

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

**INVESTIGAÇÕES SOBRE POSICIONAMENTOS  
PELO MÉTODO DGPS USANDO TRANSMISSÃO DAS  
CORREÇÕES DIFERENCIAIS PELO NTRIP E PELO  
RDS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Silvane Dias da Rosa Guterres**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

**INVESTIGAÇÕES SOBRE POSICIONAMENTOS PELO  
MÉTODO DGPS USANDO TRANSMISSÃO DAS  
CORREÇÕES DIFERENCIAIS PELO NTRIP E PELO RDS**

**por**

**Silvane Dias da Rosa Guterres**

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

**Orientador: Prof. Eno Darci Saatkamp**

**Santa Maria - RS, Brasil**

**2009**

**Guterres, Silvane Dias da Rosa**

**G983i**

Investigações sobre posicionamentos pelo método DGPS usando transmissão das correções diferenciais pelo NTRIP e pelo RDS / por Silvane Dias da Rosa Guterres; orientador Eno Darci Saatkamp. - Santa Maria, 2009.

98 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2009.

1. Geomática 2. DGPS 3. NTRIP 4. RDS 5. Correções diferenciais I. Saatkamp, Eno Darci II. Título

CDU: 528.02

Ficha catalográfica elaborada por  
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

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

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

**INVESTIGAÇÕES SOBRE POSICIONAMENTOS PELO MÉTODO  
DGPS USANDO TRANSMISSÃO DAS CORREÇÕES DIFERENCIAIS  
PELO NTRIP E PELO RDS**

elaborada por  
**Silvane Dias da Rosa Guterres**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Eno Darci Saatkamp, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Attus Pereira Moreira, Dr. (URI)**

**Jaime Freiberger Junior, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 20 de março de 2009.

Dedico este trabalho ao meu filho Arthur,  
cujos sorrisos e abraços são as fontes  
motivadoras da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

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

Ao professor Eno Darci Saatkamp a oportunidade de realização desta dissertação, a orientação, a revisão e as sugestões visando à realização de um trabalho de qualidade. Principalmente, a sua disponibilidade e o seu empenho para meu benefício. Exemplo de profissionalismo e dedicação. Sou grata por todos os momentos em que me ajudou.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geomática os ensinamentos.

Aos membros da comissão examinadora a contribuição neste trabalho.

Ao colega Luis o seu companheirismo, a sinceridade e a amizade. Ele possui qualidades que somente um amigo verdadeiro tem. Obrigada por estar sempre presente e disposto a me auxiliar.

Aos meus pais Aldacir e Odair a educação, o apoio e a oportunidade que me foi concedida. Sempre agindo sem medir esforços para meu bem estar. Agradeço-lhes de todo coração.

Ao meu irmão Alex a amizade e o carinho. Desejo que você seja muito feliz.

Ao meu amor Cristiano por ter sido meu verdadeiro parceiro em todos os momentos e a ajuda durante os períodos de desenvolvimento desta dissertação. Sempre auxiliando nos cuidados com nosso filho, sendo um “super pai”. Obrigada por ser meu amigo, companheiro, esposo, e simplesmente por eu poder contar com você.

Ao meu filho Arthur que veio ao mundo para nos encher de alegrias. Lindo da mãe, obrigada por você existir e ser muito mais do que eu sempre sonhei.

Enfim, agradeço aos que me auxiliaram de alguma forma na minha formação e nas trocas de experiências. Obrigada a todos.

“Não basta saber, é preciso aplicar.  
Não basta querer, é preciso fazer.”

Goethe

## RESUMO

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

### **INVESTIGAÇÕES SOBRE POSICIONAMENTOS PELO MÉTODO DGPS USANDO TRANSMISSÃO DAS CORREÇÕES DIFERENCIAIS PELO NTRIP E PELO RDS**

Autora: Silvane Dias da Rosa Guterres

Orientador: Eno Darci Saatkamp, Dr.

Data e Local de Defesa: Santa Maria, 20 de março de 2009.

O Sistema de Posicionamento Global (NAVSTAR-GPS) veio modernizar e permitir maior facilidade nos levantamentos relacionados às atividades que necessitam de posicionamento em tempo real. Este sistema é formado por uma constelação de satélites que envolvem a Terra fornecendo um serviço de posicionamento tridimensional durante 24 horas, informação de velocidade e tempo para seus utilizadores. Entretanto, certos fatores atmosféricos e outras fontes de erro podem afetar a precisão de receptores GPS. Desta forma, os usuários podem tornar os dados coletados mais precisos com o GPS Diferencial (DGPS). Ele consiste em uma rede de torres que recebem os sinais GPS e transmitem os sinais corrigidos por meio de transmissores de rádio. É eficaz para apoiar atividades nas quais se requer um posicionamento contínuo, em tempo real, onde são necessárias acurácias na ordem do metro (1 a 3 m). Tendo em vista que para ele é necessário um meio de comunicação para transmitir as correções diferenciais, e que a disponibilidade deste meio nem sempre existe de forma fácil e/ou econômica no Brasil, escolheu-se, para o desenvolvimento deste trabalho, o RDS (*Radio Data System*) e o NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) para tal finalidade, utilizando correções diferenciais transmitidas por meio do formato DGPSBRDS em sua implementação simplificada. Analisou-se estatisticamente e comparou-se precisão ou desvio padrão e acurácia ou média dos desvios absolutos de posicionamentos GPS com transmissão de correções diferenciais no formato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) com os levantamentos efetuados pelos dois sistemas: RDS e NTRIP. Também foram comparados os modos de posicionamento, o absoluto e o diferencial. Concluiu-se que pelo posicionamento diferencial obtêm-se resultados mais satisfatórios cuja estimativa de precisão variou de 1 a 3 m. O sistema que satisfaz os objetivos de precisão e acurácia foi o NTRIP, o qual permitiu obter coordenadas em tempo real com maior precisão.

Palavras-chave: DGPS; RDS; NTRIP



## **ABSTRACT**

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

### **INVESTIGATIONS ON THE POSITIONING METHOD USING DGPS CORRECTION OF TRANSMISSION BY NTRIP DIFFERENTIALS AND THE RDS**

Author: Silvane Dias da Rosa Guterres

Advisor: Eno Darci Saatkamp, Dr.

Date and Place of Defense: Santa Maria, march 20, 2009.

The Global Positioning System (Navstar-GPS) has modernized and allow greater ease in surveys related to activities that require placement in real time. This system consists of a constellation of satellites around the Earth providing a service for 24 hours three-dimensional positioning, velocity and time information to the users. However, certain atmospheric factors and other sources of error can affect the accuracy of GPS receivers. Thus, users can make more precise data collected with the Differential GPS (DGPS). It consists of a network of towers that receive the GPS signals and transmit the signals through fixed radio transmitters. It is effective to support activities which require continuous positioning in real time, which are required accuracies in the order of meters (1 to 3 m). In order for it be a medium to transmit the differential corrections, and the availability of this means there is not always easily and / or economic in Brazil, chose, for the development of this work, the RDS (Radio Data System) and NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) for this purpose, using differential corrections transmitted by the format in its implementation DGPSBRDS simplified. It was analyzed statistically and compared it precision and accuracy or standard deviation or mean absolute deviation of the GPS positions with transmission of differential corrections in the RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) with the surveys carried out by two systems: RDS and NTRIP. They also compared the methods of positioning, the absolute and differential. It was concluded that the differential positioning is obtained more satisfactory results with estimates of precision ranged from 1 to 3 m. The system met the goals of precision and accuracy was NTRIP, which has enabled coordinated in real time with greater accuracy.

Keywords: DGPS; RDS; NTRIP

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Tipos de mensagem RTCM .....	49
QUADRO 2 – Grupos RDS .....	56
QUADRO 3 – Modelo de resultados com o NTRIP .....	80
QUADRO 4 – Modelo de resultados com o RDS .....	81
QUADRO 5 – Comparativo NTRIP / RDS e absoluto / diferencial.....	88

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Modelos de receptores GPS.....	22
FIGURA 2 – Recessão espacial.....	24
FIGURA 3 – Segmentos do GPS .....	25
FIGURA 4 – Constelação dos satélites GPS .....	26
FIGURA 5 – Satélite GPS .....	26
FIGURA 6 – Distribuição dos satélites na constelação final .....	27
FIGURA 7 – Estações de Monitoração em Terra .....	28
FIGURA 8 – Determinação da distância por código .....	31
FIGURA 9 – Sinal emitido pelo satélite e réplica interna do receptor .....	32
FIGURA 10 – Efeito de Multicaminho .....	34
FIGURA 11 – Estação de referência DGPS .....	39
FIGURA 12 – Radiofaróis na costa brasileira .....	41
FIGURA 13 – Princípio básico do método GPS Diferencial .....	42
FIGURA 14 – Duas primeiras palavras de cada quadro de mensagem RTCM .....	51
FIGURA 15 – Palavras do quadro de mensagem RTCM tipo 1 .....	52
FIGURA 16 – Princípio para o posicionamento DGPS utilizando FM-RDS .....	54
FIGURA 17 – Espectro de radiodifusão FM estéreo com RDS .....	55
FIGURA 18 – Estrutura básica dos grupos do RDS .....	55
FIGURA 19 – Estrutura básica para o posicionamento DGPS utilizando FM-RDS ..	57
FIGURA 20 – Formato do protocolo para mensagens dos grupos ODA .....	59
FIGURA 21 – Estações da RBMC em operação .....	62
FIGURA 22 – Funcionamento do NTRIP .....	63
FIGURA 23 – Programação e simulações da implementação simplificada do DGPSBRDS Funcionamento do NTRIP .....	65
FIGURA 24 – Modulador RDS e transmissor de rádio FM .....	66

FIGURA 25 – Antena do transmissor FM no prédio .....	67
FIGURA 26 – Antena do transmissor de rádio FM .....	67
FIGURA 27 – Rastreamento do marco com receptor GPS L1 .....	68
FIGURA 28 – Marco do setor de Geodésia (MSG).....	68
FIGURA 29 – Receptor FM com demodulador RDS .....	69
FIGURA 30 – Receptores GPS idênticos, marca Garmin, modelo Etrex .....	70
FIGURA 31 – Diagrama esquemático da estrutura utilizada para investigações DGPS usando NTRIP e RDS .....	71
FIGURA 32 – Receptor GPS de duas frequências que serve como estação de referência .....	72
FIGURA 33 – Receptor GPS L1 e L2, Modulador RDS e Transmissor FM.....	73
FIGURA 34 – Tela de abertura do NTRIP CLIENT .....	75
FIGURA 35 – Tela com seleção da rede e estação de referência .....	75
FIGURA 36 – Tela <i>Broadcaster</i> .....	76
FIGURA 37 – Tela <i>Settings</i> .....	77
FIGURA 38 – Tela porta serial COM 1 .....	77
FIGURA 39 – Tela transferência dos dados .....	77
FIGURA 40 – Equipamentos em funcionamento .....	78
FIGURA 41 – Levantamentos externos ao Setor de Geodésia .....	78
FIGURA 42 – Coleta de dados .....	78
FIGURA 43 – Estimativa de precisão usando NTRIP .....	82
FIGURA 44 – Estimativa de precisão usando RDS .....	83
FIGURA 45 – Precisasões estimadas para o rastreamento DGPS pelo NTRIP .....	84
FIGURA 46 – Distribuição dos erros para o rastreamento DGPS pelo NTRIP .....	85
FIGURA 47 – Acurácia de posicionamento por DGPS pelo NTRIP .....	86
FIGURA 48 – Precisasões estimadas para o rastreamento DGPS pelo RDS .....	87
FIGURA 49 – Distribuição dos erros para o rastreamento DGPS pelo RDS .....	87
FIGURA 50 – Acurácia de posicionamento por DGPS pelo RDS .....	88

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações
- AS – Disponibilidade Seletiva (*Selective Availability*)
- BKG – Agência Federal de Geodésia e Cartografia de Frankfurt  
(*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*)
- bps – bits (*Binary digiT*) por segundo
- C/A – Fácil Aquisição (*Coarse/Acquisition*)
- DGPS – Sistema de Posicionamento Global Diferencial (*Differential GPS*)
- DGPSBRDS – DGPS Brasileiro por RDS
- DOP – Diluição de Precisão (*Dilution of Precision*)
- DRDCRT – Programa decodificador do grupo RDS11A/codificador RTCM
- DRDS\_Eno – Programa decodificador RDS adaptado por Saatkamp para  
extração do grupo RDS11A
- DRTCRD – Programa Decodificador RTCM 1/Codificador RDS
- EDGE – *Enhanced Data rates for GSM Evolution*
- EGNOS – *European Geostationary Navigation Overlay Service*
- FM – Frequência Modulada
- GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System*)
- GPRS – *General Packet Radio Service*
- GSM – *Global System for Mobile communications*
- GPS – Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*)
- HTTP – Protocolo de Transferência de Hipertexto (*Hypertext Transfer Protocol*)
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IODE - *International Oceanographic Data and Information Exchange*
- IP – Protocolo da Internet (*Internet Protocol*)

MEC – Mensagem Código do Elemento (*Message Element Code*)  
MED – (Mensagem de Dados do Elemento (*Message Element Data*)  
MSG – Marco do Setor de Geodésia  
NAVSTAR-GPS – *Navigation Satellite With Time And Ranging*  
ODA – Aplicação de Dados Abertos (*Open Data Applications*)  
P – Código Preciso ou Protegido (*Precision code*)  
PRC – Correção da Pseudodistância (*Pseudorange Correction*)  
PDA – Assistente Pessoal Digital (*Personal Digital Assistants*)  
RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo  
RDS – Sistema de Dados por Rádio (*Radio Data System*)  
RRC – Intervalo de Taxa de Correção (*Range Rate Correction*)  
RTCM – Comissão Técnica por Rádio de Serviços Marítimos (*Radio Technical  
Commission for Maritime Services*)  
RTK – Posicionamento cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic*)  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
UDRE – Distância do Usuário ao Erro Diferencial (*User Differential Range Error*)  
UECP – Protocolo Codificador Universal de Comunicação (*Universal Encoder  
Communication Protocol*)  
UERE – Distância do Usuário ao Erro Equivalente (*User Equivalent Range Error*)  
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria  
UMTS – Sistema de Telecomunicações Móveis Universais (*Universal Mobile  
Telecommunications System*)  
UNESP – Universidade Estadual Paulista  
WAAS – *Wide Area Augmentation System*

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A – DRDCRT (Programa decodificador RDS / codificador RTCM).....	94
ANEXO B – DRTCRD (Programa decodificador RTCM / codificador RDS) .....	100
ANEXO C – NMEA_GGA8 .....	109

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1 Considerações preliminares sobre o tema: definição, delimitação e importância</b> .....	16
<b>1.2 Justificativa</b> .....	17
<b>1.3 Objetivos</b> .....	18
1.3.1 Objetivo Geral .....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>1.4 Estrutura do trabalho</b> .....	18
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	20
<b>2.1 GPS (<i>Global Positioning System</i>) - Sistema de Posicionamento Global</b> .....	20
2.1.1 Introdução .....	20
2.1.2 Modelos de receptores GPS .....	20
2.1.3 Aplicações .....	22
2.1.4 Funcionamento .....	23
2.1.5 Segmentos .....	24
2.1.5.1 Segmento Espacial .....	25
2.1.5.2 Segmento de Controle .....	27
2.1.5.3 Segmento do Usuário... .....	28
2.1.6 Características dos sinais GPS .....	29
2.1.6.1 Distâncias a partir de código / fase .....	30
2.1.7 Fontes de erros .....	32
2.1.7.1 Erros dependentes dos satélites .....	32
2.1.7.1.1 Erro nos relógios dos satélites .....	32
2.1.7.1.2 Erro nas efemérides .....	33
2.1.7.2 Erros dependentes do receptor e da antena .....	33
2.1.7.2.1 Erro nos relógios do receptor .....	33
2.1.7.2.2 Erro de multicaminho .....	33
2.1.7.2.3 Erro causado pela variação do centro de fase da antena .....	34
2.1.7.2.4 Erro pelo ruído do receptor .....	34
2.1.7.2.5 Erro na medição da altura da antena .....	34
2.1.7.3 Erros dependentes do meio de propagação .....	35
2.1.7.3.1 Erro em relação à ionosfera .....	35
2.1.7.3.2 Erro em relação à troposfera .....	35
2.1.8 Métodos de Posicionamento .....	35
2.1.8.1 Posicionamento Absoluto .....	36
2.1.8.2 Posicionamento Diferencial .....	36



2.1.8.3 Posicionamento Relativo .....	37
<b>2.2 DGPS (<i>Differential GPS</i>) - GPS Diferencial</b> .....	37
2.2.1 Introdução.....	37
2.2.2 Configuração do DGPS .....	39
2.2.3 Funcionamento.....	42
2.2.4 Serviços disponíveis.....	43
2.2.5 Utilização do DGPS.....	44
2.2.6 Fornecedores de serviço DGPS .....	45
2.2.6.1 Rádio Faróis .....	45
2.2.6.2 Estações Base Virtuais .....	45
2.2.6.3 Estações Base de Rastreamento Contínuo .....	45
2.2.7 Enlaces de Comunicação.....	46
2.2.8 Elementos de dados mais importantes no DGPS.....	47
2.2.9 O formato RTCM e suas mensagens .....	48
<b>2.3 RDS (<i>Rádio Data System</i>)</b> .....	53
2.3.1 Descrição geral .....	53
<b>2.4 NTRIP (<i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i>) – Protocolo de Transporte por Rede de Mensagens RTCM via Internet</b> .....	60
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	65
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	79
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	89
5.1 Contribuições da pesquisa .....	89
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	90
<b>7 ANEXOS</b> .....	94

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações preliminares sobre o tema: definição, delimitação e importância

O Sistema de Posicionamento Global (GPS - *Global Positioning System*) - tem revolucionado diversas áreas técnicas e científicas, onde a sua utilização e os campos de aplicação vêm se tornando cada vez mais amplos. Em aplicações em tempo real como, por exemplo, a navegação, o cadastro e a agricultura de precisão, o posicionamento GPS pelo método absoluto não fornece a precisão adequada, podendo acontecer erros de posição maiores que os requeridos, inviabilizando tais aplicações.

Visando diminuir este erro de posicionamento, recorre-se a um dos métodos mais empregados nos levantamentos topográficos, nos cadastros para atualização de sistemas de informação geográfica, no posicionamento preciso de embarcações e objetos náuticos e no posicionamento preciso de veículos (rastreamento e posição), que é o GPS Diferencial (DGPS - *Differential GPS*). Este método consiste no posicionamento de um receptor usuário DGPS em tempo real, que pode ser móvel ou fixo, com o uso das correções geradas em uma estação de referência.

Um dos meios que vem sendo utilizado em alguns países para transmitir as correções diferenciais são as emissoras de radiodifusão comercial em FM (Frequência Modulada), por meio de um padrão denominado RDS - *Radio Data System*. Ele é limitado em capacidade, permitindo apenas a transmissão de correções diferenciais, ou seja, fazendo-se uso do código da portadora do sinal GPS, podendo-se obter posicionamentos com precisões relativas na ordem do metro.

No Brasil, o RDS é pouco conhecido e seu uso para o DGPS ainda inexistente. Um formato que permite realizar a transmissão daquelas correções foi desenvolvido por Saatkamp (2003), ao qual ele denominou DGPSBRDS (DGPS Brasileiro por RDS). Com o desenvolvimento preliminar deste formato, torna-se possível a disponibilização de um serviço de transmissão de correções diferenciais desde que aprimoramentos nele sejam efetuados.

Objetivando a continuação de sua pesquisa e desenvolvimento e/ou aprimoramento do DGPSBRDS, foi instituído no Campus da Universidade Federal

de Santa Maria - UFSM no Setor de Geodésia um sistema piloto (implementação simplificada do sistema) de geração e transmissão dos dados de correção. Uma emissora FM local de baixa potência foi instalada em conjunto com um modulador RDS, permitindo a utilização de parte da estrutura já existente neste Setor, como por exemplo, a estação de referência.

A fim de se gerar futuras comparações, simultaneamente ao RDS, fizeram-se também uso do NTRIP (*Networked Transport of RTCM<sup>1</sup> via Internet Protocol* - Protocolo de Transporte por Rede de Mensagens RTCM via Internet para transmissão e recepção de dados).

## 1.2 Justificativa

Nas recomendações de Saatkamp (2003), o autor sugere o aprimoramento do formato desenvolvido em suas investigações. Trata-se do formato DGPSBRDS. Dentre elas, incluem-se a revisão e modificações em parâmetros no algoritmo do DGPSBRDS, tais como a forma de compactação utilizada e por consequência a taxa de transmissão dos dados. O objetivo deste aprimoramento é atingir um nível de confiabilidade e integridade do sistema tal que permita disponibilização do DGPSBRDS à comunidade usuária do DGPS em suas aplicações futuras. Dentre elas, citam-se: a agricultura de precisão, que tem um grande potencial a ser explorado no Brasil; órgãos de segurança e/ou de emergência, tais como corpo de bombeiros, viaturas policiais e viaturas de atendimento médico/emergencial; empresas ou mesmo usuários particulares que utilizam sistemas de navegação e/ou rastreamento em seus veículos; órgãos ou entidades que necessitam efetuar cadastro sem exigência de alta precisão (por exemplo, companhias de distribuição de energia elétrica que necessitam cadastrar postes e equipamentos). Enfim, as aplicações são todas aquelas nas quais uma precisão no posicionamento em tempo real entre 1 e 3 m seja suficiente. Conforme demonstrado por Saatkamp (2003, p. 122), a perspectiva de viabilidade desse sistema é significativa dada a existência de infraestrutura que supre parte das necessidades para o estabelecimento de um serviço de transmissão de correções diferenciais no Brasil.

---

<sup>1</sup> *Radio Technical Commission for Maritime Services*

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é avaliar a qualidade, pela análise estatística, de posicionamentos de pontos resultantes de levantamentos pelo método DGPS, utilizando correções diferenciais transmitidas por meio do formato DGPSBRDS em sua implementação simplificada e também pelo NTRIP.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Transmitir quadros com valor absoluto de correção diferencial para a implementação simplificada do sistema DGPSBRDS;
- Implementar o algoritmo na linguagem Qbasic versão 4.5;
- Estudar e compreender o funcionamento dos equipamentos e dos protocolos necessários para o funcionamento do sistema;
- Comparar precisão (desvio padrão) e acurácia (média dos desvios absolutos) de posicionamentos GPS com transmissão de correções diferenciais no formato RTCM pela implementação simplificada do sistema DGPSBRDS (RTCM compactado transmitido via FM/RDS) e por meio do NTRIP, com os rastreios DGPS efetuados sobre um ponto de coordenadas conhecidas;
- Fazer comparação entre a média dos desvios absolutos das observações geradas pelos levantamentos efetuados com os dois sistemas (RDS e NTRIP), visando quantificar a diferença de qualidade dos posicionamentos e a eficiência dos algoritmos implementados.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro, encontram-se a introdução com as considerações preliminares sobre o tema, a justificativa, os objetivos e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica, com referenciais teóricos sobre GPS, DGPS, RDS e NTRIP.

Em seguida, no terceiro capítulo têm-se os materiais e os métodos utilizados no trabalho.

O quarto capítulo está centrado na análise e na discussão dos resultados.

E por último, no quinto capítulo, conclui-se e recomenda-se. As referências bibliográficas encerram o presente trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 GPS (*Global Positioning System*) - Sistema de Posicionamento Global

#### 2.1.1 Introdução

Por muito tempo, o Sol, os planetas e as estrelas foram importantes fontes de orientação. Porém, segundo Monico (2000, p. 19), as condições climáticas e a habilidade do navegador podiam significar a diferença entre o sucesso e o fracasso de uma expedição. Por volta do ano 2000 a.C., surgiu a bússola, inventada pelos chineses. Mas ainda existia um problema, que era determinar a posição de uma embarcação em alto-mar. Com o avanço da eletrônica, alguns sistemas foram desenvolvidos, como o LORAN (*Long-Range Navigation System*), o DECCA (*Low Frequency Continuous Wave Phase Comparison Navigation*), o Ômega (*Global Low Frequency Navigation System*) e o NNSS (*Navy Navigation Satellite System*). Faltava, portanto, uma solução que oferecesse boa precisão, facilidade de uso e custos acessíveis para os usuários. A solução definitiva para o problema surgiu na década de 1970 com a proposta do GPS.

Como o nome sugere, de acordo com Monico (2000, p. 21), o Sistema de Posicionamento Global (NAVSTAR-GPS - *Navigation Satellite With Time And Ranging*), popularmente conhecido por GPS é um sistema de abrangência global. Este autor o conceitua como um sistema de radio navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América. Existem atualmente dois sistemas efetivos de posicionamento por satélite: o GPS americano e o Glonass russo; também existem mais sistemas em construção: o Galileo europeu, o Compass chinês e o IRNSS indiano.

#### 2.1.2 Modelos de receptores GPS

Existem diferentes modelos de receptores GPS, desde diversas marcas que comercializam soluções "tudo em um", até os externos que são ligados por cabo ou

ainda por *Bluetooth*<sup>2</sup>. Geralmente categorizados por demandas de uso em geodésicos, topográficos e de navegação. A diferenciação entre essas categorias, que em princípio pode se limitar em termos de custos para aquisição é principalmente devido à precisão alcançada, ou seja, a razão da igualdade entre o dado real do posicionamento e o oferecido pelo equipamento. Os mais acurados, com valores na casa dos milímetros, os receptores geodésicos são capazes de captar as duas frequências emitidas pelos satélites possibilitando assim a eliminação dos efeitos da refração ionosférica. Os topográficos, que tem características de trabalho semelhantes à categoria anterior, porém somente captam uma frequência, também possuem elevada precisão, geralmente na casa dos centímetros. Ambas as categorias têm aplicações técnicas e características próprias como o pós-processamento, o que significam destinadas a levantamentos RTK<sup>3</sup> que geralmente não informam o posicionamento instantaneamente ao nível de precisão mencionado.

No caso da categoria de mais uso, os receptores de navegação têm inúmeras vantagens, embora forneça menor precisão de posicionamento. O baixo preço de aquisição e o emprego em diversas aplicações, disponibilizados em vários modelos, tanto os que integram equipamentos como computadores de mão, celulares, relógios, entre outros, como aqueles dedicados exclusivamente ao posicionamento, como os mostrados na Figura 1 das marcas Trimble, Garmin e Leica, também se encontra aplicações para uso em posicionamento em outros equipamentos como notebooks, rastreadores de veículos, entre outros.

---

<sup>2</sup> É uma especificação para áreas de redes pessoais sem fio. O Bluetooth provê uma maneira de conectar e trocar informações entre dispositivos como telefones celulares, notebooks, computadores, impressoras, câmeras digitais através de uma frequência de rádio de curto alcance globalmente não licenciada e segura.

<sup>3</sup> *Real Time Kinematic* - Posicionamento Cinemático em Tempo Real.



**Figura 1 – Modelos de receptores GPS**

Fonte: [www.slideshare.net/gps](http://www.slideshare.net/gps)

### 2.1.3 Aplicações

Além de sua aplicação tanto na aviação geral e comercial como na navegação marítima, qualquer pessoa que necessita obter sua posição, orientação ou conhecer a velocidade e direção do seu deslocamento, pode se beneficiar do sistema. Atualmente o GPS integra os sistemas de navegação de automóveis possibilitando o referenciamento de mapas, e dessa forma da área que se percorre (Wikipédia, 2008).

O desenvolvimento das tecnologias GPS atendeu apenas necessidades militares, inicialmente, mas rapidamente as aplicações civis surgiram e atualmente pode-se encontrar esta tecnologia auxiliando profissionais de diversas áreas.

Em aplicações militares a informação precisa sobre a posição global dos soldados norte americanos tornou as operações militares muito mais fortes e destruidoras dando uma vantagem enorme sobre seus adversários.

Na topografia a tecnologia GPS possibilitou na área topográfica algumas aplicações, tais como a medição precisa de terrenos, o desenvolvimento de sistemas cartográficos computacionais muito mais funcionais, o levantamento de mapas de altitudes, além de outras.

