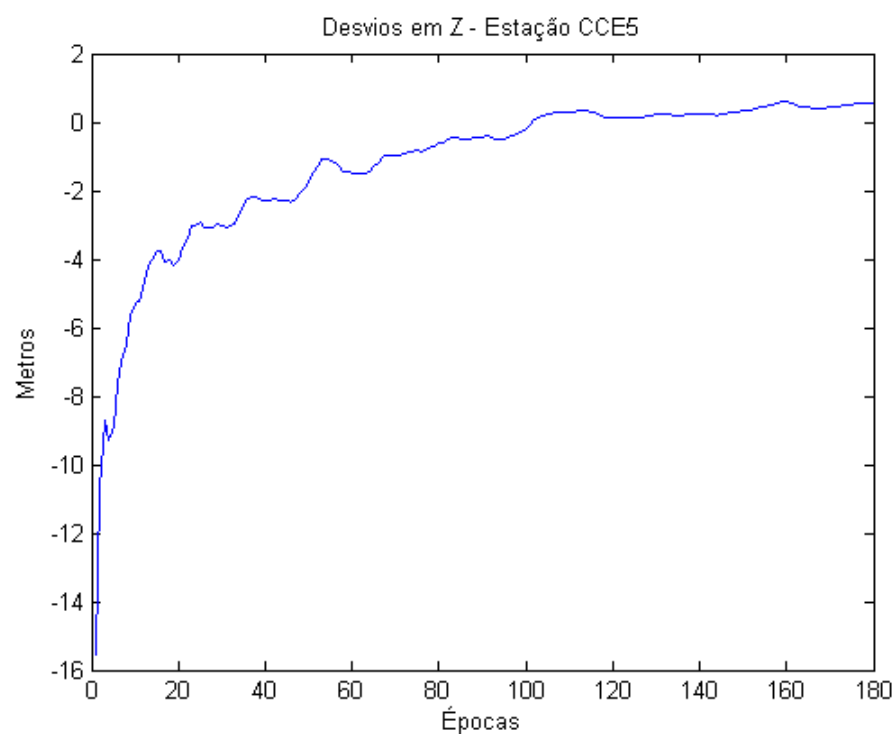


Figura 45 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação CCE5, processada recursivamente em tempo real.

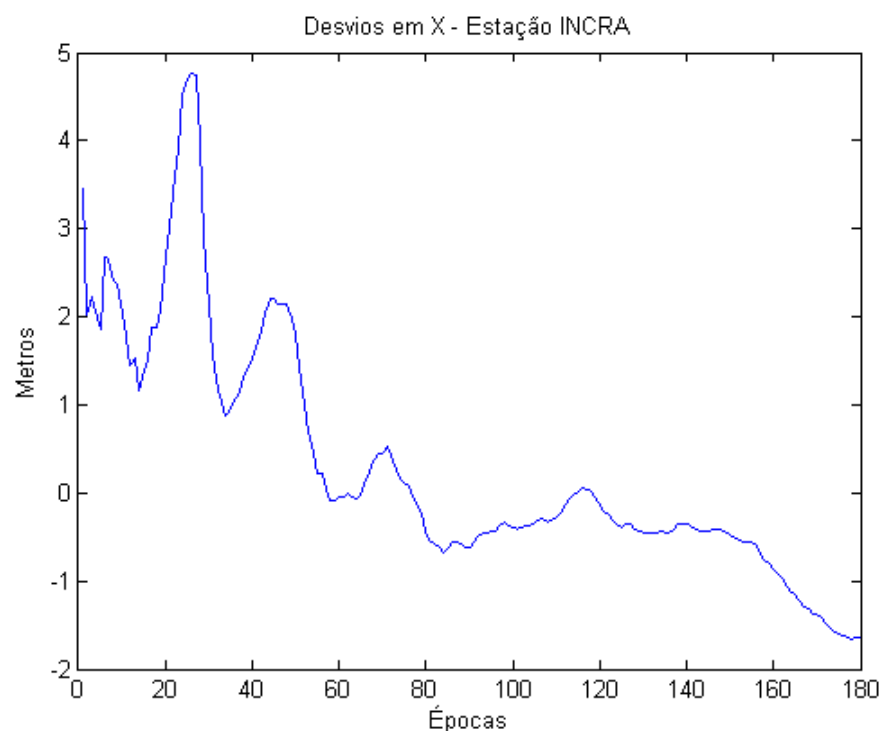


Figura 46 – Gráfico com os desvios em metros da componente X da coordenada cartesiana geocêntrica da estação INCRA, processada recursivamente em tempo real.

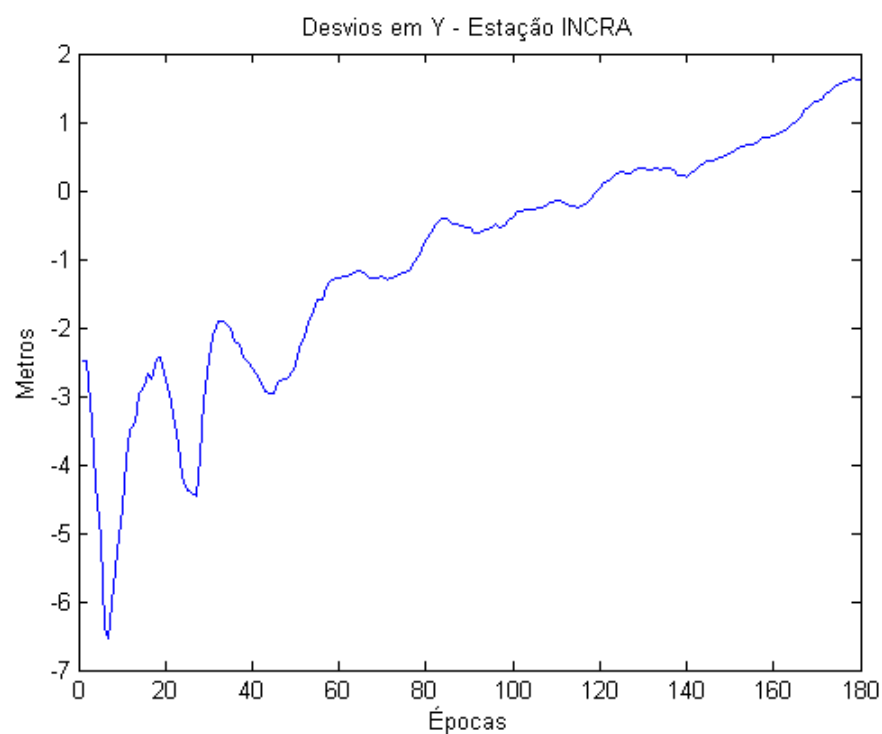


Figura 47 – Gráfico com os desvios em metros da componente Y da coordenada cartesiana geocêntrica da estação INCRA, processada recursivamente em tempo real.

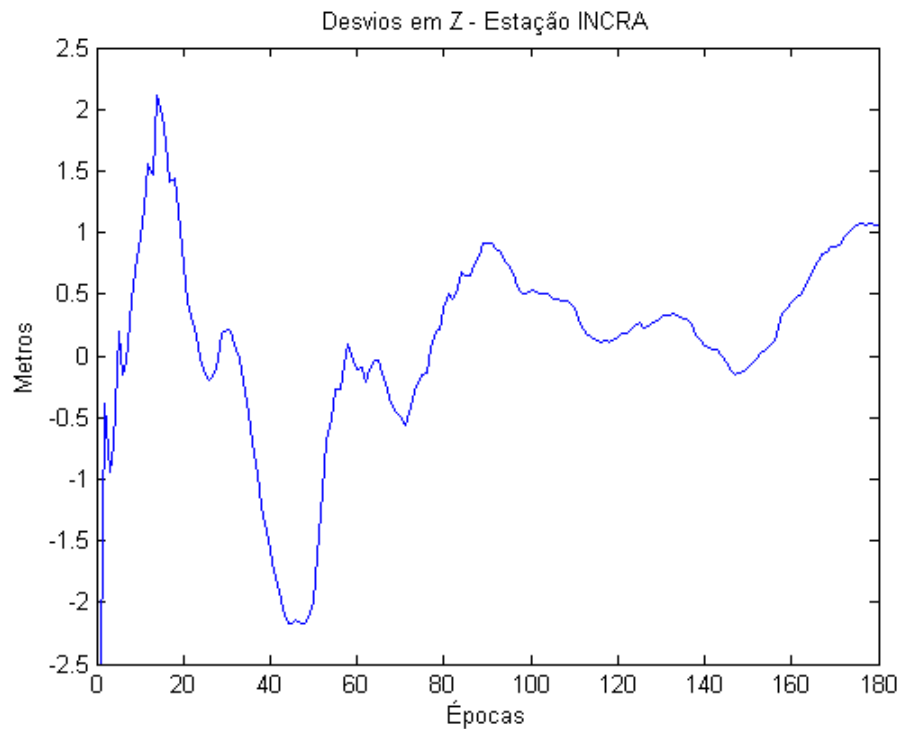


Figura 48 – Gráfico com os desvios em metros da componente Z da coordenada cartesiana geocêntrica da estação INCRA, processada recursivamente em tempo real.

Analisando os gráficos percebeu-se que no geral estes tendem a convergir para a coordenada de referência, em alguns casos mais suaves em outros não.

Devido ao microrreceptor ser um dispositivo de alta sensibilidade diversos fatores provocam interferências no recebimento do sinal GPS. Facilmente se percebe os pontos de *outleir* ou falhas no sinal do receptor.

Na estação ETA e BAN é notável a entrada de dados inconsistentes na época 28 e 38 respectivamente, entretanto o processamento retorna a convergir nas épocas seguintes.

Na maioria dos casos a partir da época 80 já se tinha um resultado satisfatório no processamento, que corresponde a aproximadamente 6,5 minutos de rastreo.

Nas Tabelas 14 e 15 apresentam-se as coordenadas da última época do processamento.

Tabela 14 – Coordenadas cartesianas estimadas em tempo real

| Coordenadas Cartesianas - Tempo Real (metros) |                 |                 |                 |
|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                               | X               | Y               | Z               |
| MET                                           | 4373686,99<br>1 | 4059180,21<br>6 | 2247083,66<br>6 |
| BAN                                           | 4373379,91<br>3 | 4059886,67<br>1 | 2246448,98<br>5 |
| ETA                                           | 4373401,58<br>7 | 4059329,77<br>1 | 2247375,27<br>8 |
| CCE5                                          | 4373293,50<br>9 | 4059444,30<br>9 | 2247243,76<br>1 |
| INCRA                                         | 4559604,43<br>0 | 3874203,32<br>3 | 2201914,25<br>5 |

Tabela 15 – Coordenadas planas UTM estimadas em tempo real

| Coordenadas UTM - Tempo Real (metros) |                |                 |         |      |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|---------|------|
|                                       | E              | N               | h       | MC   |
| MET                                   | 722367,0<br>31 | 7702656,<br>025 | 694,673 | -45° |
| BAN                                   | 721649,3<br>60 | 7703349,<br>674 | 708,662 | -45° |
| ETA                                   | 722059,1<br>49 | 7702349,<br>271 | 697,586 | -45° |
| CCE5                                  | 721903,2<br>90 | 7702473,<br>868 | 649,751 | -45° |
| INCRA                                 | 358663,7<br>78 | 7751498,<br>795 | -6,685  | -39° |

Comparando as coordenadas das Tabelas 14 e 15 com as coordenadas de referência das Tabelas 2 e 3, verificaram-se as seguintes discrepâncias apresentadas nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Discrepâncias das coordenadas cartesianas estimadas em tempo real em relação às coordenadas de referência

| Discrepâncias Coordenadas Cartesianas- Tempo Real (metros) |            |            |            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                                            | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ | Resultante |
| MET                                                        | -0,464     | 1,256      | -0,055     | 1,340      |
| BAN                                                        | 1,420      | -1,142     | -2,631     | 3,200      |
| ETA                                                        | 2,528      | -4,276     | -3,252     | 5,937      |
| CCE5                                                       | -1,004     | 0,242      | 0,526      | 1,159      |
| INCRA                                                      | -1,651     | 1,611      | 1,063      | 2,540      |

Tabela 17 – Desvios das coordenadas planas UTM estimadas em tempo real em relação às coordenadas de referência

| Discrepâncias Coordenadas UTM - Tempo Real (metros) |            |            |            |                         |
|-----------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------------------------|
|                                                     | $\Delta E$ | $\Delta N$ | $\Delta h$ | Resultante Planimétrica |
| MET                                                 | 0,598      | -0,483     | -1,097     | 0,769                   |
| BAN                                                 | 0,102      | -1,818     | 2,632      | 1,821                   |
| ETA                                                 | -1,433     | -1,334     | 5,606      | 1,958                   |
| CCE5                                                | -0,503     | 0,179      | -1,028     | 0,534                   |
| INCRA                                               | 0,157      | 0,199      | -2,528     | 0,253                   |
|                                                     |            | Média      | 2,578      | 1,067                   |

Nas Figuras 49 e 50 apresentam-se os gráficos com os valores das Tabelas 16 e 17 respectivamente.

