

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**PRECISÃO DO POSICIONAMENTO RTK USANDO  
CORREÇÕES DIFERENCIAIS TRANSMITIDAS PELO  
SISTEMA NTRIP (RBMC-IP)**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Antão Leonir Langendolff Moreira**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

**PRECISÃO DO POSICIONAMENTO RTK USANDO  
CORREÇÕES DIFERENCIAIS TRANSMITIDAS PELO  
SISTEMA NTRIP (RBMC-IP)**

**Antão Leonir Langendolff Moreira**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Geomática**

**Orientador: Prof. Dr. Elódio Sebem**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

M838p Moreira, Antão Leonir Langendolff  
Precisão do posicionamento RTK usando correções diferenciais transmitidas pelo sistema NTRIP (RBMC-IP) / por Antão Leonir Langendolff Moreira – 2011.  
92f.; il.; 30 cm

Orientador: Elódio Sebem  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2011.

1. RTK 2. NTRIP 3. RBMC-IP 4. GNSS 5. DGPS. I. Sebem, Elódio  
II. Título.

CDU 528

Ficha catalográfica elaborada por  
Cláudia Terezinha Branco Gallotti – CRB 10/1109  
Biblioteca Central UFSM

---

© 2011

Todos os direitos autorais reservados a Antão Leonir Langendolff Moreira. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Avenida Roráima, n. 1000, ITSM - sala 16, Bairro Camobi, Santa Maria, RS.  
CEP: 97105-900.

Fone: (55) 32174216 ou (55) 99056003; End. Eletrônico: [eng.antao@gmail.com](mailto:eng.antao@gmail.com)

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**PRECISÃO DO POSICIONAMENTO RTK USANDO CORREÇÕES  
DIFERENCIAIS TRANSMITIDAS PELO SISTEMA NTRIP (RBMC-IP)**

elaborada por  
**Antão Leonir Langendolff Moreira**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Geomática**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Elódio Sebem, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Eno Darci Saatkamp, Dr. (UFSM)**

---

**Joel Cordeiro da Silva, Dr. (IFF)**

Santa Maria, 18 de março de 2011.

*O amor de mãe é o combustível que capacita um ser humano comum a fazer o impossível. Ela pode repreendê-lo nas pequenas coisas, mas nunca nas grandes.*

*À minha estimada mãe **Therezinha Langendolff Moreira** (in memoriam), que com retidão e caráter, sempre que incentivou a continuar buscando conhecimento, fazendo-me acreditar que era possível, quando parecia impossível.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Geomática (PPGG), pelo curso oferecido.

Ao Prof. Dr. Elódio Sebem pela oportunidade de realização desta dissertação, pela orientação, pelo convívio, pela paciência, pela compreensão, pelo esmero, pelo conhecimento compartilhado, pelo exemplo de profissionalismo e dedicação, pela amizade e preocupação com minha melhor formação. Sou grato por todos os momentos em que me ajudou.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geomática pelos conhecimentos adquiridos.

Aos membros da comissão examinadora, pela contribuição neste trabalho.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Geomática pela amizade e convivência.

Aos amigos Guilherme Pellegrini e Sidiano Stefanello pela disponibilidade e ajuda nos levantamentos de campo e contribuição neste trabalho.

Aos colegas e amigos da Prefeitura Municipal de Santa Maria pela colaboração e incentivo, em especial a Marcio Flores, Mauricio Mezzomo e Rosana Trevisan.

Aos meus irmãos Antonio, Marta, Nara e Roselaine e ao meu pai Arisoli pelo apoio, carinho e incentivo.

Enfim a todas aquelas pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Geomática  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **PRECISÃO DO POSICIONAMENTO RTK USANDO CORREÇÕES DIFERENCIAIS TRANSMITIDAS PELO SISTEMA NTRIP (RBMC-IP)**

Autor: Antão Leonir Langendolff Moreira  
Orientador: Prof. Dr. Elódio Sebem  
Data e local da defesa: Santa Maria, 18 de março de 2011.

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) nos últimos anos vem se apoiando no desenvolvimento da telefonia móvel e no avanço da eletrônica dos equipamentos (receptores GNSS) para promover uma revolução nos levantamentos geodésicos em tempo real. Neste contexto, se destaca a técnica de posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK) usando correções diferenciais transmitidas pelo protocolo *Networked Transport of RTCM via internet Protocol* (NTRIP), a partir de uma estação de referência via internet. O objetivo deste trabalho foi avaliar a precisão desta técnica para diferentes comprimentos de linha de base e com o uso de diferentes números de épocas de rastreamento. Para isso, foram utilizadas as coordenadas tridimensionais de 10 estações (marcos), localizadas em três municípios do estado do Rio Grande do Sul, rastreadas pelo método relativo estático pós-processado (estático PP), o qual serviu de referência na comparação com a técnica RTK / NTRIP, que utilizou de correções da Rede Brasileira de Monitoramento contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real – (RBMC-IP). Os resultados mostraram que houve resolução das ambiguidades em nove estações numa linha de base superior a 54 km e que os valores de acurácia não apresentaram diferença superior a 0,041 m na componente horizontal e 0,083 m na componente vertical. Além disso, entre os números de épocas testados (5, 10, 30, 60 e 120 épocas) para o método RTK / NTRIP, aquele que apresentou a melhor média de acurácia horizontal foi o de 120 épocas (0,01 m) e para a componente vertical o melhor resultado foi alcançado com o número de 5 épocas rastreadas (0,02 m). Deste modo, foi comprovada a confiabilidade da técnica RTK / NTRIP (RBMC-IP) em linhas de base de até 54 km, podendo ser utilizada para levantamentos topográficos em locais providos por Internet *wireless* ou serviços de telefonia celular tais como, GPRS, GSM e 3G.

**Palavras-chave:** RTK; NTRIP; RBMC-IP; GNSS; DGPS

## ABSTRACT

Dissertation of Master's Degree  
Post-Graduate Course in Geomatics  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

### **ACCURACY OF RTK POSITIONING USING DIFFERENTIAL CORRECTIONS TRANSMITTED BY THE SYSTEM NTRIP (RBMC-IP)**

Author: Antônio Leonir Langendolff Moreira

Advisor: Prof. Dr. Elódio Sebem

Date and place of defense: Santa Maria, March 18, 2011

The Global Navigation Satellite System (GNSS), in the last few years, has been supporting the development of mobile telephony and the expansion of electronic equipments (GNSS receivers) to promote a revolution in geodetic surveys in real time. In this context, it becomes important the technique of positioning *Real Time Kinematic* (RTK) with the use of differential corrections transmitted by the protocol named *Networked Transport of RTCM via the Internet Protocol* (NTRIP), from a reference station via Internet. It is aimed, in this research, the evaluation of the precision of this technique for different lengths of baseline, and also the use of different numbers of trace periods. Then, three-dimensional coordinates of 10 stations (DEM) were used, they were also located in three municipalities of Rio Grande do Sul, which were traced by the static post-processed (static PP) method, which helped as being a reference in comparison with technique RTK / NTRIP, that used the correlations of the *Brazilian Network for Continuous Monitoring of the GNSS Systems in real time - (RBMC-IP)*. The results showed that there was resolution of the ambiguities in nine seasons at baseline greater than 54 km, and that the precision values showed no difference greater than 0.041 m in the horizontal component and 0.083 m in the vertical component. In addition, between the numbers of the tested periods (5,10,30, 60 and 120 periods) for the method RTK / NTRIP, the tested period that had the best average precision of the horizontal component was the 120 one (0.01 m), and for the vertical component was considered the five periods number as the most appropriated (0.02 m). Hence, it was proved the reliability of the technique RTK / NTRIP (RBMC-IP) in baselines of until 54 km, showing that it can be used for topographical surveys in areas with wireless Internet or cellular services such as GPRS, GSM and 3G.

**Keywords:** RTK; NTRIP; RBMC-IP; GNSS; DGPS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do sinal GPS (Adaptado de Sebem et al., 2010) .....	20
Figura 2 - Esquema de funcionamento do NTRIP (Adaptado de Chen, 2004) .....	44
Figura 3 - Cobertura das correções RTK do serviço RBMC-IP (IBGE, 2009).....	54
Figura 4 - Localização dos marcos no Estado do Rio Grande do Sul (Coordenadas UTM / Fuso 22S - Datum SIRGAS 2000) .....	57
Figura 5 - Fotografias panorâmicas dos marcos. (Fonte: Autor) .....	58
Figura 6 - Receptor GNSS modelo GRX1 da Sokkia. ....	60
Figura 7 - Coletor de dados Sokkia SHC250.....	61
Figura 8 - Rastreamento do marco IBGE-93975 em Cruz Alta.....	62
Figura 9 - Colocação do SIM Card (chip) no modem GSM do receptor GRX1.....	63
Figura 10 - Ícones de acesso a configuração do levantamento RTK via NTRIP no software SSF.....	64
Figura 11 - Configuração da rede RTK no software SSF .....	64
Figura 12 - Configuração do receptor GRX1 e da antena .....	65
Figura 13 - Configuração do rádio modem e do acesso ao servidor do IBGE.....	65
Figura 14 - Configurando o acesso ao servidor e as informações da operadora .....	66
Figura 15 - Início da conexão e consulta a qualidade do sinal .....	66
Figura 16 - Evolução da tentativa de conexão com o servidor .....	67
Figura 17 - Conexão estabelecida com o servidor do IBGE e as correções recebidas.....	67
Figura 18 - Esquema representativo do levantamento RTK / NTRIP (Adaptado IBGE, 2009).....	68
Figura 19 - Vetores processados no software SSO.....	71
Figura 20 - Comparação dos valores de acurácia horizontal do método RTK / NTRIP em relação ao comprimento da linha de base .....	77
Figura 21 - Comparação dos valores de acurácia vertical do método RTK / NTRIP em relação ao comprimento da linha de base.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais tipos de mensagens RTCM da versão 2.3.....	40
Tabela 2 - Grupo de mensagens RTK do padrão RTCM versão 3.1.....	41
Tabela 3 - Valores dos comprimentos de linha de base entre a estação de referência SMAR e as estações levantadas, coordenadas elipsoidais (Latitude e Longitude em graus) e altitude geométrica em metros das estações.....	70
Tabela 4 - Valores das projeções de cada linha base formada entre a estação levantada e a estação de referência SMAR e seus respectivos desvios padrões.....	71
Tabela 5 - Comparação entre os métodos Estático e RTK / NTRIP com a média de 5 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.....	72
Tabela 6 - Comparação entre os métodos Estático e RTK / NTRIP com a média de 10 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.....	74
Tabela 7 - Comparação entre os métodos Estático e RTK / NTRIP com a média de 30 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.....	74
Tabela 8 - Comparação entre os métodos Estático e RTK / NTRIP com a média de 60 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.....	75
Tabela 9 - Comparação entre os métodos Estático e RTK / NTRIP com a média de 120 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.....	75
Tabela 10 - Comparação entre as acurácias horizontais obtidas por diferentes números de épocas de rastreamento para o posicionamento RTK / NTRIP...	76
Tabela 11 - Valores das altitudes geométricas (h) das estações levantadas, determinado pelo método estático PP e pelo método RTK / NTRIP para a média de 5, 10, 30, 60 e 120 épocas.....	78
Tabela 12 - Comparação entre as acurácias verticais obtidas por diferentes números de épocas de rastreamento para o posicionamento RTK / NTRIP...	79

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AS	– <i>Selective Availability</i> (Disponibilidade Seletiva)
ARP	– <i>Antenna Reference Point</i> (Ponto de referência da antena)
BKG	– <i>Bundesamt für Kartographie und Geodäsie</i> (Agência Federal de Geodésia e Cartografia - Alemanha)
bps	– bits ( <i>Binary digit</i> ) por segundo
C/A	– <i>Coarse/Acquisition</i> (Fácil Aquisição)
CTRS	– <i>Conventional Terrestrial Reference System</i> (Sistema de Referência Terrestre Convencional)
DGPS	– <i>Differential GPS</i> (Sistema de Posicionamento Global Diferencial)
DOP	– <i>Dilution of Precision</i> (Diluição de Precisão)
ECEF	– <i>Earth-Centered-Earth-Fixed</i> (refere-se ao centro de fase L1 da antena)
EDGE	– <i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i> (Evolução e aprimoramento das taxas de dados para GSM)
EGNOS	– <i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i> (Sistema Europeu de aumento baseado em satélites geoestacionários)
GBAS	– <i>Ground Based Augmentation System</i> (Sistema de aumento baseado em estações em solo)
GNSS	– <i>Global Navigation Satellite System</i> (Sistema Global de Navegação por Satélite)
GPRS	– <i>General Packet Radio Service</i> (Serviço de Rádio de Pacote Geral)
GSM	– <i>Global System for Mobile communications</i> (Sistema Global para comunicações móveis)
GPS	– <i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
HTTP	– <i>Hypertext Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto)
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS	– <i>International GPS Service</i> . (Serviço Internacional GPS)
INCRA	– Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IP	– <i>Internet Protocol</i> (Protocolo da Internet)
NASA	– <i>National Aeronautics Space Administration</i> (Agência Espacial)

Americana)

NAVSTAR-GPS

– *Navigation Satellite With Time And Ranging* (Navegação por Satélites com variação de tempo)

NNSS – *Navy Navigation Satellite System* (Sistema de Navegação por Satélites da Marinha Americana)

P – *Precision code* (Código Preciso ou Protegido)

PDA – *Personal Digital Assistants* (Assistente Pessoal Digital)

PMSM – Prefeitura Municipal de Santa Maria

PRN – *Pseudo-Random Noise* (Ruído Falsamente Aleatório)

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS

RRC – *Range Rate Correction* (Intervalo de taxa de correção)

RTCM – *Radio Technical Commission for Maritime Services* (Comissão Técnica de Rádio para Serviços Marítimos)

RTK – *Real Time Kinematic* (Posicionamento cinemático em tempo real)

SBAS – *Satellite Based Augmentation System* (Sistema de aumento baseado em satélites)

SVN – *Space Vehicle Number* (Número do veículo especial)

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria

UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System* (Sistema de Telecomunicações Móveis Universais)

WAAS – *Wide Area Augmentation System* (Sistema de aumento baseado em satélite para a América do Norte)

WGS-84 – *World Geodetic System 1984* (Sistema de Referência do GPS)

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Planilha dos vetores levantados pelo método RTK / NTRIP.....	90
APÊNDICE B – Dados técnicos para configurar o <i>modem</i> GSM do receptor GNSS para as principais operadoras de telefonia celular no Brasil.....	92

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>2.1 Sistemas globais de navegação por satélite – GNSS</b> .....	17
<b>2.2 Sistema de posicionamento global – GPS</b> .....	17
2.2.1 Segmentos do sistema GPS .....	18
2.2.1.1 Segmento espacial .....	18
2.2.1.2 Segmento de controle .....	21
2.2.1.3 Segmento usuário .....	21
2.2.2 Princípio do sistema de posicionamento global .....	22
2.2.3 Formas de medição das distâncias no sistema GPS .....	23
<b>2.3 Influência dos erros nas medições GNSS</b> .....	24
2.3.1 Erros relacionados com os satélites .....	25
2.3.2 Erros relacionados com a propagação do sinal .....	25
2.3.2.1 Refração do sinal na atmosfera .....	25
2.3.2.2 Multicaminho ou sinais refletidos .....	27
2.3.2.3 Perdas de ciclos .....	28
2.3.3 Erros relacionados com o receptor e antena .....	28
2.3.4 Erros relacionados com a estação .....	28
<b>2.4 Métodos de posicionamento GNSS</b> .....	29
2.4.1 Posicionamento relativo estático .....	32
2.4.2 Posicionamento relativo estático rápido .....	32
2.4.3 Posicionamento relativo semicinemático .....	33
2.4.4 Posicionamento relativo cinemático .....	33
2.4.5 Posicionamento diferencial GPS .....	33
2.4.6 Posicionamento relativo cinemático em tempo real .....	35
<b>2.5 Estado da arte da técnica Real Time Kinematic (RTK)</b> .....	35
2.5.1 Solução das Ambiguidades .....	37
2.5.2 Mensagens padronizadas RTCM .....	38
2.5.3 Protocolo NTRIP .....	42
2.5.4 Meios de Comunicação .....	45
2.5.4.1 Rádio transmissão .....	45
2.5.4.2 Telefonia celular .....	46
2.5.4.3 Internet .....	47
2.5.4.4 Satélites geoestacionários .....	47

2.5.5 Latência do Sistema .....	47
2.5.6 Sistemas de posicionamento DGPS e RTK em rede. ....	49
2.5.6.1 RTK em rede.....	50
<b>2.6 Serviço RBMC - IP .....</b>	<b>52</b>
2.6.1 Funcionamento do sistema RBMC-IP .....	54
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>56</b>
<b>3.1 Localização e materialização do experimento.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2 Equipamentos utilizados .....</b>	<b>59</b>
3.2.1 Receptor GNSS geodésico .....	59
3.2.2 Coletor de dados.....	60
<b>3.3 Levantamento relativo estático para a coleta dos dados de referência.....</b>	<b>61</b>
<b>3.4 Levantamento pelo método RTK / NTRIP .....</b>	<b>62</b>
3.4.1 Configuração do receptor GNSS para receber as correções RTK / NTRIP .....	63
3.4.2 Coleta de dados a campo pelo método RTK / NTRIP .....	68
<b>3.5 Análise dos dados.....</b>	<b>69</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1 Processamento dos dados de campo (coordenadas de referência) .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2 Avaliação da precisão do posicionamento RTK / NTRIP .....</b>	<b>72</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>89</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A utilização da tecnologia dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) provocou uma verdadeira revolução nesta última década nas atividades de navegação e posicionamento. Os trabalhos geodésicos passaram a ser realizados de forma mais rápida, precisa e econômica quando comparados com os métodos convencionais. Paralelo a isto houve um grande desenvolvimento da telefonia móvel e da eletrônica dos equipamentos nos últimos anos, criando um novo paradigma e revelando uma tendência mundial, a busca cada vez mais de posições acuradas em tempo real, esta afirmação é referendada pelos últimos lançamentos de receptores geodésicos disponíveis no mercado.

Neste contexto, se destaca as técnicas de posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK) e *Differential Global Positioning System* (DGPS) baseadas no modo diferencial, onde as correções dos sinais dos satélites GNSS são transmitidas em tempo real, da estação de referência para uma estação a qual se deseja determinar as coordenadas. Normalmente as correções são transmitidas via rádio UHF, mas recentemente uma nova opção de transmissão das correções surgiu por meio da internet e o seu funcionamento sem fio (*wireless*) via telefonia celular. Isto ocorre pelo protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via internet Protocol*), desenvolvido com o propósito de substituir o link de rádio pela conexão via Internet.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), passou a disponibilizar em maio de 2009 o serviço RBMC-IP, que, via internet, oferece correções DGPS e RTK, sendo uma alternativa para substituir a conexão via rádio (IBGE, 2009). Além disso, utilizar o servidor do IBGE para receber as correções RTK e DGPS apresenta algumas vantagens em relação ao link de rádio, como a possibilidade de utilização de um único receptor GNSS, emprego de receptores de menor custo (sem link de rádio), maior alcance e melhor qualidade do sinal recebido pelo receptor móvel, maior operacionalidade e rendimento dos trabalhos de campo (COSTA et al., 2008).

A justificativa para este trabalho é a necessidade de estudar e compreender o funcionamento dos equipamentos e dos protocolos necessários para a utilização da tecnologia RTK / NTRIP via (RBMC-IP) no posicionamento geodésico de precisão.

O objetivo deste estudo é avaliar a precisão do posicionamento de pontos levantados pelo método RTK / NTRIP (RBMC-IP) em função de diferentes comprimentos de linha de base e taxas de coleta. Comparando a precisão posicional dos pontos levantados pelo método RTK / NTRIP (RBMC-IP) com o rastreamento efetuado pelo método relativo estático pós-processado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistemas globais de navegação por satélite – GNSS

Para Monico (2008), posicionar um objeto nada mais é do que lhe atribuir coordenadas. Embora hoje se trate de uma tarefa que pode ser realizada com relativa facilidade, utilizando-se, por exemplo, satélites artificiais apropriados para esse fim, este foi um dos primeiros problemas científicos que o ser humano procurou solucionar.

O termo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) surgiu em 1991 e inicialmente englobava os sistemas GPS (EUA) e GLONASS (Rússia), além dos sistemas SBAS e GBAS de abrangência regional. Um Sistema Global de Navegação por Satélite é formado por uma constelação de satélites com cobertura global que envia sinais para posicionamento e tempo para usuários localizados em solo, aeronaves, ou transporte marítimo. Atualmente o termo GNSS abrange também os sistemas GALILEO (União Européia) e COMPASS (China).

### 2.2 Sistema de posicionamento global – GPS

A utilização de ferramentas para a determinação de coordenadas de um determinado objeto ou fenômeno sobre a superfície da terra está hoje associada entre o público usuário desta tecnologia, ao sistema de posicionamento global norte-americano, ou, GPS, que teve sua origem em um sistema iniciado na década de 60, o NNSS (*Navy Navigation Satellite System*), também conhecido como TRANSIT, cujas medidas se baseavam no efeito Doppler (SEEBER, 1993). Nesse sistema, as órbitas dos satélites eram muito baixas e não havia uma quantidade muito grande de satélites. Faltava, portanto, uma solução que oferecesse boa precisão, facilidade de uso e custos acessíveis para os usuários.

O Sistema de Posicionamento Global, conhecido por GPS (*Global Positioning System*) ou NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time And Ranging*), é um sistema de radio navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (*DoD - Department of Defense*), com o objetivo de ser o

principal sistema de navegação das forças armadas americanas. Em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do alto grau de desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu nas mais variadas aplicações civis (navegação, posicionamento geodésico e topográfico). A concepção do sistema permite que um usuário, em qualquer parte da superfície terrestre, possa obter a sua posição de forma rápida, acurada e a qualquer instante, rastreando no mínimo quatro satélites (MONICO, 2008).

## 2.2.1 Segmentos do sistema GPS

### 2.2.1.1 Segmento espacial

O segmento espacial é formado por um conjunto de satélites GPS que transmitem sinais de rádio navegação para qualquer ponto próximo da superfície terrestre. No final do ano de 2010 havia 31 satélites GPS operacionais, os quais tinham a função de gerar e transmitir os seguintes sinais: mensagens de navegação, sinais de código e das portadoras L1, L2 e L5 (MUNDOGEO, 2010). Anteriormente em 1994, o sistema alcançou a configuração mínima exigida para cobertura global, com vinte e quatro satélites operacionais, que circulam a terra numa órbita elíptica a uma altitude de aproximadamente 20.200 km, distribuídos em seis planos orbitais, e com uma inclinação nominal de  $55^\circ$  (cinquenta e cinco graus) em relação ao plano do equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais (MONICO, 2008). Desta forma, a posição de cada satélite se repete, a cada dia, quatro minutos antes que a do dia anterior. Esta configuração garante que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer ponto da superfície terrestre, a qualquer hora.

