

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANGELA CRISTINA CARARO

IMPLEMENTAÇÃO DA CORREÇÃO RELATIVÍSTICA SOBRE O TEMPO  
FORNECIDO PELOS RELÓGIOS DOS SATÉLITES GPS, CAUSADA PELO  
ACHATAMENTO TERRESTRE ( $J_2$ ), EM POSICIONAMENTO GPS.

CURITIBA

2010

ANGELA CRISTINA CARARO

IMPLEMENTAÇÃO DA CORREÇÃO RELATIVÍSTICA SOBRE O TEMPO  
FORNECIDO PELOS RELÓGIOS DOS SATÉLITES GPS, CAUSADA PELO  
ACHATAMENTO TERRESTRE ( $J_2$ ), EM POSICIONAMENTO GPS.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Geodésicas.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno  
Ferreira

CURITIBA

2010

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

C261i

Cararo, Angela Cristina

Implementação da correção relativística sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS, causada pelo achatamento terrestre (J2), em posicionamento GPS / Angela Cristina Cararo. – Curitiba, 2010.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2010.

Orientador: Luiz Danilo Damasceno Ferreira .

1. Sistema de posicionamento Global. 2. Relatividade. 3. Satélites artificiais em navegação. I. Universidade Federal do Paraná. II. Ferreira, Luiz Danilo Damasceno. III. Título.

CDD: 526.982

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

## TERMO DE APROVAÇÃO

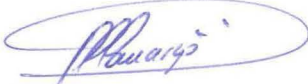
ANGELA CRISTINA CARARO

“IMPLEMENTAÇÃO DA CORREÇÃO RELATIVÍSTICA SOBRE O TEMPO FORNECIDO PELOS RELÓGIOS DOS SATÉLITES GPS, CAUSADA PELO ACHATAMENTO TERRESTRE ( $J_2$ ), EM POSICIONAMENTO GPS”


Tese nº 73 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:


Orientadora:

  
Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira  
Departamento de Geomática, UFPR

  
Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo  
Universidade Estadual Paulista, UNESP

  
Prof. Dr. Hélio Koiti Kuga  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE

  
Prof. Dr. Edson Aurélio Barcellos Stédile  
Universidade Federal do Paraná, UFPR

  
Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal  
Departamento de Geomática, UFPR

  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Claudia Pereira Krueger  
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 28 de setembro de 2010.

Javé, eu te agradeço de todo o coração,  
proclamando todas as tuas maravilhas!

Eu me alegro e exulto em ti,  
e toco ao teu nome, ó Altíssimo!

(Salmo 9, 2-3)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, bênçãos e proteção.

Ao professor Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira, pela orientação, incentivos, confiança e principalmente pela amizade.

Ao Dr. Álvaro Muriel Lima Machado (depto. Geomática, UFPR), Dr. Paulo de Oliveira Camargo (depto. de Cartografia, UNESP – Presidente Prudente) e à colega Suelen Cristina Movio Huinca (CPGCG – UFPR) pela inestimável contribuição a este trabalho.

Ao Dr. Juan Carlos Báez Soto (Universidade de Concepción, Chile), Dr. Bernhard Heck e Dr. Michael Mayer (GIK, Universidade de Karlsruhe, Alemanha) e Dr. Hélio Koiti Kuga (INPE) pelas relevantes informações e esclarecimento de dúvidas.

À professora Dra. Cláudia Pereira Krueger e demais professores do CPGCG da UFPR, que colaboraram direta ou indiretamente no aprendizado necessário à realização deste trabalho.

À todos os colegas do corpo discente do CPGCG, pela constante troca de idéias.

À secretária do CPGCG, Verali Mônica Kleuser, pela dedicação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

E, finalmente, à minha família, especialmente meus pais Joel e Luci e meu filho Giordano, pelo apoio, compreensão, motivação, e palavras sempre encorajadoras.

## RESUMO

Os satélites GPS transmitem sinais de tempo sincronizados, com informações sobre tempo e posição no momento da transmissão. O sistema é baseado no princípio da constância da velocidade da luz num referencial inercial local, com origem geocêntrica. Tanto os relógios dos satélites em movimento, quanto os relógios em repouso sobre a superfície da Terra em rotação são afetados pela dilatação temporal. As diferenças de potencial gravitacional entre os satélites e usuários e suas velocidades relativas são responsáveis por desvios de frequência relativísticos na marcha dos relógios. As correções relativísticas sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites faz parte do GPS Interface Specification Document (IS-GPS-200D, 2006) e levam em consideração apenas o potencial gravitacional gerado pela Terra considerada esférica e homogênea. Entretanto, com a melhoria nas medidas de tempo efetuadas pelos relógios dos satélites GPS e também com a melhoria na modelagem dos erros envolvidos no processamento de dados GPS, já pode ser possível detectar, em posicionamento GPS, erros causados por efeitos relativísticos que não estão incorporados à correção padrão. Neste trabalho calculam-se as correções relativísticas devidas ao potencial gravitacional gerado pelo achatamento terrestre,  $J_2$ , sobre os tempos fornecidos pelos relógios dos satélites GPS. Em seguida essas correções, que não constam das correções-padrão do IS-GPS-200D, são acrescentadas às observáveis GPS dos arquivos RINEX. Avalia-se então a influência dessas correções, em posicionamento GPS, através de diversas técnicas de processamentos de dados GPS. Além do desenvolvimento de uma nova metodologia para implementação da correção relativística em processamento de dados GPS, os resultados mostraram que as coordenadas X e Y foram as mais afetadas em posicionamento, sendo encontradas variações de 6 cm e 5 cm, respectivamente, para processamento relativo de base longa e 4 cm para posicionamento por ponto preciso nessas coordenadas.

Palavras-chave: GPS. Relatividade. Posicionamento.

## ABSTRACT

Timing synchronized pulses are transmitted by GPS satellites, containing information about time and satellite's position in the transmitting moment. GPS System is based on the principle of the constancy of the speed of light in a local inertial reference frame, with geocentric origin. Both moving satellites and Earth rotating based clocks are affected by time dilatation. The gravity potential differences between satellites and users on the Earth surface and their relative velocities yield relativistic frequency shifts in the clock rates. The standard relativistic corrections on the GPS satellite time is stated in the GPS Interface Specification Document (IS-GPS-200D, 2006) and accounted only for the spherically homogeneous Earth gravity potential. However, considering the current improved GPS satellite's time measurements and improved modeling of GPS data processing errors, is possible to detect in GPS positioning, errors caused by relativistic effects that are not incorporated into standard corrections. In this work we compute the relativistic corrections due to the gravitational potential generated by flattening potential  $J_2$ , on the GPS satellites time. Then, these corrections, not accounted in the IS-GPS-200D document, are added to the RINEX GPS observables. Finally, the influence of these corrections in GPS positioning is evaluated through some GPS processing techniques. In addition to the development of a new methodology for the implementation of the relativistic correction in GPS data processing, the results showed that the X and Y coordinates were the most affected in positioning, being found variations of 6 cm and 5 cm, respectively, for relative processing of long baselines and 4 cm for precise point positioning in these coordinates.

Keywords: GPS. Relativity. Positioning.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - AMPLITUDE DO ERRO RELATIVÍSTICO CAUSADO POR $J_2$ SOBRE OS RELÓGIOS DOS SATÉLITES GPS 1, 2, 3, 4 E 11.....	19
FIGURA 2 – OS ELEMENTOS ORBITAIS $i$ , $\Omega$ E $\omega$ DE UM SATÉLITE.....	27
FIGURA 3 – DEFINIÇÃO DA ANOMALIA EXCÊNTRICA $E$ .....	28
FIGURA 4 – LONGITUDE DO NODO ASCENDENTE.....	30
FIGURA 5 – ESTRUTURA DO CABEÇALHO DO ARQUIVO RINEX 2.11 DE OBSERVAÇÃO.....	38
FIGURA 6 – ESTRUTURA DO CORPO DO ARQUIVO RINEX 2.11 DE OBSERVAÇÃO.....	39
FIGURA 7 – OS CENTROS DE ANÁLISES DO IGS E <i>SOFTWARES</i> UTILIZADOS.....	42
FIGURA 8 – PRODUTOS IGS, ACURÁCIA E DISPONIBILIDADE.....	44
FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESTAÇÕES DA RBMC.....	56
FIGURA 10 - COORDENADAS CARTESIANAS E GEODÉSICAS OFICIAIS DA ESTAÇÃO UFPR..	59
FIGURA 11 – DISCREPÂNCIAS $\Delta X$ (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX ORIGINAL.....	73
FIGURA 12 – DISCREPÂNCIAS $\Delta X$ (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX CORRIGIDO.....	73
FIGURA 13 – DISCREPÂNCIAS $\Delta Y$ (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX ORIGINAL.....	74
FIGURA 14 – DISCREPÂNCIAS $\Delta Y$ (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX CORRIGIDO.....	75
FIGURA 15 – DISCREPÂNCIAS $\Delta Z$ (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX ORIGINAL.....	76
FIGURA 16 – DISCREPÂNCIAS $\Delta Z$ (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX CORRIGIDO.....	76
FIGURA 17 - DISCREPÂNCIA NAS COORDENADAS CARTESIANAS PARA O PPP REALIZADO COM O ARQUIVO RINEX ORIGINAL PARA A ESTAÇÃO UFPR.....	78
FIGURA 18 - DISCREPÂNCIA NAS COORDENADAS CARTESIANAS PARA O PPP REALIZADO COM O ARQUIVO RINEX CORRIGIDO PARA A ESTAÇÃO UFPR.....	79

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS SATÉLITES SEGUNDO SUA ALTITUDE.....	26
TABELA 2 – FATORES DE CORREÇÃO PARA O SATÉLITE GPS PRN 01.....	50
TABELA 3 – COORDENADAS ENCONTRADAS NO IBGEPPP, ARQUIVO RINEX ORIGINAL.....	55
TABELA 4 – COORDENADAS ENCONTRADAS NO IBGEPPP, ARQUIVO RINEX CORRIGIDO.....	55
TABELA 5 – ESTAÇÕES UTILIZADAS NOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS.....	56
TABELA 6 – ESTAÇÕES-BASE E ESTAÇÃO A DETERMINAR NOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS.....	57
TABELA 7 - COORDENADAS GEODÉSICAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA .....	57
TABELA 8 - COORDENADAS CARTESIANAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA .....	58
TABELA 9 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PPT-UFPRORIGINAL.....	60
TABELA 10 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PPT E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PPT-UFPRORIGINAL.....	60
TABELA 11 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PPT-UFPRCORRIGIDO.....	61
TABELA 12 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PPT E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PPT-UFPRCORRIGIDO.....	61
TABELA 13 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PRGU-UFPRORIGINAL.....	62
TABELA 14 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PRGU E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PRGU-UFPRORIGINAL.....	62
TABELA 15 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PRGU-UFPRCORRIGIDO.....	63
TABELA 16 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PRGU E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PRGU-UFPRCORRIGIDO.....	63
TABELA 17 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PRMA-UFPRORIGINAL.....	64
TABELA 18 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PRMA E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PRMA-UFPRORIGINAL.....	64
TABELA 19 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PRMA-UFPRCORRIGIDO.....	65

TABELA 20 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PRMA E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PRMA-UFPRCORRIGIDO.....	65
TABELA 21 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE SCCH-UFPRORIGINAL.....	66
TABELA 22 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES SCCH E UFPR, PARA A LINHA DE BASE SCCH-UFPRORIGINAL.....	66
TABELA 23 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE SCCH-UFPRCORRIGIDO.....	67
TABELA 24 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES SCCH E UFPR, PARA A LINHA DE BASE SCCH-UFPRCORRIGIDO.....	67
TABELA 25 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE SCLA-UFPRORIGINAL.....	68
TABELA 26 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES SCLA E UFPR, PARA A LINHA DE BASE SCLA-UFPRORIGINAL.....	68
TABELA 27 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE SCLA-UFPRCORRIGIDO.....	69
TABELA 28 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES SCLA E UFPR, PARA A LINHA DE BASE SCLA-UFPRCORRIGIDO.....	69
TABELA 29 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE UNICENP-UFPRORIGINAL.....	70
TABELA 30 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES UNICENP E UFPR, PARA A LINHA DE BASE UNICENP-UFPRORIGINAL.....	70
TABELA 31 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE UNICENP-UFPRCORRIGIDO.....	71
TABELA 32 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES UNICENP E UFPR, PARA A LINHA DE BASE UNICENP-UFPRCORRIGIDO.....	71
TABELA 33 – DISCREPÂNCIAS $\Delta X$ , $\Delta Y$ e $\Delta Z$ – ARQUIVO RINEX ORIGINAL.....	72
TABELA 34 – DISCREPÂNCIAS $\Delta X$ , $\Delta Y$ e $\Delta Z$ – ARQUIVO RINEX CORRIGIDO.....	72
TABELA 35 – AMPLITUDE DA VARIAÇÃO NA COORDENADA X(m).....	74
TABELA 36 – AMPLITUDE DA VARIAÇÃO NA COORDENADA Y(m).....	75
TABELA 37 – AMPLITUDE DA VARIAÇÃO NA COORDENADA Z(m).....	77
TABELA 38 – DISCREPÂNCIA NAS COORDENADAS CARTESIANAS E ALTITUDE PARA O PPP REALIZADO COM O ARQUIVO RINEX ORIGINAL PARA A ESTAÇÃO UFPR.....	77

TABELA 39 – DISCREPÂNCIA NAS COORDENADAS CARTESIANAS E ALTITUDE PARA O PPP REALIZADO COM O ARQUIVO RINEX ORIGINAL PARA A ESTAÇÃO UFPR.....	78
TABELA 40 – AMPLITUDE DA VARIAÇÃO NAS COORDENADAS CARTESIANAS E ALTITUDE, EM METROS, APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DA CORREÇÃO $\delta\Delta t^{rel}$ PARA UM POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO.....	79

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3. JUSTIFICATIVA.....	17
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	21
2.1. INTRODUÇÃO AO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – GPS.....	21
2.2. PRINCÍPIO FÍSICO FUNDAMENTAL DO GPS.....	21
2.3 FONTES DE ERRO NO SISTEMA GPS.....	23
2.4 ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS SOBRE ÓRBITA KEPLERIANA.....	26
2.5 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ERROS RELATIVÍSTICOS QUE AFETAM O SISTEMA GPS.....	31
2.6 O FORMATO RINEX.....	34
2.7 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE POSICIONAMENTO POR PONTO UTILIZANDO O GPS.....	39
2.8 IGS E SEUS PRODUTOS.....	41
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>45</b>
3.1 GERAÇÃO DAS CORREÇÕES RELATIVÍSTICAS DE SEGUNDA ORDEM PARA OS RELÓGIOS DOS SATÉLITES GPS.....	47
3.2 MODIFICAÇÃO DE ARQUIVOS RINEX.....	51
3.3 PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS.....	53
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	<b>59</b>
4.1 RESULTADOS DOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS.....	59
4.2 AVALIAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE AS COORDENADAS OFICIAIS DA ESTAÇÃO UFPR E AQUELAS ENCONTRADAS NOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS REALIZADOS UTILIZANDO-SE OS ARQUIVOS RINEX ORIGINAL E MODIFICADO.....	71
4.3 AVALIAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS NO CASO DO PPP.....	77
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>83</b>
<b>APÊNDICE 1 – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS COM IBGEPPP PARA O ARQUIVO RINEX ORIGINAL</b> .....	<b>88</b>

<b>APÊNDICE 2 - RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS COM IBGEPPP PARA O ARQUIVO RINEX CORRIGIDO.....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE 3 – SUMÁRIO DOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS.....</b>	<b>104</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Posicionamento por Ponto altamente Preciso (PPP) usando observáveis GPS não diferenciadas, tornou-se uma ferramenta valiosa na investigação de vários processos geofísicos em nível milimétrico (TEFERLE, ORLIAC e BINGLEY, 2007).

Segundo Teferle (2006) há alguns pontos essenciais que devem ser melhor desenvolvidos para uso do PPP com vista a aplicações em sistemas de monitoramento para sismologia e geofísica.

Um dos pontos fundamentais atualmente é a necessidade de disponibilidade em tempo real ou quase-real de correções para os relógios e órbitas dos satélites.

Isto pode ser obtido através de produtos fornecidos por agências como o IGS ou então *estimados pelo próprio usuário*. Outro ponto crítico no PPP é a necessidade de desenvolvimento de uma nova técnica de resolução de ambigüidades. Em GE et al (2008) é apresentada uma estratégia que resolve, pela primeira vez, o problema de fixar as ambigüidades para o PPP com base em uma única estação. Outro objetivo a ser alcançado para PPP em tempo real é remover os efeitos de multi-caminho e outros efeitos locais com características de repetibilidade diária.

Atualmente PPP é uma técnica largamente utilizada em monitoramento de deformações da crosta, meteorologia em tempo quase-real, determinação de órbita de satélites de órbitas baixas (e.g. CHAMP), e outros. Também surge como opção para posicionamento preciso de objetos móveis, para navegação de helicópteros (SHIMIZU E MURATA, 2007) ou para uso em aparelhos de telefonia celular equipados com GPS (WIROLA e SYRJÄRINNE, 2007).

Segundo HUGENTOBLE, VAN DER MAREL e SPRINGER (2008) dada a crescente popularidade do PPP para uma grande variedade de aplicações tornou-se obrigatória a identificação, compreensão e resolução de inconsistências entre os produtos de cada um dos Centros de Análises do IGS (*International GNSS Service*) individualmente, e a minimização das inconsistências dos produtos IGS para órbitas e relógios.

Nesta pesquisa é analisada a influência, no posicionamento GPS, de um novo modelo para correção de erros advindos do achatamento terrestre nas medidas de tempo GPS. A situação problematizadora pode ser apresentada da seguinte forma:

o documento IS-GPS-200D (2006) fornece as correções relativísticas padrão para o sistema de tempo GPS. Todos os fabricantes de receptores GPS devem seguir as suas especificações. Sem essas correções relativísticas um receptor GPS pode apresentar sérios erros em posicionamento, na ordem de dezenas de metros. Com a melhoria no desempenho (acurácia e estabilidade) dos relógios atômicos dos novos satélites GPS, as correções-padrão especificadas no documento IS-GPS-200D (2006) estão no limiar de confiabilidade pois foram obtidas com modelos bastante simplificados para o geopotencial. Isso implica em erros que se refletirão em posicionamento final. Foi publicada uma modelagem mais abrangente para os efeitos relativísticos sobre as medidas de tempo GPS, que leva em consideração um modelo mais preciso para o geopotencial (KOUBA, 2004) e que até o momento não foi implementada e avaliada em posicionamento GPS. A técnica de posicionamento mais indicada para tal avaliação é o PPP, que não elimina os erros advindos dos relógios dos satélites e pode fornecer ainda a precisão necessária para avaliação dos resultados.

Como fundamento a essa pesquisa, formula-se a hipótese de que, se um novo modelo para o geopotencial, que inclua o efeito causado pelo achatamento terrestre sobre os padrões de frequência dos relógios dos satélites, for implementado ao posicionamento GPS, através de um programa computacional e processamento de dados, então será detectável uma modificação no resultado final do posicionamento, apesar da pequena magnitude dessa correção adicional.

O que torna possível a formulação dessa hipótese é o fato de que a ordem de grandeza dos erros a serem corrigidos é de 0,1 a 0,2 nanossegundos, o que poderia implicar em 3 a 6 cm de melhoria na determinação da pseudodistância. A avaliação do impacto em posicionamento final pode ser investigado com as diversas técnicas de posicionamento, em especial com o PPP. Assim, pretende-se avaliar a relação entre a aplicação do novo modelo citado anteriormente em processamento de dados GPS e o resultado gerado em posicionamento final.

Trabalhou-se no sentido de investigar uma nova metodologia para geração de correções relativísticas causadas pelo achatamento terrestre ( $J_2$ ) para os relógios dos satélites GPS e sua implementação em processamento de dados GPS, através da modificação das observáveis GPS dos arquivos RINEX.

Para isso foram geradas as correções relativísticas (devidas a  $J_2$ ) sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS através de um modelo matemático



implementado em um programa computacional, o ANGJ2.FOR. Essas correções foram introduzidas nas observáveis GPS de arquivos RINEX de observações através de outro programa computacional desenvolvido, o RWRINEX.FOR. Os dois arquivos RINEX, o original e o modificado, foram utilizados para processamentos de dados GPS nos modos PPP e processamentos relativos de base curta e longa. Os resultados encontrados, após comparados e analisados, mostraram que as coordenadas X e Y foram as mais afetadas em posicionamento. Foram encontradas variações de 6 cm e 5 cm, respectivamente, nas coordenadas X e Y, para processamentos relativos de base longa; 12 cm e 9 cm, respectivamente, para processamento de base curta e 4 cm (ambas) para posicionamento por ponto preciso na determinação destas coordenadas.

### 1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a influência, em posicionamento GPS, da implementação, nas observáveis GPS dos arquivos RINEX de observação, de correções (devidas a  $J_2$ ) para o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS.

Essas correções são calculadas a partir de um modelo analítico contendo uma correção relativística melhorada (KOUBA, 2004) que inclui o erro causado pelo potencial perturbador gerado pelo achatamento terrestre  $J_2$ , o qual afeta a marcha dos relógios dos satélites GPS.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral seja alcançado, realizou-se a seguinte seqüência de passos:

1. Gerar (através de um programa computacional) correções relativísticas de segunda ordem (devidas ao achatamento terrestre  $J_2$ ) para o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS, baseadas num modelo analítico fornecido por Kouba (2004).

2. Adicionar essas correções nas observáveis fase e pseudodistância nos arquivos RINEX de observação (através de um programa computacional), gerando um novo arquivo RINEX, modificado.

3. Através de processamentos de dados GPS com esses dois arquivos RINEX, avaliar a influência da inclusão da correção de segunda ordem no posicionamento GPS.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

Segundo Han, Kwon e Jekeli (2001) a determinação dos erros dos relógios dos satélites é o fator mais importante em posicionamento absoluto. A disponibilidade de produtos de alta precisão IGS para órbitas e correções de relógios fomentou o desenvolvimento do PPP. Baseado no processamento de dados de medidas de pseudodistâncias e fase da onda portadora de observações de um único receptor GPS, esta técnica elimina as limitações do processamento diferencial pois não há necessidade de estação-base. Isto oferece uma alternativa que é logisticamente mais simples e quase tão acurada quanto a diferencial (ZUMBERGE et al., 1997; KOUBA e HÉROUX, 2001). Embora PPP não necessite de estação-base, requer conhecimento acurado das coordenadas dos satélites GPS e o estado de seus relógios. Isto significa que sua performance é função da utilização de produtos IGS altamente precisos no pós-processamento dos dados. A combinação das órbitas e relógios precisos é essencial (KOUBA e HÉROUX, 2001). O impacto potencial desta técnica em posicionamento é considerado como altamente significativo (GAO e CHEN, 2004).

Por vários anos, os algoritmos PPP (ZUMBERGE et al., 1997), usando observações da fase da portadora não diferenciadas, estavam disponíveis no GIPSY (LICHTEN et al., 1995), um *software* para análise de dados GPS. Mais recentemente estão também disponíveis no tradicional *software* Bernese 5.0. Os usuários agora têm a opção de processar dados de uma única estação para obter posições com alta precisão tomando as vantagens de utilização do sistema de referência global altamente acurado oferecido pelos produtos IGS. Mais recentemente, os serviços de PPP on-line, disponibilizados por algumas agências, como o NRCan (*Natural Resources of Canada*) por exemplo, tornaram-se uma

maneira de crescente importância para usuários GPS obterem informação sobre posicionamento em sistemas de referência global ou nacional (MIREAULT et al, 2008). O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) disponibiliza um serviço de PPP on-line que faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo NRCan.

Entretanto, os produtos IGS para correção dos relógios e órbitas dos satélites têm um período de latência que pode chegar até a 18 dias, como no caso das efemérides precisas. As correções IGS para os relógios dos satélites são obtidas através de técnicas de estimação e previsão baseadas em processamento de dados GPS e modelagem dos processos estocásticos característicos de osciladores atômicos (BRÖDERBAUER, OPTIZ E WEBER, 2006).

As correções IGS não contêm as correções relativísticas que atuam sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS. Essas correções relativísticas podem ser divididas em duas partes: uma constante e outra periódica. A parte constante da correção é realizada à priori, sobre o padrão de vibração dos relógios atômicos dos satélites GPS antes do seu lançamento. A parte periódica da correção é realizada pelos receptores GPS (IS-GPS-200D, 2006). Na modelagem analítica da parte periódica considera-se um modelo kepleriano para o geopotencial. Neste modelo o achatamento terrestre ( $J_2$ ) não é levado em conta.

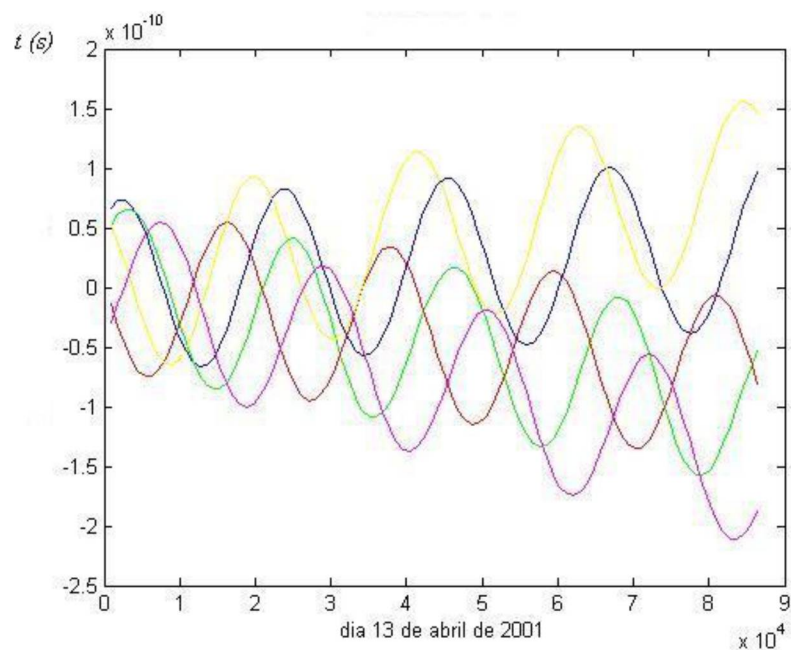
A precisão corrente dos relógios a bordo dos novos satélites GPS é da mesma ordem de grandeza do erro causado pela não inclusão de  $J_2$  no modelo para o potencial gravitacional (KOUBA, 2004). Isso sugere que este erro não deva ser negligenciável ainda por muito tempo dentro do sistema. A influência de  $J_2$  sobre os relógios dos satélites é função da posição e velocidade instantâneas do satélite GPS. Os receptores GPS e os *softwares* de pós-processamento não realizam, ainda, esta correção. Isto sugere que esta correção relativística também poderia ser efetuada em solo, ou pelos receptores GPS ou através de pós-processamentos.