Nos transportes para os usuários comuns a tecnologia GPS veio auxiliar muito na navegação de automóveis traçando as melhores rotas a serem percorridas, procurando locais desconhecidos, entre outros. Já na navegação aérea e marítima a



tecnologia proporcionou fortes mudanças permitindo, por exemplo, que aeronaves sejam guiadas automaticamente desde a decolagem até a aterrissagem.

Nos esportes nesta área o GPS também é muito útil, pois em esportes de longas distâncias pode auxiliar no registro de recordes e na apuração dos resultados. São muito utilizados nas corridas de automóveis, balões, barcos e aviões.

Segurança a tecnologia GPS auxilia na recuperação de carros, celulares e outros bens furtados ou roubados se equipados com um dispositivo GPS. Além disso, o GPS também é útil no monitoramento de veículos de transporte de produtos de altos valores, para evitar que estes veículos sejam desviados das rotas.

Programas de auxílio existem diversos programas que trabalhando em conjunto com equipamentos GPS têm utilidade, pois combinam informações como posição global, velocidade e aceleração sobre a Terra empregando algoritmos complexos, podendo fazer diversas aplicações ficando limitado apenas pela imaginação do desenvolvedor (UFRJ, 2008).

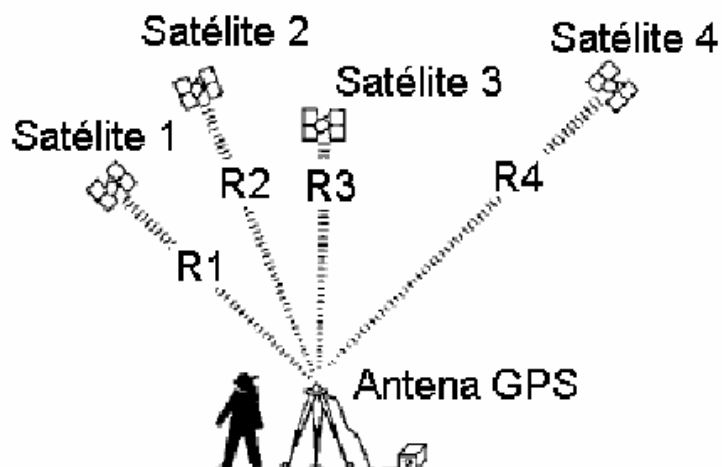
#### 2.1.4 Funcionamento

O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites. Do ponto de vista geométrico, apenas três distâncias, desde que não pertencentes ao mesmo plano, seriam suficientes. Nesse caso, o problema se reduziria à solução de um sistema de três equações, a três incógnitas (X, Y e Z). A quarta medida é necessária em razão do não-sincronismo entre os relógios dos satélites e o do usuário, adicionando uma incógnita (T) ao problema (MONICO 2000, p. 22).

As coordenadas geodésicas fornecidas pelo receptor são calculadas por recessão espacial a partir do sinal de três ou mais satélites recebidos simultaneamente. A Figura 2 ilustra o processo de recessão espacial, onde a recessão das esferas proporciona dois resultados matemáticos, um estaria na superfície terrestre ou próximo e o outro no espaço.

Conhecendo a distância em relação a três ou mais satélites, o receptor pode calcular a sua posição com base numa série de equações. Em teoria, a distância pode ser calculada multiplicando o tempo que o sinal demora a chegar pela velocidade a que este viaja (a velocidade da luz). No entanto, na prática são

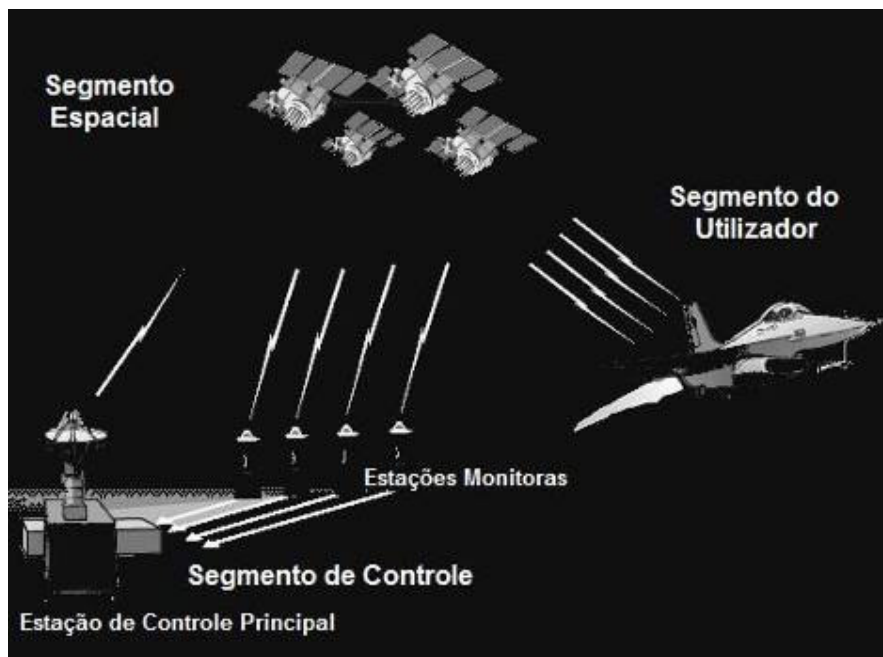
necessários cálculos mais complexos, uma vez que podem existir inúmeras interferências, como as condições atmosféricas ou as perturbações do Sol. A informação de três satélites é necessária para calcular a longitude e a latitude; no entanto, são necessários quatro para calcular também a altitude (JOHNSON, T. M., 2008).



**Figura 2 – Recepção espacial**  
Fonte: (SEEBER, 2003)

### 2.1.5 Segmentos

O sistema GPS pode ser descrito por três segmentos: o espacial, o de controle e o do utilizador, como mostra a Figura 3:



**Figura 3 – Segmentos do GPS**  
Fonte: <http://www.geodesia.org>

#### 2.1.5.1 Segmento Espacial

Segundo Leick (1994), Monico (2000) e Hofmann-Wellenhof (2001) o segmento espacial é constituído por 24 satélites dotados de relógios atômicos, que descrevem órbitas circulares em torno da Terra, com período orbital de 12 horas siderais. Dessa forma, a posição dos satélites se repete, a cada dia, aproximadamente, 4 minutos antes que a do dia anterior. Estes satélites estão a uma distância média de 20.200 km da Terra, distribuídos em 6 planos orbitais, inclinados em  $55^\circ$  em relação ao Equador.

A Figura 4 ilustra a organização dos satélites que formam o Sistema de Posicionamento Global:



**Figura 4 - Constelação dos satélites GPS**

Fonte: <http://br.geocities.com>

Na concepção original, quatro tipos de satélites fizeram parte do projeto NAVSTAR-GPS. Eles são denominados satélites do Bloco I, II, IIA, IIR e IIF.

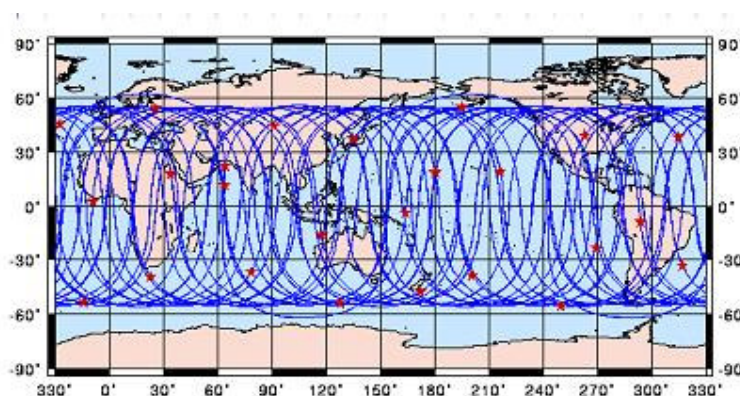
A função do segmento espacial é gerar e transmitir os sinais GPS (códigos, portadoras e mensagens de navegação).

Existem hoje 31 satélites GPS ativos em órbita da Terra, sendo que pelo menos 24 veículos são necessários para prover serviços de posicionamento e navegação em qualquer ponto na superfície do planeta. A Força Aérea norte-americana informou também que está previsto um lançamento de satélite GPS em agosto de 2009, e outro em 2010 (UFPR, 2009). As Figuras 5 e 6 ilustram, respectivamente, o modelo de satélite GPS e a distribuição dos satélites na constelação final:



**Figura 5 - Satélite GPS**

Fonte: <http://cienciahoje.uol.com.br>



**Figura 6 – Distribuição dos satélites na constelação final**

Fonte: (UFPR, 2009)

### 2.1.5.2 Segmento de Controle

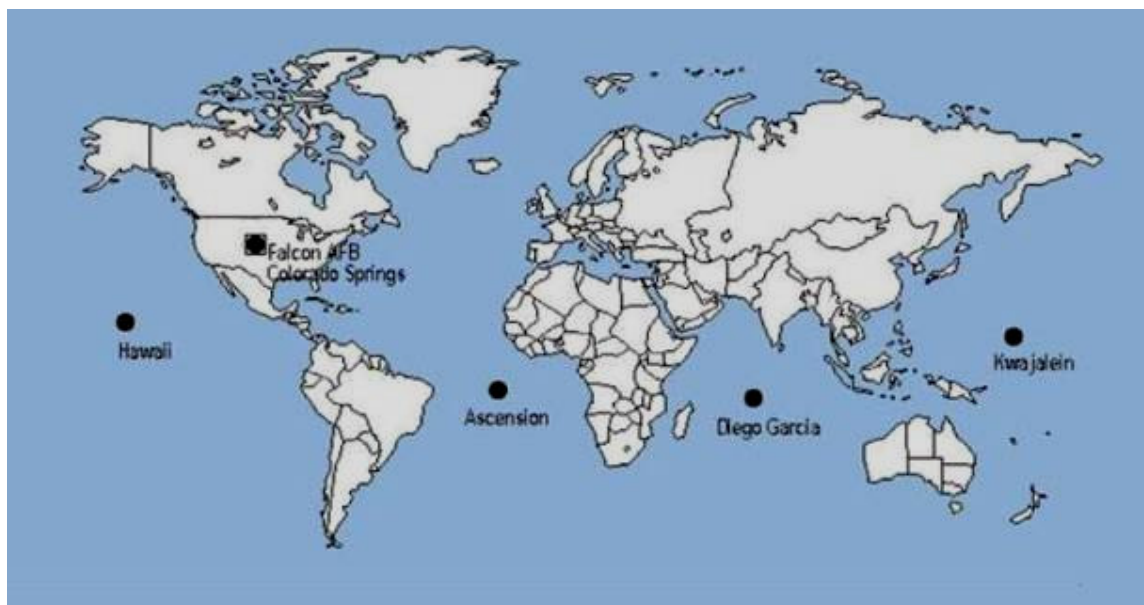
O segmento de controle é constituído por um conjunto de estações terrestres dispersas pelo mundo ao longo da Zona Equatorial que recebem continuamente informação dos satélites, monitorando o desempenho total do sistema, corrigindo posições do satélite e reprogramando o sistema com o padrão necessário. Os dados são depois enviados para uma Estação de Controle, em *Colorado Springs*, que analisa a posição relativa de cada satélite e projeta as suas trajetórias e o comportamento dos relógios para as horas seguintes.

A localização de cada estação de monitoramento controla constantemente cada satélite.

O mesmo aspecto de precisão espacial com o mínimo de recurso necessário oferecendo uma informação segura está na localização de cada estação de monitoramento e na posição exata de cada satélite, supervisionando-o a todo o momento. Estes dois fatores são necessários para assegurar uma precisão tridimensional na determinação da posição (localização geográfica).

As estações monitoras são 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. Na estação de controle central os dados são processados e a órbita de cada satélite determinada, após, são enviadas. Além do processamento são feitas correções no relógio do satélite com o objetivo de atualizar as mensagens de navegação (MONICO, 2000).

As estações de monitoramento, em Terra, estão localizadas em: Havaí, Ilha Ascensão no Atlântico Sul, Diego Garcia no Oceano Índico, Kwajalein no Atlântico Norte e Colorado Springs mostrados na Figura 7:



**Figura 7 – Estações de Monitoração em Terra**

Fonte: <http://www.slideshare.net>

### 2.1.5.3 Segmento do Usuário

O sistema GPS foi desenvolvido com o objetivo restrito de uso militar. Posteriormente, a população civil passou a ter acesso aos equipamentos utilizando-os nas mais variadas atividades que necessitassem de posicionamento (HOFMANN-WELLENHOF, 2001).

O segmento do usuário é constituído pelos receptores GPS que se encontram na superfície da Terra e captam os sinais emitidos pelos satélites. Trata-se, fundamentalmente, dos receptores que possuem capacidade de registrar as medidas de pseudodistâncias<sup>4</sup> e de fase. Um receptor GPS decodifica as transmissões do sinal de código e fase de múltiplos satélites e calcula a sua posição com base nas distâncias a estes. A posição é dada pelas coordenadas geodésicas referente ao sistema WGS84.

<sup>4</sup> Erro equivalente de distância do usuário.

O receptor GPS é formado de alguns componentes tais como: antena com pré-amplificador, secção de processamento do sinal (código e fase), microprocessador, oscilador, interface com usuário (display), fonte de energia e memória para armazenar os dados.

Podemos classificar os receptores GPS quanto, a comunidade usuária (civil e militar); aplicação (navegação, geodésico, SIG, aquisição de tempo e outros) e tipos de dados fornecidos pelos receptores (código C/A, código C/A e portadora L1, código C/A e portadora L1 e L2, código C/A e P e as portadoras L1 e L2, portadora L1 e/ou somente as portadoras L1 e L2).

O sinal enviado pelos satélites é recebido pelo receptor GPS, onde algumas técnicas de processamento são utilizadas, como a quadratura do sinal; correlação do código; correlação cruzada e a técnica mais utilizada Z-tracking (UFSM, 200-).

### 2.1.6 Características dos sinais GPS

A posição de um objeto à superfície da Terra é fornecida pelos sinais eletromagnéticos provenientes de no mínimo três satélites. Cada satélite envia um sinal codificado com a sua localização e o instante de emissão do sinal. O receptor GPS registra o instante da recepção de cada sinal e calcula a distância a que se encontra o satélite.

O receptor está localizado num ponto de intersecção de três superfícies esféricas centradas em cada satélite, cujo raio corresponde à distância entre o receptor e o satélite.

O receptor não necessita de ter um relógio muito preciso, mas sim de um suficientemente estável. Por isso, é utilizado um sinal de um quarto satélite para sincronizar o relógio do receptor com os dos satélites. O receptor capta os sinais de quatro satélites para determinar as suas próprias coordenadas, e ainda o tempo. Então, o receptor calcula a distância a cada um dos quatro satélites pelo intervalo de tempo entre o instante local e o instante em que os sinais foram enviados (esta distância é chamada pseudodistância). Decodificando as localizações dos satélites a partir dos sinais de micro-ondas<sup>5</sup> (faixa do espectro eletromagnético) e de uma base de dados interna, e sabendo a velocidade de propagação do sinal, o receptor, pode situar-se na intersecção de quatro calótes<sup>6</sup>, uma para cada satélite (CRAWFORD P., 1999).

<sup>5</sup> Ondas com comprimento maior que a dos raios infravermelhos e menores que a das ondas de rádio, ou seja,  $1\text{mm} < \lambda < 1\text{m}$ , ou, ainda,  $300\text{MHz} < f < 300\text{GHz}$ .

<sup>6</sup> Parte de uma superfície esférica limitada por um plano que a corta.

As pseudodistâncias bem como as fases de ondas portadoras ou diferenças de fase medidas pelos sinais emitidos dos satélites são consideradas as observáveis básicas do GPS (SEEBER, 2003). Por meio das observáveis é que os receptores GPS convertem em posicionamento, velocidade e tempo estes sinais eletromagnéticos oriundos dos satélites.

Cada satélite GPS transmite continuamente dois sinais de radiofrequência, as portadoras denominadas de L1 e de L2, essas ondas são geradas simultaneamente. Já os códigos são modulados sobre as fases da portadora. Os códigos se utilizam de combinações de sequências binárias e são basicamente dois: C/A (*Coarse/Acquisition*) para a obtenção de coordenadas instantâneas e o P (*Precision code*).

As duas ondas portadoras da banda L, a L1 e a L2 são geradas a partir da frequência fundamental ( $f_0$ ) de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Dessa forma, as frequências (L) e os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de L1 e L2 são:

$$L1 = 1575,42 \text{ MHz e } \lambda \approx 19\text{cm}$$

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

Essas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo aos usuários corrigir grande parte dos efeitos em razão da refração ionosférica, desde que possuam receptor que rastreie as duas portadoras (UFSM, 200-).

#### 2.1.6.1 Distâncias a partir de código / fase

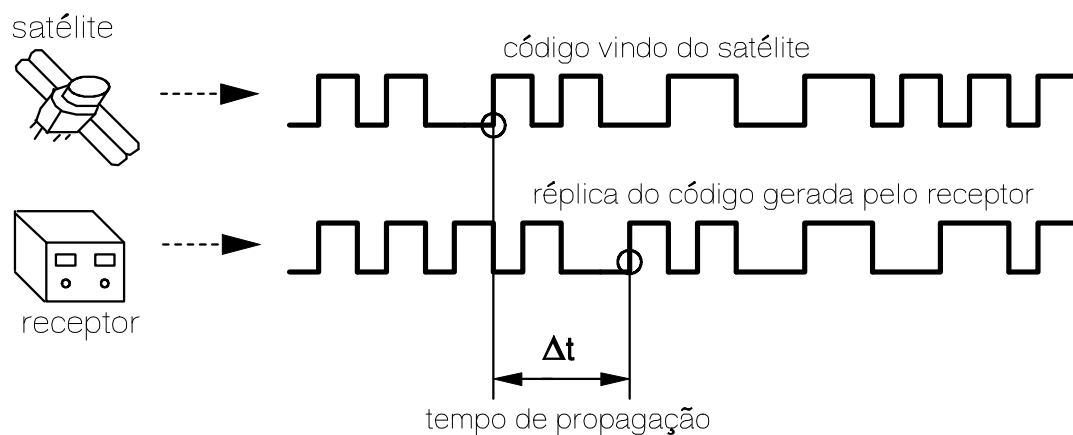
Há necessidade de conhecer a distância receptor satélite, cuja precisão na medida, juntamente com a precisão das coordenadas conhecidas dos satélites, influencia diretamente a precisão das coordenadas a serem calculadas, sendo este um ponto crucial do sistema GPS, isto é, a forma como o sistema resolve esta distância. Estas formas são basicamente duas:

- Por código:

Por meio da medida do tempo que um sinal codificado leva para chegar ao receptor depois de deixar o satélite. Esse sinal codificado é gerado pelo satélite através de osciladores (relógios) atômicos e comparado com uma réplica do mesmo gerado no receptor por osciladores de cristal, como mostra a Figura 8. Na realidade os relógios dos satélites são mais precisos que o do receptor, e por isso não há



sincronismo. Deste modo, haverá um erro na determinação da distância. A distância assim obtida chama-se pseudodistância. Para contornar este problema é necessário recorrer ao uso de um quarto satélite para resolver as incógnitas das equações de observações.



**Figura 8 - Determinação da distância por código**

Fonte: [www.isa.utl.pt](http://www.isa.utl.pt)

Os códigos são sequências de estados +1 e -1 (*Pseudo Random Noise codes* - *PRN codes*), parecem ruídos aleatórios, mas possuem uma seqüência lógica. Os receptores GPS têm por finalidade decifrar somente estas sequências, e não sofrerem intervenção de outras fontes sejam elas naturais ou intencionais de sinais de rádio. Os códigos são equivalentes aos valores binários 0 (zero) e 1 produzidos por variação bifásica de  $180^\circ$  na fase da portadora emitidos a freqüências de:

Código C/A:  $f_0/10 = 1,023\text{MHz}$

Código P:  $f_0 = 10,23\text{MHz}$

O código C/A se repete a cada 1 milissegundo, enquanto o P a cada 267 dias. Este período de 267 dias é subdividido em segmentos de 7 dias, sendo atribuída a cada satélite a seqüência de código para um segmento. Isto dá origem ao sistema de identificação dos satélites que utiliza o número do segmento do código PRN.

A medida da distância por código é a originalmente projetada pelo sistema, pela sua operacionalidade e capacidade de atender às finalidades de navegação.

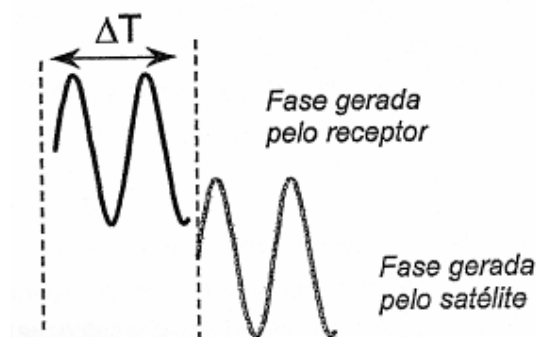
Neste trabalho utilizou-se código para efetuar os levantamentos.

- Por fase:

O posicionamento pela fase da portadora pode levar em consideração a diferença de fase da onda emitida pelo satélite e a sua reprodução pelo receptor.

A fase da portadora é captada pelo receptor por meio de duas frequências de onda emitidas pelos satélites, a L1 e a L2 já mencionadas anteriormente.

Os receptores GPS geram uma frequência de referência que combinada com a frequência portadora emitida pelo satélite produz pulsações periódicas. A diferença entre essas duas frequências tem o nome de frequência de batimento. Assim, a fase de batimento da onda portadora, é dada pela diferença entre a fase do sinal transmitido pelo satélite, no instante, e a fase gerada pelo receptor, conforme ilustra na Figura 9.



**Figura 9 – Sinal emitido pelo satélite e réplica interna do receptor**

Fonte: (UFSM, 2004)

### 2.1.7 Fontes de erros

De acordo com Seeber (2003), erros são introduzidos no processo de estimação de parâmetros se o modelo matemático é simples e não representa a realidade física perfeitamente. Alguns erros mesmo modelados não são eliminados. No posicionamento geodésico as correções a estes erros deverão ser estimadas. Dentre os vários erros envolvidos nas observáveis GPS, alguns se destacam por terem maior influência na precisão das coordenadas estimadas.

Os erros que afetam as observações GPS podem ter várias origens que são:

#### 2.1.7.1 Erros dependentes dos satélites

##### 2.1.7.1.1 Erro nos relógios dos satélites

Embora os relógios dos satélites sejam muito precisos, pois cada satélite contém quatro relógios atômicos, dois de rubídio e dois de césio, não são perfeitos. Avançando-se que apenas um nanosegundo de erro, ou seja, 0,000 000 001 s, resulta num erro de cerca de 30 cm na medição da distância a um satélite.

Para que os relógios se mantenham os mais precisos possíveis e para que a distância seja medida mais corretamente, a sua marcha necessita de ser continuamente determinada pelas estações de controle (MONICO, 2000).

#### 2.1.7.1.2 Erro nas efemérides

A precisão da posição depende da precisão com que sabemos a localização dos satélites (os pontos de referência). O Departamento de Defesa dos Estados Unidos (US DoD), coloca cada satélite numa órbita muito precisa, sendo a sua órbita previsível por um modelo matemático bastante rigoroso. No entanto, o insuficiente conhecimento do campo gravítico terrestre, as forças gravitacionais da Lua e do Sol e o atrito remanescente da atmosfera terrestre bem como a pressão das radiações solares nos satélites provoca variações nas suas órbitas, daí que elas sejam constantemente monitoradas pelas estações de rastreio na Terra. Um erro nas efemérides resulta um erro de posição da antena do receptor GPS de 60 cm.

#### 2.1.7.2 Erros dependentes do receptor e da antena

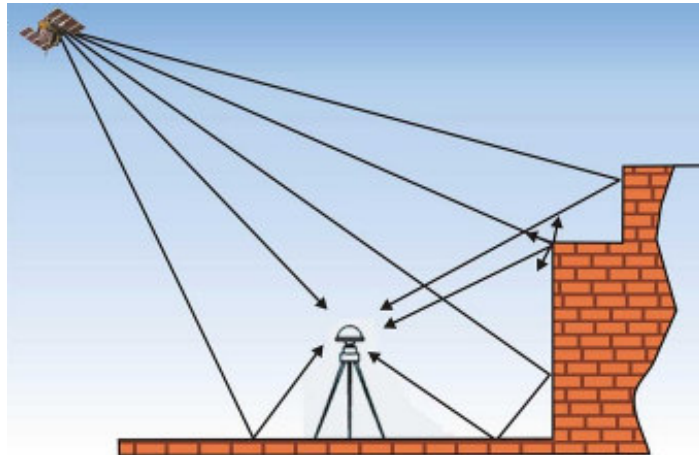
##### 2.1.7.2.1 Erro nos relógios do receptor

Este erro é semelhante ao erro provocado pelos relógios dos satélites. Este é eliminado quando são feitas diferenças de observações. Caso não seja eliminado, pode contribuir na imprecisão do cálculo da posição em cerca de 1,2 m.

##### 2.1.7.2.2 Erro de multicaminho

Este erro ocorre quando o sinal é refletido antes de chegar ao receptor GPS. O sinal refletido percorre uma distância maior que o sinal direto, conseqüentemente maior a distância percorrida, maior o tempo percorrido pelo sinal até atingir o receptor (Figura 10). De forma a minimizar este efeito, deve ser escolhido o local da

antena, tipo da antena do receptor e a tecnologia envolvida no processamento do sinal. O efeito destes erros no cálculo da distância atinge cerca de 50 cm (UFSM, 200-).



**Figura 10 – Efeito de Multicaminho**

Fonte: <http://geodesia.ufsc.br>

#### 2.1.7.2.3 Erro causado pela variação do centro de fase da antena

Este erro é função da sua construção. Depende das características da antena e do ângulo da direção do sinal observado. Estas variações podem atingir alguns centímetros na medição da distância (SEEBER, 2003).

#### 2.1.7.2.4 Erro pelo ruído do receptor

Trata-se de um erro associado a cada tipo de medição, o receptor GPS não é perfeito e tem as suas limitações. Ele está limitado à sua própria precisão, ou seja, ao desvio padrão associado a cada medição. Este erro é cerca de 1% do comprimento da onda do sinal, isto é, 2 mm quando se faz uma observação de fase.

#### 2.1.7.2.5 Erro na medição da altura da antena

É um erro pequeno relativamente às variações do centro de fase da antena. Entretanto, as medições da antena devem ser realizadas com uma precisão da ordem de 1 a 3 mm.

### 2.1.7.3 Erros dependentes do meio de propagação

#### 2.1.7.3.1 Erro em relação à ionosfera

Ao medir a distância a um satélite, medimos o tempo que o sinal leva a chegar ao receptor e multiplicamos esse tempo pela velocidade da luz. O problema é que a velocidade da luz varia sob as condições atmosféricas. A camada mais alta da atmosfera, a ionosfera, contém partículas "carregadas" que atrasam o código e adiantam a fase. Ela situa-se acima dos 50 km de altitude e atinge o máximo aos 1.000 km, provocando atrasos compreendidos entre os 50 e 150 m, quando as observações são feitas em períodos de grandes atividades solares ou próximas do horizonte. A magnitude deste efeito é maior durante o dia do que de noite. Quando os receptores são de dupla frequência (L1 e L2), este efeito pode ser eliminado pela combinação linear das portadoras (Geodésia, 2008).

#### 2.1.7.3.2 Erro em relação à troposfera

Para Leick (1994) a troposfera é a região gasosa da atmosfera, constituída de uma mistura de dois gases ideais, vapores de água seca e úmida, onde a parte seca resulta em cerca de 90% de refração troposférica.

Ao passar pela camada mais baixa da atmosfera - a troposfera, que se estende da superfície terrestre até 8 ou 18 km, o sinal também sofre os efeitos dos elétrons neutros dessa camada, causando um atraso na fase e no código. Este atraso é causado por duas componentes, a seca e a úmida. O principal problema relaciona-se com a componente úmida (vapor de água). No entanto, existem modelos matemáticos para reduzir este efeito.