Figura 49 – Gráfico com as discrepâncias das coordenadas cartesianas estimadas em tempo real

Figura 50 – Gráfico com as discrepâncias das coordenadas planas UTM estimadas em tempo real

Pelos dados da Tabela 16 e Figura 49, verificaram-se erros nas coordenadas cartesianas na média de 1,54 m, variando de 0,05 m na componente Z da estação MET a 4,27 m na componente Y da estação ETA.

Pela Tabela 17 e Figura 50, verificou-se pela resultante planimétrica um erro planimétrico médio de 0,98 m, variando de 0,25 m na estação INCRA a 1,95 m na estação ETA. Pela componente  $\Delta h$  constatou-se um erro altimétrico médio de 2,58 m, variando de 1,02 m na estação CCE5 a 5,61 m na estação ETA.

Nas Figuras 51 e 52 apresentam-se os gráficos com a resultante das discrepâncias na horizontal e vertical respectivamente.



Figura 51 – Gráfico com as resultantes das discrepâncias das componentes horizontais das coordenadas UTM processadas em tempo real

Figura 52 – Gráfico com as resultantes das discrepâncias das componentes verticais das coordenadas UTM processadas em tempo real

Percebeu-se que o erro altimétrico chega a até três vezes o erro planimétrico, como no caso da estação ETA, e nas demais o erro se mantém abaixo dos 3 metros. Devido a constelação dos satélites GNSS visíveis ao receptor, é de se esperar melhores resultados nas componentes horizontais do que nas verticais, conforme verificado nestes resultados.

Verificou-se que somente nas estações ETA e BAN teve-se o erro planimétrico maior que 1 metro, acredita-se na presença de *outlier* nestas duas estações devido a variações bruscas nos gráficos. As estações ETA e BAN são as mais propícias a terem erros de multicaminhamento devido à presença de grande vegetação no entorno do marco rastreado.

Estes *outliers* interferindo os resultados apresentam o ônus do método recursivo, uma vez que novas observações são adicionadas ao resultado, novos erros também são adicionados.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em razão dos resultados obtidos, seguidas das análises advindas desta pesquisa em função das implementações realizadas, as conclusões para este trabalho são:

1. A metodologia de processamento relativo em microrreceptores GNSS melhorou de forma significativa seu posicionamento estático, visto que o posicionamento por ponto simples proporcionou um erro planimétrico médio de 6,0 metros e com pós-processamento se reduziu o erro planimétrico médio para 0,29 m.
2. O posicionamento em tempo real pelo método dos mínimos quadrados recursivo utilizando a matriz de ganho de Kalman melhorou de forma significativa a acurácia do posicionamento em microrreceptores GNSS, uma vez que o erro médio planimétrico alcançado foi seis vezes menor que alcançado pelo método convencional de posicionamento destes dispositivos.
3. O pós-processamento se mostrou muito mais eficaz que o processamento em tempo real devido ao uso da fase da onda no pós-processamento e também ao tratamento das observáveis do software utilizado.
4. Apesar das acurácias alcançadas terem atingido a casa dos centímetros ainda é prematuro para apresentar os microrreceptores GNSS como uma boa forma de levantamentos geodésicos e topográficos, pois a inconsistência dos dados lidos ainda é um fator a ser mais estudado.
5. O posicionamento relativo aplicado em tempo real e pós-processado melhorou a acurácia do posicionamento em dispositivos que utilizam microrreceptor GNSS, como os *smartphones*, viabilizando o uso para fins de mapeamento em linhas de base curtas.

As recomendações para trabalhos futuros são:

1. Implementar métodos de detecção de *outliers* nas observáveis;
2. Utilizar a fase da onda da portadora no processamento em tempo real;
3. Utilizar receptores que façam rastreo de dados GPS e GLONASS.
4. Estudar as possibilidades de utilização de dois ou mais microrreceptores simultaneamente trabalhando em frequências diferentes, como L1/L2, por

exemplo, implementando soluções *Ionfree*, e Posicionamento por Ponto Preciso.

5. Aumentar a linha de base.
6. Utilizar microrreceptores nas estações base.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARONI, L. **Análise de algoritmos de navegação para um sistema GPS diferencial em tempo real**, dissertação de mestrado, INPE, 2006

BARONI, KUGA, H. K. **Posicionamento estático por dupla diferença de receptores GPS em tempo real**, INPE, 2007.

BAVARO, M. **Low cost RTK performance round-up**, Fevereiro, 2012. Disponível em <<http://michelebavaro.blogspot.com.br/2012/02/low-cost-rtk-performance-round-up.html>>. Acessado em Maio de 2014.

BLEWITT, G. **Basics of the GPS Technique: Observation Equations**, Department of Geomatics, University of Newcastle, 1997.

CARDOSO, J. D. G. **Sistema de localização baseado em DGPS para aplicações em veículos autónomos**. Universidade de Coimbra, 2009

CSR, **SiRFstarIV™ GSD4e**, Disponível em <<http://www.csr.com/products/35/sirfstariv-gsd4e>>, Acessado em Maio de 2014.

FERREIRA, S. M. O. **Seguimento de Plataformas Móveis**, Dissertação de mestrado em Engenharia Eletrônica e de Computadores, Instituto de Engenharia do Porto (ISEP), 2010.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Editora da UFPR. Curitiba, 1994.

GONZALEZ-MATESANZ, F. J.; WEBER, G.; CELADA, J.; DALDA, A.; QUIROS, R. **El Proyecto EUREF-IP, Resultados con GPRS**. 4ª Assembleia Hispano-Portuguesa de Geodesia e Geofísica. Figueira da Foz (Portugal). 3-7 fevereiro 2004.

GURTNER, W. **RINEX : The Receiver Independent Exchange Format Version 2.11**, Astronomical Institute, University of Berne, 2007.

HOFFMAN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems, GPS, GLONASS, Galileo & more**, SpringerWienNewYork, 2008

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Governo Federal, Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em Maio de 2014.

KALMAN, R. E. **A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems**. Transaction of the ASME – Journal of Basic Engineering, pp. 35-45, Março 1960.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**, New York: Wiley, 1995.

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

OSZCZAK, B.; SERŻYSKO, K. **Decoding of Sirf Binary Protocol**, ARTIFICIAL SATELLITES, Vol. 46, No. 4 – 2011

OSZCZAK, B.; SERŻYSKO, K., TANAJEWSKI, D. **Aplikacja SiRFLogger**, Logistyka, 2011.

PENHA, W. J., GUIMARÃES, N. A., DIAS, J. S., COSTA, M. F. **Avaliação da acurácia dos dados pós-processados de receptores GPS de navegação na determinação de coordenadas planimétricas**, Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 2009.

SAATKAMP, E. D. **Protocolo RTCM-SC104: desenvolvimento histórico e características das versões, aspectos de codificação e decodificação**. I Workshop RBMC, São Paulo, Brasil, 2013.

SACZUK, J. **Mobilne pozycjonowanie GNSS z uzyciem obserwacji fazowych**, II Konferencja Uzytkowników ASG-EUPOS, Katowice, Polónia, 2012.

SIRF TECHNOLOGY INC **NMEA Reference Manual**, San Jose, CA, USA, 2005.

SIRF TECHNOLOGY INC **Sirf Binary Protocol Reference Manual**, San Jose, CA, USA, 2008.

SILVA, H. A. **Avaliação de Modelo Estocásticos no Posicionamento GNSS**, Dissertação de Mestrado, UNESP, Presidente Prudente, 2009.

STRANG, G., BORRE, K. **Linear Algebra, Geodesy and GPS**. Wellesley College, 1997.

TALBOT, N. C. **Real Time High Precision GPS Positioning Concepts: Modelling, Processing and Results**, Phd Thesis, Royal Melbourne Institute of Technology, Department of Land Information, Melbourne, Australia, 1991.

TEUNISSEN, P. J. T. **Quality Control and GPS**, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, section MGP, Thijsseweg 11, 2629 JÁ Delft, The Netherlands, 1998.

TEUNISSEN, P. J. T.. **Dynamic data processing: recursive least-squares**. Netherlands: Delft University Press, 2001.

WEBER, G.; DETTMERING, D.; GEBHARD, H.; KALAFUS, R. **Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip)-IP-Streaming for Real-Time GNSS Applications**, ION GNSS 18<sup>o</sup> International Technical Meeting of the Satellite Division, Long Beach, CA, Setembro 2005.

## ANEXO A

Relatórios de pós-processamento gerados pelos *software* LEICA Geo Office



## Results - Baseline VICO - BAN

---

### Project Information

---

Project name: CCE5  
Date created: 05/07/2014 13:29:02  
Time zone: -3h 00'  
Coordinate system name: WGS84\_UTM23S  
Application software: LEICA Geo Office 5.0  
Processing kernel: PSI-Pro 2.0  
Processed: 05/07/2014 13:47:45

---

### Point Information

---

|                      | Reference: VICO                           | Rover: BAN     |
|----------------------|-------------------------------------------|----------------|
| Receiver type / S/N: | TRIMBLENETR5 / 4651K03571                 | SIRFSTARIV / 0 |
| Initial coordinates: |                                           |                |
| Easting:             | 721757.7116 m                             | 721649.2577 m  |
| Northing:            | 7702785.7517 m                            | 7703351.4921 m |
| Ellip. Hgt:          | 665.9557 m                                | 706.0297 m     |
| Time span:           | 04/28/2014 14:42:14 - 04/28/2014 14:57:29 |                |
| Duration:            | 15' 15"                                   |                |

---

### Processing Parameters

---

| Parameters                                 | Selected  | Used           | Comment |
|--------------------------------------------|-----------|----------------|---------|
| Cut-off angle:                             | 15°       | 15°            |         |
| Ephemeris type (GPS):                      | Broadcast | Broadcast      |         |
| Ephemeris type (GLONASS):                  | Broadcast | Broadcast      |         |
| Solution type:                             | Automatic | Phase: all fix |         |
| GNSS type:                                 | Automatic | GPS            |         |
| Frequency:                                 | Automatic | L1 only        |         |
| Fix ambiguities up to:                     | 80 km     | 80 km          |         |
| Min. duration for float solution (static): | 5' 00"    | 5' 00"         |         |
| Sampling rate:                             | Use all   | 15             |         |
| Tropospheric model:                        | Hopfield  | Hopfield       |         |
| Ionospheric model:                         | Automatic | Computed       |         |
| Use stochastic modelling:                  | Yes       | Yes            |         |
| Min. distance:                             | 8 km      | 8 km           |         |
| Ionospheric activity:                      | Automatic | Automatic      |         |

---

### Computed Iono Model

---

Number of computed models: 1  
Sampling rate of iono model: 30 sec  
Height of single layer: 350 km

**Model 1:**



|                        |             |                     |             |            |
|------------------------|-------------|---------------------|-------------|------------|
| Origin of development: | Latitude:   | 20° 45' 41.40197" S |             |            |
|                        | Longitude:  | 42° 52' 11.96218" W |             |            |
|                        | Time (UT):  | 04/28/2014 16:23:59 |             |            |
| Validity:              | From epoch: | 04/28/2014 13:23:59 |             |            |
|                        | To epoch:   | 04/28/2014 17:48:29 |             |            |
| Coefficients:          | Deg. Lat    | Deg. time           | Value       | rms        |
|                        | 0           | 0                   | 6.88267568  | 0.02918857 |
|                        | 0           | 1                   | -1.29503380 | 0.02948259 |
|                        | 0           | 2                   | -0.35043225 | 0.01065405 |
|                        | 1           | 0                   | 1.87103129  | 0.02113264 |
|                        | 1           | 1                   | -0.22676519 | 0.01575350 |

---

### Observation Statistics

---

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Number of common epochs:              | 58  |
| Number of used observations (L1):     | 435 |
| Number of rejected observations (L1): | 27  |