A identificação dos satélites GPS pode ser feita de diferentes maneiras: através do *Space Vehicle Number* (SVN), do número de sequência do lançamento; do número da posição orbital; do número de catálogo da *National Aeronautics Space Administration* (NASA), e do código *Pseudo-Random Noise* (PRN), sendo este último o mais utilizado entre os usuários do sistema. A estrutura dos satélites GPS consiste em uma plataforma de transmissores de rádio, relógios atômicos (rubídio e césio),

computadores e outros equipamentos que auxiliam na operação do sistema. Dentre os diversos equipamentos auxiliares, estão dois painéis solares que abastecem de energia e propulsionam o sistema para o ajustamento da órbita e controle da estabilidade do satélite (MONICO, 2008).

Os satélites do sistema GPS emitem sinais (portadoras), que consistem na combinação de códigos, informações de posições dos satélites (almanaque e efemérides) definidores de suas órbitas, parâmetros de correção das influências atmosféricas e de demais informações necessárias ao cálculo do posicionamento. Atualmente a maioria dos satélites GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2, que são geradas a partir de osciladores de frequência de alta precisão (cristais de Rubídio ou Césio), que geram uma frequência fundamental ( $f_0$ ) de 10,23 MHz, a qual é multiplicada pelos fatores 154 e 120 respectivamente. Desta forma, segundo Hofmann-Wellenhof et al. (1994), as frequências (L) e os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de L1 e L2 são:

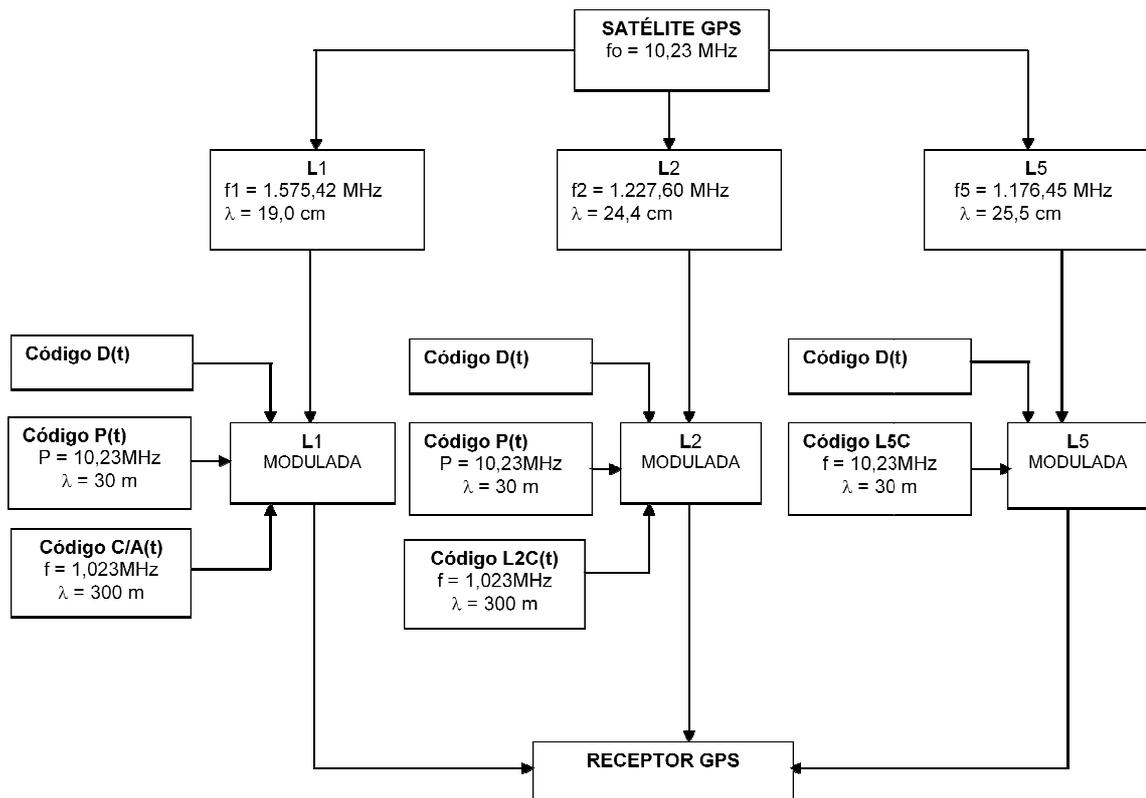
$$L1 = 1.575,42 \text{ MHz e } \lambda \cong 19,0 \text{ cm.}$$

$$L2 = 1.227,60 \text{ MHz e } \lambda \cong 24,4 \text{ cm.}$$

A exceção é o satélite GPS IIF-1 colocado em órbita em maio de 2010, que é o primeiro do futuro Bloco IIF, que emite uma terceira portadora denominada de L5, com  $115 * f_0$ , ou seja, 1.176,45 MHz e  $\lambda \cong 25,5$  cm.

Estas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo aos usuários corrigir grande parte dos erros devido à refração ionosférica. O código C/A (*Coarse Acquisition*) ou SPS - "*Standard Positioning Service*" (serviço de posicionamento padrão), com comprimento de onda por volta de 300 metros é transmitido a uma razão de 1,023 MHz e modulado somente sobre a onda portadora L1, e possui um período de 1 milissegundo (MONICO, 2008). É a partir deste código que os usuários civis obtêm as pseudodistâncias que permitem obter a exatidão estipulada no SPS. Este código não é criptografado, embora possa ter sua precisão degradada. O código P (*Precise or Protected*) tem sido reservado para uso dos militares americanos e outros usuários autorizados. Seu comprimento de onda é da ordem de 30 metros, e é transmitido na razão de 10,23 MHz (uma sequência de 10,23 milhões de dígitos binários por segundo) modulado nas portadoras L1 e L2, com período de 266,4 dias. Porém, este se modifica toda semana de maneira que cada satélite tenha uma única fração de sete dias do código P, que serve para

identificá-lo. Através de uma técnica denominada de AS - *Anti-Spoofing* (Anti-Sabotagem), o código P é transformado em código Y (código militar). Esta técnica tem como objetivo impedir o acesso civil, uma vez que somente os receptores militares têm a permissão para descriptar o código Y. A figura 1 mostra o esquema de como está estruturado os sinais GPS.



**Figura 1** – Estrutura do sinal GPS.

Fonte: Sebem et al., 2010, adaptado pelo autor.

As mensagens de navegação também são moduladas sobre as portadoras. Tais mensagens contêm os parâmetros orbitais, dados para correção da propagação na atmosfera, parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, saúde dos satélites (SEGANTINE, 1998).

Segundo Pessoa (1996) o sinal GPS é definido como um conjunto de informações moduladas sobre uma onda que se propaga com uma frequência predefinida e que pode ser captada pelo receptor GPS. Entre as diversas informações estão os códigos (C/A e P) e as mensagens de navegação. Assim, qualquer receptor GPS, sincronizado com o sinal GPS, em uma ou duas frequências

portadoras (L1 ou L1 e L2) captam estas informações. Esta estrutura permite não só medir a fase da portadora e sua variação, mas também o tempo de propagação (SEEBER, 1993).

#### 2.2.1.2 Segmento de controle

O segmento de controle é responsável pela operacionalidade do sistema GPS. Sua principal função é atualizar as mensagens de navegação transmitidas pelos satélites. Para isso, este segmento é composto por cinco estações monitoras (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs), equipadas com osciladores externos de alta precisão e receptores de dupla frequência que rastreia os satélites visíveis e transmite os dados para a estação de controle central (MCS: Master Control Station), localizada em Colorado Springs (EUA), que tem por finalidade receber e processar os dados das estações monitoras, determinando a órbita de cada satélite. Além do processamento são feitas correções no relógio do satélite com o objetivo de atualizar as mensagens de navegação. A mensagem atualizada é transmitida para os satélites do sistema GPS, através das antenas das estações de Kwajalein, Ascension Island e Diego Garcia, e os satélites por sua vez retransmitem para o segmento dos usuários (MONICO, 2008).

Segundo Segantine (1998), o segmento de controle desempenha as seguintes funções: rastrear os satélites do sistema, determinar as suas órbitas e prever a sua trajetória nas 24 horas seguintes; transmitir periodicamente as mensagens de navegação para cada satélite; corrigir as efemérides transmitidas e os erros dos relógios e determinar o sistema de tempo GPS.

#### 2.2.1.3 Segmento usuário

Conforme Fortes (1994), o segmento usuário está relacionado a tudo que diz respeito à comunidade de usuários civil e militar e aos receptores GPS, sendo que, os receptores podem ser classificados de acordo com a finalidade a que se destinam: de navegação, topográficos e geodésicos. Esta distinção é feita de acordo com o

tipo de sinal observado pelo receptor, por código (C/A e P) ou por fases da portadora (L1 e L2) e pela precisão fornecida por cada equipamento.

Monico (2008) cita os principais componentes de um receptor GPS: antena com pré-amplificador, seção de radiofrequência para a identificação e processamento do sinal, microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados, oscilador, interface com o usuário, bateria, memória para o armazenamento dos dados.

Segundo Monico (2008) o canal de um receptor é considerado sua unidade eletrônica primordial, podendo o receptor possuir um ou mais canais. Os tipos de canais podem ser divididos em sequenciais, multiplexados e multicanais (canais dedicados). Nos receptores sequenciais, o canal alterna entre satélites dentro de intervalos regulares, em geral não coincidentes com a transmissão de dados, o que torna este de tipo de receptor mais lento para obter a primeira posição. Já a técnica multiplex apresenta um recurso de software que possibilita um bom ganho de recepção utilizando apenas um canal, simulando um equipamento com um sistema de múltiplos canais.

Nos receptores multicanais ou de canais paralelos, cada canal rastreia continuamente um dos satélites visíveis, sendo necessários no mínimo quatro canais para obter posição e correção do relógio em tempo real. Os receptores modernos contam com até doze canais para cada frequência, além de canais extras para outros sistemas GNSS.

### 2.2.2 Princípio do sistema de posicionamento global

O fundamento básico do princípio de navegação consiste da medida das chamadas pseudodistâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites, num determinado tempo e em um sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário com respeito ao mesmo sistema de referência dos satélites. Do ponto de vista geométrico, somente três medidas de pseudodistâncias seriam suficientes. A quarta medida é necessária devido a não sincronização dos relógios dos satélites com o do usuário (MONICO, 2008).

### 2.2.3 Formas de medição das distâncias no sistema GPS

O principal objetivo do sistema GPS é utilizar os sinais emitidos pelos satélites para determinação da posição de um observador sobre a superfície terrestre. A medida fundamental que provém destas observações é à distância, que pode ser determinada por meio de receptores apropriados para captar sinais dos códigos C/A ou P e a fase da portadora (MONICO, 2008).

Os códigos, também conhecidos por PRN (*Pseudo-Random Noise*), são sinais que aparentam ser ruídos aleatórios, mas que possuem uma sequência lógica. Os receptores GPS são fabricados para decifrar somente estas sequências, e não sofrerem interferências de outras fontes naturais ou intencionais de sinais de rádio. Os satélites GPS geram o código C/A a cada 0,001 segundos no tempo determinado por relógios atômicos de alta precisão. O código C/A fornece a distância a partir da medida do tempo necessário para correlacionar a sequência do código que entra no receptor, com a sequência do código gerado dentro do mesmo. Este tempo multiplicado pela velocidade de propagação da onda eletromagnética (velocidade da luz no vácuo), resulta na distância percorrida pelo sinal (MONICO, 2008).

A fase da portadora é captada pelo receptor por meio de duas frequências de onda emitidas pelos satélites: a L1 (1.575 MHz) e L2 (1.227 MHz). As observações da fase também permitem a determinação da distância entre os satélites e o receptor, medindo-se a diferença de fase entre o sinal recebido do satélite e o sinal gerado pelo receptor. Os receptores GPS fornecem medidas da parte fracionada da fase da onda portadora, acrescidas do número total de ciclos desde o início das observações. Esta característica faz com que as medidas de fase sejam ambíguas por um número inteiro de ciclos denominado de ambiguidade (SEGANTINE, 1998). Para alcançar a precisão na casa dos milímetros é necessário resolver a ambiguidade de cada satélite, porém, os fatores limitantes são: os distúrbios e mudanças das condições atmosféricas, as obstruções aos sinais dos satélites e outras interferências.

O sistema de referência do GPS é o World Geodetic System 1984 (WGS-84). Desta forma, quando um levantamento é efetuado usando o GPS, as coordenadas dos pontos levantados serão obtidas no mesmo sistema de referência. Sua origem é o centro de massa da Terra, com os eixos cartesianos X, Y e Z idênticos ao Sistema

de Referência Terrestre Convencional (CTRS) para a época 1984 (HOFMANN-WELLENHOF et al, 1994).

### 2.3 Influência dos erros nas medições GNSS

As medições realizadas com receptores GNSS são afetadas por erros denominados de grosseiros, aleatórios e sistemáticos. Os erros grosseiros são causados pelo observador, devido à falta de cuidado na hora da tomada das observações. Os erros acidentais ou aleatórios são aqueles de natureza desconhecida, e tendem a se neutralizar quando o número de observações for grande. Aqueles que são produzidos por causas conhecidas são chamados de erros sistemáticos, e podem ser tratados através de técnicas especiais de observação ou eliminados posteriormente empregando-se modelos matemáticos (GEMAEL, 1994).

Segundo Camargo et al. (2000), os erros sistemáticos (causas conhecidas), que afetam o posicionamento de pontos com GPS estão relacionados com as órbitas dos satélites, os erros dos relógios dos satélites e receptores; a propagação do sinal na atmosfera (refração troposférica e ionosférica); multicaminhamento do sinal; perdas de ciclos da portadora (*cycle slips*) e a SA (*Selective Availability*). Alguns destes erros podem ser eliminados ou pelo menos reduzidos se forem empregadas técnicas adequadas de observação e de processamento dos dados observados. De acordo com Segantine (1998), várias fontes de erros estão associadas ao posicionamento absoluto e, fundamentalmente, estes erros são: erro do relógio do satélite, erro do relógio do receptor, erro dos dados das efemérides transmitidas e erro da propagação do sinal.

De acordo Monico (2008), os satélites GPS possuem relógios atômicos, formados por osciladores de cristal, de césio e rubídio e com precisão em torno de  $10^{-12}$  segundos. Os relógios dos receptores são de cristais de quartzo, com uma precisão de  $10^{-9}$  segundos. A diferença existente na precisão dos relógios resulta num erro de sincronia entre satélites e receptores, que pode ser eliminado pelo método de posicionamento diferencial ou relativo.

### 2.3.1 Erros relacionados com os satélites

A precisão das coordenadas dos satélites depende da qualidade das efemérides utilizadas no seu cálculo, que poderão ser transmitidas ou pós-processadas, fornecidas pela Internet por alguns centros de controle. De acordo com as equações da pseudodistância e da fase, a precisão da distância geométrica entre o satélite e o observador será refletida diretamente nas coordenadas do receptor. No posicionamento por ponto, os erros serão propagados quase diretamente para a posição do usuário, já os métodos diferenciais de observação eliminam quase totalmente os erros das órbitas, porém permanecem alguns resíduos que dependerão do tamanho da linha de base (MONICO, 2008).

Os relógios dos satélites constituem outra fonte de erro associada aos satélites. Como as pseudodistâncias são determinadas em função do intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção do sinal, é necessário que os relógios estejam corretamente sincronizados com o tempo GPS. Assim, uma diferença de 1  $\mu$ s (microsegundo) produzirá um erro de 300 metros na pseudodistância.

Existe ainda o efeito "phase Wind-up" em função do ângulo yaw do satélite. Como o satélite busca orientar-se em direção ao sol a fim de maximizar a energia solar coletada por seus painéis solares, é executada uma rotação em torno do seu eixo vertical (yaw). Considerando que os sinais GPS possuem uma polarização horizontal à direita, esta rotação do satélite introduz uma alteração na fase observada no receptor. Contudo este efeito pode ser negligenciado para aplicações em bases curtas (LEICK, 2004, p.233).

### 2.3.2 Erros relacionados com a propagação do sinal

#### 2.3.2.1 Refração do sinal na atmosfera

A constituição da atmosfera terrestre, de acordo com Silva et al. (1998), se dá por uma mistura de gases e vapores d'água e está dividida em camadas. Os sinais provenientes dos satélites atravessam a atmosfera onde sofrem refração, que é a mudança da direção e da velocidade da onda eletromagnética, quando ela se propaga pela atmosfera. Esta refração se deve ao fato do sinal passar através de

vários níveis de densidades variáveis. O retardo do sinal é uma consequência da diferença entre a velocidade do sinal na atmosfera e no vácuo. O meio onde ocorre a refração consiste essencialmente da troposfera e da ionosfera.

A troposfera estende-se da superfície terrestre até aproximadamente 50 km, e comporta-se como um meio não dispersivo para frequências abaixo de 30 GHz, isto é, a refração é independente da frequência do sinal. A troposfera é uma camada da atmosfera eletricamente neutra (livre de íons), de modo que os fatores dessa camada que contribuem para o atraso do sinal GPS são a temperatura, a umidade e a pressão do ar, que estão intimamente relacionadas com a altitude do local de observação. O atraso do sinal na troposfera pode ser modelado ou ignorado, sendo que o efeito de cada atitude tem reflexo direto no cálculo das coordenadas do receptor, tal como no caso da ionosfera, sendo a diferença fundamental que esse efeito não pode ser medido pelo receptor. Os modelos de cálculo disponíveis utilizam valores padrão para a temperatura ( $T = 20^\circ\text{C}$ ), para a pressão atmosférica ( $P = 1000 \text{ hPa}$ ) e para a umidade relativa do ar ( $U_r = 50\%$ ) ou valores dessas variáveis medidos no local e na hora do rastreo. Para linhas de base curta (inferior a 10 km), ambos os pontos sofrem os mesmos efeitos da troposfera (método diferencial), neste caso os erros troposféricos se cancelam e a correção não se faz necessária (SEGANTINE, 1998).

Já a ionosfera é composta por elétrons livres que formam um meio dispersivo (a refração depende da frequência), o que significa que a fase da portadora e a modulação sobre ela serão afetadas de formas diferentes, ocorrendo um atraso no código e um adiantamento na fase da portadora, quando atravessam essa camada (MONICO, 2008). Como consequência, ocorre um aumento no comprimento das distâncias determinadas por meio dos sinais de código e uma redução nas distâncias obtidas pela fase da portadora. Sendo que o tamanho desse efeito é variável com a atividade solar; a localização geográfica do ponto de observação; o horário de rastreo (maior durante o dia); a estação do ano (maior no verão); com o ângulo de elevação dos satélites em relação ao horizonte e zonas de perturbação geomagnéticas da terra.

A influência da ionosfera é mais expressiva nas linhas-base com distâncias médias ou longas. Nas linhas de base curta este efeito pode ser cancelado aplicando-se técnicas de simples, dupla e tripla diferença de fase das observações, obtidas por processo relativo. O atraso ionosférico é cancelado nas linhas de bases

curtas, devido ao fato de que os sinais percorrem a mesma região da ionosfera, produzindo um erro de igual grandeza (SEGANTINE, 1998). A dependência da frequência torna possível eliminar os efeitos de primeira ordem quando se coleta os dados com um receptor de dupla frequência. Para receptores de frequência simples, a ionosfera é a maior fonte de erro, no entanto no posicionamento relativo para distâncias até 20 km, a maioria dos erros é eliminada. Contudo para utilização de receptores de frequência simples em linhas de bases maiores, é recomendado o uso de modelos específicos para obter o atraso ionosférico, cujos coeficientes são enviados nas mensagens de navegação.

### 2.3.2.2 Multicaminho ou sinais refletidos

O receptor pode em alguma circunstância receber, além do sinal que chega diretamente à antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas à mesma (multicaminhamento). Os sinais emitidos pelos satélites percorrem um caminho direto até a antena receptora para determinar a distância satélite-receptor, porém a presença de obstáculos como: prédios, árvores, redes de transmissão e solo refletem o sinal resultando em caminhos mais longos que o direto. Os sinais refletidos possuem um tempo de propagação maior, sofrendo distorção em amplitude e fase, tanto o código, como as portadoras L1 e L2 são afetadas por esse efeito (MONICO, 2008).

O multicaminhamento depende das condições do meio onde se posiciona a antena, características da antena e de técnicas utilizadas para impedir sinais refletidos. As condições um tanto arbitrarias envolvendo o levantamento torna a modelagem destes efeitos um tanto difícil, muito embora algumas combinações de observáveis permitam avaliar o nível de sinais refletidos. Estes efeitos são normalmente considerados como erros aleatórios, muito embora, em alguns casos, pode-se comportar como efeitos sistemáticos. Desta forma, a recomendação mais efetiva é evitar levantamentos em locais propícios a estes efeitos, bem como o uso de antenas do tipo *choke ring* capazes de reduzir os efeitos do multicaminho (MONICO, 2008).

### 2.3.2.3 Perdas de ciclos

As medidas de fase são, normalmente, contínuas com respeito ao período de uma sessão de observação. Quando não há uma continuidade na medida da fase, ou seja, perda da contagem do número inteiro de ciclos medidos no receptor, ocorre a denominada perda de ciclos (*cycle slips*), isto pode ocorrer devido ao bloqueio do sinal por obstáculos (construções, árvores, montanhas, etc), aceleração da antena, variações bruscas na atmosfera, interferências de outras fontes de rádio e problemas com o receptor e o programa computacional. Quando ocorre perda de ciclos, é de se esperar que a parte fracional permaneça correta, somente o número inteiro de ciclos sofre um salto (LEICK, 2004).

### 2.3.3 Erros relacionados com o receptor e antena

Os erros relacionados com o receptor e antena são aqueles devidos ao programa computacional do receptor e forma da antena. Destaca-se o centro de fase da antena.

O centro elétrico da antena é um ponto no qual as medidas dos sinais são referenciadas e geralmente não coincide com o centro físico da antena. A discrepância varia com a intensidade e direção dos sinais e é diferente para a portadora L1 e L2 (MONICO, 2008). Para levantamentos de alta precisão, todas as antenas envolvidas no projeto devem ser calibradas, visando corrigir as observações. Antenas de mesmo fabricante e modelos iguais não devem apresentar maiores problemas. No entanto, recomenda-se que a orientação de todas as antenas envolvidas num projeto esteja na mesma direção (SEEBER, 1993).

### 2.3.4 Erros relacionados com a estação

Além de erros nas coordenadas da estação, no caso de fixar as coordenadas da estação base, outros erros resultantes de fenômenos geofísicos como marés terrestres, movimento do pólo, carga oceânica e carga da atmosfera podem causar

variações nas coordenadas das estações envolvidas no levantamento durante o período de coleta das observações (MONICO, 2008).