### 2.1.8 Métodos de Posicionamento

O posicionamento com GPS pode ser feito recorrendo a alguns métodos diferentes de observação, tais como, o posicionamento absoluto, o posicionamento diferencial e o posicionamento relativo.

A exatidão da posição obtida pelo sistema GPS em modo absoluto depende da precisão da medição da distância receptor satélite e da configuração da

geometria dos satélites. O termo usual para representar a medição GPS é UERE (*User Equivalent Range Error*), e representa o efeito combinado dos erros das efemérides, dos erros de programação, dos erros dos relógios e o ruído do receptor. O termo que representa a configuração da geometria dos satélites é o DOP (*Dilution of Precision*). Esse é um escalar que representa a contribuição da configuração dos satélites na precisão do posicionamento. Este escalar varia com o tempo porque os satélites se encontram em movimento e deverá ser pequeno.

#### 2.1.8.1 Posicionamento Absoluto

O método de posicionamento absoluto utiliza um único receptor que calcula a sua posição em relação a quatro ou mais satélites, utilizando observações de códigos.

De acordo com Monico (2000), o método de posicionamento absoluto compreende a medição realizada, das distâncias entre o receptor e três satélites, simultaneamente. O conhecimento da posição atual de cada satélite permite o cálculo, em tempo real, da posição do receptor. Neste tipo de observação não se conhece a diferença entre os relógios do satélite e do receptor, gerando a adição de mais uma incógnita no problema, que pode ser resolvida com o acréscimo de mais um satélite.

#### 2.1.8.2 Posicionamento Diferencial

No posicionamento diferencial são utilizados no mínimo dois receptores, um dos quais fica fixo num ponto de coordenadas conhecidas (estação de referência) e os outros designados por móveis, são estacionados nos pontos onde se pretendem determinar as coordenadas. Este método baseia-se na correção diferencial que é aplicado às coordenadas absolutas determinadas pelos receptores móveis.

O receptor fixo baseando-se na posição conhecida determina as correções das coordenadas, que serão iguais as dos receptores móveis, porque num dado instante e num raio de 500 km em torno do receptor fixo, os erros mais importantes que afetam o sistema GPS são praticamente iguais.

As correções podem ser de dois tipos: as diferenças de coordenadas entre a posição conhecida e a calculada ou as diferenças entre distâncias medidas aos

satélites e as distâncias calculadas com as coordenadas conhecidas do receptor e as coordenadas instantâneas dos satélites. A transferência das correções do receptor fixo para os receptores móveis pode ser feita em tempo real via rádio ou podem ser feitas posteriormente, em gabinete com algoritmos de processamento mais robustos. Se a distância receptor satélite for com observação de código (Seção 2.1.6), tem-se o método GPS Diferencial (Seção 2.2).

### 2.1.8.3 Posicionamento Relativo

Neste tipo de posicionamento também são utilizados no mínimo dois receptores, em deles fixo num ponto de coordenadas conhecidas e os outros móveis, com o propósito de eliminar os erros já referidos, e que são inerentes ao próprio GPS. Em modo relativo é determinado com precisão o vetor diferença entre o receptor fixo e o móvel, sendo por isso necessário que estes estejam sincronizados e observem os mesmos satélites nas mesmas épocas. Outro aspecto a salientar neste posicionamento é a utilização em pós-processamento, de técnicas para eliminar os erros tais como, as diferenças de observáveis e as combinações lineares de observações, obtendo-se as coordenadas dos receptores com um erro pequeno.

## 2.2 DGPS (*Differential GPS*) - GPS Diferencial

### 2.2.1 Introdução

Segundo Monico (2000, p. 181), a determinação da posição (ou coordenadas) de pontos ou objetos com relação a um referencial específico diz-se posicionamento. Classifica-se:

- Posicionamento Absoluto ou por Ponto (*“Single Point Positioning”*): quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro;
- Posicionamento Relativo: quando as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas.

Sabe-se que a medida da distância entre os centros de fase da antena de um receptor GPS e da antena do satélite, medida pelo receptor GPS, é afetada por

diversos erros, sendo denominada pseudodistância.

O objeto a ser posicionado pode estar em repouso (posicionamento estático), ou em movimento (posicionamento cinemático). Independentemente do estado do objeto, com a utilização do GPS ele pode ser realizado pelos métodos absoluto e relativo. Pode-se ainda utilizar DGPS (*Differential GPS*).

Conforme o mesmo autor, o DGPS é baseado na medição da distância receptor-satélite com a observação do código, sendo que os resultados são instantâneos, mas não são precisos. Além da correção diferencial 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.

Em algumas aplicações em tempo real como, por exemplo, na navegação, no cadastro e na agricultura de precisão, o posicionamento absoluto por GPS não fornece a precisão adequada, podendo, atualmente, ter erros de até 15 m. Visando diminuir este erro de posicionamento, recorre-se a um dos métodos mais empregados, o GPS Diferencial (DGPS). Este método consiste no posicionamento de um receptor usuário DGPS em tempo real, que pode ser móvel ou fixo, com o uso das correções (usualmente denominadas de correções diferenciais) geradas em uma estação de referência (receptor GPS de referência).

O conceito diferencial é aplicável a qualquer sistema que contenha erros capazes de serem identificados por um equipamento externo e com capacidade de comunicação com o usuário (que normalmente não é capaz de computar estes erros por si próprios através dos equipamentos de que dispõe). A eliminação destes erros permite que o usuário reduza significativamente o erro total induzido pelo sistema "não diferencial". Para o caso do GPS, os erros associados aos satélites, à propagação das ondas no meio e todos os erros associados ao GPS (excluídos os erros particulares do usuário, tal como erros do receptor), podem ser compensados e possibilitar um sensível aumento da precisão da posição. Por exemplo, as categorias de pouso automático de precisão de aeronaves só são viáveis com a utilização do DGPS. Sem o DGPS apenas categorias "não - precisas" são possíveis.

DGPS é a técnica empregada em receptores GPS capacitados que tem por finalidade obter precisões superiores as precisões obtidas com estes receptores em modo absoluto de posicionamento.



Na maioria dos modos de operação DGPS a precisão obtida é de 1 a 3 metros, dependendo de vários fatores associados ao procedimento e equipamentos utilizados.

### 2.2.2 Configuração do DGPS

A configuração básica de um sistema GPS Diferencial consiste de:

- um receptor;
- um processador para computar as correções;
- um transmissor.

A Figura 11 ilustra a Estação de Referência DGPS em solo.



**Figura 11 - Estação de referência DGPS**  
Fonte: [www.arvm.org](http://www.arvm.org)

Um equipamento DGPS de solo pode auxiliar significativamente para melhorar a geometria dos “fixos” escolhidos para os cálculos de posição. Se um DGPS transmitir, além das correções, o sinal GPS com as mensagens de navegação (sinal L1 e L2 devidamente modulados) o usuário é incapaz de distinguir um equipamento de DGPS de um satélite GPS. Este tipo de sistema DGPS é chamado de Pseudo-Satélite ou Pseudolite, representado pela sigla PL.

Basicamente, Pseudo-Satélite é um receptor-transmissor que funciona como um satélite GPS, porém, em solo. O receptor do PL é um receptor comum que computa sua posição (pseudodistâncias, coordenadas de posição entre outros) a

partir dos sinais dos satélites visíveis e compara com sua verdadeira posição determinada primeiramente por outros métodos.

Os erros de pseudodistâncias, coordenadas de posição, são então retransmitidos para o usuário local, dentro da mensagem do sinal GPS. Estes sinais retransmitidos são semelhantes aos dos satélites GPS, de modo que o usuário recebe as informações de correções diferenciais por meio do mesmo equipamento e, além disso, dispõe de um satélite adicional (local) com efemérides bem conhecidas.

O receptor do usuário local é incapaz de distinguir o sinal de satélites do sinal de um PL. As diferenças são apenas a direção do sinal transmitido e as mensagens de correções diferenciais que os satélites normais não transmitem (ARVM, 2008).

O conceito de DGPS envolve o uso de um receptor estacionário numa estação com coordenadas conhecidas, rastreando todos os satélites visíveis. O processamento dos dados nessa estação (posicionamento por ponto) permite que se calculem correções posicionais, bem como das pseudodistâncias observadas. Essas correções podem ser enviadas ao usuário através de um enlace de rádio.

As correções posicionais podem ser determinadas, pois as coordenadas da estação base são conhecidas. Já as correções das pseudodistâncias são baseadas nas diferenças entre as pseudodistâncias observadas (arquivo de observação) e as calculadas (a partir das coordenadas estação base e dos satélites), desde que leve em consideração os erros do relógio do satélite e receptor.

Estando a estação base localizada nas proximidades da região de interesse, há uma forte correlação entre os erros calculados na estação base e os erros da estação móvel. Dessa forma, se o usuário receber tais correções, ele poderá corrigir suas observações coletadas.

A aplicação de correções nas posições é o método mais simples de se utilizar o DGPS, mas essas correções são afetadas se um dos satélites não for rastreado simultaneamente nas duas estações.

Para que o receptor usuário possa utilizar estas correções, é necessário que elas sejam transmitidas até ele. No Brasil, não há muitas opções de serviços de fornecimento de correções aos usuários do DGPS. Basicamente, têm-se os serviços via satélite (Seção 2.2.6.3) e os serviços fornecidos por rádio-farol (Seção 2.2.6.1). Aqueles são relativamente caros, e estes disponíveis apenas nas regiões da costa marítima. Dessa forma, o usuário que necessita realizar um levantamento em tempo real pelo método DGPS muitas vezes institui seu próprio sistema de geração e

transmissão das correções. Ele necessitará para isso implantar sua própria estação de referência, ou seja, ele terá que dispor de um receptor GPS adicional (além daquele para o levantamento), e também de um sistema para a transmissão das correções geradas por esta estação de referência até o ponto onde ele esteja efetuando o levantamento. Ademais, será despendido certo tempo para colocar todo o sistema em funcionamento, sem contar os possíveis problemas técnicos que geralmente ocorrem neste processo.

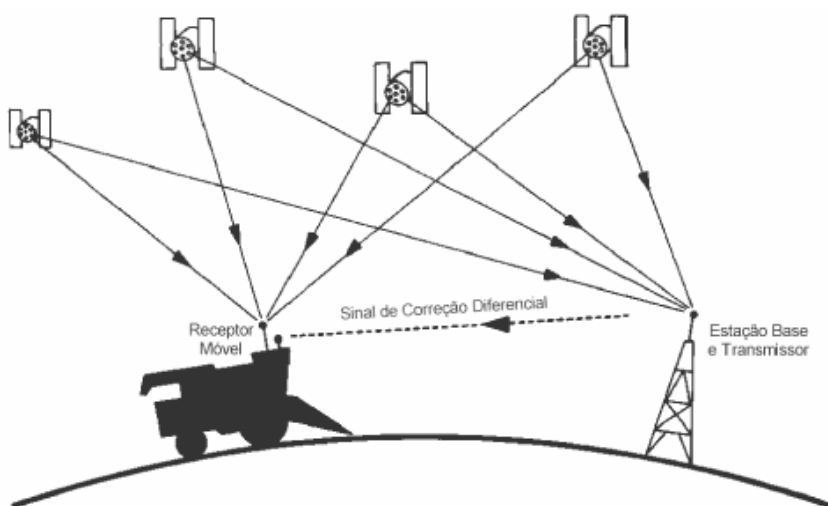
Os sinais de correção diferenciais são transmitidos por vários radiofaróis na costa brasileira, apresentados, a seguir, na Figura 12. Estas estações transmitem um sinal dizendo o erro de cada satélite do sistema GPS. Isto é feito da seguinte maneira: elas calculam a distância da estação a um determinado satélite e depois medem, por meio de um GPS padrão, a distância naquele momento. A estação compara o valor calculado e o valor medido e determina a diferença. Esta diferença é obtida para cada satélite e transmitida na portadora do rádio-farol para os receptores DGPS na área coberta pela estação. Estes, sintonizando o rádio-farol, decodificam o sinal e informam ao GPS, que somará o valor medido com a diferença indicada pelo DGPS e passa a usar um valor preciso. Com esta tecnologia, o erro de posição será menor que 5 metros e o erro de velocidade também diminuirão (JUNIOR, C. S., 2006).



**Figura 12 – Radiofaróis na costa brasileira**  
Fonte: [www.gpsglobal.com.br](http://www.gpsglobal.com.br)

### 2.2.3 Funcionamento

O método GPS Diferencial consiste no posicionamento GPS em tempo real com a aplicação de correções diferenciais, calculadas e transmitidas por uma estação de referência por meio de um enlace de comunicação de dados num formato padrão definido pela *Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committee 104* (RTCM, 1998), conforme mostrado na Figura 13. Observa-se que o Receptor da Estação Usuária pode ser fixo ou móvel, isto é, operar no modo estático ou cinemático e a Estação Base pode ser também chamada de Estação de Referência.



**Figura 13 – Princípio básico do método GPS Diferencial**

Fonte: [www.scielo.br](http://www.scielo.br)

As correções podem ser utilizadas para posicionar a estação usuária em tempo real com uma qualidade melhor (maior acurácia) do que aquela que seria obtida num posicionamento absoluto (MONICO 2000, p. 182).

O princípio básico de funcionamento do GPS Diferencial baseia-se em compensar erros do sistema através de correções, coordenadas de posição ou outras variáveis de interesse, correções estas que o usuário por si só não é capaz de estimar devido à indefinição da sua própria posição.

Existem duas formas de obter correções diferenciais:

- obter dados de correções por meio de medidas e das mensagens do GPS de um único receptor;

- obter dados de correções com as medidas das mensagens e de características da portadora (método interferométrico) de um ou vários receptores e satélites.

As correções da primeira forma são fornecidas por equipamentos externos (com suas posições bem conhecidas) transmitidas para os usuários e introduzidas nos cálculos de navegação normalmente em tempo real. As correções da segunda forma utilizam os conceitos de diferenças simples, duplas e triplas (sinais de um mesmo satélite captados simultaneamente por um ou mais receptores, sinais de vários satélites captados em vários instantes por um ou mais receptores) e são normalmente empregadas em pós-processamento.

A validade das correções é função da distância entre as estações de referência e a usuária, isto é, quanto mais próxima a estação usuária estiver da estação de referência, mais correlacionados estarão os erros entre os dois pontos e melhor será a precisão no posicionamento do receptor nesta estação. Outro fator que degrada a precisão do DGPS é a latência das correções, ou seja, o tempo decorrido entre a geração destas pela estação de referência e sua aplicação pela estação usuária. A latência está relacionada às características técnicas do sistema que efetua os cálculos, o controle e envio das correções por um meio de transmissão (comunicação). Uma destas características que influenciam na latência, a qual pode variar desde unidades a dezenas de segundos, é a capacidade de transmissão de dados do meio de comunicação utilizado, ou seja, sua taxa de transmissão, dada em bits por segundo (bps). Meios com baixa capacidade de transmissão ocasionarão uma latência maior. No DGPS, embora o mínimo necessário seja uma taxa de 50 bps ou mesmo de 25 bps, é desejável que se tenha uma taxa de transmissão de pelo menos 100 bps a fim de que a latência não supere a dezena de segundos (SAATKAMP 2003, p. 7).

#### 2.2.4 Serviços disponíveis

As correções DGPS se dividem em dois grupos: as geradas em tempo real e as pós-processadas.

Para usar sinais de correções DGPS em tempo real é necessária uma fonte de sinal DGPS e um receptor compatível com DGPS em tempo real;

O emprego de correções DGPS pós-processadas exige uma estação de rastreamento contínuo próxima, e também um receptor capaz de armazenar as observações necessárias para o processamento diferencial. Assim:

No DGPS em tempo real, o receptor GPS devidamente dotado de um dispositivo de recebimento de correções diferenciais em tempo real (tipicamente por rádio, satélite banda L, telefone celular) fica capacitado para posicionamento preciso no local e na hora do procedimento. Isto viabiliza, por exemplo, a locação de coordenadas projetadas (encontrar o local de coordenadas pré-estabelecidas) ou a coleta em tempo real de posições.

No DGPS pós-processado, o receptor GPS tem que ter a capacidade de armazenar todas as observações fornecidas pelos satélites da rede GPS, para que estes dados sejam comparados em um processamento com o sinal rastreado por uma estação base de rastreamento GPS. Os erros sistemáticos do rastreio feito pelo receptor móvel são minimizados e em grande parte eliminados. Isto viabiliza, por exemplo, um levantamento de feições SIG (Sistema de Informação Geográfica) ou georreferenciamento. Com o procedimento adequado é possível obter-se precisões da ordem de centímetro (levantamento estático).

#### 2.2.5 Utilização do DGPS

Os profissionais utilizam esta técnica para diversas finalidades, entre elas destacam-se:

- Georreferenciamento;
- Apoio aos levantamentos topográficos (agrícolas, florestais, urbanos, entre outros);
- Cadastros para atualização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG);
- Posicionamento preciso de embarcações e objetos náuticos;
- Posicionamento preciso de veículos (rastreamento de posição);
- Controle de terraplenagem;
- Locação de coordenadas (furos de sondagem, implantação de projetos);
- Navegação precisa.

## 2.2.6 Fornecedores de serviço DGPS

### 2.2.6.1 Rádio Faróis

Existe uma rede de rádio faróis da Marinha Brasileira que cobre faixa litorânea. Este sistema opera na faixa entre 285khz e 325khz. Estes sinais são tipicamente fornecidos sem custo. Ocasionalmente uma ou outra estação está em manutenção ou fora de operação. As precisões obtidas segundo informações ficam de 1 a 10 m.

### 2.2.6.2 Estações Base Virtuais

Estas estações são equipamentos colocados em satélites. Um exemplo de fornecedor deste serviço é o Ominstar. Os equipamentos e os serviços são mais caros, porém podem prover correções em praticamente todo lugar. As precisões obtidas segundo experiências são de 1 a 5 m.

### 2.2.6.3 Estações Base de Rastreamento Contínuo

Espalhadas pelo território, estas estações ficam 24h armazenando dados de rastreamento dos satélites da rede GPS. Estas estações servem basicamente de referência para procedimentos de levantamentos pós-processados, pois fornecem dados rastreados na forma de arquivos (geralmente fornecidos pela internet). Os levantamentos pós-processados podem ter precisões submétricas se forem tomados certos cuidados quanto ao planejamento da missão de rastreamento. Tipicamente as precisões conseguidas são melhores que 1 metro para a maioria dos levantamentos, considerando-se os cuidados com o raio de abrangência.

Algumas destas estações podem emitir RTCM (correções em tempo real) e se transformarem em rádio faróis, por meio do envio de sinais contidos em estações de rádio FM. Aqui no Brasil um exemplo a ser citado é a tese de Saatkamp (2003), porém experiências de uso nos Estados Unidos da América denotam precisões da ordem de 10 metros.

O valor dos serviços depende dos custos de manutenção da estação base e geralmente equivale ao custo do aluguel de um equipamento GPS (podendo haver incentivos em caso de contratação por períodos longos de fornecimento do serviço).

O GPS Diferencial é um processo que permite ao usuário civil obter precisão tipicamente entre 1 e 3 m, pelo processamento contínuo de correções nos sinais. As correções são transmitidas em Freqüência Modulada (FM) ou via satélite e são disponíveis em alguns países através de serviços de subscrição taxados. Podem também ser transmitidas por um segundo receptor ou por faróis de navegação localizados num raio de 100 km do usuário. Em ambos os casos, é necessário ter uma antena receptora DGPS conectada ao receptor GPS convencional (GORGULHO, M., 2008).

### 2.2.7 Enlaces de Comunicação

Um enlace de comunicação é necessário para a transmissão das correções diferenciais da estação de referência à estação usuária. Este enlace é realizado por ondas eletromagnéticas situadas em uma determinada faixa do espectro eletromagnético, conhecidas por radio frequências.

Os erros podem ser computados pela comparação da posição precisa da antena do receptor com a posição calculada a partir das informações dos satélites GPS. Cada satélite induz erros diferentes no que diz respeito a erros de propagação, atraso nos relógios dos satélites, erros acidentais, entre outros, e numa primeira alternativa, pode-se computar os erros dos pseudodistâncias associados a cada satélite. Neste caso, as correções diferenciais estão associadas a cada satélite. Outra forma de correção é compensar os cálculos finais de posição com a correção das coordenadas, por exemplo, latitude, longitude e altitude. Neste caso os erros estão associados ao conjunto de satélites utilizado no cálculo de posição aos métodos de cálculo e ao receptor que computa as correções diferenciais.

O método de correções diferenciais utilizando correções de pseudodistâncias é mais complexo e sua precisão é função da distância entre o receptor que computa as correções diferenciais e o receptor do usuário. O método das correções diferenciais de coordenadas de posição é simples e oferece boa precisão apenas para curtas distâncias (algumas dezenas de quilômetros) entre o receptor que calcula as correções diferenciais e o receptor do usuário.



Há, portanto, várias formas de correção:

- correções das pseudodistâncias;
- correções dos parâmetros orbitais;
- correções das coordenadas de posição (latitude, longitude, altitude).

Cada uma oferece sua vantagem e vários testes já foram efetuados para validar os conceitos.

## 2.2.8 Elementos de dados mais importantes no DGPS

Conforme Saatkamp (2003, p. 12), os elementos de dados mais importantes a serem transmitidos ao usuário DGPS são os seguintes:

- Correção da pseudodistância (PRC – *Pseudorange Correction*): é a informação mais importante a ser transmitida. Fornece a correção que deve ser aplicada à observação de pseudodistância num certo instante de tempo para um satélite.

- Taxa de variação da correção (RRC – *Range Rate Correction*): informação utilizada para programar a PRC para um instante de tempo futuro. Entretanto, para que o cálculo de correções com uma PRC antiga possa ser efetuado, é necessário referenciar estes dois parâmetros (a PRC e a RRC) à época da criação dos mesmos. A diferença entre os valores de PRC preditos (calculados com auxílio da RRC) e os transmitidos fica maior quanto maior for a diferença de tempo entre eles, de modo que sua acurácia degrada significativamente para valores mais velhos que 20 segundos (KOPITZ; MARKS, 1999, p. 194), com a técnica de segurança AS (*Selective Availability* – Disponibilidade Seletiva) ativada.

- Identificação do satélite (SATID): como a informação de correção é diferente para cada satélite e não há garantia de que a constelação de satélites visível na estação de referência seja a mesma na estação usuária, é necessário identificar o satélite cujas correções estejam sendo transmitidas, de modo que o usuário utilize apenas as correções daqueles satélites que ele esteja rastreando.

- Parâmetros das efemérides: as efemérides são um conjunto de parâmetros que descrevem as órbitas dos satélites, e são transmitidas em seu sinal (mensagens de navegação). A informação das efemérides de cada satélite muda periodicamente (geralmente a cada duas horas). A correção DGPS é baseada nas efemérides operacionais no momento em que ela foi gerada na estação de

referência. É necessário informar quais foram elas, porque a correção somente será válida se as mesmas efemérides forem empregadas pelo receptor GPS usuário para calcular sua posição.

- Faixa de erro diferencial ao usuário (*User Differential Range Error – UDRE*): esta informação fornece uma estimativa do desvio padrão da correção e permite ao usuário (receptor DGPS) decidir se aplica ou não as correções de um satélite em particular, ou permite uma ponderação (atribuição de peso) no cálculo de sua posição.

### 2.2.9 O formato RTCM e suas mensagens

Os elementos de dados para o DGPS, descritos anteriormente são formatados num padrão definido pela RTCM para que possam ser “comunicados” à estação usuária de forma unívoca.

Em 1983, a RTCM fundou o Comitê Especial 104 com a finalidade de desenvolver recomendações e critérios para a transmissão das correções das pseudodistâncias (atingindo então unicamente os usuários DGPS de código). Estas foram implementadas em 1985 e denominadas de RTCM 1.0, cujo formato tornou-se padrão. Desde 1998, este formato está na versão 2.2, que conta com novos aperfeiçoamentos da versão anterior (versão 2.1) e contempla também outras informações, conforme exposto no Quadro 1. As mensagens são separadas em tipos e identificadas através de seus números de reconhecimento variando de 1 a 63. De maneira geral, elas se classificam em: fixas, tentativas ou reservadas (SAATKAMP 2003, p. 7).

Tipo de Mensagem	Status Atual	Nome da Mensagem
1	Fixa	Correções Diferenciais GPS
2	Fixa	Correções Diferenciais GPS Delta
3	Fixa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
4	Tentativa	Datum da Estação de Referência
5	Fixa	Saúde da Constelação GPS
6	Fixa	Quadro Nulo
7	Fixa	Almanaque dos Radiofaróis - GPS
8	Tentativa	Almanaque das Estações Pseudolite
9	Fixa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GPS
10	Reservada	Correções Diferenciais para o Código P
11	Reservada	Correções Diferenciais (C/A, L <sub>1</sub> e L <sub>2</sub> )
12	Reservada	Estação Pseudolite
13	Tentativa	Estação de Transmissão
14	Tentativa	Tempo da Semana GPS
15	Tentativa	Atraso Ionosférico
16	Fixa	Mensagem Especial GPS
17	Tentativa	Dados de Efemérides GPS
18	Fixa	Medida Bruta da Fase da Portadora - RTK
19	Fixa	Medida Bruta da Pseudodistância - RTK
20	Tentativa	Correções Diferenciais da Portadora - RTK
21	Tentativa	Correções Diferenciais da Pseudodistância - RTK
22	Tentativa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
23 – 30	*****	Indefinida
31	Tentativa	Correções Diferenciais GLONASS
32	Tentativa	Estação de Referência GLONASS
33	Tentativa	Saúde da Constelação GLONASS
34	Tentativa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GLONASS
35	Tentativa	Almanaque dos Radiofaróis - GLONASS
36	Tentativa	Mensagem Especial GLONASS
37	Tentativa	Tempo GNSS
38 – 58	*****	Indefinida
59	Fixa	Mensagem Própria
60 – 63	Reservada	Uso Multi-Fim

**Quadro 1 – Tipos de mensagem RTCM**

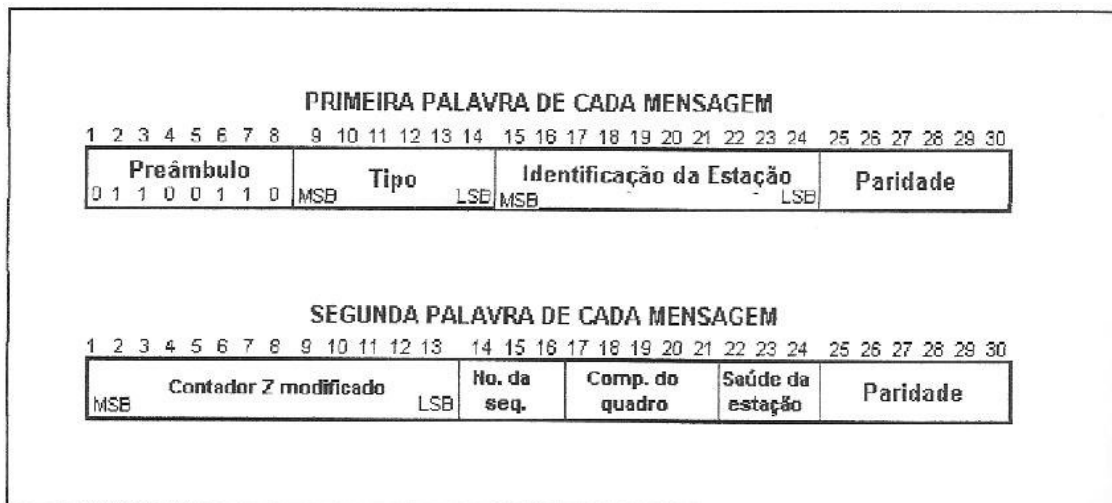
Fonte: (Saatkamp, p. 15)

De acordo com Saatkamp (2003, p. 14), o formato geral das mensagens foi modelado com a mesma estrutura da mensagem de navegação do sistema GPS. Porém, as mensagens diferenciais utilizam um comprimento variável para o formato, depende do número de satélites rastreados, enquanto que o formato da mensagem de navegação tem um comprimento fixo. Um quadro de mensagem RTCM se constitui de uma mensagem completa, composta por palavras de 30 bits (Figuras 14

e 15), sendo que os primeiros 24 bits constituem-se de dados e os últimos 6 bits são gerados por um algoritmo para a detecção de erros na transmissão. O início de cada quadro de mensagem consiste de duas palavras-padrão (ou cabeçalho, Figura 14) as quais contêm informações com os seguintes campos: preâmbulo, identificação do tipo de mensagem enviada, identificação da estação de referência, o tempo de referência da mensagem, o número de sequência do quadro, o comprimento do quadro da mensagem e a saúde (qualidade) dos dados da estação de referência, além da paridade em cada uma das palavras.