#### Tracking Status L1:

| Satellite |   | From                | To                  | Status             |
|-----------|---|---------------------|---------------------|--------------------|
| G03       | ✓ | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:42:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:29 | 04/28/2014 14:42:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:42:44 | 04/28/2014 14:42:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:59 | 04/28/2014 14:43:14 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:43:14 | 04/28/2014 14:52:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:52:29 | 04/28/2014 14:52:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:52:44 | 04/28/2014 14:53:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:53:59 | 04/28/2014 14:54:14 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:54:14 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Used     |
| G14       | ✓ | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:42:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:29 | 04/28/2014 14:42:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:42:44 | 04/28/2014 14:42:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:59 | 04/28/2014 14:43:14 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:43:14 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Used     |
| G16       | ✓ | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:42:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:29 | 04/28/2014 14:42:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:42:44 | 04/28/2014 14:42:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:59 | 04/28/2014 14:43:14 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:43:14 | 04/28/2014 14:51:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:51:14 | 04/28/2014 14:51:29 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:51:29 | 04/28/2014 14:52:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:52:29 | 04/28/2014 14:52:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:52:44 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Used     |
| G18       | ✓ | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:42:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:29 | 04/28/2014 14:42:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:42:44 | 04/28/2014 14:42:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:59 | 04/28/2014 14:43:14 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:43:14 | 04/28/2014 14:51:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:51:14 | 04/28/2014 14:51:29 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:51:29 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Used     |
| G19       | ✓ | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:42:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:42:29 | 04/28/2014 14:42:44 | Tracked / Rejected |

|     |   |                     |                     |                    |
|-----|---|---------------------|---------------------|--------------------|
|     | ✓ | 04/28/2014 14:42:44 | 04/28/2014 14:43:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:43:14 | 04/28/2014 14:43:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:43:29 | 04/28/2014 14:51:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:51:14 | 04/28/2014 14:51:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:51:29 | 04/28/2014 14:52:29 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:52:29 | 04/28/2014 14:52:44 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:52:44 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Used     |
| G21 | ✓ | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:42:29 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:42:29 | 04/28/2014 14:42:44 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:42:44 | 04/28/2014 14:43:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:43:14 | 04/28/2014 14:43:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:43:29 | 04/28/2014 14:49:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:49:14 | 04/28/2014 14:49:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:49:29 | 04/28/2014 14:52:29 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:52:29 | 04/28/2014 14:52:44 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:52:44 | 04/28/2014 14:53:59 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:53:59 | 04/28/2014 14:54:14 | No data            |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:54:14 | 04/28/2014 14:56:29 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:56:29 | 04/28/2014 14:56:44 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:56:44 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:57:29 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Rejected |
| G22 | ✓ | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:52:29 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:52:29 | 04/28/2014 14:52:44 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:52:44 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Used     |
| G27 | ✓ | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:42:29 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:42:29 | 04/28/2014 14:42:44 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:42:44 | 04/28/2014 14:43:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:43:14 | 04/28/2014 14:43:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:43:29 | 04/28/2014 14:51:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:51:14 | 04/28/2014 14:51:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:51:29 | 04/28/2014 14:52:29 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 14:52:29 | 04/28/2014 14:52:44 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 14:52:44 | 04/28/2014 14:57:29 | Tracked / Used     |

#### Tracking Summary:

#### Ambiguity Statistics

Total number of GPS ambiguities: 59  
 Number of fixed GPS ambiguities: 0  
 Total number of GLONASS ambiguities: 0  
 Number of fixed GLONASS ambiguities: 0  
 Number of independent fixes: 38  
 Avg. time between independent fixes: 0"

Percentage of fixed epochs (L1): 0%  
 Percentage of fixed epochs (overall): 0%

#### Overall Statistic:

| Status    | From                | To                  | Duration |
|-----------|---------------------|---------------------|----------|
| Not fixed | 04/28/2014 14:42:14 | 04/28/2014 14:57:29 | 15' 15"  |

#### Cycle Slip Statistics

Total number of cycle slips: 51

| Time                | Satellite | Frequency | Slip value | Flags     |
|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 04/28/2014 14:43:59 | G16       | L1        | -          | ria       |
| 04/28/2014 14:43:59 | G19       | L1        | -          | ria       |
| 04/28/2014 14:43:59 | G21       | L1        | -          | ria       |
| 04/28/2014 14:44:29 | G16       | L1        | -          | ria       |
| 04/28/2014 14:44:29 | G21       | L1        | -          | ria       |
| 04/28/2014 14:44:59 | G16       | L1        | 26.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:44:59 | G18       | L1        | 40.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:44:59 | G19       | L1        | 15.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:45:14 | G16       | L1        | 5.00       | flagged   |
| 04/28/2014 14:45:14 | G21       | L1        | -33.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:45:59 | G19       | L1        | -39.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:46:14 | G21       | L1        | -41.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:46:29 | G18       | L1        | -43.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:46:29 | G21       | L1        | 73.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:46:59 | G19       | L1        | 20.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:46:59 | G21       | L1        | -27.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:47:14 | G21       | L1        | 52.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:47:29 | G16       | L1        | -31.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:47:29 | G19       | L1        | -13.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:47:44 | G21       | L1        | -13.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:47:59 | G19       | L1        | -17.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:48:14 | G18       | L1        | 42.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:48:14 | G27       | L1        | -8.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:48:44 | G21       | L1        | 60.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:48:59 | G18       | L1        | -52.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:48:59 | G21       | L1        | -119.00    | flagged   |
| 04/28/2014 14:49:14 | G18       | L1        | 32.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:49:29 | G18       | L1        | -64.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:49:29 | G19       | L1        | -32.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:49:44 | G18       | L1        | 64.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:49:44 | G21       | L1        | 79.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:50:14 | G16       | L1        | -7.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:50:14 | G19       | L1        | 26.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:50:14 | G21       | L1        | -36.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:50:44 | G18       | L1        | -54.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:50:44 | G21       | L1        | -27.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:50:59 | G19       | L1        | 17.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:50:59 | G21       | L1        | -1.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:53:44 | G18       | L1        | -          | ria       |
| 04/28/2014 14:53:44 | G27       | L1        | -11.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:54:14 | G18       | L1        | -11.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:54:44 | G21       | L1        | -          | ria       |
| 04/28/2014 14:55:29 | G18       | L1        | 38.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:55:44 | G03       | L1        | -45.00     | flagged   |
| 04/28/2014 14:56:14 | G21       | L1        | 43.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:56:29 | G21       | L1        | -          | ria       |
| 04/28/2014 14:56:59 | G21       | L1        | -6.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:56:59 | G22       | L1        | -6.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:57:14 | G21       | L1        | 5.00       | flagged   |
| 04/28/2014 14:57:29 | G18       | L1        | 15.00      | flagged   |
| 04/28/2014 14:57:29 | G21       | L1        | -          | ucs + ria |

---

#### Final Coordinates

---

|                      | Reference:VICO                          | Rover:BAN                              |                                         |
|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Coordinates:         |                                         |                                        |                                         |
| Easting:             | 721757.7116 m                           | 721649.7892 m                          |                                         |
| Northing:            | 7702785.7517 m                          | 7703351.4964 m                         |                                         |
| Ellip. Hgt:          | 665.9557 m                              | 706.3505 m                             |                                         |
| Solution type:       | Float                                   |                                        |                                         |
| GNSS type:           | GPS                                     |                                        |                                         |
| Frequency:           | L1 only                                 |                                        |                                         |
| Ambiguity:           | No                                      |                                        |                                         |
| Quality:             | Sd. E: 0.0872 m<br>Posn. Qlty: 0.0923 m | Sd. N: 0.0300 m<br>Sd. Slope: 0.0434 m | Sd. Hgt: 0.0877 m                       |
| M0:                  | 0.9214 m                                |                                        |                                         |
| Cofactor matrix Qxx: | 0.00106165                              | -0.00307340<br>0.00896574              | -0.00185152<br>0.00511308<br>0.00905550 |
| Baseline vector:     | dX: 95.7643 m<br>Slope: 577.3042 m      | dY: -246.2974 m<br>dHgt: 40.3948 m     | dZ: 513.2709 m                          |
| DOPs (min-max):      | GDOP: 2.4 - 2.7<br>PDOP: 2.1 - 2.3      | HDOP: 1.1 - 1.1                        | VDOP: 1.8 - 2.0                         |

---

### Processing Errors and Warnings

---

Warning Sol. type: Too less independent fixes. A fixed solution is not reliable enough.



## Results - Baseline VICO - CCE5

---

### Project Information

---

Project name: CCE5  
Date created: 05/07/2014 13:29:02  
Time zone: -3h 00'  
Coordinate system name: WGS84\_UTM23S  
Application software: LEICA Geo Office 5.0  
Processing kernel: PSI-Pro 2.0  
Processed: 05/07/2014 13:47:45

---

### Point Information

---

|                      | Reference: VICO                           | Rover: CCE5    |
|----------------------|-------------------------------------------|----------------|
| Receiver type / S/N: | TRIMBLENETR5 / 4651K03571                 | SIRFSTARIV / 0 |
| Initial coordinates: |                                           |                |
| Easting:             | 721757.7116 m                             | 721903.7932 m  |
| Northing:            | 7702785.7517 m                            | 7702473.6886 m |
| Ellip. Hgt:          | 665.9557 m                                | 650.7790 m     |
| Time span:           | 04/28/2014 16:48:59 - 04/28/2014 17:03:44 |                |
| Duration:            | 14' 45"                                   |                |

---

### Processing Parameters

---

| Parameters                                 | Selected  | Used           | Comment |
|--------------------------------------------|-----------|----------------|---------|
| Cut-off angle:                             | 15°       | 15°            |         |
| Ephemeris type (GPS):                      | Broadcast | Broadcast      |         |
| Ephemeris type (GLONASS):                  | Broadcast | Broadcast      |         |
| Solution type:                             | Automatic | Phase: all fix |         |
| GNSS type:                                 | Automatic | GPS            |         |
| Frequency:                                 | Automatic | L1 only        |         |
| Fix ambiguities up to:                     | 80 km     | 80 km          |         |
| Min. duration for float solution (static): | 5' 00"    | 5' 00"         |         |
| Sampling rate:                             | Use all   | 15             |         |
| Tropospheric model:                        | Hopfield  | Hopfield       |         |
| Ionospheric model:                         | Automatic | Computed       |         |
| Use stochastic modelling:                  | Yes       | Yes            |         |
| Min. distance:                             | 8 km      | 8 km           |         |
| Ionospheric activity:                      | Automatic | Automatic      |         |

---

### Computed Iono Model

---

Number of computed models: 1  
Sampling rate of iono model: 30 sec  
Height of single layer: 350 km

**Model 1:**

|                        |             |                     |             |            |
|------------------------|-------------|---------------------|-------------|------------|
| Origin of development: | Latitude:   | 20° 45' 41.40197" S |             |            |
|                        | Longitude:  | 42° 52' 11.96218" W |             |            |
|                        | Time (UT):  | 04/28/2014 16:23:59 |             |            |
| Validity:              | From epoch: | 04/28/2014 13:23:59 |             |            |
|                        | To epoch:   | 04/28/2014 17:48:29 |             |            |
| Coefficients:          | Deg. Lat    | Deg. time           | Value       | rms        |
|                        | 0           | 0                   | 6.88267568  | 0.02918857 |
|                        | 0           | 1                   | -1.29503380 | 0.02948259 |
|                        | 0           | 2                   | -0.35043225 | 0.01065405 |
|                        | 1           | 0                   | 1.87103129  | 0.02113264 |
|                        | 1           | 1                   | -0.22676519 | 0.01575350 |

---

### Observation Statistics

---

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Number of common epochs:              | 59  |
| Number of used observations (L1):     | 448 |
| Number of rejected observations (L1): | 17  |