Os erros relativísticos causados pelo potencial gravitacional gerado pelo achatamento terrestre sobre os relógios dos satélites GPS é da ordem de 0,1 a 0,2 ns, o que, multiplicado por  $c$ , se converte em distâncias entre 3 a 6 cm.

Na FIGURA 1, que é resultado da pesquisa realizada em dissertação de mestrado (CARARO, 2006) no CPGCG da UFPR, é mostrada a amplitude, em segundos, do erro relativístico causado pelo achatamento terrestre sobre os relógios dos satélites GPS 1, 2, 3, 4 e 11. É observado um erro cumulativo com amplitude de

aproximadamente 0,2 nanossegundos por dia e também erros periódicos com aproximadamente 0,1 ns de amplitude. É interessante lembrar que 1 nanossegundo de erro em medidas de tempo GPS equivale aproximadamente a 30 cm de erro em posicionamento final.

O acoplamento de técnicas de posicionamento GPS com a inclusão da correção relativística melhorada modelada por KOUBA (2004) é novo e ainda não foi utilizado para processamento de dados GPS. Como a ordem de grandeza dos erros corrigidos pela nova modelagem do efeito relativístico do potencial gerado pelo achatamento terrestre é da ordem de 0,1 a 0,2 nanossegundos, pode ser esperada uma modificação na ordem do centímetro em posicionamento final após o desenvolvimento deste trabalho.



- Satélite 1
- Satélite 2
- Satélite 3
- Satélite 4
- Satélite 11

FIGURA 1 - AMPLITUDE DO ERRO RELATIVÍSTICO CAUSADO POR  $J_2$  SOBRE OS RELÓGIOS DOS SATÉLITES GPS 1, 2, 3, 4 E 11

FONTE: Cararo (2006)

Ainda é importante ressaltar que a metodologia e produto a ser gerado com o desenvolvimento deste trabalho possui dois aspectos de caráter inédito: o primeiro é a inclusão do efeito de  $J_2$  sobre os relógios dos satélites em processamento de dados GPS. O segundo é forma como essas correções são implementadas: sobre as observáveis GPS dos arquivos RINEX de observação.

Modificações feitas diretamente nos arquivos RINEX de observação podem ser úteis em situações quando não haja disponibilidade de correções IGS, como no caso de posicionamentos em tempo quase-real, ou ainda como forma de avaliar novas metodologias para correções sobre as observáveis GPS.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 INTRODUÇÃO AO SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL - GPS

O GPS consiste basicamente de três segmentos: espacial, de controle e do usuário. O segmento espacial é composto nominalmente por 24 satélites, quatro em cada um de seis planos orbitais, inclinados de 55 graus em relação ao plano equatorial da Terra. Os satélites estão colocados de tal forma que, de qualquer lugar da Terra, em qualquer horário, pelo menos quatro estão visíveis acima do horizonte. Orbitam a aproximadamente 20.000 Km acima da superfície da Terra, com período de 11 horas e 58 minutos. Cada satélite carrega um ou mais relógios atômicos muito estáveis, de tal forma que possam transmitir sinais codificados sincronizados. Os dados codificados transmitidos informam sobre o tempo de transmissão e posição do satélite.

O segmento de controle compreende uma rede de estações terrestres que rastreia os satélites e monitora os seus sinais. Esses dados são enviados para a *Master Control Station* em Colorado Springs, CO, que os analisa, processa, projeta efemérides e o comportamento dos relógios, e os reenvia para os satélites introduzindo correções em seus elementos orbitais e no relógio. Dessa forma, as informações transmitidas pelos satélites são atualizadas e mantêm-se acuradas.

O segmento do usuário consiste de todos os usuários, civis e militares, que, por intermédio dos sinais recebidos, estão capacitados a determinar sua posição, velocidade e tempo nos relógios locais. O sistema *GPS* é afetado por diversos erros.

Além das óbvias aplicações civis e militares, o sistema também vem sendo utilizado em muitas outras como: monitoramento de placas tectônicas, previsão de terremotos, detecção de falhas em grandes redes elétricas, navegação espacial, transações financeiras, testes em física fundamental, agricultura e outros.

### 2.2. PRINCÍPIO FÍSICO FUNDAMENTAL DO *GPS*

Sejam quatro relógios atômicos (assumidos como ideais), sincronizados, que transmitem pulsos eletromagnéticos bem definidos e

individualmente identificados, à partir das posições  $\vec{r}_j$ , nos instantes  $t_j$ , com  $j = 1, 2, 3, 4$  (conhecidos através das efemérides transmitidas pelos satélites que contém os relógios). Supondo que esses quatro sinais sejam recebidos simultaneamente na posição  $\vec{r}$  no instante  $t$ , pelo princípio da constância da velocidade da luz,  $c$ , pode-se escrever (SEEBER, 2003), (ASHBY e SPILKER, 1996):

$$c^2(t - t_j)^2 = |\vec{r} - \vec{r}_j|^2, \text{ com } j = 1, 2, 3, 4, \quad (1)$$

onde  $c$  vale 299792458 m/s.

Estas quatro equações contém as quatro incógnitas posição e tempo do receptor GPS,  $\{\vec{r}, t\}$ , que ficam, assim, determinadas. Portanto, o princípio da constância de  $c$  é o conceito fundamental no qual o GPS está fundamentado. Deve-se observar que erros na determinação do tempo de 1 nanossegundo levam a erros de posicionamento na ordem de 30 cm. A equação (1) é válida somente no sistema inercial ECI (*Earth Centered Inercial Frame*) pois para sistemas rotacionais a luz não percorre uma linha reta e sim, espirais (ASHBY, 2002).

Esses cálculos são feitos pelo microprocessador embutido no receptor GPS. Inicialmente, o *software* no receptor estima o tempo de viagem dos pulsos emitidos pelos satélites subtraindo o tempo de recepção registrado em seu próprio relógio daquele indicado pelo relógio do satélite no momento da transmissão. Então, o processador multiplica esses intervalos de tempo pela velocidade da luz para obter as distâncias  $R_1, R_2, R_3, R_4$ . Somente três dessas distâncias seriam necessárias para determinar a posição do usuário.

Entretanto, o receptor emprega um relógio de quartzo bem mais simples do que os relógios atômicos dos satélites, causando erros de cronometragem que se refletem no cálculo de  $R_1, R_2, R_3, R_4$ , que, por esse motivo, são chamadas de *pseudodistâncias*. Mas, como o erro no relógio do receptor é o mesmo para as quatro pseudodistâncias, é possível determinar matematicamente esse erro com a quarta das equações (1). Esse quarto sinal capacita um receptor GPS qualquer a processar sinais como se ele contivesse um relógio atômico.

## 2.3 FONTES DE ERRO NO SISTEMA GPS

A seguir são apresentados, de forma sucinta, alguns dos principais erros que afetam o sistema GPS.

### 1) Avaliação Seletiva (SA/*Selective Availability*):

No dia 02 de Maio de 2002 a SA foi desativada. SA é uma perturbação intencional no tempo fornecido pela portadora L1 transmitida pelos satélites GPS. Para os receptores civis isto significa uma determinação de posição menos acurada (flutuação de 50 metros num intervalo de alguns minutos). Adicionalmente, os dados das efemérides são transmitidos com menor acurácia. Desta forma, a erro em posicionamento pode alcançar até 150 m em algumas horas.

### 2) Geometria dos satélites:

Um outro fator que influencia a acurácia na determinação da posição é a geometria dos satélites, que, de forma simplificada, pode ser vista como a distribuição relativa de suas posições do ponto de vista do receptor GPS. Se quatro satélites estão, por exemplo, dispostos na direção norte-sul, pode-se dizer que a geometria não é boa. Numa das piores circunstâncias, todos os satélites visíveis pelo receptor estariam alinhados numa mesma direção. Se, por outro lado, os quatro satélites estão bem distribuídos por todo o firmamento, a determinação da posição será bem mais acurada. Se, por exemplo, os satélites estão posicionados no norte, sul, leste e oeste, o receptor efetuará medidas de distâncias em quatro direções diferentes, refletindo uma “boa geometria”. Para indicar a qualidade da geometria dos satélites, os valores DOP (*dilution of precision*) são utilizados. Dependendo de quais variáveis estão sendo usadas no cálculo dos valores DOP, diferentes variantes são obtidas:

- GDOP (*geometric dilution of precision*),
- PDOP (*positional dilution of precision*),
- HDOP (*horizontal dilution of precision*),
- VDOP (*vertical dilution of precision*),



- TDOP (*time dilution of precision*).

Valores abaixo de 4 para o HDOP são bons e acima de 8 não. Os valores para o HDOP pioram se os satélites estão altos, no firmamento. Por outro lado, os valores do VDOP pioram quando os satélites estão mais próximos da linha do horizonte. Os valores para o PDOP são os melhores se um dos satélites está posicionado diretamente acima da vertical e os outros três estão espaçados nas proximidades da linha do horizonte. Para uma determinação acurada da posição, o valor para o GDOP não deve ser menor que 5. A geometria dos satélites não causa inacurácia nas medidas de posição que são realizadas em metros. O GDOP amplifica outras inacurácias. Os erros na determinação da posição causados pela geometria dos satélites também dependem da latitude do receptor.

### 3) Órbitas dos satélites:

Embora os satélites estejam posicionados em órbitas muito precisas, pequenos desvios são possíveis em função de efeitos gravitacionais. O Sol e a Lua têm uma fraca influência na órbita dos satélites GPS. Os dados orbitais são controlados e corrigidos regularmente e são enviados para os receptores nas efemérides transmitidas.

### 4) Efeitos de multicaminhamento:

O efeito de multicaminhamento é causado pela reflexão dos sinais enviados pelos satélites nos objetos próximos ao receptor. Para os satélites GPS este efeito aparece principalmente nas vizinhanças de edifícios e outras elevações. O sinal refletido leva mais tempo para chegar ao receptor do que o sinal direto. A ordem de grandeza típica deste erro é de alguns metros. A sensibilidade dos receptores GPS a este efeito é função particularmente da arquitetura da antena.

### 5) Efeitos atmosféricos:

Outra fonte de inacurácia em posicionamento GPS é a redução da velocidade de propagação do sinal transmitido pelos satélites quando atravessam a ionosfera e atmosfera. Entre 80 e 200 Km acima da superfície, na ionosfera, um grande número

de partículas positivamente ionizadas e elétrons está presente em função da ionização gerada pela radiação emitida pelo Sol. A maior parte deste erro é corrigida pelo receptor GPS. A ordem de grandeza típica deste efeito é bem conhecida para condições atmosféricas padrão. Entretanto, os receptores civis não são capazes de corrigir mudanças imprevistas como no caso de fortes ventos solares. É conhecido que as ondas eletromagnéticas têm sua velocidade de propagação diminuída com o inverso do quadrado de sua frequência ( $1/f^2$ ) ao passar pela ionosfera. Isto significa que ondas eletromagnéticas de baixas frequências são mais refratadas do que ondas de frequências altas. Se os sinais de frequências diferentes, recebidos por um receptor, são analisados levando-se em consideração seus diferentes tempos de chegada, o erro causado pela propagação ionosférica pode ser calculado. A passagem do sinal eletromagnético pela troposfera é um fator adicional de atraso por refração. Neste caso, a refração se dá pelas diferentes concentrações de vapor de água na troposfera, em virtude das diferentes condições atmosféricas. O erro troposférico é menor do que o ionosférico, mas não pode ser eliminado por cálculos. Ele pode apenas ser aproximado através de modelos matemáticos.

#### 6) Efeitos relativísticos:

Na vida diária não se percebe a onipresença a teoria da relatividade. Entretanto, ela tem influência em vários processos, entre eles, o funcionamento do sistema GPS. Tempo é um fator muito relevante em navegação e posicionamento por GPS. É conhecido da teoria da relatividade que o tempo marcha mais lentamente quando o relógio se movimenta. Para os satélites GPS, que se movimentam a 3874 m/s, os relógios marcharão mais lentamente quando observados da superfície da Terra. Isto se chama dilatação temporal e leva a uma inacurácia nas medidas de tempo da ordem de 7,2 microssegundos por dia. Também é conhecido da teoria da relatividade que o tempo marcha mais lentamente em campos gravitacionais mais intensos. Para um observador na superfície, os relógios dos satélites GPS estão marchando mais rapidamente (os satélites GPS estão a 20.000 km de altitude e expostos a um campo gravitacional bem menos intenso do que na superfície). No sistema GPS este último efeito é maior do que a dilatação temporal causada pela velocidade dos satélites. O resultado líquido dos

dois efeitos faz com que os relógios dos satélites GPS pareçam marchar um pouco mais rapidamente quando observados da superfície.

#### 7) Centro de fase da antena:

A não coincidência entre o centro mecânico e centro eletromagnético da antena do receptor GPS causa um erro na ordem de alguns milímetros ou centímetros. Para minimizar este erro é necessária a calibração da antena, especialmente se num mesmo posicionamento forem empregadas antenas de fabricantes diferentes. Se forem utilizadas antenas idênticas, no posicionamento relativo, então este erro é desprezível. (KRUEGER, 1996)

## 2.4 ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS SOBRE ÓRBITA KEPLERIANA

Nesse ítem serão mostrados, de forma sucinta, alguns conceitos clássicos de dinâmica orbital (KAULA (1966); FERREIRA (1998); MONTENBRUCK e GILL (2000)) que são utilizados neste trabalho, pois as correções relativísticas sobre os relógios dos satélites GPS dependem de sua posição e velocidade em órbita. As correções relativísticas padrão sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS consideram o potencial gravitacional gerado pela Terra considerando-a um corpo homogêneo e esférico.

Uma das características fundamentais da órbita de um satélite é sua altitude. A escolha da altitude determina em grande parte as finalidades do satélite. Uma classificação convencional é mostrada na TABELA 1.

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS SATÉLITES SEGUNDO SUA ALTITUDE

Categoria	Sigla	Altitude	Exemplo
Órbita próxima da Terra	NEO - <i>Near Earth Orbit</i>	150 Km – 500 Km	ônibus espacial
Órbita baixa da Terra	LEO - <i>Low Earth Orbit</i>	500 Km – 1500 Km	CHAMP
Órbita média da Terra	MEO - <i>Medium Earth Orbit</i>	5000 Km – 15000 Km	ICO
Órbita alta da Terra	HEO - <i>High Earth Orbit</i>	20000 Km – 50000 Km	GPS/Glonass/ Galileo
Órbita Geo-estacionária	GEO - <i>Geo-stationary Orbit</i>	35786 Km	sat. comunic.

FONTE: adaptado de GULKLETT (2003)

Uma outra característica importante da órbita de um satélite é sua inclinação  $i$ . O ângulo de inclinação  $i$  é medido com respeito ao plano equatorial ao nodo ascendente quando o satélite cruza o equador do hemisfério sul para o hemisfério norte, conforme mostra a FIGURA 2. A órbita é chamada direta se  $0 < i < \pi/2$ , por que ele revoluciona no mesmo sentido da rotação da Terra. Se a inclinação excede  $\pi/2$  a órbita é chamada retrógrada e se  $i = 0$  ou  $i = \pi/2$  então a órbita é equatorial ou polar, respectivamente. O eixo  $x$  está direcionado para o ponto vernal  $\Upsilon$ . O ângulo  $\Omega$  é chamado de ascensão reta do nodo ascendente, e descreve o ângulo entre o equinócio vernal e a linha nodal, interseção do plano da órbita com o equador;  $\omega$  é chamado de argumento do perigeu, e descreve o ângulo entre a direção do nodo ascendente e o perigeu.

Considera-se agora um satélite em uma órbita elíptica Kepleriana na qual o momento angular orbital é uma constante do movimento (SEEBER, 2003), (FERREIRA, 1998). Isso implica que a órbita é realizada sobre um plano. Esse plano é chamado *orbital*. Uma quantidade física conservada é a energia mecânica total e, a partir disso, segue-se que a velocidade pode ser expressa como:

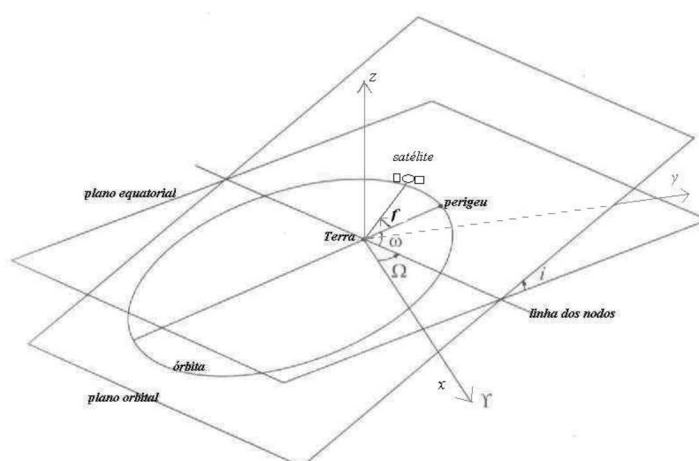


FIGURA 2 – OS ELEMENTOS ORBITAIS  $i$ ,  $\Omega$  E  $\omega$  DE UM SATÉLITE  
 FONTE: adaptada de MONTENBRUCK e GILL (2000)

$$v^2 = GM \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right). \quad (2)$$

A equação (2) é a chamada equação *vis viva*. Aqui,  $r$  é o módulo do raio vetor e  $a$  representa o semi-eixo maior da elipse orbital. Para expressar a dependência temporal da órbita, é útil definir um círculo auxiliar, que circunscribe a elipse orbital conforme mostra a FIGURA 3. Para esse propósito, uma variável auxiliar  $E$ , chamada *anomalia excêntrica* é definida, através das equações:

$$x = r \cos f = a(\cos E - e), \quad (3)$$

$$y = r \sin f = a(1 - e^2)^{1/2} \sin E. \quad (4)$$

O ângulo  $f$  é a chamada *anomalia verdadeira*.

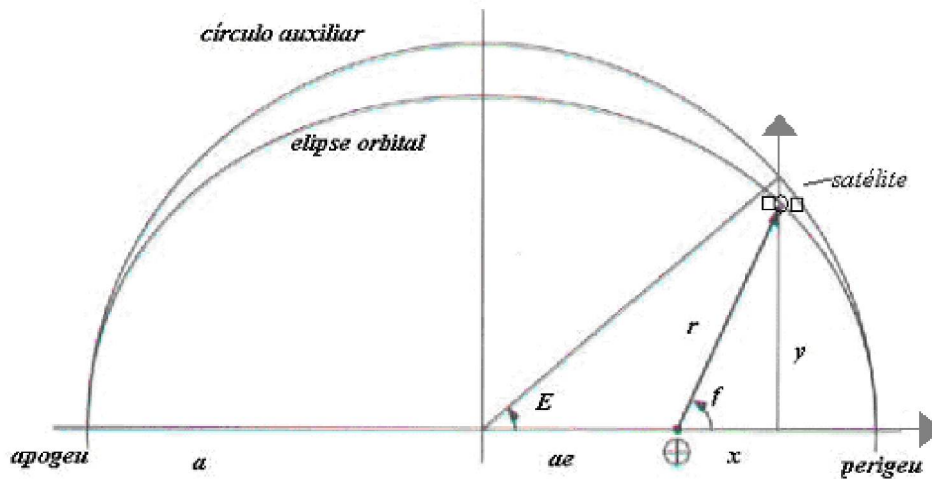


FIGURA (3) – DEFINIÇÃO DA ANOMALIA EXCÊNTRICA  $E$   
 FONTE: adaptado de MONTENBRUCK e GILL (2000)

O raio vetor  $r$  pode ser, então, expresso através de  $E$ :

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = a(1 - e \cos E). \quad (5)$$

Da geometria da órbita têm-se:

$$\cos f = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos E} \quad (6)$$

$$\operatorname{sen} f = \frac{\sqrt{1 - e^2} \operatorname{sen} E}{1 - e \cos E}. \quad (7)$$

Relacionando-se as equações (6) e (7) determina-se a anomalia verdadeira  $f$  em termos da anomalia excêntrica  $E$ . A relação entre  $f$  e  $E$  também pode ser expressa através da equação:

$$\tan \frac{f}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2}. \quad (8)$$

Uma terceira anomalia usada em Dinâmica Orbital é a *anomalia média*  $M$ , definida pela equação:

$$M = n(t - t_p) = E - e \operatorname{sen} E, \quad (9)$$

que é conhecida como Equação de Kepler, onde

$$n = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{GM}{a^3}} \quad (10)$$

é o movimento angular médio do satélite e  $t_p$  é o tempo de passagem pelo perigeu.

As grandezas  $(a, e, i, \Omega, \omega, M)$  são os chamados elementos orbitais ou Keplerianos, e eles especificam completamente a órbita do satélite. A dimensão e a forma da órbita são especificados pelo semi-eixo maior  $a$  e pela excentricidade  $e$ . A orientação do plano orbital é especificada pela inclinação  $i$  e pela ascensão reta do nodo ascendente  $\Omega$ . A orientação da órbita em seu próprio plano orbital é especificada pelo argumento do perigeu  $\omega$ . Finalmente, a dependência temporal da órbita é especificada pela anomalia média  $M$  em uma dada época  $t_e$ . Esses seis

parâmetros são equivalentes a especificar a posição inicial e velocidade num sistema de referência cartesiano.

Há uma diferença entre o parâmetro orbital  $\Omega$ , ascensão reta do nodo ascendente, e o parâmetro  $\Omega_0$ , longitude do nodo ascendente, que é disseminado nas efemérides transmitidas pelos satélites *GPS*.

O primeiro,  $\Omega$ , é medido desde o ponto vernal até a linha nodal, intersecção entre o plano da órbita do satélite e o plano do equador terrestre. É este o parâmetro utilizado nas equações da Dinâmica Orbital. O segundo,  $\Omega_0$ , é medido desde o meridiano de Greenwich até a linha nodal.

A diferença entre os dois parâmetros é mostrada na FIGURA 4. As equações de transformação entre eles encontram-se em SEEBER (2003); GEMAEL e ANDRADE (2004).

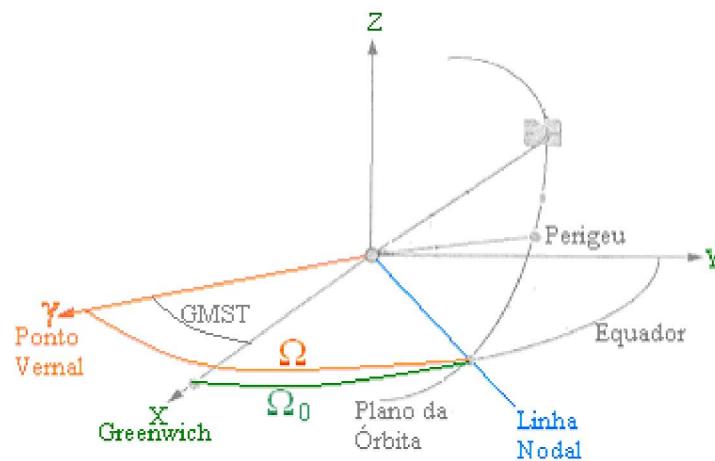


FIGURA 4 – LONGITUDE DO NODO ASCENDENTE

FONTE: Adaptada de MONICO (2000)

## 2.5 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ERROS RELATIVÍSTICOS QUE AFETAM O SISTEMA GPS

O GPS é um sistema de radionavegação por satélite desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América com o intuito de fornecer posicionamento tridimensional, navegação e disseminação de tempo para usuários adequadamente equipados. Conforme exposto anteriormente, consiste nominalmente de 24 satélites, cada um carregando relógios atômicos acurados e altamente estáveis. Os satélites transmitem sinais de tempo sincronizados, com informações sobre tempo e posição no momento da transmissão. Um receptor GPS nas proximidades da Terra pode determinar sua posição e tempo decodificando as mensagens de navegação transmitidas por, pelo menos, quatro satélites (SEEBER, 2003).

Excetuando-se os aceleradores de partículas, não há atualmente outro sistema, além do GPS, onde as teorias da relatividade geral e especial têm tantas aplicações. O sistema é baseado no princípio da constância da velocidade da luz num referencial inercial local, com origem no geocentro. Tanto os relógios dos satélites em movimento, quanto os relógios em repouso sobre a superfície da Terra em rotação são afetados pela dilatação temporal. As diferenças de potencial gravitacional entre os satélites e usuários e suas velocidades relativas são responsáveis por desvios de frequência relativísticos na marcha dos relógios.

A maior parte dos usuários GPS está sobre a superfície da Terra e seria desejável sincronizar relógios em relação a um sistema de referências rotacional ligado à Terra. Mas a rotação da Terra provoca o efeito (relativístico) *Sagnac* (POST, 1967), causando inconsistências no processo de sincronização sobre a superfície através de relógios atômicos em movimento ou de sinais eletromagnéticos. Esse efeito é dependente da trajetória e pode alcançar centenas de nanossegundos, o que é bastante significativo para o GPS (ASHBY et al., 1985; HAFELE e KEATING, 1972). Por isso, a sincronização no GPS é realizada através de relógios fictícios em repouso com relação a um referencial inercial cuja origem é o geocentro.

De fato, o GPS é um sistema no qual a relatividade é essencial para sua performance. Há basicamente três formas da relatividade afetá-lo: nas equações de movimento da órbita dos satélites, na propagação dos sinais eletromagnéticos e na



marcha dos relógios dos satélites, apenas esta última sendo abordada neste trabalho.

Os relógios atômicos a bordo dos satélites GPS sofrem desvios de frequência relativísticos em função de sua velocidade e diferença de potencial gravitacional em relação aos usuários. Esses desvios tornariam o sistema não operacional se não fossem contabilizados.

Por convenção, as transformações relativísticas **padrão** no GPS estão separadas em duas partes (IS-GPS-200D, 2006). A primeira, **constante**, é efetuada sobre o padrão de vibração dos relógios dos satélites antes de seu lançamento. Um desvio no valor de  $-446,47 \cdot 10^{-12}$  é realizado sobre a frequência nominal padrão 10,23 MHz de operação do GPS. Essa correção constante é devida, principalmente, à relatividade geral (induzida por diferenças de potencial gravitacional entre o usuário e a altitude nominal dos satélites) e também, à relatividade especial (causada pela velocidade média dos satélites), compensando os efeitos relativísticos constantes sobre a marcha dos relógios dos satélites em aproximadamente  $-39 \mu\text{s}/\text{dia}$ . Isto equivaleria a um erro acumulado de aproximadamente 11 Km num único dia (ASHBY, 2002). A parte constante é calculada tomando-se como base os valores nominais para o semi-eixo maior da órbita e velocidade média dos satélites. Mas, como há variações no semi-eixo maior entre os diversos satélites GPS (e conseqüente variação em suas velocidades médias) essa parte constante da correção ainda apresenta erros.