Sendo os dados de correção de um satélite (40 bits) não múltiplos de 24 bits, que é o número de dados de uma palavra, logo a disposição dos campos nas palavras de dados são variáveis, com sete diferentes possibilidades, de acordo com a sequência disposta na Figura 15. Caso o número de satélites não seja múltiplo de três, então na última palavra do quadro sobrarão espaço sem dados. Neste caso, o espaço é preenchido com uma sequência alternada de bits 1 e 0 (descrição da última palavra da Figura 15), de modo que não haja confusão com o preâmbulo (SAATKAMP, 2003).

Ainda na Figura 15, observa-se que na mensagem RTCM tipo 1 há um campo de um bit que indica o fator de escala de cada satélite. Ele é usado para converter os correspondentes valores numéricos da PRC e da RRC em valores de medida (metros e metros por segundo, respectivamente).



**Figura 14 – Duas primeiras palavras de cada quadro de mensagem RTCM**

Fonte: Saatkamp (2003, p. 17)

A seguir, apresenta-se uma descrição mais detalhada sobre a mensagem tipo 1, a qual foi utilizada neste trabalho.

MENSAGEM TIPO 1 – Correções Diferenciais GPS – Ela fornece as correções das pseudodistâncias e a sua taxa de variação aos usuários do GPS em um instante  $t$  qualquer.

Nesta mensagem encontra-se ainda o UDRE (*User Differential Range Error*) que fornece uma estimativa do desvio padrão da correção das pseudodistâncias na estação de referência, e o IODE (*International Oceanographic Data and Information Exchange*) -versão dos dados - que assegura que as estações de referência e usuária utilizem o mesmo conjunto de parâmetros orbitais e do relógio.

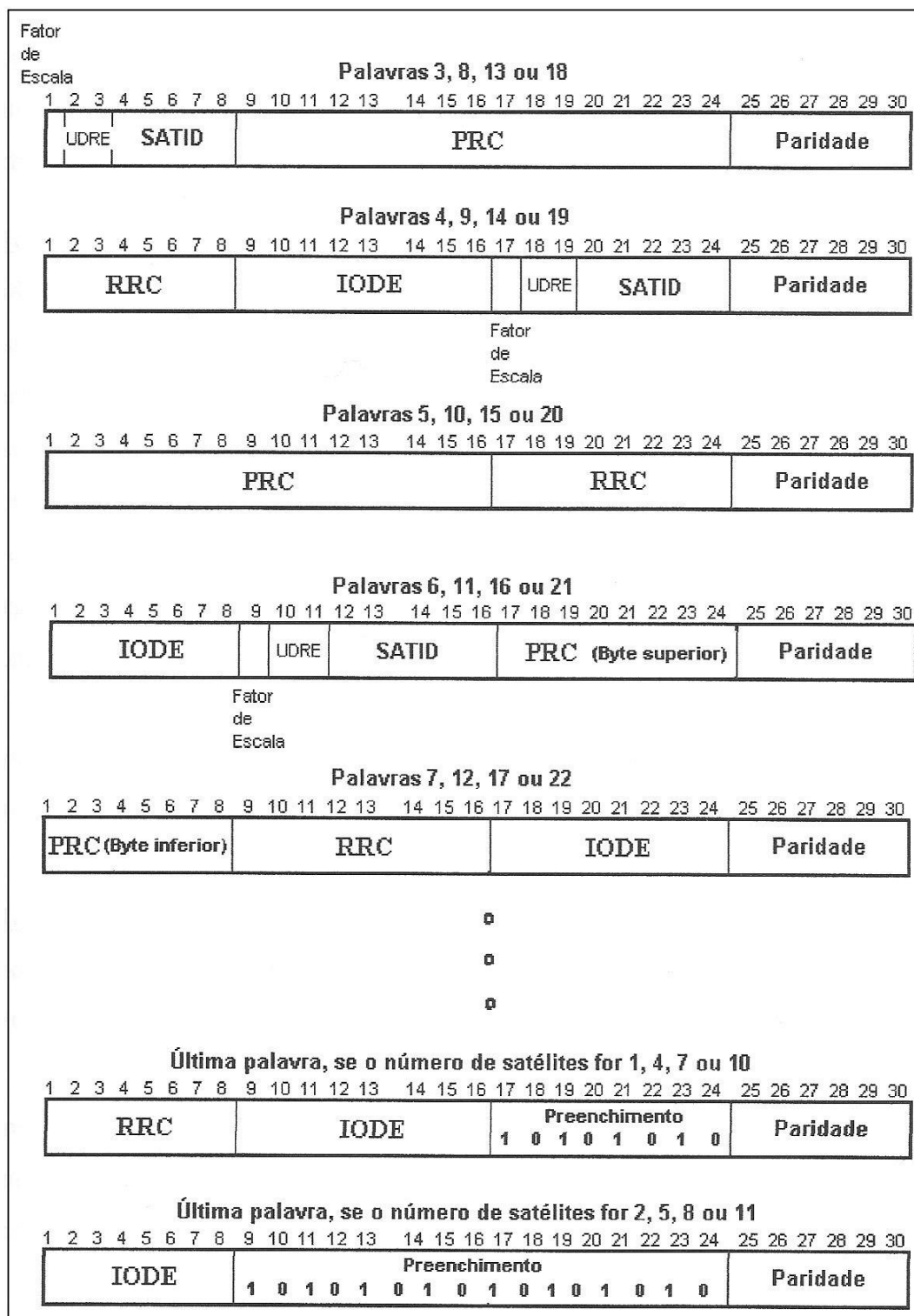


Figura 15 – Palavras do quadro de mensagem RTCM tipo 1

Fonte: Saatkamp (2003, p. 18)

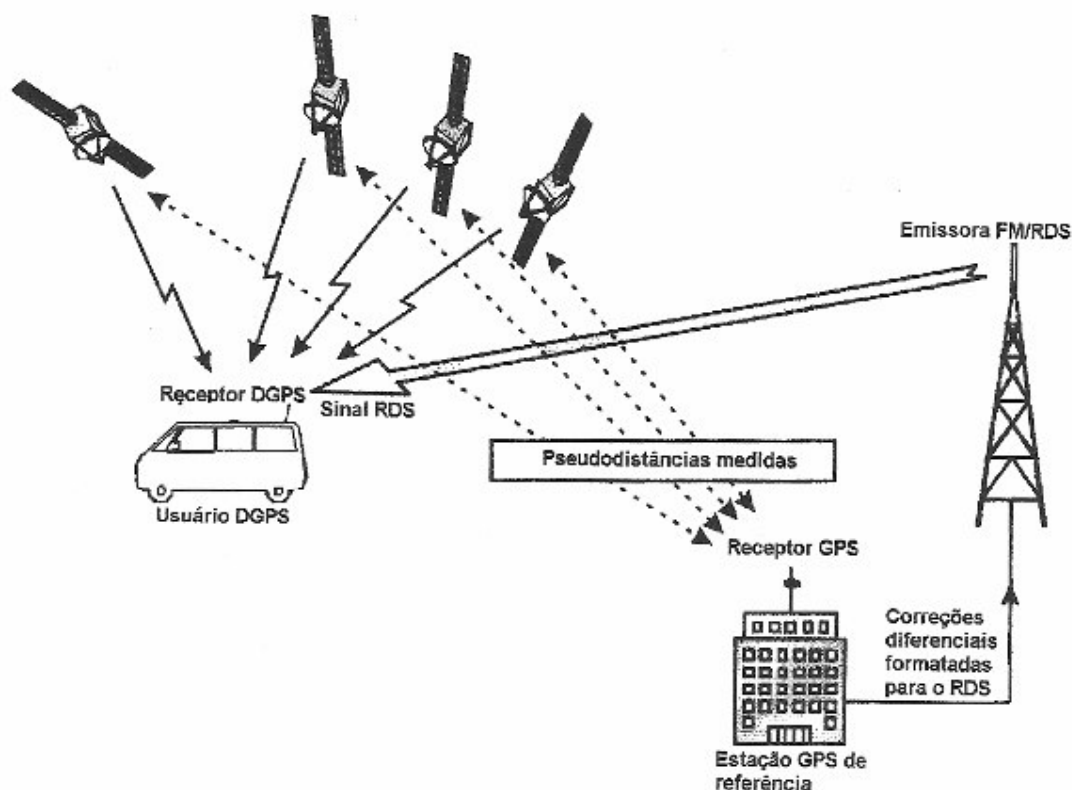
## 2.3 RDS (*Radio Data System*)

### 2.3.1 Descrição geral

O RDS, padronizado desde 1990, foi desenvolvido como um padrão para a transmissão de dados digitais utilizando a modulação da subportadora do sinal de radiodifusão de estações FM comerciais. A especificação internacional atual é: *CENELEC, EN 50067: 1998 – Specifications of the Radio Data System (RDS) for VHF/FM broadcasting, European Committee for Electrical Standardisation*. A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) traduziu e adaptou esta norma para o Brasil, denominando-a Especificação Técnica para a Rádio Transmissão de Dados Mediante Utilização do Canal Secundário de Emissora de Radiodifusão Sonora em Freqüência Modulada - RDS (SAATKAMP 2003, p. 20).

Ainda a ser explorado no Brasil, o sistema RDS conta com um grande potencial de aplicação, principalmente para a transmissão de correções diferenciais para o posicionamento pelo método DGPS, além das outras aplicações previstas. Sua grande vantagem é o baixo investimento para sua implantação do sistema uma vez que ele utiliza a estrutura de emissoras FM já existente. Por outro lado, é bastante limitado quanto à capacidade de transmissão dos dados.

O RDS foi inicialmente concebido para prover serviços adicionais a usuários pela utilização de uma nova tecnologia de receptores de rádio “inteligentes”, ou seja, um sistema de transmissão de dados em formato digital utilizado em transmissores de radiodifusão em FM. Ultimamente este sistema vem sendo muito utilizado nos Estados Unidos e na Europa também para a transmissão de correções diferenciais para o posicionamento DGPS. O princípio para a transmissão destas correções por uma emissora em FM com o RDS pode ser observado na figura 16.



**Figura 16 – Princípio para o posicionamento DGPS utilizando FM-RDS**

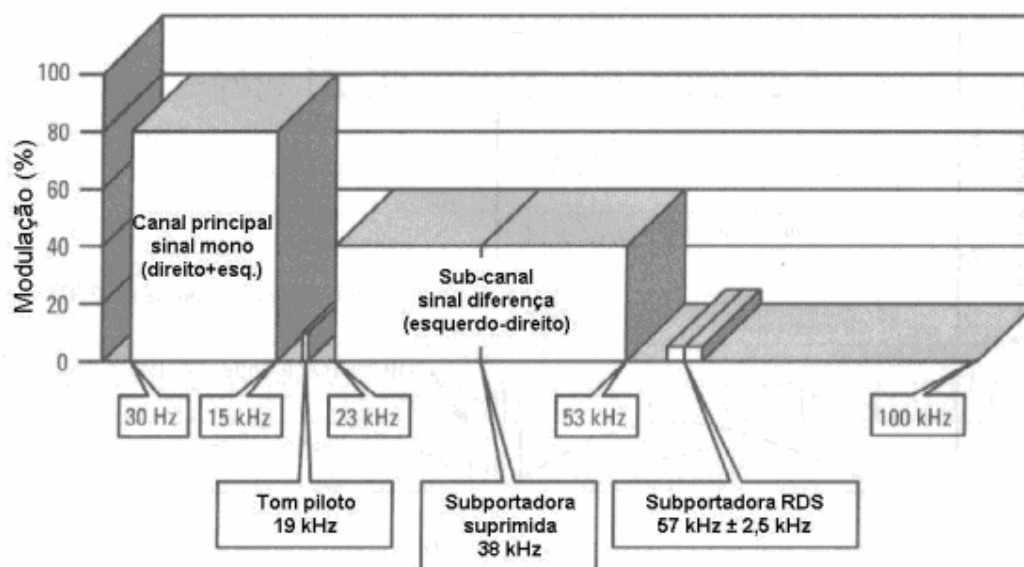
Fonte: Saatkamp (2003 apud Kopitz & Marks, 1999, p. 191)

Os dados do RDS são transmitidos sincronamente (sem espaços de separação entre os grupos ou blocos), a uma taxa de 1.187,5 bits por segundo (o tom piloto<sup>7</sup> estéreo (19 kHz) dividido por 16), modulados em amplitude com banda lateral dupla e portadora suprimida<sup>8</sup>, centrado em 57 kHz (três vezes o tom piloto de 19 kHz). A Figura 17 mostra o espectro deste sinal. São transmitidos 11,4 grupos por segundo, com cada grupo consistindo de quatro blocos de 16 bits de dados e 10 bits para correção de erro, conforme se observa na Figura 18. O sistema prevê 16 diferentes grupos de dados ou aplicações, com cada grupo sendo formado por duas versões (A e B) para as diversas aplicações, conforme mostrado no Quadro 2.

<sup>7</sup> Sinal de referência usado para sincronizar o processo de modulação e demodulação na transmissão e recepção, respectivamente, dos sinais de radiodifusão em FM.

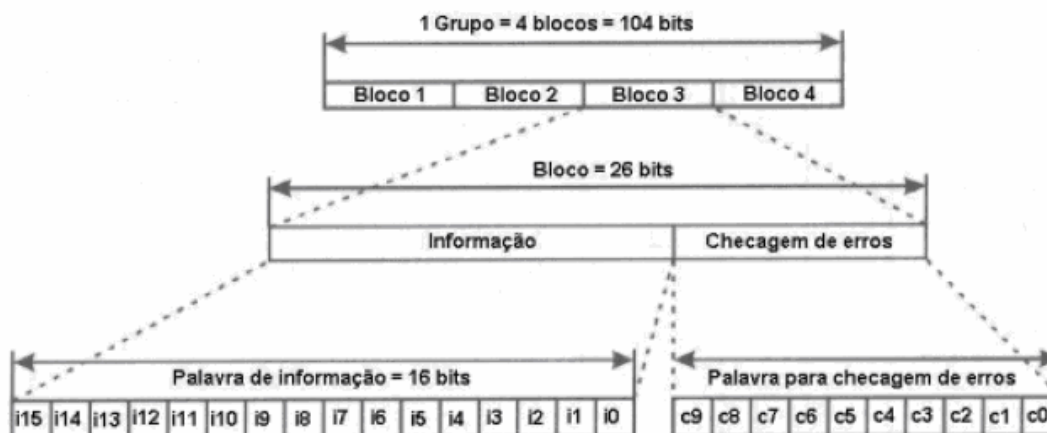
<sup>8</sup> Tipo de modulação onde a onda portadora não é transmitida.





**Figura 17 – Espectro De Radiodifusão Fm Estéreo Com Rds**

Fonte: Saatkamp (2003, p. 22)



**Figura 18 – Estrutura básica dos grupos do RDS**

Fonte: Saatkamp (2003, p. 22)

<b>Grupo</b>	<b>Utilização</b>
0A	Informações para sintonia básica e comutação de frequência
0B	Informações para sintonia básica e comutação de frequência
1A	Número de Identificação do Programa Transmitido e identificador de Aplicação
1B	Número de Identificação do Programa Transmitido
2A	Radiotexto (RT)
2B	Radiotexto (RT)
3A	Identificação de aplicações abertas de dados (AID)
3B	Aplicações abertas de dados (ODA)
4A	Data e Hora (CT)
4B	Aplicações abertas de dados (ODA)
5A	Canal transparente de dados (TDC) ou ODA
5B	Canal transparente de dados (TDC) ou ODA
6A	Aplicações internas (IH) ou ODA
6B	Aplicações internas (IH) ou ODA
7A	Futuras Aplicações
7B	Aplicações abertas de dados (ODA)
8A	Mensagens de trânsito (TMC) ou ODA
8B	Aplicações abertas de dados (ODA)
9A	Sinais de alerta de emergência (EWS) ou ODA
9B	Aplicações abertas de dados (ODA)
10A	Nome do tipo de Programação (PTY)
10B	Aplicações abertas de dados (ODA)
11A	Aplicações abertas de dados (ODA)
11B	Aplicações abertas de dados (ODA)
12A	Aplicações abertas de dados (ODA)
12B	Aplicações abertas de dados (ODA)
13A	Futuras Aplicações
13B	Aplicações abertas de dados (ODA)
14A	Utilização de funções de outras emissoras (EON)
14B	Utilização de funções de outras emissoras (EON)
15A	Não especificado
15B	Informações para sintonia básica e comutação rápida

**Quadro 2 – Grupos RDS**

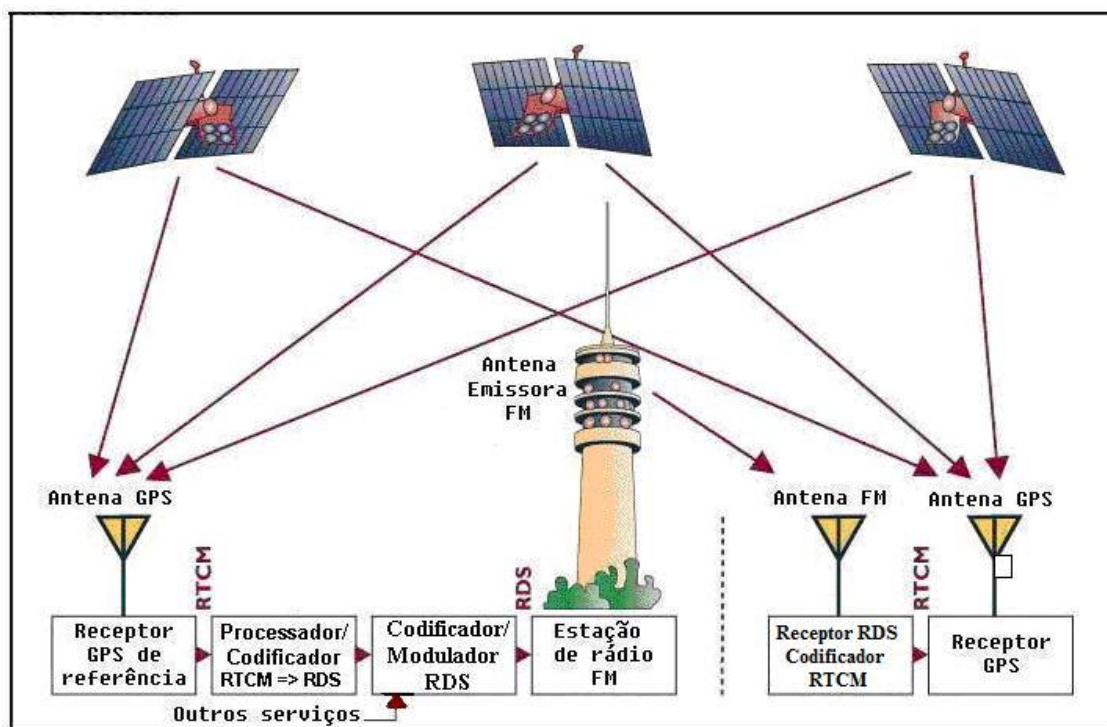
Fonte: Saatkamp (2003 apud ANATEL 2002, p. 10 e 11)

Como se observa, o RDS permite diversas aplicações. Há muitas siglas relacionadas ao sistema. Porém, a que se utilizou neste trabalho é a ODA, pois está relacionada ao DGPS, a qual se descreve abaixo:

- ODA (*Open Data Applications*) – Aplicações Abertas de Dados: são quaisquer aplicações diversas àquelas previamente especificadas, ou seja, é a utilização de grupos abertos para aplicações particulares e não previamente especificadas, que permitem a transmissão de dados, por meio do RDS, para receptores dedicados. Os dados podem ser transportados em diversos grupos,

conforme indicado no Quadro 2. Dentre suas aplicações, cita-se o DGPS, utilizando-se tipicamente o grupo 5A ou 11A para esta finalidade. Para este trabalho optou-se por utilizar o grupo 11A.

A figura 19 ilustra a estrutura para o processo da geração e transmissão de correções diferenciais pelo RDS, e o posicionamento DGPS.



**Figura 19 – Estrutura básica para o posicionamento DGPS utilizando FM-RDS**

Fonte: Saatkamp (2003, p. 53)

De um lado tem-se a geração das correções diferenciais e a sua codificação para o RDS. A geração das correções é efetuada por um receptor GPS de referência de alta precisão. Ele, conhecendo a sua posição, calcula estas correções pela diferença entre as pseudodistâncias medidas e as calculadas, para os satélites rastreados. As correções diferenciais, geradas no formato RTCM, devem então ser processadas, ou seja, elas são codificadas/compactadas para o formato compatível com o RDS, como o DGPSBRDS. Este processamento é realizado por um microcomputador rodando o programa denominado DRTCRD (Decodificador RTCM 1 / Codificador RDS).

Após o processamento, as correções diferenciais, já convertidas para o formato DGPSBRDS, são enviadas para um equipamento denominado modulador RDS. Ele tem a função de adicionar as informações a serem transmitidas à programação normal da emissora. O sinal, carregando as informações, é então irradiado pela antena do transmissor da emissora em FM. O envio das informações para o modulador RDS é realizado seguindo-se um protocolo de comunicação específico denominado UECP<sup>9</sup> (*Universal Encoder Communication Protocol*).

O usuário deve possuir um receptor FM/RDS, o qual recebe o sinal da emissora em FM, demodula (extrai) a informação contida no RDS e decodifica o grupo RDS-ODA, do formato compacto codificado na transmissão (DGPSBRDS), para o formato RTCM. O processo de demodulação RDS foi realizado por um circuito eletrônico. A decodificação RDS se deu por meio de um sistema micro processado, através de um programa específico, e a decodificação do grupo ODA foi realizada pelo programa DRDCRT (decodificador do grupo RDS 11A / codificador RTCM). As informações (correções diferenciais), no formato RTCM, podem então ser aplicadas pelo receptor GPS do usuário, visando o cálculo da sua posição em tempo real (DGPS).

O RDS é um sistema que permite utilizar uma pequena faixa do espectro de frequências alocada para cada emissora FM. Tal faixa é denominada de subportadora. O RDS prevê 16 grupos de aplicações, sendo que alguns desses grupos são abertos (grupos ODA – *Open Data Application*), permitindo-se desenvolver aplicações de acordo com as necessidades do desenvolvedor. Utilizou-se um desses grupos para desenvolver um formato que permita a transmissão de correções diferenciais por meio de emissora FM/RDS. Pelo fato de a capacidade de transmissão pelo RDS ser extremamente baixa (37 bits/segundo para um grupo ODA), sendo, portanto limitado, sua aplicação necessita ser otimizada. Essa otimização, visando a aplicação do RDS ao DGPS, foi o tema da tese de doutorado de Eno Darci Saatkamp.

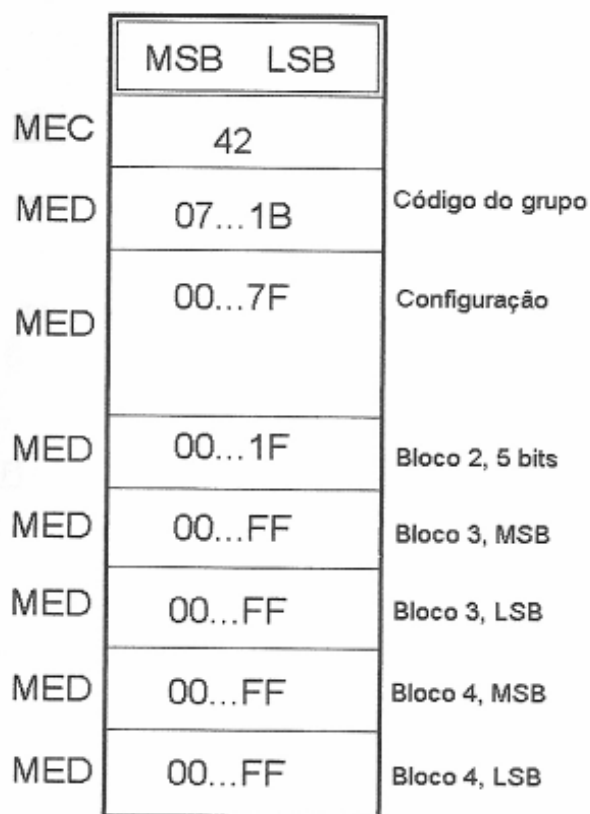
A figura 20 mostra o formato genérico do protocolo de comunicação com o codificador/modulador, para mensagens dos grupos de aplicação aberta de dados – ODA. O campo da mensagem de dados é composto basicamente por dois tipos de

---

<sup>9</sup> Foi desenvolvido pela EBU (*European Broadcasting Union*), situada em Genebra, Suíça e pelo RDS *Forum*, com o objetivo de padronizar a comunicação com os equipamentos codificadores/moduladores de diferentes fabricantes.

elementos: o elemento de código da mensagem (*Message Element Code – MEC*), que identifica o comando a ser dado ao codificador/modulador e o elemento de dados da mensagem (*Message Element Data – MED*).

O elemento MEC 42 indica que se trata de grupo ODA. O primeiro campo MED indica o código do grupo (no caso, utilizou-se o grupo 11 A), o segundo campo MED deve ser composto por bits de configuração, e os campos MED restantes devem conter os bits de dados a serem transmitidos. Mais detalhes encontram-se, em EBU-SPB 490 (1997, p.44).



**Figura 20 – Formato do protocolo para mensagens dos grupos ODA**

Fonte: Saatkamp (2003, p. 57)

## 2.4 NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) – Protocolo de Transporte por Rede de Mensagens RTCM via Internet

É crescente o uso da comunicação via Internet em aplicações GNSS<sup>10</sup>, onde os dados são transmitidos no protocolo de transporte NTRIP. Trata-se de um protocolo genérico baseado no HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) – Protocolo de Transferência de Hipertexto. Consiste na transmissão de dados de correção diferencial gerados por um receptor GPS L1 ou L1/L2 por mensagem de dados no formato RTCM designado para disseminar estes dados (por exemplo, no formato RTCM-104) ou outro tipo de mensagem de dados GNSS para usuários de Internet fixa ou móveis. Este sistema permite que computadores pessoais, computadores portáteis, PDA<sup>11</sup> ou receptores conectados a um *host*<sup>12</sup> de transmissão possam acessar simultaneamente e remotamente os dados de qualquer estação no globo terrestre através de conexão de Internet por *wireless*<sup>13</sup>. O NTRIP possibilita acesso por meio de uma rede de IP (*Internet Protocol*) – Protocolo de Internet móvel utilizando as tecnologias GSM (*Global System for Mobile communications*), GPRS (*General Packet Radio Service*), EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) ou UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

O NTRIP é uma aplicação desenvolvida recentemente pela Agência Federal de Cartografia e Geodésia da Alemanha para a transmissão de dados via internet em tempo real, permitindo conexões simultâneas entre PC, Laptop, PDA ou receptores com um servidor conhecido como NTRIP CASTER. É possível baixar os dados diretamente em um microcomputador utilizando programas disponíveis na NTRIP *Homepage*<sup>14</sup>.

O NTRIP possui os seguintes componentes:

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

---

<sup>10</sup> Sigla para o termo genérico *Global Navigation Satellite System* (Sistema Global de Navegação por Satélite), que engloba os sistemas GPS (USA), junto com os demais sistemas do mesmo gênero como o GLONASS (Rússia), o GALILEO (União Européia), Beidou (China) e o IRNSS (Índia).