#### Tracking Status L1:

| Satellite |   | From                | To                  | Status             |
|-----------|---|---------------------|---------------------|--------------------|
| G03       | ✓ | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 17:02:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 17:02:14 | 04/28/2014 17:02:29 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 17:02:29 | 04/28/2014 17:03:44 | Tracked / Used     |
| G11       | ✓ | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 17:00:44 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 17:00:44 | 04/28/2014 17:00:59 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 17:00:59 | 04/28/2014 17:02:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 17:02:14 | 04/28/2014 17:02:29 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 17:02:29 | 04/28/2014 17:02:44 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 17:02:44 | 04/28/2014 17:02:59 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 17:02:59 | 04/28/2014 17:03:44 | Tracked / Used     |
| G14       | ✓ | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 16:51:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:51:14 | 04/28/2014 16:51:29 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:51:29 | 04/28/2014 17:02:44 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 17:02:44 | 04/28/2014 17:02:59 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 17:02:59 | 04/28/2014 17:03:44 | Tracked / Used     |
| G19       | ✓ | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 16:51:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:51:14 | 04/28/2014 16:51:29 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:51:29 | 04/28/2014 17:03:44 | Tracked / Used     |
| G22       | ✓ | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 16:49:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:49:14 | 04/28/2014 16:49:29 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:49:29 | 04/28/2014 16:50:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:50:14 | 04/28/2014 16:50:29 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:50:29 | 04/28/2014 16:50:44 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:50:44 | 04/28/2014 16:50:59 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:50:59 | 04/28/2014 16:54:44 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:54:44 | 04/28/2014 16:54:59 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:54:59 | 04/28/2014 16:56:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:56:14 | 04/28/2014 16:56:29 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:56:29 | 04/28/2014 16:58:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:58:59 | 04/28/2014 16:59:14 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:59:14 | 04/28/2014 16:59:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:59:29 | 04/28/2014 16:59:44 | No data            |

|     |   |                     |                     |                    |
|-----|---|---------------------|---------------------|--------------------|
|     | ✓ | 04/28/2014 16:59:44 | 04/28/2014 17:00:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 17:00:14 | 04/28/2014 17:00:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 17:00:29 | 04/28/2014 17:00:44 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 17:00:44 | 04/28/2014 17:00:59 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 17:00:59 | 04/28/2014 17:01:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 17:01:14 | 04/28/2014 17:01:29 | No data            |
|     | ✓ | 04/28/2014 17:01:29 | 04/28/2014 17:01:44 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 17:01:44 | 04/28/2014 17:01:59 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 17:01:59 | 04/28/2014 17:03:44 | Tracked / Used     |
| G27 | ✓ | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 17:02:44 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 17:02:44 | 04/28/2014 17:02:59 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 17:02:59 | 04/28/2014 17:03:44 | Tracked / Used     |
| G31 | ✓ | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 17:03:44 | Tracked / Used     |
| G32 | ✓ | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 16:49:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 16:49:14 | 04/28/2014 16:49:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 16:49:29 | 04/28/2014 16:50:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 16:50:14 | 04/28/2014 16:50:29 | No data            |
|     | ✓ | 04/28/2014 16:50:29 | 04/28/2014 17:00:44 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 17:00:44 | 04/28/2014 17:00:59 | No data            |
|     | ✓ | 04/28/2014 17:00:59 | 04/28/2014 17:02:14 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 17:02:14 | 04/28/2014 17:02:29 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 17:02:29 | 04/28/2014 17:02:44 | Tracked / Used     |
|     | ✗ | 04/28/2014 17:02:44 | 04/28/2014 17:02:59 | Tracked / Rejected |
|     | ✓ | 04/28/2014 17:02:59 | 04/28/2014 17:03:44 | Tracked / Used     |

#### Tracking Summary:

#### Ambiguity Statistics

Total number of GPS ambiguities: 33  
Number of fixed GPS ambiguities: 0  
Total number of GLONASS ambiguities: 0  
Number of fixed GLONASS ambiguities: 0  
Number of independent fixes: 51  
Avg. time between independent fixes: 0"

Percentage of fixed epochs (L1): 0%  
Percentage of fixed epochs (overall): 0%

#### Overall Statistic:

| Status    | From                | To                  | Duration |
|-----------|---------------------|---------------------|----------|
| Not fixed | 04/28/2014 16:48:59 | 04/28/2014 17:03:44 | 14' 45"  |

#### Cycle Slip Statistics

Total number of cycle slips: 49

| Time                | Satellite | Frequency | Slip value | Flags   |
|---------------------|-----------|-----------|------------|---------|
| 04/28/2014 16:49:14 | G22       | L1        | -          | ria     |
| 04/28/2014 16:49:14 | G32       | L1        | -          | ria     |
| 04/28/2014 16:49:59 | G32       | L1        | 24.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:50:14 | G22       | L1        | -          | ria     |
| 04/28/2014 16:50:44 | G22       | L1        | -          | ria     |
| 04/28/2014 16:51:29 | G32       | L1        | -15.00     | flagged |

|                     |     |    |        |           |
|---------------------|-----|----|--------|-----------|
| 04/28/2014 16:51:44 | G11 | L1 | 29.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:51:44 | G22 | L1 | -11.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:51:59 | G22 | L1 | -5.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:52:14 | G22 | L1 | 26.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:52:29 | G32 | L1 | -28.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:53:14 | G11 | L1 | -23.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:53:14 | G22 | L1 | 4.00   | flagged   |
| 04/28/2014 16:53:29 | G22 | L1 | 31.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:53:44 | G22 | L1 | -65.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:53:59 | G03 | L1 | 8.00   | flagged   |
| 04/28/2014 16:53:59 | G22 | L1 | 45.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:53:59 | G32 | L1 | 28.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:54:29 | G22 | L1 | -81.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:54:29 | G32 | L1 | -33.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:54:59 | G32 | L1 | -1.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:55:14 | G11 | L1 | -47.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:55:44 | G22 | L1 | -26.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:55:44 | G32 | L1 | 63.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:55:59 | G32 | L1 | -22.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:56:14 | G22 | L1 | -      | ria       |
| 04/28/2014 16:56:14 | G32 | L1 | -45.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:56:29 | G03 | L1 | 10.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:56:44 | G22 | L1 | 81.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:57:14 | G03 | L1 | 5.00   | flagged   |
| 04/28/2014 16:57:14 | G22 | L1 | -37.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:57:14 | G32 | L1 | 39.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:57:29 | G32 | L1 | -2.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:57:44 | G03 | L1 | -42.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:57:59 | G22 | L1 | -1.00  | ucs       |
| 04/28/2014 16:58:14 | G22 | L1 | 38.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:58:29 | G22 | L1 | -79.00 | flagged   |
| 04/28/2014 16:58:44 | G03 | L1 | 23.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:58:44 | G22 | L1 | 23.00  | flagged   |
| 04/28/2014 16:58:59 | G22 | L1 | -      | ucs + ria |
| 04/28/2014 16:59:59 | G22 | L1 | -      | ria       |
| 04/28/2014 17:00:44 | G22 | L1 | -      | ria       |
| 04/28/2014 17:00:59 | G14 | L1 | 23.00  | flagged   |
| 04/28/2014 17:01:44 | G22 | L1 | -      | ucs + ria |
| 04/28/2014 17:01:59 | G27 | L1 | 7.00   | flagged   |
| 04/28/2014 17:02:59 | G14 | L1 | 30.00  | flagged   |
| 04/28/2014 17:03:14 | G22 | L1 | -3.00  | flagged   |
| 04/28/2014 17:03:29 | G22 | L1 | -65.00 | flagged   |
| 04/28/2014 17:03:44 | G22 | L1 | 40.00  | flagged   |

---

#### Final Coordinates

---

|                |                       |                   |
|----------------|-----------------------|-------------------|
|                | <b>Reference:VICO</b> | <b>Rover:CCE5</b> |
| Coordinates:   |                       |                   |
| Easting:       | 721757.7116 m         | 721903.9147 m     |
| Northing:      | 7702785.7517 m        | 7702473.8745 m    |
| Ellip. Hgt:    | 665.9557 m            | 650.9881 m        |
| Solution type: | Float                 |                   |
| GNSS type:     | GPS                   |                   |
| Frequency:     | L1 only               |                   |
| Ambiguity:     | No                    |                   |



|                      |                                         |                                        |                                        |
|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Quality:             | Sd. E: 0.0038 m<br>Posn. Qlty: 0.0074 m | Sd. N: 0.0063 m<br>Sd. Slope: 0.0060 m | Sd. Hgt: 0.0309 m                      |
| M0:                  | 0.6798 m                                |                                        |                                        |
| Cofactor matrix Qxx: | 0.00008587                              | 0.00001954<br>0.00003089               | 0.00026749<br>0.00021681<br>0.00206296 |
| Baseline vector:     | dX: 11.4729 m<br>Slope: 344.7347 m      | dY: 194.4069 m<br>dHgt: -14.9676 m     | dZ: -284.4579 m                        |
| DOPs (min-max):      | GDOP: 4.2 - 9.1<br>PDOP: 3.6 - 7.8      | HDOP: 1.0 - 1.8                        | VDOP: 3.4 - 7.6                        |

---

### Processing Errors and Warnings

---

Warning Sol. type: Too less independent fixes. A fixed solution is not reliable enough.



## Results - Baseline VICO - ETA

---

### Project Information

---

Project name: CCE5  
Date created: 05/07/2014 13:29:02  
Time zone: -3h 00'  
Coordinate system name: WGS84\_UTM23S  
Application software: LEICA Geo Office 5.0  
Processing kernel: PSI-Pro 2.0  
Processed: 05/07/2014 13:47:45

---

### Point Information

---

|                      | Reference: VICO                           | Rover: ETA     |
|----------------------|-------------------------------------------|----------------|
| Receiver type / S/N: | TRIMBLENETR5 / 4651K03571                 | SIRFSTARIV / 0 |
| Initial coordinates: |                                           |                |
| Easting:             | 721757.7116 m                             | 722060.4581 m  |
| Northing:            | 7702785.7517 m                            | 7702341.2545 m |
| Ellip. Hgt:          | 665.9557 m                                | 695.5256 m     |
| Time span:           | 04/28/2014 16:24:14 - 04/28/2014 16:39:14 |                |
| Duration:            | 15' 00"                                   |                |

---

### Processing Parameters

---

| Parameters                                 | Selected  | Used           | Comment |
|--------------------------------------------|-----------|----------------|---------|
| Cut-off angle:                             | 15°       | 15°            |         |
| Ephemeris type (GPS):                      | Broadcast | Broadcast      |         |
| Ephemeris type (GLONASS):                  | Broadcast | Broadcast      |         |
| Solution type:                             | Automatic | Phase: all fix |         |
| GNSS type:                                 | Automatic | GPS            |         |
| Frequency:                                 | Automatic | L1 only        |         |
| Fix ambiguities up to:                     | 80 km     | 80 km          |         |
| Min. duration for float solution (static): | 5' 00"    | 5' 00"         |         |
| Sampling rate:                             | Use all   | 15             |         |
| Tropospheric model:                        | Hopfield  | Hopfield       |         |
| Ionospheric model:                         | Automatic | Computed       |         |
| Use stochastic modelling:                  | Yes       | Yes            |         |
| Min. distance:                             | 8 km      | 8 km           |         |
| Ionospheric activity:                      | Automatic | Automatic      |         |

---

### Computed Iono Model

---

Number of computed models: 1  
Sampling rate of iono model: 30 sec  
Height of single layer: 350 km

Model 1:

|                        |             |                     |             |            |
|------------------------|-------------|---------------------|-------------|------------|
| Origin of development: | Latitude:   | 20° 45' 41.40197" S |             |            |
|                        | Longitude:  | 42° 52' 11.96218" W |             |            |
|                        | Time (UT):  | 04/28/2014 16:23:59 |             |            |
| Validity:              | From epoch: | 04/28/2014 13:23:59 |             |            |
|                        | To epoch:   | 04/28/2014 17:48:29 |             |            |
| Coefficients:          | Deg. Lat    | Deg. time           | Value       | rms        |
|                        | 0           | 0                   | 6.88267568  | 0.02918857 |
|                        | 0           | 1                   | -1.29503380 | 0.02948259 |
|                        | 0           | 2                   | -0.35043225 | 0.01065405 |
|                        | 1           | 0                   | 1.87103129  | 0.02113264 |
|                        | 1           | 1                   | -0.22676519 | 0.01575350 |

---

### Observation Statistics

---

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Number of common epochs:              | 60  |
| Number of used observations (L1):     | 445 |
| Number of rejected observations (L1): | 3   |

#### Tracking Status L1:

| Satellite |   | From                | To                  | Status             |
|-----------|---|---------------------|---------------------|--------------------|
| G03       | ✓ | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:38:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:38:29 | 04/28/2014 16:38:44 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:38:44 | 04/28/2014 16:39:14 | Tracked / Used     |
| G11       | ✓ | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:24:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:24:29 | 04/28/2014 16:24:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:24:44 | 04/28/2014 16:32:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:32:59 | 04/28/2014 16:33:14 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:33:14 | 04/28/2014 16:39:14 | Tracked / Used     |
| G14       | ✗ | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:24:29 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:24:29 | 04/28/2014 16:27:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:27:14 | 04/28/2014 16:27:29 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:27:29 | 04/28/2014 16:32:44 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:32:44 | 04/28/2014 16:32:59 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:32:59 | 04/28/2014 16:39:14 | Tracked / Used     |
| G19       | ✓ | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:39:14 | Tracked / Used     |
| G22       | ✓ | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:39:14 | Tracked / Used     |
| G27       | ✓ | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:38:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:38:29 | 04/28/2014 16:38:44 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:38:44 | 04/28/2014 16:39:14 | Tracked / Used     |
| G31       | ✓ | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:24:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:24:29 | 04/28/2014 16:24:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:24:44 | 04/28/2014 16:29:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:29:14 | 04/28/2014 16:29:29 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:29:29 | 04/28/2014 16:35:44 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 16:35:44 | 04/28/2014 16:35:59 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:35:59 | 04/28/2014 16:39:14 | Tracked / Used     |
| G32       | ✗ | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:30:29 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 16:30:29 | 04/28/2014 16:39:14 | Tracked / Used     |