A diferença entre o valor nominal para o semi-eixo maior da órbita GPS ( $a_n = 26.561.400 \text{ m}$ ) e o valor real do semi-eixo maior médio ( $a_0$ ) para cada satélite causa um erro adicional na parte constante da correção relativística que é dado por (KOUBA, 2002):

$$\partial\Delta t_{con}(a_0) = +3/2 \cdot GM(a_0 - a_n)/(a_0 c)^2 \quad (11)$$

A ordem de grandeza do erro corrigido pela equação (11) é aproximadamente  $0,2 \text{ ns}/\text{dia}$  (KOUBA, 2004),  $c$  é a velocidade da luz, e  $GM$  é a constante gravitacional geocêntrica.

A segunda parte das correções relativísticas, a **periódica**, depende principalmente da excentricidade da órbita, e é igualmente devida a relatividade

geral e especial (diferença entre os valores médios e os reais instantâneos para a altura e velocidade do satélite). É calculada pela equação (12) e realizada pelo *software* dos receptores GPS com os dados recebidos nas efemérides transmitidas pelos satélites GPS:

$$\Delta t_{per} = +4,4428 \times 10^{-10} e \sqrt{a} \cdot \text{sen} E \quad \text{em } \sqrt{m} \quad (12)$$

onde  $e$  é a excentricidade da órbita,  $a$  é semi-eixo maior e  $E$  é a anomalia excêntrica do satélite. O valor máximo dessa correção para um satélite GPS com excentricidade  $e = 0,01$  é de 23 ns. Mas há satélites GPS que apresentam valores maiores para a excentricidade.

No Sistema de Tempo GPS (GPS Time) o tempo  $t$  observado em solo é obtido com (KOUBA, 2002):

$$t = T_{sv} - \Delta t_{rel}$$

onde  $T_{sv}$  é o tempo gerado a bordo dos satélites GPS e disseminado pelas efemérides transmitidas. (É interessante notar que nas efemérides transmitidas são enviados alguns coeficientes para a correção dos relógios dos satélites, mas não se tratam de correção relativística).

KOUBA (2002) fornece a correção relativística **completa** para o tempo GPS  $t$ , que é precisa ao nível  $10^{-18}$  para o padrão de vibração dos relógios:

$$t = T_{sv} - \Delta t^{rel} = T_{sv} - \frac{GM}{c^2} \left\{ \left( \frac{1}{a_E} \right) t + \int \left[ \frac{1}{2a} - \frac{2}{r} + \frac{R}{GM} - \frac{\Delta V}{GM} \right] dt \right\} \quad (13)$$

onde  $a_E = 6.363.672,5$  m é o raio médio da Terra,  $R$  é o potencial perturbador (desprezado nas correções padrão mas que será levado em consideração no desenvolvimento deste trabalho). No nível do *picossegundo* ( $10^{-16}$  para a frequência) o potencial de maré  $\Delta V(x,y,z)$  causado pelos outros corpos do sistema solar (Lua, Sol, planetas) pode ser negligenciado. A equação (13), calculada através de integração numérica, é utilizada como padrão de comparação para as

expressões analíticas que são utilizadas, na prática, nas transformações temporais relativísticas do GPS.

KOUBA (2004) revisou as transformações relativísticas para o tempo GPS até o nível de 0,001 ns ( $10^{-16}$  para frequência) e concluiu que a correção periódica convencional padrão equação (12) introduz **erros periódicos** na ordem de 0,1 a 0,2 ns, o que é considerado significativo porque excede a precisão IGS (International GNSS Service) para os relógios dos satélites.

Ou seja: quando as correções relativísticas **padrão** para o GPS são utilizadas, os relógios dos satélites e a frequência de operação apresentam erros no nível de  $10^{-14}$  s. Segundo KOUBA (2004), para os futuros satélites GPS, que carregarão padrões de frequência masers de hidrogênio, esses erros serão inaceitáveis.

KOUBA (2004) inclui o primeiro termo  $J_2$  do potencial perturbador R gerado pelo achatamento terrestre na equação (13) e deriva uma expressão analítica para corrigir este efeito relativístico:

$$\delta\Delta^{rel} = -\frac{1}{2} \frac{a_E^2}{a^2 c^2} J_2 \left[ 3\sqrt{GM} a \sin^2 i \cdot \sin 2u - 7 \frac{GM}{a} \left( 1 - \frac{3}{2} \sin^2 i \right) t \right] \quad (14)$$

onde  $a_E$  é o raio médio da Terra,  $i$  é a inclinação da órbita e  $u = (\omega + f)$  é o argumento da latitude, isto é, a soma da anomalia verdadeira e o argumento do perigeu. A correção fornecida pela equação (14) ainda não está implementada em programas de processamento de dados GPS nem nos softwares dos receptores GPS.

Detalhes sobre o Sistema de Tempo GPS (*GPS Time*) e sobre as correções relativísticas que atuam sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS podem ser encontrados em Cararo (2006).

## 2.6 O FORMATO RINEX

O “*Receiver Independent Exchange Format*” - RINEX - (GURTNER, 2001) foi desenvolvido pelo Instituto Astronômico da Universidade de Berne com o propósito de facilitar o intercâmbio de dados NAVSTAR-GPS coletados com diferentes receptores GPS durante a campanha “EUREF 89” (SEEBER, 1993). Cada receptor

GPS possui seu próprio formato de armazenamento de dados o que dificulta o processamento de dados em um mesmo *software*. Para resolver este problema, é necessário um formato padrão. Posteriormente à campanha “EUREF 89” o formato RINEX foi adotado como padrão para intercâmbio internacional de dados GPS. São três os tipos de arquivos RINEX: arquivos de dados de navegação, arquivo de dados de observação e arquivos de dados meteorológicos. Cada arquivo consiste de uma seção de cabeçalho e uma seção de dados. No cabeçalho estão as informações gerais do arquivo. O RINEX define três quantidades fundamentais nas observáveis GPS: tempo, pseudodistância e fase.

A observável tempo é aquela em que o receptor GPS recebe os sinais transmitidos pelos satélites. É idêntica para as medidas de fase e pseudodistância e é idêntica para todos os satélites observados na mesma época. É expressa no sistema de tempo GPS – GPS Time.

A pseudodistância é a distância entre as antenas do receptor e do satélite GPS:

Pseudodistância = distância geométrica +  $c$ . (erro do relógio do receptor – erro do relógio do satélite + outros desvios)

A pseudodistância é dada em unidades de metros.

A fase da onda portadora é medida em ciclos inteiros para ambas as ondas portadoras L1 e L2 transmitidas pelos satélites GPS. Elas são geradas da frequência fundamental de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente. As frequências ( $L$ ) e os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de L1 e L2 são:

L1 = 1575,42 MHz e  $\lambda \approx 19$  cm;

L2 = 1227,60 MHz e  $\lambda \approx 24$  cm.

São as observáveis GPS fase e pseudodistância que permitem determinar posição, velocidade e tempo (MONICO, 2007). As observáveis GPS estão sujeitas a erros advindos dos satélites (como o erro do relógio do satélite tratado neste trabalho), da propagação do sinal eletromagnético, do receptor, antenas e outros.

Segundo Gemael e Andrade (2004), a pré-correção de erros sistemáticos consiste em retirar das observações o efeito de erros sistemáticos, pelo uso de modelos matemáticos que definam tais erros. Neste trabalho visa-se pré-eliminar o erro relativístico causado pelo achatamento terrestre sobre as medidas de tempo efetuadas pelos relógios dos satélites, que se refletem nas observáveis GPS.

Os arquivos de dados de navegação RINEX contém informações referentes a cada satélite tais como: parâmetros de correção do relógio do satélite, os elementos keplerianos e suas variações, parâmetros de correção de efeitos ionosféricos, época de envio dos dados, além de outras informações de correções (SEEBER, 2003).

Os arquivos RINEX de observação usualmente contém os dados coletados por um receptor, em uma estação, durante uma sessão de observação. Nele estão contidas as observáveis GPS definidas anteriormente. A FIGURA 5 mostra a estrutura do cabeçalho do arquivo RINEX versão 2.11 de observação e a FIGURA 6 mostra a estrutura do corpo do arquivo RINEX versão 2.11 de observação.

TABLE A1 GNSS OBSERVATION DATA FILE - HEADER SECTION DESCRIPTION		
HEADER LABEL (Columns 61-80)	DESCRIPTION	FORMAT
RINEX VERSION / TYPE	- Format version (2.11) - File type ('O' for Observation Data) - Satellite System: blank or 'G': GPS 'R': GLONASS 'S': Geostationary signal payload 'E': Galileo 'M': Mixed	F9.2,11X, A1,19X, A1,19X
PGM / RUN BY / DATE	- Name of program creating current file - Name of agency creating current file - Date of file creation	A20, A20, A20
* COMMENT	Comment line(s)	A60  *
MARKER NAME	Name of antenna marker	A60
* MARKER NUMBER	Number of antenna marker	A20  *
OBSERVER / AGENCY	Name of observer / agency	A20,A40
REC # / TYPE / VERS	Receiver number, type, and version (Version: e.g. Internal Software Version)	3A20
ANT # / TYPE	Antenna number and type	2A20
APPROX POSITION XYZ	Approximate marker position (WGS84)	3F14.4
ANTENNA: DELTA H/E/N	- Antenna height: Height of bottom surface of antenna above marker - Eccentricities of antenna center relative to marker to the east and north (all units in meters)	3F14.4
* WAVELENGTH FACT L1/2	- Default wavelength factors for L1 and L2 (GPS only) 1: Full cycle ambiguities 2: Half cycle ambiguities (squaring) 0 (in L2): Single frequency instrument - zero or blank  The wavelength factor record is optional for GPS and obsolete for other systems. Wavelength factors default to 1. If the record exists it must precede any satellite-specific records (see below).	2I6,  I6  *

* WAVELENGTH FACT L1/2	- Wavelength factors for L1 and L2 (GPS) 1: Full cycle ambiguities 2: Half cycle ambiguities (squaring) 0 (in L2): Single frequency instrument - Number of satellites to follow in list for which these factors are valid. - List of PRNs (satellite numbers with system identifier)  These optional satellite specific lines may follow, if they identify a state different from the default values.  Repeat record if necessary.	2I6,  I6, 7(3X,A1,I2)	*
# / TYPES OF OBSERV	- Number of different observation types stored in the file - Observation types - Observation code - Frequency code If more than 9 observation types: Use continuation line(s) (including the header label in cols. 61-80!)  The following observation types are defined in RINEX Version 2.11:  Observation code (use uppercase only): C: Pseudorange   GPS: C/A, L2C Glonass: C/A Galileo: All P: Pseudorange   GPS and Glonass: P code L: Carrier phase D: Doppler frequency S: Raw signal strengths or SNR values as given by the receiver for the respective phase observations  Frequency code GPS    Glonass   Galileo   SBAS 1:  L1       G1       E2-L1-E1   L1 2:  L2       G2       --       -- 5:  L5       --       E5a       L5 6:  --       --       E6       -- 7:  --       --       E5b       -- 8:  --       --       E5a+b     --  Observations collected under Antispoofing are converted to "L2" or "P2" and flagged with bit 2 of loss of lock indicator (see Table A2).  Units : Phase        : full cycles Pseudorange : meters Doppler     : Hz SNR etc     : receiver-dependent  The sequence of the types in this record has to correspond to the sequence of the observations in the observation records	I6,  9(4X,A1,A1) 6X,9(4X,2A1)	
* INTERVAL	Observation interval in seconds	F10.3	*
TIME OF FIRST OBS	- Time of first observation record (4-digit-year, month,day,hour,min,sec) - Time system: GPS (=GPS time system) GLO (=UTC time system) GAL (=Galileo System Time) Compulsory in mixed GPS/GLONASS files Defaults: GPS for pure GPS files GLO for pure GLONASS files GAL for pure Galileo files	5I6,F13.7,  5X,A3	
* TIME OF LAST OBS	- Time of last observation record (4-digit-year, month,day,hour,min,sec) - Time system: Same value as in TIME OF FIRST OBS record	5I6,F13.7,  5X,A3	*

* RCV CLOCK OFFS APPL	Epoch, code, and phase are corrected by applying the realtime-derived receiver clock offset: 1=yes, 0=no; default: 0=no Record required if clock offsets are reported in the EPOCH/SAT records	I6	*
* LEAP SECONDS	Number of leap seconds since 6-Jan-1980 Recommended for mixed files	I6	*
* # OF SATELLITES	Number of satellites, for which observations are stored in the file	I6	*
* PRN / # OF OBS	PRN (sat.number), number of observations for each observation type indicated in the "# / TYPES OF OBSERV" - record.  If more than 9 observation types: Use continuation line(s) including the header label in cols. 61-80!  This record is (these records are) repeated for each satellite present in the data file	3X,A1,I2,9I6  6X,9I6	*
END OF HEADER	Last record in the header section.	60X	

FIGURA 5 – ESTRUTURA DO CABEÇALHO DO ARQUIVO RINEX 2.11 DE OBSERVAÇÃO  
Fonte: [http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs\\_cb/data/format/rinex211.txt](http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs_cb/data/format/rinex211.txt)

TABLE A2 GNSS OBSERVATION DATA FILE - DATA RECORD DESCRIPTION		
OBS. RECORD	DESCRIPTION	FORMAT
EPOCH/SAT or EVENT FLAG	- Epoch : - year (2 digits, padded with 0 if necessary) - month, day, hour, min, - sec	1X,I2.2, 4(1X,I2), F11.7,
	- Epoch flag 0: OK 1: power failure between previous and current epoch >1: Event flag	2X,I1,
	- Number of satellites in current epoch	I3,
	- List of PRNs (sat.numbers with system identifier, see 5.1) in current epoch	12(A1,I2),
	- receiver clock offset (seconds, optional)	F12.9
	If more than 12 satellites: Use continuation line(s)	32X, 12(A1,I2)
	If epoch flag 2-5:	
	- Event flag: 2: start moving antenna 3: new site occupation (end of kinem. data) (at least MARKER NAME record follows) 4: header information follows 5: external event (epoch is significant, same time frame as observation time tags)	[2X,I1,]
	- "Number of satellites" contains number of special records to follow. Maximum number of records: 999	[I3]
	- For events without significant epoch the epoch fields can be left blank	
	If epoch flag = 6:	
	6: cycle slip records follow to optionally report detected and repaired cycle slips	

	(same format as OBSERVATIONS records; slip instead of observation; LLI and signal strength blank or zero)		
OBSERVATIONS	- Observation   rep. within record for - LLI   each obs.type (same seq - Signal strength   as given in header)	m(F14.3, I1, I1)	
	If more than 5 observation types (=80 char): continue observations in next record.		
	This record is (these records are) repeated for each satellite given in EPOCH/SAT - record.		
	Observations: Phase : Units in whole cycles of carrier Code : Units in meters Missing observations are written as 0.0 or blanks.		
	Phase values overflowing the fixed format F14.3 have to be clipped into the valid interval (e.g. add or subtract 10**9), set LLI indicator.		
	Loss of lock indicator (LLI). Range: 0-7 0 or blank: OK or not known Bit 0 set : Lost lock between previous and current observation: cycle slip possible Bit 1 set : Opposite wavelength factor to the one defined for the satellite by a previous WAVELENGTH FACT L1/2 line or opposite to the default. Valid for the current epoch only. Bit 2 set : Observation under Antispoofing (may suffer from increased noise)		
	Bits 0 and 1 for phase only.		
	Signal strength projected into interval 1-9: 1: minimum possible signal strength 5: threshold for good S/N ratio 9: maximum possible signal strength 0 or blank: not known, don't care		

FIGURA 6 – ESTRUTURA DO CORPO DO ARQUIVO RINEX 2.11 DE OBSERVAÇÃO  
Fonte: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/rinex211.txt>

## 2.7 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE POSICIONAMENTO POR PONTO UTILIZANDO O GPS

Segundo MONICO (2000) o posicionamento é a determinação das coordenadas de um objeto segundo um referencial específico. No posicionamento por ponto necessita-se de apenas um receptor GPS e no posicionamento relativo necessita-se de dois ou mais receptores. O objeto a ser posicionado pode ou não estar em movimento, tratando-se, respectivamente, de posicionamento cinemático ou estático. Há ainda o posicionamento pelo princípio do GPS diferencial (DGPS), que consiste no posicionamento de estação móvel através de correções geradas em tempo real por uma estação de referência. MONICO (2000) classifica o



posicionamento por ponto em convencional, preciso e altamente preciso. O receptor pode ou não estar em movimento.

No posicionamento por ponto convencional a observável normalmente utilizada é a pseudodistância, utilizando os dados contidos nas efemérides transmitidas pelos satélites GPS, e está influenciado pelos erros advindos das coordenadas dos satélites, correções nos relógios dos satélites, refração troposférica, ionosférica, multicaminho do sinal e outros, limitando muito sua precisão.

No posicionamento por ponto preciso as observações podem ser pós-processadas utilizando-se efemérides precisas e correções para os relógios dos satélites produzidas pelo IGS (KOUBA, J. e SPRINGER, T., 2001; SPRINGER et al., 1998). Neste caso, as observáveis podem ser a pseudodistância, a fase da onda portadora ou ambas, coletadas por receptor de uma ou duas frequências. A precisão alcançada é da ordem de um metro, empregando-se uma única época de observação.

No posicionamento por ponto de alta precisão utilizam-se ambas as observáveis fase da onda portadora e pseudodistância obtidas por receptor de dupla frequência, em conjunto com os produtos IGS. O posicionamento por ponto de alta precisão pode fornecer resultados similares àqueles fornecidos por vários receptores processados em conjunto, numa rede GPS, com menor custo computacional. É possível obter precisão de poucos milímetros e de poucos centímetros para as componentes horizontal e vertical, respectivamente, se o receptor permanecer estático e houver pelo menos 24 horas de dados, coletados a uma taxa de 30 segundos. (MONICO, 2000).

Das diversas técnicas de posicionamento GPS, a de posicionamento por ponto altamente preciso (PPP) tem se destacado nas publicações recentes em virtude da melhoria na modelagem dos erros envolvidos.

O potencial do PPP para posicionamento em tempo real preciso, transferência de tempo e estimativa do vapor de água é avaliado em GAO e CHEN (2004). Para posicionamento é obtida acurácia no nível do centímetro, que é comparável ao método convencional da dupla diferenciação. Na estimativa de parâmetros ligados ao relógio do receptor é conseguida uma acurácia no nível do sub-nanossegundo, e as estimativas para medidas do vapor de água precipitável com PPP concorda com aquelas realizadas por um radiômetro de vapor de água no nível do milímetro. Como

não é requerida uma estação-base este método traz grande flexibilidade operacional com redução significativa de custos nessas aplicações.

Tem sido demonstrado por resultados obtidos com PPP em testes com os *softwares* GIPSY e BERNESE (KOUBA e SPRINGER, 2001) que o nível do milímetro é alcançado com os produtos IGS para órbitas e relógios. Neste caso, o período de coleta de dados foi de 24 horas, coletados a uma taxa de 30 segundos. O intervalo entre os dados usados no processamento foi de 5 minutos. Detalhes sobre PPP podem ser encontrados em ZUMBERGE et al., (1997).

Como uma das metas deste trabalho é verificar a influência, em processamento de dados GPS, da perturbação relativística causada pelo achatamento terrestre sobre os relógios dos satélites GPS é interessante a utilização da técnica de posicionamento por ponto, na qual os erros advindos dos relógios dos satélites não são cancelados pela diferenciação.

## 2.8 IGS E SEUS PRODUTOS

O IGS mantém uma rede global GNSS e providencia produtos precisos tais como efemérides GNSS, correções para os relógios, parâmetros de orientação da Terra, coordenadas e velocidades das estações IGS, desde sua fundação. Os produtos IGS são gerados pelos Centros de Análises (ACs) e combinados pelo Coordenador dos Centros de Análises (ACC). Cada um dos ACs utiliza um dos três *softwares* científicos mais utilizados para processamento de dados GNSS (Bernese, GIPSY/OASIS e GAMIT) ou então um *software* desenvolvido por ele próprio (FIGURA 7). As efemérides GNSS destes produtos IGS são de crucial importância porque sua acurácia afeta a performance dos resultados obtidos nos processamentos GNSS.

Os Centros de Análises do IGS providenciam correções para os desvios entre os relógios dos satélites GPS e o Sistema de Tempo GPS (GPS Time - GPST) no formato padrão (HILLA, 2007) SP3-c (Extended Standard Product 3 Orbit Format) ou em arquivos clock RINEX (RAY E GURTNER, 2006) para cada dia. Estes *offsets*, utilizados principalmente em *softwares* de pós-processamento de dados GPS, juntamente com um conjunto consistente de efemérides precisas para os satélites, são estimados em um procedimento de mínimos quadrados baseado nos dados de rastreamento da rede global de estações IGS.

<b>Centro de Análise</b>	<b>País</b>	<b>Software</b>
<b>CODE</b>	<b>Suíça</b>	<b>Bernese 5.0</b>
<b>ESOC</b>	<b>União Européia</b>	<b>BAHN, GPSOBS, BATUSI</b>
<b>GFZ</b>	<b>Alemanha</b>	<b>EPOS.P.V2</b>
<b>JPL</b>	<b>Estados Unidos</b>	<b>GIPSY/OASIS-II</b>
<b>NOAA</b>	<b>Estados Unidos</b>	<b>Page5</b>
<b>NRcan</b>	<b>Canadá</b>	<b>GIPSY/OASIS-II 2.6, Bernese 4.2</b>
<b>SIO</b>	<b>Estados Unidos</b>	<b>GAMIT 9.72, GLOBK 4.17</b>
<b>USNO</b>	<b>Estados Unidos</b>	<b>GIPSY/OASIS-II 5.5</b>
<b>MIT</b>	<b>Estados Unidos</b>	<b>GAMIT 10.02, GLOBK 5.08</b>
<b>GOP</b>	<b>República Tcheca</b>	<b>Bernese 5.0 (beta)</b>

FIGURA 7 – OS CENTROS DE ANÁLISES DO IGS E *SOFTWARES* UTILIZADOS  
 FONTE: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>

Os Centros de Análises IGS (ACs) predizem o comportamento de órbitas e relógios num intervalo de tempo limitado, tendo em vista aplicações em tempo real. Os modelos de predição para os relógios, em uso, diferem consideravelmente entre si para cada Centro em termos do grau do polinômio interpolador implícito e também no montante de dados que servem como entrada para a determinação dos coeficientes destes polinômios.

No Posicionamento por Ponto Preciso GPS a qualidade na determinação dos desvios das órbitas e relógios em relação ao GPST é fator determinante. Para muitas aplicações, a utilização de técnicas de diferenciação sobre as efemérides transmitidas é suficiente. Mas, para alcançar alta precisão, especialmente sobre linhas de base maiores do que 10 km, é necessário dispor das efemérides precisas providenciadas pelo IGS.

O IGS produz efemérides precisas finais com uma latência entre 12 a 18 dias, e acurácia de 75 ps ( <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>). Desde novembro de 2000 o IGS distribui os produtos “ultra-rápidos” (IGU) contendo órbitas e relógios precisos dos satélites GPS para aplicações em tempo real ou quase real. Devido à latência na distribuição das efemérides precisas finais do IGS, somente as efemérides transmitidas pelos satélites GPS e a parte predita das efemérides ultra-rápidas do IGS são aplicáveis ao PPP em tempo real (RT-PPP). As efemérides ultra-rápidas do IGS são atualizadas a cada 6 horas e têm uma latência de 3 horas. Compreendem um intervalo de 48 horas onde as primeiras 24 horas são estimadas (acurácia: 150 ps) e as últimas 24 horas são preditas (acurácia: 3 ns). É interessante

ênfatizar a diferença entre estimar e prever as correções (*offsets*) dos relógios. Para estimação usam-se observações GPS, e, após o processamento de dados de uma rede de estações de referência, derivam-se os *offsets* para os relógios. Para previsão, por outro lado, aplica-se um certo modelo para o relógio (linear, quadrático, periódico), ajustado (através de mínimos quadrados, por exemplo) sobre os *offsets* estimados e então faz-se a previsão dos *offsets* dos relógios para um tempo futuro. Devido a sua latência, as efemérides IGS não são adequadas para algumas aplicações do RT-PPP.

Atualmente há um crescente interesse na investigação de novos métodos de estimar e prever os relógios dos satélites GPS, mais rápidos e acurados (BRÖDERBAUER, THALER E WEBER, 2008). Novas aplicações do RT-PPP, como por exemplo, determinação precisa da órbita de satélites de altimetria, meteorológicos ou de missões como o *GRACE*, *CHAMP* e determinação rápida da magnitude de terremotos para sistemas de alerta de *tsunamis*, necessitam de correções acuradas para órbitas e relógios GPS com menor latência. As órbitas podem ser previstas mais facilmente pois são o resultado de uma integração sobre um campo de forças bem conhecido. Já a previsão dos relógios apresenta uma complexidade maior, em virtude do oscilador estar sujeito a erros devidos a efeitos randômicos, variações orbitais da temperatura e efeitos relativísticos convencionais e residuais, não obedecendo exatamente a uma modelagem mas devendo ser estimados. (BRÖDERBAUER E WEBER, 2004). Segundo Kouba (2004), uma pequena e constante deriva nos relógios dos satélites GPS não afetaria significativamente as interpolações ou extrapolações necessárias para a distribuição das informações a respeito destes relógios. Mas as perturbações periódicas são muito significativas neste aspecto, pois comprometem a qualidade das previsões.

A FIGURA 8 mostra um resumo dos produtos IGS, sua acurácia e disponibilidade.

Relógios e efemérides/satélites GPS		Acurácia	Latência
Transmitidas	Órbitas	~ 160 cm	Tempo real
	Relógios/satélites	~ 7 ns	
Ultra-rápidas (parte predita)	Órbitas	~ 10 cm	Tempo real
	Relógios/satélites	~ 5 ns	
Ultra-rápidas (parte observada)	Órbitas	< 5 cm	3 horas
	Relógios/satélites	~ 0,2 ns	
Rápidas	Órbitas	< 5 cm	17 horas
	Relógios/satélites	~ 0,1 ns	
Finais	Órbitas	< 5 cm	13 dias
	Relógios/satélites	< 0,1 ns	

FIGURA 8 – PRODUTOS IGS, ACURÁCIA E DISPONIBILIDADE  
 FONTE: <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>

### 3. METODOLOGIA

O IS-GPS-200D (2006) define os requisitos relacionados à interface entre o segmento espacial do GPS e o segmento dos usuários de navegação.