<sup>11</sup> Assistente Pessoal Digital (*Personal Digital Assistants*) é um computador de dimensões reduzidas.

<sup>12</sup> Em informática é qualquer máquina ou computador conectado a uma rede.

<sup>13</sup> Refere-se a uma rede sem fio de computadores, isto é, sem a necessidade do uso de cabos – sejam eles telefônicos, coaxiais ou ópticos.

<sup>14</sup> É a página inicial ou página principal de um site da internet.

NTRIP SERVER – é utilizado para transferir dados GPS de um NTRIP SOURCE para um NTRIP CASTER.

NTRIP CASTER – é basicamente um servidor HTTP, organiza os NTRIP SOURCE definindo *mountpoints*<sup>15</sup> e senhas para acesso com o NTRIP CLIENT.

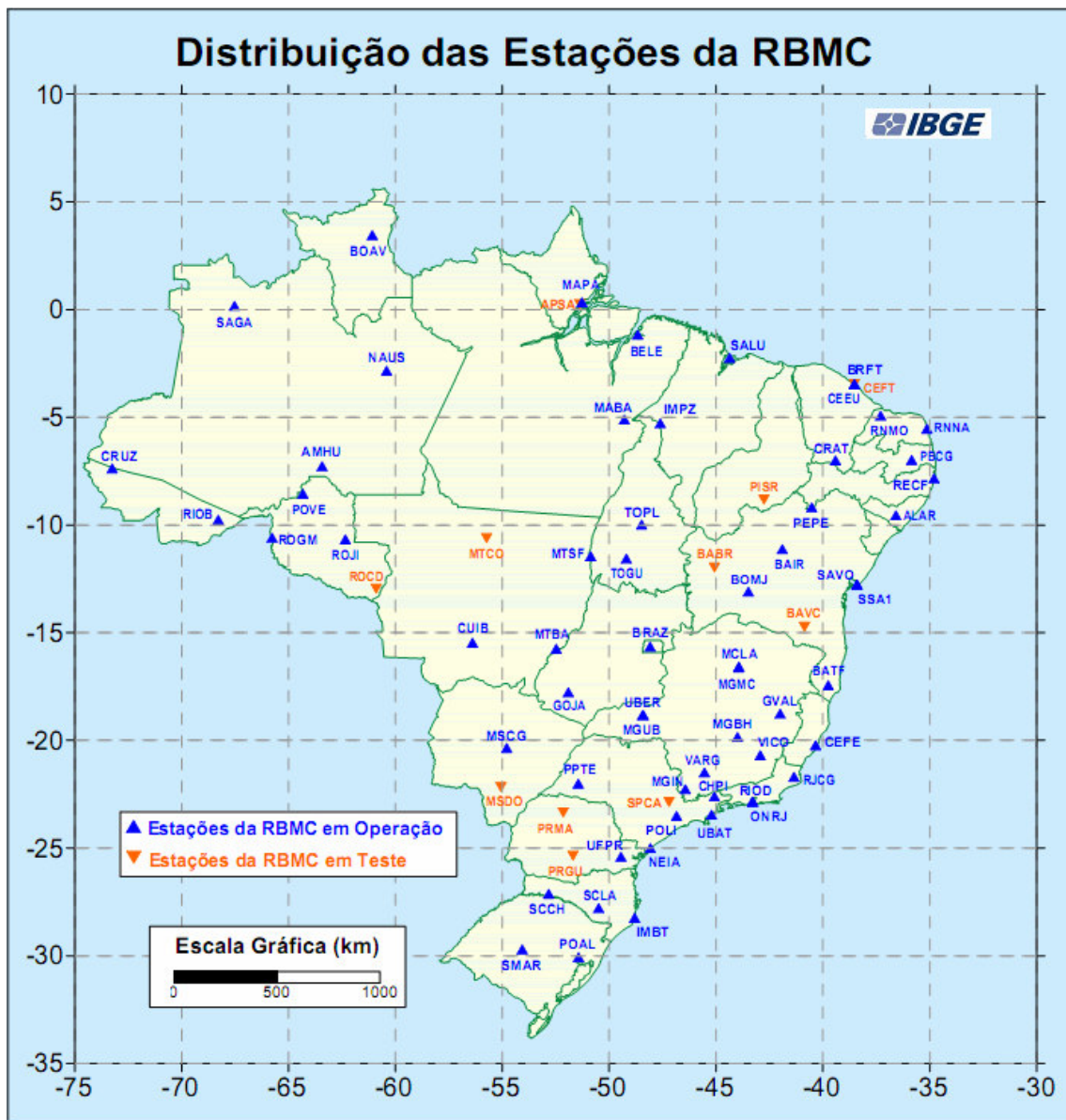
NTRIP CLIENT – é o aplicativo que o usuário do servidor precisa ter. Com ele é possível acessar os dados de um NTRIP CASTER escolhendo um *mountpoint*.

A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC - consiste de um conjunto de estações ativas com receptores GNSS que rastreiam os sinais das duas portadoras do GPS. Atualmente, têm-se mais de 60 estações da RBMC em operação mostradas na Figura 21. Além de disponibilizar aos usuários dados rastreados em datas passadas, visando efetuar posicionamentos relativos pós-processados, dados de correção diferencial em tempo quase real também são possíveis de serem disponibilizados aos usuários. Isso é possível pelo uso da Internet como meio de comunicação, em conjunto com um protocolo desenvolvido pela BKG *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie* (Agência Federal de Geodésia e Cartografia de Frankfurt) da Alemanha especificamente para tal finalidade, denominado *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* – NTRIP. Esta tecnologia de transmissão de dados foi liberada ao público seu uso em setembro de 2004. A agência BKG cadastra e controla as estações de referência espalhadas pelo mundo, através de seu caster "servidor" ser necessário por elas utilizarem para hospedagem de sua estação de referência. A BKG disponibiliza aplicativos que utilizam o protocolo NTRIP para as plataformas<sup>16</sup> Windows® e Linux. O Brasil possui 2 projetos públicos: UNESP (Universidade Estadual Paulista) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o projeto UNESP está há dois anos em caráter experimental, com 06 estações de referência em atividade contínua distribuídas pela região Oeste do Estado de São Paulo (A Mira, 2007).

---

<sup>15</sup> É o caminho (c:\jogos ou /home/paulo) que vai ficar associado a essa partição/disco/pasta-de-rede/etc no sistema de arquivos.

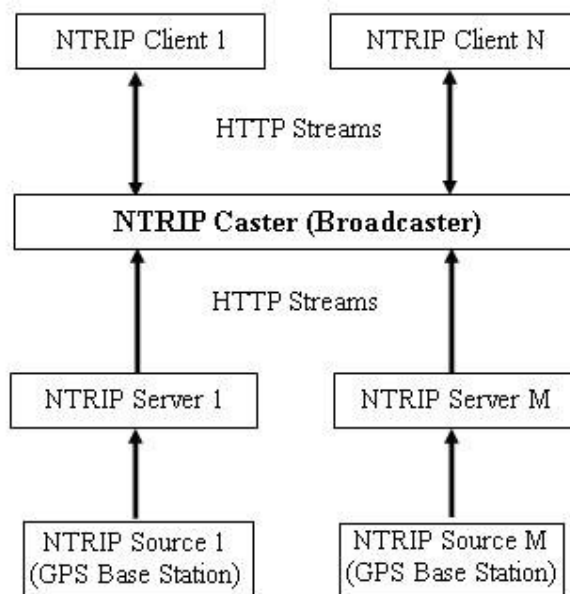
<sup>16</sup> É o padrão de um processo operacional ou de um computador.



**Figura 21 – Estações da RBMC em operação**  
 Fonte: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

A Figura 22 demonstra o funcionamento do NTRIP. Ela mostra o fluxo de dados indo do NTRIP SOURCE para o NTRIP CLIENT.





**Figura 22 – Funcionamento do NTRIP**

Fonte: [www.gisdevelopment.net](http://www.gisdevelopment.net)

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 (GPS, GLONASS, Galileo, EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), WAAS (*Wide Area Augmentation System*) entre outros) que necessite de 0.2 a 10 Kbit/s de velocidade de transmissão e transporte. Através de protocolo NTRIP é possível transmitir:

- Correções RTCM, DGPS;
- Correções RTCM, RTK;
- Dados brutos de receptores, para todos os formatos comerciais existentes.

O protocolo de correção NTRIP foi desenvolvido para ser aberto a todos os usuários de tecnologia de posicionamento GPS. Suas características técnicas de transmissão são definidas:

- Baseada na popular mensagem padrão HTTP, de fácil implementação quando há clientes limitados e recursos de plataformas de servidor disponíveis;
- Aplicação ilimitada para um plano particular ou conteúdo de mensagens codificadas e capacidade de distribuir qualquer tipo de dados GNSS;
- Potencial para suportar grande quantidade de usuários, disseminando centenas de mensagens de dados simultaneamente para até milhares de usuários quando aplicado software de transmissão de Rádio por internet;
- Segurança na transmissão dos dados de correção diferencial, pois para ter acesso aos provedores e as *Source Table* (lista de Estações de Referência), os clientes necessitam solicitar a liberação de um usuário e senha cadastrados a este servidor, pois todos estes dados são bloqueados por *firewalls*<sup>17</sup> ou *proxy servers* de proteção de rede local (Rodrigues D. A.; Teodolini A.; Rodrigues G. V., 2008).

Com a disponibilização via Internet de correções NTRIP utilizáveis pelos sistemas GPS, simplifica-se o acesso ao posicionamento geográfico em território nacional envolvendo:

- Instalação de 17 estações de referência;
- Organização de formulário de registro *on-line*<sup>18</sup> para os utilizadores;
- Publicação via Internet, das correções de posicionamento NTRIP.

A adoção deste sistema e o desenvolvimento deste projeto permitirão obter coordenadas em tempo real, com uma precisão elevada, em qualquer ponto do território nacional, com as seguintes vantagens:

- Diminuir, em campo, os recursos humanos e logísticos da comunidade usuária de equipamentos GPS para trabalhos de topografia, cartografia e cadastro;
- Reduzir os custos com a aquisição de equipamentos GPS, bem como de outros equipamentos complementares de observação;
- Aumentar a produção real e efetiva (MARQUES, M. M. L., 2007).

---

<sup>17</sup> É um dispositivo de segurança de uma rede de computadores.

<sup>18</sup> É um anglicismo da gíria da Internet; “ao vivo”, ligado, conectado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos levantamentos de campo e determinação das coordenadas de pontos pelo sistema proposto, algumas etapas foram cumpridas, em ordem cronológica:

- 1) implementação das alterações em partes dos programas que compõe o DGPSBRDS;
- 2) implementação do sistema de transmissão das correções diferenciais pelo RDS;
- 3) levantamentos em campo com um receptor FM/decodificador RDS, receptores GPS e com o protocolo NTRIP;
- 4) análise estatística dos dados levantados.

A etapa 1 consistiu basicamente de trabalho de programação e simulações em laboratório. A Figura 23 ilustra Saatkamp programando e simulando em laboratório.



Figura 23 – Programação e simulações da implementação simplificada do DGPSBRDS

A etapa 2 consistiu na implementação de um sistema de transmissão de rádio com modulador RDS. Para tal, utilizou-se um dos receptores GPS que atua como estação de referência junto ao Setor de Geodésia do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, ilustrado na Figura 32. Este receptor gera as correções diferenciais, as quais foram então processadas e codificadas no formato do RDS por um dos programas do DGPSBRDS em sua implementação simplificada, denominada DRTCRD (Decodificador RTCM / Codificador RDS) e então enviadas a um transmissor de rádio FM com modulador RDS, ilustrados na Figura 24. Este transmissor foi adquirido e instalado no edifício número 42 do Centro de Ciências Rurais da UFSM. Sua abrangência é local, com alcance inferior a uma dezena de quilômetros.

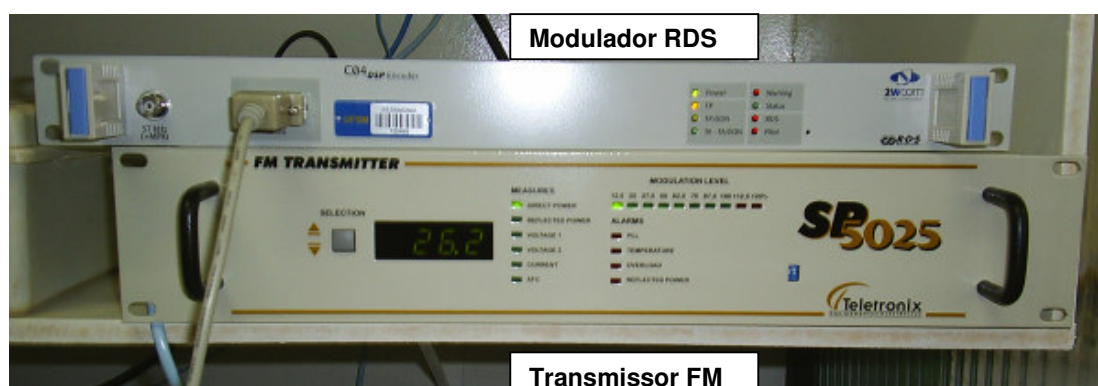


Figura 24 – Modulador RDS e transmissor de rádio FM

A antena do transmissor de rádio FM está localizada na cobertura do prédio do Centro de Ciências Rurais, como mostram as fotografias tiradas a partir de dois ângulos diferentes (Figuras 25 e 26).



**Figura 25 – Antena do transmissor FM no prédio**



**Figura 26 – Antena do transmissor de rádio FM**

Utilizou-se como ponto de teste o Marco do Setor de Geodésia (MSG), construído especificamente para este trabalho (Figuras 27 e 28). Ele foi rastreado com um receptor GPS L1, marca *Ashtech*, modelo *Promark 2*. No modo estático foi pós-processado com a estação SMAR no programa *Ashtech Solution*.



**Figura 27 – Rastreio do marco com receptor GPS L1**



**Figura 28 – Marco do setor de Geodésia (MSG)**

A etapa 3 consistiu na recepção do sinal de rádio por um receptor FM dotado de um sistema demodulador RDS, como mostra a Figura 29. Os dados RDS foram decodificados pelo programa DRDCRT (Decodificador RDS / Codificador RTCM) que compõe o DGPSBRDS e a informação da correção diferencial extraída e aplicada aos receptores GPS usuários destas correções (rastreamento DGPS). Os dados de

posição dos receptores GPS foram gravados em arquivo no formato texto da Garmin para serem utilizados na etapa 4.



**Figura 29 – Receptor FM com demodulador RDS**

A etapa 4 consistiu da análise estatística dos dados levantados na etapa 3. Trata-se do objetivo geral deste trabalho, ou seja, analisar a precisão (desvio padrão) e acurácia (média dos desvios absolutos) de posicionamentos GPS com transmissão de correções diferenciais. Para isso, fizeram-se comparações com os dois sistemas de comunicação (RDS e NTRIP) e também com os dois modos de posicionamento (absoluto e diferencial).

As etapas 1, 2 e 3 foram realizadas basicamente pelo professor pesquisador que desenvolveu o DGPSBRDS, tendo auxílio e acompanhamento.

Visando-se realizar a validação da implementação simplificada do sistema DGPSBRDS e analisar a sua eficiência, realizaram-se alguns levantamentos e investigações.

É importante destacar que, para desenvolver o sistema e colocar suas partes em funcionamento, Saatkamp teve que, ao longo do trabalho, desenvolver e/ou elaborar algumas ferramentas de *software*<sup>19</sup> e de *hardware*<sup>20</sup> (e/ou fazer suas adaptações).

A fim de que estas etapas fossem cumpridas, necessitou-se a utilização de dois *notebooks*<sup>21</sup> e quatro microcomputadores. Além dos dois receptores GPS idênticos, no modo diferencial (Figura 30), do receptor GPS de duas frequências

<sup>19</sup> É o programa de computador.

<sup>20</sup> É a parte física do computador, ou seja, é o conjunto de componentes eletrônicos, circuitos integrados e placas.

<sup>21</sup> Computador portátil.

(mostrado a seguir), do modulador RDS, do transmissor de rádio FM e do receptor FM com demodulador RDS.

Utilizaram-se ainda cinco programas: DRTCRD (programa decodificador RTCM1/codificador RDS); DRDCRT (programa decodificador do grupo RDS11A/codificador RTCM); DRDS\_Eno (programa decodificador RDS adaptado por Saatkamp para extração do grupo RDS11A; Programa para leitura e análise estatística de dados no formato texto da Garmin e o Programa para geração de gráfico polar para visualização de acurácia de posicionamento por GPS, denominado NMEA\_GGA8, desenvolvido no programa MATLAB v.6.5. Os programas foram criados e adaptados por Eno Darci Saatkamp. O programa DRDS\_Eno foi desenvolvido na linguagem computacional Pascal e compilado no Turbo Pascal 7.0 da Borland. Os programas DRTCRD e DRDCRT foram desenvolvidos e compilados na linguagem Qbasic 4.5 da *Microsoft*.

Os códigos-fonte dos programas utilizados neste trabalho: DRDCRT, DRTCRD e do NMEA\_GGA8 encontram-se nos anexos A, B e C.



**Figura 30 – Receptores GPS idênticos, marca Garmin, modelo Etrex**

Realizaram-se simultaneamente levantamentos DGPS com dois receptores idênticos (marca Garmin, modelo Etrex), instalados lado a lado em um mesmo ponto ou marco, empregando a mesma fonte de correções diferenciais (estação SMAR, da



RBMC). Utilizaram-se como meio de comunicação local a internet (NTRIP) e FM/RDS, conforme ilustra o diagrama na Figura 31. Este processo foi realizado com a estação de referência local (SMAR).

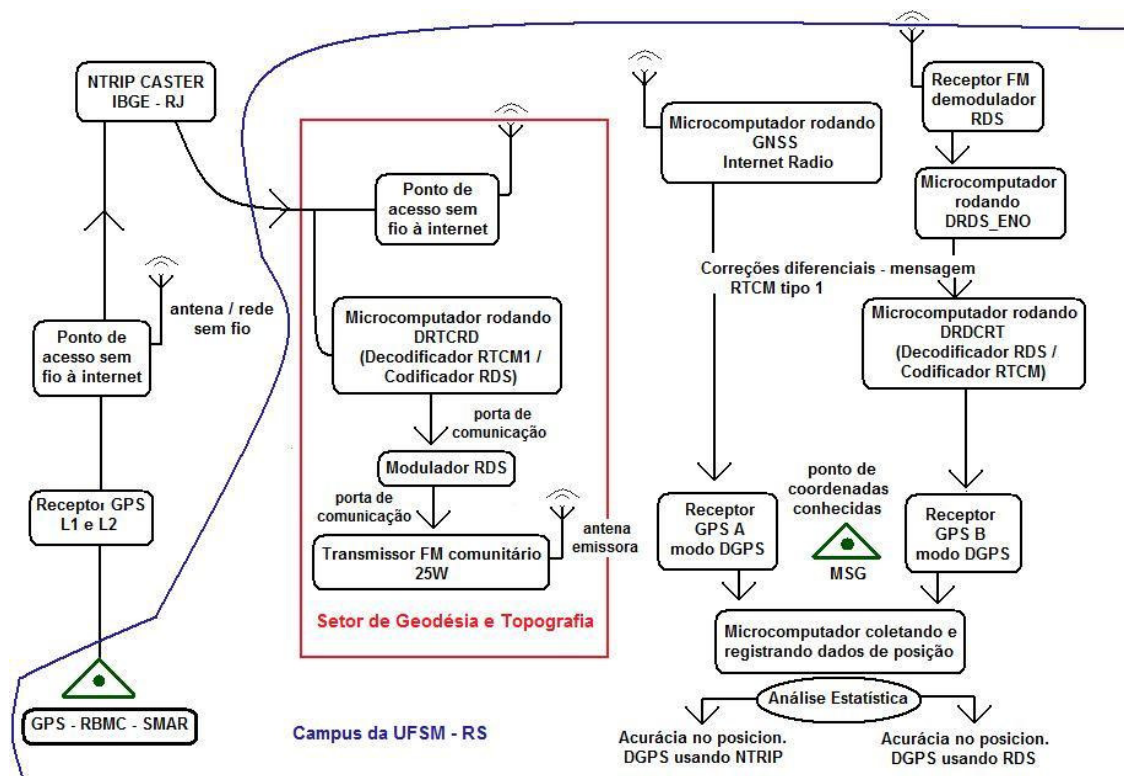


Figura 31 – Diagrama esquemático da estrutura utilizada para investigações DGPS usando NTRIP e RDS

- DGPS pelo NTRIP

Numa primeira fase, efetuaram-se posicionamentos (determinação de coordenadas geodésicas de pontos) por DGPS (GPS diferencial usando somente o código) no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), visando avaliar os resultados de acurácia (diferença entre as coordenadas conhecidas e as determinadas no rastreamento) obtidos usando tal sistema. Para tal, fez-se uso do receptor GPS L1 e L2 da marca Trimble, modelo NET-RS, da estação de referência SMAR, situada no local dos levantamentos (UFSM) - Figura 32. As informações de correção diferencial (mais especificamente, a mensagem RTCM tipo 1) foram obtidas em tempo quase real pelo uso do programa *GNSS Internet Radio* (programa cliente do NTRIP), que acessou o servidor (*NTRIP Caster*), que será mais detalhado a seguir, situado no IBGE/RJ. O acesso à internet (e ao servidor NTRIP) foi feito por

rede de comunicação sem fio. Um ponto de acesso à rede ficou na sala do Setor de Geodésia e Topografia da UFSM, o qual permite comunicação sem fio a um usuário distante de até cerca de 50 m do local de transmissão.

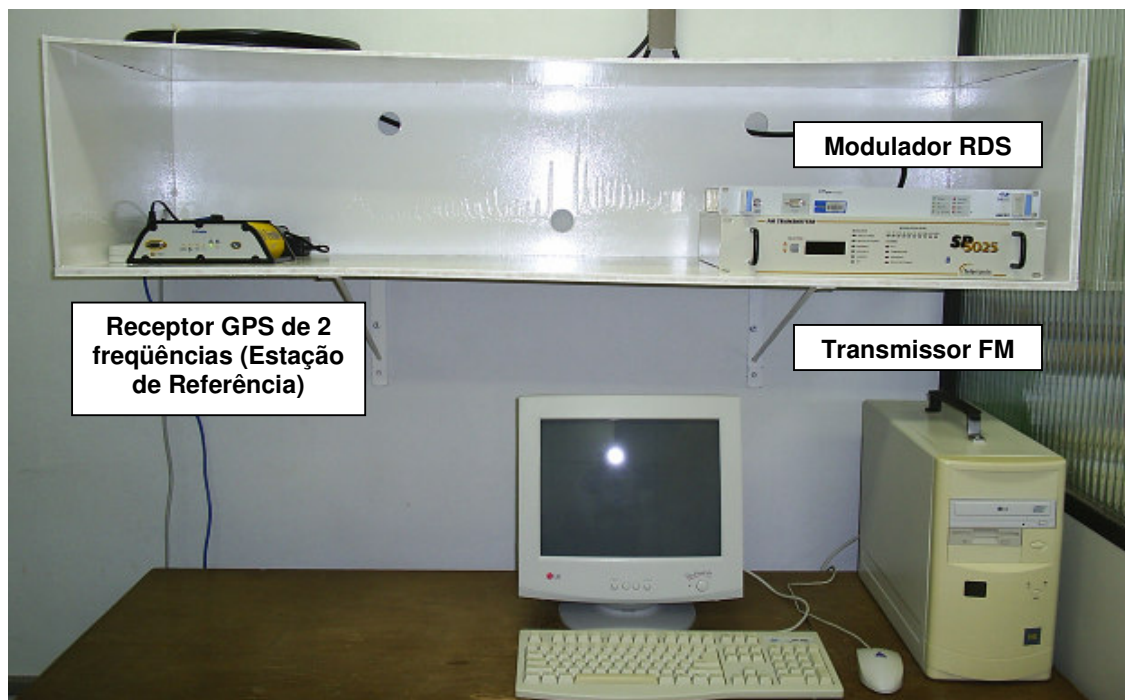


**Figura 32 – Receptor GPS de duas freqüências que serve como estação de referência**

- DGPS pelo RDS

O receptor GPS da estação de referência SMAR transmitiu na sua porta de comunicação serial COM 3 mensagens RTCM tipo 1 para a porta serial COM 1 de um dos microcomputadores utilizados. Este estava rodando DRTCRD (Programa decodificador RTCM1/codificador RDS), emitiu a mensagem RTCM tipo 1 codificada no grupo 11A do protocolo RDS na sua porta serial COM 2 para o modulador RDS, localizado na sala do Setor de Geodésia e Topografia, passando para o transmissor FM comunitário de baixa potência (25 W), marca Teletronix, modelo SP5025 (diagrama da Figura 31). Ele emite sinal de rádio com RDS e funciona na freqüência de 107,9 MHz (freqüência alocada pela ANATEL para a cidade de Santa Maria).

Na Figura 33, encontram-se os três equipamentos internos ao Setor de Geodésia, instalados na sala 3101:



**Figura 33 – Receptor GPS L1 e L2, Modulador RDS e Transmissor FM**

De forma semelhante e simultaneamente, fizeram-se os mesmos experimentos usando o sistema de comunicação: emissora de radiodifusão em frequência modulada (FM), por meio do RDS (Sistema de rádio-transmissão de dados). Ou seja, utilizou-se um transmissor FM. No ponto rastreado, usou-se um receptor FM com demodulador RDS adaptado por Saatkamp (2003) para conexão com um dos microcomputadores. Este transmitiu os dados pela porta de comunicação serial COM 1 para o microcomputador rodando DRDS\_Eno, isto é, Programa decodificador RDS adaptado por Saatkamp para extração do grupo 11A. Este microcomputador transmite para outro microcomputador rodando DRDCRT (Programa decodificador do grupo RDS 11A/codificador RTCM). As informações (correções diferenciais) foram recebidas por um dos dois receptores GPS (código C/A) da marca Garmin, modelo Etrex, situado no MSG. O outro receptor GPS recebe os dados em formato RTCM 1 do microcomputador rodando GNSS Internet Radio. Ambos os receptores GPS transmitem, um com porta serial COM 1 e o outro COM 2 para o microcomputador que estava coletando e registrando dados de posição.

Utilizou-se neste trabalho o programa NTRIP CLIENT para Windows. As figuras a seguir mostram as telas com tal componente do protocolo NTRIP.

Nas figuras 34 e 35 encontram-se as telas de abertura do NTRIP CLIENT. Para acessar, o usuário deve ser cadastrado e possuir uma senha junto ao IBGE. Primeiramente, selecionou-se a rede e após escolheu-se a estação de referência e suas características. Neste caso, a rede é RBMC e a estação Santa Maria, mensagens tipo 1.