#### Tracking Summary:

---

## Ambiguity Statistics

Total number of GPS ambiguities: 19  
 Number of fixed GPS ambiguities: 0  
 Total number of GLONASS ambiguities: 0  
 Number of fixed GLONASS ambiguities: 0  
 Number of independent fixes: 41  
 Avg. time between independent fixes: 0"

Percentage of fixed epochs (L1): 0%  
 Percentage of fixed epochs (overall): 0%

### Overall Statistic:

| Status    | From                | To                  | Duration |
|-----------|---------------------|---------------------|----------|
| Not fixed | 04/28/2014 16:24:14 | 04/28/2014 16:39:14 | 15' 00"  |

## Cycle Slip Statistics

Total number of cycle slips: 65

| Time                | Satellite | Frequency | Slip value | Flags   |
|---------------------|-----------|-----------|------------|---------|
| 04/28/2014 16:24:29 | G11       | L1        | -          | ria     |
| 04/28/2014 16:24:29 | G31       | L1        | -          | ria     |
| 04/28/2014 16:26:14 | G22       | L1        | -1.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:26:14 | G27       | L1        | -22.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:26:29 | G22       | L1        | -77.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:26:44 | G22       | L1        | 45.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:26:44 | G31       | L1        | -30.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:26:59 | G11       | L1        | -31.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:26:59 | G22       | L1        | -13.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:27:14 | G22       | L1        | 31.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:27:29 | G11       | L1        | -22.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:27:44 | G27       | L1        | 37.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:28:14 | G11       | L1        | -2.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:28:14 | G31       | L1        | 44.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:28:29 | G27       | L1        | -3.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:28:29 | G31       | L1        | -48.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:28:44 | G22       | L1        | 23.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:28:44 | G31       | L1        | 12.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:28:59 | G11       | L1        | 51.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:28:59 | G22       | L1        | -44.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:29:14 | G11       | L1        | -38.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:29:29 | G11       | L1        | 39.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:29:44 | G11       | L1        | -38.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:29:44 | G31       | L1        | -102.00    | flagged |
| 04/28/2014 16:29:59 | G31       | L1        | 87.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:30:14 | G31       | L1        | 37.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:30:29 | G11       | L1        | -3.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:30:29 | G31       | L1        | -97.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:30:59 | G31       | L1        | 36.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:31:14 | G11       | L1        | -1.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:31:14 | G22       | L1        | 77.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:31:14 | G31       | L1        | 54.00      | flagged |
| 04/28/2014 16:31:29 | G22       | L1        | -77.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:31:44 | G11       | L1        | -31.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:31:44 | G27       | L1        | -32.00     | flagged |
| 04/28/2014 16:31:59 | G22       | L1        | -9.00      | flagged |

|                     |     |    |         |         |
|---------------------|-----|----|---------|---------|
| 04/28/2014 16:32:29 | G22 | L1 | 44.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:32:44 | G22 | L1 | -10.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:33:14 | G22 | L1 | 15.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:33:14 | G31 | L1 | -67.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:33:29 | G03 | L1 | 27.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:33:29 | G22 | L1 | 2.00    | flagged |
| 04/28/2014 16:33:29 | G31 | L1 | 54.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:34:14 | G22 | L1 | 16.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:34:14 | G32 | L1 | 30.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:34:29 | G31 | L1 | -11.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:35:14 | G22 | L1 | -19.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:35:29 | G31 | L1 | -15.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:35:44 | G22 | L1 | -51.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:35:59 | G22 | L1 | 53.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:36:14 | G22 | L1 | -105.00 | flagged |
| 04/28/2014 16:36:29 | G03 | L1 | -20.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:36:29 | G22 | L1 | 60.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:36:44 | G22 | L1 | -42.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:36:59 | G11 | L1 | -36.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:36:59 | G22 | L1 | 5.00    | flagged |
| 04/28/2014 16:37:14 | G03 | L1 | 31.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:37:14 | G22 | L1 | 16.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:37:29 | G31 | L1 | 8.00    | flagged |
| 04/28/2014 16:37:44 | G22 | L1 | -10.00  | flagged |
| 04/28/2014 16:37:59 | G11 | L1 | 51.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:37:59 | G22 | L1 | 17.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:37:59 | G31 | L1 | 2.00    | flagged |
| 04/28/2014 16:38:14 | G22 | L1 | 49.00   | flagged |
| 04/28/2014 16:38:29 | G31 | L1 | 2.00    | flagged |

---

#### Final Coordinates

---

|                      | Reference:VICO                          | Rover:ETA                              |                                         |
|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Coordinates:         |                                         |                                        |                                         |
| Easting:             | 721757.7116 m                           | 722060.2123 m                          |                                         |
| Northing:            | 7702785.7517 m                          | 7702350.5948 m                         |                                         |
| Ellip. Hgt:          | 665.9557 m                              | 691.9603 m                             |                                         |
| Solution type:       | Float                                   |                                        |                                         |
| GNSS type:           | GPS                                     |                                        |                                         |
| Frequency:           | L1 only                                 |                                        |                                         |
| Ambiguity:           | No                                      |                                        |                                         |
| Quality:             | Sd. E: 0.0342 m<br>Posn. Qlty: 0.0366 m | Sd. N: 0.0129 m<br>Sd. Slope: 0.0310 m | Sd. Hgt: 0.0476 m                       |
| M0:                  | 0.6821 m                                |                                        |                                         |
| Cofactor matrix Qxx: | 0.00035775                              | -0.00092737<br>0.00251689              | -0.00049740<br>0.00091198<br>0.00487659 |
| Baseline vector:     | dX: 115.4774 m<br>Slope: 530.5537 m     | dY: 313.2997 m<br>dHgt: 26.0047 m      | dZ: -412.3051 m                         |
| DOPs (min-max):      | GDOP: 2.7 - 5.3<br>PDOP: 2.3 - 4.4      | HDOP: 1.0 - 2.0                        | VDOP: 2.1 - 3.9                         |

---

#### Processing Errors and Warnings

---



## Results - Baseline CEFE - INCRA

---

### Project Information

---

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Project name:           | INCRA/ES-Sirf        |
| Date created:           | 05/12/2014 17:15:20  |
| Time zone:              | -3h 00'              |
| Coordinate system name: | UTM-WGS84-24         |
| Application software:   | LEICA Geo Office 5.0 |
| Processing kernel:      | PSI-Pro 2.0          |
| Processed:              | 05/12/2014 17:34:54  |

---

### Point Information

---

|                      |                                           |                     |
|----------------------|-------------------------------------------|---------------------|
|                      | <b>Reference: CEFE</b>                    | <b>Rover: INCRA</b> |
| Receiver type / S/N: | Trimble / 0                               | SIRFSTARIV / 0      |
| Initial coordinates: |                                           |                     |
| Easting:             | 362241.7244 m                             | 358662.8205 m       |
| Northing:            | 7753574.9120 m                            | 7751499.9441 m      |
| Ellip. Hgt:          | 14.3099 m                                 | 4.3398 m            |
| Time span:           | 05/12/2014 07:50:04 - 05/12/2014 08:05:34 |                     |
| Duration:            | 15' 30"                                   |                     |

---

### Processing Parameters

---

| Parameters                                 | Selected  | Used           | Comment |
|--------------------------------------------|-----------|----------------|---------|
| Cut-off angle:                             | 15°       | 15°            |         |
| Ephemeris type (GPS):                      | Broadcast | Broadcast      |         |
| Ephemeris type (GLONASS):                  | Broadcast | Broadcast      |         |
| Solution type:                             | Automatic | Phase: all fix |         |
| GNSS type:                                 | Automatic | GPS            |         |
| Frequency:                                 | Automatic | L1 only        |         |
| Fix ambiguities up to:                     | 80 km     | 80 km          |         |
| Min. duration for float solution (static): | 5' 00"    | 5' 00"         |         |
| Sampling rate:                             | Use all   | 5              |         |
| Tropospheric model:                        | Hopfield  | Hopfield       |         |
| Ionospheric model:                         | Automatic | Computed       |         |
| Use stochastic modelling:                  | Yes       | Yes            |         |
| Min. distance:                             | 8 km      | 8 km           |         |
| Ionospheric activity:                      | Automatic | Automatic      |         |

---

### Computed Iono Model

---

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| Number of computed models:   | 1      |
| Sampling rate of iono model: | 30 sec |
| Height of single layer:      | 350 km |

**Model 1:**

|                        |             |                     |             |            |
|------------------------|-------------|---------------------|-------------|------------|
| Origin of development: | Latitude:   | 20° 18' 38.86001" S |             |            |
|                        | Longitude:  | 40° 19' 10.03760" W |             |            |
|                        | Time (UT):  | 05/12/2014 10:05:04 |             |            |
| Validity:              | From epoch: | 05/12/2014 07:05:04 |             |            |
|                        | To epoch:   | 05/12/2014 08:59:39 |             |            |
| Coefficients:          | Deg. Lat    | Deg. time           | Value       | rms        |
|                        | 0           | 0                   | 1.95034614  | 0.00691010 |
|                        | 0           | 1                   | 1.30243990  | 0.00747748 |
|                        | 0           | 2                   | -0.08095538 | 0.00864138 |
|                        | 1           | 0                   | 0.42151190  | 0.00571184 |
|                        | 1           | 1                   | 0.02354318  | 0.00751719 |

---

### Observation Statistics

---

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Number of common epochs:              | 179  |
| Number of used observations (L1):     | 1091 |
| Number of rejected observations (L1): | 0    |

#### Tracking Status L1:

| Satellite |   | From                | To                  | Status         |
|-----------|---|---------------------|---------------------|----------------|
| G02       | ✓ | 05/12/2014 07:50:04 | 05/12/2014 07:56:24 | Tracked / Used |
|           | ✗ | 05/12/2014 07:56:24 | 05/12/2014 07:56:29 | No data        |
|           | ✓ | 05/12/2014 07:56:29 | 05/12/2014 08:03:14 | Tracked / Used |
|           | ✗ | 05/12/2014 08:03:14 | 05/12/2014 08:03:19 | No data        |
|           | ✓ | 05/12/2014 08:03:19 | 05/12/2014 08:05:34 | Tracked / Used |
| G05       | ✓ | 05/12/2014 07:50:04 | 05/12/2014 07:58:49 | Tracked / Used |
|           | ✗ | 05/12/2014 07:58:49 | 05/12/2014 07:58:54 | No data        |
|           | ✓ | 05/12/2014 07:58:54 | 05/12/2014 08:05:34 | Tracked / Used |
| G12       | ✓ | 05/12/2014 07:50:04 | 05/12/2014 08:05:34 | Tracked / Used |
| G21       | ✗ | 05/12/2014 07:50:04 | 05/12/2014 08:03:29 | No data        |
|           | ✓ | 05/12/2014 08:03:29 | 05/12/2014 08:05:34 | Tracked / Used |
| G24       | ✓ | 05/12/2014 07:50:04 | 05/12/2014 08:01:54 | Tracked / Used |
|           | ✗ | 05/12/2014 08:01:54 | 05/12/2014 08:01:59 | No data        |
|           | ✓ | 05/12/2014 08:01:59 | 05/12/2014 08:03:19 | Tracked / Used |
|           | ✗ | 05/12/2014 08:03:19 | 05/12/2014 08:03:24 | No data        |
|           | ✓ | 05/12/2014 08:03:24 | 05/12/2014 08:05:34 | Tracked / Used |
| G25       | ✓ | 05/12/2014 07:50:04 | 05/12/2014 07:58:49 | Tracked / Used |
|           | ✗ | 05/12/2014 07:58:49 | 05/12/2014 07:58:54 | No data        |
|           | ✓ | 05/12/2014 07:58:54 | 05/12/2014 08:05:34 | Tracked / Used |
| G29       | ✓ | 05/12/2014 07:50:04 | 05/12/2014 08:03:14 | Tracked / Used |
|           | ✗ | 05/12/2014 08:03:14 | 05/12/2014 08:03:24 | No data        |
|           | ✓ | 05/12/2014 08:03:24 | 05/12/2014 08:05:34 | Tracked / Used |

---

### Ambiguity Statistics

---

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Total number of GPS ambiguities:     | 17 |
| Number of fixed GPS ambiguities:     | 0  |
| Total number of GLONASS ambiguities: | 0  |
| Number of fixed GLONASS ambiguities: | 0  |
| Number of independent fixes:         | 89 |
| Avg. time between independent fixes: | 0" |

Percentage of fixed epochs (L1): 0%  
 Percentage of fixed epochs (overall): 0%

#### Overall Statistic:

| Status    | From                | To                  | Duration |
|-----------|---------------------|---------------------|----------|
| Not fixed | 05/12/2014 07:50:04 | 05/12/2014 08:05:34 | 15' 30"  |