De acordo com o IS-GPS-200D, o usuário GPS deverá corrigir o tempo recebido do satélite GPS com a equação (em segundos):

$$t = t_{SV} - \Delta t_{SV}, \quad (15)$$

onde

$t$  = tempo GPS (GPS Time) em segundos,

$t_{SV}$  = tempo fornecido na mensagem de navegação por cada um dos satélites (em segundos), no instante da transmissão do sinal,

$\Delta t_{SV}$  = desvio no tempo fornecido pelo satélite GPS (em segundos).

O desvio (correção) em tempo a ser calculado para cada um dos satélites GPS é:

$$\Delta t_{SV} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2 + \Delta t_{rel}, \quad (16)$$

onde  $a_{f0}$  (segundo),  $a_{f1}$  (segundo/segundo) e  $a_{f2}$  (segundo/segundo<sup>2</sup>) são os coeficientes polinomiais fornecidos na mensagem de navegação (subframe 1) para a correção do relógio do satélite,  $t_{oc}$  é o tempo de referência para os dados do relógio (em segundos) e  $\Delta t_{rel}$  é a correção relativística periódica, equação (12), mostrada anteriormente, que também pode ser escrita como:

$$\Delta t_{rel} = Fe\sqrt{A} \sin(E),$$

onde:

$$F = \frac{-2\sqrt{\mu}}{c^2} = -4,442807633 \cdot 10^{-10} \frac{s}{\sqrt{m}},$$

$$\mu = 3,986005 \times 10^{14} \frac{m^3}{s^2} = \text{valor da constante gravitacional universal,}$$

$c = 2,99792458 \times 10^8 \frac{m}{s}$  = velocidade da luz,

e  $(e, \sqrt{A}, E)$  são os parâmetros orbitais: excentricidade, semi-eixo maior e anomalia excêntrica.

Segundo Gemael e Andrade (2004), na aplicação da equação (16)  $t$  pode ser substituído, sem prejuízo da precisão, por  $t_{sv}$ . e assim, as equações (15) e (16) deixam de ser acopladas.

Conforme mostrado anteriormente, a correção-padrão, equação (12), leva em conta apenas a influência do potencial gravitacional da Terra considerada esférica e homogênea, ou seja, o potencial Kepleriano.

Neste trabalho são calculadas novas correções (aqui chamadas de correções de segunda ordem) para os relógios, levando-se em consideração o potencial gravitacional gerado pelo achatamento terrestre, através da equação (14).

Os receptores GPS captam e decodificam as mensagens de navegação transmitidas pelos satélites GPS e geram arquivos de saída no formato RINEX: o arquivo de navegação, que contém as informações que foram transmitidas pelos satélites GPS e o arquivo de observações, que contém, entre outras informações, as observáveis GPS. As observáveis GPS são calculadas pelos *softwares* internos dos receptores GPS cujos algoritmos não são divulgados para a comunidade usuária GPS mas devem obedecer as normas do IS-GPS-200D.

Quando as observáveis (pseudodistância e fase) são calculadas (pelo algoritmo do receptor GPS), para serem fornecidas ao usuário nos arquivos RINEX de observações, são feitas as correções sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS. Essa é a correção-padrão, equação (12), fornecida pelo IS-GPS-200D, mencionada anteriormente.

Então, aqui, calculam-se correções de 2ª. ordem sobre o tempo fornecido pelos satélites GPS, equação (14), e essas correções são acrescentadas algebricamente às observáveis GPS do arquivo RINEX de observações, através de um programa computacional. É então gerado um novo arquivo RINEX de observações, modificado.

Ambos os arquivos, original e modificado, são utilizados em processamentos de dados GPS. Os resultados desses processamentos são comparados, avaliando a influência das novas correções no posicionamento GPS.

### 3.1 GERAÇÃO DAS CORREÇÕES RELATIVÍSTICAS DE SEGUNDA ORDEM PARA OS RELÓGIOS DOS SATÉLITES GPS

A correção  $\delta\Delta t^{rel}$  dada pela equação (14) é função da posição do satélite em órbita. Isso significa que, para cada satélite GPS e para cada época de observação, tem-se uma correção diferente. Segue a metodologia utilizada para geração das correções  $\delta\Delta t^{rel}$ :

1. Obter, via *Internet*, (<http://www.ngs.noaa.gov/orbits/prod/>) os arquivos no formato *SP3* fornecidos para a data de interesse (09/10/2009). Esse arquivo contém as três componentes do vetor posição para cada um dos satélites da constelação *GPS* ativos para aquela data. Os dados são fornecidos com intervalos de 15 min, o vetor posição é dado em *Km*, com precisão de 5 *cm*. Os arquivos *SP3* contêm as efemérides precisas produzidas pelo NGS e estão disponíveis na *Internet* com 8 a 10 dias de latência.
2. Os dados obtidos devem agora ser utilizados para a geração de um novo arquivo, no formato *SP1*, contendo o vetor de estado completo (as três componentes da posição e as três da velocidade), para todos os 32 satélites *GPS*.
3. O vetor de estado no *SP1* está no sistema terrestre (*CTS*) e deverá ser transformado para o sistema inercial (*CIS*). As matrizes de transformação encontram-se em SEEBER (1993).
4. Através de uma nova mudança de coordenadas o vetor de estado passa do *CIS* para um novo arquivo contendo os elementos orbitais correspondentes:  $a$ ,  $e$ ,  $i$ ,  $\Omega$ ,  $\omega$ ,  $M$ .
5. O conjunto de dados contendo os elementos orbitais (ao longo do dia 09/10/2009) é utilizado para gerar as correções relativísticas devidas ao achatamento terrestre, equação (14):

$$\delta\Delta t^{rel} = -\frac{a_E^2 J_2}{2a^2 c^2} \cdot \left[ 3\sqrt{GMa} \cdot \text{sen}^2 i \cdot \text{sen} 2u - \frac{7GM}{a} \left( 1 - \frac{3}{2} \text{sen}^2 i \right) \cdot t \right]$$

6. Obter o arquivo *RINEX* para o dia de interesse (09/10/09). Os dados *RINEX* utilizados são os da estação UFPR da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e estão



disponíveis on-line gratuitamente em  
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>.

Foi desenvolvido, em linguagem Fortran, o programa ANGJ2.FOR para a geração das correções  $\delta\Delta t^{rel}$  para todos os satélites GPS, ao longo de 24 horas, a cada 15 s, segundo a metodologia anteriormente exposta.

No programa também são calculados os fatores de correção (FC1, FC2 e FC3) que deverão ser aplicados às observáveis L1, L2 e pseudodistância de um arquivo RINEX, em um passo posterior, através de outro programa computacional (RWRINEX.FOR).

Os fatores de correção calculados pelo programa ANGJ2.FOR são agrupados em 32 arquivos de saída denominados G\*.DAT, onde o asterisco indica o número PRN do satélite GPS. Cada arquivo G\*.DAT contém os fatores de correção FC1, FC2 e FC3 para um determinado satélite GPS, num período de 24 horas, de 15 em 15 segundos.

Os Fatores de Correção FC1, FC2 e FC3:

Os Fatores de Correção (FC1, FC2 e FC3) foram desenvolvidos para realizar correções nas observáveis L1, L2 e pseudodistância que estão contidas nos arquivos RINEX de observações. São adicionados algebricamente nas observáveis respeitando suas respectivas unidades. Os Fatores de correção são função de  $\delta\Delta t^{rel}$  calculada para cada época e para cada satélite GPS. São determinados como segue:

Fator de Correção para a pseudodistância:

A unidade da pseudodistância é o metro e o seu Fator de Correção é dado na forma:

$$\Delta pseudo = c \delta\Delta t^{rel} , \quad (17)$$

onde c é velocidade da luz e  $\delta\Delta t^{rel}$  é dada pela equação (14).

Fator de Correção para as fases L1 e L2:

A fase tem como unidade o ciclo e o seu FC é determinado como segue:

$$\Delta p_{pseudo} = c \delta \Delta t^{rel}, \quad (18)$$

$$c = \lambda f, \quad (19)$$

sendo  $\lambda$  o comprimento de onda e  $f$  a frequência. Então:

$$\Delta p_{pseudo} = \lambda f \delta \Delta t^{rel}, \quad (20)$$

mas  $f \delta \Delta t^{rel}$  é a fase, então a equação (20) pode ser escrita na forma:

$$\Delta \varphi = \Delta p_{pseudo} / \lambda, \quad (21)$$

onde  $\Delta \varphi$  é o FC da fase em ciclos.

Para o caso dos satélites GPS, os Fatores de Correções nas frequências  $L_1$  e  $L_2$  são respectivamente:

$$\Delta \varphi_{L1} = \Delta p_{pseudo} / \lambda_1, \quad (22)$$

$$\Delta \varphi_{L2} = \Delta p_{pseudo} / \lambda_2, \quad (23)$$

onde:

$$\lambda_1 = c / L_1, \quad (24)$$

$$\lambda_2 = c / L_2. \quad (25)$$

Para uniformizar, os FCs serão assim designados:

$$FC1 = \Delta p_{pseudo} / \lambda_1, \quad (26)$$

$$FC2 = \Delta p_{pseudo} / \lambda_2, \quad (27)$$

$$FC3 = c \delta \Delta t^{rel}, \quad (28)$$

sendo  $FC_1$ ,  $FC_2$ ,  $FC_3$  os Fatores de Correções nas frequências L1, L2 e na pseudodistância, respectivamente.

Resumindo-se: como saídas do programa ANGJ2.FOR são gerados 32 arquivos da forma G\*.DAT, contendo os fatores de correção  $FC_1$ ,  $FC_2$  e  $FC_3$ , nesta ordem, para cada um dos satélites GPS, ao longo das 24 horas de um dia, de 15 em 15 s.

Como exemplo de um destes arquivos de saída, é mostrado na TABELA 2 alguns trechos do arquivo G01.DAT com os Fatores de Correção gerados para o satélite GPS PRN 01, para o dia 09 de outubro de 2009:

Tempo(s)	FC1(ciclos)	FC2(ciclos)	FC3(metros)
15.	.1067	.0831	.0203
30.	.1069	.0833	.0203
45.	.1070	.0834	.0204
60.	.1072	.0835	.0204
75.	.1073	.0836	.0204
90.	.1075	.0838	.0205
105.	.1076	.0839	.0205
120.	.1078	.0840	.0205
135.	.1079	.0841	.0205
150.	.1081	.0842	.0206
...	...	...	...
6435.	.0022	.0017	.0004
6450.	.0017	.0013	.0003
6465.	.0012	.0009	.0002
6480.	.0007	.0005	.0001
6495.	.0002	.0001	.0000
6510.	-.0003	-.0003	-.0001
6525.	-.0008	-.0006	-.0002
6540.	-.0013	-.0010	-.0003
6555.	-.0018	-.0014	-.0003
6570.	-.0023	-.0018	-.0004

TABELA 2 – FATORES DE CORREÇÃO PARA O SATÉLITE GPS PRN 01

### 3.2 MODIFICAÇÃO DE ARQUIVOS RINEX

O programa computacional RWRINEX.FOR foi desenvolvido em linguagem Fortran com a finalidade de modificar o arquivo RINEX de observações. Os dados de entrada deste programa são: um arquivo de observação RINEX (chamado arquivo original) e os 32 arquivos G\*.DAT gerados pelo programa ANGJ2.FOR, todos do mesmo dia.

O programa RWRINEX.FOR tem como saída um arquivo RINEX de observações modificado (corrigido). As modificações são feitas nas três observáveis L1, L2 e Pseudodistância. Para cada satélite GPS e para cada época, as três observáveis são modificadas, de acordo com os Fatores de Correção mencionados anteriormente.

Um trecho contendo o cabeçalho e as três primeiras épocas de observação do arquivo RINEX original escolhido (dia 09/10/2009) e do arquivo RINEX modificado gerado pelo programa RWRINEX.FOR são mostrados na seqüência:

#### TRECHO DO ARQUIVO RINEX ORIGINAL:

```

2.11      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
teqc 2007Jun25      RBMC      20091010 07:08:01UTC      PGM / RUN BY / DATE
UFPR      MARKER NAME
41610M002      MARKER NUMBER
RBMC      IBGE/CGED      OBSERVER / AGENCY
4651K03576      TRIMBLE NETR5      3.50      REC # / TYPE / VERS
30336616      TRM55971.00      NONE      ANT # / TYPE
3763751.6792 -4365113.8289 -2724404.7151      APPROX POSITION XYZ
0.1000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1      WAVELENGTH FACT L1/2
4 L1 C1 L2 P2      # / TYPES OF OBSERV
15.0000      INTERVAL
CODIGO: 93970      Estacao: Curitiba      COMMENT
2009 10 9 0 0 0.0000000 0 18G 4G 5G 7G 8G 9G10G11G15G17G27G28R 7      TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
09 10 9 0 0 0.0000000 0 18G 4G 5G 7G 8G 9G10G11G15G17G27G28R 7
R 8R 9R10R18R19R20
-940429.130 1 25433290.234 1
-8898633.880 6 23879446.805 6 -6910452.197 8 23879444.51647
-3103584.648 5 24735806.703 5 -2372073.581 8 24735801.98046
-15573764.794 7 22571875.492 7 -11785393.62548 22571871.50448
-1007923.332 5 25828260.742 5 -254263.71445 25828257.22345
-9708920.103 5 23643892.211 5 -7279055.08446 23643888.55146
-959172.340 4 25466553.547 4 103566.56545 25466547.22345
-20848597.576 7 21825743.266 7 -16200712.123 9 21825738.90648
-26577033.468 7 20497880.797 7 -20677185.458 9 20497876.03949
-6239192.555 4 24251196.344 4 -4616950.02146 24251193.38746
-22499517.440 7 21338103.273 7 -16585384.86548 21338098.77048
-8370262.821 6 22579415.008 6 -6481405.335 8 22579417.582 8
-5795676.089 6 22825522.578 6 -4450723.656 8 22825528.914 8
-20224222.781 8 20783854.992 8
-12308539.068 7 22429108.156 7 -9314174.104 8 22429115.566 8
-295851.345 6 23243625.945 6 -197121.712 8 23243631.199 8
-24127447.936 8 19980988.516 8 -18750645.003 9 19980992.914 9
-18570791.073 7 20669332.242 7 -14421855.965 9 20669338.688 9
09 10 9 0 0 15.0000000 0 18G 4G 5G 7G 8G 9G10G11G15G17G27G28R 7

```

```

R 8R 9R10R18R19R20
-965856.144 1 25428448.719 1
-8866877.095 5 23885490.938 5 -6885706.641 8 23885487.57046
-3072754.168 6 24741673.656 6 -2348049.824 8 24741669.88346
-15556525.139 6 22575156.391 6 -11771960.12548 22575152.11748
-1039455.916 5 25822260.281 5 -278834.47345 25822255.93845
-9675183.750 5 23650311.688 5 -7252767.01946 23650308.21146
-953823.162 4 25467570.648 4 107734.85945 25467566.44545
-20881105.876 7 21819557.203 7 -16226043.260 9 21819552.40648
-26592689.047 7 20494901.414 7 -20689384.602 9 20494896.90649
-6283500.215 4 24242764.242 4 -4651475.42746 24242761.64146
-22465504.405 7 21344576.047 7 -16558881.20148 21344570.87548
-8330154.970 6 22586909.211 6 -6450210.358 8 22586909.691 8
-5794524.144 6 22825738.578 6 -4449827.711 8 22825743.594 8
-20232608.797 8 20782284.523 8
-12339243.603 7 22423348.094 7 -9338055.413 8 22423355.824 8
-241897.431 6 23253732.016 6 -155157.559 8 23253738.918 8
-24118029.239 8 19982749.188 8 -18743319.347 9 19982754.012 9
-18620769.906 7 20659986.766 7 -14460728.389 9 20659992.355 9
09 10 9 0 0 30.0000000 0 18G 4G 5G 7G 8G 9G10G11G15G17G27G28R 7
R 8R 9R10R18R19R20
-991360.867 1 25423597.477 1
-8835107.195 5 23891536.719 5 -6860950.892 8 23891533.38347
-3041899.221 5 24747546.117 5 -2324007.003 8 24747541.32446
-15539262.570 7 22578441.461 7 -11758508.77048 22578437.37148
-1071035.302 5 25816250.234 5 -303441.79145 25816246.00445
-9641439.394 5 23656732.320 5 -7226472.69546 23656729.53146
-948396.524 3 25468601.969 3 111963.38145 25468599.64545
-20913515.091 7 21813389.852 7 -16251297.199 9 21813385.29348
-26608210.360 7 20491948.047 7 -20701479.140 9 20491943.25049
-6327836.074 3 24234328.695 3 -4686022.81546 24234325.68846
-22431463.559 7 21351053.656 7 -16532355.86648 21351048.73848
-8289992.695 6 22594410.805 6 -6418973.032 8 22594413.004 8
-5793217.262 6 22825981.883 6 -4448811.246 8 22825988.441 8
-20240981.657 8 20780717.094 8
-12369982.305 7 22417582.086 7 -9361963.267 8 22417589.691 8
-187861.182 6 23263854.109 6 -113129.382 8 23263861.297 8
-24108419.838 8 19984545.648 8 -18735845.366 9 19984549.934 9
-18670638.714 7 20650660.344 7 -14499515.241 9 20650666.285 9

```

### TRECHO DO ARQUIVO RINEX MODIFICADO:

```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2007Jun25 RBMC 20091010 07:08:01UTC PGM / RUN BY / DATE
UFPR MARKER NAME
41610M002 MARKER NUMBER
RBMC IBGE/CGED OBSERVER / AGENCY
4651K03576 TRIMBLE NETR5 3.50 REC # / TYPE / VERS
30336616 TRM55971.00 NONE ANT # / TYPE
3763751.6792 -4365113.8289 -2724404.7151 APPROX POSITION XYZ
0.1000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
4 L1 C1 L2 P2 # / TYPES OF OBSERV
15.0000 INTERVAL
CODIGO: 93970 Estacao: Curitiba COMMENT
2009 10 9 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
09 10 9 0 0 0.0000000 0 18G 4G 5G 7G 8G 9G10G11G15G17G27G28R 7
R 8R 9R10R18R19R20
-940429.038 1 25433290.252 1
-8898633.942 6 23879446.793 6 -6910452.245 8 23879444.50447
-3103584.641 5 24735806.704 5 -2372073.576 8 24735801.98146
-15573764.682 7 22571875.513 7 -11785393.53848 22571871.52548
-1007923.448 5 25828260.720 5 -254263.80545 25828257.20145
-9708920.184 5 23643892.196 5 -7279055.14746 23643888.53646
-959172.441 4 25466553.528 4 103566.48645 25466547.20445
-20848597.475 7 21825743.285 7 -16200712.044 9 21825738.92548
-26577033.526 7 20497880.786 7 -20677185.503 9 20497876.02849
-6239192.663 4 24251196.324 4 -4616950.10546 24251193.36746
-22499517.464 7 21338103.268 7 -16585384.88448 21338098.76548
-8370262.814 6 22579415.009 6 -6481405.330 8 22579417.583 8
-5795675.977 6 22825522.599 6 -4450723.569 8 22825528.935 8
-20224222.897 8 20783854.970 8

```

```

-12308539.149 7 22429108.141 7 -9314174.167 8 22429115.551 8
-295851.280 6 23243625.957 6 -197121.661 8 23243631.211 8
-24127447.848 8 19980988.533 8 -18750644.934 9 19980992.931 9
-18570790.976 7 20669332.260 7 -14421855.890 9 20669338.706 9
09 10 9 0 0 15.0000000 0 18G 4G 5G 7G 8G 9G10G11G15G17G27G28R 7
R 8R 9R10R18R19R20
-965856.052 1 25428448.737 1
-8866877.158 5 23885490.926 5 -6885706.690 8 23885487.55846
-3072754.161 6 24741673.657 6 -2348049.819 8 24741669.88446
-15556525.027 6 22575156.412 6 -11771960.03848 22575152.13848
-1039456.032 5 25822260.259 5 -278834.56445 25822255.91645
-9675183.831 5 23650311.673 5 -7252767.08246 23650308.19646
-953823.263 4 25467570.629 4 107734.78045 25467566.42645
-20881105.775 7 21819557.222 7 -16226043.181 9 21819552.42548
-26592689.106 7 20494901.403 7 -20689384.648 9 20494896.89549
-6283500.323 4 24242764.222 4 -4651475.51146 24242761.62146
-22465504.429 7 21344576.043 7 -16558881.22048 21344570.87148
-8330154.963 6 22586909.212 6 -6450210.353 8 22586909.692 8
-5794524.032 6 22825738.599 6 -4449827.624 8 22825743.615 8
-20232608.913 8 20782284.501 8
-12339243.684 7 22423348.079 7 -9338055.476 8 22423355.809 8
-241897.365 6 23253732.029 6 -155157.508 8 23253738.931 8
-24118029.151 8 19982749.205 8 -18743319.278 9 19982754.029 9
-18620769.809 7 20659986.784 7 -14460728.314 9 20659992.373 9
09 10 9 0 0 30.0000000 0 18G 4G 5G 7G 8G 9G10G11G15G17G27G28R 7
R 8R 9R10R18R19R20
-991360.775 1 25423597.495 1
-8835107.258 5 23891536.707 5 -6860950.941 8 23891533.37147
-3041899.215 5 24747546.118 5 -2324006.998 8 24747541.32546
-15539262.458 7 22578441.482 7 -11758508.68348 22578437.39248
-1071035.418 5 25816250.212 5 -303441.88245 25816245.98245
-9641439.475 5 23656732.305 5 -7226472.75946 23656729.51646
-948396.625 3 25468601.950 3 111963.30245 25468599.62645
-20913514.989 7 21813389.871 7 -16251297.120 9 21813385.31248
-26608210.419 7 20491948.036 7 -20701479.186 9 20491943.23949
-6327836.182 3 24234328.675 3 -4686022.89946 24234325.66846
-22431463.582 7 21351053.652 7 -16532355.88448 21351048.73448
-8289992.689 6 22594410.806 6 -6418973.027 8 22594413.005 8
-5793217.150 6 22825981.904 6 -4448811.159 8 22825988.462 8
-20240981.773 8 20780717.072 8
-12369982.387 7 22417582.071 7 -9361963.331 8 22417589.676 8
-187861.116 6 23263854.122 6 -113129.331 8 23263861.310 8
-24108419.749 8 19984545.665 8 -18735845.297 9 19984549.951 9
-18670638.618 7 20650660.362 7 -14499515.166 9 20650666.303 9

```

### 3.3 PROCESSAMENTOS DE DADOS GPS

Para analisar a influência, em posicionamento GPS, da implementação da correção relativística devida a  $J_2$  sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS, nas observáveis dos arquivos RINEX, foram realizados os seguintes processamentos de dados GPS:

#### A) Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) on-line IBGE-PPP:

O Posicionamento por Ponto Preciso on-line IBGE-PPP (IBGE, 2009) é um serviço on-line gratuito para o pós-processamento de dados GPS. As coordenadas obtidas com o IBGE-PPP são fornecidas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e no *International Terrestrial Reference Frame*

(ITRF). O IBGE-PPP processa dados GPS que foram coletados por receptores de uma ou duas frequências no modo estático ou cinemático.

Para o processamento de dados GPS pelo IBGE-PPP, são necessários vários arquivos de dados. O usuário fornece o arquivo RINEX a ser processado, o nome da antena utilizada no processamento conforme nomenclatura utilizada pelo IGS, e também a altura da antena em metros, referida ao plano de referência da antena. Indica também o modo de processamento: estático ou cinemático.

O IBGE-PPP faz uso de outros arquivos necessários ao processamento:

- a) Arquivos de órbitas e relógios dos satélites GPS fornecidos pelo IGS. São utilizados nos processamentos os arquivos mais precisos disponíveis no momento: órbitas precisas ou rápidas (<http://www.igs.org/components/prods.html>).
- b) Arquivos de correção do centro de fase absoluto para as antenas dos receptores e satélites, disponibilizados pelo IGS (<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml>).
- c) O modelo de carga oceânica FES2004 (<http://www.oso.chalmers.se/~loading/>) é utilizado se a estação a ser processada estiver até 10 km de distância de uma estação da RBMC.
- d) O modelo de velocidades SIRGAS-VEMOS (<http://www.sirgas.org/index.php?id=54&L=0>) é utilizado para transportar ou reduzir as coordenadas calculadas na data em que os dados foram coletados para a época 2000.4, ou seja, época do SIRGAS2000. A partir das 14h50min do dia 11-12-2009, o IBGE-PPP passou a utilizar a versão atualizada da grade de velocidades do modelo VEMOS, intitulada VEMOS2009
- e) A partir das 11h55m do dia 07 de julho de 2010, o novo Modelo de Ondulação Geoidal - MAPGEO2010 ([http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm)) está sendo utilizado para a transformação das altitudes geométricas (referidas ao elipsóide GRS80-SIRGAS2000) em altitudes ortométricas (referidas ao geóide).

Para este trabalho foram submetidos ao IBGE-PPP dois arquivos RINEX de observações: o arquivo RINEX ufpr2821.09o (original) e o arquivo RINEX UFPRC.09O (corrigido, gerado com o auxílio dos programas ANGJ2.FOR e RWRINEX.FOR). Os dados do arquivo ufpr2821.09o foram baixados do *site* do IBGE ([http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc\\_est.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm)) e se

referem à estação UFPR da RBMC, para o dia 09/10/09. A estação UFPR utiliza um receptor GNSS NetR5 L1/L2 e antena GNSS Zephyr GNSS Geodetic Model 2. Foi solicitado o processamento no modo estático, para 24 horas de dados. As observáveis processadas foram código e fase, e a frequência processada foi a L3. A TABELA 3 mostra as coordenadas cartesianas e geodésicas (SIRGAS2000) encontradas no processamento utilizando-se o arquivo RINEX original. O relatório completo deste processamento encontra-se no APÊNDICE 1.

TABELA 3 – COORDENADAS ENCONTRADAS NO IBGEPPP, COM ARQUIVO RINEX ORIGINAL

Coordenadas Cartesianas:		Sigma:
X	3763751,6841 m	0,0063 m
Y	- 4365113,8788 m	0,0070 m
Z	- 2724404,6191 m	0,0041 m
Coordenadas Geodésicas:		Sigma:
Latitude	-25°26'54,1235''	0,0016 m
Longitude	-49o13'51,4382''	0,0041 m
Altitude Geom.	925,8031 m	0,0092 m

A TABELA 4 mostra as coordenadas cartesianas e geodésicas (SIRGAS2000) encontradas no processamento utilizando-se o arquivo RINEX corrigido. O relatório completo deste processamento encontra-se no APÊNDICE 2.