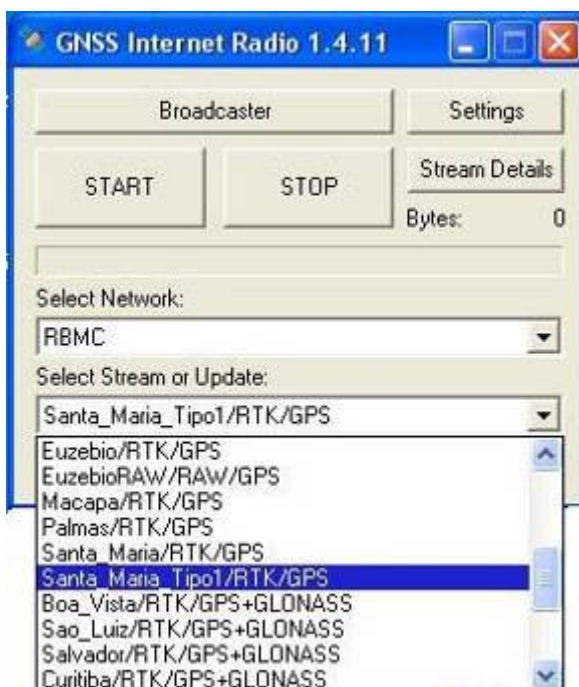


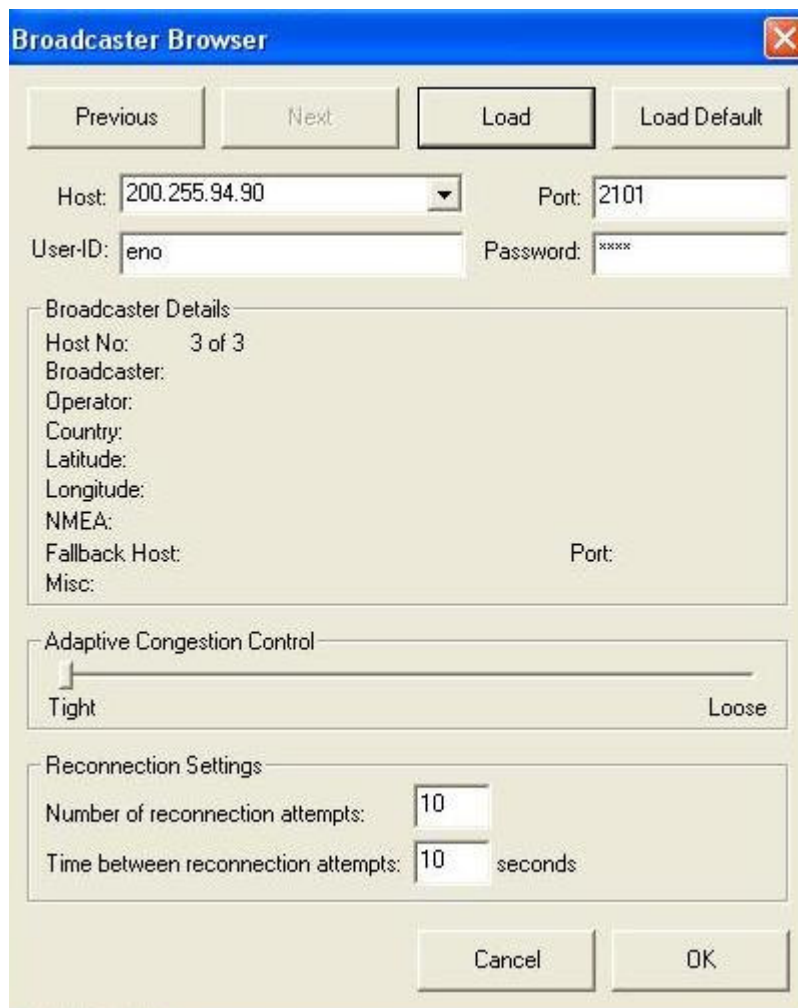
Figura 34– Tela de abertura do NTRIP CLIENT



Figura 35 – Tela com seleção da rede e estação de referência

A seguir, selecionou-se a opção *Broadcaster* para definir o NTRIP CASTER de onde se recebeu os dados. Neste caso, (Figura 36), inseriu-se o IP (200.255.94.90) do microcomputador que atuou como NTRIP CASTER, de onde foram usados os dados. O cliente acessou com *login*<sup>22</sup> e senha. Validando, estabeleceu um enlace de comunicação no qual o servidor emitiu os quadros de correções diferenciais gerados pela estação de referência solicitada.

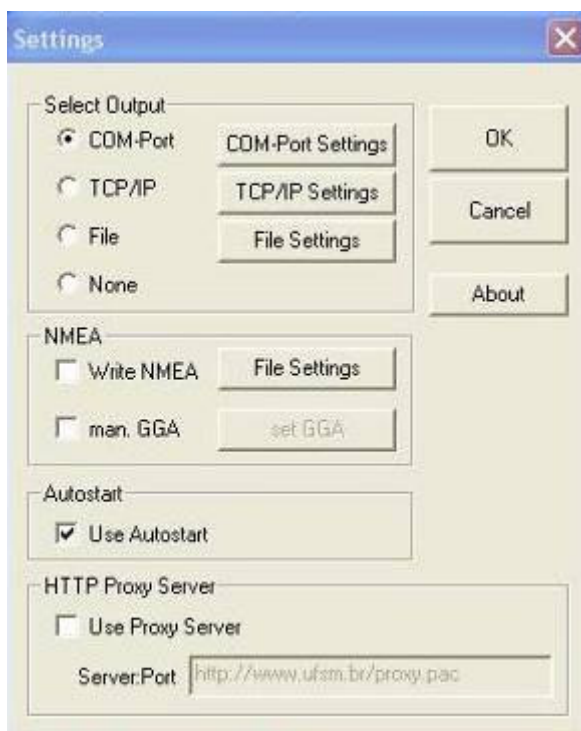
<sup>22</sup> Ou Palavra-Senha é um conjunto de caracteres solicitado para os usuários que por algum motivo necessitam acessar algum sistema computacional.



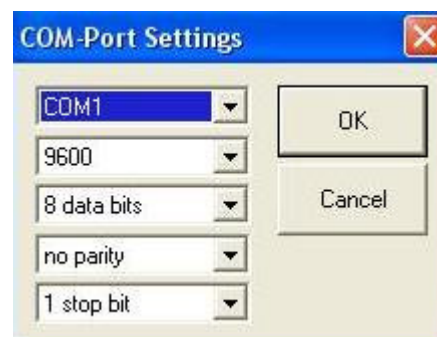
**Figura 36 – Tela *Broadcaster***

Selecionando a opção *Settings* mostrada nas Figuras 34 e 35, fizeram-se as opções de definição, envio de dados e outras (Figura 37). Nesta tela pode-se definir o destino dos dados. Enviar para uma porta COM, uma porta TCP ou guardar em um arquivo.

Para definir um arquivo de recebimento dos dados, selecionou-se *File Settings* e digitou-se o nome do arquivo, que é obrigatoriamente no formato .dat. A porta serial escolhida foi a COM 1, como mostra-se na tela da Figura 38.

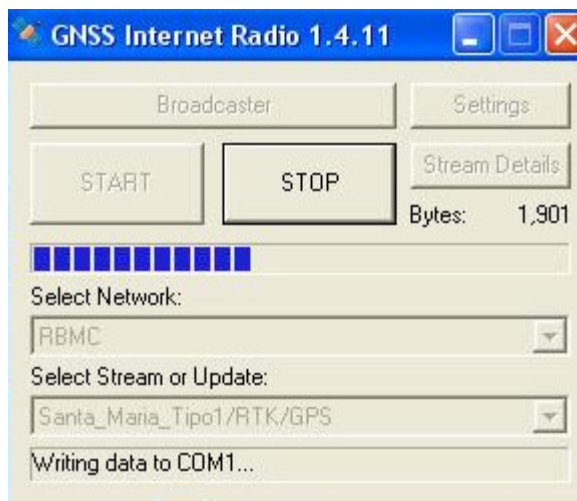


**Figura 37 – Tela Settings**



**Figura 38 – Tela porta serial COM 1**

Após, selecionou-se a opção *ok* nas duas figuras anteriores para sair de *Settings* e finalmente em *Start* (Figura 39) iniciou-se a transferência.



**Figura 39 – Tela transferência dos dados**

A seguir, nas Figuras 40, 41 e 42 ilustram-se os equipamentos em funcionamento (coleta de dados), a fim de posteriormente serem analisados.



Figura 40 – Equipamentos em funcionamento



Figura 41 – Levantamentos externos ao Setor de Geodésia



Figura 42 – Coleta de dados



## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O principal objetivo destes levantamentos foi avaliar a eficiência dos dois sistemas de comunicação implementados, pela análise da qualidade dos posicionamentos DGPS.

Para analisar os dados de levantamentos GPS obtidos pela aplicação de cada um dos dois sistemas (RDS e NTRIP) foram seguidas as etapas descritas no capítulo 3 (Figura 31), nos modos de posicionamento absoluto e diferencial.

Os levantamentos foram conduzidos por cerca de 1 hora e meia, simultaneamente com os dois processos RDS e NTRIP. Neste período, em média de 15 minutos foi no modo diferencial, deixando 5 minutos no modo absoluto e assim sucessivamente.

Obtiveram-se resultados como mostram os Quadros 3 e 4. Estes são uma amostra do quadro final de resultados no formato proprietário de texto da Garmin, sendo que foram gerados dois quadros, um para cada sistema e receptor GPS. O período para exemplo (horário GPS) foi das 21 horas, 15 minutos e 00 segundo até às 21 horas, 16 segundos e 00 segundo, isto é, 1 minuto. Cada linha dos quadros corresponde a um segundo, ou seja, para exemplificar o levantamento foram retiradas 61 amostras de cada experimento para ter-se uma idéia do processamento. Sobre os resultados dos quadros, é possível tecer os seguintes comentários:

- De acordo com a primeira linha e assim por diante, no Quadro 3, tem-se o ano (09), o mês (02), o dia (21), a hora GPS (21), os minutos (15), os segundos (00), o hemisfério (S), latitude em graus, minutos e decimal de minutos (29 43 137), a longitude (W), longitude em graus, minutos e decimal de minutos (053 42 986), modo diferencial (D) ou absoluto (G), precisão estimada pelo receptor em metros (002) e por fim a altitude;

- No Quadro 4, tem-se o ano (09), o mês (02), o dia (21), a hora GPS (21), os minutos (15), os segundos (00), o hemisfério (S), latitude em graus, minutos e decimal de minutos (29 43 136), a longitude (W), longitude em graus, minutos e decimal de minutos (053 42 985), modo diferencial (D) ou absoluto (G), precisão estimada pelo receptor em metros (004) e a altitude;



@090221,21,15,00,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,01,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,02,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,03,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,04,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,05,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,06,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,07,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,08,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,09,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,10,S,29,43,136,W,053,42,985	D,003+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,11,S,29,43,136,W,053,42,985	D,002+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,12,S,29,43,136,W,053,42,985	D,002+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,13,S,29,43,136,W,053,42,985	D,002+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,14,S,29,43,136,W,053,42,985	D,002+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,15,S,29,43,136,W,053,42,985	D,002+00094E0000N0000U0000
@090221,21,15,16,S,29,43,136,W,053,42,985	D,003+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,17,S,29,43,136,W,053,42,985	D,003+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,18,S,29,43,136,W,053,42,985	D,003+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,19,S,29,43,136,W,053,42,985	D,003+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,20,S,29,43,136,W,053,42,985	D,003+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,21,S,29,43,136,W,053,42,985	D,003+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,22,S,29,43,136,W,053,42,985	D,004+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,23,S,29,43,136,W,053,42,985	D,006+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,24,S,29,43,136,W,053,42,985	D,006+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,25,S,29,43,136,W,053,42,985	D,006+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,26,S,29,43,136,W,053,42,985	D,006+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,27,S,29,43,136,W,053,42,985	D,006+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,28,S,29,43,136,W,053,42,985	D,006+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,29,S,29,43,136,W,053,42,985	D,007+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,30,S,29,43,136,W,053,42,985	D,007+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,31,S,29,43,136,W,053,42,985	D,007+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,32,S,29,43,136,W,053,42,985	D,007+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,33,S,29,43,136,W,053,42,985	D,007+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,34,S,29,43,136,W,053,42,985	D,010+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,35,S,29,43,136,W,053,42,985	D,009+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,36,S,29,43,136,W,053,42,985	D,009+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,37,S,29,43,136,W,053,42,985	D,009+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,38,S,29,43,136,W,053,42,985	D,009+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,39,S,29,43,136,W,053,42,985	D,009+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,40,S,29,43,136,W,053,42,985	D,010+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,41,S,29,43,137,W,053,42,985	D,010+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,42,S,29,43,137,W,053,42,985	D,010+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,43,S,29,43,136,W,053,42,985	D,010+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,44,S,29,43,136,W,053,42,985	D,010+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,45,S,29,43,136,W,053,42,985	D,010+00094E0000N0000D0000
@090221,21,15,46,S,29,43,137,W,053,42,985	G,009+00094E0000N0000D0001
@090221,21,15,47,S,29,43,137,W,053,42,985	G,010+00094E0000N0000D0002
@090221,21,15,48,S,29,43,137,W,053,42,985	G,010+00094E0000N0000D0002
@090221,21,15,49,S,29,43,137,W,053,42,985	G,010+00094E0000N0000D0002
@090221,21,15,50,S,29,43,137,W,053,42,985	G,010+00094E0000N0000D0002
@090221,21,15,51,S,29,43,137,W,053,42,985	G,010+00094E0000N0000D0002
@090221,21,15,52,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002
@090221,21,15,53,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002
@090221,21,15,54,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002
@090221,21,15,55,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002
@090221,21,15,56,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002
@090221,21,15,57,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002
@090221,21,15,58,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002
@090221,21,15,59,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002
@090221,21,16,00,S,29,43,137,W,053,42,985	G,011+00093E0000N0000D0002

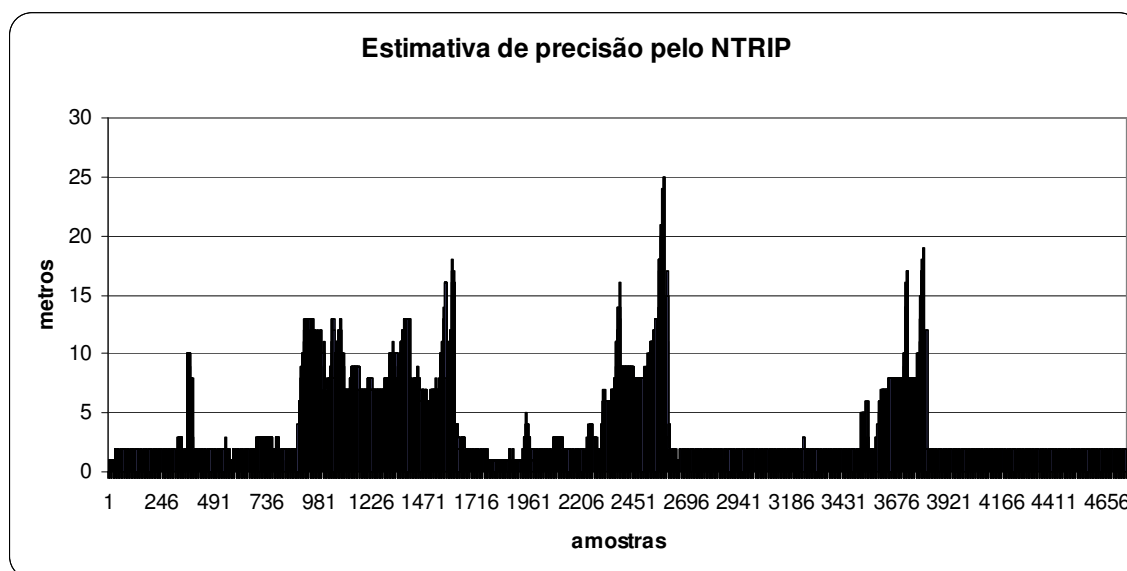
**Quadro 4 – Modelo de resultados com o RDS**

▪ No Quadro 3, percebe-se que esteve conectado o receptor GPS no modo diferencial 35 segundos. Na sequência, retornou-se para o modo absoluto. No Quadro 4, o modo diferencial vai até às 21 horas, 15 minutos e 45 segundos, ou

seja, 46 segundos. Isto ocorreu devido aos levantamentos no modo diferencial pelo NTRIP terem sido iniciados alguns segundos antes do RDS.

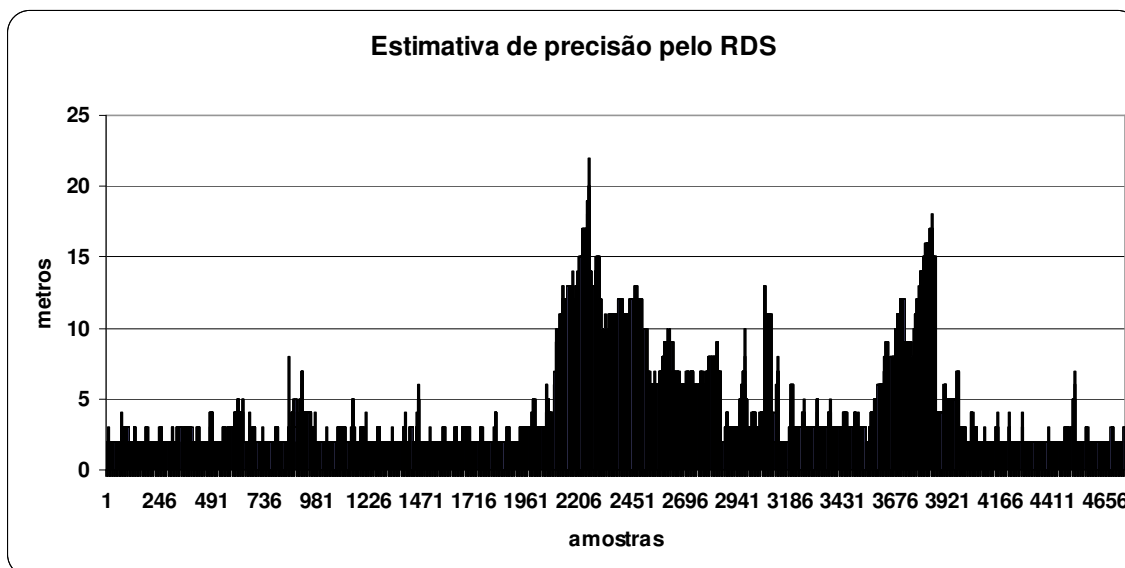
Com os valores da precisão estimada pelo receptor GPS em metros (Quadros 2 e 3), foram gerados gráficos no programa *Microsoft Office Excel 2003* para estimativas de precisão pelo programa NTRIP e pelo RDS. As Figuras 43 e 44 mostram as estimativas de precisão usando o NTRIP e o RDS, onde o eixo das abscissas contém a quantidade de amostras e das ordenadas o eixo em metros.

Utilizando os dados levantados em campo com as trocas de modo diferencial (D) para absoluto (G) e vice-versa, têm-se na Figura 43, da 1 a 366 amostras (segundos) de rastreo esteve no modo D; da 367 a 388 no modo (G); da 389 a 887 (D); da 888 a 1610 (G); da 1611 a 2305 (D); da 2306 a 2603 (G); da 2604 a 3515 (D); da 3516 a 3534 (G); da 3535 a 3585 (D); da 3586 a 3810 (G); da 3811 a 4656 (D). Com estas informações e análise do gráfico, pode-se constatar que quando as amostras estão no modo diferencial o gráfico permanece constante.



**Figura 43 – Estimativa de precisão usando NTRIP**

Na Figura 44, constatou-se que as amostras estando no modo absoluto ou mesmo no diferencial não tiveram nenhum momento com amostras constantes como na Figura anterior.



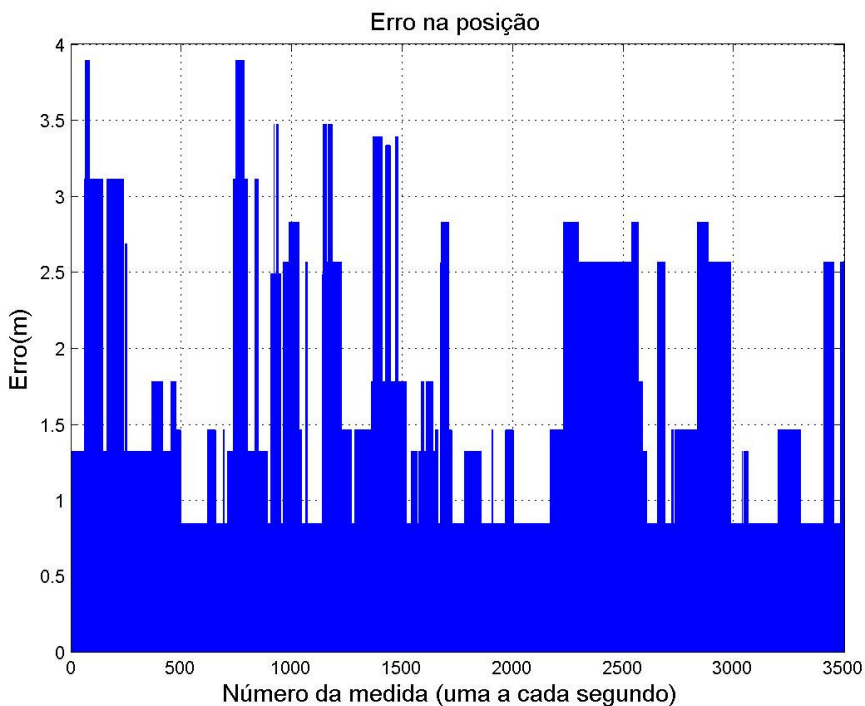
**Figura 44 – Estimativa de precisão usando RDS**

Cada amostra de 1 a 4656 corresponde a cada segundo de rastreo. A estimativa de precisão pelo NTRIP variou de 1 a 25 m.

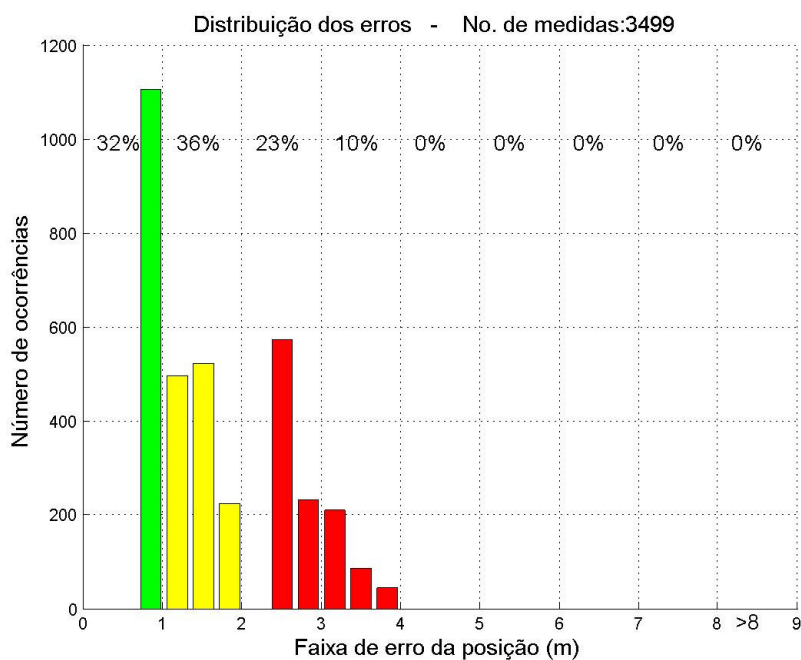
Para gerar estes gráficos, levou-se em consideração as amostras de precisão em metros, a partir da amostra 1 até a 4746, isto é, do 1º ao 4746º segundo de rastreo. Observou-se que pelo NTRIP (Figura 43), as amostras estiveram no modo diferencial da amostra 1 a 366 e que a estimativa de precisão variou de 1 a 3 m. Neste momento, desconectou-se a comunicação das correções diferenciais (inserção do receptor no modo absoluto) por alguns segundos, onde no gráfico pode-se notar um “pico” de até 10 m. Voltando ao modo diferencial na amostra 389, o gráfico começa novamente a estabilizar. Passaram-se 15 minutos e o gráfico permaneceu com precisão de no máximo 4 m. Fizeram-se essas mudanças de modo absoluto para diferencial e vice-versa até a última amostra e realmente o gráfico deixou de ser estável quando as amostras estavam no modo absoluto, chegando a estimativa de precisão a 25 m nas amostras 2585 e 2586, como se percebe nitidamente no gráfico. Em alguns segundos a estimativa chegou a 1 m. Contudo, no modo DGPS pelo RDS a precisão permaneceu grande parte do tempo em 2 m.

Pelo RDS, a estimativa de precisão variou consideravelmente, sendo que não se manteve estável por muitos segundos, nem mesmo no modo diferencial. No modo absoluto as variações de estimativa chegaram ao máximo a 22 m.

Considerando todos os segundos de rastreo e utilizando somente os valores no modo diferencial, fizeram-se gráficos no programa MatLab 6.5. Foram 3499 amostras para o NTRIP. As Figuras 45 e 46 mostram as estimativas de precisão e a distribuição dos erros para o rastreo DGPS pelo NTRIP. Na Figura 45 é apresentada a precisão estimada (eixo das ordenadas) ao longo do tempo (eixo das abscissas). Na Figura 46, observa-se que 32% das medidas ficaram com erros de posição abaixo de 1 m, 36% ficaram entre 1 e 2 m, e 33% ficaram entre 2 e 4 m.

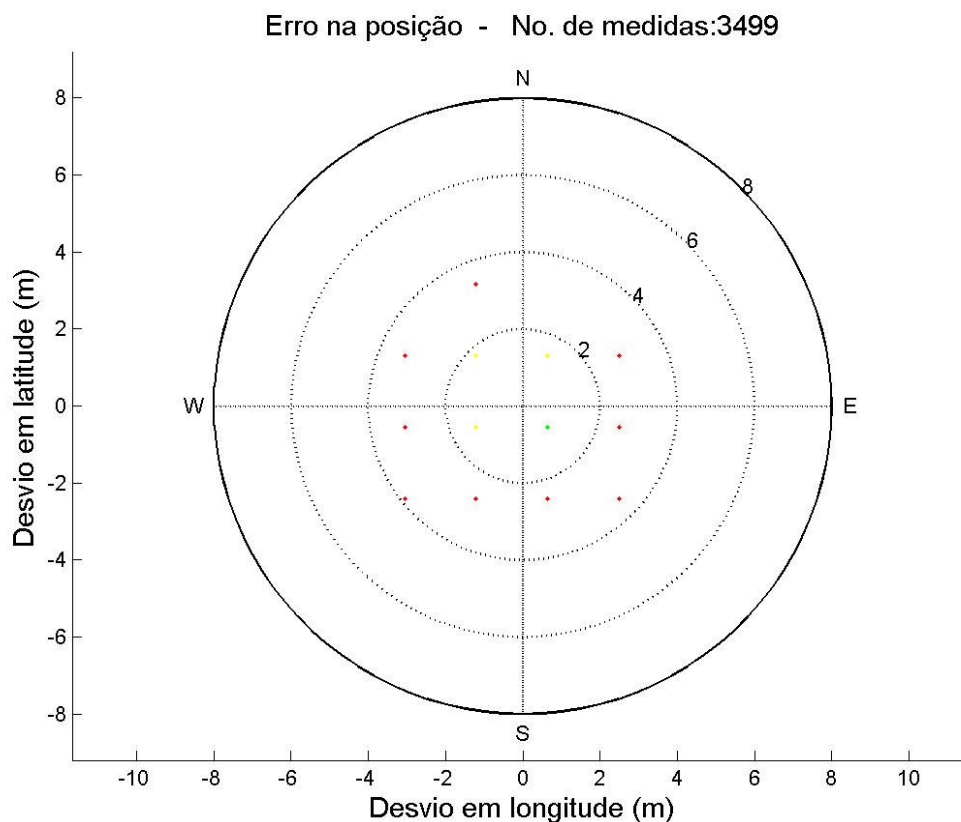


**Figura 45 – Precisões estimadas para o rastreo DGPS pelo NTRIP**



**Figura 46 – Distribuição dos erros para o rastreamento DGPS pelo NTRIP**

A Figura 47 mostra a acurácia de posicionamento por DGPS pelo NTRIP, onde se observa que seus valores estão abaixo de 4 m. Cabe observar que o “espaçamento” de discretização ocorre devido à baixa resolução do receptor usado, que fornece coordenadas com resolução angular de três decimais (milésimo) de segundo, que corresponde a uma discretização em posição de cerca de 1,85 m.



**Figura 47 – Acurácia de posicionamento por DGPS pelo NTRIP**

Com o RDS, foram coletadas 4750 amostras. As Figuras 48 e 49 mostram os erros e a sua distribuição para o rastreo DGPS pelo RDS. Na Figura 48 é apresentada a precisão estimada ao longo do tempo. Na Figura 49, observa-se que 3% das medidas ficaram com erros de posição abaixo de 1 m, 54% ficaram entre 1 e 2 m, e 44% ficaram entre 2 e 6 m.