#### Cycle Slip Statistics

Total number of cycle slips: 17

| Time                | Satellite | Frequency | Slip value | Flags   |
|---------------------|-----------|-----------|------------|---------|
| 05/12/2014 07:50:19 | G29       | L1        | -8.00      | flagged |
| 05/12/2014 07:50:24 | G29       | L1        | -32.00     | flagged |
| 05/12/2014 07:50:49 | G29       | L1        | 28.00      | flagged |
| 05/12/2014 07:50:54 | G29       | L1        | -31.00     | flagged |
| 05/12/2014 07:50:59 | G29       | L1        | 31.00      | flagged |
| 05/12/2014 07:51:34 | G29       | L1        | -7.00      | flagged |
| 05/12/2014 07:52:04 | G29       | L1        | 42.00      | flagged |
| 05/12/2014 07:52:09 | G29       | L1        | -35.00     | flagged |
| 05/12/2014 07:53:04 | G29       | L1        | 14.00      | flagged |
| 05/12/2014 07:57:39 | G29       | L1        | 11.00      | flagged |
| 05/12/2014 07:58:24 | G29       | L1        | -44.00     | flagged |
| 05/12/2014 07:58:44 | G29       | L1        | 39.00      | flagged |
| 05/12/2014 08:01:04 | G29       | L1        | -37.00     | flagged |
| 05/12/2014 08:03:49 | G21       | L1        | 40.00      | flagged |
| 05/12/2014 08:03:54 | G21       | L1        | -38.00     | flagged |
| 05/12/2014 08:03:59 | G21       | L1        | 30.00      | flagged |
| 05/12/2014 08:04:09 | G21       | L1        | 61.00      | flagged |

#### Final Coordinates

|                      | Reference:CEFE                                | Rover:INCRA                            |                                         |
|----------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Coordinates:         |                                               |                                        |                                         |
| Easting:             | 362241.7244 m                                 | 358663.4827 m                          |                                         |
| Northing:            | 7753574.9120 m                                | 7751498.5231 m                         |                                         |
| Ellip. Hgt:          | 14.3099 m                                     | -4.1878 m                              |                                         |
| Solution type:       | Float                                         |                                        |                                         |
| GNSS type:           | GPS                                           |                                        |                                         |
| Frequency:           | L1 only                                       |                                        |                                         |
| Ambiguity:           | No                                            |                                        |                                         |
| Quality:             | Sd. E: 0.0455 m<br>Posn. Qlty: 0.0464 m       | Sd. N: 0.0089 m<br>Sd. Slope: 0.0394 m | Sd. Hgt: 0.0185 m                       |
| M0:                  | 0.4544 m                                      |                                        |                                         |
| Cofactor matrix Qxx: | 0.00038357                                    | -0.00016916<br>0.01001749              | 0.00001859<br>-0.00111743<br>0.00164845 |
| Baseline vector:     | dLat: -0° 01' 06.58537"<br>Slope: 4137.7564 m | dLon: -0° 02' 03.94317"                | dHgt: -18.4977 m                        |
| DOPs (min-max):      | GDOP: 3.0 - 8.3<br>PDOP: 2.6 - 6.4            | HDOP: 1.1 - 3.6                        | VDOP: 2.3 - 5.3                         |





## Results - Baseline VICO - MET

---

### Project Information

---

Project name: CCE5  
Date created: 05/07/2014 13:29:02  
Time zone: -3h 00'  
Coordinate system name: WGS84\_UTM23S  
Application software: LEICA Geo Office 5.0  
Processing kernel: PSI-Pro 2.0  
Processed: 05/07/2014 13:47:45

---

### Point Information

---

|                      | Reference: VICO                           | Rover: MET     |
|----------------------|-------------------------------------------|----------------|
| Receiver type / S/N: | TRIMBLENETR5 / 4651K03571                 | SIRFSTARIV / 0 |
| Initial coordinates: |                                           |                |
| Easting:             | 721757.7116 m                             | 722366.4326 m  |
| Northing:            | 7702785.7517 m                            | 7702656.5082 m |
| Ellip. Hgt:          | 665.9557 m                                | 695.7700 m     |
| Time span:           | 04/28/2014 14:08:59 - 04/28/2014 14:24:44 |                |
| Duration:            | 15' 45"                                   |                |

---

### Processing Parameters

---

| Parameters                                 | Selected  | Used           | Comment |
|--------------------------------------------|-----------|----------------|---------|
| Cut-off angle:                             | 15°       | 15°            |         |
| Ephemeris type (GPS):                      | Broadcast | Broadcast      |         |
| Ephemeris type (GLONASS):                  | Broadcast | Broadcast      |         |
| Solution type:                             | Automatic | Phase: all fix |         |
| GNSS type:                                 | Automatic | GPS            |         |
| Frequency:                                 | Automatic | L1 only        |         |
| Fix ambiguities up to:                     | 80 km     | 80 km          |         |
| Min. duration for float solution (static): | 5' 00"    | 5' 00"         |         |
| Sampling rate:                             | Use all   | 15             |         |
| Tropospheric model:                        | Hopfield  | Hopfield       |         |
| Ionospheric model:                         | Automatic | Computed       |         |
| Use stochastic modelling:                  | Yes       | Yes            |         |
| Min. distance:                             | 8 km      | 8 km           |         |
| Ionospheric activity:                      | Automatic | Automatic      |         |

---

### Computed Iono Model

---

Number of computed models: 1  
Sampling rate of iono model: 30 sec  
Height of single layer: 350 km

Model 1:

|                        |             |                     |             |            |
|------------------------|-------------|---------------------|-------------|------------|
| Origin of development: | Latitude:   | 20° 45' 41.40197" S |             |            |
|                        | Longitude:  | 42° 52' 11.96218" W |             |            |
|                        | Time (UT):  | 04/28/2014 16:23:59 |             |            |
| Validity:              | From epoch: | 04/28/2014 13:23:59 |             |            |
|                        | To epoch:   | 04/28/2014 17:48:29 |             |            |
| Coefficients:          | Deg. Lat    | Deg. time           | Value       | rms        |
|                        | 0           | 0                   | 6.88267568  | 0.02918857 |
|                        | 0           | 1                   | -1.29503380 | 0.02948259 |
|                        | 0           | 2                   | -0.35043225 | 0.01065405 |
|                        | 1           | 0                   | 1.87103129  | 0.02113264 |
|                        | 1           | 1                   | -0.22676519 | 0.01575350 |

---

### Observation Statistics

---

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Number of common epochs:              | 57  |
| Number of used observations (L1):     | 385 |
| Number of rejected observations (L1): | 66  |

### Tracking Status L1:

| Satellite |   | From                | To                  | Status             |
|-----------|---|---------------------|---------------------|--------------------|
| G03       | ✓ | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:12:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:12:59 | 04/28/2014 14:13:14 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:13:14 | 04/28/2014 14:18:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:18:29 | 04/28/2014 14:20:44 | Tracked / Rejected |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:20:44 | 04/28/2014 14:22:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:22:59 | 04/28/2014 14:23:29 | No data            |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:23:29 | 04/28/2014 14:24:44 | Tracked / Rejected |
| G14       | ✓ | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:18:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:18:14 | 04/28/2014 14:18:29 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:18:29 | 04/28/2014 14:24:44 | Tracked / Used     |
| G16       | ✓ | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:10:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:10:29 | 04/28/2014 14:10:44 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:10:44 | 04/28/2014 14:18:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:18:29 | 04/28/2014 14:24:44 | Tracked / Rejected |
| G18       | ✓ | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:18:14 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:18:14 | 04/28/2014 14:18:29 | No data            |
|           | ✓ | 04/28/2014 14:18:29 | 04/28/2014 14:24:44 | Tracked / Used     |
| G21       | ✓ | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:18:29 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:18:29 | 04/28/2014 14:24:44 | Tracked / Rejected |
| G22       | ✓ | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:24:44 | Tracked / Used     |
| G27       | ✓ | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:24:44 | Tracked / Used     |
| G29       | ✓ | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:22:59 | Tracked / Used     |
|           | ✗ | 04/28/2014 14:22:59 | 04/28/2014 14:24:44 | Tracked / Rejected |

### Tracking Summary:

---

### Ambiguity Statistics

---

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Total number of GPS ambiguities:     | 15 |
| Number of fixed GPS ambiguities:     | 6  |
| Total number of GLONASS ambiguities: | 0  |
| Number of fixed GLONASS ambiguities: | 0  |

Number of independent fixes: 51  
 Avg. time between independent fixes: 1' 30"

Percentage of fixed epochs (L1): 49%  
 Percentage of fixed epochs (overall): 40%

**Overall Statistic:**

| Status    | From                | To                  | Duration |
|-----------|---------------------|---------------------|----------|
| Not fixed | 04/28/2014 14:08:59 | 04/28/2014 14:18:29 | 9' 30"   |
| Fixed     | 04/28/2014 14:18:29 | 04/28/2014 14:24:44 | 6' 15"   |

---

**Cycle Slip Statistics**

---

Total number of cycle slips: 51

| Time                | Satellite | Frequency | Slip value | Flags   |
|---------------------|-----------|-----------|------------|---------|
| 04/28/2014 14:10:14 | G16       | L1        | 40.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:10:14 | G21       | L1        | 16.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:10:59 | G03       | L1        | -48.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:10:59 | G27       | L1        | -32.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:11:14 | G03       | L1        | 62.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:11:14 | G16       | L1        | -7.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:11:29 | G03       | L1        | -55.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:11:29 | G16       | L1        | -45.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:11:29 | G21       | L1        | -21.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:11:44 | G03       | L1        | 35.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:11:44 | G16       | L1        | 43.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:12:14 | G03       | L1        | -23.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:12:29 | G16       | L1        | 3.00       | flagged |
| 04/28/2014 14:12:44 | G03       | L1        | -17.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:12:59 | G21       | L1        | -16.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:13:14 | G27       | L1        | 40.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:13:29 | G16       | L1        | -50.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:13:44 | G16       | L1        | 36.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:14:14 | G21       | L1        | 12.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:14:29 | G03       | L1        | 22.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:14:29 | G29       | L1        | 12.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:15:29 | G03       | L1        | -3.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:15:29 | G16       | L1        | -41.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:15:44 | G03       | L1        | 59.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:15:44 | G16       | L1        | 40.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:15:59 | G03       | L1        | -7.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:16:14 | G16       | L1        | -19.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:16:14 | G21       | L1        | -34.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:16:59 | G16       | L1        | 37.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:17:29 | G16       | L1        | -17.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:17:29 | G29       | L1        | 16.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:18:14 | G29       | L1        | 3.00       | flagged |
| 04/28/2014 14:18:44 | G16       | L1        | -24.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:18:59 | G03       | L1        | -27.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:18:59 | G21       | L1        | 7.00       | flagged |
| 04/28/2014 14:19:14 | G16       | L1        | 21.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:19:14 | G21       | L1        | 37.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:19:29 | G27       | L1        | -61.00     | flagged |
| 04/28/2014 14:20:29 | G21       | L1        | 6.00       | flagged |
| 04/28/2014 14:20:44 | G03       | L1        | 45.00      | flagged |
| 04/28/2014 14:20:44 | G21       | L1        | -59.00     | flagged |

|                     |     |    |        |         |
|---------------------|-----|----|--------|---------|
| 04/28/2014 14:20:59 | G16 | L1 | 7.00   | flagged |
| 04/28/2014 14:21:14 | G16 | L1 | 3.00   | flagged |
| 04/28/2014 14:21:29 | G03 | L1 | -47.00 | flagged |
| 04/28/2014 14:21:44 | G16 | L1 | -23.00 | flagged |
| 04/28/2014 14:21:59 | G16 | L1 | 13.00  | flagged |
| 04/28/2014 14:22:29 | G16 | L1 | -26.00 | flagged |
| 04/28/2014 14:23:59 | G16 | L1 | -20.00 | flagged |
| 04/28/2014 14:24:14 | G16 | L1 | 24.00  | flagged |
| 04/28/2014 14:24:14 | G21 | L1 | -17.00 | flagged |
| 04/28/2014 14:24:29 | G03 | L1 | 18.00  | flagged |

---

### Final Coordinates

---

|                      |                                         |                                        |                                         |
|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                      | <b>Reference:VICO</b>                   | <b>Rover:MET</b>                       |                                         |
| Coordinates:         |                                         |                                        |                                         |
| Easting:             | 721757.7116 m                           |                                        | 722366.1916 m                           |
| Northing:            | 7702785.7517 m                          |                                        | 7702656.4767 m                          |
| Ellip. Hgt:          | 665.9557 m                              |                                        | 695.7097 m                              |
| Solution type:       | Phase: all fix                          |                                        |                                         |
| GNSS type:           | GPS                                     |                                        |                                         |
| Frequency:           | L1 only                                 |                                        |                                         |
| Ambiguity:           | Yes                                     |                                        |                                         |
| Quality:             | Sd. E: 0.0030 m<br>Posn. Qlty: 0.0035 m | Sd. N: 0.0018 m<br>Sd. Slope: 0.0032 m | Sd. Hgt: 0.0069 m                       |
| M0:                  | 0.7944 m                                |                                        |                                         |
| Cofactor matrix Qxx: | 0.00000520                              | -0.00000355<br>0.00001399              | -0.00000208<br>0.00000874<br>0.00007619 |
| Baseline vector:     | dX: 403.9280 m<br>Slope: 622.7084 m     | dY: 457.4474 m<br>dHgt: 29.7540 m      | dZ: -123.8941 m                         |
| DOPs (min-max):      | GDOP: 2.5 - 7.5<br>PDOP: 2.2 - 6.1      | HDOP: 1.0 - 2.0                        | VDOP: 2.0 - 5.8                         |