TABELA 4 – COORDENADAS ENCONTRADAS NO IBGEPPP, COM ARQUIVO RINEX CORRIGIDO

Coordenadas Cartesianas:		Sigma:
X	3763751,6461 m	0,0063 m
Y	- 4365113,9180 m	0,0070 m
Z	- 2724404,6201 m	0,0041 m
Coordenadas Geodésicas:		Sigma:
Latitude	-25°26'54,1235''	0,0016 m
Longitude	-49o13'51,4401''	0,0041 m
Altitude Geom.	925,8080 m	0,0092 m

## B) Posicionamentos Relativos:

Segundo Mônico (2007), pág. 332:

Quando se formam as equações de observação das simples diferenças (SD), o erro do relógio do satélite é eliminado, pois assume-se que os sinais recebidos nas duas estações foram emitidos simultaneamente. Na prática,



isso não ocorre, exceto se os dois receptores estiverem totalmente sincronizados, e as duas distâncias envolvidas forem iguais. ... Quando ambos os receptores envolvidos na SD estiverem sincronizados ao nível do *ms* com o Tempo GPS, por exemplo, o erro do relógio do satélite é praticamente eliminado, podendo ser negligenciado. À medida que o erro de sincronismo aumenta, os resultados vão se deteriorando.

Assim, como forma de testar a influência da implementação da correção de 2ª. ordem num posicionamento relativo, foram realizados processamentos de seis linhas de base.

Na TABELA 5 estão relacionadas as estações utilizadas nos processamentos relativos com seus respectivos equipamentos. Os descritivos completos das estações utilizadas encontram-se em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc\\_est.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm).

TABELA 5 – ESTAÇÕES UTILIZADAS NOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS

Estação	Localização	Rede	Receptor	Antena	Taxa de coleta de dados (s)
UFPR	Curitiba/PR	RBMC	Trimble NetR5	TRM55971.00	15
PPTe	Presidente Prudente/SP	RBMC	Trimble NetR8	TRM55971.00	15
PRGU	Guarapuava/PR	RBMC	Trimble NetRS	TRM41249.00	15
PRMA	Maringá/PR	RBMC	Trimble NetRS	TRM41249.00	15
SCCH	Chapecó/SC	RBMC	Trimble NetR5	TRM55971.00	15
SCLA	Lages/SC	RBMC	Trimble NetR5	TRM55971.00	15
Unicemp	Curitiba/PR	MANFRA	Leica RS500	LEIAT502	1

Na FIGURA 9 é mostrada a localização geográfica das estações da RBMC. A estação Unicemp está localizada em Curitiba.



FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESTAÇÕES DA RBMC

Fonte: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/RBMC\\_2010.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/RBMC_2010.pdf)

Na TABELA 6 mostram-se as Estações-base (Eb) e a Estação à determinar (Ed) utilizadas nos processamentos relativos com o *software* LEICA Geo Office 7.0, disponível no Laboratório de Geodésia Espacial da UFPR (LAGE). As linhas de base (Eb – Ed) foram processadas duas vezes: na primeira vez utilizou-se o arquivo RINEX original para a estação UFPR e na segunda vez utilizou-se o arquivo RINEX corrigido (modificado). Um sumário dos processamentos com o *software* LEICA Geo Office 7.0 encontra-se no APÊNDICE 3.

TABELA 6 – ESTAÇÕES-BASE E ESTAÇÃO A DETERMINAR NOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS

Estação-base	Estação à determinar	Tipo do processamento	Solução	Frequência
PSTE	UFPR	Estático	Float	lono-free(L3)
PRGU	UFPR	Estático	Float	lono-free(L3)
PRMA	UFPR	Estático	Float	lono-free(L3)
SCCH	UFPR	Estático	Float	lono-free(L3)
SCLA	UFPR	Estático	Float	lono-free(L3)
Unicenp	UFPR	Estático	Fase: fixas	L1 + L2

A TABELA 7 mostra as coordenadas geodésicas das Estações de Referência e a TABELA 8 mostra suas coordenadas cartesianas.

TABELA 7 - COORDENADAS GEODÉSICAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA (SIRGAS2000)

Estação	Latitude	Longitude	Alt. Elip (m)	Sigma Lat. (m)	Sigma Long. (m)	Sigma Alt. Elip. (m)
PSTE	22°07'11.6571"S	51°24'30.7225"W	431,050	0,0001	0,0001	0,0003
PRGU	25°23'02,3940"S	51°29'15,2801"W	1043,16	0,001	0,001	0,007
PRMA	23°24'34,8778"S	51°56'18,3272"W	543,37	0,001	0,001	0,009
SCCH	27°08'15,2367"S	52°35'58,2243"W	744,24	0,001	0,001	0,006
SCLA	27°47'34,2084"S	50°18'15,3407"W	940,72	0,001	0,001	0,005
Unicenp	25°26'49,08225"S	49°21'31,70815"W	963,11	0,009	0,029	-----

Fonte: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc\\_est.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm)

TABELA 8 - COORDENADAS CARTESIANAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA (SIRGAS2000)

Estação	X (m)	Y (m)	Z (m)	Sigma X (m)	Sigma Y (m)	Sigma Z (m)
PPTE	3.687.624,367	-4.620.818,683	-2.386.880,382	0,002	0,002	0,001
PRGU	3.590.927,128	-4.512.405,645	-2.718.013,371	0,004	0,005	0,003
PRMA	3.610.720,837	-4.611.288,403	-2.518.636,345	0,005	0,007	0,004
SCCH	3.450.305,441	-4.512.731,664	-2.892.128,265	0,003	0,004	0,003
SCLA	3.606.986,062	-4.345.293,244	-2.956.654,210	0,003	0,003	0,002

Fonte: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc\\_est.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm)

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Visando-se avaliar a influência da inclusão da correção  $\delta\Delta t^{rel}$ , equação (14), no posicionamento GPS, organizaram-se os resultados dos processamentos de dados GPS realizados em tabelas e gráficos. As análises levam em conta a diferença, nas coordenadas cartesianas e em altitude geométrica, entre os resultados dos diversos processamentos de dados GPS realizados com o arquivo RINEX original e com o corrigido.

De acordo com o exposto pelo IBGE em: (<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#15>) não existem parâmetros de transformação entre SIRGAS2000 e WGS84 porque eles são praticamente iguais, ou seja,  $DX = 0$ ,  $DY = 0$  e  $DZ = 0$ . Assim, as coordenadas oficiais SIRGAS da estação UFPR serão consideradas iguais às coordenadas WGS84. A FIGURA 10 mostra as coordenadas oficiais SIRGAS2000 da estação UFPR.

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25° 26' 54,1269" S	Sigma:	0,001 m
Longitude:	49° 13' 51,4372" W	Sigma:	0,001 m
Alt.Elip.:	925,81 m	Sigma:	0,004 m
Alt.Orto.:	922,14 m	Fonte:	GPS/ MAPGEO2010
Coordenadas Cartesianas			
X	3.763.751,681 m	Sigma:	0,002 m
Y	-4.365.113,832 m	Sigma:	0,003 m
Z	-2.724.404,715 m	Sigma:	0,002 m

FIGURA 10 - COORDENADAS CARTESIANAS E GEODÉSICAS OFICIAIS DA ESTAÇÃO UFPR  
Fonte: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc\\_est.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm)

### 4.1 RESULTADOS DOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS

Na seqüência são apresentados os resultados dos processamentos relativos realizados.

Na TABELA 9 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base PPTÉ-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **original** para a estação UFPR. Na TABELA 10 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e

geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações PPTE e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 9 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PPTE-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12763"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43781"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8727	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,6983	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,8783	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7623	Sigma(m):	0,0001

TABELA 10 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PPTE E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PPTE-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas	
$\Delta$ (Latitude):	-3°19'42,47053"
$\Delta$ (Longitude):	2°10'39,28469"
$\Delta$ (Alt. Elip.):	494,8227 m
Distância	430236,0110 m
Coordenadas Cartesianas	
$\Delta$ X (m)	76127,3310
$\Delta$ Y (m)	255704,8047
$\Delta$ Z (m)	-337524,3806
Distância (m):	430236,0110

Na TABELA 11 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base PPTE-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **corrigido** para a estação UFPR. Na TABELA 12 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações PPTE e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 11 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PTE-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12756"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,44045"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8715	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,6420	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,9261	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7607	Sigma(m):	0,0001

TABELA 12 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PTE E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PTE-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas	
$\Delta$ (Latitude):	-3°19'42,47050"
$\Delta$ (Longitude):	2°10'39,28205"
$\Delta$ (Alt. Elip.), (m):	494,8215
Distância (m)	430235,9714
Coordenadas Cartesianas	
$\Delta$ X (m)	76127,2746
$\Delta$ Y (m)	255704,7569
$\Delta$ Z (m)	-337524,3790
Distância (m):	430235,9714

Na TABELA 13 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base PRGU-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **original** para a estação UFPR. Na TABELA 14 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações PRGU e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 13 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PRGU-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12681"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43668"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8510	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,7166	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,8511	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7301	Sigma(m):	0,0001

TABELA 14 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PRGU E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PRGU-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas	
$\Delta$ (Latitude):	-0°03'51,73281"
$\Delta$ (Longitude):	2°15'23,84342"
$\Delta$ (Alt. Elip.), (m):	-117,3090
Distância (m)	227165,2714
Coordenadas Cartesianas	
$\Delta$ X (m)	172824,5889
$\Delta$ Y (m)	147291,7938
$\Delta$ Z (m)	-6391,3594
Distância (m):	227165,2714

Na TABELA 15 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base PRGU-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **corrigido** para a estação UFPR. Na TABELA 16 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações PRGU e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 15 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PRGU-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12682"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43935"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8462	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,6572	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,8964	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7283	Sigma(m):	0,0001

TABELA 16 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PRGU E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PRGU-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas	
$\Delta$ (Latitude):	-0°03'51,73282"
$\Delta$ (Longitude):	2°15'23,84075"
$\Delta$ (Alt. Elip.), (m):	-117,3138
Distância (m)	227165,1968
Coordenadas Cartesianas	
$\Delta$ X (m)	172824,5295
$\Delta$ Y (m)	147291,7486
$\Delta$ Z (m)	-6391,3577
Distância (m):	227165,1968

Na TABELA 17 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base PRMA-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **original** para a estação UFPR. Na TABELA 18 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações PRMA e UFPR, para o mesmo processamento.



TABELA 17 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PRMA-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12722"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43725"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8045	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,6735	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,8257	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7214	Sigma(m):	0,0001

TABELA 18 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PRMA E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PRMA-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas	
$\Delta$ (Latitude):	-2°02'19,24942"
$\Delta$ (Longitude):	2°42'26,88995"
$\Delta$ (Alt. Elip.), (m):	382,4345
Distância (m)	355472,9015
Coordenadas Cartesianas	
$\Delta$ X (m)	153030,8364
$\Delta$ Y (m)	246174,5768
$\Delta$ Z (m)	-205768,3760
Distância (m):	355472,9015

Na TABELA 19 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base PRMA-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **corrigido** para a estação UFPR. Na TABELA 20 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações PRMA e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 19 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE PRMA-UFPRCORRIGIDO:

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12719"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43966"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8091	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,6255	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,8730	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7227	Sigma(m):	0,0001

TABELA 20 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES PRMA E UFPR, PARA A LINHA DE BASE PRMA-UFPRCORRIGIDO:

Coordenadas Geodésicas	
Δ(Latitude):	-2°02'19,24939"
Δ (Longitude):	2°42'26,88754"
Δ (Alt. Elip.), (m):	382,4391
Distância (m)	355472,8489
Coordenadas Cartesianas	
Δ X (m)	153030,7885
Δ Y (m)	246174,5295
Δ Z (m)	-205768,3773
Distância (m):	355472,8489

Na TABELA 21 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base SCCH-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **original** para a estação UFPR. Na TABELA 22 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações SCCH e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 21 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE SCCH-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12655"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43654"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8775	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,7373	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,8693	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7344	Sigma(m):	0,0001

TABELA 22 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES SCCH E UFPR, PARA A LINHA DE BASE SCCH-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas	
Δ(Latitude):	1°41'21,11015"
Δ (Longitude):	3°22'06,78776"
Δ (Alt. Elip.), (m):	181,6375
Distância (m)	384929,5739
Coordenadas Cartesianas	
Δ X (m)	313446,2966
Δ Y (m)	147617,7948
Δ Z (m)	167723,5304
Distância (m):	384929,5739

Na TABELA 23 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base SCCH-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **corrigido** para a estação UFPR. Na TABELA 24 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações SCCH e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 23 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE SCCH-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12650"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43903"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8759	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,6842	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,9142	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7321	Sigma(m):	0,0001

TABELA 24 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES SCCH E UFPR, PARA A LINHA DE BASE SCCH-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas	
Δ(Latitude):	1°41'21,11020"
Δ (Longitude):	3°22'06,78527"
Δ (Alt. Elip.), (m):	181,6359
Distância (m)	384929,5145
Coordenadas Cartesianas	
Δ X (m)	313446,2435
Δ Y (m)	147617,7500
Δ Z (m)	167723,5327
Distância (m):	384929,5145

Na TABELA 25 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base SCLA-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **original** para a estação UFPR. Na TABELA 26 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações SCLA e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 25 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE SCLA-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12639"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43682"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,9024	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,7475	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,8931	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7405	Sigma(m):	0,0001

TABELA 26 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES SCLA E UFPR, PARA A LINHA DE BASE SCLA-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas	
Δ(Latitude):	2°20'40,08201"
Δ (Longitude):	1°04'23,90388"
Δ (Alt. Elip.), (m):	-14,8176
Distância (m)	280905,9526
Coordenadas Cartesianas	
Δ X (m)	156765,6855
Δ Y (m)	-19820,6492
Δ Z (m)	232249,4691
Distância (m):	280905,9525

Na TABELA 27 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base SCLA-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **corrigido** para a estação UFPR. Na TABELA 28 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações SCLA e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 27 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE SCLA-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12649"S	Sigma (m):	0,0000
Longitude:	49°13'51,43971"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8954	Sigma(m):	0,0001
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,6813	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,9400	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7403	Sigma(m):	0,0001

TABELA 28 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES SCLA E UFPR, PARA A LINHA DE BASE SCLA-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas	
Δ(Latitude):	2°20'40,08191"
Δ (Longitude):	1°04'23,90099"
Δ (Alt. Elip.), (m):	-14,8246
Distância (m)	280905,9191
Coordenadas Cartesianas	
Δ X (m)	156765,6194
Δ Y (m)	-19820,6961
Δ Z (m)	232249,4693
Distância (m):	280905,9191

Na TABELA 29 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base UNICENP-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **original** para a estação UFPR. Na TABELA 30 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações UNICENP e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 29 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE UNICENP-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12703"S	Sigma (m):	0,0001
Longitude:	49°13'51,43736"W	Sigma(m):	0,0001
Alt. Elip. (m):	925,8494	Sigma(m):	0,0002
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,6992	Sigma(m):	0,0001
Y (m)	-4365113,8603	Sigma(m):	0,0001
Z (m)	-2724404,7356	Sigma(m):	0,0002

TABELA 30 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES UNICENP E UFPR, PARA A LINHA DE BASE UNICENP-UFPRORIGINAL

Coordenadas Geodésicas	
$\Delta$ (Latitude):	-0°00'03,28463"
$\Delta$ (Longitude):	0°07'42,00894"
$\Delta$ (Alt. Elip.), (m):	-34,3006
Distância (m)	12910,4956
Coordenadas Cartesianas	
$\Delta$ X (m)	9738,3113
$\Delta$ Y (m)	8475,8676
$\Delta$ Z (m)	-76,5434
Distância (m):	12910,4956

Na TABELA 31 são mostradas as coordenadas cartesianas e geodésicas encontradas para a estação UFPR, no processamento relativo realizado com a linha de base UNICENP-UFPR, utilizando-se o arquivo RINEX **corrigido** para a estação UFPR. Na TABELA 32 mostram-se as diferenças em coordenadas cartesianas e geodésicas e ainda a distância encontrada entre as estações UNICENP e UFPR, para o mesmo processamento.

TABELA 31 – COORDENADAS DA ESTAÇÃO UFPR ENCONTRADAS COM A LINHA DE BASE UNICENP-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	25°26'54,12728"S	Sigma (m):	0,0004
Longitude:	49°13'51,44284"W	Sigma(m):	0,0005
Alt. Elip. (m):	925,8451	Sigma(m):	0,0010
Coordenadas Cartesianas			
X (m)	3763751,5787	Sigma(m):	0,0006
Y (m)	-4365113,9547	Sigma(m):	0,0010
Z (m)	-2724404,7407	Sigma(m):	0,0012

TABELA 32 – DIFERENÇAS EM COORDENADAS GEODÉSICAS E CARTESIANAS E DISTÂNCIA ENCONTRADA ENTRE AS ESTAÇÕES UNICENP E UFPR, PARA A LINHA DE BASE UNICENP-UFPRCORRIGIDO

Coordenadas Geodésicas	
$\Delta$ (Latitude):	-0°00'03,28488"
$\Delta$ (Longitude):	0°07'42,00346"
$\Delta$ (Alt. Elip.), (m):	-34,3049
Distância (m)	12910,3428
Coordenadas Cartesianas	
$\Delta$ X (m)	9738,1908
$\Delta$ Y (m)	8475,7732
$\Delta$ Z (m)	-76,5484
Distância (m):	12910,3428

#### 4.2 AVALIAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE AS COORDENADAS OFICIAIS DA ESTAÇÃO UFPR E AQUELAS ENCONTRADAS NOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS REALIZADOS UTILIZANDO-SE OS ARQUIVOS RINEX ORIGINAL E MODIFICADO

Neste ítem mostram-se as discrepâncias (diferenças) entre as coordenadas cartesianas oficiais da estação UFPR e as coordenadas encontradas nos processamentos relativos realizados com o arquivo RINEX original e o modificado. Para isso, definem-se as variáveis  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$ :

$\Delta X$  = (coordenada X oficial – coordenada X encontrada) da estação UFPR;

$\Delta Y$  = (coordenada Y oficial – coordenada Y encontrada) da estação UFPR;

$\Delta Z$  = (coordenada Z oficial – coordenada Z encontrada) da estação UFPR.



A TABELA 33 mostra as discrepâncias  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$ , em metros, para os diversos processamentos relativos realizados, quando utilizou-se o arquivo RINEX **original** para a estação UFPR.

TABELA 33 – DISCREPÂNCIAS  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$  – ARQUIVO RINEX ORIGINAL

Coordenadas Cartesianas							
Estação	X (m)	Y (m)	Z (m)				
Valor Oficial							
UFPR	3763751,681	-4365113,832	-2724404,715				
Coordenadas encontradas com RINEX original, nas linhas de base:				$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	
UFPR - PPTE	3763751,6983	-4365113,8783	-2724404,7623	-0,0173	0,0463	0,0473	
UFPR - PRGU	3763751,7166	-4365113,8511	-2724404,7301	-0,0356	0,0191	0,0151	
UFPR - PRMA	3763751,6735	-4365113,8257	-2724404,7214	0,0075	-0,0063	0,0064	
UFPR - SCCH	3763751,7373	-4365113,8693	-2724404,7344	-0,0563	0,0373	0,0194	
UFPR - SCLA	3763751,7475	-4365113,8931	-2724404,7405	-0,0665	0,0611	0,0255	
UFPR - UNIC	3763751,6992	-4365113,8603	-2724404,7356	-0,0182	0,0283	0,0206	
				Média	-0,0311	0,0041	0,0224
				Desvio Padrão	0,0274	0,0710	0,0138
				RMS	0,0399	0,0649	0,0257

A TABELA 34 mostra as discrepâncias  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$ , em metros, para os diversos processamentos relativos realizados, quando utilizou-se o arquivo RINEX **corrigido** para a estação UFPR.

TABELA 34 – DISCREPÂNCIAS  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$  – ARQUIVO RINEX CORRIGIDO

Coordenadas Cartesianas							
Estação	X (m)	Y (m)	Z (m)				
Valor Oficial							
UFPR	3763751,681	-4365113,832	-2724404,715				
Coordenadas encontradas com RINEX corrigido, nas linhas de base:				$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	
UFPR - PPTE	3763751,6420	-4365113,9261	-2724404,7607	0,0390	0,0941	0,0457	
UFPR - PRGU	3763751,6572	-4365113,8964	-2724404,7283	0,0238	0,0644	0,0133	
UFPR - PRMA	3763751,6255	-4365113,8730	-2724404,7227	0,0555	0,0410	0,0077	
UFPR - SCCH	3763751,6842	-4365113,9142	-2724404,7321	-0,0032	0,0822	0,0171	
UFPR - SCLA	3763751,6813	-4365113,9400	-2724404,7403	-0,0003	0,1080	0,0253	
UFPR - UNIC	3763751,5787	-4365113,9547	-2724404,7407	0,1023	0,1227	0,0257	
				Média	0,0362	0,0854	0,0225
				Desvio Padrão	0,0395	0,0297	0,0133
				RMS	0,0511	0,0896	0,0256

Para explicitar a influência da implementação da correção  $\delta\Delta t^{rel}$ , equação (14), no posicionamento GPS, através dos processamentos relativos, foram realizados os gráficos mostrados nas FIGURAS 11 até 16.

Na FIGURA 11 mostram-se as discrepâncias  $\Delta X$  (m) encontradas nos processamentos relativos, para as cinco linhas de base processadas, quando se utilizou o arquivo RINEX original para a estação UFPR.

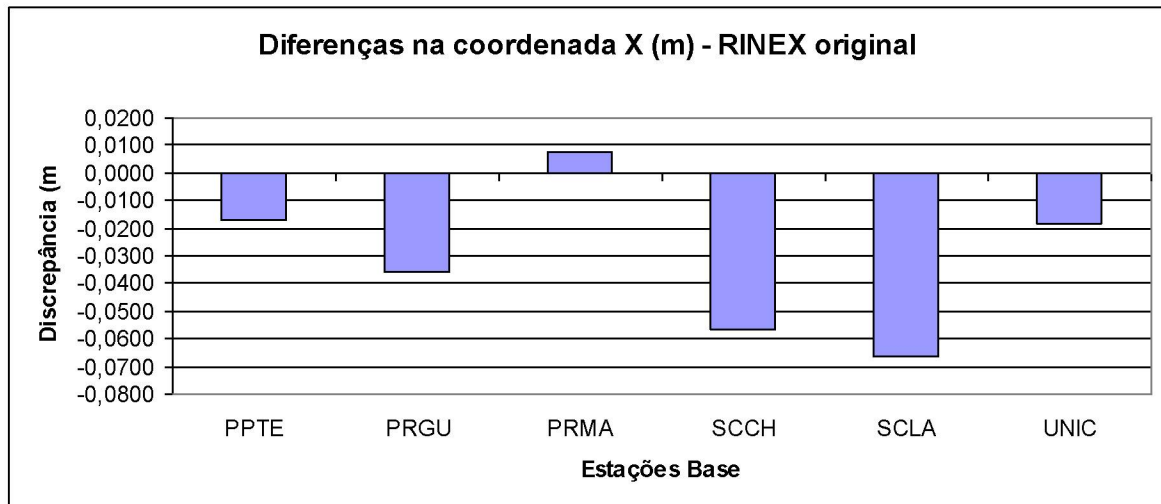


FIGURA 11 – DISCREPÂNCIAS  $\Delta X$  (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX ORIGINAL

Na FIGURA 12 mostram-se as discrepâncias  $\Delta X$  (m) encontradas nos processamentos relativos, para as cinco linhas de base processadas, quando se utilizou o arquivo RINEX corrigido para a estação UFPR.

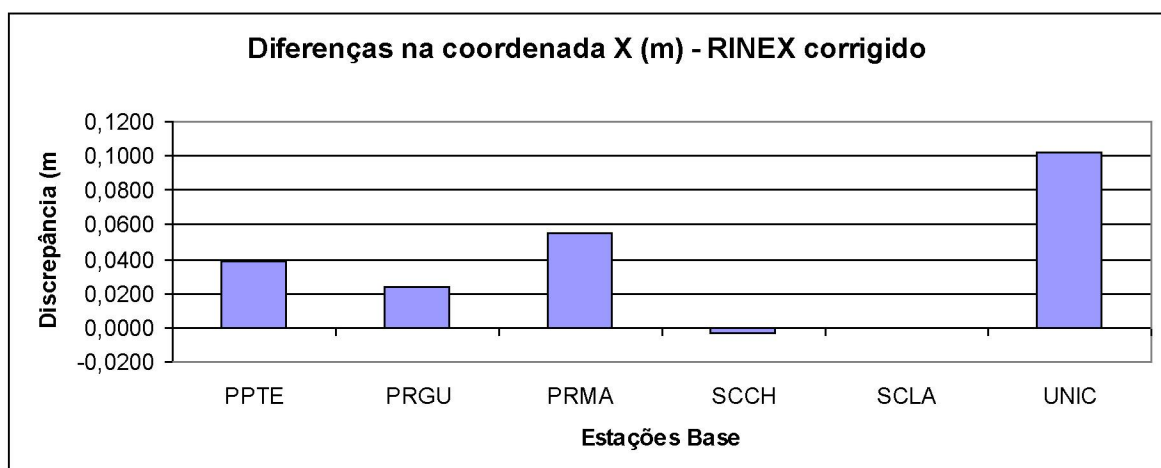


FIGURA 12 – DISCREPÂNCIAS  $\Delta X$  (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX CORRIGIDO

Com os dados mostrados nas FIGURAS 11 e 12 pode-se calcular a amplitude, em metros, da variação na coordenada X após implementação da correção  $\delta\Delta t^{rel}$ , mostrada na TABELA 35, para as diversas linhas de base processadas.

TABELA 35 – AMPLITUDE DA VARIAÇÃO NA COORDENADA X(m)

Linhas de base:	Amplitude da variação na coordenada X(m) após implementação da correção $\delta\Delta t^{rel}$ :
PSTE-UFPR	0,0563
PRGU-UFPR	0,0594
PRMA-UFPR	0,0475
SCCH-UFPR	0,0531
SCLA-UFPR	0,0662
UNICENP-UFPR	0,1205

Verifica-se que, no caso da coordenada X, a influência de  $\delta\Delta t^{rel}$  foi mais perceptível em um processamento de base curta (UNICEMP-UFPR) do que nos processamentos envolvendo bases longas, nos quais a ordem de grandeza da amplitude permaneceu constante, com média de 0,0565 m.

Na FIGURA 13 mostram-se as discrepâncias  $\Delta Y$  (m) encontradas nos processamentos relativos, para as cinco linhas de base processadas, quando se utilizou o arquivo RINEX original para a estação UFPR.