Normalmente a técnica RTK não necessita de correções devido às marés terrestres, já que a distância entre a estação de referência e o receptor móvel é pequena, e os deslocamentos da crosta podem ser considerados os mesmos, anulando-se por meio do processo de diferenciação (NORDEN et al., 2005).

## 2.4 Métodos de posicionamento GNSS

Posicionamento é definido como sendo a determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. Pode então ser classificado em posicionamento absoluto, quando as coordenadas de um objeto estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, quando as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas. No tocante ao posicionamento utilizando GNSS, independentemente do estado do objeto, podem-se ter posicionamentos absoluto, relativo e combinações com a presença ou ausência de movimento, ou seja, posicionamento cinemático e posicionamento estático respectivamente (MONICO, 2008).

Para Hofmann-Wellenhof et al. (1994), o posicionamento por ponto ou absoluto caracteriza-se pela utilização de um único receptor que calcula a sua posição em relação a quatro ou mais satélites através das observações de código. Segundo Monico (2008), também é possível obter a posição de uma estação através das observáveis de fase da onda portadora coletadas por receptores de simples ou dupla frequência em conjunto com os produtos do *International GPS Service* (IGS), ou seja, fazendo uso de efemérides e correção dos relógios dos satélites, ambos de alta precisão de forma pós-processada ou em tempo real, é o denominado Posicionamento por Ponto Preciso (PPP).

O método relativo ou diferencial é aquele em que as observações são realizadas por dois receptores, sendo um instalado num local de coordenadas conhecidas e o outro nos pontos a determinar, formando assim um vetor ou linha base. Neste caso, para obter uma melhor precisão no posicionamento, pode-se fazer as correções dos erros, citados anteriormente, de duas maneiras: por meio do pós-processamento dos dados, obtidos simultaneamente pelos dois receptores, ou por

transmissão dos dados de uma estação de referência para o receptor móvel, onde os erros são calculados em tempo real. (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1994; SEGANTINE, 1998).

Para o cálculo do vetor formado no posicionamento relativo, são usadas as equações da pseudodistância através do código e da fase da portadora, sendo que as coordenadas de um dos pontos (base ou referência) são conhecidas. As medidas realizadas com as observações da fase da portadora são mais precisas do que as de código e melhores precisões no posicionamento são atingidas quando o valor da ambiguidade ( $N$ ) é corretamente determinado no pós-processamento dos dados. Porém, restam ainda os erros residuais, que são reduzidos quando se aplica o método de posicionamento relativo, onde são feitas observações simultâneas entre dois receptores (MONICO, 2008). A fase da onda portadora observada em ciclos é dada por:

$$\Phi_r^s(t) = \Phi^s(t) - \Phi_r(t) + N_r^s + \square \Phi_r^s$$

Onde:

$\Phi_r^s(t)$  - é a medida da fase da portadora (frequência de batimento) no instante  $t_r$ , contada a partir de um instante inicial  $t_0$ ;

$t$  - é o instante de recepção do sinal no relógio do receptor  $r$ ;

$\Phi^s(t)$  - é a fase da portadora gerada no satélite  $s$  e recebida no receptor  $r$  no instante de recepção;

$\Phi_r(t)$  - é a fase da réplica do sinal gerado no receptor no instante de recepção;

$N_r^s$  - é o número de ciclos inteiros de comprimentos de onda existente entre o satélite e o receptor no instante inicial  $t_0$ , é a chamada ambiguidade da fase; e

$\square \Phi_r^s$  - é o erro da fase da onda portadora.

As duas medidas de fase, obtidas pelo processo relativo, resultam em observações que podem ser combinadas linearmente, para formarem equações que reduzem ou eliminam os erros inerentes ao sistema GNSS. As diferenças entre estas equações são conhecidas como: simples, dupla e tripla diferença de fase. Nas combinações de simples diferença de fase são promovidas as diferenças das observações feitas entre dois receptores em relação ao mesmo satélite. Com estas

combinações o erro do relógio do satélite é eliminado, uma vez que este parâmetro é comum nas duas medidas. Quando se realiza a combinação entre duas equações de simples diferenças de fase, o resultado é uma solução de dupla diferença de fase, neste processo estão envolvidas observações simultâneas, provenientes de dois receptores e dois satélites (MONICO 2008). Já a solução da tripla diferença resulta de duas diferenças de fase e tem por finalidade eliminar os erros dos relógios (satélite e receptor) e a ambiguidade inteira (N) da onda portadora.

Na determinação da posição de um ponto pelo posicionamento relativo com a fase da portadora a solução mais utilizada no processamento dos dados é a dupla diferença de fase. Esta solução elimina os erros dos relógios dos satélites e receptor e ainda reduz a influência das refrações ionosféricas e troposféricas. Sendo que, para linhas de base inferiores a 10 km, os efeitos da ionosfera podem ser desconsiderados (MONICO, 2008).

Outro conceito importante no geoposicionamento é o conceito de posicionamento em tempo real e o pós-processado. No primeiro caso, a estimativa da posição da estação de interesse ocorre praticamente no mesmo instante em que as observações são coletadas. No pós-processado, as posições dos pontos em que os dados foram coletados são estimativas num processamento posterior à coleta (HOFMANN-WELLENHOF et al, 1994). Em navegação, por exemplo, é imprescindível que as posições sejam disponibilizadas em tempo real. Já no estabelecimento de uma rede geodésica, os dados podem ser pós-processados, permitindo aplicar técnicas mais rigorosas de controle de qualidade. No entanto, se os dados de navegação forem armazenados, também poderão ser pós-processados.

No posicionamento com GNSS surgiram vários métodos intermediários entre posicionamento estático e cinemático, explorando a capacidade do sistema em fornecer coordenadas altamente precisas depois de um breve período de coleta de dados, ou mesmo com o receptor em movimento. Diante disso, surgiram várias denominações para os métodos rápidos desenvolvidos. Algumas vezes, denominações diferentes são utilizadas para descrever o mesmo procedimento. Entre os vários termos surgidos destacam-se: estático rápido, semicinemático, pseudocinemático, cinemático puro ou contínuo, cinemático rápido, pseudo-estático, “stop and go” (MONICO, 2008).

#### 2.4.1 Posicionamento relativo estático

Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de acordo com o comprimento da linha de base e a precisão requerida (INCRA, 2010). A observável normalmente usada é a dupla diferença da fase da portadora, por apresentar melhores resultados em termos de acurácia. Trata-se da técnica mais utilizada em posicionamento geodésico. Como a acurácia da fase da portadora é muito superior que a da pseudo-distância, esta última não melhora os resultados significativamente quando o período de coleta de dados for longo. Mesmo assim, as pseudo-distâncias devem estar disponíveis, pois elas são utilizadas no pré-processamento para estimação do erro do relógio do receptor (MONICO, 2008).

Neste método podem-se utilizar receptores de simples (L1) ou dupla frequência (L1 e L2). No campo deve-se ter um receptor fixo servindo de base, coletando dados continuamente, enquanto o outro receptor percorre as áreas e pontos de interesse para coleta de dados. Não há necessidade da continuidade de rastreamento durante as mudanças de pontos de interesses nem do receptor permanecer ligado durante o percurso. Os dados coletados da estação base e do receptor de caminhamento são processados para que se solucione o vetor de ambiguidade e se consiga uma melhor precisão.

#### 2.4.2 Posicionamento relativo estático rápido

O posicionamento relativo estático rápido difere do estático somente pelo tempo de ocupação da estação, que pode variar de 5 a 30 minutos (INCRA, 2010). A utilização deste método é propícia para levantamentos em que se deseja alta produtividade.

### 2.4.3 Posicionamento relativo semicinemático

Segundo Monico (2008), o posicionamento relativo semicinemático baseia-se no fato de que a solução do vetor de ambiguidades, presente numa linha base a determinar, requer que a geometria envolvida entre as estações e os satélites se altere. Portanto segundo o mesmo autor devem-se então coletar os dados pelo menos duas vezes em curtos períodos na mesma estação. As duas coletas devem estar separadas por um intervalo de tempo em torno de 20 a 30 minutos para proporcionar a alteração na geometria dos satélites.

De acordo com Monico (2008), durante este intervalo outras estações podem ser ocupadas por períodos de tempo relativamente curto. Este método requer que os receptores fiquem continuamente rastreando os mesmos satélites durante as visitas às estações, sendo que, no caso de perda de ciclos o receptor deverá ser reiniciado. O comprimento da linha de base para este tipo de posicionamento deve ser de no máximo 20 km (INCRA, 2010). Este método é também chamado de pseudo-estático ou ainda *stop and go*, ou seja, pára-se no ponto desejado para a marcação e depois se avança para a ocupação de outro ponto, sem perder a sintonia com o grupo de satélites rastreados.

### 2.4.4 Posicionamento relativo cinemático

Segundo Monico (2008), no posicionamento relativo cinemático tem-se como observável fundamental a fase da onda portadora, muito embora o uso da pseudodistância seja muito importante na solução do vetor de ambiguidades. Os dados obtidos deste método podem ser processados em tempo real ou pós-processados depois no laboratório.

### 2.4.5 Posicionamento diferencial GPS

Neste método de acordo com Monico (2008), se a localização de um receptor for conhecida, podem-se comparar os valores obtidos com os valores teóricos e

deste modo calcular correções às medições, as quais podem ser usadas para também corrigir as medições dos outros receptores que estão em pontos desconhecidos. O receptor na posição conhecida é chamado receptor base ou de referência, o receptor ou os receptores que estão em posições desconhecidas são chamados móvel ou “*rover*”.

O receptor de referência calcula as medições para cada satélite, baseando-se na sua posição que é conhecida e na localização instantânea de cada satélite e, em seguida, compara os valores calculados com as medições reais. A diferença entre esses valores fornece a correção para cada satélite, a qual vai ser transmitida ao outro receptor. O receptor móvel pode então calcular a sua posição com maior precisão (MONICO, 2008).

Neste método de posicionamento baseado na observação do código os resultados são instantâneos, mas não são precisos (MONICO, 2008). Além da correção diferencial (DGPS) realizada com os dados obtidos de uma base GPS própria, em locais como áreas costeiras, o sinal DGPS é transmitido por ondas de rádio para o sistema de navegação de embarcações. Um sistema semelhante é disponível em alguns locais com o uso de estações FM, mas este serviço é normalmente pago. O sinal DGPS pode ser obtido também via satélite de comunicação geoestacionário específico para este fim, é um sinal de abrangência continental e está disponível aos usuários brasileiros mediante uma taxa anual.

Para Krueger (1999) o princípio básico do método diferencial consiste no posicionamento em tempo real de uma estação móvel através das correções diferenciais geradas na estação de referência. As correções diferenciais podem ser geradas a partir de observação da fase do código, da portadora, ou código suavizado pela portadora. Na prática tem-se empregado o termo DGPS para o posicionamento diferencial em tempo real empregando-se correções de posição ou pseudodistância a partir de observações do código e código suavizado pela onda portadora, e o termo RTK, quando o posicionamento diferencial é obtido a partir de medidas brutas de fase da onda portadora ou correções diferenciais de fase da portadora. As técnicas diferenciais baseadas na observação da fase da portadora são capazes de alcançar elevada acurácia de posicionamento em função da maior precisão obtida pelas observáveis de fase da portadora. A validação destas correções diferenciais torna-se menos efetiva à medida que aumenta a distância

entre as estações móvel e de referência, degradando progressivamente a qualidade do posicionamento (BRIONES, 1999).

#### 2.4.6 Posicionamento relativo cinemático em tempo real

Para que os dados possam ser processados em tempo real, de acordo com Monico (2008), é necessário que os dados coletados na estação de referência sejam transmitidos para o receptor móvel ou de caminhamento, necessitando de um link de rádio. Trata-se de um método similar ao DGPS em tempo real, só que neste caso utiliza-se a fase de onda portadora e no DGPS as pseudodistâncias. Resumidamente este sistema consiste de dois receptores de dupla ou simples frequência com as respectivas antenas de link de radio para transmitir as correções e/ou observações da estação de referência.

Segundo Monico (2008), uma das limitações desta técnica diz respeito à utilização do link de rádio na transmissão das correções. O uso de rádio com frequências de VHF ou UHF limita na maioria das vezes o uso em distâncias maiores que 4,3 km da estação base. A precisão deste método é da ordem de poucos centímetros.

### 2.5 Estado da arte da técnica Real Time Kinematic (RTK)

Foi uma técnica desenvolvida no início dos anos 90 como uma alternativa para melhorar a precisão do método diferencial baseado em observações do código ou código suavizado pela onda portadora (DGPS). A técnica RTK poderá usar correções diferenciais de fase ou observações brutas, geradas e transmitidas por uma estação de referência. Segundo Hofmann- Wellenhof et al. (2003), dependendo dos dados transmitidos pela estação de referência a técnica RTK será classificada como posicionamento diferencial ou relativo.

Além das correções diferenciais de fase podem ser transmitidas as observações de pseudodistância e de fase da onda portadora, tomadas a partir da estação de referência. Os dados são transmitidos em formato apropriado, estabelecido pela RTCM SC-104 (*Radio Technical Commission for Maritime*

*Services – Special Committe* 104). As correções diferenciais são aplicadas diretamente na fase observada em um receptor móvel, e as observações de pseudodistâncias e fases utilizadas em algoritmos de dupla diferença de fase (DDF), possibilitando uma navegação com precisão centimétrica em tempo real (MONICO, 2008).

Estas precisões somente são possíveis com a solução das ambiguidades inteiras no receptor móvel, durante o seu movimento. Esta solução é obtida com o emprego das técnicas conhecidas como “*on-the-fly*” (OTF) ou “*on-the-way*” (OTW). O tempo de fixação das ambiguidades (TTFA - *time to fix ambiguities*) dependerá do comportamento dos erros dependentes da distância, podendo ser igual a apenas uma época, para curtas distâncias e sob condições favoráveis. Sendo assim, o TTFA constitui um dos fatores limitantes do alcance da técnica RTK (SEEBER, 2003). Outras limitações de alcance são determinadas pelo meio de comunicação empregado e as chamadas perdas de espaço livre, quando utilizados sinais de rádio para transmissão dos dados. O alcance pode ser aumentado com o uso de redes de Estações de Referência (PDGPS).

As medidas de fase da portadora são altamente sensíveis a perdas de ciclos. É preciso que a estação móvel disponha de softwares adequados para rápida detecção e correção destas falhas de sinal, que estão diretamente associadas à solução das ambiguidades enquanto em movimento, através da técnica OTF. O uso do algoritmo de triplas diferenças de fase (TDF), e o uso de modelos de solução que empregam geometria-livre podem ser utilizados para detecção das perdas de ciclos (LEICK, 2004).

Conforme Willgalis et al. (2002), o RTK limita-se a linhas de base entre 5 e 10 km em decorrência do alcance do enlace de comunicação das correções diferenciais e da utilização apenas da portadora L1 para determinação das pseudodistâncias, ainda que a onda portadora L2 esteja disponível para acelerar a resolução das ambigüidades. Para linhas de bases até 10 km a estação de referência e o receptor móvel podem rastrear simultaneamente a mesma constelação de satélites, gerando certa correlação entre os erros em ambas as estações, pois além da eliminação dos erros dos relógios, os efeitos atmosféricos e os erros nas órbitas são considerados semelhantes nas estações, tornando efetivas no receptor móvel as correções geradas na estação de referência. Ambas as estações devem rastrear pelo menos cinco satélites, para se ter uma boa solução das ambiguidades.

O uso das correções diferenciais (mensagens RTCM 20/21) possibilita uma diminuição dos erros devidos à latência, em função: das correções diferenciais possuírem uma variação temporal menor que as observações brutas (mensagens RTCM 18/19); da simplificação dos cálculos na estação móvel; e de um menor volume de dados para transmissão, o que permite usar larguras de banda menores. Porém a estação móvel depende da confiabilidade das correções geradas na estação de referência (RTCM, 2001). Além disto, quando são utilizadas observações brutas de fase e pseudodistância, geralmente são usados os mesmos algoritmos nas estações de referência e móvel, cancelando os erros correlacionados pela diferenciação. A aplicação das correções diferenciais poderá redundar em erro, já que estas podem não ter sido obtidas pelo mesmo algoritmo empregado no receptor móvel (RTCM, 2001).

Segundo Prado (2001), o uso das observações brutas de pseudodistância e de fase da onda portadora permite uma modelagem mais adequada ao levantamento, bem como a eliminação dos erros dos relógios dos satélites e dos receptores. Em função disto o par de mensagens 18/19 tem sido mais usado do que as correções providas pelas mensagens 20/21.

### 2.5.1 Solução das Ambiguidades

O posicionamento diferencial de precisão é obtido a partir da fixação inicial das ambiguidades inteiras. Esta operação é chamada de inicialização. A partir deste valor inicial das ambiguidades o receptor móvel tem condições de calcular a pseudodistância a partir da fase da portadora acumulada. Entretanto, se houver alguma perda de sinal, o cálculo da pseudodistância sofrerá uma alteração de um determinado número de ciclos inteiros, sendo necessária uma nova inicialização. Podem ser adotados quatro tipos de estratégias para o cálculo das ambiguidades (SEEBER, 2003):

- a) método geométrico (no domínio das coordenadas);
- b) combinações de observações de fase e código (domínio das observações);
- c) métodos de busca das ambiguidades (domínio das ambiguidades); ou
- d) métodos combinados.

Os primeiros métodos exigiam inicialização estática, como intercâmbio de antenas e o método de linhas de base conhecidas (REMONDI, 1985). Os métodos de busca no espaço das coordenadas são baseados na busca em um espaço no entorno das coordenadas aproximadas de uma estação desconhecida, a partir de injunções de ambiguidades que satisfaçam ao máximo da função (GARNÉS, 2001). Há ainda métodos de busca no espaço das ambiguidades, cujas ambiguidades são resolvidas sem os artifícios de busca das coordenadas, aceitando como solução, após uma validação estatística, a solução do problema de mínimos quadrados inteiros (GARNÉS, 2001). Além destes, é possível realizar uma integração entre os métodos utilizando as combinações lineares com receptores de dupla frequência ou pseudodistâncias suavizadas pela portadora. Outras formas de acelerar a solução das ambiguidades são através de injunções de altitude da antena GPS e de uma ou duas ambiguidades inteiras conhecidas (REMONDI et al., 1992).

### 2.5.2 Mensagens padronizadas RTCM

A *Radio Technical Commission for Maritime Service* (RTCM) é uma organização internacional científica, profissional e educacional, sem fins lucrativos (RTCM, 2001). Constituída por mais de cem organizações participantes, governamentais ou não, engajadas no desenvolvimento de padrões internacionais para sistemas de radionavegação e radiocomunicação. Composta de Comitês Especiais (SC), responsáveis pela disseminação de relatórios denominados Padrões RTMC recomendados nas diversas áreas da radionavegação e radiocomunicação. O Comitê Especial 104 (SC-104) é responsável pela disseminação dos padrões para os sistemas diferenciais GNSS, utilizados mundialmente para navegação por satélite, tanto marítima quanto terrestre.

Os padrões são compostos por mensagens numericamente identificadas, de acordo com o tipo de informação transmitida, visando à correção de um determinado erro inerente aos sistemas GNSS. O formato das mensagens segue a mesma estrutura das mensagens de navegação do sistema GPS, com palavras de 30 bits e taxa de transmissão de 50 bps. De acordo com a evolução das técnicas de posicionamento, novas tecnologias e meios de comunicação, foram incorporadas

novas mensagens, constituindo as diferentes versões do padrão RTCM SC-104 (RAMOS, 2007).

A primeira versão (1.0) foi publicada em 1985, sendo substituída em 1990 pela versão 2.0, atendendo ao posicionamento diferencial baseado em observações de fase do código e código suavizado pela fase da onda portadora (DGPS). Em 1994, a versão 2.1 incluiu as mensagens 18, 19, 20 e 21, que possibilitaram o posicionamento RTK. A versão 2.2 (1998) incluiu a possibilidade de transmissão de correções diferenciais de outros sistemas GNSS, como GLONASS, por exemplo, (SEEBER, 2003; LANGLEY, 1998). Atualmente estão disponíveis as versões 2.3 (2001) e 3.0 (2004), aperfeiçoando a acurácia dos sistemas RTK e das redes de estações de referência, respectivamente. A versão 3.1 (2006), denominada RTCM padrão 10403.1, procura fornecer um padrão de mensagens de correção que atenda serviços DGNSS (DGPS e RTK) *Wide Área*. Na tabela 1 são apresentados os principais tipos de mensagem RTCM da versão 2.3.

A combinação das mensagens 22 e 23 melhora a desempenho do posicionamento cinemático, fornecendo, respectivamente, a posição da estação de referência com precisão submilimétrica e as coordenadas ECEF (*Earth-Centered-Earth-Fixed*) do centro de fase L1 da antena, com precisão centimétrica (RTCM, 2001). A mensagem 22, na versão 2.3, incorporou os bits GS, AT e AR, que indicam respectivamente (RAMOS, 2007):

GS - GNSS utilizado (0 - GPS ou 1 - GLONASS);

AT - se existe informação do tipo de antena na mensagem 23;

AR - se existe informação do ARP da antena na mensagem 24.

O centro de fase da antena varia de acordo com a direção, azimute e a elevação do satélite, de forma diferente para L1 e L2, gerando erros de algumas dezenas de milímetros em relação ao centro de fase modelado. Para isso foram criadas as mensagens 23 e 24 (versão 2.3), que substituem as mensagens 22 e 3. A mensagem 23 informa o tipo de antena utilizado na estação de referência, de acordo com a nomenclatura adotada pelo IGS (*International GPS Service*). A mensagem 24 resolve o problema de variação do centro de fase, referenciando a posição a um ponto externo e mensurável da antena, denominado ARP (*Antenna Reference Point*), ponto de referência da antena. Além disto, pode ser informada a altura da antena sobre o marco de referência (RAMOS, 2007).