## APÊNDICE **B**

Código fonte da metodologia de processamento em tempo real implementada no  
MATLAB

```

%Processamento Relativo de dados GPS por Dupla Diferença da
%Pseudodistância em tempo real.
%
%Recepção dos dados GPS Rover pela USB na porta COM4.
%Recepção dos dados GPS Base pelo software BKG por TCP pela porta 19.
%Processamento dos dados por Dupla Diferença (DD) utilizando dados da
%pseudodistância. Utiliza-se o método recursivo com a entrada de dados
%de cada época.
%Latência de 5 segundos.
%

global f_log;
global loop_main;
global X1;
global Y1;
global Z1;

Base_Epoca = struct('week',[], 'tow',[], 'n_sv',
[], 'SVinFix',zeros(1,32), 'coord_SV',zeros(32,3), 'coord_SV_vel',zeros(3
2,3), 'elev_SV',zeros(1,32), 'C1',zeros(1,32), 'L1',zeros(1,32), 'dtr',
[], 'adtr',[], 'X',[], 'Y',[], 'Z',[]);
Rover_Epoca = struct('week',[], 'tow',[], 'n_sv',
[], 'SVinFix',zeros(1,32), 'coord_SV',zeros(32,3), 'coord_SV_vel',zeros(3
2,3), 'elev_SV',zeros(1,32), 'C1',zeros(1,32), 'L1',zeros(1,32), 'dtr',
[], 'adtr',[], 'X',[], 'Y',[], 'Z',[]);
Proc_Epoca = struct('x',[], 'y',[], 'z',
[], 'dx',zeros(3,1), 'Cx',zeros(3,3));
X1 = []; Y1 = []; Z1 = [];
X0 = []; Y0 = []; Z0 = [];
X = [];
Cx = [];

loop_main = 1;
n = 1;

OpenPortUSB();
OpenPortTCP();

fprintf('\nSincronizando Dados!');

while loop_main

    Rover_Epoca(n) = readEpocaUSB();
    Base_Epoca(n) = readEpocaTCP();

    loop_sinc = 1;
    while loop_sinc

        if n == 1

            X1 = [X1 Rover_Epoca(n).X];
            Y1 = [Y1 Rover_Epoca(n).Y];
            Z1 = [Z1 Rover_Epoca(n).Z];

            X0 = mean(X1(X1~=0));
            Y0 = mean(Y1(Y1~=0));
            Z0 = mean(Z1(Z1~=0));

        end

        if Base_Epoca(n).tow == Rover_Epoca(n).tow

```

```

[X0 Y0 Z0 X Cx] =
ProcDD(X0,Y0,Z0,Base_Epoca(n),Rover_Epoca(n),X,Cx,n);

Proc_Epoca(n).x = X0;
Proc_Epoca(n).y = Y0;
Proc_Epoca(n).z = Z0;
Proc_Epoca(n).dX = X;
Proc_Epoca(n).Cx = Cx;

loop_sinc = 0;

else
    if Base_Epoca(n).tow > Rover_Epoca(n).tow

        Rover_Epoca(n) = readEpocaUSB();

    else if Base_Epoca(n).tow < Rover_Epoca(n).tow

        Base_Epoca(n) = readEpocaTCP();

    end
end
end

end %fim do while

n = n + 1;
if n == 181, loop_main = 0; end    %15 minutos

end

closePortUSB();
closePortTCP();

criaRinex(Rover_Epoca,Base_Epoca,n-1);

function [] = OpenPortUSB()

global objUSB;

USBport = 'COM4';
objUSB=serial(USBport);
objUSB.BaudRate=115200;
objUSB.InputBufferSize=2^18;

if strcmp(objUSB.Status,'closed'), fopen(objUSB); end

end

function [] = OpenPortTCP()

global objTCP;

porta = 19;
objTCP = tcpip('localhost',porta);
objTCP.InputBufferSize=2^18;

if strcmp(objTCP.Status,'closed'), fopen(objTCP); end

```

```
end
```

```
function out = readEpocaUSB()

global objUSB;
loop = 1;
flag = 0;
endstartseq = 'B0B3A0A2';
SirfMsg = 'INICIO';
out = struct('week',[],'tow',[],'n_sv',
[],'SVinFix',zeros(1,32),'coord_SV',zeros(32,3),'coord_SV_vel',zeros(3
2,3),'elev_SV',zeros(1,32),'Cl',zeros(1,32),'L1',zeros(1,32),'dtr',
[],'adtr',[],'X',[],'Y',[],'Z',[]);

%tic

while loop

    if objUSB.BytesAvailable > 2^10

        [newData, count] = fread(objUSB,2^10);

        newDataHex = dec2hex(newData);

        %Organiza todas a mensagem hexadecimal em uma única string
        newMsgHex = [];
        for i=1:count
            newMsgHex = strcat(newMsgHex,newDataHex(i,:));
        end

        %Localiza inicio e termino das demais mensagens
        indices = strfind(newMsgHex,endstartseq);

        [m n] = size(indices);

        if n > 1

            SirfMsg = strcat(SirfMsg,newMsgHex(1:(indices(1)+3)));

            if CheckMsg(SirfMsg)

                if flag

                    out = readMsgSirf(SirfMsg,out);

                    if strcmp(SirfMsg(9:10),'07')
                        loop = 0;
                    end

                else

                    if strcmp(SirfMsg(9:12),'1C00'), flag = 1; end

                    out = readMsgSirf(SirfMsg,out);

                end

            end

        end

    end

end
```



```

        for i=1:(n-1)

            SirfMsg = newMsgHex((indices(i)
+4):indices(i+1)+3));

            if CheckMsg(SirfMsg)

                if flag

                    out = readMsgSirf(SirfMsg,out);

                    if strcmp(SirfMsg(9:10),'07')
                        loop = 0;
                    end

                else

                    if strcmp(SirfMsg(9:12),'1C00'), flag = 1;

end

                    out = readMsgSirf(SirfMsg,out);

                end

            end

        end

        SirfMsg = newMsgHex((indices(n)+4):end);

    else if n == 1

        SirfMsg = strcat(SirfMsg,newMsgHex(1:
(indices(1)+3)));

        if CheckMsg(SirfMsg)

            if flag

                out = readMsgSirf(SirfMsg,out);

                if strcmp(SirfMsg(9:10),'07')
                    loop = 0;
                end

            else

                if strcmp(SirfMsg(9:12),'1C00'), flag = 1;

end

                out = readMsgSirf(SirfMsg,out);

            end

        end

        SirfMsg = newMsgHex((indices(1)+4):end);

    else

        SirfMsg = strcat(SirfMsg,newMsgHex);
    end

```

```

        if size(SirfMsg) > [0 2^12]
            loop = 0;
            fprintf('\n\nErro na leitura da Mensagem
Sirf!\n Size > 2^12\n\n');
        end
    end
end

end

end

```

```

function out = readEpocaTCP()

global objTCP;
loop = 1;
out = struct('week',[], 'tow',[], 'n_sv',
[], 'SVinFix',zeros(1,32), 'coord_SV',zeros(32,3), 'coord_SV_vel',zeros(3
2,3), 'elev_SV',zeros(1,32), 'C1',zeros(1,32), 'L1',zeros(1,32), 'dtr',
[], 'adtr',[], 'X',[], 'Y',[], 'Z',[]);
out.week = 0;

while loop

    if objTCP.BytesAvailable > 120

        data = fgets(objTCP);

        if numel(data) > 10

            if strcmp(data(1), '>')

                if out.week
                    fprintf('\nErro na leitura TCP!\nWeek: %d\ntow:
%d\n\n',out.week,out.tow);
                    loop = 0;
                else
                    out.week = str2num(data(3:6));
                    out.tow = round(str2num(data(8:end))); %!!!
                end

            else if strcmp(data(7), 'G')

                prn = str2num(data(8:9));

                out.C1(prn) = str2num(data(21:32));
                out.L1(prn) = str2num(data(39:51));

            end
        end

    else if out.week
        loop = 0;
    end
end

```

```

        end
    end
end

end

```

```

function [] = closePortUSB()

global objUSB;

fclose(objUSB);
delete(objUSB);

end

```

```

function [] = closePortTCP()

global objTCP;

fclose(objTCP);
delete(objTCP);

end

```

```

%Função inicial para ler mensagem do protocolo SiRF Binário
function out = readMsgSirf(SirfMsg,in)

out = in;

MsgId = hex2dec(SirfMsg(9:10));

switch MsgId

    case 2

        msg2 = readMsgSirfID_2(SirfMsg);

        if msg2.tow == out.tow

            out.X = msg2.X;
            out.Y = msg2.Y;
            out.Z = msg2.Z;
            out.n_sv = msg2.SVinFix;
            if msg2.CH1, out.SVinFix(msg2.CH1) = 1; end
            if msg2.CH2, out.SVinFix(msg2.CH2) = 1; end
            if msg2.CH3, out.SVinFix(msg2.CH3) = 1; end

```

```

        if msg2.CH4, out.SVinFix(msg2.CH4) = 1; end
        if msg2.CH5, out.SVinFix(msg2.CH5) = 1; end
        if msg2.CH6, out.SVinFix(msg2.CH6) = 1; end
        if msg2.CH7, out.SVinFix(msg2.CH7) = 1; end
        if msg2.CH8, out.SVinFix(msg2.CH8) = 1; end
        if msg2.CH9, out.SVinFix(msg2.CH9) = 1; end
        if msg2.CH10, out.SVinFix(msg2.CH10) = 1; end
        if msg2.CH11, out.SVinFix(msg2.CH11) = 1; end
        if msg2.CH12, out.SVinFix(msg2.CH12) = 1; end

    end

case 4

    msg4 = readMsgSirfID_4(SirfMsg);

    if msg4.tow == out.tow

        for i=1:12
            if msg4.SVid(i), out.elev_SV(msg4.SVid(i)) =
msg4.SVelev(i); end
        end

    end

case 7

    msg7 = readMsgSirfID_7(SirfMsg);

    if msg7.tow == out.tow

        out.week = msg7.week;
        out.dtr = msg7.Clk_bias;      %ns
        out.adtr = msg7.Clk_drift;    %Hz

    end

case 28

    msg28 = readMsgSirfID_28(SirfMsg);

    if out.tow, else out.tow = msg28.tow; end

    if msg28.tow == out.tow

        out.C1(msg28.PRN) = msg28.PD;
        out.L1(msg28.PRN) = msg28.Cfase;

    end

case 30

    msg30 = readMsgSirfID_30(SirfMsg);

    if msg30.tow == out.tow

        out.coord_SV(msg30.SVid,1) = msg30.X;
        out.coord_SV(msg30.SVid,2) = msg30.Y;
        out.coord_SV(msg30.SVid,3) = msg30.Z;
        out.coord_SV_vel(msg30.SVid,1) = msg30.Xv;
        out.coord_SV_vel(msg30.SVid,2) = msg30.Yv;
        out.coord_SV_vel(msg30.SVid,3) = msg30.Zv;
    end
end

```

```

        end

    end

end

%Função para verificar se a mensagem é consistente
function out = CheckMsg(Msg)

if strcmp('INICIO',Msg(1:6))
    out = 0;
else
    MsgLength = hex2dec(Msg(5:8)); %Payload length

    [a b] = size(Msg);

    if (MsgLength*2+16) ~= b

        out = 0;

    else
        out = 1;
    end
end

end

%Função que lê a mensagem ID2
function msg2 = readMsgSirfID_2(SirfMsg)

msg2.X = hex2dec4S(SirfMsg(11:18));
msg2.Y = hex2dec4S(SirfMsg(19:26));
msg2.Z = hex2dec4S(SirfMsg(27:34));
msg2.week = hex2dec(SirfMsg(53:56));
msg2.tow = round(hex2dec(SirfMsg(57:64))/100);
msg2.SVinFix = hex2dec(SirfMsg(65:66));
msg2.CH1 = hex2dec(SirfMsg(67:68));
msg2.CH2 = hex2dec(SirfMsg(69:70));
msg2.CH3 = hex2dec(SirfMsg(71:72));
msg2.CH4 = hex2dec(SirfMsg(73:74));
msg2.CH5 = hex2dec(SirfMsg(75:76));
msg2.CH6 = hex2dec(SirfMsg(77:78));
msg2.CH7 = hex2dec(SirfMsg(79:80));
msg2.CH8 = hex2dec(SirfMsg(81:82));
msg2.CH9 = hex2dec(SirfMsg(83:84));
msg2.CH10 = hex2dec(SirfMsg(85:86));
msg2.CH11= hex2dec(SirfMsg(87:88));
msg2.CH12 = hex2dec(SirfMsg(89:90));

end