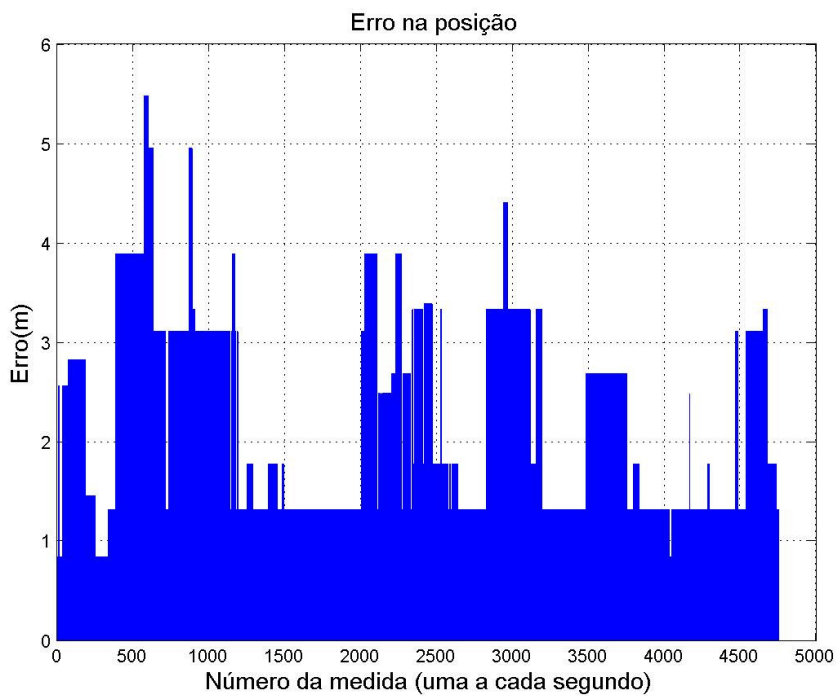


Figura 48 – Precisões estimadas para o rastreo DGPS pelo RDS

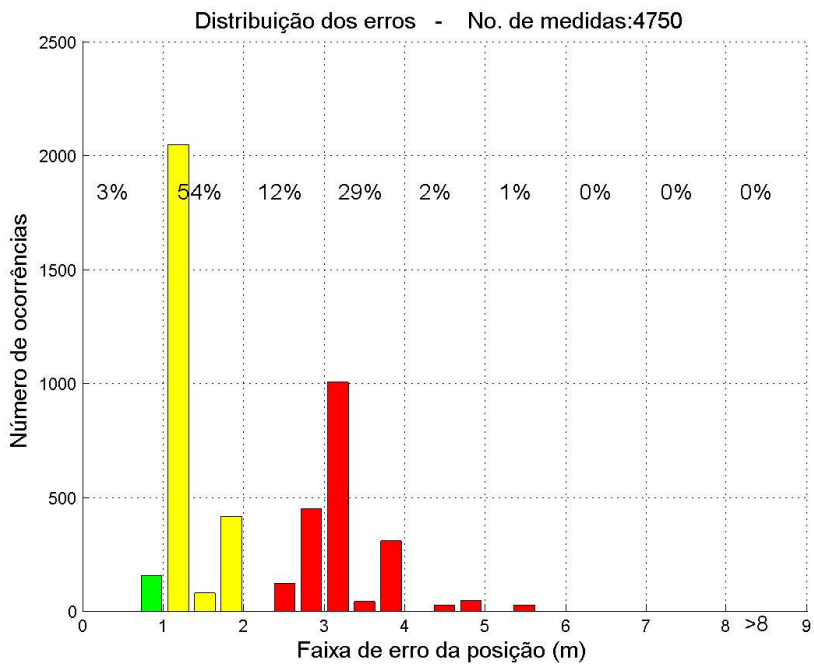
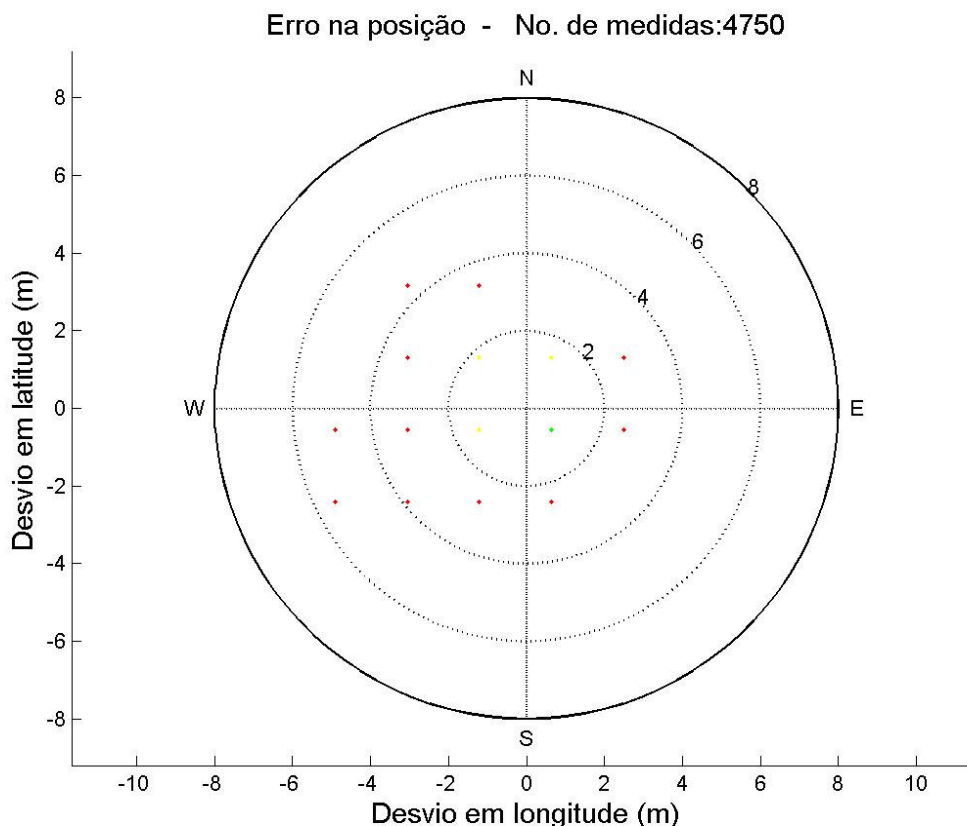


Figura 49 – Distribuição dos erros para o rastreo DGPS pelo RDS

A Figura 50 mostra a acurácia de posicionamento por DGPS pelo RDS, onde se observa que seus valores estão abaixo de 6 m.



**Figura 50 – Acurácia de posicionamento por DGPS pelo RDS**

O Quadro 5 compara os dois processos (NTRIP e RDS) com os modos de posicionamento (absoluto ou diferencial) e os valores de precisão estimada (desvio padrão=média) e acurácia (média dos desvios absolutos):

	NTRIP			NTRIP Dif.			RDS			RDS Dif.		
	latit	long	posiç	latit	long	posiç	latit	long	posiç	latit	long	posiç
Desvio Padrão (m)	1,08	1,58	1,91	1,02	1,58	1,88	1,17	1,39	1,82	1,22	1,31	1,79
Erro Méd. Quadr.(m)	0,91	1,34	1,62	0,87	1,37	1,62	1,02	1,84	2,10	1,05	1,79	2,08

**Quadro 5 – Comparativo NTRIP / RDS e absoluto / diferencial**

## **5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Segundo a metodologia proposta e os resultados obtidos é possível concluir que:

Os resultados reais (Quadro 5) no modo absoluto e diferencial adquiriu-se valores que não variaram significativamente, ou seja, foram similares por questão de coincidência. Contudo, se fossem feitos levantamentos, por exemplo, 3 horas antes ou depois do período do trabalho, os resultados poderiam ser diferentes, pela quantidade maior de amostras e também pelo rastreo ou localização dos satélites.

De acordo com a precisão estimada pelo receptor, a acurácia varia ao longo do tempo, mas, seu valor pode em algum período ser menor, mesmo no modo absoluto e com a precisão estimada com valor relativamente maior.

Analisando os Quadros 3 e 4, percebe-se nitidamente, a piora da precisão estimada, ou seja, o aumento do desvio padrão.

Comparando as Figuras 43 e 44, conclui-se que pelo RDS obtiveram-se resultados piores do que pelo NTRIP. Pois, o RDS transmite o dado de correção diferencial de somente um satélite em cada quadro enviado (a cada 0,6 segundos). Desta forma, a informação de correção diferencial dos outros satélites estará “antiga”, isto é, causa uma degradação diferencial. Enquanto que pelo NTRIP, os dados são em tempo quase que real.

Considera-se que este trabalho tenha significado uma etapa de um processo de desenvolvimento de aplicação do sistema de transmissão de correções diferenciais. Mais investigações são necessárias para o aprofundamento do tema.

Recomenda-se efetuar testes de maior duração, várias horas ou até vários dias para obtenção de resultados mais abrangentes. Ademais, testes com receptores que rastreiam também a fase da portadora, os quais possuem melhor resolução (maior número de casas decimais nas coordenadas).

### **5.1 Contribuições da pesquisa**

Espera-se que os resultados desta pesquisa venham a servir subsídios para que futuros trabalhos sejam desenvolvidos.

Também, permitiu o aprendizado na utilização do NTRIP e do RDS.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONCEITO DA CORREÇÃO DIFERENCIAL EM TEMPO REAL. In: Scientific Electronic Library Online. Disponível em: <<http://www.scielo.br/img/revistas/eagri/v26n2/23f2.gif>>. Acesso em: 27 nov. 2008.

COORDENAÇÃO DE PONTOS. Disponível em: <[www.isa.utl.pt/dm/geomat/geomat/Aula18\\_CoordenacaoPontos.ppt](http://www.isa.utl.pt/dm/geomat/geomat/Aula18_CoordenacaoPontos.ppt)>. Acesso em: 02 fev. 2009.

CRAWFORD, P. **Finalidade do GPS**. In: Gave - Banco de Itens. Disponível em: <<http://bi.gave.min-edu.pt/bi/es/968/3852>>. Acesso em: 01 dez. 2008.

EBU-SPB 490. RDS Universal Encoder Communication Protocol – UECP Version 5.1. European Broadcasting Union/RDS forum, Genebra, agosto de 1997.

ESTEVES, B. **Aquecimento global pode afetar satélites**. In: Ciência Hoje On-line. 2006. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/62491>>. Acesso em: 27 nov. 2008.

GORGULHO, M., **O que é GPS**. In: Maré GPS. Disponível em: <[http://www.maregps.com.br/images/sistema\\_gps.htm#DGPS](http://www.maregps.com.br/images/sistema_gps.htm#DGPS)>. Acesso em 17 dez. 2008.

GPS. In: ARVM. Disponível em: <<http://www.arvm.org/gps/historico.html>>. Acesso em: 13 dez. 2008.

GPS Sistema de Posicionamento Global. In: SlideShare. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/positrao/gps-sistema-de-posicionamento-global-presentation>>. Acesso em: 13 dez. 2008.

GUERREIRO, J. C. F. **Fontes de Erro em GPS**. In: Malima Consultoria. 2005. Disponível em: <[http://www.malima.com.br/satelite/blog\\_commento.asp?blog\\_id=10&month=8&year=2008&giorno=&archivio=OK](http://www.malima.com.br/satelite/blog_commento.asp?blog_id=10&month=8&year=2008&giorno=&archivio=OK)>. Acesso em: 01 dez. 2008.

HOFMANN-WELLENHOF, B. **Global Positioning System: theory and practice**. New York: Springer-Werlag Wien. 2001.

JOHNSON, T. M. **Introdução ao GPS**. In: Portal Independente de Telecomunicações. Disponível em: <[http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thiene\\_johnson/gps.html](http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thiene_johnson/gps.html)>. Acesso em: 19 dez. 2008.

JUNIOR, C. S. **GPS-Sistema de Posicionamento Global**. In: Universidade Paranaense. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br/Artigos/Dgps.html>>. Acesso em: 13 dez. 2008.

KOPITZ, D.; MARKS, B. **RDS: The Radio Data System**. Boston: Artech House. 1999.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. John Wiley & Sons Inc. First Edition. 1994.

MARQUES, M. M. L. **NTRIP**. In: Unidade de Coordenação da Modernização Administrativa. Portal do governo. Disponível em: <[http://www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/A3A3E9D5-834E-4B8A-B341-A89023DC8ECE/0/Programa\\_Simplex\\_2007.pdf](http://www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/A3A3E9D5-834E-4B8A-B341-A89023DC8ECE/0/Programa_Simplex_2007.pdf)>. Acesso em 27 jan. 2009.

MEHL, E. L. de M. **Introdução ao Navstar-GPS**. In: Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <[www.eletrica.ufpr.br/mehl/te155/aulas/7-2-NAVSTAR-GPS.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te155/aulas/7-2-NAVSTAR-GPS.pdf)>. Acesso em: 13 jul. 2008.

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

MULTICAMINHO. In: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/wikidesia/index.php/Multicaminho>>. Acesso em: 01 dez. 2008.

NTRIP. In: *The Geospatial Resource Portal*. Disponível em: <[www.gisdevelopment.net](http://www.gisdevelopment.net)>. Acesso em: 27 jan. 2009.

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/rbmc\\_est.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm)>. Acesso em: 15 fev. 2009.

RODRIGUES D. A.; TEODOLINI A.; RODRIGUES G. V. **USP e IBGE realizam os primeiros testes dos receptores GPS PROMARK500 e PROMARK3 em RTK por NTRIP**. In: A Mira. Disponível em: < [http://www.amiranet.com.br/conteudomostral.php?arq=materia\\_25072008091800.pdf](http://www.amiranet.com.br/conteudomostral.php?arq=materia_25072008091800.pdf) >. Acesso em 02 fev. 2009.

SAATKAMP, E. D. **Desenvolvimento e experimentação de um formato para a transmissão de correções DGPS pelo RDS no Brasil**. 2003. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. New York: Walter de Gruyter. Berlin. 2003.

SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL. In: Wikipédia. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_Posicionamento\\_Global](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Posicionamento_Global)>. Acesso em: 12 ago. 2008.

SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL. In: Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/grad/08\\_1/gps/index.html](http://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/gps/index.html)>. Acesso em: 27 jul. 2008.

SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL. In: Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <<http://br.geocities.com/trabalhogps123/>>. Acesso em: 12 ago. 2008.

SISTEMAS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITE. In: Geodésia.org. Disponível em: <<http://www.geodesia.org/>>. Acesso em: 19 dez. 2008.

SISTEMA GPS. In: Departamento de Engenharia de Eletrônica e Telecomunicações e de Computadores. Disponível em: <[www.deetc.isel.ipl.pt/sistemastele/ST1/arquivo/GPS\\_new.pdf](http://www.deetc.isel.ipl.pt/sistemastele/ST1/arquivo/GPS_new.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2008.

SOKKIA; TEODONIVEL - IMPLANTAM NOVA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA COM TRANSMISSÃO RTK POR NTRIP. 2007. In: A Mira. Disponível em: < <http://www.amiranet.com.br/conteudo.php?tipo=n&codigo=968> >. Acesso em 02 fev. 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais. **Geodésia e topografia**. Santa Maria, [200-]. Não paginado, xerocado.  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais. **Curso de GPS “Global Positioning System”**. Santa Maria, [2004]. Não paginado, xerocado.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais.  
**Posicionamento por satélite.** Santa Maria, [200-]. Não paginado, xerocado.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Curso de Engenharia** Elétrica.  
Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te155/blogger/index.html>>.

# ANEXO A – DRDCRT (Programa decodificador RDS / codificador RTCM)

AUTOR: PROF. ENO DARCI SAATKAMP

```
DECLARE FUNCTION paridade$ (paldados$)
DECLARE FUNCTION compact$ (q$)
DECLARE FUNCTION preenche$ (cq$, nbc!)
DECLARE FUNCTION convdecbin$ (dec!, s$)
DECLARE FUNCTION convbindec! (bin$) 'converte no. bin rio p/ decimal
DECLARE FUNCTION invordem$ (campo$) 'inverte a ordem de 6 bits
DECLARE FUNCTION invbit$ (campo$) 'inverte os bits (0 por 1 e vice-versa)
DECLARE FUNCTION convhexbin$ (ch$) 'converte 1 caractere hexadecimal em bin rio

CLS
PRINT "*****"
PRINT "**** PROGRAMA DECODIFICADOR RDS e CODIFICADOR RTCM ****"
PRINT "**** - Vers/Æo: fevereiro de 2009 ****"
PRINT "**** AUTOR: PROF. ENO DARCI SAATKAMP - UFSM - Email: enosaat@hotmail.com ****"
PRINT "*****"
PRINT
PRINT " IMPORTANTE: Atualizar o relçgio do computador pelo tempo GPS "

INPUT "Deseja gravar saıda decodificada em arquivo (s/n) "; arqs$
IF arqs$ = "s" THEN
  INPUT "Qual o nome do arquivo da saıda "; out$
  OPEN (out$) FOR OUTPUT AS #2
END IF
INPUT "Deseja gravar saıda RTCM gerada em arquivo (s/n) "; rctmg$
IF rctmg$ = "s" THEN
  INPUT "Qual o nome do arquivo da saıda RTCM gerado "; nrg$
  OPEN (nrg$) FOR OUTPUT AS #3
END IF

OPEN "com1:9600,n,8,1,rs,cd,ds,bin" FOR INPUT AS #1
'OPEN "com1:9600,n,8,1,bin" FOR INPUT AS #1

OPEN "com2:9600,n,8,1,rs,cd,ds,asc" FOR OUTPUT AS #4

IF arqs$ = "s" THEN
  PRINT #2, "CONVERSÇO DE DADOS RDS ==> RTCM"
  PRINT #2, "AUTOR: ENO DARCI SAATKAMP - UFSM - Email: enosaat@hotmail.com"
  PRINT #2, ""
  PRINT #2, ""
END IF

inicio:

PRINT
PRINT
DIM tabela(0 TO 32, 1 TO 5)
ERASE tabela
DIM indice(32)
ERASE indice

DIM SHARED bd(1 TO 24)
ERASE bd
DIM SHARED bds(1 TO 24)
ERASE bds
'mzc = mzca
nsat = 0
fe = .02
numseq = 0

DO
  qRDSbin$ = ""
```



```

LINE INPUT #1, qRDS$ 'l' quadro RDS
FOR c = 1 TO 10
qRDSbin$ = qRDSbin$ + convhexbin$(MID$(qRDS$, c, 1)) 'extrai quadro RDS hex => bin (3+37 bits)
NEXT c

sat = convbindec(MID$(qRDSbin$, 15, 5))
PRINT "SATID", sat
tabela(sat, 1) = sat 'Satid
sprc$ = MID$(qRDSbin$, 20, 1) 'sinal do PRC (0=pos, 1=neg)
IF sprc$ = "0" THEN tabela(sat, 2) = fe * (convbindec(MID$(qRDSbin$, 21, 12))) ELSE tabela(sat, 2) = -fe *
(convbindec(invbit$(MID$(qRDSbin$, 21, 12))) + 1)
tabela(sat, 3) = convbindec(MID$(qRDSbin$, 33, 8))'IODE
tabela(sat, 4) = TIMER
CZMR = convbindec(MID$(qRDSbin$, 8, 7)) * .6'CZMR
MZC = VAL(MID$(TIME$, 4, 2)) * 60 + CZMR 'MZC aproximado pela relçgio do PC

***** verifica com quantos e com quais satellite montar quadro RTCM

ind = 1
FOR sate = 1 TO 32
IF TIMER < tabela(sate, 4) + 30 THEN
indice(ind) = tabela(sate, 1)
ind = ind + 1
END IF
NEXT sate
nsat = ind - 1'no atual de satelites do quadro rtc
*****

IF arqs$ = "s" THEN
PRINT #2, MZC, qRDS$, qRDSbin$, nsat; prsat
FOR tabe = 1 TO nsat
PRINT #2, tabela(indice(tabe), 1), tabela(indice(tabe), 3)
NEXT tabe
PRINT #2, ""
END IF

***** gera quadro RTCM a partir da tabela atualizada *****

pal1$ = paridade$("011001100000010000000001")
D29 = VAL(MID$(pal1$, 29, 1))
D30 = VAL(MID$(pal1$, 30, 1))

MZCd$ = preenche$(invordem(convdecbin(MZC / .6, "ss")), 13)
IF (CINT(nsat / 3) - nsat / 3) = 0 THEN npq = (nsat * 40) / 24 ELSE npq = INT((nsat * 40) / 24) + 1'no. de palavras
do quadro
compquad = npq'comprimento do quadro
pal2$ = MZCd$ + preenche$(invordem$(convdecbin$(numseq, "ss")), 3) +
preenche$(invordem$(convdecbin$(compquad, "ss")), 5) + "000"
'obs: "ss" indica valor sem sinal
pal2$ = paridade$(pal2$)
D29 = VAL(MID$(pal2$, 29, 1))
D30 = VAL(MID$(pal2$, 30, 1))

quadroRTCM$ = pal1$ + pal2$
quadrodados$ = ""

FOR pal = 1 TO nsat 'monta uma palavra completa (40 bits) p/ cada satellite
PRCd = tabela(indice(pal), 2)
IF PRCd < 0 THEN
PRCb$ = invordem$(invbit$(convdecbin$(CINT(PRCd / .02 + 1), "ss")))
DO
PRCb$ = "1" + PRCb$
LOOP UNTIL LEN(PRCb$) = 16
ELSE PRCb$ = preenche$(invordem$(convdecbin$(CINT(PRCd / .02), "ss")), 16)
END IF
RRCd = 0
RRCb$ = preenche$(invordem$(convdecbin$(CINT(RRCd / .002), "ss")), 8)

```

```

feb = 0 'fator de escala
feb$ = invordem$(convdecbin$(feb, "ss"))
udre = 0
udre$ = preenche$(invordem$(convdecbin$(udre, "ss")), 2)
Satid = tabela(indice(pal), 1)
Satid$ = preenche$(invordem$(convdecbin$(Satid, "ss")), 5)
IOD = tabela(indice(pal), 3)
pald$ = feb$ + udre$ + Satid$ + PRCb$ + RRCb$ + preenche$(invordem$(convdecbin$(IOD, "ss")), 8)
quadrodados$ = quadrodados$ + pal$d$
NEXT pal

IF nsat = 1 OR nsat = 4 OR nsat = 7 OR nsat = 10 THEN quadrodados$ = quadrodados$ + "10101010"
IF nsat = 2 OR nsat = 5 OR nsat = 8 OR nsat = 11 THEN quadrodados$ = quadrodados$ + "1010101010101010"

quadrodados$ = compact$(quadrodados$)
nbqd = LEN(quadrodados$)'no. bits do quadro de dados
FOR pal = 1 TO (nbqd / 24)
  pal$d$ = paridade$(MID$(quadrodados$, (pal - 1) * 24 + 1, 24))
  D29 = VAL(MID$(pal$d$, 29, 1))
  D30 = VAL(MID$(pal$d$, 30, 1))
  quadroRTCM$ = quadroRTCM$ + pal$d$
NEXT pal

quadroRTCM$ = compact$(quadroRTCM$)
cq$ = LEN(quadroRTCM$)
quadroRTCMASCII$ = ""
FOR byte = 1 TO cq$ / 6
  carASCII$ = CHR$(convbindec(invordem$(MID$(quadroRTCM$, (byte - 1) * 6 + 1, 6) + "10")))'caractere ASCII
  quadroRTCMASCII$ = quadroRTCMASCII$ + carASCII$
NEXT byte
cq = LEN(quadroRTCMASCII$)
PRINT cq
PRINT MZC
PRINT quadroRTCMASCII$
IF rctmg$ = "s" THEN PRINT #3, quadroRTCMASCII$
PRINT #4, quadroRTCMASCII$

IF (numseq + 1) > 7 THEN numseq = 0 ELSE numseq = numseq + 1
PRINT numseq

***** fim da geraçãEo do quadro RTCM *****

LOOP UNTIL INKEY$ <> ""
CLOSE #1
IF arqs$ = "s" THEN CLOSE #2
IF rctmg$ = "s" THEN CLOSE #3
CLOSE #4

FUNCTION compact$(q$) 'retira espaços de um conjunto de caracteres
cc$ = ""
FOR c = 1 TO LEN(q$)
  IF MID$(q$, c, 1) <> " " THEN cc$ = cc$ + MID$(q$, c, 1)
NEXT c
compact$ = cc$
END FUNCTION

FUNCTION convbindec (bin$)
nb = LEN(bin$)
sd = 0
FOR b = 1 TO nb
  vb = VAL(MID$(bin$, nb - b + 1, 1)) 'valor num,rico do bit
  sd = sd + vb * 2 ^ (b - 1)'soma decimal
NEXT b
convbindec = sd
END FUNCTION

```

```

FUNCTION convdecbin$ (dec, s$) 'converte decimal p/ bin rio (lsb...msb)
'no. negativo converte como se fosse positivo, com o bit de sinal
'se o parametro s$="cs" (com sinal), ent/Æo coloca bit de sinal, sen/Æo n/Æo.

IF SGN(dec) = -1 THEN bs$ = "1" ELSE bs$ = "0"'bit de sinal (0=pos, 1=neg)
mvd = CINT(ABS(dec)) 'modulo do valor decimal
vbp$ = ""
IF mvd > 1 THEN
  DO
    vbp$ = vbp$ + STR$(mvd MOD 2)'valor binario parcial
    mvd = INT(mvd / 2)
  LOOP UNTIL mvd < 2
  IF s$ = "cs" THEN vdecbin$ = vbp$ + STR$(mvd MOD 2) + bs$ ELSE vdecbin$ = vbp$ + STR$(mvd MOD
2)'valor convertido
  ELSE IF s$ = "cs" THEN vdecbin$ = STR$(mvd) + bs$ ELSE vdecbin$ = STR$(mvd)
END IF

'retira espaçoes de um conjunto de caracteres
cc$ = ""
FOR bit = 1 TO LEN(vdecbin$)
  IF MID$(vdecbin$, bit, 1) <> " " THEN cc$ = cc$ + MID$(vdecbin$, bit, 1)
NEXT bit
convdecbin$ = cc$

END FUNCTION

```

```

FUNCTION convhexbin$ (ch$)
SELECT CASE ch$
CASE "0"
  cbin$ = "0000"
CASE "1"
  cbin$ = "0001"
CASE "2"
  cbin$ = "0010"
CASE "3"
  cbin$ = "0011"
CASE "4"
  cbin$ = "0100"
CASE "5"
  cbin$ = "0101"
CASE "6"
  cbin$ = "0110"
CASE "7"
  cbin$ = "0111"
CASE "8"
  cbin$ = "1000"
CASE "9"
  cbin$ = "1001"
CASE "A"
  cbin$ = "1010"
CASE "B"
  cbin$ = "1011"
CASE "C"
  cbin$ = "1100"
CASE "D"
  cbin$ = "1101"
CASE "E"
  cbin$ = "1110"
CASE "F"
  cbin$ = "1111"
END SELECT
convhexbin$ = cbin$
END FUNCTION

```

'Funç/Æo que inverte os bits (0 por 1 e 1 por 0) de uma palavra  
FUNCTION invbit\$ (campo\$)

```

nb = LEN(campo$)
FOR b = 1 TO nb
IF MID$(campo$, b, 1) = "1" THEN
  MID$(campo$, b, 1) = "0"
  ELSE MID$(campo$, b, 1) = "1"
END IF
NEXT b
invbit$ = campo$
END FUNCTION

```

'Função para inverter a ordem dos bits de uma palavra

```

FUNCTION invordem$ (campo$)
nb = LEN(campo$)
L = CINT(nb / 2)
FOR n = 1 TO L
  ca$ = MID$(campo$, n, 1) 'caracter auxiliar
  MID$(campo$, n, 1) = MID$(campo$, nb + 1 - n, 1)
  MID$(campo$, nb + 1 - n, 1) = ca$
NEXT n
invordem$ = campo$
END FUNCTION

```

```

FUNCTION paridade$ (paldados$)

```

```

  SHARED D29
  SHARED D30

```

```

  paldadosrtcm$ = ""