Tabela 1- Principais tipos de mensagens RTCM da versão 2.3

Mensagem tipo n°	Título
1	Correções diferenciais GPS
2	Correções Delta diferenciais GPS
3	Parâmetros da estação de referência GPS
4	Datum da estação de referência
5	Saúde da constelação GPS
6	Mensagem nula
7	Almanaque dos radiofaróis DGPS
8	Almanaque das estações pseudolites
9	Correções diferenciais parciais para um conjunto de satélites
15	Mensagens de atraso ionosférico
16	Mensagem especial GPS
17	Efemérides GPS
18	Observações brutas da fase da portadora RTK
19	Observações brutas de pseudodistância RTK
20	Correções de fase da portadora RTK
21	Correções de alta precisão de pseudodistância RTK
22	Parâmetros estendidos da estação de referência
23	Registro de definição do tipo de antena
24	Ponto de referência da antena (ARP)

Fonte: RTCM STANDARD 10402.3 (2001)

O padrão RTCM versão 3.0, publicado em fevereiro de 2004, é baseado no conceito *Master-Auxiliary*, sugerido pela Leica Geosystems e a Geo++, para transmissão de mensagens de correção GPS a partir de uma rede de estações de referência, composta por uma estação Principal (*Master*) e demais estações da rede (*Auxiliary*). Segundo Brown et al. (2005), este padrão possui um desempenho melhor que os métodos FKP (Parâmetros de Correção de Área) e VRS (Estação de Referência Virtual) em termos de tempo de inicialização, confiabilidade, solução de ambiguidades e acurácia. As mensagens são divididas em três grupos principais: Observações, Coordenadas da Estação e Descrição da Antena. Deste modo, cada

grupo possui diferentes níveis de mensagens de acordo com desempenho requerido para realização do trabalho. Por exemplo, a mensagem 1002 possui informações adicionais em relação à mensagem 1001, incluindo uma indicação da relação sinal ruído na portadora L1. Na tabela 2 são apresentados os principais tipos de mensagem RTCM da versão 3.1.

Tabela 2- Grupo de mensagens RTK do padrão RTCM versão 3.1

Nome do grupo	Nome do sub-Grupo	Tipo de Mensagem	
Observações	GPS L1	1001	
		1002	
	GPS L1 / L2	1003	
		1004	
	GLONASS L1	1009	
		1010	
	GLONASS L1 / L2	1011	
		1012	
	Coordenadas da Estação	Estação de referência estática RTK - ARP	1005
		Base ARP com a altura da antena	1006
	Descrição da Antena	Descrição da Antena	1007
		Descrição da Antena e número serial	1008
Rede de correções RTK	Dados das estações auxiliares	1014	
	Diferenças de correção da ionosfera	1015	
	Diferenças de correção da geometria	1016	
	Combinação das diferenças de correção da geometria e da ionosfera	1017	
Informações	Parâmetros do sistema	1013	
Operacionais Auxiliares	Dados de efemérides GPS	1019	
	Dados de efemérides GLONASS	1020	
	Sequencia de texto de um código	1029	

As mensagens de coordenadas da estação (1005 e 1006) estão referidas às coordenadas ECEF do ponto de referência da antena (ARP), a fim de evitar os erros decorrentes da variação do centro de fase, sendo que a mensagem 1006 complementa a mensagem 1005 com a informação da altura do ARP sobre um marco qualquer (RTCM, 2009).

### 2.5.3 Protocolo NTRIP

Em setembro de 2004 a RTCM SC-104 (*Radio Technical Commission for Maritime Service – Comitê Especial 104*) definiu um novo protocolo padrão para transmissão das mensagens GNSS através da Internet, denominado NTRIP (*Network Transport of RTCM via Internet Protocol*). O NTRIP é um protocolo genérico baseado em HTTP (*Hypertext Transfer Protocol – Protocolo de Transferência de Hipertexto*), que foi desenvolvido pela BKG (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie - Agência Federal de Geodésia e Cartografia*) da Alemanha, no contexto do Projeto Piloto EUREF-IP (*European Real-Time GNSS Pilot Project*). O EUREF-IP tem por objetivo a disponibilização dos dados GNSS da Rede de Referência Européia, a EUREF, em tempo real e com isso a estimativa de produtos, tais como órbitas, erro dos relógios, parâmetros ionosféricos e troposféricos a nível regional, os quais vêm a beneficiar o posicionamento para os usuários de GNSS (WEBER et al., 2005 ; CHEN et al., 2004).

O protocolo NTRIP foi desenvolvido para a transmissão de dados diferenciais pela Internet, permitindo conexões simultâneas entre PC, *laptop*, PDA ou receptores com um servidor conhecido como NTRIPCaster e pode ser acessado através de serviços móveis de transmissão do protocolo IP, tais como GSM, GPRS, EDGE ou UMTS (LENZ, 2004). O NTRIP também é capaz de transmitir qualquer formato de dado GNSS, apesar do formato RTCM versão 3 se tornar um formato padrão para a transmissão de dados GNSS em tempo real.

O NTRIP foi desenhado de forma a distribuir dados GNSS continuamente a um receptor estático ou móvel via Internet, inclusive a *wireless*. A crescente disponibilidade dos serviços de Internet por telefonia celular, do tipo GSM, GPRS, modem 3G foi o grande fator motivador para o seu desenvolvimento (COSTA et al., 2008).

Segundo Chen et al. (2004), o NTRIP possui os seguintes componentes:

NTRIPSource – é qualquer sistema que disponibiliza um fluxo de dados GNSS continuamente. Uma fonte de dados desse tipo é geralmente representada por um receptor GNSS enviando dados RTCM.

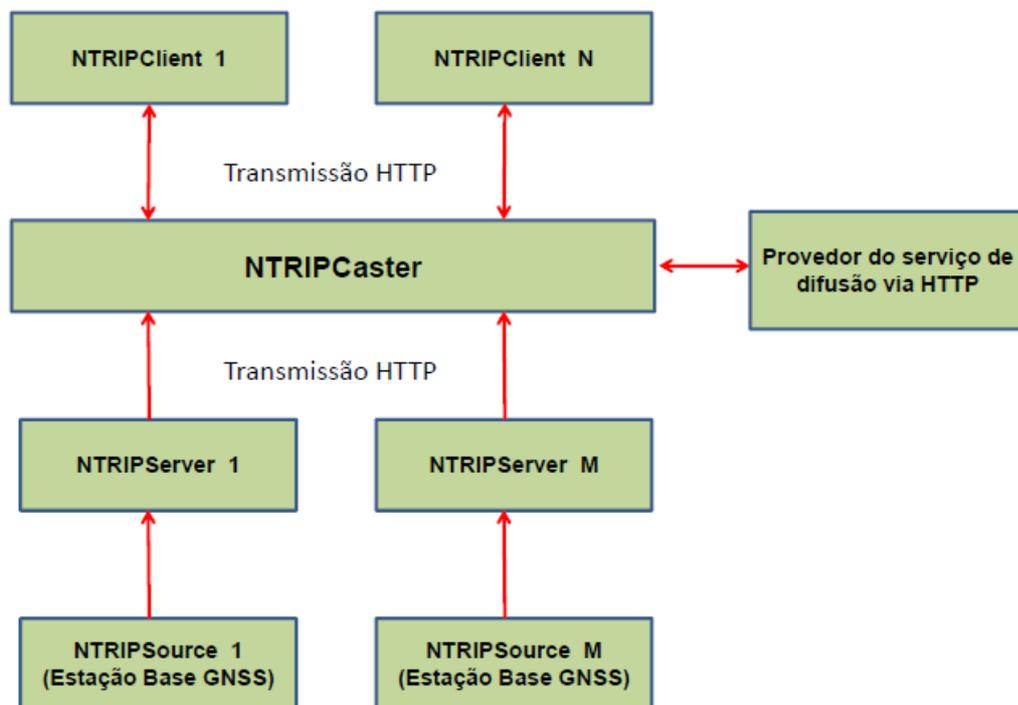
NTRIPServer – é o aplicativo que cria um canal de transferência de dados entre o receptor GNSS (NTRIPSource) instalado em uma estação de referência e o NTRIPCaster.

NTRIPCaster – é basicamente um servidor HTTP, que organiza os NTRIPSource definindo *mountpoints* (pontos de montagem) e senhas para acesso com o NTRIPClient. Ou seja, é o distribuidor dos dados RTCM pela Internet para os usuários. Ele é um aplicativo que preferencialmente deve ficar instalado em um servidor do Centro de Controle de dados de uma Rede de Referência, como por exemplo, a RBMC-IP. Neste *Caster* convergem várias estações de referência e cada uma delas tem um nome identificador denominado de *mountpoint*. No *Caster* existe uma tabela (*sourcetable*) com todos os *mountpoints* que chegam nele e as suas respectivas configurações e informações. A responsabilidade do *Caster* além da distribuição das correções GNSS é verificar a qualidade e integridade dos dados recebidos e a autenticação dos usuários por meio de *login* e senha de acesso.

NTRIPClient – é o aplicativo que o usuário do servidor precisa ter. Este é um aplicativo que se instala em um computador *laptop*, PDA ou celular, que esteja conectado a um receptor *rover* para que este possa ter as correções transmitidas pelo *Caster*. O acesso as correções é realizado selecionando no NTRIPClient um dos *mountpoints* que estão na tabela do NTRIPCaster. A ligação entre o *laptop*, PDA e celular, e o receptor *rover* pode ser de várias formas: via *Bluetooth*, portas USB e serial. A comunicação entre *laptop*, PDA e celular com o *Caster* é realizada por meio de GSM, GPRS ou modem 3G. O receptor *rover* poderá ser um navegador, rastreando somente código, o qual receberá correções DGPS ou um receptor de simples ou dupla frequência, o qual receberá correções RTK. Em alguns casos o receptor *rover* já consegue acessar o *Caster* diretamente sem a necessidade de um computador ou PDA, funcionando como *Client*.

Para que os dados sejam enviados é necessário um transmissor. A finalidade desse transmissor de dados NTRIP é multiplicar as mensagens de dados provenientes das Estações de Referências (receptores bases) para uma vasta gama de “clientes externos” (receptores móveis) simultaneamente. Os dados transmitidos

por NTRIP são os mesmos que seriam transmitidos por conexão de rádio convencional, ou seja, este protocolo de transmissão via Internet não altera os dados. A comunicação entre as estações de referência, um transmissor (dados NTRIP), e os “clientes e/ou usuários” é feita pelo HTTP. O HTTP é usado, principalmente, para o trânsito em massa de dados definidos para que cada objeto tenha claramente definido início e fim. O NTRIP suporta a transmissão de qualquer mensagem de dados GNSS que necessite de 0,2 a 10 Kbit/s de velocidade de transmissão e transporte. Pelo NTRIPCaster é possível disseminar: correções RTCM, DGNSS, RTK, correções RTCA (*Radio Technical Commission for Aviation Services*) EGNOS e WAAS, dados brutos dos receptores, dados de orbitas ultra-rápidas dos satélites no formato SP3 (*Standard Product 3*) e dados no formato RINEX (WEBER et al, 2006). A figura 2 apresenta de maneira esquemática os componentes e o funcionamento do protocolo NTRIP.



**Figura 2** – Esquema de funcionamento do NTRIP (Adaptado de Chen, 2004)

Segundo Costa et al. (2008), as principais características do protocolo NTRIP são:

- está baseado em HTTP (*Hipertext Transfer Protocol*);

- têm a disponibilidade de distribuir qualquer tipo de dado GNSS em fluxo;
- têm a capacidade de aceitar uma grande quantidade de usuários simultaneamente;
- o acesso aos dados é realizado de forma segura sem a necessidade do usuário estar em contato direto com as estações de referência;
- está habilitado a fornecer o fluxo de dados por meio de qualquer rede móvel TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*);
- a largura de banda necessária para disseminar as correções GNSS é relativamente pequena. Aproximadamente 0,5 Kb/s para DGPS e 5 Kb/s para RTK.

#### 2.5.4 Meios de Comunicação

O enlace de dados entre a estação de referência e o receptor móvel dependerá do volume de dados a ser transmitido, em função do número de satélites rastreados, tipo e formato dos dados, requisitos de integridade e confiabilidade, condições de operação e distância entre as estações transmissora e receptora (EL-MOWAFY, 2000), além da taxa de atualização requerida na estação móvel. Para se obter uma boa precisão com as técnicas diferenciais, a partir da observação da fase da onda portadora, empregando as mensagens 18 e 19, é necessária uma taxa de atualização dos dados na estação móvel em períodos de 0,5 a 2 segundos (LANGLEY, 1998). Isto requer elevadas taxas de transmissão de dados (2400 a 9600 bps), o que limita a faixa de frequência com largura de banda suficiente para a transmissão deste volume de dados. Os canais de comunicação que atendem a estas demandas são apresentados a seguir.

##### 2.5.4.1 Rádio transmissão

A grande quantidade de dados a serem transmitidos, associada a altas taxas de atualização necessárias para a precisão centimétrica do RTK, exige o uso de taxas de transmissão de pelo menos 2400 bps. As únicas faixas do espectro de rádio que suportam estas larguras de banda são o VHF/UHF. Porém estas

frequências possuem um alcance limitado à linha do horizonte. A distância máxima teoricamente alcançada é dada por (LANGLEY, 1998):

$$d = 3,57\sqrt{k}(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r})$$

Onde:

$d$  - é o alcance máximo do sinal entre as estações de referência e móvel em quilômetros;

$k$  - fator de compensação da refração atmosférica, estimado em 1,33 para condições atmosféricas normais (LANGLEY, 1998);

$h_t$ ,  $h_r$  - altura em metros das antenas do transmissor e do receptor, respectivamente.

As alturas das antenas transmissora ( $h_t$ ) e receptora ( $h_r$ ) devem ser medidas em relação a um plano de referência, acima de um horizonte comum.

O alcance depende ainda da sensibilidade da antena do rádio receptor, uma vez que o sinal transmitido sofre uma atenuação, mesmo na ausência de obstruções, proporcional à quarta potência da distância (LANGLEY, 1998). Este problema pode ser solucionado com a utilização de antenas direcionais repetidoras.

#### 2.5.4.2 Telefonia celular

Possui grande largura de banda, podem ser utilizadas as seguintes técnicas:

a) GSM (*Global System for Mobile Communications*) - padrão mundial de telefonia celular, que opera na faixa de frequência de 900 MHz e permite a transmissão de voz e dados;

b) GPRS (*General Packet Radio Service*) - sistema global de comunicação móvel que permite aumentar a velocidade de transmissão para até 115.000 bps;

c) EDGE (*Enhanced Data rate for Global Evolution*) - utiliza um novo padrão de modulação denominado 8PSK (*8 Phase Shift Keying Modulation*), permitindo uma taxa de dados três vezes maior que os sistemas GSM (384 Kbps); e

d) UMTS (*Universal Mobile Telephone System*) - sistema europeu de comunicação móvel por satélite, com taxas de transmissão de até 2 Mbps, permite transmissões multimídia (LENZ, 2004).

#### 2.5.4.3 Internet

Utiliza mensagens do padrão RTCM (NTRIP) transmitidas empregando uma das técnicas de telefonia celular anteriormente descrita.

#### 2.5.4.4 Satélites geoestacionários

Comumente utilizados para comunicações, possuem grande largura de banda, um alcance global, porém têm um elevado custo. São utilizados por sistemas que operam em rede, como por exemplo, o WADGPS (*Wide Area DGPS*).

#### 2.5.5 Latência do Sistema

É o atraso dos dados, desde a sua coleta, processamento, transmissão e aplicação, das correções diferenciais ou observações brutas, no receptor móvel. Considerando uma latência de 1 segundo, as duplas diferenças apresentam erros centimétricos (MONICO, 2008). Portanto o ideal seria processar simultaneamente tanto as correções diferenciais quanto as medidas brutas de fase no receptor.

São utilizadas duas técnicas para reduzir a degradação em função da latência. Na primeira, denominada RTK sincronizado, a estação móvel armazena suas observações de fase por um período correspondente à latência do sistema, e as processa a partir dos dados transmitidos pela estação de referência que possuam a mesma época. Esta técnica é apropriada para aplicações que exijam elevada precisão, nos métodos em que se ocupa um ponto por alguns segundos, como no método “*stop-and-go*”. Outra técnica é o uso de um algoritmo de predição da fase da onda portadora na estação de referência, ou seja, é aplicada uma taxa de atualização das correções em função do tempo de latência, semelhante ao fator RRC (*Range Rate Correction* – Intervalo de taxa de correção) das correções diferenciais para pseudodistâncias (LANGLEY, 1998).

Os receptores RTK podem ser empregados em quatro modos de posicionamento distintos (LAMBERTI et al., 2005):

a) RTK sincronizado (1 Hz): Constitui o modo mais preciso de operação do RTK, sendo muito utilizado em aplicações dinâmicas. Utiliza taxa de atualização de 1Hz, com uma latência das posições sincronizadas (FIX), determinada, em grande parte, pelos dados transmitidos, em torno de 1 segundo para uma taxa de transmissão de 4800 *bauds*.

b) RTK sincronizado rápido (5 ou 10 Hz): possui a mesma latência e precisão do modo anterior, porém as soluções de posicionamento são produzidas 5 ou 10 vezes a cada segundo, empregando-se uma taxa de transmissão de 9600 *bauds*.

c) RTK de baixa latência: possibilita precisões centimétricas, porém inferiores ao método sincronizado, de forma quase instantânea devido a redução da latência em até 20 ms, o que permite até 20 posições FIX por segundo. A técnica explora a drástica redução da latência, baseando-se na previsão da fase na estação de referência. Os erros da predição de fase, no receptor móvel, são influenciados em sua maioria pela instabilidade dos relógios e variações inesperadas das órbitas dos satélites.

d) RTK com linha de base móvel: modo de posicionamento RTK onde a estação de referência e o receptor estão em movimento. O receptor da estação de referência transmite as medidas efetuadas para o outro receptor móvel, que calcula a solução RTK sincronizada a 1, 5 ou 10 Hz, fornecendo informações de orientação, velocidade e altitude com precisão centimétrica. Este método pode ser utilizado, por exemplo, para determinação de altitude de embarcações e alinhamento entre sensores em sistemas multifeixe (CLARKE, 2003). Para a obtenção de bons resultados, a distância entre a estação de referência e o receptor móvel não deverá ser superior a 1 km.

O tempo de latência também é um fator importante para ser analisado nos levantamentos RTK / NTRIP. Neste caso, é o tempo decorrido entre a geração das correções na estação de referência e a sua aplicação no receptor móvel, incluindo a sua passagem pelo *Caster*. Em média este tempo é de 1 a 2 segundos para estações de referência com Internet a cabo e de 3 a 4 segundos para estações de referência com Internet por satélite (COSTA et al., 2008).

### 2.5.6 Sistemas de posicionamento DGPS e RTK em rede.

Para minimizar as perdas de qualidade do posicionamento diferencial em função da distância, desenvolveu-se o conceito das redes de estações de referência, sob duas abordagens distintas: no domínio das medidas e a representação espaço de estado (HOFMANN-WELLENHOF, 2003). A primeira abordagem baseia-se na transmissão e aplicação de correções diferenciais escalares na estação móvel, a partir de uma estação referência mais próxima, ou de uma média das correções de um conjunto de estações, empregando o conceito de estação de referência virtual (VRS - *Virtual Reference Station*), ou o conceito *Master-Auxiliary* (MAC - *Master Auxiliary Concept*), que constitui a base das mensagens dos padrões RTCM 3.0 (2004) e 3.1 (2006). Este tipo de abordagem exige uma alta densidade de estações de referência, e é adotada nos serviços PDGPS (*precise DGPS*).

A abordagem espaço de estado compreende uma rede global de estações de referência, empregando receptores de dupla frequência utilizados para gerar soluções livres dos efeitos ionosféricos para cálculo de correções das órbitas dos satélites e erros dos relógios. As correções orbitais são transmitidas como vetores tridimensionais que correlacionam a posição verdadeira do satélite aos parâmetros orbitais presentes nas efemérides transmitidas. As correções ionosféricas são modeladas, normalmente, a partir das mensagens TEC (*total electron content*), em função da hora local, latitude, ciclo de atividades solar e outros fatores (HOFMANNWELLENHOF, 2003). São empregados ainda modelos troposféricos. Todas as informações de correções são interpoladas para a posição do usuário e transmitidas através de satélites geoestacionários. Esta abordagem requer uma densidade menor de estações de referência e possibilita alcances muito maiores, sendo denominadas WADGPS.

O WADGPS pode ser implementado por sistemas regionais ampliados, denominados SBAS (*Satellite Based Augmentation System*), onde além das correções diferenciais, sinais para aumento da confiabilidade e integridade da rede são transmitidos via satélite para as estações móveis (LEICK, 2004). Alguns SBAS foram e estão sendo implementados nos Estados Unidos (WAAS - *Wide Area Augmentation System*), Europa (EGNOS - *European Geostationary Navigation Overlay Service*), Japão (MSAS - *MTSAT Satellite-Based Augmentation System*),

Canadá (CWAAS - *Wide Area Augmentation System*), Índia (GAGAN - *GPS And GEO Augmentation Navigation*), Austrália (GRAS - *Ground Regional Augmentation System*) e China (SNAS - *Satellite Navigation Augmentation System*). Há ainda outros sistemas WADGPS, disponibilizados por provedores comerciais, entre eles pode-se citar: OmniSTAR, StarFix-Plus e StarFix-HP (Fugro Chance, Inc.), SkyFix XP (Thales Geosolutions Group Ltd.) e C-Nav/StarFire (C & C Technologies, Inc.).

O Brasil possui uma rede constituída por 11 ERDGPS (Estação de Referência DGPS), baseadas em radiofaróis operados pela Marinha do Brasil, sendo que as faixas de frequência empregadas (LF e MF) possuem estreitas larguras de banda, capazes de suportar um reduzido volume de dados transmitidos pelas estações de referência (mensagens RTCM), por meio de baixas taxas de transmissão (100 bps). Por estas características as ERDGPS não podem ser empregadas nas técnicas RTK, que exigem maiores larguras de banda e taxas de transmissão acima de 4800 bps.

O emprego de frequências das faixas LF (baixa frequência) e MF (média frequência) possibilitam maiores alcances. Entretanto, a qualidade das posições DGPS depende do grau de correlação espacial entre a estação de referência e o receptor móvel, ou seja, à medida que se aumenta a distância entre ambas, a operação de diferenciação não permite uma compensação completa dos erros troposféricos e ionosféricos no receptor móvel. A latência das correções diferenciais também influencia diretamente na qualidade do posicionamento DGPS.

#### 2.5.6.1 RTK em rede

O posicionamento relativo em tempo real denominado RTK (*Real-Time Kinematic*) tem sido muito empregado, pois permite ao usuário determinar a sua posição acurada em tempo real. Esse método pode alcançar acurácia centimétrica, sem a necessidade de um processamento posterior dos dados, desde que a solução das ambigüidades obtida for confiável (DAI et al., 2003). No entanto, o uso do RTK possui uma limitação, com o aumento do comprimento da linha de base os resultados são degradados, pois os erros de ionosfera, troposfera e órbita dos satélites obtidos pelo usuário reduzem sua correlação, chegando ao ponto de inviabilizar o posicionamento (ALVES, 2008). Com a proposta de sanar esse problema, surge o RTK em rede, no qual uma rede de estações de referência é

utilizada para gerar correções diferenciais para a fase e pseudodistância aos usuários.