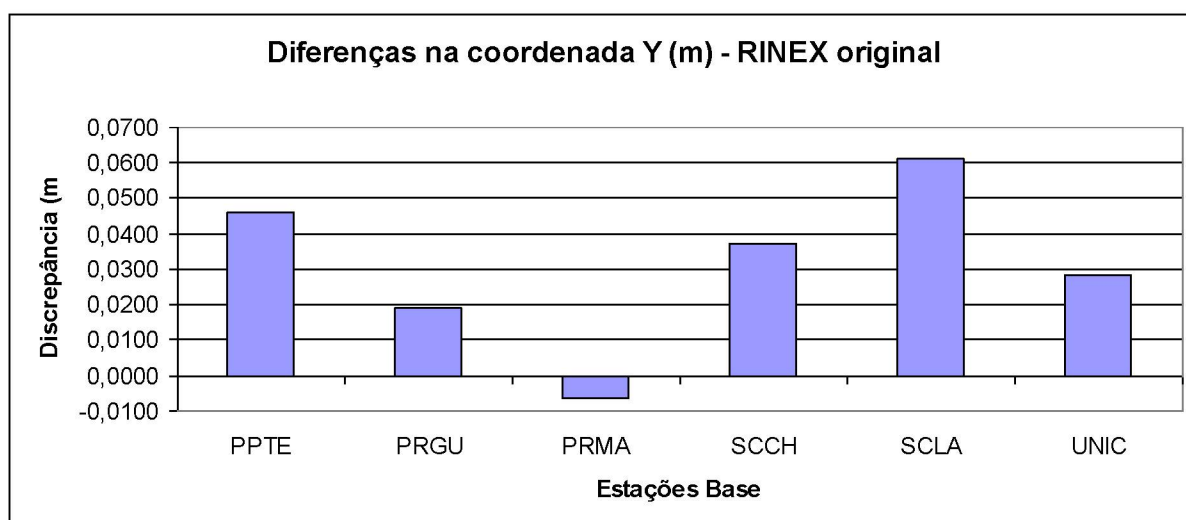


FIGURA 13 – DISCREPÂNCIAS  $\Delta Y$  (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX ORIGINAL

Na FIGURA 14 mostram-se as discrepâncias  $\Delta Y$  (m) encontradas nos processamentos relativos, para as cinco linhas de base processadas, quando se utilizou o arquivo RINEX corrigido para a estação UFPR.

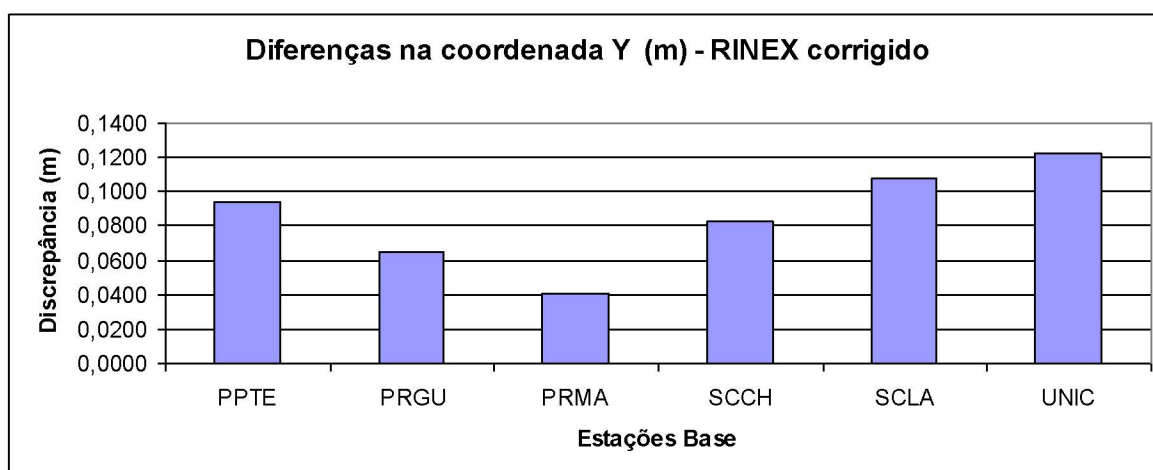


FIGURA 14 – DISCREPÂNCIAS  $\Delta Y$  (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX CORRIGIDO

Com os dados mostrados nas FIGURAS 13 e 14 pode-se calcular a amplitude, em metros, da variação na coordenada Y após implementação da correção  $\delta\Delta t^{rel}$ , mostrada na TABELA 36 para as diversas linhas de base processadas.

TABELA 36 – AMPLITUDE DA VARIAÇÃO NA COORDENADA Y(m)

Linhas de base:	Amplitude da variação na coordenada Y(m) após implementação da correção $\delta\Delta t^{rel}$ :
PPTe-UFPR	0,0478
PRGU-UFPR	0,0453
PRMA-UFPR	0,0473
SCCH-UFPR	0,0449
SCLA-UFPR	0,0431
UNICENP-UFPR	0,0944

Verifica-se que, no caso da coordenada Y (assim como aconteceu com a coordenada X), a influência de  $\delta\Delta t^{rel}$  foi mais perceptível em um processamento de base curta (UNICEMP-UFPR) do que nos processamentos envolvendo bases longas, nos quais a ordem de grandeza da amplitude permaneceu constante, com média de 0,0457 m.

Na FIGURA 15 mostram-se as discrepâncias  $\Delta Z$  (m) encontradas nos processamentos relativos, para as cinco linhas de base processadas, quando se utilizou o arquivo RINEX original para a estação UFPR.

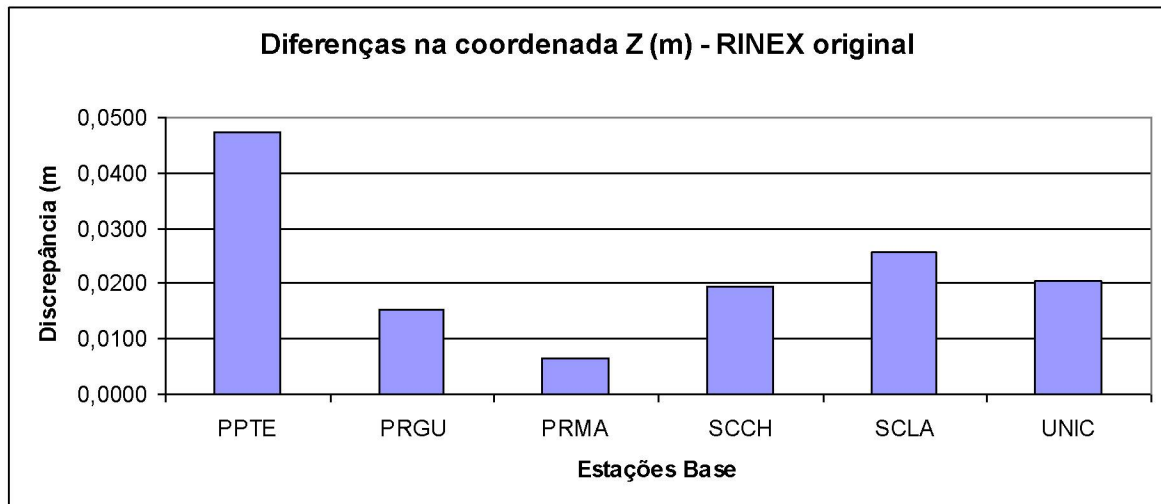


FIGURA 15 – DISCREPÂNCIAS  $\Delta Z$  (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX ORIGINAL

Na FIGURA 16 mostram-se as discrepâncias  $\Delta Z$  (m) encontradas nos processamentos relativos, para as cinco linhas de base processadas, quando se utilizou o arquivo RINEX corrigido para a estação UFPR.

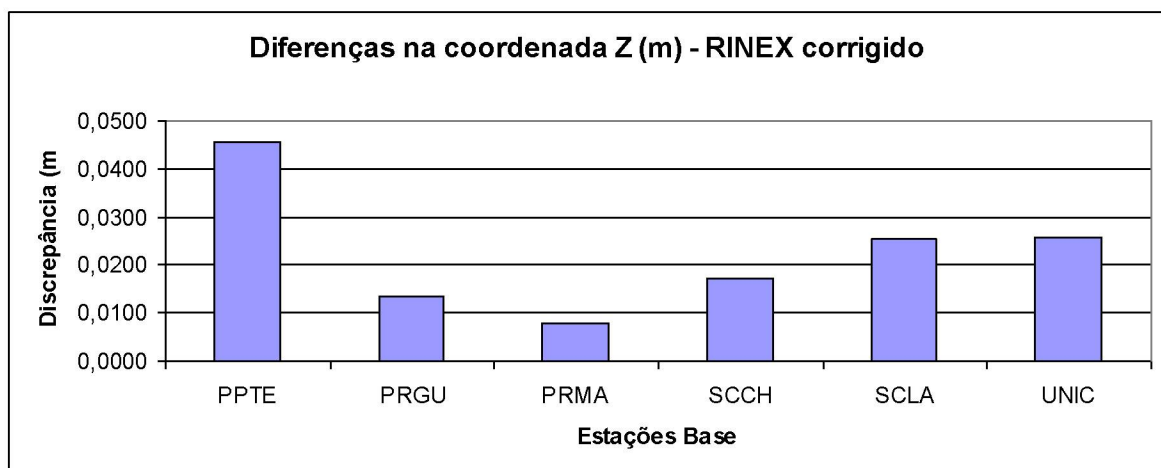


FIGURA 16 – DISCREPÂNCIAS  $\Delta Z$  (m) PARA AS DIVERSAS LINHAS DE BASE, COM ARQUIVO RINEX CORRIGIDO

Com os dados das FIGURAS 15 e 16 pode-se calcular a amplitude, em metros, da variação na coordenada Z após implementação da correção  $\delta\Delta t^{rel}$ , mostrada na TABELA 37, para as diversas linhas de base processadas.

TABELA 37 – AMPLITUDE DA VARIAÇÃO NA COORDENADA Z(m)

Linhas de base:	Amplitude da variação na coordenada Z(m) após implementação da correção $\delta\Delta t^{rel}$ :
PSTE-UFPR	0,0016
PRGU-UFPR	0,0018
PRMA-UFPR	0,0013
SCCH-UFPR	0,0023
SCLA-UFPR	0,0002
UNICENP-UFPR	0,0051

Verifica-se que, no caso da coordenada Z a influência de  $\delta\Delta t^{rel}$  foi novamente mais perceptível em um processamento de base curta (UNICEMP-UFPR) do que nos processamentos envolvendo bases longas, mas observa-se que esta coordenada é menos afetada pela correção  $\delta\Delta t^{rel}$  do que as coordenadas X e Y analisadas anteriormente.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS NO CASO DO PPP

A TABELA 38 mostra a discrepância, em metros, entre as coordenadas cartesianas oficiais da estação UFPR e aquelas encontradas para o PPP, utilizando-se o serviço IBGEPPP, com o arquivo RINEX **original**. É mostrada também a discrepância entre as altitudes geométricas. Este resultado está ilustrado no gráfico mostrado na FIGURA 17.

TABELA 38 – DISCREPÂNCIA NAS COORDENADAS CARTESIANAS E ALTITUDE PARA O PPP REALIZADO COM O ARQUIVO RINEX ORIGINAL PARA A ESTAÇÃO UFPR.

Discrepância nas coordenadas cartesianas e altitude (m) – arquivo RINEX original	
$\Delta X$	- 0,0031
$\Delta Y$	0,0468
$\Delta Z$	- 0,0959
$\Delta(\text{Alt. Geom})$	0,0069

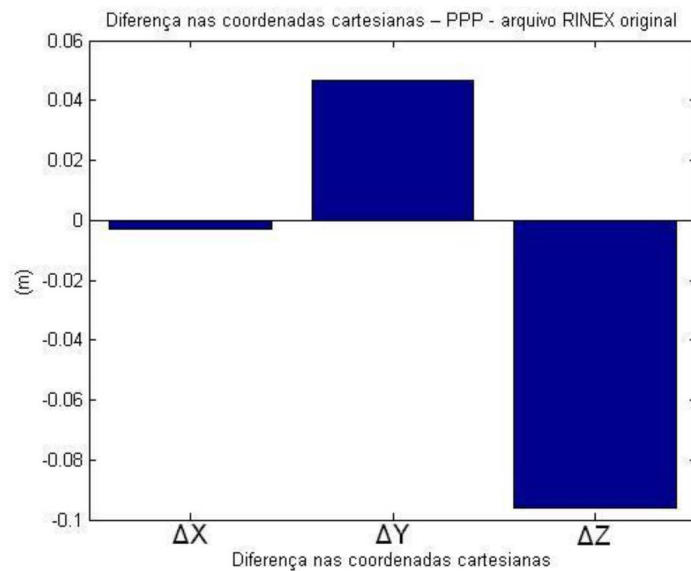


FIGURA 17 - DISCREPÂNCIA NAS COORDENADAS CARTESIANAS PARA O PPP REALIZADO COM O ARQUIVO RINEX ORIGINAL PARA A ESTAÇÃO UFPR.

A TABELA 39 mostra a discrepância, em metros, entre as coordenadas cartesianas oficiais da estação UFPR e aquelas encontradas para o processamento por ponto preciso, utilizando-se o serviço IBGEPPP, com o arquivo RINEX **corrigido**. É mostrada também a discrepância entre as altitudes geométricas. Este resultado está ilustrado no gráfico mostrado na FIGURA 18.

TABELA 39 – DISCREPÂNCIA NAS COORDENADAS CARTESIANAS E ALTITUDE PARA O PPP REALIZADO COM O ARQUIVO RINEX ORIGINAL PARA A ESTAÇÃO UFPR.

Discrepância nas coordenadas cartesianas e altitude (m) – arquivo rinex corrigido	
$\Delta X$	0,0349
$\Delta Y$	0,0860
$\Delta Z$	- 0,0949
$\Delta(\text{Alt. Geom})$	0,0020

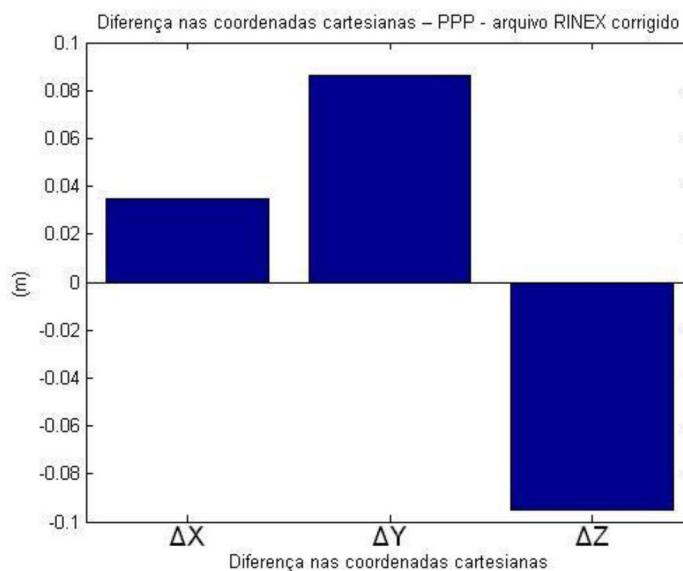


FIGURA 18 - DISCREPÂNCIA NAS COORDENADAS CARTESIANAS PARA O PPP REALIZADO COM O ARQUIVO RINEX CORRIGIDO PARA A ESTAÇÃO UFPR.

A TABELA 40 mostra a amplitude, em metros, da variação nas coordenadas cartesianas e altitude geométrica da estação UFPR após implementação da correção  $\delta\Delta t^{rel}$ , para o Posicionamento por Ponto Preciso realizado através do serviço IBGEP. A amplitude da variação nas coordenadas cartesianas e altitude geométrica da estação UFPR após implementação da correção  $\delta\Delta t^{rel}$ , para o Posicionamento por Ponto Preciso realizado através do serviço IBGEP.

TABELA 40 – AMPLITUDE DA VARIAÇÃO NAS COORDENADAS CARTESIANAS E ALTITUDE, EM METROS, APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DA CORREÇÃO  $\delta\Delta t^{rel}$  PARA UM POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

Amplitude da variação, em metros, após implementação da correção $\delta\Delta t^{rel}$ :	
Coordenada X	0,0380
Coordenada Y	0,0392
Coordenada Z	0,0010
Altitude Geom.	0,0049

Analisando-se a TABELA 40 verifica-se que, no caso do PPP, as coordenadas X e Y foram igualmente afetadas pela inclusão da correção  $\delta\Delta t^{rel}$  no processamento através de sua implementação no arquivo RINEX de observação. Ambas as coordenadas X e Y sofreram modificação em seu valor na ordem de 4 cm. A coordenada Z foi a menos afetada, com modificação na ordem de 1 mm. A altitude geométrica também sofreu pouca alteração, na ordem de 5 mm.



## 5. CONCLUSÕES

O desempenho e poder de acompanhamento do tempo dos relógios atômicos vêm aumentando rapidamente. O Sistema de Tempo GPS é mantido por dezenas de relógios atômicos independentes e aproximadamente uma dúzia de *masers* de hidrogênio localizados em diferentes laboratórios em várias partes do mundo. Os satélites GPS carregam a bordo relógios atômicos de Césio e de Rubídio, os quais marcam o tempo com um erro equivalente a uma parte em  $10^{13}$ . Os *masers* de hidrogênio podem apresentar erros na ordem de uma parte em  $10^{16}$ .

A utilização de relógios tão precisos deve levar em conta efeitos relativísticos: dilatação do tempo para relógios em movimento em relação a um referencial inercial e diferença de potencial gravitacional entre relógios a diferentes alturas. Relógios com precisão na ordem de  $10^{-17}$  detectariam esses efeitos até mesmo para baixas velocidades como 5 km/h ou diferença de potencial gravitacional correspondente a uma altura de 10 cm. Novas tecnologias baseadas em átomos de Cálcio e íons de Mercúrio podem tornar possível a construção de relógios com erro inferior a uma parte em  $10^{18}$ . Relógios assim exigiriam uma redefinição do segundo, que é baseada, desde 1967, num determinado número de transições de nível hiperfino do átomo de Césio.

As correções relativísticas padrão sobre o tempo fornecido pelos relógios dos satélites GPS consideram um modelo kepleriano para o potencial gravitacional gerado pela Terra. A precisão dos relógios a bordo dos novos satélites *GPS* é da ordem de grandeza de  $10^{-13}$ , a mesma ordem de grandeza do erro causado pela não inclusão de  $J_2$  no modelo para o potencial gravitacional. Isso sugere que este erro não deva ser negligenciável ainda por muito tempo dentro do sistema. Segundo Kouba (2004) as correções padrão estão no limiar de confiabilidade e deverão ser revistas para os novos satélites GPS, que carregarão *masers* de hidrogênio como padrões de frequência, permitindo sincronização em escala global no nível do picossegundo.

Conforme mencionado anteriormente, no posicionamento GPS a qualidade na determinação das correções para as órbitas e relógios dos satélites em relação ao GPST é fator determinante quando se deseja alta precisão. É necessário dispor das efemérides precisas providenciadas pelo IGS. Mas a latência em sua disponibilidade aos usuários é um fator limitante em algumas aplicações,

especialmente aquelas em tempo real. Atualmente há um crescente interesse na investigação de novos métodos, mais rápidos e acurados, de estimar e prever as correções para os relógios dos satélites *GPS*.

Com este trabalho pretendeu-se desenvolver uma nova metodologia para implementar a correção  $\delta\Delta t^{rel}$ , eq. (14), em processamentos de dados *GPS* e avaliar a sua influência em posicionamento. As correções  $\delta\Delta t^{rel}$  foram calculadas e acrescentadas às observáveis *GPS* de arquivo *RINEX*. Verificou-se que, mesmo sendo de pequena magnitude, na ordem de 0,1 ns, a influência da implementação da correção  $\delta\Delta t^{rel}$  foi detectável após processamento de dados *GPS*, nas coordenadas estimadas. Isso ocorreu no caso do *PPP* e também no caso dos processamentos relativos.

Após verificação e análise dos resultados alcançados neste trabalho, em posicionamento, no caso dos processamentos relativos, pode-se afirmar que:

- No caso da coordenada *X*, a influência de  $\delta\Delta t^{rel}$  foi mais perceptível em um processamento de base curta (*UNICEMP-UFPR*) do que nos processamentos envolvendo bases longas, nos quais a ordem de grandeza da amplitude de variação de *X* permaneceu constante, em torno de 6 cm.
- No caso da coordenada *Y* (assim como aconteceu com a coordenada *X*), a influência de  $\delta\Delta t^{rel}$  foi mais perceptível no processamento de base curta. Nos processamentos envolvendo bases longas a ordem de grandeza da amplitude de variação de *Y* permaneceu constante, em torno de 5 cm.
- No caso da coordenada *Z* a influência de  $\delta\Delta t^{rel}$  foi novamente mais perceptível em um processamento de base curta, mas observa-se que esta coordenada é menos afetada pela correção  $\delta\Delta t^{rel}$  do que as coordenadas *X* e *Y*.

No caso do *PPP* pode-se afirmar, de forma resumida, que as coordenadas *X* e *Y* foram igualmente influenciadas pela inclusão da correção  $\delta\Delta t^{rel}$  no processamento de dados *GPS* através de sua implementação no arquivo *RINEX* de observação. Ambas as coordenadas *X* e *Y* sofreram modificação em seu valor na ordem de 4 cm. A coordenada *Z* foi a menos afetada, com modificação na ordem de 1 mm. A altitude geométrica também sofreu pouca alteração, na ordem de 5 mm.

De maneira geral, verificou-se que as discrepâncias em posicionamento encontradas devido a influência de  $J_2$  foram maiores nas coordenadas horizontais do que na vertical. O efeito foi especialmente notado em longitude.

Assim, considera-se que o objetivo geral deste trabalho foi alcançado. É interessante observar ainda que a metodologia desenvolvida neste trabalho é promissora. Ela pode ser útil, por exemplo, quando se quiser trabalhar com processamento de dados GPS em tempo quase-real. Em alguns casos pode ser mais prático e rápido modificar dados nos arquivos RINEX do que utilizar efemérides IGS. Também pode-se utilizar essa metodologia como forma de avaliar outros tipos de correção sobre as observáveis GPS dos arquivos RINEX.

Seguem as recomendações e sugestões deste trabalho para futuras pesquisas:

Realizar processamentos em *softwares* científicos, tais como o BERNESE 5.0 ou o GIPSY-OASIS, a fim de comparar os resultados obtidos com aqueles encontrados com o IBGEPPP.

Todas as bases que foram utilizadas estão situadas no hemisfério sul. Sugere-se utilização de bases do hemisfério norte para verificar se há variação dos resultados. Também sugerem-se bases com maior variação de altitude e longitude entre si.

## REFERÊNCIAS

ASHBY, N. e SPILKER JR, J. J. **Introduction to Relativistic Effects on the Global Positioning System**, em PARKINSON, B. W. e SPILKER JR, J. J. (eds.), *Global Positioning System: Theory and Applications*, vol 1, cap. 18, 623-697. American Institute of Aeronautics and Astronautics , Inc., Washington, 1996.

ASHBY, N. **Relativity and the Global Positioning System**. *Physics Today*, vol. 55, pp 41-47, Maio/2002.

ASHBY, N., ALLAN, D. W., e WEISS, M. **Around-the-World Relativistic Sagnac Experiment**. *Science*, vol. 228, pp. 69-70, 5 de Abril de 1985.

BRÖDERBAUER, V.; OPITZ, M.; WEBER, R.; **Automated Prediction of GNSS Clock Corrections**. *Geodetic Week 2006 - International Congress Centre Munich (ICM)*, Munich, Germany 10 – 12 de outubro de 2006.

BRÖDERBAUER, V.; THALER, G.; WEBER, R.; **Study Of Behavior of GNSS Clock Corrections in the Face of Predictions**. *European Geosciences Union – General Assembly 2008*, Viena, Austria, 13-18 de abril de 2008.

BRÖDERBAUER, V.; WEBER, R.; **Modelling of GPS Satellite Clocks and Comparisons if IGS Clock Products**. *10 Years IGS, Workshop & Symposium – Berne, Suíça*, 01-05 de março de 2004.

CARARO, A. C. **Correções Relativísticas Sobre as Medidas de Tempo GPS** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas do Setor de Tecnologia Da UFPR, Curitiba, 2006.

FERREIRA, L. D. D. **Dinâmica Orbital**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas , Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, 1998.

GAO, Y., CHEN, K., **Performance Analyses Of Precise Point Positioning Using Real-Time Orbit And Clock Products.** Journal of Global Positioning Systems, vol. **3**, número 1-2, pp 95-100, 2004.

GE, M.; GENDT, G.; ROTACHER, M.; SHI, C.; LIU, J. **Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations.** Journal Of Geodesy, 82: 389-399. 2008.

GEMAEL, C.; ANDRADE, J. B. **Geodésia Celeste.** Curitiba: Editora da UFPR, 2004.

GULKLETT, M. **Relativistic Effects in GPS and LEO.** Department of Geophysics, The Niels Bohr Institute for Physics, Astronomy and Geophysics, University of Copenhagen. Denmark, 2003.

GURTNER, W. **Rinex: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.1.** Astronomical Institute, University of Berne, 08 de junho, 2001.

HAFELE, J. C. e KEATING, R. E. **Around the World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains.** Science, vol **177**, pp. 166-168, 14 de julho de 1972.

HAN, S. C.; KWON, J. H.; JEKELI, C. **Accurate Absolute GPS Positioning Through Satellite Clock Error Estimation.** Journal Of Geodesy, 75: 33-43, 2001.

HILLA, S. **The Extended Standard Product 3 Orbit Format SP3-c.** 12 de fevereiro de 2007.

Disponível em: <http://www.ngs.noaa.gov/orbits/sp3c.txt> (acesso em 10/08/2010)

HUGENTOBLER, U.; VAN DER MAREL, H.; SPRINGER, T. **Identification And Mitigation of GNSS Errors.** In Mathematical Geodesy And Positioning Series – Publications 2007, vol. 30 Delft Institute of Earth Observation And Space Systems Delft, Netherlands, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Manual do Usuário – Posicionamento por Ponto Preciso**. Coordenação de Geodésia, Diretoria de Geociências. Março de 2009.

IS-GPS-200D **Interface Specification Document**. NAVSTAR GPS Space Segment, Navigation User Interfaces. ARINC Engineering Services, El Segundo, California, 07 de março de 2006.

KAULA, W. M. **Theory of Satellite Geodesy**. London: Blaisdell, 1966.

KOUBA, J. **Relativistic Time Transformations in GPS**. GPS Solutions, vol 5, número 4, pp. 1-9, 2002.

KOUBA, J. **Improved Relativistic Time Transformations in GPS**. GPS Solutions, vol. 8, pp. 170-180, 2004.