```

```

%Função que lê a mensagem ID4
function msg4 = readMsgSirfID_4(SirfMsg)

msg4.SVid(12) = 0;
msg4.SVaz(12) = 0;
msg4.SVelev(12) = 0;
msg4.SVstate(12) = 0;

msg4.week = hex2dec(SirfMsg(11:14));
msg4.tow = hex2dec(SirfMsg(15:22))/100;
msg4.CHs = hex2dec(SirfMsg(23:24));

for i = 1:msg4.CHs
    msg4.SVid(i) = hex2dec(SirfMsg((25+(i-1)*30):(26+(i-1)*30)));
    msg4.SVaz(i) = hex2dec(SirfMsg((27+(i-1)*30):(28+(i-1)*30)));
    msg4.SVelev(i) = hex2dec(SirfMsg((29+(i-1)*30):(30+(i-1)*30)));
    msg4.SVstate(i) = hex2dec(SirfMsg((31+(i-1)*30):(34+(i-1)*30)));
end

end

```

```

%Função que lê a mensagem ID7
function msg7 = readMsgSirfID_7(SirfMsg)

msg7.week = hex2dec(SirfMsg(11:14));
msg7.tow = hex2dec(SirfMsg(15:22))/100;
msg7.SVs = hex2dec(SirfMsg(23:24));
msg7.Clk_drift = hex2dec(SirfMsg(25:32));           %Hz
msg7.Clk_bias = hex2dec(SirfMsg(33:40));           %ns
msg7.GPS_Time = hex2dec(SirfMsg(41:48));

end

```

```

%Função que lê a mensagem ID28
function msg28 = readMsgSirfID_28(SirfMsg)

msg28.Channel = hex2dec(SirfMsg(11:12));
msg28.TimeTag = hex2dec(SirfMsg(13:20));
msg28.PRN = hex2dec(SirfMsg(21:22));
msg28.GPS_STime = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(23:38)));
msg28.tow = round(msg28.GPS_STime);
msg28.PD = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(39:54)));
msg28.Cfreq = hex2dec(invSirfSgl(SirfMsg(55:62)));
msg28.Cfase = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(63:78)));

end

```

```

%Função que lê a mensagem ID30
function msg30 = readMsgSirfID_30(SirfMsg)

msg30.SVid = hex2dec(SirfMsg(11:12));
msg30.GPS_STime = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(13:28)));
msg30.tow = round(msg30.GPS_STime);
msg30.X = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(29:44)));
msg30.Y = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(45:60)));
msg30.Z = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(61:76)));
msg30.Xv = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(77:92)));
msg30.Yv = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(93:108)));
msg30.Zv = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(109:124)));
msg30.Clk_bias = hex2num(invSirfDbl(SirfMsg(125:140)));
%msg30.Clk_drift = hex2num(invSirfSgl(SirfMsg(141:148)));
msg30.Clk_drift = hex2dec(SirfMsg(141:148));
msg30.flag = hex2dec(SirfMsg(149:150));
%msg30.ion_delay = hex2num(invSirfSgl(SirfMsg(167:174)));
msg30.ion_delay = hex2dec(SirfMsg(167:174));

end

%Função para Processamento do MMQ
function [Xa,Ya,Za,X,Cx] = ProcDD(X0,Y0,Z0,Base,Rover,X,Cx,p)
global X1; global Y1; global Z1;

if Rover.SVinFix == 0 | Rover.elev_SV == 0
    fprintf('\nDados Insuficientes!');
    Xa = X0; Ya = Y0; Za = Z0;
    return
end

c = physconst('LightSpeed');

%coordenadas da base
%CEFE
coord_B.x = 4562488.496;
coord_B.y = -3871935.794;
coord_B.z = -2200001.574;

%coordenadas aproximadas do rover. Média das coordenadas recebidas na
sincronização
coord_R.x = mean(X1(X1~=0));
coord_R.y = mean(Y1(Y1~=0));
coord_R.z = mean(Z1(Z1~=0));

Rover.SVinFix(Rover.Cl == 0) = 0;
Rover.SVinFix(Base.Cl == 0) = 0;

n = Rover.n_sv; %número de satélites utilizados

if Rover.dtr, else fprintf('\n\nSem dados de erro do relógio!\n\n');
Xa = X0; Ya = Y0; Za = Z0; return; end

ObsRover = Rover.SVinFix .* Rover.Cl;
ObsBase = Rover.SVinFix .* Base.Cl;
ObsRover(ObsRover == 0) = [];
ObsBase(ObsBase == 0) = [];
ObsRover = ObsRover - (c * (Rover.dtr * 1.0e-9));

```

```

if n ~= numel(ObsRover), n = numel(ObsRover); end

fprintf('\nNúmero de Satélites: %d',n);

if n < 4, fprintf('\nNúmero de Satélites Insuficiente!'); Xa = X0; Ya
= Y0; Za = Z0; return; end

%Escolha do Satélite de referência. Maior Elevação.
SVbase = Rover.SVinFix .* Rover.elev_SV;
[xx SV_B] = max(SVbase);
fprintf('\nSatélite de referência: PRN %d',SV_B);
SVbase = SVbase(SVbase~=0);
[xx prnBase] = max(SVbase);

%Dupla Diferença das Obs
SD_0 = ObsBase - ObsRover;
DD_0 = SD_0(prnBase) - SD_0;
DD_0(prnBase) = [];

%Matriz Peso
AuxP = ones(n-1);
AuxP = AuxP*2;
for i=1:n-1
    AuxP(i,i) = 4;
end
P = inv(AuxP);

coordSV.x = Rover.coord_SV(:,1) .* Rover.SVinFix';
coordSV.y = Rover.coord_SV(:,2) .* Rover.SVinFix';
coordSV.z = Rover.coord_SV(:,3) .* Rover.SVinFix';
coordSV.x = coordSV.x(coordSV.x~=0);
coordSV.y = coordSV.y(coordSV.y~=0);
coordSV.z = coordSV.z(coordSV.z~=0);

coordSV_vel.x = Rover.coord_SV_vel(:,1) .* Rover.SVinFix';
coordSV_vel.y = Rover.coord_SV_vel(:,2) .* Rover.SVinFix';
coordSV_vel.z = Rover.coord_SV_vel(:,3) .* Rover.SVinFix';
coordSV_vel.x = coordSV_vel.x(coordSV_vel.x~=0);
coordSV_vel.y = coordSV_vel.y(coordSV_vel.y~=0);
coordSV_vel.z = coordSV_vel.z(coordSV_vel.z~=0);

if numel(coordSV_vel.x(coordSV_vel.x ~= 0)) ~= n
    fprintf('\nVelocidade SV:
%d\nErro!!!\n',numel(coordSV_vel.x(coordSV_vel.x ~= 0)));
    fprintf('\nDados Insuficientes!');
    Xa = X0; Ya = Y0; Za = Z0;
    return
end

coordSVttR.x = coordSV.x - ((ObsRover/c)' .* coordSV_vel.x); %+dtr-
dts???
coordSVttR.y = coordSV.y - ((ObsRover/c)' .* coordSV_vel.y);
coordSVttR.z = coordSV.z - ((ObsRover/c)' .* coordSV_vel.z);

coordSVttB.x = coordSV.x - ((ObsBase/c)' .* coordSV_vel.x);
coordSVttB.y = coordSV.y - ((ObsBase/c)' .* coordSV_vel.y);
coordSVttB.z = coordSV.z - ((ObsBase/c)' .* coordSV_vel.z);

distg_B_tt = sqrt( (coord_B.x - coordSVttB.x).^2 + (coord_B.y -
coordSVttB.y).^2 + (coord_B.z - coordSVttB.z).^2 );
distg_R_tt = sqrt( (coord_R.x - coordSVttR.x).^2 + (coord_R.y -
coordSVttR.y).^2 + (coord_R.z - coordSVttR.z).^2 );

```



```

%Dupla Diferença da distância geométrica no tempo de transmissão
SD_tt = distg_B_tt - distg_R_tt;
DD_tt = SD_tt(prnBase) - SD_tt;
DD_tt(prnBase) = [];

%Vetor L = Observações Brutas - Observações Aproximadas
L = DD_0' - DD_tt;

%Matriz Jacobiana
if prnBase == n, loop = n - 1; else loop = n; end

i = 1;
for j=1:loop

    A(i,1) = ((coord_R.x - coordSVttR.x(j))/distg_R_tt(j)) -
((coord_R.x - coordSVttR.x(prnBase))/distg_R_tt(prnBase));
    A(i,2) = ((coord_R.y - coordSVttR.y(j))/distg_R_tt(j)) -
((coord_R.y - coordSVttR.y(prnBase))/distg_R_tt(prnBase));
    A(i,3) = ((coord_R.z - coordSVttR.z(j))/distg_R_tt(j)) -
((coord_R.z - coordSVttR.z(prnBase))/distg_R_tt(prnBase));

    if j == prnBase, else i = i + 1; end

end

%Vetor das correções aos parâmetros
if p == 1

    X = (inv(A'*P*A))*(A'*P*L);
    Cx = inv(A'*P*A);

    Xa = coord_R.x + X(1);
    Ya = coord_R.y + X(2);
    Za = coord_R.z + X(3);

else

    V = (L - A*X);
    K = Cx*A'*inv(inv(P) + A*Cx*A');    %MATRIZ DE GANHO DE KALMAN
    X = (X + K*V);

    Xa = coord_R.x + X(1);
    Ya = coord_R.y + X(2);
    Za = coord_R.z + X(3);

    Cx = (eye(3) - K*A)*Cx;
    %Cx = inv((inv(Cx) + A'*P*A));

end

fprintf('\nÉpoca: %d\nTow: %d',p,Rover.tow);

end

```

```

function [] = criaRinex(Rover_Epoca,Base_Epoca,m)
% Criação do arquivo Rinex 2.11

fprintf('\nCriando arquivo Rinex!');

c = physconst('LightSpeed');
f = 1575420000.0;

Wfilename = input('\nEntre com o nome do arquivo de saída: ');
WfileRover = ['./ProcDD/rinex/Rover_' Wfilename];
WfileBase = ['./ProcDD/rinex/Base_' Wfilename];

[f_write_rover, message] = fopen(WfileRover,'w+');
if f_write_rover == -1, disp(message), end

[f_write_base, message] = fopen(WfileBase,'w+');
if f_write_base == -1, disp(message), end

for n=1:m

    if isempty(Rover_Epoca(n).tow) & isempty(Base_Epoca(n).tow),
continue; end

    fprintf(f_write_rover,'\n%s
0',tgps2data(Rover_Epoca(n).week,Rover_Epoca(n).tow));
    fprintf(f_write_base,'\n%s
0',tgps2data(Base_Epoca(n).week,Base_Epoca(n).tow));

    fprintf(f_write_rover,'%3.0d',Rover_Epoca(n).n_sv);
    fprintf(f_write_base,'%3.0d',Rover_Epoca(n).n_sv);

    for k=1:32
        if Rover_Epoca(n).SVinFix(k)
            fprintf(f_write_rover,'G%2.0f',k);
            fprintf(f_write_base,'G%2.0f',k);
        end
    end

    for k=1:32

        if Rover_Epoca(n).SVinFix(k)

            Phase = Rover_Epoca(n).L1(k);
            PD = Rover_Epoca(n).C1(k);

            if Phase
                L1 = (Phase/c - Rover_Epoca(n).dtr * 1.0e-9) * f;
            else
                L1 = [];
            end

            if PD
                C1 = PD - (c * Rover_Epoca(n).dtr * 1.0e-9);
            else
                C1 = [];
            end

            fprintf(f_write_rover,'\n%14.3f%16.3f',C1,L1);

            Phase = Base_Epoca(n).L1(k);
            PD = Base_Epoca(n).C1(k);

```

```

        if Phase
            L1 = Phase;
        else
            L1 = [];
        end

        if PD
            C1 = PD;
        else
            C1 = [];
        end

        fprintf(f_write_base, '\n%14.3f%16.3f', C1, L1);

    end

end

fprintf(f_write_rover, '\n');
fprintf(f_write_base, '\n');

fclose(f_write_rover);
fclose(f_write_base);

fprintf('\nArquivo criado com sucesso!');

end

```