Segundo Barbosa et al. (2010), a utilização do RTK em rede já é uma realidade em muitos países e está associada ao aumento da demanda por informações espaciais de alta qualidade e em tempo real. A utilização de redes para disponibilizar o posicionamento em outros países como Alemanha já existe desde 1996 com a rede SAPOS (*Satellite Positioning Service*). Na região da Catalunha tem-se também a rede CATNET (*Catalunya Network*) desde 2006 para o posicionamento RTK. Além disso, existem outras redes que estão distribuídas nos EUA, na Europa, na Austrália e em outros países para esta mesma finalidade.

A utilização de um número maior de estações de referência permite realizar a combinação das observações por meio de modelagem, e assim tratar os erros atmosféricos dentro da área de abrangência da rede. A modelagem dos erros facilita a solução correta das ambiguidades da fase da onda portadora, condição indispensável para obtenção da acurácia a nível centimétrico no posicionamento (BARBOSA et al., 2010).

Todas as técnicas baseadas em múltiplas estações de referência necessitam do conhecimento prévio das ambiguidades das duplas diferenças entre as estações de referência da rede (FOTOPOULOS, 2000). Após solucionar as ambiguidades, as correções de rede na forma de correções FKP e/ou os dados da Estação de Referência Virtual (VRS) podem ser gerados e então fornecidos aos usuários para melhorar a acurácia do posicionamento.

As características básicas do RTK em rede são: maior número de estações utilizadas como referência, podendo variar de três a dezenas de estações; possibilidade de realizar o controle de qualidade; as distâncias entre as estações de referência podem ser muito maiores, aproximadamente 70 km (TRIMBLE, 2010), se comparado ao RTK; a área de abrangência é muito maior para o usuário atuar; a área é totalmente coberta na região de abrangência da rede (ALVES, 2008; ALVES e MONICO, 2010)

No Brasil, tem-se disponível algumas redes GNSS ativas, como a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) / Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS (RIBAC). Mas na RBMC / RIBAC a distância entre as estações ainda é muito grande, o que inviabiliza o posicionamento RTK em rede. Na configuração atual da RBMC, é possível realizar o DGPS em rede, ao passo que

neste método as estações de referência podem estar mais distantes (BARBOSA et al., 2010).

Desde 2006 tem-se disponível a Rede GNSS ativa do Estado de São Paulo (Rede GNSS-SP) que foi implantada com o intuito de aumentar a disponibilidade de estações ativas no estado. Atualmente a rede GNSS-SP conta com 10 estações em funcionamento, o que deverá ser ampliado num futuro próximo. Os dados da Rede GNSS podem ser acessados em tempo real via internet a partir do centro de controle localizado na Faculdade de Ciência e Tecnologia (FCT) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Presidente Prudente (GEGE, 2010).

## 2.6 Serviço RBMC - IP

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizou em maio de 2009, um serviço gratuito que permite a obtenção, em tempo real, de coordenadas (latitude, longitude e altitude geométrica) de melhor qualidade por parte dos usuários de equipamentos GNSS que possuam acesso à internet sem fio.

De acordo com o IBGE (2009), o serviço denominado de RBMC-IP consiste na transmissão em tempo real, pela internet, das observações coletadas em 26 das 80 estações GNSS em operação contínua espalhadas pelo território nacional, pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), mantida pelo IBGE e pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Para receber essas correções o usuário precisa ter além da internet sem fio, contar com um receptor GNSS (ou um *notebook*, ou um PDA conectado ao equipamento GNSS), e de um software que aplique as correções oriundas das estações de referência (RBMC-IP). Desta forma, as observações GNSS recebidas pelo receptor do usuário serão combinadas com os dados transmitidos pelo IBGE via internet, o que permitirá a obtenção de precisões de posicionamento que podem variar de alguns decímetros no caso do uso da técnica DGPS para até poucos centímetros com a técnica RTK. Todos os resultados obtidos pelo serviço RBMC-IP estarão automaticamente em SIRGAS 2000, sistema de referência oficialmente em uso no Brasil desde 2005.

Conforme o IBGE (2009), os dados ou correções da RBMC-IP são disponibilizados por meio do protocolo NTRIP, que permite a conexão simultânea de

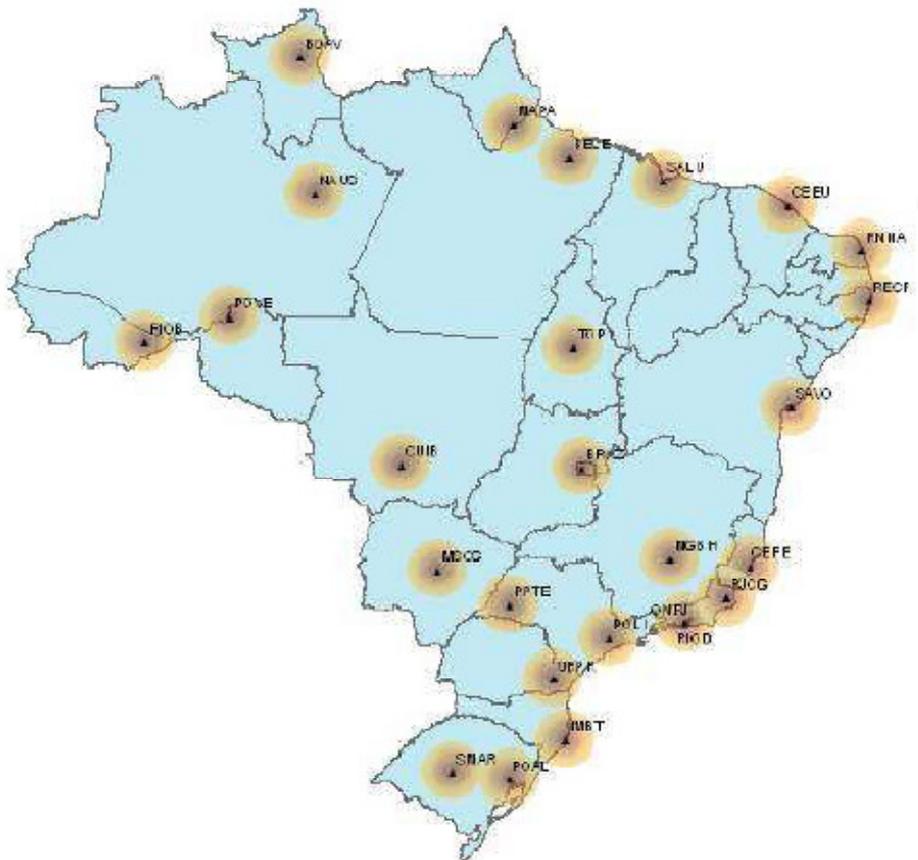
vários usuários ao servidor do IBGE, a partir do uso de computadores *desktop*, *laptops* e PDAs (computadores de mão) com acesso à internet sem fio (GPRS ou modem 3G).

O serviço RBMC-IP possui muitas vantagens para aplicações em tempo real, pois até então, para a realização de um levantamento RTK convencional, eram necessários um receptor instalado em uma estação com coordenadas conhecidas, denominado de estação de referência ou base RTK, um receptor móvel (*rover*) e um rádio de comunicação UHF, para enviar os dados da estação de referência RTK ao receptor móvel. Um fator que limita a área de abrangência para a realização do RTK nesse modelo é o alcance da transmissão das ondas do rádio, pois, se existirem obstáculos entre a estação referência e o receptor móvel, a precisão esperada não será alcançada. Além disso, como a separação entre dois canais de rádio é estreita, o sinal pode receber a interferência de outros usuários que estejam trabalhando na mesma banda de frequência, reduzindo a qualidade do levantamento (COSTA et al., 2008).

O serviço RBMC-IP via internet sem fio substitui a conexão via rádio UHF, e oferece ainda as seguintes vantagens: a) os receptores GNSS habilitados para realizar levantamentos RTK não necessitam de licenças especiais para trabalhar com o protocolo NTRIP, mas apenas de uma conexão de internet; b) um modem GSM / GPRS ou 3G para conexão via internet sem fio é mais barato que um rádio UHF; c) não será necessário manter um equipamento GNSS com um operador todo o dia em uma estação de referência, já que as estações de referência são fornecidas pelo IBGE por meio da RBMC-IP; d) não será necessário buscar locais altos para instalar a estação de referência e o transmissor, uma vez que o alcance da internet é maior que o do rádio; e) não será necessário se preocupar com obstáculos físicos, já que, enquanto o rádio não funciona com obstruções, a internet independe delas; e f) a jornada de trabalho fazendo uso do RBMC-IP será reduzida quando comparada com o método clássico via rádio. A única desvantagem do serviço RBMC-IP é que só funciona em áreas providas por Internet *wireless* ou serviços de telefonia celular tais como, GPRS, GSM e 3G (COSTA et al., 2008).

### 2.6.1 Funcionamento do sistema RBMC-IP

Segundo o IBGE (2009), a transmissão dos dados será realizada da seguinte forma: o receptor GNSS existente em cada uma das estações que participam do serviço RBMC-IP envia continuamente mensagens no formato RTCM até um servidor *caster* localizado na sede do IBGE, no Rio de Janeiro. Um usuário, com um aplicativo "cliente", uma conexão de internet e um software que permite calcular as coordenadas corrigidas, conecta-se ao servidor *caster* do IBGE e escolhe a(s) estação(ões) da RBMC-IP cujos dados ou correções diferenciais deseja receber. As correções são recebidas pelo receptor GPS do usuário e, dessa forma, obtêm-se as posições corrigidas. Atualmente, o servidor *caster* do IBGE recebe dados de 26 estações de referência localizadas no território brasileiro. A figura 3 mostra o mapa com a cobertura dos sinais RTK disponibilizados pelo serviço RBMC – IP do IBGE.



**Figura 3** – Cobertura das correções RTK do serviço RBMC-IP (IBGE, 2009)

Para ter acesso aos dados da RBMC-IP o usuário precisa fazer um cadastro no *site* do IBGE, a sua solicitação será avaliada e uma identificação e senha de acesso serão enviadas por *e-mail* ao usuário. Algumas restrições de acesso para evitar congestionamento de tráfego no servidor do IBGE são: cada usuário só poderá acessar 3 das 26 estações da RBMC-IP; se o usuário ficar conectado por mais de 24 horas consecutivas no servidor do IBGE, ele terá o seu acesso cancelado; a identificação e senha de acesso serão válidos por um período máximo de três meses; e serão permitidos no máximo 50 acessos simultâneos ao serviço (IBGE, 2009).

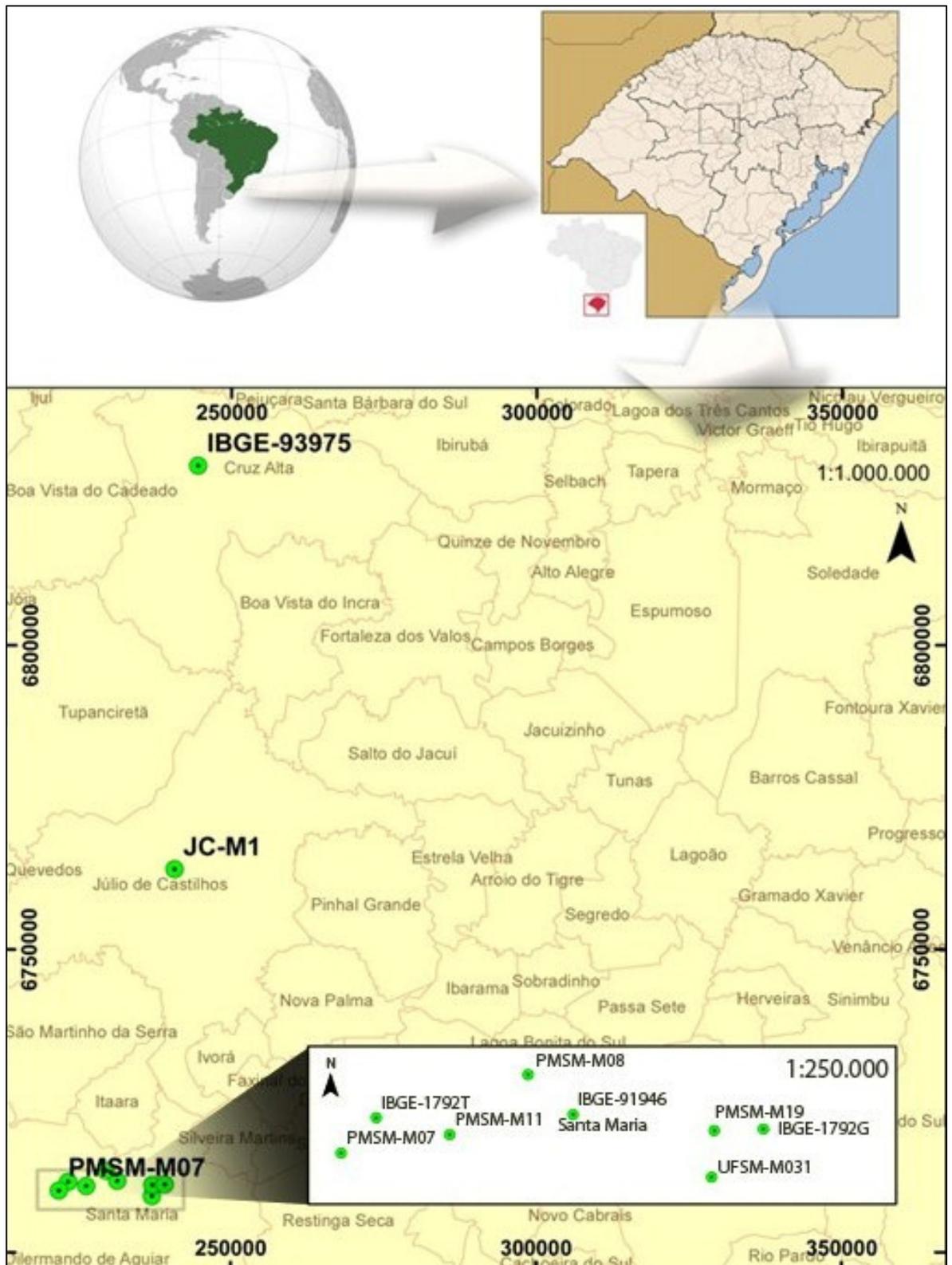
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Neste trabalho, as coordenadas geodésicas dos marcos foram obtidas pelo método de posicionamento relativo estático, o qual foi usado como referência, e pelo método de posicionamento relativo cinemático em tempo real – RTK com correções transmitidas pelo protocolo NTRIP via RBMC – IP, sendo que, os pontos levantados formaram diferentes comprimentos de linha de base com a estação de referência utilizada (SMAR). Além disso, foram testadas cinco diferentes quantidades de épocas de rastreamento para o método RTK / NTRIP, sendo posteriormente efetuada a avaliação e comparação das coordenadas obtidas pelos diferentes métodos.

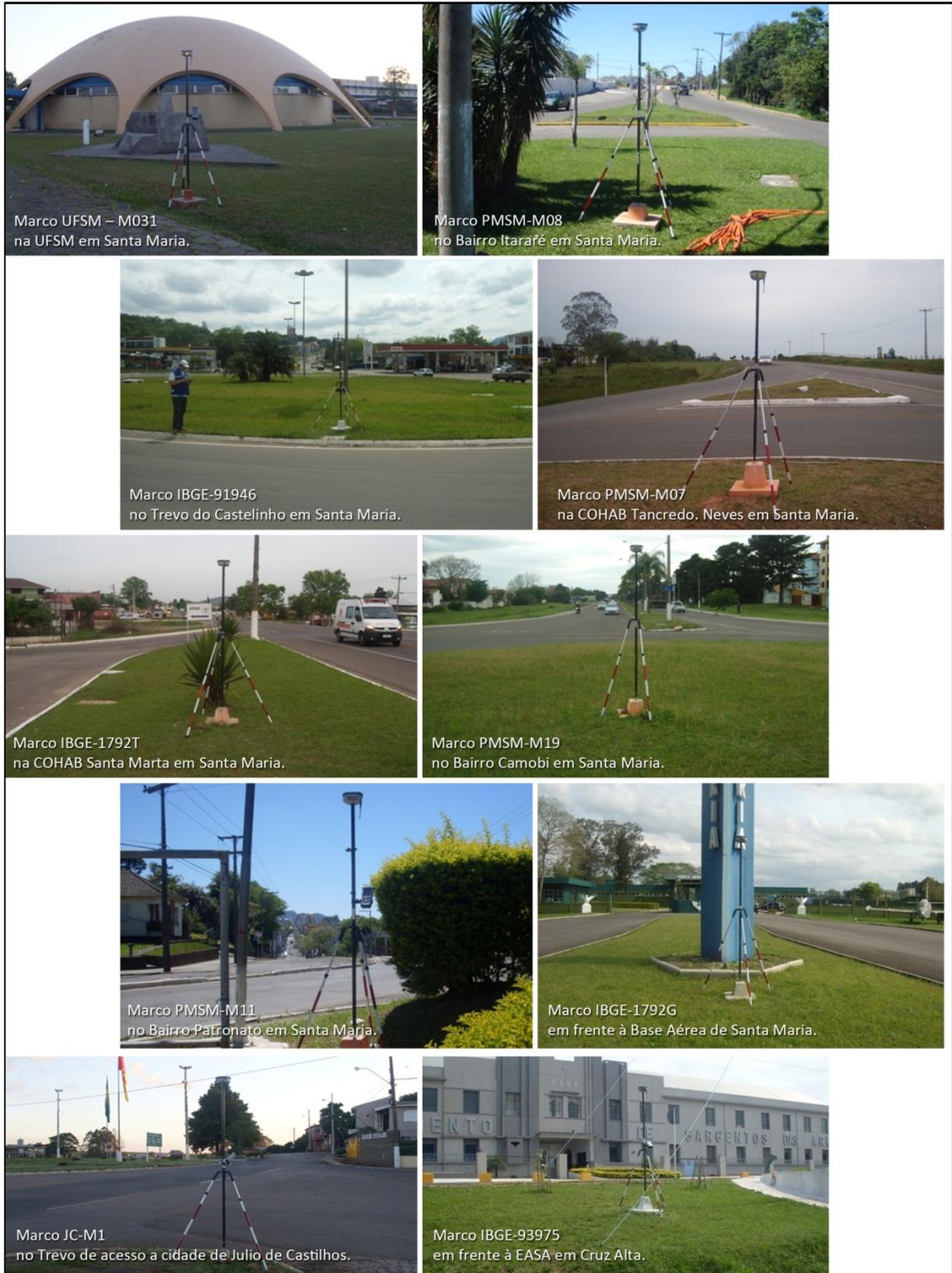
#### **3.1 Localização e materialização do experimento**

Este trabalho foi realizado nos municípios de Santa Maria, Julio de Castilhos e Cruz Alta, no estado Rio Grande do Sul. Em Santa Maria foram utilizados 8 dos 35 vértices geodésicos (marcos de concreto) pertencentes à rede geodésica municipal, os quais foram implantados em épocas distintas e para atender ao propósito das diferentes instituições (IBGE, Colégio Politécnico da UFSM e Prefeitura Municipal de Santa Maria), sendo que, no ano de 2010 a Empresa Eng+ Engenharia e Geomática LTDA em parceria com a autarquia municipal Escritório da Cidade de Santa Maria (ECSM) realizou uma campanha para rastreamento, determinação das coordenadas geodésicas e padronização desta rede. A seleção dos 8 marcos utilizados foi feita de forma representativa, levando-se em consideração o comprimento da linha de base formada a partir da estação de referência de Santa Maria (SMAR) pertencente à RBMC-IP, a cobertura de internet via telefonia móvel e as boas condições de rastreamento das estações, a exceção foi o marco PMSM–M08 escolhido por estar próximo a uma rede elétrica, com o intuito de observar os possíveis efeitos do multicaminho.

No município de Julio de Castilhos foi implantado um marco de concreto no trevo de acesso a cidade e para o município de Cruz Alta utilizou-se um marco implantado pelo IBGE. A figura 4 mostra a localização dos marcos escolhidos para realização deste trabalho no estado do Rio Grande do Sul, a figura 5 apresenta as fotografias panorâmicas destes marcos.



**Figura 4** – Localização dos marcos no Estado do Rio Grande do Sul (Coordenadas UTM / Fuso 22S - Datum SIRGAS 2000)



**Figura 5 – Fotografias panorâmicas dos marcos.**

Fonte: o autor

## 3.2 Equipamentos utilizados

### 3.2.1 Receptor GNSS geodésico

Para o levantamento das coordenadas dos pontos, tanto no método estático (usado como testemunha), quanto no método RTK / NTRIP foi utilizado o mesmo receptor GNSS da marca Sokkia e modelo GRX1, que segundo o manual do fabricante possui as seguintes especificações técnicas (SOKKIA, 2010):

- Setenta e dois (72) canais universais: L1 CA, L1/L2 P-code GPS – L1/L2 CA, L1/L2 P-code GLONASS – WAAS, EGNOS, MSAS SBAS;
- Precisão RTK: 10 mm + 1 ppm (horizontal) e 15 mm + 1 ppm (vertical);
- Precisão Estática: 3 mm + 0,5 ppm (horizontal) e 5 mm + 0,5 ppm (vertical);
- Precisão Cinemática: 10 mm + 1 ppm (horizontal) e 15 mm + 1 ppm (vertical);
- Precisão DGPS: 0,5 m;
- Peso do receptor 1,1 kg;
- Dimensões (18,4 x 9,5) cm;
- Memória SD/SDHC card (FAT16/32 formatos);
- Modem (GSM e UHF);
- Bateria interna com autonomia de 7,5 horas;
- Temperatura de Operação: -40 e 65°C
- Tempo para Aquisição fria de 50 segundos;
- Tempo para Reaquisição da frequência L1/L2 de 1,0 segundo;
- Comunicação: RS232C & *Bluetooth*;
- Resistente à água e poeira: IP 67;
- Resistente a choque de até 2,0 m em queda livre;
- *Led's* de *estatus* para indicar: memória, satélites, bateria, tempo de ocupação e comunicação;
- Guia de voz para indicar o *status* do receptor.

Na figura 6 é mostrado o modelo de receptor GNSS utilizado neste trabalho.



**Figura 6** – Receptor GNSS modelo GRX1 da Sokkia.  
Fonte: o autor

### 3.2.2 Coletor de dados

Foi utilizado um coletor de dados da marca Sokkia modelo SHC250, que tem as seguintes características técnicas (SOKKIA, 2010):

- Sistema Operacional, Microsoft® Windows® Mobile. 6.5;
- Processador 806Mhz XScale PXA270;
- Memória RAM de 256MB SDRAM, 1GB *System Flash*;
- Cartão *Compact Flash* acessível (CF);
- *Display* colorido de 3,8" (QVGA 640x480) "*touch screen*";
- Bateria NiMH (250mAh,) com autonomia de 10 horas;
- Bluetooth Integrado, para comunicação sem fio;
- Resistente a água e poeira, grau IP66;
- Interface de dados pelas portas: RS232C (D-Sub 9pin), Mini USB 1.1 A&B;
- Teclado Alfa-numérico virtual, 2 *led's* de aviso além de atalhos que pode ser usado para executar programas.