KOUBA, J., HÉROUX, P., **Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products**. GPS Solutions, vol. 5, número 2, pp 12-28, 2001.

KOUBA, J., SPRINGER, T., **New IGS Station And Satellite Clock Combination**. GPS Solutions, vol. 4, número 4, pp 31-36, 2001.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora, Curitiba, 1996.

LICHTEN, S. M., BAR-SEVER, Y. E., BERTIGER, E. I., HEFLIN, M., HURST, K., MUELLERSCHOEN, R. J., WU, S. C., YUNCK, T. P., ZUMBERG, J. F. **GIPSY-OASIS II: A High Precision GPS Data Processing System and General Orbit Analyses Tool**. Apresentado em: "Technology 2006: NASA Technology Transfer Conference". Chicago, IL, 1995.

MIREAULT, Y. ; TÉTREAU, P.; LAHAYE, F.; HERÓUX, P.; KOUBA, J. **Online Precise Point Positioning – A New, Timely Service From Natural Resources Canada**). GPS World, pp. 59 – 64, setembro/2008.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento por Ponto de Alta Precisão Utilizando o GPS: Uma Solução Para a Geodinâmica**. Brazilian Journal of Geophysics, vol 18(1), 2000.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS - Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

MONTENBRUCK, O. e GILL, E. **Satellite Orbits – Models, Methods and Applications**. Berlin: Springer – Verlag, 2000.

POST, E. J., **Sagnac Effect**. Review of Modern Physics, vol 39, pp. 475-493, 1 de abril de 1967.

RAY, J.; GURTNER, W. **RINEX Extensions to Handle Clock Information**, 14 de novembro de 2006.

disponível em [ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex\\_clock.txt](ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex_clock.txt)

(acesso em 21/08/2010)

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

SHIMIZU, Y.; MURATA, M. **Flight Evaluation of GPS Precise Point Positioning for Helicopter Navigation**. SICE Annual Conference, Kagawa University, Japan, 17-20 de setembro de 2007.

SPRINGER, T. A., ZUMBERG, J. F., KOUBA, J., **The IGS Analysis Products And The Consistency Of The Combined Solutions**. Apresentado em: “IGS Analysis Center Workshop”, Darmstadt, 9 a 11 de Fevereiro, 1998.

TEFERLE, F. N. **High-rate GPS for Seismology and Monitoring Systems** IESSG, Universidade de Nottingham, 2006.

TEFERLE, F. N.; ORLIAC, E. J.; BINGLEY, R. M. **An Assessment of Bernese GPS Software Precise Point Positioning Using IGS Final Products for Global Site Velocities.** GPS Solutions, 11:205-213, 2007.

WIROLA, L.; SYRJÄRINNE, J. **Bringing The GNSSs On The Same line In The GNSS Assistance Standards.** Nokia Technology Platforms, 2007.

ZUMBERG, J. E., HEFLIN, M. B., JEFFERSON, D. C., WATKINS, M. M., WEBB, F. H., **Precise Point Positioning For The Efficient And Robust Analyses Of GPS Data From Large Networks.** Journal of Geophysical Research, 102, 5005-5017, 1997.



**APÊNDICE 1**

RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS COM IBGEPPP PARA O  
ARQUIVO RINEX ORIGINAL

## Sumário do Processamento do marco: UFPR

<b>Início</b> (AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS):	2009/10/09 00:00:00,00
<b>Fim</b> (AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS):	2009/10/09 23:59:45,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	TRM55971.00
<b>Órbitas dos satélites (IGS)<sup>1</sup>:</b>	PRECISA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento (s):</b>	15,00
<b>Sigma<sup>2</sup>da pseudodistância (m):</b>	2,000
<b>Sigma da portadora (m):</b>	0,015
<b>Altura da Antena<sup>3</sup> (m):</b>	0,100
<b>Ângulo de Elevação (graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância (m):</b>	0,80
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	1,18

## Posição Estimada no Sistema de Referência SIRGAS:

	Latitude	Longitude	Altitude Geométrica (m):
<b>Coordenada Oficial<sup>4</sup> em 2000.4:</b>	-25° 26' 54,1271"	-49° 13' 51,4374"	925,80
<b>Coordenada na data do levantamento<sup>5</sup>:</b>	-25° 26' 54,1235"	-49° 13' 51,4382"	925,80
<b>Sigma<sup>6</sup> (m):</b>	0,002	0,004	0,009
<b>Modelo Geoidal:</b>	MAPGEO2010		
<b>Ondulação Geoidal (m):</b>	3,67		
<b>Altitude Ortométrica (m):</b>	922,13		

## Precisão esperada para um levantamento estático em metros:

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 3 horas</b>	0,40	0,70	0,05	0,06
<b>Após 6 horas</b>	0,20	0,40	0,02	0,04
<b>Após 24 horas</b>	0,10	0,30	0,01	0,02

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao Desvio Padrão.

<sup>3</sup> Distância do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial é a data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita da data do levantamento para 2000.4, utilizando o modelo VEMOS.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de Início da sessão.

<sup>6</sup> O "Sigma" representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

-----  
GPS Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP ver. 1.04/ 246/2007-04-18)  
Inst. Bras. de Geografia e Estatistica/Coordenacao de Geodesia - IBGE/CGED  
Av. Brasil 15671, Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
Fone: 0800-7218181 - Email: ibge@ibge.gov.br  
Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP  
desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada  
(NRCan).  
-----

-----  
SECAO 1. Sumario dos Arquivos  
-----

Conteudo	Arquivos de Entrada
Observacoes	ufpr2821.09o
Opcoes de Processamento	ldia_sirg_est.cmd
Orbitas dos satelites	igs15525.sp3
Relogio do satellite	igs15525.clk
Orbitas dos satelites	igs15526.sp3
Relogio do satellite	igs15526.clk
	Arquivos de Saida
Relatorio do Processamento	ufpr2821.sum
Parametros estimados	ufpr2821.pos
Arquivo Google Earth	ufpr2821.kml
Resumo do Processamento	ufpr2821.pdf
Arquivo LEIAME.txt	ufpr2821_LEIAME.txt
	Arquivos Internos
Parametros do filtro	gpsppp.flt
Desvio do satellite	gpsppp.svb
Desvio da Antena	gpsppp.pcv
Carga Oceanica	gpsppp.olc
Transformacao de Coordenada	gpsppp.trf

-----

-----  
SECAO 2. Sumario dos parametros de processamento  
-----

2.1 Parametros de filtragem das observacoes

Multicaminho: 600.0  
Narrowlane : 20.0  
Widelane : 600.0  
P3 filtrado : NO  
Codigo L1 : P1|C1  
P1-C1 bias : APLICADO

2.2 Variacao do Centro de Fase da Antena do Satellite (CFA) - mm

Centro de massa -> CFA [Coordenadas X,Y,Z com origem no centro de massa do satellite]

IIR [ 0, 0, 700]

PRNs 01 02 05 07 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 28 29 31

vCLK 25 09 03 04 10 10 08 10 12 10 10 13 11 12 15 14 10 10 09 10

IIA [ 279, 0,2619]

```

PRNs 03 04 06 08 09 10 24 25 26 27 30 32
vCLK 26 07 07 24 28 09 23 06 07 28 27 05
II [ 0, 0, 0]
PRNs
vCLK
INATIVO
PRNs
vCLK

```

2.3 Variacao do Centro de fase da Antena do Receptor (CFA) - mm

```

Modelo da Antena TRM55971.00
CFA [Norte, Este, Cima] L1 [ 1, 0, 67], L2 [ 0, 0, 58]
*** Domes correspondente nao encontrado - Usando NONE ***

```

Variacao do desvio relativo ao angulo de elevacao

AZIM	ELV	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
0	L1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	2	4
360	L1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	2	4
0	L2	0	0	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-2	0	1	2	4	6
360	L2	0	0	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-2	0	1	2	4	6

Desvio da antena em relacao ao angulo nadir (NAD) em graus

BLK	NAD	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		0.00			0.00			700.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
2		0.00			0.00			614.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
3		279.00			0.00			2619.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
4		279.00			0.00			2279.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
5		0.00			0.00			700.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
6		279.00			0.00			2676.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
7		0.00			0.00			700.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
8		279.00			0.00			2405.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
9		279.00			0.00			2340.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
10		279.00			0.00			2389.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
11		0.00			0.00			971.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
12		0.00			0.00			700.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12

5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
13		0.00			0.00			1203.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
14		0.00			0.00			1178.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
15		0.00			0.00			700.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
16		0.00			0.00			1307.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
17		0.00			0.00			645.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
18		0.00			0.00			1133.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
19		0.00			0.00			668.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
20		0.00			0.00			1154.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
21		0.00			0.00			1300.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
22		0.00			0.00			792.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
23		0.00			0.00			602.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
24		279.00			0.00			2455.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
25		279.00			0.00			2295.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
26		279.00			0.00			2307.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
27		279.00			0.00			2472.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
28		0.00			0.00			911.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
29		0.00			0.00			700.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
30		279.00			0.00			2466.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
31		0.00			0.00			750.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12

```

5 L2 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
32 279.00 0.00 2575.00
3 L1 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
3 L2 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1

```

#### 2.4 Parametros de transformacao entre sistemas de referencia

ITRF (IGS05)->SIRGAS2000

Translacoes (Tx,Ty,Tz), Rotacoes (Rx,Ry,Rz), Escala (S)

Tx	Ty	Tz	S	Rx	Ry	Rz
(cm)	(cm)	(cm)	(ppb)	(mas)	(mas)	(mas)
-0.510	-0.650	-0.990	0.000	0.150	0.020	0.021
dTx	dTy	dTz	dS	dRx	dRy	dRz
(cm/y)	(cm/y)	(cm/y)	(ppb/y)	(mas/y)	(mas/y)	(mas/y)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

#### 2.5 Coeficientes de carga oceanica

ENCONTRADO

Term	Frequ.	Radial			Norte-Sul		Este-Oeste		Fase
		Fase	Ampl.		Fase	Ampl.	Fase	Ampl.	
	(rad/h)	(gra)	(mm)	(gra)	(mm)	(gra)	(mm)	(gra)	
M2	0.5059	124.300	9.1	31.200	1.5	190.900	2.4	195.800	
S2	0.5236	360.000	3.5	31.700	0.5	241.300	1.1	202.600	
N2	0.4964	349.336	2.2	43.500	0.4	152.300	0.5	211.300	
K2	0.5250	200.933	1.0	21.100	0.1	249.200	0.3	193.400	
K1	0.2625	190.466	1.0	253.500	1.1	291.900	0.8	204.400	
O1	0.2434	293.833	2.7	258.600	1.3	257.300	1.0	139.500	
P1	0.2611	169.534	0.3	254.900	0.4	291.700	0.3	203.800	
Q1	0.2339	158.870	0.8	241.700	0.3	232.700	0.2	108.600	
MF	0.0192	256.633	0.2	187.000	0.1	1.800	0.1	333.900	
MM	0.0095	314.963	0.1	184.600	0.1	354.400	0.1	328.300	
SSA	0.0014	20.933	0.1	181.700	0.0	358.200	0.0	348.300	

#### 2.6 Dados meteorologicos da superficie

Temperatura (C): 20.00  
 Pressao (Mb): 906.11  
 Humidade Relativa(%): 50.00

---

### SECAO 3. Sumario do processamento da sessao

---

#### 3.1 Opcoes de processamento

```

Modo de Operacao do Usuario      : ESTATICO
Observacao processada            : CODIGO&FASE
Frequencia observada             : L3
Orbitas dos satelites            : PRECISA
Intervalo de dados do Satelite   : 5-MINUTOS
Modelo de Ionosfera              : L1&L2
Coordenadas do marco             : ESTIMADAS
Atraso Troposferico no Zenite (ATZ) : ESTIMADAS
Interpolacao do relógio          : SIM
Parametro de suavizacao          : NAO
Sistema de Referencia            : SIRGAS2000
Sistema de Coordenada           : ELIPSOIDAL

```

```

Desvio Padrao da pseudodistancia (m)      :      2.000
Desvio Padrao da portadora (m)           :      0.015
Caminho aleatorio do ATZ (mm/hr)         :      5.000
Distancia Marco->CFA (m)                 :      0.100
Angulo de Elevacao (grau)                 :     10.000

```

### 3.2 Sessao de Observacao

```

Nome do Marco : UFPR
Inicio : 2009/10/09 00:00:00.00
Fim : 2009/10/09 23:59:45.00
Intervalo de observacao (seg): 15.00
Intervalo no processamento (seg): 15.00
Numero de epocas processadas : 5760
Numero de satelites processados : 30
Numero de observacoes processadas : 48186
Numero de observacoes rejeitadas : 11601
Residuos da pseudodistancia (m): 0.80
Residuos da fase da portadora (cm): 1.18

```

### 3.3 Coordenadas Estimadas na Data do Levantamento

CARTESIANA	SIRGAS2000	ITRF (IGS05)	Sigma (m)	SIR-ITR (m)
X (m)	3763751.6841	3763751.6890	0.0063	-0.0049
Y (m)	-4365113.8788	-4365113.8747	0.0070	-0.0041
Z (m)	-2724404.6191	-2724404.6056	0.0041	-0.0134

ELIPSOIDAL				
Latitude (gms)	-25 26 54.1235	-25 26 54.1231	0.0016	-0.0122
Longitude (gms)	-49 13 51.4382	-49 13 51.4379	0.0041	-0.0064
Alt. Geo. (m)	925.8031	925.7974	0.0092	0.0057

### 3.4 Diferenca de Coordenadas SIRGAS2000

CARTESIANA	ESTIMADA	A-PRIORI	Diferenca (m)	EQM (m)
X (m)	3763751.6841	3763751.6792	0.0049	0.0619
Y (m)	-4365113.8788	-4365113.8289	-0.0499	0.0619
Z (m)	-2724404.6191	-2724404.7151	0.0960	0.1152

ELIPSOIDAL				
Latitude (gms)	-25 26 54.1235	-25 26 54.1269	0.1043	0.1131
Longitude (gms)	-49 13 51.4382	-49 13 51.4371	-0.0289	0.0586
Alt. Geo. (m)	925.8031	925.8073	-0.0042	0.0685

### 3.5 Estimativa do relógio do receptor

```

Epoca de Referencia : 2009/10/09 00:00:00.00
Fase do relógio (ns) : 2.96 0.12
Desvio do relógio (ns/dia) : -4.68 0.21
EQM dos residuos (ns) : 4.42

```

### 3.6 Tabela de Observacoes Rejeitadas

PRN	AC	#ARC	#OBS	#REJ						CODIGO			PHASE	
				TRK	SLP	REL	EFE	IGP	RES	ELV	MED	EQM	MED	EQM
											(m)	(m)	(cm)	(cm)

2E	4	2	1154	110	0	0	0	0	0	850	0.09	0.64	0.17	1.2
3	4	2	1283	193	0	0	0	0	0	635	-0.44	0.82	0.12	0.7
4E	8	3	1613	176	0	0	0	0	0	581	-0.17	0.60	-0.03	0.9
5	8	3	1933	119	0	0	0	0	7	315	1.62	1.78	-0.03	1.8
6	4	2	1340	158	0	0	0	0	0	156	-0.48	0.86	-0.22	0.7
7	4	2	1769	16	0	0	0	0	1	180	-0.30	0.72	-0.08	1.7
8	4	2	1825	103	0	0	0	0	0	86	-0.40	0.79	-0.01	1.0
9	4	2	1405	40	0	0	0	0	0	212	-0.49	0.85	0.02	0.7
10	4	3	1940	181	0	0	0	0	0	231	-0.20	0.64	-0.26	1.9
11E	4	3	1240	192	0	0	0	0	0	503	-0.26	0.71	-0.03	1.1
12	4	1	1738	31	0	0	0	0	0	202	0.43	0.81	-0.08	1.2
13	4	1	1859	35	0	0	0	0	3	143	-0.07	0.62	0.19	1.3
14	4	2	1275	142	0	0	0	0	0	548	-0.08	0.70	0.13	1.1
15	4	3	1696	103	0	0	0	0	0	364	-0.03	0.60	-0.03	1.0
16	4	2	1803	164	0	0	0	0	0	187	-0.35	0.72	-0.11	1.3
17	4	3	1318	69	0	0	0	0	0	620	0.31	0.78	0.26	1.1
18	4	1	1414	40	0	0	0	0	0	140	0.00	0.72	0.06	0.9
19	4	2	1615	91	0	0	0	0	0	419	0.17	0.67	0.11	0.9
20	4	1	1677	65	0	0	0	0	0	192	-0.30	0.75	0.14	1.1
21E	4	1	1529	47	0	0	0	0	0	391	0.06	0.70	-0.07	1.2
22	4	1	1606	50	0	0	0	0	0	169	-0.35	0.77	0.09	1.2
23	8	1	1818	91	0	0	0	0	0	85	0.41	0.75	-0.05	1.0
25E	4	1	1670	79	0	0	0	0	0	157	-0.43	0.82	0.09	0.8
26	4	2	1723	152	0	0	0	0	0	334	-0.26	0.67	0.19	0.9
27	4	2	1397	32	0	0	0	0	0	199	-0.16	0.74	0.02	0.6
28	4	2	1536	29	0	0	0	0	0	160	-0.08	0.74	0.04	1.1
29	4	1	1851	24	0	0	0	0	0	118	0.43	0.81	-0.09	1.2
30	4	1	1546	47	0	0	0	0	0	224	-0.28	0.78	-0.12	0.7
31	4	2	1812	93	0	0	0	0	0	332	0.13	0.60	0.07	1.1
32	4	1	1801	20	0	0	0	0	0	165	-0.41	0.79	-0.10	0.8

### 3.7 Lista de residuos rejeitados

PRN	HH:MM:SS.SSS	CODIGO		PHASE	
		RES (m)	MAX (m)	RES (cm)	MAX (cm)
5	08:06:45.000	1.37	8.94	-6.85	6.71
5	08:09:00.000	-1.20	8.94	10.63	6.71
5	08:09:45.000	0.99	8.94	-8.52	6.71
5	08:10:45.000	0.96	8.94	-14.67	6.71
5	08:13:45.000	1.66	8.94	7.01	6.71
13	19:34:00.000	-1.54	8.94	-7.35	6.71
13	19:40:00.000	-1.13	8.94	6.93	6.71
13	19:43:30.000	-1.93	8.94	-6.94	6.71
7	21:06:00.000	0.82	8.94	-7.32	6.71
5	22:58:30.000	-1.73	8.94	16.15	6.71
5	22:59:30.000	1.94	8.94	-17.38	6.71



**APÊNDICE 2**

RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DE DADOS GPS COM IBGEPPP PARA O  
ARQUIVO RINEX CORRIGIDO

## Sumário do Processamento do marco: UFPR

<b>Início</b> (AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS):	2009/10/09 00:00:00,00
<b>Fim</b> (AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS):	2009/10/09 23:59:45,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	TRM55971.00
<b>Órbitas dos satélites (IGS)<sup>1</sup>:</b>	PRECISA
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento (s):</b>	15,00
<b>Sigma<sup>2</sup>da pseudodistância (m):</b>	2,000
<b>Sigma da portadora (m):</b>	0,015
<b>Altura da Antena<sup>3</sup> (m):</b>	0,100
<b>Ângulo de Elevação (graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância (m):</b>	0,81
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	1,27

## Posição Estimada no Sistema de Referência SIRGAS:

	Latitude	Longitude	Altitude Geométrica (m):
<b>Coordenada Oficial<sup>4</sup> em 2000.4:</b>	-25° 26' 54,1271"	-49° 13' 51,4393"	925,81
<b>Coordenada na data do levantamento<sup>5</sup>:</b>	-25° 26' 54,1235"	-49° 13' 51,4401"	925,81
<b>Sigma<sup>6</sup> (m):</b>	0,002	0,004	0,009
<b>Modelo Geoidal:</b>	MAPGEO2010		
<b>Ondulação Geoidal (m):</b>	3,67		
<b>Altitude Ortométrica (m):</b>	922,14		

## Precisão esperada para um levantamento estático em metros:

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 3 horas</b>	0,40	0,70	0,05	0,06
<b>Após 6 horas</b>	0,20	0,40	0,02	0,04
<b>Após 24 horas</b>	0,10	0,30	0,01	0,02

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao Desvio Padrão.

<sup>3</sup> Distância do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial é a data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita da data do levantamento para 2000.4, utilizando o modelo VEMOS.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de Início da sessão.

<sup>6</sup> O "Sigma" representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

-----  
GPS Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP ver. 1.04/ 246/2007-04-18)  
Inst. Bras. de Geografia e Estatistica/Coordenacao de Geodesia - IBGE/CGED  
Av. Brasil 15671, Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
Fone: 0800-7218181 - Email: ibge@ibge.gov.br  
Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCan).  
-----

-----  
SECAO 1. Sumario dos Arquivos  
-----

Conteudo	Arquivos de Entrada
Observacoes	UFPRC.090
Opcoes de Processamento	ldia_sirg_est.cmd
Orbitas dos satelites	igs15525.sp3
Relogio do satellite	igs15525.clk
Orbitas dos satelites	igs15526.sp3
Relogio do satellite	igs15526.clk
	Arquivos de Saida
Relatorio do Processamento	UFPRC.sum
Parametros estimados	UFPRC.pos
Arquivo Google Earth	UFPRC.kml
Resumo do Processamento	UFPRC.pdf
Arquivo LEIAME.txt	UFPRC_LEIAME.txt
	Arquivos Internos
Parametros do filtro	gpsppp.flt
Desvio do satellite	gpsppp.svb
Desvio da Antena	gpsppp.pcv
Carga Oceanica	gpsppp.olc
Transformacao de Coordenada	gpsppp.trf

-----

-----  
SECAO 2. Sumario dos parametros de processamento  
-----

2.1 Parametros de filtragem das observacoes

Multicaminho: 600.0  
Narrowlane : 20.0  
Widelane : 600.0  
P3 filtrado : NO  
Codigo L1 : P1|C1  
P1-C1 bias : APLICADO

2.2 Variacao do Centro de Fase da Antena do Satellite (CFA) - mm

Centro de massa -> CFA [Coordenadas X,Y,Z com origem no centro de massa do satellite]

IIR [ 0, 0, 700]

PRNs 01 02 05 07 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 28 29 31

vCLK 25 09 03 04 10 10 08 10 12 10 10 13 11 12 15 14 10 10 09 10

IIA [ 279, 0,2619]

```

PRNs 03 04 06 08 09 10 24 25 26 27 30 32
vCLK 26 07 07 24 28 09 23 06 07 28 27 05
II [ 0, 0, 0]
PRNs
vCLK
INATIVO
PRNs
vCLK

```

2.3 Variacao do Centro de fase da Antena do Receptor (CFA) - mm

```

Modelo da Antena TRM55971.00
CFA [Norte, Este, Cima] L1 [ 1, 0, 67], L2 [ 0, 0, 58]
*** Domes correspondente nao encontrado - Usando NONE ***

```

```

Variacao do desvio relativo ao angulo de elevacao
AZIM ELV 90 85 80 75 70 65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5 0
0 L1 0 0 0 0 -1 -1 -1 -2 -2 -2 -3 -3 -2 -2 -1 -1 0 2 4
360 L1 0 0 0 0 -1 -1 -1 -2 -2 -2 -3 -3 -2 -2 -1 -1 0 2 4
0 L2 0 0 -1 -1 -2 -2 -2 -3 -3 -3 -4 -3 -3 -2 0 1 2 4 6
360 L2 0 0 -1 -1 -2 -2 -2 -3 -3 -3 -4 -3 -3 -2 0 1 2 4 6

```

Desvio da antena em relacao ao angulo nadir (NAD) em graus

```

BLK NAD 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
1 0.00 0.00 700.00
5 L1 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
5 L2 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
2 0.00 0.00 614.00
5 L1 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
5 L2 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
3 279.00 0.00 2619.00
3 L1 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
3 L2 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
4 279.00 0.00 2279.00
3 L1 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
3 L2 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
5 0.00 0.00 700.00
5 L1 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
5 L2 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
6 279.00 0.00 2676.00
3 L1 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
3 L2 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
7 0.00 0.00 700.00
5 L1 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
5 L2 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
8 279.00 0.00 2405.00
3 L1 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
3 L2 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
9 279.00 0.00 2340.00
3 L1 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
3 L2 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
10 279.00 0.00 2389.00
3 L1 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
3 L2 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
11 0.00 0.00 971.00
4 L1 -6 -5 -3 -1 1 4 5 5 4 3 1 -1 -2 -2 -1
4 L2 -6 -5 -3 -1 1 4 5 5 4 3 1 -1 -2 -2 -1
12 0.00 0.00 700.00
5 L1 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12

```

5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
13		0.00			0.00			1203.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
14		0.00			0.00			1178.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
15		0.00			0.00			700.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
16		0.00			0.00			1307.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
17		0.00			0.00			645.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
18		0.00			0.00			1133.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
19		0.00			0.00			668.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
20		0.00			0.00			1154.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
21		0.00			0.00			1300.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
22		0.00			0.00			792.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
23		0.00			0.00			602.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
24		279.00			0.00			2455.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
25		279.00			0.00			2295.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
26		279.00			0.00			2307.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
27		279.00			0.00			2472.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
28		0.00			0.00			911.00								
4	L1	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
4	L2	-6	-5	-3	-1	1	4	5	5	4	3	1	-1	-2	-2	-1
29		0.00			0.00			700.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
5	L2	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12
30		279.00			0.00			2466.00								
3	L1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
3	L2	-1	-1	-1	-1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	-1	-1
31		0.00			0.00			750.00								
5	L1	11	10	8	5	1	-4	-8	-10	-10	-10	-7	-4	0	6	12

```

5 L2 11 10 8 5 1 -4 -8-10-10-10 -7 -4 0 6 12
32 279.00 0.00 2575.00
3 L1 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1
3 L2 -1 -1 -1 -1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 -1 -1

```

#### 2.4 Parametros de transformacao entre sistemas de referencia

ITRF (IGS05)->SIRGAS2000

Translacoes (Tx,Ty,Tz), Rotacoes (Rx,Ry,Rz), Escala (S)

Tx	Ty	Tz	S	Rx	Ry	Rz
(cm)	(cm)	(cm)	(ppb)	(mas)	(mas)	(mas)
-0.510	-0.650	-0.990	0.000	0.150	0.020	0.021
dTx	dTy	dTz	dS	dRx	dRy	dRz
(cm/y)	(cm/y)	(cm/y)	(ppb/y)	(mas/y)	(mas/y)	(mas/y)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