A figura 7 apresenta o modelo de coletor de dados utilizado.



**Figura 7** – Coletor de dados Sokkia SHC250.  
Fonte: Sokkia, 2010.

### 3.3 Levantamento relativo estático para a coleta dos dados de referência

Os marcos geodésicos foram rastreados a campo pelo método de posicionamento relativo estático, o qual serviu como referência (testemunha) na determinação coordenadas utilizadas neste trabalho. O receptor GNSS modelo GRX1 foi configurado para registrar as informações em cada vértice geodésico, com uma taxa de armazenamento das observáveis a cada 5 segundos e um tempo de permanência de duas horas, este tempo foi adotado em função do comprimento das linhas de base envolvidas (INCRA, 2010).

A antena do receptor GRX1 utilizada para a coleta de dados oriundos dos sinais dos satélites GPS foi instalada em cada marco com o auxílio de um tripé e de um bastão de fibra de carbono, dotado de um nível esférico para perfeita centragem e fixação da antena do receptor GNSS. A altura da antena foi padronizada a 2,055 metros para todos os pontos levantados, sendo o resultado desta medida a extensão do bastão (2 metros), acrescido da constante de 55 milímetros até ARP (ponto de referência da antena).

O pós-processamento dos dados foi realizado no software *Spectrum Survey Office* (SSO) versão 7.5, sendo usados os arquivos *Rinex* da estação SMAR pertencente à RBMC como ponto de injeção (controle) e os dados coletados a campo pelo receptor GRX1 no formato nativo *TPS*. Para o processamento foi utilizada a equação da dupla-diferença de fase para determinar as coordenadas geodésicas dos pontos coletados. Alguns dados informados para o pós-processamento foram: as coordenadas geográficas da estação base (latitude,

longitude e altura elipsoidal) no Datum SIRGAS 2000, altura e modelo da antena da estação base e dos pontos levantados a campo e a máscara de elevação dos satélites de 15°.

A figura 8 mostra o rastreio com o receptor GNSS do marco IBGE-93975 no município de Cruz Alta, utilizando o método de posicionamento relativo estático.



**Figura 8** – Rastreio do marco IBGE-93975 em Cruz Alta.

### **3.4 Levantamento pelo método RTK / NTRIP**

Para o levantamento RTK via NTRIP foi utilizada a estação de Santa Maria (SMAR) que pertence a RBMC-IP, como estação base. Esta estação de referência apresenta as seguintes características operacionais:

- Nome identificador (*mountpoint*): SMAR0;
- Autenticação: Básica;
- Receptor utilizado: Trimble NETRS;
- Formato disponibilizado: RTCM 3.0 (1004, 1006 e 1008);
- Sistema: GPS;
- Portadoras: L1 e L2;
- Solução: Simples;

- Fluxo de dados: 1500 bits por segundo.

Como receptor móvel (*rover*) foi utilizado o GRX1, que conta com um *modem* GSM, deste modo, para ter acesso à internet foi necessário apenas colocar um *Subscriber Identity Module – SIM Card* (chip) e contratar os serviços de uma operadora de telefonia móvel para transferência de dados (Figura 9). A operadora escolhida foi a OI, devido a melhor relação custo benefício do serviço, sendo contratado um pacote de transmissão de dados de 200 Mb por mês, o que é suficiente para mais de 200 horas de transmissão de correções RTK via NTRIP do servidor do IBGE.

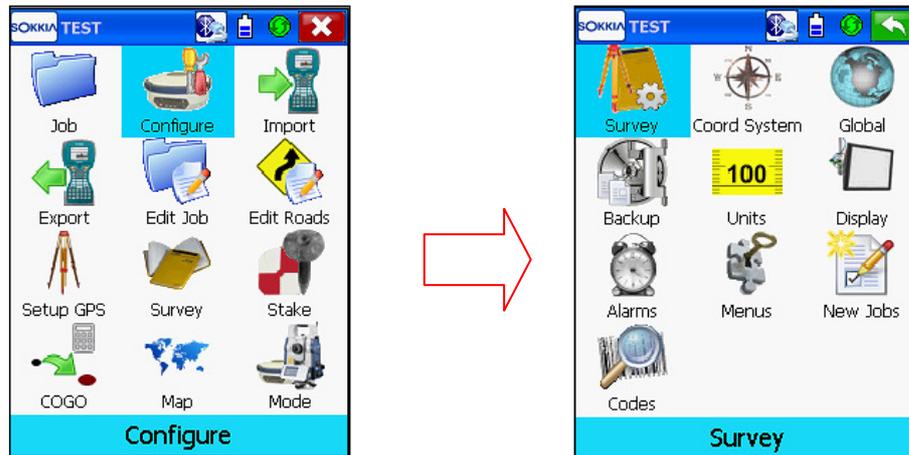


**Figura 9** – Colocação do *SIM Card* (chip) no modem GSM do receptor GRX1

#### 3.4.1 Configuração do receptor GNSS para receber as correções RTK / NTRIP

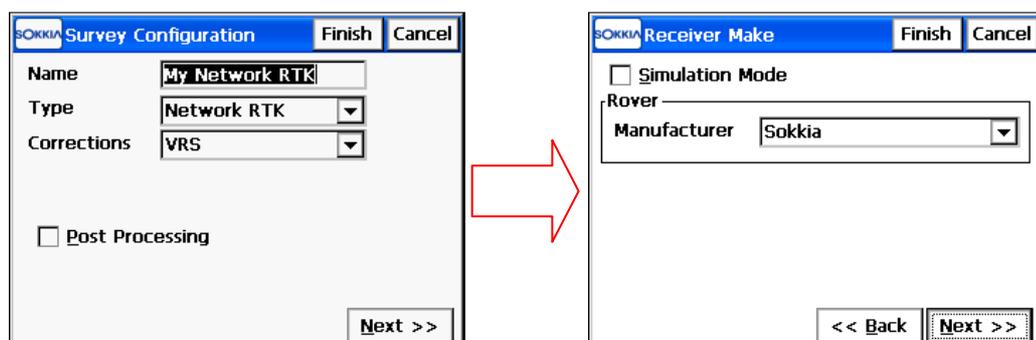
Para a coleta dos dados RTK foi utilizado a coletora SHC 250, sendo necessário seguir uma sequência de configuração para acessar a rede RTK pela telefonia móvel, isto foi feito pelo software *Spectrum Survey Field* (SSF) instalado na coletora de dados.

Inicialmente foi criada uma obra na coletora de dados SHC 250 por meio do software SSF, a seguir clicou-se nos ícones *Configure* > *Survey* para estabelecer as configurações de medição pelo método RTK / NTRIP (Figura 10).



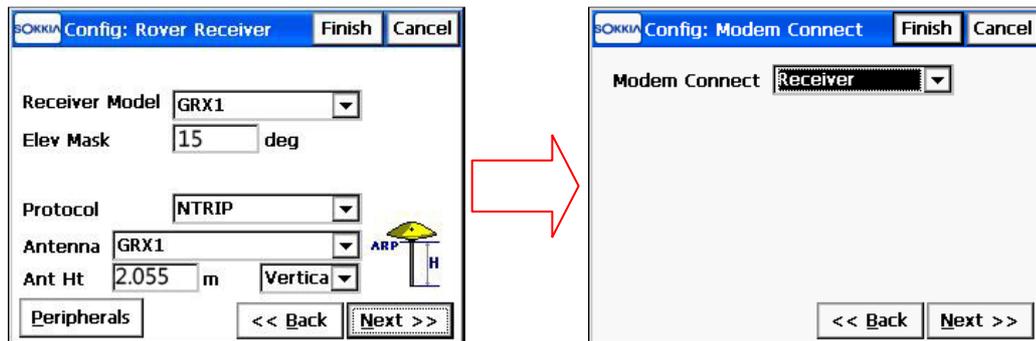
**Figura 10** – Ícones de acesso a configuração do levantamento RTK via NTRIP no software SSF.

Após acessar a página de configuração para as medições RTK / NTRIP, teve-se início à configuração da rede RTK, onde foi atribuído um nome para rede e para o tipo de correção foi marcado estação de referência virtual (VRS). Na sequência avançou-se para tela seguinte marcando o fabricante do receptor móvel, no caso a Sokkia (Figura 11).



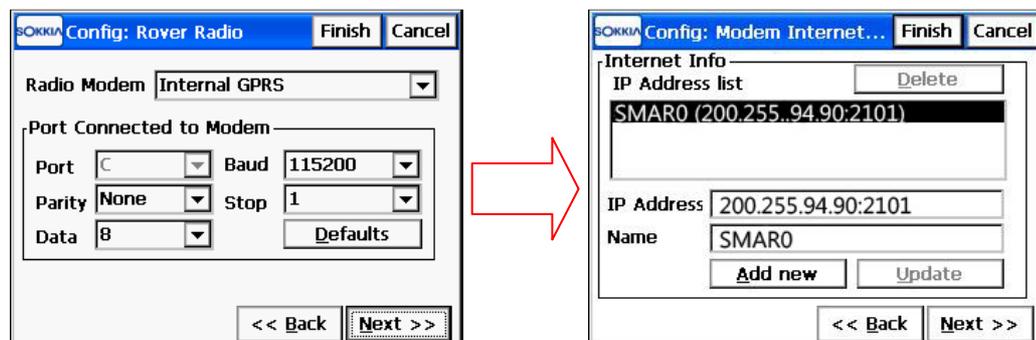
**Figura 11** – Configuração da rede RTK no software SSF.

O próximo passo foi configurar o receptor móvel para receber as correções, para isto, selecionou-se o modelo GRX1, colocando-se uma máscara de elevação dos satélites de 15° (INCRA, 2010). Ainda foi marcado o protocolo NTRIP como formato para recebimento dos dados da estação de referência, além dos dados da antena do receptor utilizado (modelo, altura e forma de medida), também foi necessário marcar que o *modem* a ser usado seria o do receptor (Figura 12).



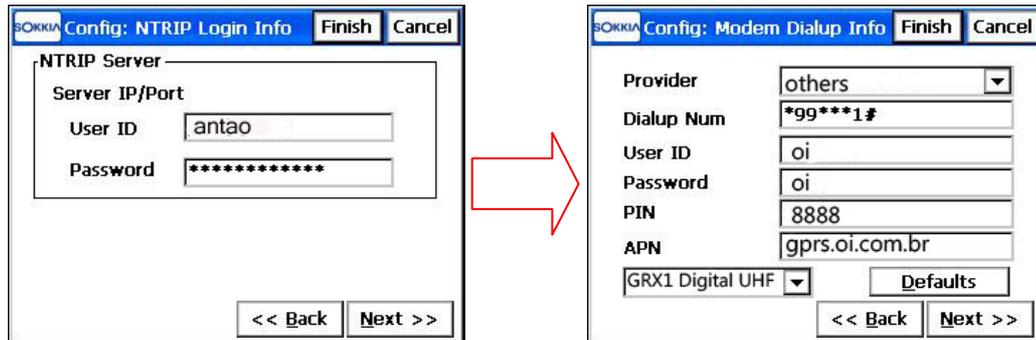
**Figura 12** – Configuração do receptor GRX1 e da antena

O rádio/modem do receptor GRX1 foi configurado com os seguintes parâmetros: modelo Internal GPRS, porta C e taxa de transmissão dos dados de 115200 bps. A seguir foi colocado o endereço do IP de acesso ao servidor do IBGE, de onde serão recebidas as correções da estação de referência de Santa Maria (SMAR), conforme a figura 13.



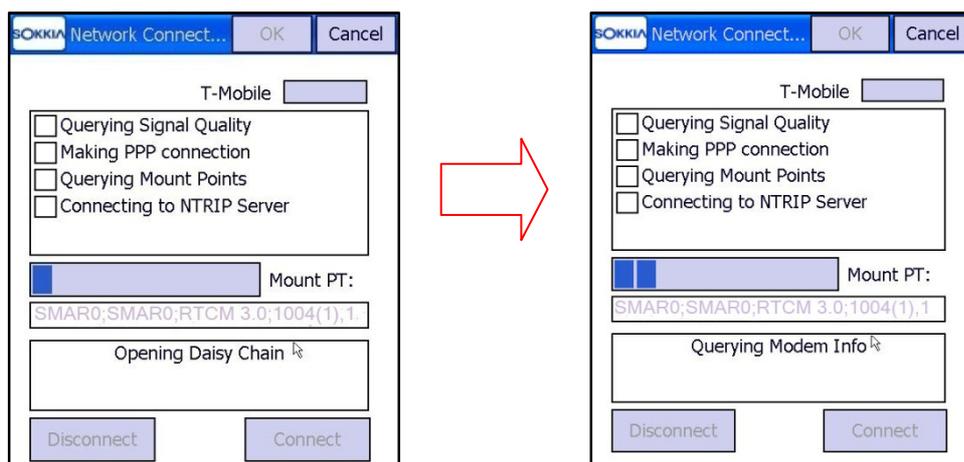
**Figura 13** – Configuração do rádio modem e do acesso ao servidor do IBGE.

A seguir entrou-se com o usuário e a senha, previamente cadastrada no *site* do IBGE. Após foram configurados os dados da operadora de telefonia móvel escolhida, neste caso a Oi (Figura 14).



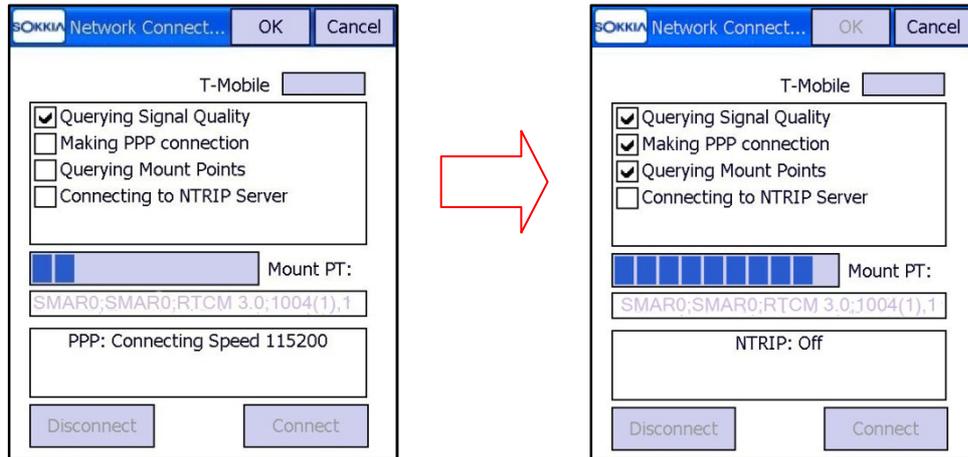
**Figura 14** – Configurando o acesso ao servidor e as informações da operadora

Escolheu-se a porta A para o rádio virtual e avançou-se para as telas mostradas na figura 15. Neste momento o receptor começa a entrar em sintonia com o servidor do IBGE, ocorrendo a consulta da qualidade do sinal.



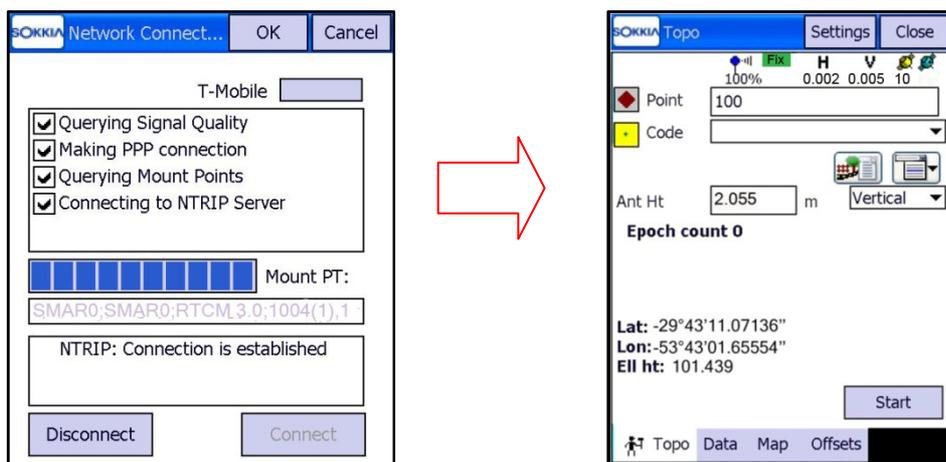
**Figura 15** – Início da conexão e consulta a qualidade do sinal.

Na sequência para que seja estabelecida a conexão com o servidor do IBGE, ocorreu uma comparação da taxa de transmissão dos dados, que deve ser de 115200 bps (Figura 16).



**Figura 16** – Evolução da tentativa de conexão com o servidor.

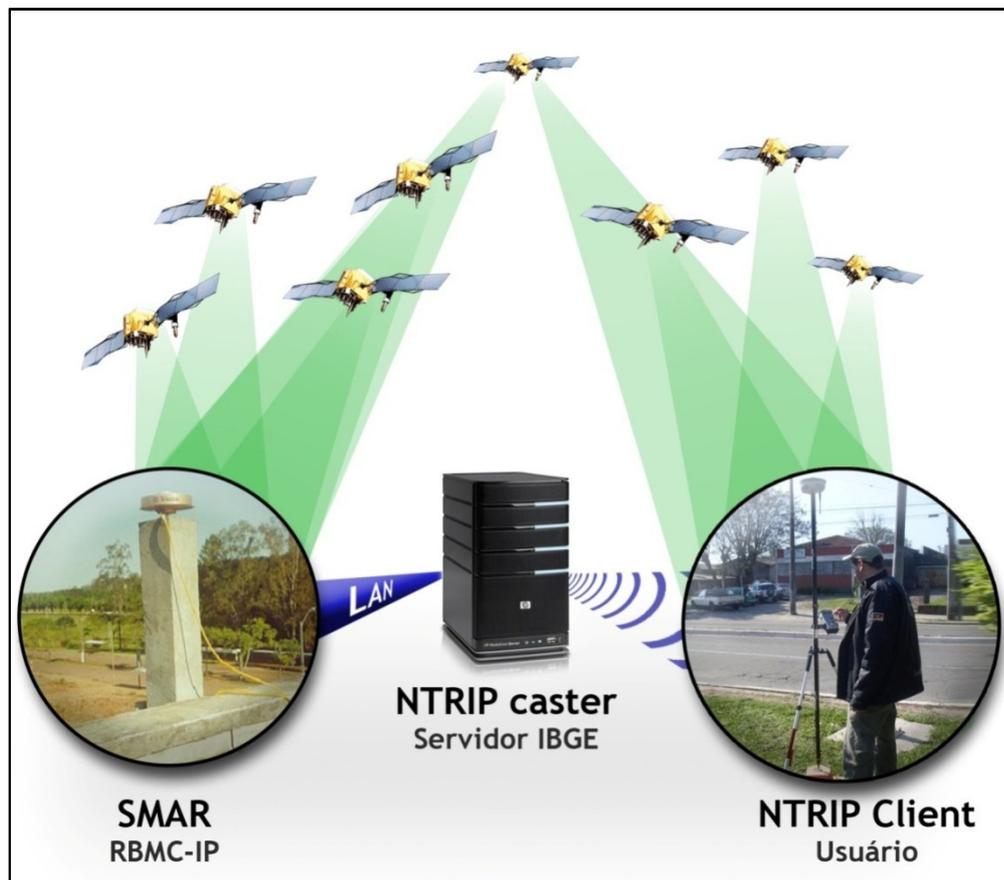
E por fim, após serem cumpridas todas as etapas, a conexão NTRIP foi estabelecida com o servidor do IBGE e o receptor móvel começou a receber as correções em tempo real e passou a gerar soluções fixas (Figura 17).



**Figura 17** – Conexão estabelecida com o servidor do IBGE e as correções recebidas

### 3.4.2 Coleta de dados a campo pelo metodo RTK / NTRIP

Realizadas as configurações necessárias para receber as correções RTK da estação de referência de Santa Maria (base) transmitidas pelo protocolo NTRIP via servidor do IBGE, o receptor GRX1 (móvel) passou a receber tais correções e a efetuar a resolução das ambiguidades por meio do software *Spectrum Survey Field* (SSF) instalado na coletora de dados SHC 250. A figura 18 mostra o esquema representativo do levantamento de dados RTK / NTRIP da estação PMSM-M11 usando a SMAR (RBMC-IP) como base.



**Figura 18** – Esquema representativo do levantamento RTK / NTRIP (RBMC-IP).  
Fonte: IBGE, 2009, adaptado pelo autor.

Para o cálculo das posições dos pontos levantados foram utilizados somente os sinais do sistema GPS, uma vez que, a estação de referencia SMAR só disponibiliza os dados RTCM 3.0 (1004, 1006 e 1008). As coordenadas de cada

ponto foram armazenadas no coletor SHC 250 em formato nativo *tsj* e em *txt*, sendo que, as mesmas foram determinadas para 5, 10, 30, 60 e 120 épocas, ou seja, o software *Spectrum Survey Field* realizou o cálculo da posição utilizando a média do número de épocas indicado. Também foram gerados arquivos em formato *Rinex* para cada observação efetuada nas diferentes épocas de rastreo. A instalação do receptor GRX1 em cada estação seguiu os mesmos cuidados e altura usados no método relativo estático.

### 3.5 Análise dos dados

Para analisar os dados obtidos pelas duas técnicas de posicionamento (relativo estático pós-processado e RTK / NTRIP) foram gerados tabelas e gráficos comparativos, a partir dos dados coletados com o receptor GNSS GRX1 em tempo real e os dados pós-processados no *software* Spectrum Survey Office (SSO). Deste modo, o posicionamento tridimensional (Latitude, Longitude e Altitude Geométrica) obtido pelos dados pós-processados no *software* SSO foi usado como referência, servindo de elemento de comparação com o posicionamento RTK / NTRIP, que utilizou diferentes épocas de rastreo (5, 10, 30, 60 e 120).

O erro de posicionamento planimétrico foi dado pela equação a seguir:

$$Ep = \sqrt{(\Delta E^2 + \Delta N^2)}$$

Onde:

$Ep$  - é o erro planimétrico do posicionamento ou acurácia horizontal;

$\Delta E$  - é a diferença entre a coordenada E determinada pelo posicionamento relativo estático PP (referência) em relação à coordenada E determinada pelo método RTK / NTRIP;

$\Delta N$  - é a diferença entre a coordenada N determinada pelo posicionamento relativo estático PP (referência) em relação à coordenada N determinada pelo método RTK / NTRIP.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Processamento dos dados de campo (coordenadas de referência)

Todos os pontos processados apresentaram solução fixa, isto é suas ambiguidades resultaram em valores inteiros. As tabelas 3 e 4 mostram os resultados obtidos no pós-processamento dos dados levantados a campo pelo método relativo estático, realizado no software *Spectrum Survey Office* (SSO).