#### 2.5 Coeficientes de carga oceanica

ENCONTRADO

Term	Frequ.	Radial			Norte-Sul		Este-Oeste		Fase
		Fase	Ampl.		Fase	Ampl.	Fase	Ampl.	
	(rad/h)	(gra)	(mm)	(gra)	(mm)	(gra)	(mm)	(gra)	
M2	0.5059	124.300	9.1	31.200	1.5	190.900	2.4	195.800	
S2	0.5236	360.000	3.5	31.700	0.5	241.300	1.1	202.600	
N2	0.4964	349.336	2.2	43.500	0.4	152.300	0.5	211.300	
K2	0.5250	200.933	1.0	21.100	0.1	249.200	0.3	193.400	
K1	0.2625	190.466	1.0	253.500	1.1	291.900	0.8	204.400	
O1	0.2434	293.833	2.7	258.600	1.3	257.300	1.0	139.500	
P1	0.2611	169.534	0.3	254.900	0.4	291.700	0.3	203.800	
Q1	0.2339	158.870	0.8	241.700	0.3	232.700	0.2	108.600	
MF	0.0192	256.633	0.2	187.000	0.1	1.800	0.1	333.900	
MM	0.0095	314.963	0.1	184.600	0.1	354.400	0.1	328.300	
SSA	0.0014	20.933	0.1	181.700	0.0	358.200	0.0	348.300	

#### 2.6 Dados meteorologicos da superficie

Temperatura (C): 20.00  
 Pressao (Mb): 906.11  
 Humidade Relativa(%): 50.00

---

### SECAO 3. Sumario do processamento da sessao

---

#### 3.1 Opcoes de processamento

```

Modo de Operacao do Usuario      : ESTATICO
Observacao processada            : CODIGO&FASE
Frequencia observada             : L3
Orbitas dos satelites            : PRECISA
Intervalo de dados do Satelite   : 5-MINUTOS
Modelo de Ionosfera              : L1&L2
Coordenadas do marco             : ESTIMADAS
Atraso Troposferico no Zenite (ATZ) : ESTIMADAS
Interpolacao do relógio          : SIM
Parametro de suavizacao          : NAO
Sistema de Referencia            : SIRGAS2000
Sistema de Coordenada            : ELIPSOIDAL

```

Desvio Padrao da pseudodistancia (m) : 2.000  
 Desvio Padrao da portadora (m) : 0.015  
 Caminho aleatorio do ATZ (mm/hr): 5.000  
 Distancia Marco->CFA (m): 0.100  
 Angulo de Elevacao (grau): 10.000

### 3.2 Sessao de Observacao

Nome do Marco : UFPR  
 Inicio : 2009/10/09 00:00:00.00  
 Fim : 2009/10/09 23:59:45.00  
 Intervalo de observacao (seg): 15.00  
 Intervalo no processamento (seg): 15.00  
 Numero de epocas processadas : 5760  
 Numero de satelites processados : 30  
 Numero de observacoes processadas : 48186  
 Numero de observacoes rejeitadas : 11601  
 Residuos da pseudodistancia (m): 0.81  
 Residuos da fase da portadora (cm): 1.27

### 3.3 Coordenadas Estimadas na Data do Levantamento

CARTESIANA	SIRGAS2000	ITRF (IGS05)	Sigma (m)	SIR-ITR (m)
X (m)	3763751.6461	3763751.6511	0.0063	-0.0049
Y (m)	-4365113.9180	-4365113.9139	0.0070	-0.0041
Z (m)	-2724404.6201	-2724404.6067	0.0041	-0.0134

ELIPSOIDAL				
Latitude (gms)	-25 26 54.1235	-25 26 54.1231	0.0016	-0.0122
Longitude (gms)	-49 13 51.4401	-49 13 51.4399	0.0041	-0.0064
Alt. Geo. (m)	925.8080	925.8023	0.0092	0.0057

### 3.4 Diferenca de Coordenadas SIRGAS2000

CARTESIANA	ESTIMADA	A-PRIORI	Diferenca (m)	EQM (m)
X (m)	3763751.6461	3763751.6792	-0.0331	0.0774
Y (m)	-4365113.9180	-4365113.8289	-0.0891	0.0894
Z (m)	-2724404.6201	-2724404.7151	0.0950	0.1255

ELIPSOIDAL				
Latitude (gms)	-25 26 54.1235	-25 26 54.1269	0.1055	0.1195
Longitude (gms)	-49 13 51.4401	-49 13 51.4371	-0.0832	0.1027
Alt. Geo. (m)	925.8080	925.8073	0.0006	0.0701

### 3.5 Estimativa do relógio do receptor

Epoca de Referencia : 2009/10/09 00:00:00.00  
 Fase do relógio (ns) : 2.86 0.12  
 Desvio do relógio (ns/dia) : -5.03 0.21  
 EQM dos residuos (ns) : 4.43

### 3.6 Tabela de Observacoes Rejeitadas

PRN	AC	#ARC	#OBS	#REJ						CODIGO			PHASE	
				TRK	SLP	REL	EFE	IGP	RES	ELV	MED	EQM	MED	EQM
											(m)	(m)	(cm)	(cm)

2E	4	2	1154	110	0	0	0	0	0	850	0.09	0.65	0.12	1.3
3	4	2	1283	193	0	0	0	0	0	635	-0.55	0.89	-0.01	0.8
4E	8	3	1613	176	0	0	0	0	0	581	-0.19	0.62	-0.19	1.0
5	8	3	1933	119	0	0	0	0	7	315	1.57	1.74	-0.12	1.8
6	4	2	1340	158	0	0	0	0	0	156	-0.57	0.93	-0.58	1.1
7	4	2	1769	16	0	0	0	0	1	180	-0.40	0.77	0.00	1.7
8	4	2	1825	103	0	0	0	0	0	86	-0.47	0.83	0.08	1.0
9	4	2	1405	40	0	0	0	0	0	212	-0.53	0.88	-0.08	0.7
10	4	3	1940	181	0	0	0	0	0	231	-0.25	0.67	-0.42	1.9
11E	4	3	1240	192	0	0	0	0	0	503	-0.42	0.79	-0.45	1.4
12	4	1	1738	31	0	0	0	0	0	202	0.41	0.79	0.11	1.2
13	4	1	1859	35	0	0	0	0	3	143	-0.13	0.64	0.49	1.5
14	4	2	1275	142	0	0	0	0	0	548	-0.09	0.70	0.38	1.2
15	4	3	1696	103	0	0	0	0	0	364	-0.08	0.60	-0.04	1.0
16	4	2	1803	164	0	0	0	0	0	187	-0.40	0.74	-0.41	1.5
17	4	3	1318	69	0	0	0	0	0	620	0.28	0.76	0.15	1.1
18	4	1	1414	40	0	0	0	0	0	140	-0.04	0.72	0.14	1.1
19	4	2	1615	91	0	0	0	0	0	419	0.10	0.64	-0.01	1.1
20	4	1	1677	65	0	0	0	0	0	192	-0.42	0.81	-0.18	1.1
21E	4	1	1529	47	0	0	0	0	0	391	0.01	0.69	-0.11	1.2
22	4	1	1606	50	0	0	0	0	0	169	-0.41	0.80	0.23	1.2
23	8	1	1818	91	0	0	0	0	0	85	0.33	0.71	0.06	1.0
25E	4	1	1670	79	0	0	0	0	0	157	-0.52	0.88	0.08	0.8
26	4	2	1723	152	0	0	0	0	0	334	-0.26	0.66	0.41	1.2
27	4	2	1397	32	0	0	0	0	0	199	-0.20	0.75	0.00	0.6
28	4	2	1536	29	0	0	0	0	0	160	-0.18	0.76	0.16	1.1
29	4	1	1851	24	0	0	0	0	0	118	0.40	0.79	0.19	1.3
30	4	1	1546	47	0	0	0	0	0	224	-0.33	0.81	-0.32	0.9
31	4	2	1812	93	0	0	0	0	0	332	0.10	0.60	0.07	1.3
32	4	1	1801	20	0	0	0	0	0	165	-0.48	0.83	0.12	0.8

### 3.7 Lista de residuos rejeitados

PRN	HH:MM:SS.SSS	CODIGO		PHASE	
		RES (m)	MAX (m)	RES (cm)	MAX (cm)
5	08:06:45.000	1.38	8.94	-7.22	6.71
5	08:09:00.000	-1.23	8.94	10.75	6.71
5	08:09:45.000	0.95	8.94	-8.51	6.71
5	08:10:45.000	0.88	8.94	-14.62	6.71
5	08:13:45.000	1.67	8.94	7.05	6.71
13	19:34:00.000	-1.64	8.94	-7.90	6.71
13	19:40:00.000	-1.25	8.94	6.86	6.71
13	19:43:30.000	-2.03	8.94	-6.95	6.71
7	21:06:00.000	-0.79	8.94	-7.25	6.71
5	22:58:30.000	-1.88	8.94	15.72	6.71
5	22:59:30.000	1.79	8.94	-17.39	6.71



**APÊNDICE 3****SUMÁRIO DOS PROCESSAMENTOS RELATIVOS**

# Processing Summary

## Processamento\_Angela

### Project Information

Project name: Processamento\_Angela  
 Date created: 07/20/2010 11:16:47  
 Time zone: -3h 00'  
 Coordinate system name: WGS 1984  
 Application software: LEICA Geo Office 7.0  
 Start date and time: 10/08/2009 20:59:45  
 End date and time: 10/09/2009 20:59:30  
 Manually occupied points: 12  
 Processing kernel: PSI-Pro 2.0  
 Processed: 07/20/2010 11:50:35

### Processing Parameters

Parameters	Selected
Cut-off angle:	10°
Ephemeris type:	Broadcast
Solution type:	Automatic
GNSS type:	GPS
Frequency:	Automatic
Fix ambiguities up to:	80 km
Min. duration for float solution (static):	5' 00"
Sampling rate:	Use all
Tropospheric model:	Hopfield
Ionospheric model:	Automatic
Use stochastic modelling:	Yes
Min. distance:	8 km
Ionospheric activity:	Automatic

### Baseline Overview

PPT E - UFPRORIGINAL	Reference: PPT E	Rover: UFPRORIGINAL	
Receiver type / S/N:	TRIMBLENETR8 / 4918K35147	TRIMBLENETR5 / 4651K03576	
Antenna type / S/N:	TRM55971.00 / -	TRM55971.00 / -	
Antenna height:	0.0025 m	0.1000 m	
Coordinates:			
Latitude:	22° 07' 11.65710" S	25° 26' 54.12763" S	
Longitude:	51° 24' 30.72250" W	49° 13' 51.43781" W	
Ellip. Hgt:	431.0500 m	925.8727 m	
Solution type:	Float		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1/L2 (L3)		
Ambiguity:	No		
Time span:	10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30		
Duration:	23h 59' 45"		
Quality:	Sd. Lat: 0.0000 m Posn. Qlty: 0.0001 m	Sd. Lon: 0.0001 m Sd. Slope: 0.0000 m	Sd. Hgt: 0.0001 m
Baseline vector:	dLat: -3° 19' 42.47053" Slope: 430236.0110 m	dLon: 2° 10' 39.28469"	dHgt: 494.8227 m
DOPs (min-max):	GDOP: 1.6 - 5.0		

PDOP: 1.4 - 4.2

HDOP: 0.7 - 2.2

VDOP: 1.1 - 3.9

Number of used satellites:

GPS: 30

GLONASS: -

**PRGU - Guarapuav - UFPRORIGINAL**

**Reference: PRGU - Guarapuav**

**Rover: UFPRORIGINAL**

Receiver type / S/N:

TRIMBLENETRS / 4643124474

TRIMBLENETR5 / 4651K03576

Antenna type / S/N:

TRM41249.00 / -

TRM55971.00 / -

Antenna height:

0.0080 m

0.1000 m

Coordinates:

Latitude:

25° 23' 02.39400" S

25° 26' 54.12681" S

Longitude:

51° 29' 15.28010" W

49° 13' 51.43668" W

Ellip. Hgt:

1043.1600 m

925.8510 m

Solution type:

Float

GNSS type:

GPS

Frequency:

IonoFree (L3)

Ambiguity:

No

Time span:

10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30

Duration:

23h 59' 45"

Quality:

Sd. Lat: 0.0000 m

Sd. Lon: 0.0001 m

Sd. Hgt: 0.0001 m

Posn. Qlty: 0.0001 m

Sd. Slope: 0.0001 m

Baseline vector:

dLat: -0° 03' 51.73281"

dLon: 2° 15' 23.84342"

dHgt: -117.3090 m

Slope: 227165.2714 m

DOPs (min-max):

GDOP: 1.6 - 4.6

PDOP: 1.4 - 3.8

HDOP: 0.7 - 2.2

VDOP: 1.1 - 3.6

Number of used satellites:

GPS: 30

GLONASS: -

**PRMA - UFPRORIGINAL**

**Reference: PRMA**

**Rover: UFPRORIGINAL**

Receiver type / S/N:

TRIMBLENETRS / 4643124421

TRIMBLENETR5 / 4651K03576

Antenna type / S/N:

TRM41249.00 / -

TRM55971.00 / -

Antenna height:

0.0080 m

0.1000 m

Coordinates:

Latitude:

23° 24' 34.87780" S

25° 26' 54.12722" S

Longitude:

51° 56' 18.32720" W

49° 13' 51.43725" W

Ellip. Hgt:

543.3700 m

925.8045 m

Solution type:

Float

GNSS type:

GPS

Frequency:

IonoFree (L3)

Ambiguity:

No

Time span:

10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30

Duration:

23h 59' 45"

Quality:

Sd. Lat: 0.0000 m

Sd. Lon: 0.0001 m

Sd. Hgt: 0.0001 m

Posn. Qlty: 0.0001 m

Sd. Slope: 0.0001 m

Baseline vector:

dLat: -2° 02' 19.24942"

dLon: 2° 42' 26.88995"

dHgt: 382.4345 m

Slope: 355472.9015 m

DOPs (min-max):

GDOP: 1.6 - 16.7

PDOP: 1.5 - 12.9

HDOP: 0.7 - 3.9

VDOP: 1.2 - 12.3

Number of used satellites:

GPS: 30

GLONASS: -

**SCCH - UFPRORIGINAL**

**Reference: SCCH**

**Rover: UFPRORIGINAL**

Receiver type / S/N:

TRIMBLENETR5 / 4651K03556

TRIMBLENETR5 / 4651K03576

Antenna type / S/N:

TRM55971.00 / -

TRM55971.00 / -

Antenna height:	0.0000 m	0.1000 m	
Coordinates:			
Latitude:	27° 08' 15.23670" S	25° 26' 54.12655" S	
Longitude:	52° 35' 58.22430" W	49° 13' 51.43654" W	
Ellip. Hgt:	744.2400 m	925.8775 m	
Solution type:	Float		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	IonoFree (L3)		
Ambiguity:	No		
Time span:	10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30		
Duration:	23h 59' 45"		
Quality:	Sd. Lat: 0.0000 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0001 m
	Posn. Qlty: 0.0001 m	Sd. Slope: 0.0001 m	
Baseline vector:	dLat: 1° 41' 21.11015"	dLon: 3° 22' 06.78776"	dHgt: 181.6375 m
	Slope: 384929.5739 m		
DOPs (min-max):	GDOP: 1.6 - 4.6		
	PDOP: 1.4 - 3.8	HDOP: 0.7 - 2.0	VDOP: 1.1 - 3.6
Number of used satellites:	GPS: 30		
	GLONASS: -		

**SCLA - UFPRORIGINAL**

Receiver type / S/N:  
Antenna type / S/N:  
Antenna height:

**Reference: SCLA**

TRIMBLENETR5 / 4651K03605  
TRM55971.00 / -  
0.0000 m

**Rover: UFPRORIGINAL**

TRIMBLENETR5 / 4651K03576  
TRM55971.00 / -  
0.1000 m

Coordinates:

Latitude: 27° 47' 34.20840" S  
Longitude: 50° 18' 15.34070" W  
Ellip. Hgt: 940.7200 m

25° 26' 54.12639" S  
49° 13' 51.43682" W  
925.9024 m

Solution type:

GNSS type: GPS  
Frequency: IonoFree (L3)  
Ambiguity: No  
Time span: 10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30  
Duration: 23h 59' 45"

Quality:	Sd. Lat: 0.0000 m	Sd. Lon: 0.0001 m	Sd. Hgt: 0.0001 m
	Posn. Qlty: 0.0001 m	Sd. Slope: 0.0000 m	

Baseline vector:	dLat: 2° 20' 40.08201"	dLon: 1° 04' 23.90388"	dHgt: -14.8176 m
	Slope: 280905.9526 m		

DOPs (min-max):	GDOP: 1.6 - 11.6		
	PDOP: 1.4 - 9.9	HDOP: 0.8 - 3.3	VDOP: 1.2 - 9.3

Number of used satellites: GPS: 30  
GLONASS: -

**Unicenp - UFPRORIGINAL**

Receiver type / S/N:  
Antenna type / S/N:  
Antenna height:

**Reference: Unicenp**

RS500 / 82254  
LEIAT502 / -  
0.0000 m

**Rover: UFPRORIGINAL**

TRIMBLENETR5 / 4651K03576  
TRM55971.00 / -  
0.1000 m

Coordinates:

Latitude: 25° 26' 50.84240" S  
Longitude: 49° 21' 33.44630" W  
Ellip. Hgt: 960.1500 m

25° 26' 54.12703" S  
49° 13' 51.43736" W  
925.8494 m

Solution type:

GNSS type: Phase: all fix  
GPS

Frequency: L1 and L2  
Ambiguity: Yes  
Time span: 10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30  
Duration: 23h 59' 45"

Quality: Sd. Lat: 0.0001 m Sd. Lon: 0.0001 m Sd. Hgt: 0.0002 m  
Posn. Qlty: 0.0001 m Sd. Slope: 0.0001 m

Baseline vector: dLat: -0° 00' 03.28463" dLon: 0° 07' 42.00894" dHgt: -34.3006 m  
Slope: 12910.4956 m

DOPs (min-max): GDOP: 1.6 - 4.6  
PDOP: 1.4 - 3.8 HDOP: 0.7 - 2.0 VDOP: 1.1 - 3.6

Number of used satellites: GPS: 30  
GLONASS: -

**PPTE - UFPRCORRIGIDO**

Receiver type / S/N: TRIMBLENETR8 / 4918K35147  
Antenna type / S/N: TRM55971.00 / -  
Antenna height: 0.0025 m

**Reference: PPTE**

TRIMBLENETR8 / 4918K35147  
TRM55971.00 / -  
0.0025 m

**Rover: UFPRCORRIGIDO**

TRIMBLENETR5 / 4651K03576  
TRM55971.00 / -  
0.1000 m

Coordinates:

Latitude: 22° 07' 11.65710" S 25° 26' 54.12760" S  
Longitude: 51° 24' 30.72250" W 49° 13' 51.44045" W  
Ellip. Hgt: 431.0500 m 925.8715 m

Solution type:

Float  
GNSS type: GPS  
Frequency: IonoFree (L3)  
Ambiguity: No  
Time span: 10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30  
Duration: 23h 59' 45"

Quality: Sd. Lat: 0.0000 m Sd. Lon: 0.0001 m Sd. Hgt: 0.0001 m  
Posn. Qlty: 0.0001 m Sd. Slope: 0.0000 m

Baseline vector: dLat: -3° 19' 42.47050" dLon: 2° 10' 39.28205" dHgt: 494.8215 m  
Slope: 430235.9714 m

DOPs (min-max): GDOP: 1.6 - 5.0  
PDOP: 1.4 - 4.2 HDOP: 0.7 - 2.2 VDOP: 1.1 - 3.9

Number of used satellites: GPS: 30  
GLONASS: -

**PRGU - Guarapuav - UFPRCORRIGIDO**

Receiver type / S/N: TRIMBLENETRS / 4643124474  
Antenna type / S/N: TRM41249.00 / -  
Antenna height: 0.0080 m

**Reference: PRGU - Guarapuav**

TRIMBLENETRS / 4643124474  
TRM41249.00 / -  
0.0080 m

**Rover: UFPRCORRIGIDO**

TRIMBLENETR5 / 4651K03576  
TRM55971.00 / -  
0.1000 m

Coordinates:

Latitude: 25° 23' 02.39400" S 25° 26' 54.12682" S  
Longitude: 51° 29' 15.28010" W 49° 13' 51.43935" W  
Ellip. Hgt: 1043.1600 m 925.8462 m

Solution type:

Float  
GNSS type: GPS  
Frequency: IonoFree (L3)  
Ambiguity: No  
Time span: 10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30  
Duration: 23h 59' 45"

Quality: Sd. Lat: 0.0000 m Sd. Lon: 0.0001 m Sd. Hgt: 0.0001 m  
Posn. Qlty: 0.0001 m Sd. Slope: 0.0001 m

Baseline vector: dLat: -0° 03' 51.73282" dLon: 2° 15' 23.84075" dHgt: -117.3138 m  
Slope: 227165.1968 m

DOPs (min-max): GDOP: 1.6 - 4.6  
PDOP: 1.4 - 3.8 HDOP: 0.7 - 2.2 VDOP: 1.1 - 3.6

Number of used satellites: GPS: 30  
GLONASS: -

**PRMA - UFPRCORRIGIDO**

Receiver type / S/N: TRIMBLENETRS / 4643124421  
Antenna type / S/N: TRM41249.00 / -  
Antenna height: 0.0080 m

**Rover: UFPRCORRIGIDO**

TRIMBLENETR5 / 4651K03576  
TRM55971.00 / -  
0.1000 m

Coordinates: Latitude: 23° 24' 34.87780" S 25° 26' 54.12719" S  
Longitude: 51° 56' 18.32720" W 49° 13' 51.43966" W  
Ellip. Hgt: 543.3700 m 925.8091 m

Solution type: Float  
GNSS type: GPS  
Frequency: IonoFree (L3)  
Ambiguity: No  
Time span: 10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30  
Duration: 23h 59' 45"

Quality: Sd. Lat: 0.0000 m Sd. Lon: 0.0001 m Sd. Hgt: 0.0001 m  
Posn. Qlty: 0.0001 m Sd. Slope: 0.0001 m

Baseline vector: dLat: -2° 02' 19.24939" dLon: 2° 42' 26.88754" dHgt: 382.4391 m  
Slope: 355472.8489 m

DOPs (min-max): GDOP: 1.6 - 16.7  
PDOP: 1.5 - 12.9 HDOP: 0.7 - 3.9 VDOP: 1.2 - 12.3

Number of used satellites: GPS: 30  
GLONASS: -

**SCCH - UFPRCORRIGIDO**

Receiver type / S/N: TRIMBLENETR5 / 4651K03556  
Antenna type / S/N: TRM55971.00 / -  
Antenna height: 0.0000 m

**Rover: UFPRCORRIGIDO**

TRIMBLENETR5 / 4651K03576  
TRM55971.00 / -  
0.1000 m

Coordinates: Latitude: 27° 08' 15.23670" S 25° 26' 54.12650" S  
Longitude: 52° 35' 58.22430" W 49° 13' 51.43903" W  
Ellip. Hgt: 744.2400 m 925.8759 m

Solution type: Float  
GNSS type: GPS  
Frequency: IonoFree (L3)  
Ambiguity: No  
Time span: 10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30  
Duration: 23h 59' 45"

Quality: Sd. Lat: 0.0000 m Sd. Lon: 0.0001 m Sd. Hgt: 0.0001 m  
Posn. Qlty: 0.0001 m Sd. Slope: 0.0001 m

Baseline vector: dLat: 1° 41' 21.11020" dLon: 3° 22' 06.78527" dHgt: 181.6359 m  
Slope: 384929.5145 m

DOPs (min-max): GDOP: 1.6 - 4.6  
PDOP: 1.4 - 3.8 HDOP: 0.7 - 2.0 VDOP: 1.1 - 3.6

Number of used satellites: GPS: 30  
GLONASS: -

**SCLA - UFPRCORRIGIDO**

Receiver type / S/N:  
 Antenna type / S/N:  
 Antenna height:

**Reference: SCLA**

TRIMBLENETR5 / 4651K03605  
 TRM55971.00 / -  
 0.0000 m

**Rover: UFPRCORRIGIDO**

TRIMBLENETR5 / 4651K03576  
 TRM55971.00 / -  
 0.1000 m

## Coordinates:

Latitude: 27° 47' 34.20840" S  
 Longitude: 50° 18' 15.34070" W  
 Ellip. Hgt: 940.7200 m

25° 26' 54.12649" S  
 49° 13' 51.43971" W  
 925.8954 m

## Solution type:

Float

## GNSS type:

GPS

## Frequency:

IonoFree (L3)

## Ambiguity:

No

## Time span:

10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30

## Duration:

23h 59' 45"

## Quality:

Sd. Lat: 0.0000 m

Sd. Lon: 0.0001 m

Sd. Hgt: 0.0001 m

Posn. Qlty: 0.0001 m

Sd. Slope: 0.0001 m

## Baseline vector:

dLat: 2° 20' 40.08191"  
 Slope: 280905.9191 m

dLon: 1° 04' 23.90099"

dHgt: -14.8246 m

## DOPs (min-max):

GDOP: 1.6 - 11.6

PDOP: 1.4 - 9.9

HDOP: 0.8 - 3.3

VDOP: 1.2 - 9.3

## Number of used satellites:

GPS: 30

GLONASS: -

**Unicnp - UFPRCORRIGIDO**

Receiver type / S/N:  
 Antenna type / S/N:  
 Antenna height:

**Reference: Unicnp**

RS500 / 82254  
 LEIAT502 / -  
 0.0000 m

**Rover: UFPRCORRIGIDO**

TRIMBLENETR5 / 4651K03576  
 TRM55971.00 / -  
 0.1000 m

## Coordinates:

Latitude: 25° 26' 50.84240" S  
 Longitude: 49° 21' 33.44630" W  
 Ellip. Hgt: 960.1500 m

25° 26' 54.12728" S  
 49° 13' 51.44284" W  
 925.8451 m

## Solution type:

Phase: all fix

## GNSS type:

GPS

## Frequency:

L1 and L2

## Ambiguity:

Yes

## Time span:

10/08/2009 20:59:45 - 10/09/2009 20:59:30

## Duration:

23h 59' 45"

## Quality:

Sd. Lat: 0.0004 m

Sd. Lon: 0.0005 m

Sd. Hgt: 0.0010 m

Posn. Qlty: 0.0006 m

Sd. Slope: 0.0005 m

## Baseline vector:

dLat: -0° 00' 03.28488"  
 Slope: 12910.3428 m

dLon: 0° 07' 42.00346"

dHgt: -34.3049 m

## DOPs (min-max):

GDOP: 1.6 - 78.3

PDOP: 1.4 - 64.7

HDOP: 0.7 - 22.6

VDOP: 1.1 - 60.6

## Number of used satellites:

GPS: 30

GLONASS: -