Na tabela 3 observam-se as diferentes linhas de base e as coordenadas elipsoidais das estações levantadas pelo método relativo estático.

Tabela 3- Valores dos comprimentos de linha de base entre a estação de referência SMAR e as estações levantadas, coordenadas elipsoidais (Latitude e Longitude em graus) e Altitude Geométrica em metros das estações.

Estação	Comp. da linha de base (m)	Coordenadas elipsoidais		
		Latitude	Longitude	h (m)
UFSM-M031	104,395	29°43'11,07136"S	53°43'01,65554"W	101,439
PMSM-M19	1.825,901	29°42'08,96664"S	53°42'55,53149"W	100,074
IBGE-1792G	2.814,361	29°42'08,30517"S	53°41'40,63228"W	90,225
IBGE-91946	6.236,640	29°41'43,31792"S	53°46'30,31474"W	125,267
PMSM-M08	8.621,026	29°40'48,02497"S	53°47'37,21916"W	145,212
PMSM-M11	10.911,468	29°42'06,05114"S	53°49'39,20179"W	99,392
IBGE-1792T	13.991,901	29°41'41,05820"S	53°51'30,35602"W	107,069
PMSM-M07	15.282,079	29°42'26,94548"S	53°52'26,05017"W	117,298
JC-M1	54.037,056	29°14'01,09072"S	53°39'58,06504"W	511,014
IBGE-93975	120.536,319	28°38'08,30778"S	53°36'49,96114"W	479,958

A tabela 4 mostra as projeções tridimensionais (x, y e z) e seus respectivos desvios padrões. Obtidos pelo pós-processamento dos vetores de linha de base no software *Spectrum Survey Office* (SSO).

Tabela 4- Valores das projeções de cada linha base formada entre a estação levantada e a estação de referência SMAR e seus respectivos desvios padrões.

Estação	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\delta X$ (m)	$\delta Y$ (m)	$\delta Z$ (m)
UFSM-M031	-74,209	13,872	-72,977	0,001	0,001	0,001
PMSM-M19	-618,667	651,765	-1.588,596	0,001	0,001	0,001
IBGE-1792G	-2.242,355	-538,826	-1.611,168	0,006	0,008	0,005
IBGE-91946	3.793,096	4.399,526	-2.262,134	0,003	0,003	0,002
PMSM-M08	4.735,914	6.156,588	-3.731,330	0,005	0,007	0,004
PMSM-M11	8.108,857	7.100,427	-1.666,912	0,007	0,011	0,007
IBGE-1792T	10.292,615	9.176,656	-2.331,592	0,005	0,006	0,006
PMSM-M07	11.909,377	9.501,270	-1.099,213	0,018	0,027	0,016
JC-M1	-19.823,102	18.711,268	-46.634,680	0,020	0,024	0,017
IBGE-93975	-42.922,041	41.494,080	-104.659,171	0,028	0,038	0,023

É possível observar na tabela 4 que todos os vetores processados obtiveram precisões (desvios padrões) compatíveis com a precisão do equipamento utilizado.

A figura 19 apresenta o mapa com a distribuição dos vetores processados no software SSO para as oito estações levantadas no município de Santa Maria.

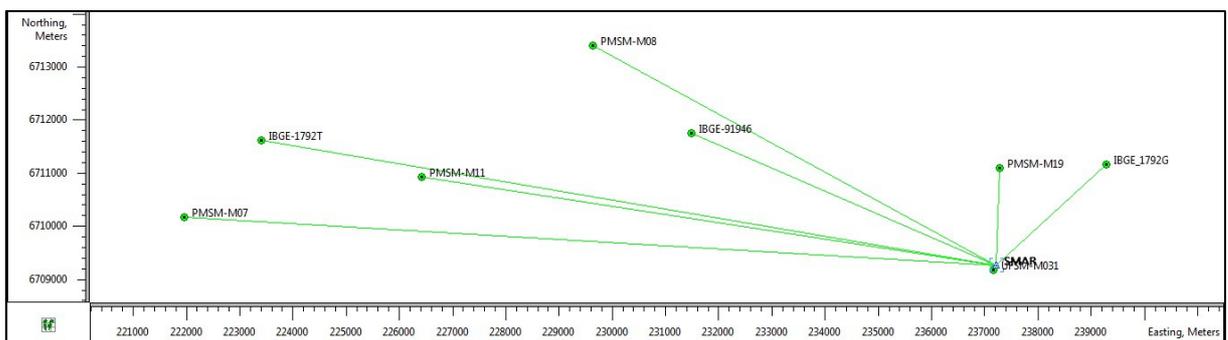


Figura 19 – Vetores processados no software *Spectrum Survey Office* (SSO).

## 4.2 Avaliação da precisão do posicionamento RTK / NTRIP.

Em relação ao posicionamento RTK / NTRIP, cabe mencionar, que no levantamento de campo o tempo de convergência da solução, ou seja, o tempo decorrido desde que o receptor móvel iniciou o recebimento das correções até atingir à solução fixa ou *float* foi inferior a 1 minuto para todas as estações levantadas. Sendo que, nove estações obtiveram soluções inteiras com as ambiguidades resolvidas e apenas a estação IBGE-93975 no município de Cruz Alta apresentou solução *float* (solução sem resolução das ambiguidades). Outro fator importante a ser considerado neste levantamento é o tempo de latência que oscilou de 1 a 2 segundos. Para realizar a comparação foram elaboradas tabelas que apresentam os valores das coordenadas planas cartográficas (UTM) obtidas pelos dois métodos de posicionamento GNSS, no Datum SIRGAS 2000. A tabela 5 apresenta na primeira coluna as estações levantadas, na segunda e terceira colunas aparecem os valores das coordenadas planas UTM obtidas pelo método de posicionamento GPS relativo estático pós-processado (PP), na quarta e quinta colunas aparecem os valores de coordenadas planas UTM obtidas em tempo real pelo método de posicionamento RTK / NTRIP e levantadas com uma taxa de 5 épocas, e na sexta coluna é apresentada os valores de acurácia horizontal do método RTK / NTRIP.

Tabela 5- Comparação entre os métodos Estático PP e RTK / NTRIP com a média de 5 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.

Estação levantada	Estático PP (Testemunha)		RTK - NTRIP (5 épocas)		Acurácia Horiz. (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	
UFSM-M031	237155,762	6709177,606	237155,759	6709177,602	0,005
PMSM-M19	237275,426	6711094,079	237275,422	6711094,077	0,004
IBGE-1792G	239288,685	6711161,593	239288,682	6711161,588	0,006
IBGE-91946	231481,709	6711746,781	231481,699	6711746,804	0,025
PMSM-M08	229641,578	6713406,314	229641,557	6713406,280	0,040
PMSM-M11	226419,868	6710923,532	226419,871	6710923,544	0,012
IBGE-1792T	223412,139	6711619,731	223412,119	6711619,737	0,021
PMSM-M07	221949,681	6710169,327	221949,686	6710169,316	0,012
JC-M1	240856,042	6763183,116	240856,042	6763183,120	0,004
IBGE-93975	244472,504	6829586,571	244472,647	6829586,203	0,395

Na tabela 5 nota-se que o maior erro planimétrico ocorreu na estação IBGE-93975 (0,395 m ), isto aconteceu porque o tipo de solução foi *float* (flutuante) no posicionamento RTK / NTRIP para esta estação, devido ao comprimento da linha de base que foi superior a 120 km. Na medida em que o comprimento da linha de base aumenta, as condições de rastreamento começam a diferir e os erros atmosféricos se acumulam, dificultando a resolução das ambigüidades (STEWART, 2001).

A estação PMSM-M08 também merece destaque, pois apresentou um erro planimétrico (acurácia horizontal) de 0,04 m, embora a linha de base fosse inferior a 5 km e a solução tenha sido *fix* (fixa), isto pode ter ocorrido devido ao efeito do multicaminho causado por uma rede elétrica localizada praticamente sobre a estação. O efeito do multicaminho pode produzir falhas no processamento de modo que este resolva erroneamente uma ambigüidade. No algoritmo matemático para resolução de ambigüidades, parte dos testes estatísticos que aceitam um conjunto de ambigüidades como sendo corretas assume que todos os erros associados aos dados têm distribuição normal, o que não é o caso se erros sistemáticos provenientes do efeito multicaminho estiverem presentes nos dados (STEWART, 2001). Cabe salientar que a escolha da estação PMSM-M08 para este trabalho, embora esta oferecesse condições desfavoráveis para rastreamento, se deve ao fato desta representar uma situação comum para a maioria dos levantamentos topográficos.

As tabelas 6, 7, 8 e 9 apresentam a mesma estrutura de distribuição dos dados da tabela 5, com exceção do número de épocas, que é de 10, 30, 60 e 120 respectivamente.

Na tabela 6 é possível notar que os maiores erros planimétricos ainda continuam a ser das estações IBGE-93975 (0,344 m) e PMSM-M08 (0,041 m), apesar do aumento do número de épocas rastreadas.

Tabela 6- Comparação entre os métodos Estático PP e RTK / NTRIP com a média de 10 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.

Estação levantada	Estático PP (Testemunha)		RTK - NTRIP (10 épocas)		Acurácia Horiz. (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	
UFSM-M031	237155,762	6709177,606	237155,757	6709177,607	0,005
PMSM-M19	237275,426	6711094,079	237275,423	6711094,070	0,009
IBGE-1792G	239288,685	6711161,593	239288,685	6711161,589	0,004
IBGE-91946	231481,709	6711746,781	231481,701	6711746,798	0,019
PMSM-M08	229641,578	6713406,314	229641,552	6713406,282	0,041
PMSM-M11	226419,868	6710923,532	226419,883	6710923,534	0,015
IBGE-1792T	223412,139	6711619,731	223412,122	6711619,729	0,017
PMSM-M07	221949,681	6710169,327	221949,680	6710169,319	0,009
JC-M1	240856,042	6763183,116	240856,037	6763183,122	0,008
IBGE-93975	244472,504	6829586,571	244472,643	6829586,256	0,344

Tabela 7- Comparação entre os métodos Estático PP e RTK / NTRIP com a média de 30 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.

Estação levantada	Estático PP (Testemunha)		RTK - NTRIP (30 épocas)		Acurácia Horiz. (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	
UFSM-M031	237155,762	6709177,606	237155,759	6709177,601	0,006
PMSM-M19	237275,426	6711094,079	237275,426	6711094,060	0,019
IBGE-1792G	239288,685	6711161,593	239288,681	6711161,590	0,005
IBGE-91946	231481,709	6711746,781	231481,697	6711746,801	0,023
PMSM-M08	229641,578	6713406,314	229641,559	6713406,279	0,040
PMSM-M11	226419,868	6710923,532	226419,881	6710923,527	0,014
IBGE-1792T	223412,139	6711619,731	223412,120	6711619,730	0,019
PMSM-M07	221949,681	6710169,327	221949,683	6710169,321	0,007
JC-M1	240856,042	6763183,116	240856,033	6763183,119	0,009
IBGE-93975	244472,504	6829586,571	244472,658	6829586,486	0,176

Na tabela 7, apesar do método RTK / NTRIP estar usando a média de 30 épocas para determinar as coordenadas das estações, ainda se manteve o erro planimétrico de 0,04 m na estação PMSM-M08. Já na estação IBGE-93975 há uma

redução do erro para 0,176 m, todavia isto deve ser visto com cautela, pois não houve resolução das ambiguidades (solução *float*) para esta estação.

Tabela 8- Comparação entre os métodos Estático PP e RTK / NTRIP com a média de 60 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.

Estação levantada	Estático PP (Testemunha)		RTK - NTRIP (60 épocas)		Acurácia Horiz. (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	
UFSM-M031	237155,762	6709177,606	237155,758	6709177,602	0,006
PMSM-M19	237275,426	6711094,079	237275,419	6711094,062	0,018
IBGE-1792G	239288,685	6711161,593	239288,683	6711161,594	0,002
IBGE-91946	231481,709	6711746,781	231481,698	6711746,795	0,018
PMSM-M08	229641,578	6713406,314	229641,566	6713406,286	0,030
PMSM-M11	226419,868	6710923,532	226419,870	6710923,524	0,008
IBGE-1792T	223412,139	6711619,731	223412,123	6711619,724	0,017
PMSM-M07	221949,681	6710169,327	221949,689	6710169,330	0,006
JC-M1	240856,042	6763183,116	240856,034	6763183,117	0,008
IBGE-93975	244472,504	6829586,571	244472,677	6829586,863	0,339

Tabela 9- Comparação entre os métodos Estático PP e RTK / NTRIP com a média de 120 épocas, nas diferentes estações e a suas respectivas acurácias horizontais.

Estação levantada	Estático PP (Testemunha)		RTK - NTRIP (120 épocas)		Acurácia Horiz. (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	
UFSM-M031	237155,762	6709177,606	237155,757	6709177,605	0,005
PMSM-M19	237275,426	6711094,079	237275,419	6711094,065	0,016
IBGE-1792G	239288,685	6711161,593	239288,686	6711161,590	0,003
IBGE-91946	231481,709	6711746,781	231481,705	6711746,791	0,011
PMSM-M08	229641,578	6713406,314	229641,582	6713406,300	0,015
PMSM-M11	226419,868	6710923,532	226419,878	6710923,529	0,010
IBGE-1792T	223412,139	6711619,731	223412,125	6711619,723	0,016
PMSM-M07	221949,681	6710169,327	221949,674	6710169,330	0,009
JC-M1	240856,042	6763183,116	240856,037	6763183,114	0,005
IBGE-93975	244472,504	6829586,571	244472,659	6829586,886	0,351

Na tabela 8, onde foi usada uma média de 60 épocas no posicionamento RTK / NTRIP houve uma redução do erro planimétrico da estação PMSM-M08 para 0,03 m. Redução maior ainda ocorreu na Tabela 9, onde o erro na estação PMSM-M08 baixo para 0,015 m. Evidenciando que em condições desfavoráveis de rastreo (multicaminho) a acurácia aumenta a medida que o número de épocas também aumenta.

Para a estação IBGE-93975 no município de Cruz Alta os erros voltaram a aumentar para 0,339 m (Tabela 8) e 0,351 m (Tabela 9), revelando a instabilidade e a falta de confiabilidade nas soluções tipo *float* (flutuante), pois não houve a resolução das ambiguidades para esta estação.

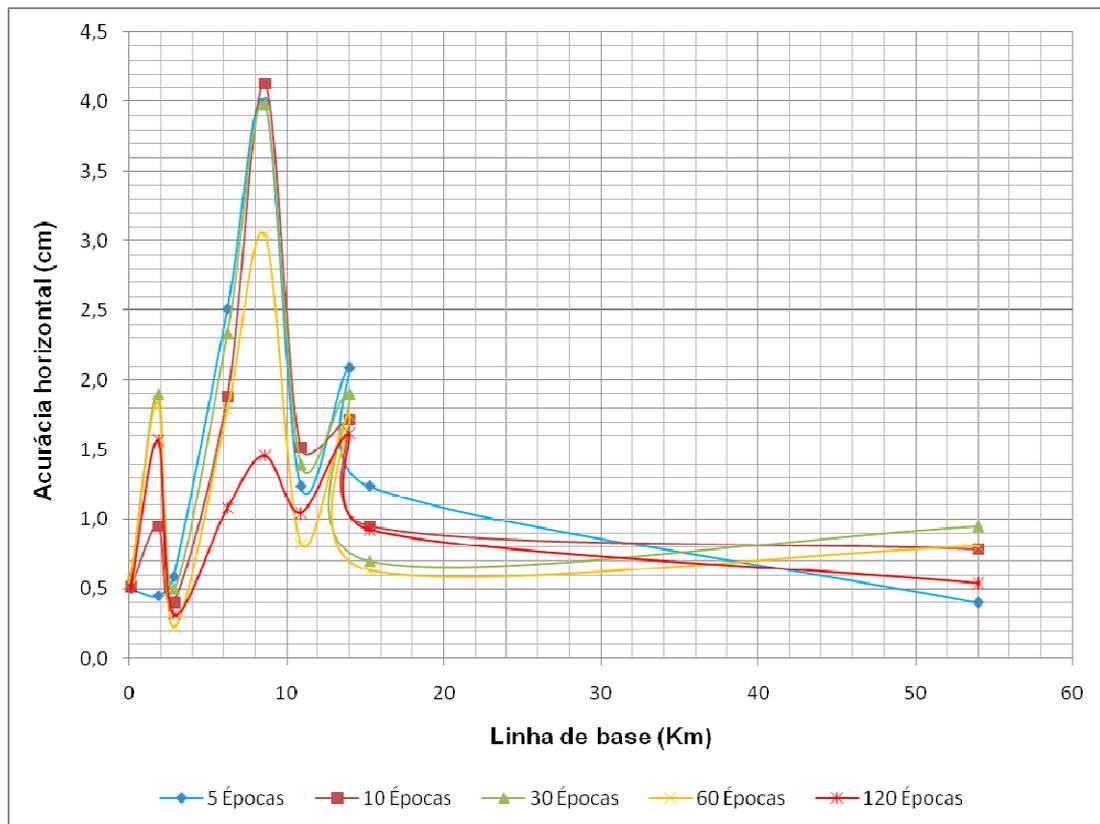
A tabela 10 apresenta na primeira coluna as estações levantadas, na segunda coluna aparecem os comprimentos da linha de base, na terceira coluna aparecem as acurácias horizontais para o rastreo de 5 épocas no método RTK / NTRIP, da quarta a sexta coluna aparecem as acurácias horizontais para o rastreo de 10, 30, 60 e 120 épocas no método RTK / NTRIP respectivamente. Esta tabela apresenta ainda, a média e o desvio padrão da acurácia horizontal obtida para diferentes números de épocas rastreadas.

Tabela 10- Comparação entre as acurácias horizontais obtidas por diferentes números de épocas de rastreo para o posicionamento RTK / NTRIP.

Estação levantada	Linha de base (m)	Acurácia Horizontal (m)				
		5 épocas	10 épocas	30 épocas	60 épocas	120 épocas
UFSM-M031	104,395	0,005	0,005	0,006	0,006	0,005
PMSM-M19	1.825,901	0,004	0,009	0,019	0,018	0,016
IBGE-1792G	2.814,361	0,006	0,004	0,005	0,002	0,003
IBGE-91946	6.236,640	0,025	0,019	0,023	0,018	0,011
PMSM-M08	8.621,026	0,040	0,041	0,040	0,030	0,015
PMSM-M11	10.911,468	0,012	0,015	0,014	0,008	0,010
IBGE-1792T	13.991,901	0,021	0,017	0,019	0,017	0,016
PMSM-M07	15.282,077	0,012	0,009	0,007	0,006	0,009
JC-M1	54.037,056	0,004	0,008	0,009	0,008	0,005
Média		0,014	0,014	0,016	0,013	0,010
Desvio padrão		0,012	0,011	0,011	0,008	0,005

Na elaboração da tabela 10 não foi incluída a estação IBGE-93975, localizada a 120.536,00 m da estação de referência (SMAR), por se tratar da única estação que apresentou solução *float* (não houve resolução das ambiguidades), o que torna os seus dados pouco confiáveis para uso na comparação.

De acordo com os valores do erro de posicionamento planimétrico (acurácia horizontal), que podem ser vistos na tabela 10, o método RTK / NTRIP que utilizou a média de 120 épocas apresentou o menor erro de posicionamento planimétrico (média de 0,01 m) e a melhor precisão (desvio padrão de 0,005 m). Também é possível salientar que para os demais números de épocas testadas 5, 10, 30 e 60 o erro planimétrico médio foi inferior a 0,017 m e a precisão melhor que 0,013 m para as nove estações rastreadas. Na figura 20 são apresentadas as acurácias horizontais (erros planimétricos) para cada estação levantada pelo método RTK / NTRIP utilizando diferentes números de épocas.



**Figura 20** – Comparação dos valores de acurácia horizontal do método RTK / NTRIP em relação ao comprimento da linha de base.

Verifica-se na figura 20, que ocorre uma oscilação nas acurácias horizontais, não sendo possível determinar claramente uma tendência de aumento dos erros planimétricos conforme aumenta o comprimento da linha de base, o que seria de se esperar. Este tipo de oscilação nos erros planimétricos também aparece no trabalho publicado por Junior e Krueger (2007, p.141), para linhas de base de até 15 km usando o método RTK com *link* de rádio. Porém nota-se claramente que o pico de erro planimétrico está relacionado à estação PMSM–M08 com linha de base de 8.621,026 metros, que sobre os efeitos do multicaminho.

A tabela 11 apresenta na primeira coluna as estações levantadas, na segunda coluna aparecem os valores das altitudes geométricas determinadas pelo método relativo estático usado como referência, na terceira, quarta, quinta, sexta e sétima colunas aparecem os valores das altitudes geométricas determinadas pelo método de posicionamento RTK / NTRIP para diferentes números de épocas, 5, 10, 30, 60 e 120 respectivamente.

Tabela 11- Valores das altitudes geométricas (h), em metros, das estações levantadas, determinado pelo método estático PP e pelo método RTK / NTRIP para a média de 5, 10, 30, 60 e 120 épocas.

Estação levantada	Estático PP h (m)	RTK – NTRIP (número de épocas)				
		5 h (m)	10 h (m)	30 h (m)	60 h (m)	120 h (m)
UFSM–M031	101,439	101,443	101,441	101,443	101,440	101,438
PMSM–M19	100,074	100,073	100,079	100,085	100,075	100,072
IBGE-1792G	90,225	90,238	90,225	90,228	90,228	90,229
IBGE–91946	125,267	125,258	125,256	125,250	125,239	125,250
PMSM–M08	145,212	145,204	145,205	145,210	145,195	145,198
PMSM-M11	99,392	99,375	99,395	99,386	99,393	99,414
IBGE–1792T	107,069	107,054	107,044	107,038	107,030	107,043
PMSM–M07	117,298	117,226	117,215	117,227	117,238	117,230
JC-M1	511,014	510,972	510,959	510,966	510,956	510,968
IBGE-93975	479,958	479,323	479,310	479,650	480,463	480,532

A tabela 12 apresenta na primeira coluna as estações levantadas, na segunda, terceira, quarta e quinta colunas aparecem os valores das acurácias verticais obtidas para as altitudes geométricas levantadas respectivamente para 5, 10, 30, 60 e 120

épocas pelo método RTK / NTRIP, respectivamente, sendo que a referência utilizada para comparação dos dados foi às altitudes geométricas determinadas pelo método relativo estático. Na elaboração desta tabela foi excluída a estação IBGE-93975, por se tratar da única estação que não apresentou solução fixa (resolução das ambiguidades inteiras).

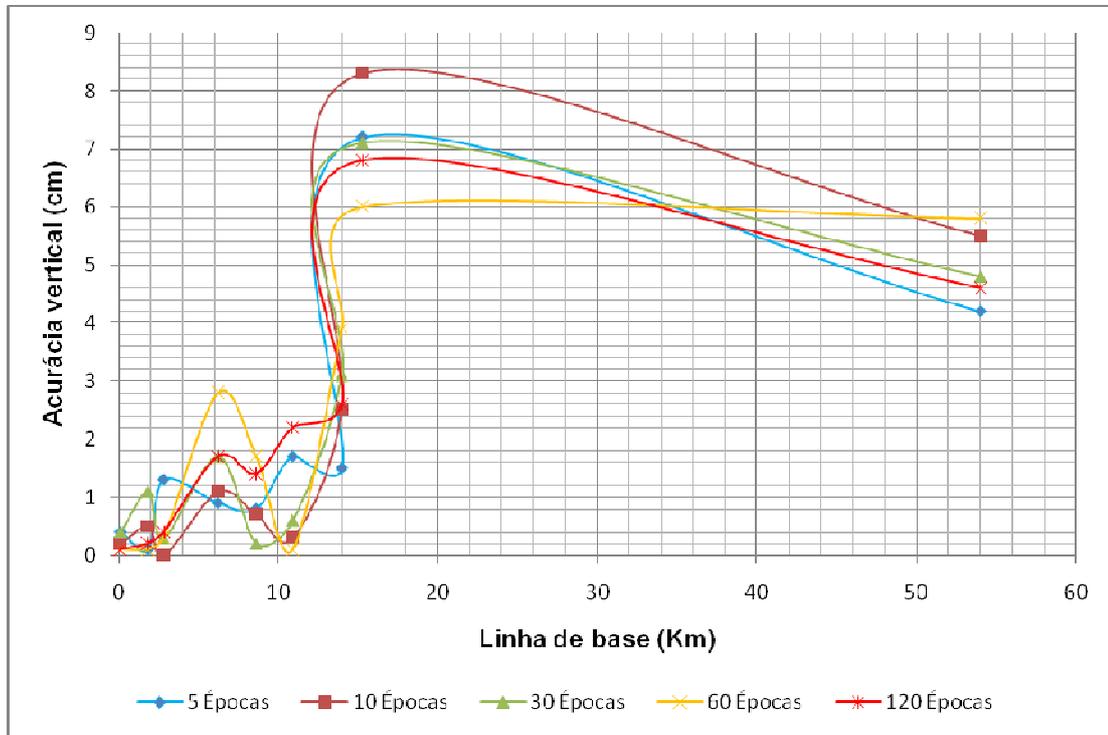
Tabela 12- Comparação entre as acurácias verticais obtidas por diferentes números de épocas de rastreo para o posicionamento RTK / NTRIP.

Estação levantada	Acurácia vertical (número de épocas)				
	5 $\Delta h$ (m)	10 $\Delta h$ (m)	30 $\Delta h$ (m)	60 $\Delta h$ (m)	120 $\Delta h$ (m)
UFSM-M031	0,004	0,002	0,004	0,001	0,001
PMSM-M19	0,001	0,005	0,011	0,001	0,002
IBGE-1792G	0,013	0,000	0,003	0,003	0,004
IBGE-91946	0,009	0,011	0,017	0,028	0,017
PMSM-M08	0,008	0,007	0,002	0,017	0,014
PMSM-M11	0,017	0,003	0,006	0,001	0,022
IBGE-1792T	0,015	0,025	0,031	0,039	0,026
PMSM-M07	0,072	0,083	0,071	0,060	0,068
JC-M1	0,042	0,055	0,048	0,058	0,046
Média	0,020	0,021	0,021	0,023	0,022
Desvio padrão	0,021	0,027	0,023	0,023	0,021

De acordo com os valores das acurácias verticais, que podem ser vistas na tabela 12, o método RTK / NTRIP que utilizou a média de 5 épocas apresentou a melhor acurácia vertical (média de 0,02 m) e também a melhor precisão (desvio padrão de 0,021 m), embora os resultados alcançados pelos demais métodos tenham sido muito próximos.

Na figura 21 são apresentadas as acurácias verticais para cada estação levantada pelo método RTK / NTRIP utilizando diferentes números de épocas. Verifica-se uma tendência de aumento dos erros verticais conforme aumenta o

comprimento da linha de base, principalmente na faixa de 0 a 15 km, onde está concentrado o maior número de estações levantadas.



**Figura 21** – Comparação dos valores de acurácia vertical do método RTK / NTRIP em relação ao comprimento da linha de base.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia adotada para avaliar a precisão do posicionamento GPS pelo método RTK / NTRIP (RBMC-IP) e levando em consideração a análise dos resultados e as condições em que o trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

No posicionamento RTK / NTRIP independente do número de épocas utilizadas foi possível alcançar a resolução das ambiguidades até a linha de base de 54,03 km. Na medida em que o comprimento da linha de base aumenta as condições atmosféricas começam a diferir entre as estações, dificultando a resolução das ambigüidades. Os valores de acurácia obtidos pelo método RTK / NTRIP para as nove estações que tiveram solução fixa, não apresentaram diferença superior a 0,041 m na componente horizontal e 0,083 m na vertical.

Dentre os diferentes números de épocas estudados para o método RTK / NTRIP neste trabalho, o que apresentou o menor erro médio e menor desvio padrão para a componente horizontal foi o de 120 épocas. Também é possível salientar que para os demais números de épocas testadas 5, 10, 30 e 60 o erro planimétrico médio foi inferior a 0,017 m e o desvio padrão menor que 0,013 m para as nove estações que tiveram solução fixa. Para a componente vertical o melhor resultado foi alcançado com o número de 5 épocas rastreadas, que apresentou a melhor acurácia vertical (média de 0,02 m) e o menor desvio padrão (0,021 m), embora os resultados obtidos para as demais épocas tenham sido muito próximos.

Em condições menos favoráveis ao rastreamento dos sinais GPS como na estação PMSM-M08 atingida pelos efeitos do multicaminho, o maior número de épocas favoreceu o aumento da acurácia tridimensional das coordenadas.

Levando em consideração as comparações realizadas neste trabalho e os resultados obtidos, recomenda-se o posicionamento RTK utilizando correções diferenciais transmitidas pelo NTRIP (RBMC- IP) para os locais providos por Internet *wireless* ou serviços de telefonia celular tais como, GPRS, GSM e 3G, como uma poderosa ferramenta para execução de levantamentos planialtimétricos cadastrais.

Recomenda-se também que outros trabalhos sejam conduzidos, buscando explorar as potencialidades do posicionamento RTK / NTRIP, utilizando um número maior de estações de referência (RTK em rede), incluindo o sistema de

posicionamento GLONASS e avaliando os efeitos das redes elétricas (multicaminho) no posicionamento RTK / NTRIP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. B. M. **Posicionamento geodésico utilizando o conceito de estações virtuais**. 2008. 166f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

ALVES, D. B. M., MONICO, J.F.G., Geração de dados GPS de pseudodistância para uma estação virtual: métodos, implementação e análise dos resultados. **Pesquisas em Geociências**, v. 37, n. 1, p. 3 -12, 2010.

BARBOSA, E. M. et al. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.16, n. 04 p.589-605, 2010.

BRIONES, A.B., **Análise do posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro**, 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

BROWN, N.; KEENAN,R.; RICHTER,B.;TROYER,L. Advances in ambiguity resolution for RTK applications using the new RTCM 3.0 Master-Auxiliary messages. In: Institute of Navigation GNSS 2005, Long Beach. **Proceedings...**2005.

CAMARGO, O. P.; MONICO, J. F. G.; FERREIRA, L. D. D. Influência da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2000. Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: CIASC, 2000. p. 1-12.

CHEN, R.; LI, X.; WEBER, G. Test Results of an Internet RTK System Based on the NTRIP Protocol. Disponível em <[http://igs.bkg.bund.de/pdf/Chen\\_GNSS2004.pdf](http://igs.bkg.bund.de/pdf/Chen_GNSS2004.pdf)>. Acesso: 17 dez 2010.

CLARKE, J.E.H. A reassessment of vessel coordinate systems: what is it that we are really aligning? U.S. Hydrographic Conference, US HYDRO 2003, Mississippi. **Proceedings...**2003.

COSTA, S. M. A. et al. RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2., 2008. Recife. **Anais...** Pernambuco: SIMGEO, 2008.

DAI, L.; WANG, J.; RIZOS, C.; HAN, S. Predicting atmospheric biases for real-time ambiguity resolution in GPS/GLONASS reference station networks. **Journal of Geodesy**, Berlin v. 76 n. 11/12, p.617-628, 2003.

DALBELO, L. F. A. **DGPS em rede: Desenvolvimento e implantação via internet utilizando a Rede GNSS do Estado de São Paulo**. 2010. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente

EL-MOWAFY, A. Performance analysis of the RTK technique in an urban environment. **The Australian Surveyor**, v. 45, nº 1, pp. 47-54, Sydney, 2000.

FORTES, L. P. S. Especificações e normas gerais para levantamentos GPS. (versão preliminar). **Revista do geoprocessamento**. Curitiba, n. 05, p. 31 – 34, 1994.

FOTOPOULOS, G. **Parameterization of DGPS carrier phase errors over a regional network of reference stations**. 2000. 202f. Dissertação (MSc) – University of Calgary, Calgary.

GARNÉS, S.J.A., **Resolução das Ambiguidades GPS para Linhas de Base Curta: Análise dos Algoritmos de Otimização**, 204f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

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

GRUPO DE ESTUDO EM GEODÉSIA ESPACIAL (GEGE). Disponível em: <[http://gege.prudente.unesp.br/index\\_port.php?p=50](http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=50)>. Acesso em: 15 dez. 2010.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER H. & COLLINS J. **Global position system: theory and practice**. New York: Springer-Verlag Wien 1994. 355p

HOFMANN-WELLENHOF, B; LEGAT, K.; WIESER, M. **Navigation principles of positioning and guidance**. Wien: Springer-Verlag, 2003, 427 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Recomendações para levantamentos relativos estáticos - GPS**. Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Rede Brasileira de Monitoramento contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real – RBMC-IP. Rio de Janeiro, 2009, Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/ApresRBMC\\_IP.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/ApresRBMC_IP.pdf)  
Acesso em: 20 nov. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. 2ª edição, Brasília, 2010, 86p.

JUNIOR, J. F., KRUEGER, C. P. Posicionamento RTK empregando diferentes estações de referência. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 02, p.137-144, 2007.

KRUEGER, C. P. Integração do GPS e da Escobatimetria, **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.5, p.55-68, 1999.

LAMBERTI, L., DI LIETO, A., LAWRENCE RN, P. Positioning. In: INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **Manual on Hydrography**. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2005. 501p. p.33-118

LANGLEY, R. B. RTK GPS. **GPS World**, Oregon, v.9, n.9, p.70-76, 1998.

LAPUCHA, D. R., BARKER, L., Decimeter level real-time carrier phase positioning using satellite link. **Proceedings of Institute of Navigation 2001 International Technical Meeting**, 11-14 September, Salt Lake City, Utah, USA, pp.1624-1630.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004. 435 p.

LENZ, E. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) – Application and Benefit in Modern Survey Systems. In: FIG Working Week, Atenas, 2004. **Proceedings...**

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

MUNDOGEO. Primeiro satélite GPS do bloco modernizado IIF entra em operação. 2010 In: Portal Mundo Geo. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2010/08/31>  
Acesso em: 05 dez. 2010.

NORDEN, M. F., ARROYO-SUAREZ, E. N., NAJJAR, A. S. Hydrographic Surveys to IHO Standards without shore station using Real-Time Gipsy (RTG) Global Positioning System, U.S. Hydrographic Conference, US HYDRO 2005, San Diego, 2005. **Proceedings...**

PESSOA, L. M. C. GPS Rápido-estático: eficiência em levantamentos topográficos. Fator GIS **Revista de geoprocessamento**. Ed. Sagres, Curitiba - PR, n 16, p30., 1996.

PRADO, A., **Análise da Acurácia e da Correlação Espacial nas Técnicas DGPS e RTK**, 142f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

RAMOS, A. M. **Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso**. 2007. 221f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Rede Brasileira de Monitoramento contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real – RBMC-IP. In IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/> Acesso em: 10 dez. 2010.

Rede Brasileira de Monitoramento contínuo – RBMC. In IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmcpesq.shtm> Acesso em: 11 out. 2010.

REMONDI, B.W. Performing centimeter-level surveys in seconds with GPS carrier phase: initial results. **Journal of The Institute of Navigation**, v.32, n<sup>o</sup> 4, pp. 386-400, 1985.

REMONDI, B.W. et al. Results of Real-Time Testing of GPS Carrier Phase Ambiguity Resolution On-The-Fly, **ION GPS 92 Proceedings** of Sixth International Technical Meeting of The Satellite Division of Institute of Navigation, Albuquerque, p. 1053-1061, 1992.

RTCM STANDARD 10402.3, **Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service version 2.3**, Alexandria, U.S.A. 2001.

RTCM STANDARD 10403.1, **Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services – Versoin 3**, Arlington, U.S.A. 2009.

RTCM STANDARD 10410.1, **Networked transport of RTCM via internet protocol (Ntrip) – Version 2.0**, Arlington, U.S.A. 2009.

SEBEM, E. et al. Caderno Didático: **Fundamentos de Cartografia e o Sistema de Posicionamento Global GPS**. Santa Maria, Colégio Politécnico da UFSM, 2010. 205p.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993, 192p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. 2.ed. Berlin: Walter de Gruyter.,2003. 589p.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS – Sistema de posicionamento global**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 1998. 181p.

SILVA, N. C. C., SANTOS, M. C., OLIVEIRA L. C. Estudo comparativo sobre o efeito da refração troposférica no posicionamento geodésico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 3., 1998. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CIASC, 1998. P. 1-11.

SOKKIA. **GRX1 Operator's Manual**. Kansas, U.S.A. 2010. 128p

SOKKIA. **Spectrum Survey Field software – Reference Manual**. Kansas, U.S.A 2009. 624p.

SOKKIA. **Spectrum Survey Office – Program Explanations**. Kansas, U.S.A 2009. 437p.

STEWART, M. Combined analysis of real-time kinematic GPS equipment and its users for height determination. **Journal of Surveying Engineering**, Perth, v. 127, n.2, p. 31-51, 2001.

TRIMBLE; Guidance and precision agriculture solutions for all seasons, all crops,all terrains, all vehicles. Portfolio 2010. Disponível em: < [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-376567/022503-078C-UK\\_Ag\\_Portfolio\\_BRO\\_0108\\_lr.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-376567/022503-078C-UK_Ag_Portfolio_BRO_0108_lr.pdf) >. Acesso em: 5 Dez. 2010.

WEBER, G. GEBHARD, H. KALAFUS, R. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) – IP-Streaming for Real-Time GNSS Applications. In: ION GNSS 2005, Long Beach, California. **Proceedings...** 2005.

WEBER, G. WAESER, C. DETTMERING, D. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol. Versão 1.0. **Published by Federal Agency for Cartography and Geodesy** (BKG), Frankfurt, Germany, 2006.

WILLGALIS, S.; SEEBER, G.; KRUEGER, C. P.; ROMÃO, V. M. C. (2002). A real time reference network for Recife, Brazil, enabling precise and reliable cadastral surveys. In: FIG XXII INTERNATIONAL CONGRESS, 2002, Washington, D.C. USA. **Presented paper**, p. 1-14.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – Planilha dos vetores levantados pelo método RTK / NTRIP**

(continua)

Software SSO - Planilha dos vetores levantados pelo método RTK / NTRIP

<b>Vetores</b>	<b>dN (m)</b>	<b>dE (m)</b>	<b>dHt (m)</b>	<b>Horz RMS (m)</b>	<b>Vert RMS (m)</b>
SMAR-IBGE-1792G_5	1892,060	2083,435	-20,772	0,013	0,014
SMAR-IBGE-1792G_10	1892,062	2083,438	-20,785	0,007	0,009
SMAR-IBGE-1792G_30	1892,063	2083,434	-20,781	0,003	0,005
SMAR-IBGE-1792G_60	1892,067	2083,436	-20,782	0,002	0,003
SMAR-IBGE-1792G_120	1892,062	2083,438	-20,781	0,002	0,002
SMAR-IBGE-1792T-5	2350,209	-13793,129	-3,956	0,010	0,022
SMAR-IBGE-1792T-10	2350,201	-13793,126	-3,966	0,007	0,016
SMAR-IBGE-1792T-30	2350,203	-13793,127	-3,972	0,004	0,009
SMAR-IBGE-1792T-60	2350,197	-13793,124	-3,980	0,003	0,006
SMAR-IBGE-1792T-120	2350,195	-13793,123	-3,967	0,002	0,004
SMAR-IBGE-91946-5	2477,276	-5723,548	14,249	0,006	0,013
SMAR-IBGE-91946-10	2477,271	-5723,547	14,246	0,004	0,010
SMAR-IBGE-91946-30	2477,274	-5723,550	14,240	0,003	0,006
SMAR-IBGE-91946-60	2477,268	-5723,549	14,230	0,002	0,004
SMAR-IBGE-91946-120	2477,263	-5723,542	14,241	0,001	0,003
SMAR-IBGE-93975_5	120316,675	7267,399	368,314	0,072	0,225
SMAR-IBGE-93975_10	120316,728	7267,396	368,300	0,048	0,147
SMAR-IBGE-93975_30	120316,959	7267,411	368,640	0,024	0,074
SMAR-IBGE-93975_60	120317,336	7267,430	369,453	0,016	0,047
SMAR-IBGE-93975_120	120317,358	7267,412	369,522	0,010	0,028
SMAR-JC-M1_5	53913,592	3650,795	399,963	0,015	0,032
SMAR-JC-M1_10	53913,595	3650,790	399,950	0,011	0,023
SMAR-JC-M1_30	53913,592	3650,785	399,956	0,006	0,013
SMAR-JC-M1_60	53913,589	3650,786	399,947	0,004	0,009
SMAR-JC-M1_120	53913,586	3650,790	399,918	0,003	0,007
SMAR-PMSM-M07-5	899,788	-15255,561	6,216	0,010	0,017
SMAR-PMSM-M07-10	899,792	-15255,567	6,206	0,007	0,012
SMAR-PMSM-M07-30	899,793	-15255,564	6,218	0,004	0,007
SMAR-PMSM-M07-60	899,802	-15255,558	6,228	0,003	0,005
SMAR-PMSM-M07-120	899,802	-15255,573	6,221	0,002	0,003
SMAR-PMSM-M07_5	899,804	-15255,555	6,280	0,012	0,027
SMAR-PMSM-M07_10	899,809	-15255,555	6,286	0,009	0,019
SMAR-PMSM-M07_30	899,806	-15255,558	6,292	0,005	0,011
SMAR-PMSM-M07_60	899,805	-15255,560	6,282	0,003	0,008
SMAR-PMSM-M07_120	899,812	-15255,564	6,283	0,002	0,006
SMAR-PMSM-M08-5	4136,753	-7563,690	34,194	0,008	0,013
SMAR-PMSM-M08-10	4136,755	-7563,695	34,196	0,006	0,009
SMAR-PMSM-M08-30	4136,751	-7563,688	34,201	0,003	0,005
SMAR-PMSM-M08-60	4136,758	-7563,681	34,186	0,002	0,004
SMAR-PMSM-M08_5	4136,813	-7563,660	34,191	0,007	0,014

(conclusão)

Software SSO - Planilha dos vetores levantados pelo método RTK / NTRIP

Vetores	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
SMAR-PMSM-M08_10	4136,813	-7563,672	34,167	0,005	0,010
SMAR-PMSM-M08_30	4136,813	-7563,678	34,156	0,003	0,006
SMAR-PMSM-M08_60	4136,811	-7563,679	34,146	0,002	0,004
SMAR-PMSM-M08_120	4136,803	-7563,675	34,141	0,001	0,003
SMAR-PMSM-M11-5	1653,998	-10785,372	-11,611	0,011	0,018
SMAR-PMSM-M11-10	1653,998	-10785,375	-11,620	0,008	0,013
SMAR-PMSM-M11-30	1653,998	-10785,369	-11,615	0,004	0,007
SMAR-PMSM-M11-60	1654,008	-10785,374	-11,597	0,003	0,005
SMAR-PMSM-M11-120	1654,009	-10785,392	-11,612	0,002	0,004
SMAR-PMSM-M11_5	1653,999	-10785,380	-11,610	0,002	0,003
SMAR-PMSM-M11_10	1654,006	-10785,365	-11,614	0,006	0,010
SMAR-PMSM-M11_30	1653,999	-10785,366	-11,624	0,003	0,006
SMAR-PMSM-M11_60	1653,996	-10785,377	-11,616	0,002	0,004
SMAR-PMSM-M11_120	1654,002	-10785,370	-11,595	0,002	0,003
SMAR-PMSM-M19_5	1824,550	70,174	-10,937	0,009	0,011
SMAR-PMSM-M19_10	1824,543	70,176	-10,930	0,007	0,008
SMAR-PMSM-M19_30	1824,532	70,179	-10,925	0,004	0,005
SMAR-PMSM-M19_60	1824,534	70,172	-10,935	0,003	0,003
SMAR-PMSM-M19_120	1824,537	70,171	-10,938	0,002	0,002
SMAR-UFSM-M031_5	-91,926	-49,488	-9,566	0,011	0,010
SMAR-UFSM-M031_10	-91,920	-49,490	-9,569	0,007	0,007
SMAR-UFSM-M031_30	-91,927	-49,488	-9,566	0,004	0,004
SMAR-UFSM-M031_60	-91,925	-49,489	-9,570	0,002	0,002
SMAR-UFSM-M031_120	-91,923	-49,490	-9,571	0,001	0,002

dN= diferença entre a coordenadas N da estação de referência e da estação levantada, dE= diferença entre a coordenadas E da estação de referência e da estação levantada, dHt= diferença horizontal entre a coordenadas da estação de referência e da estação levantada, Horz RMS= erro médio quadrático da posição horizontal e Vert RMS= erro médio quadrático da posição vertical.

**APÊNDICE B – Dados técnicos para configurar o *modem* GSM do receptor GNSS para as principais operadoras de telefonia celular do Brasil.**

Provedora de celular: *Claro*

APN: *claro.com.br*

User: *claro*

Password: *claro*

DialUp: *\*99\*\*\*1#*

Provedora de celular: *Vivo*

APN: *zap.vivo.com.br*

User: *vivo*

Password: *vivo*

DialUp: *\*99\*\*\*#*

Provedora de celular: *Oi*

APN: *gprs.oi.com.br*

User: *oi*

Password: *oi*

DialUp: *\*99\*\*\*#*

Provedora de celular: *Tim*

APN: *tim.br*

User: *tim*

Password: *tim*

DialUp: *\*99\*\*\*#*