```

```

  FOR bd = 1 TO 30 'bit de dado

```

```

    IF bd < 25 THEN
      bd(bd) = VAL(MID$(paldados$, bd, 1))
      bds(bd) = bd(bd) XOR D30 'inverso ou não dos bits de dados
      paldadosrtcm$ = paldadosrtcm$ + STR$(bds(bd))
    END IF

```

```

    IF bd = 25 THEN
      bd25 = D29 XOR bd(1) XOR bd(2) XOR bd(3) XOR bd(5) XOR bd(6) XOR bd(10) XOR bd(11) XOR bd(12)
      bd25 = bd25 XOR bd(13) XOR bd(14) XOR bd(17) XOR bd(18) XOR bd(20) XOR bd(23)
      paldadosrtcm$ = paldadosrtcm$ + STR$(bd25)
    END IF

```

```

    IF bd = 26 THEN
      bd26 = D30 XOR bd(2) XOR bd(3) XOR bd(4) XOR bd(6) XOR bd(7) XOR bd(11) XOR bd(12)
      bd26 = bd26 XOR bd(13) XOR bd(14) XOR bd(15) XOR bd(18) XOR bd(19) XOR bd(21) XOR bd(24)
      paldadosrtcm$ = paldadosrtcm$ + STR$(bd26)
    END IF

```

```

    IF bd = 27 THEN
      bd27 = D29 XOR bd(1) XOR bd(3) XOR bd(4) XOR bd(5) XOR bd(7) XOR bd(8) XOR bd(12)
      bd27 = bd27 XOR bd(13) XOR bd(14) XOR bd(15) XOR bd(16) XOR bd(19) XOR bd(20) XOR bd(22)
      paldadosrtcm$ = paldadosrtcm$ + STR$(bd27)
    END IF

```

```

    IF bd = 28 THEN
      bd28 = D30 XOR bd(2) XOR bd(4) XOR bd(5) XOR bd(6) XOR bd(8) XOR bd(9) XOR bd(13)
      bd28 = bd28 XOR bd(14) XOR bd(15) XOR bd(16) XOR bd(17) XOR bd(20) XOR bd(21) XOR bd(23)
      paldadosrtcm$ = paldadosrtcm$ + STR$(bd28)
    END IF

```

```

    IF bd = 29 THEN
      bd29 = D30 XOR bd(1) XOR bd(3) XOR bd(5) XOR bd(6) XOR bd(7) XOR bd(9) XOR bd(10)
      bd29 = bd29 XOR bd(14) XOR bd(15) XOR bd(16) XOR bd(17) XOR bd(18) XOR bd(21) XOR bd(22) XOR
      bd(24)
      paldadosrtcm$ = paldadosrtcm$ + STR$(bd29)
    END IF

```

```

    IF bd = 30 THEN
      bd30 = D29 XOR bd(3) XOR bd(5) XOR bd(6) XOR bd(8) XOR bd(9) XOR bd(10) XOR bd(11)
      bd30 = bd30 XOR bd(13) XOR bd(15) XOR bd(19) XOR bd(22) XOR bd(23) XOR bd(24)
      paldadosrtcm$ = paldadosrtcm$ + STR$(bd30)
    END IF

```

```
NEXT bd
```

```
'retira espaços de um conjunto de caracteres
```

```
cc$ = ""
```

```
FOR bit = 1 TO LEN(paldadosrtcm$)
```

```
  IF MID$(paldadosrtcm$, bit, 1) <> " " THEN cc$ = cc$ + MID$(paldadosrtcm$, bit, 1)
```

```
NEXT bit
```

```
paridade$ = cc$
```

```
END FUNCTION
```

```
FUNCTION preenche$ (cq$, nbc) 'preenche bits faltantes de um quadro com zeros
```

```
IF LEN(cq$) < nbc THEN 'nbc=no. de bits que o campo deve ter
```

```
  DO
```

```
    cq$ = "0" + cq$
```

```
  LOOP UNTIL LEN(cq$) = nbc
```

```
END IF
```

```
preenche$ = cq$
```

```
END FUNCTION
```

## ANEXO B – DRTCRD (Programa decodificador RTCM / codificador RDS)

AUTOR: PROF. ENO DARCI SAATKAMP

```

DECLARE SUB AID3A ()
DECLARE FUNCTION lequadroRTCM$ ()
DECLARE FUNCTION crc$ (quadrot$)
DECLARE FUNCTION SHL4$ (palbit$)
DECLARE FUNCTION SHR4$ (palbit$)
DECLARE FUNCTION SHL5$ (palbit$)
DECLARE FUNCTION XOR$ (pal1$, pal2$)
DECLARE FUNCTION uecp$ (grpRDS$)
DECLARE FUNCTION compact$ (q$)
DECLARE FUNCTION preenche$ (cq$, nbc!)
DECLARE FUNCTION convdecbin$ (dec!)
DECLARE FUNCTION convbindec! (BIN$) 'converte no. bin rio p/ decimal
DECLARE FUNCTION invordem$ (campo$) 'inverte a ordem de 6 bits
DECLARE FUNCTION invbit$ (campo$) 'inverte os bits (0 por 1 e vice-versa)
DECLARE FUNCTION convhexbin$ (ch$) 'converte 1 caractere hexadecimal em bin rio

CLS
PRINT "*****"
PRINT "**** PROGRAMA QUE LÒ DADOS BRUTOS RTCM TIPO 1 DE PORTA SERIAL ****"
PRINT "**** CONVERTE PARA O FORMATO RTCM BINµRIO PADRÇO, DECODIFICA AS ****"
PRINT "**** INFORMAÇÕES E RECODIFICA-AS NO PROTOCOLO RDS ****"
PRINT "*** Versão: em desenvolvimento - UFSM, 5fev2009 ****"
PRINT "**** AUTOR: ENO DARCI SAATKAMP - Email: enosaat@hotmail.com - Santa Maria-Brasil ****"
PRINT "*****"

'STATUS: funcionando - UFSM, 17fev2009
PRINT
PRINT

INPUT "Deseja gravar dados RTCM originais em arquivo (s/n) "; rtcmo$
IF rtcmo$ = "s" THEN OPEN (rtcmo$) FOR OUTPUT AS #3
INPUT "Deseja gravar saıda RTCM decodificada em arquivo (s/n) "; arqs$
IF arqs$ = "s" THEN
    INPUT "Qual o nome do arquivo da saıda "; out$
    OPEN (out$) FOR OUTPUT AS #2
END IF

'inicializaco da porta serial 1, para correto funcionamento da leitura
OPEN "com1:9600,n,8,1,rs,cd,ds,asc,rb 1000" FOR INPUT AS #1
CLOSE #1

OPEN "com2:9600,n,8,1,rs,cd,ds,asc,tb 1000" FOR OUTPUT AS #4'porta de saıda RDS_UECP
'OPEN "com2:9600,n,8,1,rs,cd,ds,asc,tb 1000"
AID3A

DIM palbit$(22)
DIM tabela(0 TO 32, 1 TO 10)
DIM indice(13) 'matriz com o indice de sua ordem crescente de acordo com o Satid
DIM seqsat(13) 'matriz com a seq. original dos Satid no quadro RTCM
DIM prcbin$(32)
DIM tabsata(32)

OPEN "c:\saıdaRDS.txt" FOR OUTPUT AS #5

IF arqs$ = "s" THEN
    PRINT #2, "CONVERSO DE DADOS RTCM"
    PRINT #2, "AUTOR: ENO DARCI SAATKAMP - Email: enosaat@hotmail.com"
    PRINT #2, ""
    PRINT #2, ""
END IF
q$ = lequadroRTCM$'le quadro

```

```

mzca = 0'MZC anterior (inicializaÆo)
tqr$ = "s"
pq$ = "s"primeiro quadro
prsat = 0'prximo sat. a ser transmitido

DO
' AID3A
q$ = lequadroRTCM$le quadro
IF rtcmo$ = "s" THEN PRINT #3, q$
pc$ = LEFT$(q$, 1)'primeiro caractere do quadro (p/ ver necessidade de inversÆo)
npal = 0 'inicializa no. da palavra
quadro$ = ""inicializa quadro de dados sem paridade
quad$ = ""inicializa quadro completo
d30$ = "0"

cq = LEN(q$) 'comp. do quadro
FOR ccp = 1 TO cq STEP 5 'conjunto de 5 caracteres que formam cada palavra
  npal = npal + 1
  pal$ = MID$(q$, ccp, 5)
  palbit$ = "" 'inicializa palavra em bits
  FOR car = 1 TO 5 'decodifica cada um dos 5 caracteres em hexa que formam uma palavra (6 bits x 5 = 30)
    ch$ = LEFT$(HEX$(ASC(MID$(pal$, car, 1))), 1) 'caractere hexadecimal
    nib1$ = convhexbin$(ch$) 'nibble1 (4 bits)
    ch$ = RIGHT$(HEX$(ASC(MID$(pal$, car, 1))), 1)
    nib2$ = convhexbin$(ch$) 'nibble2
    campo$ = RIGHT$(nib1$, 2) + nib2$ 'campo de 1 palavra em bits
    IF pc$ = "Y" AND npal = 1 AND car <> 5 THEN campo$ = invbit$(campo$)'verifica se h inversÆo do valor
dos bits na 1a. palavra
    IF d30$ = "1" AND car <> 5 THEN campo$ = invbit$(campo$)'se bit D30 da pal ant. for 1, inverte valor dos
bits
    campo$ = invordem(campo$)
    palbit$ = palbit$ + campo$
    palbit$(npal) = palbit$
  NEXT car
  d30$ = RIGHT$(palbit$(npal), 1)
  quad$ = quad$ + palbit$ 'quadro de dados com paridade
  quadro$ = quadro$ + LEFT$(palbit$, 24)'quadro de dados sem paridade
NEXT ccp
cq = LEN(quad$)
FOR p = 1 TO cq STEP 30 'separa palavras para a impressÆo
  pl$ = MID$(quad$, p, 30)
  IF arqs$ = "s" AND pb$ = "s" THEN PRINT #2, pl$
  ' PRINT pl$
NEXT p
PRINT
IF arqs$ = "s" THEN
  PRINT #2, ""
  PRINT #2, "No. de bits: "; cq,
END IF
PRINT "No. de bits: "; cq,

stid$ = MID$(palbit$(1), 15, 10)
stid = convbindec(MID$(palbit$(1), 15, 10))
PRINT "stid: "; stid,
IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "Stid: "; stid,
mzcount = .6 * convbindec(LEFT$(palbit$(2), 13))
PRINT "mzcount: "; mzcount
IF arqs$ = "s" THEN
  PRINT #2, "MZcount: "; USING "####.#"; mzcount
  PRINT #2, ""
END IF
PRINT

***** ExtraÆo dos dados do quadro *****
ERASE seqsat 'limpa a tabela com a seq. de satelites

IF pq$ <> "s" THEN

```

```

FOR sate = 1 TO 32
  tabsata(sate) = tabela(sate, 1)'tabela de sat,lites anterior
NEXT sate
END IF

FOR sate = 1 TO 32
  tabela(sate, 1) = 0 'limpa a coluna com os Satid (se sat,lite saiu, elimina)
NEXT sate

nsat = 0'inicializa contador de no. de sat,lites
cq = LEN(quadro$) 'comprimento do quadro de dados (sem paridade)
FOR s = 48 TO cq - 40 STEP 40 'extração dos dados do quadro
  nsat = nsat + 1
  sat = convbindec(MID$(quadro$, s + 4, 5))
  IF convbindec(MID$(quadro$, s + 4, 5)) = 0 THEN sat = 32
  tabela(sat, 1) = sat
  seqsat(nsat) = sat
  PRINT "sat: "; sat,
  IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "Sat: "; sat,
  sf = VAL(MID$(quadro$, s + 1, 1)) 'fator de escala
  IF sf = 0 THEN
    fprc = .02
    frrc = .002
  ELSE
    fprc = .32
    frrc = .032
  END IF
  tabela(sat, 4) = convbindec(MID$(quadro$, s + 2, 2))'UDRE
  PRINT "UDRE: "; tabela(sat, 4),
  IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "UDRE: "; tabela(sat, 4),
  tabela(sat, 8) = convbindec(MID$(quadro$, s + 33, 8))'IOD
  PRINT "IOD: "; tabela(sat, 8),
  IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "IOD: "; tabela(sat, 8),
  prcb$ = MID$(quadro$, s + 10, 15) 'PRC bin rio
  prcbin$(sat) = MID$(quadro$, s + 9, 16)'PRC bin rio com bit de sinal
  rrcb$ = MID$(quadro$, s + 26, 7) 'RRC bin rio
  IF MID$(quadro$, s + 9, 1) = "1" THEN 'verifica se PRC , negativo
  IF prcbin$(sat) <> "1000000000000000" THEN tabela(sat, 5) = -fprc * (convbindec(invbit$(prcb$)) +
1)'complemento de 2
  'evita overflow
  ELSE
  IF prcbin$(sat) <> "1000000000000000" THEN tabela(sat, 5) = convbindec(prcb$) * fprc
  END IF
  tabela(sat, 6) = tabela(sat, 5) - tabela(sat, 3) 'delta PRC

  PRINT "PRC: "; USING "####.##"; tabela(sat, 5);
  IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, "PRC: "; USING "####.##"; tabela(sat, 5);
  IF MID$(quadro$, s + 25, 1) = "1" THEN 'verifica se RRC , negativo
  IF prcbin$(sat) <> "1000000000000000" THEN tabela(sat, 7) = -frrc * (convbindec(invbit$(rrcb$)) +
1)'complemento de 2
  'evita overflow
  ELSE
  IF prcbin$(sat) <> "1000000000000000" THEN tabela(sat, 7) = convbindec(rrcb$) * frrc
  END IF
  PRINT " RRC: "; USING "###.###"; tabela(sat, 7)
  IF arqs$ = "s" THEN PRINT #2, " RRC: "; USING "###.###"; tabela(sat, 7)

NEXT s
IF arqs$ = "s" THEN
  PRINT #2, ""
  PRINT #2, ""
END IF
PRINT
PRINT
***** Preparação dos dados para transmissão para o RDS *****

```



```

IF mzcount > mzca AND nsat > 0 THEN

ERASE indice
ind = 1
'gera tabela indice com os sat,lites existentes em ordem pelo Satid
FOR sate = 1 TO 32
  IF tabela(sate, 1) <> 0 THEN
    indice(ind) = tabela(sate, 1)
    ind = ind + 1
  END IF
NEXT sate

czmr = INT((mzcount / 60 - INT(mzcount / 60)) * 100) / (60 / 6 = 100) 'mzcount reduzido p/ minuto
czmrbin$ = invordem$(compact$(convdecbin$(czmr))) 'czmr bin rio (msb...lsb)

  IF pq$ = "s" THEN
    nsata = nsat
    pq$ = "n"
  END IF

' gera quadro
prsatref = prsatref + 1
IF prsatref > nsat THEN prsatref = 1

FOR index = 1 TO nsat
  IF indice(prsatref) = seqsat(index) THEN EXIT FOR
NEXT index

c1qr$ = RIGHT$(stid$, 4) 'ID da estacao-Obs. utilizando 4 dos 10 bits.
c2qr$ = preenche$(RIGHT$(czmrbin$, LEN(czmrbin$) - 1), 7) 'czmr (sem sinal)
c3qr$ = MID$(quadro$, 48 + (index - 1) * 40 + 4, 5) 'Satid
c4qr$ = LEFT$(prcbin$(indice(prsatref)), 1) + RIGHT$(prcbin$(indice(prsatref)), 12) '13 bits da PRC
c5qr$ = MID$(quadro$, 48 + (index - 1) * 40 + 33, 8) 'IOD
qr$ = compact$(c1qr$ + c2qr$ + c3qr$ + c4qr$ + c5qr$) 'quadro de ref.
IF LEN(qr$) = 37 THEN
  grupoRDS$ = qr$
  'grupoRDS$ = "1110001110001110001110001110001110001111111"
  quadroUECPc$ = uecp(grupoRDS$) 'quadro UECP completo (inclusive STA e STP)
  PRINT #5, "quadro referencia", LEN(qr$), qr$, quadroUECPc$
  PRINT #4, quadroUECPc$
  PRINT "quadro referencia", LEN(grupoRDS$), grupoRDS$, "sat.", c3qr$, convbindec(c3qr$)
  PRINT LEN(quadroUECPc$), quadroUECPc$
ELSE
  CLS
  BEEP
  PRINT "problema no comprimento do quadro rds", LEN(qr$), qr$
END IF
nsata = nsat

  ssat = 0
  tqr$ = "s"

END IF

*****
mzca = mzcount

LOOP UNTIL INKEY$ <> ""
CLOSE #1
IF arqs$ = "s" THEN CLOSE #2
IF rtcmo$ = "s" THEN CLOSE #3
CLOSE #4
CLOSE #5

SUB AID3A
'configura grupo 3A para identificar o grupo ODA 11A

```

```

PRINT "configurando AID3A"

AID$ = "0000000000000000" + "00000000" + "00001000" + "0100000000010110" +
"000000100000000000000000"
'2 bytes de ADD + 1 byte de SQC + 1 byte de MFL + MEC(40) MED(16) MED(00)+
MED(01)+MED(00)+MED(00)+MED(00)+MED(00)

cqt = LEN(AID$)
cq$ = ""
FOR byte = 1 TO (cqt - 1) STEP 8
  cq$ = cq$ + CHR$(convbindec(MID$(grupoRDSt$, byte, 8)))
NEXT byte

quadroAID$ = cq$
palcrc$ = crc$(quadroAID$)
quadroAID$ = quadroAID$ + palcrc$

cAID = LEN(quadroAID$)
quadAIDs$ = ""
FOR byt = 1 TO cAID 'byte stuffing
  IF MID$(quadroAID$, byt, 1) = CHR$(253) THEN
    quadAIDs$ = quadAIDs$ + CHR$(253) + CHR$(0)
  ELSEIF MID$(quadroAID$, byt, 1) = CHR$(254) THEN
    quadAIDs$ = quadAIDs$ + CHR$(253) + CHR$(1)

    ELSEIF MID$(quadroAID$, byt, 1) = CHR$(255) THEN
      quadAIDs$ = quadAIDs$ + CHR$(253) + CHR$(2)
    ELSE quadAIDs$ = quadAIDs$ + MID$(quadroAID$, byt, 1)
  END IF
NEXT byt
' PRINT "quadro uecp com byte stuffing"; LEN(quaduecps$), quaduecps$
AIDc$ = CHR$(254) + quadAIDs$ + CHR$(255) 'quadro uecp completo de saida
PRINT #4, AIDc$
PRINT AIDc$
END SUB

FUNCTION compact$(q$) 'retira espaços de um conjunto de caracteres
cc$ = ""
FOR c = 1 TO LEN(q$)
  IF MID$(q$, c, 1) <> " " THEN cc$ = cc$ + MID$(q$, c, 1)
NEXT c
compact$ = cc$
END FUNCTION

FUNCTION convbindec (BIN$)
nb = LEN(BIN$)
sd = 0
FOR b = 1 TO nb
  vb = VAL(MID$(BIN$, nb - b + 1, 1)) 'valor num,rico do bit
  sd = sd + vb * 2 ^ (b - 1)'soma decimal
NEXT b
convbindec = sd
END FUNCTION

FUNCTION convdecbin$(dec) 'converte decimal p/ bin rio c/ saida (lsb...msb)
IF SGN(dec) = -1 THEN bs$ = "1" ELSE bs$ = "0" 'bit de sinal (0=pos, 1=neg)
IF ABS(dec) < 1000 THEN mvd = CINT(ABS(dec)) ELSE dec = 1000 'modulo do valor decimal
vbp$ = ""
IF mvd > 1 THEN
  DO
    vbp$ = vbp$ + STR$(mvd MOD 2)'valor binario parcial
    mvd = INT(mvd / 2)
  LOOP UNTIL mvd < 2
  vdecbin$ = vbp$ + STR$(mvd MOD 2) + bs$
  ELSE vdecbin$ = STR$(mvd) + bs$
END IF

```

```
convdecbin$ = vcdecbin$
END FUNCTION
```

```
FUNCTION convhexbin$ (ch$)
SELECT CASE ch$
CASE "0"
  cbin$ = "0000"
CASE "1"
  cbin$ = "0001"
CASE "2"
  cbin$ = "0010"
CASE "3"
  cbin$ = "0011"
CASE "4"
  cbin$ = "0100"
CASE "5"
  cbin$ = "0101"
CASE "6"
  cbin$ = "0110"
CASE "7"
  cbin$ = "0111"
CASE "8"
  cbin$ = "1000"
CASE "9"
  cbin$ = "1001"
CASE "A"
  cbin$ = "1010"
CASE "B"
  cbin$ = "1011"
CASE "C"
  cbin$ = "1100"
CASE "D"
  cbin$ = "1101"
CASE "E"
  cbin$ = "1110"
CASE "F"
  cbin$ = "1111"
END SELECT
convhexbin$ = cbin$
END FUNCTION
```

```
FUNCTION crc$(quadro$)
tempcrc$ = "1111111111111111"
FOR count = 1 TO LEN(quadro$)

'1
p1$ = preenche$(RIGHT$(tempcrc$, 8) + LEFT$(tempcrc$, 8), 16)
p2$ = invordem$(compact$(convdecbin$(ASC(MID$(quadro$, count, 1))))
cp2 = LEN(p2$)
p2$ = preenche$(RIGHT$(p2$, cp2 - 1), 16)
tempcrc$ = XOR$(p1$, p2$)

'2
p2$ = preenche$(LEFT$((SHR4$(RIGHT$(tempcrc$, 8))), 8), 16)
tempcrc$ = XOR$(tempcrc$, p2$)

'3
p12$ = RIGHT$(SHL4$(RIGHT$(tempcrc$, 8) + "00000000"), 16)
p1$ = XOR$(tempcrc$, p12$)
p2$ = preenche$(SHL5$(RIGHT$(tempcrc$, 8)), 16)
tempcrc$ = XOR$(p1$, p2$)

NEXT count

crcb$ = XOR$(tempcrc$, "1111111111111111")
crc$ = CHR$(convbindec(MID$(crcb$, 1, 8))) + CHR$(convbindec(MID$(crcb$, 9, 8)))
```

END FUNCTION

'Função que inverte os bits (0 por 1 e 1 por 0) de uma palavra

```
FUNCTION invbit$ (campo$)
nb = LEN(campo$)
FOR b = 1 TO nb
IF MID$(campo$, b, 1) = "1" THEN
MID$(campo$, b, 1) = "0"
ELSE MID$(campo$, b, 1) = "1"
END IF
NEXT b
invbit$ = campo$
END FUNCTION
```

'Função para inverter a ordem dos bits de uma palavra

```
FUNCTION invordem$ (campo$)
nb = LEN(campo$)
L = CINT(nb / 2)
FOR n = 1 TO L
ca$ = MID$(campo$, n, 1) 'caracter auxiliar
MID$(campo$, n, 1) = MID$(campo$, nb + 1 - n, 1)
MID$(campo$, nb + 1 - n, 1) = ca$
NEXT n
invordem$ = campo$
END FUNCTION
```

FUNCTION lequadroRTCM\$

'%%%%%%%%%%%%%% Leitura de quadro de correcoes RTCM pela porta serial

inicio:

quadRTCM\$ = ""

ti = TIMER

DO

```
IF ((INP(1021) AND 1) = 1) THEN
car$ = CHR$(INP(1016))
quadRTCM$ = car$
OUT (1021), 0
END IF
IF TIMER > ti + 2 THEN GOTO inicio
LOOP UNTIL car$ = "f" OR car$ = "Y"
```

DO

```
IF ((INP(1021) AND 1) = 1) THEN
car$ = CHR$(INP(1016))
quadRTCM$ = quadRTCM$ + car$
OUT (1021), 0
END IF
IF TIMER > ti + 2 THEN GOTO inicio
LOOP UNTIL quadRTCM$ = "fA" OR quadRTCM$ = "Y~"
```

DO

```
IF ((INP(1021) AND 1) = 1) THEN
car$ = CHR$(INP(1016))
quadRTCM$ = quadRTCM$ + car$
OUT (1021), 0
ti = TIMER
END IF
LOOP UNTIL quadRTCM$ = "fAB" OR quadRTCM$ = "Y~}"
```

DO

```
IF ((INP(1021) AND 1) = 1) THEN
car$ = CHR$(INP(1016))
quadRTCM$ = quadRTCM$ + car$
OUT (1021), 0
END IF
LOOP UNTIL TIMER > ti + .3
```

```

quadRTCM$ = RTRIM$(quadRTCM$)
IF LEN(quadRTCM$) < 5 THEN
  CLS
  PRINT "problema comprimento do quadro"
  GOTO inicio
END IF
IF (LEN(quadRTCM$) / 5 - INT(LEN(quadRTCM$) / 5)) <> 0 THEN
  GOTO inicio
END IF
PRINT quadRTCM$
lequadroRTCM$ = quadRTCM$

'%%%%%%%%%%%%%% Fim da Leitura do quadro RTCM pela porta serial

END FUNCTION

FUNCTION preenche$ (cq$, nbc) 'preenche bits faltantes de um quadro com zeros
IF LEN(cq$) < nbc THEN 'nbc=no. de bits que o campo deve ter
  DO
    cq$ = "0" + cq$
  LOOP UNTIL LEN(cq$) = nbc
END IF
preenche$ = compact$(cq$)
END FUNCTION

FUNCTION SHL4$ (palbit$)
npal$ = palbit$ + "0000"
SHL4$ = compact$(npal$)
END FUNCTION

FUNCTION SHL5$ (palbit$)
npal$ = palbit$ + "00000"
SHL5$ = compact$(npal$)
END FUNCTION

FUNCTION SHR4$ (palbit$)
npal$ = "0000" + palbit$
SHR4$ = compact$(npal$)
END FUNCTION

FUNCTION uecp$ (grupoRDS$) 'formata quadro de 37 bits para blocos do RDS/ODA (ver UECP p. 44)
'CLS
grupoRDSst$ = "0000000000000000" + "00000000" + "00001000" + "0100001000010110" + "00010000" + "000" +
grupoRDS$
'2 bytes de ADD + 1 byte de SQC + 1 byte de MFL + MEC(42) MED(16) MED(00)+ 3bits preenchimento + 37 bits
dados ODA

cqt = LEN(grupoRDSst$)
cq$ = ""
FOR byte = 1 TO (cqt - 1) STEP 8
  cq$ = cq$ + CHR$(convbindec(MID$(grupoRDSst$, byte, 8)))
NEXT byte

quadroRDS$ = cq$
palcrc$ = crc$(quadroRDS$)
'PRINT "quadro UECP sem crc", quadroRDS$
quadroUECP$ = quadroRDS$ + palcrc$
'PRINT "quadro UECP com crc", quadroUECP$

cquecp = LEN(quadroUECP$)
quaduecps$ = ""
FOR byt = 1 TO cquecp 'byte stuffing
  IF MID$(quadroUECP$, byt, 1) = CHR$(253) THEN
    quaduecps$ = quaduecps$ + CHR$(253) + CHR$(0)
  ELSEIF MID$(quadroUECP$, byt, 1) = CHR$(254) THEN
    quaduecps$ = quaduecps$ + CHR$(253) + CHR$(1)
  ELSEIF MID$(quadroUECP$, byt, 1) = CHR$(255) THEN

```

```
        quaduecps$ = quaduecps$ + CHR$(253) + CHR$(2)
    ELSE quaduecps$ = quaduecps$ + MID$(quadroUECP$, byt, 1)
END IF
NEXT byt
' PRINT "quadro uecp com byte stuffing"; LEN(quaduecps$), quaduecps$
quecpc$ = CHR$(254) + quaduecps$ + CHR$(255) 'quadro uecp completo de saida
uecp$ = quecpc$
'PRINT "quadro uecp completo", LEN(quecpc$), quecpc$

END FUNCTION

FUNCTION XOR$ (pal1$, pal2$)
'cp = LEN(pal1$)
r$ = ""
FOR b = 1 TO 16
    r$ = r$ + STR$(VAL(MID$(pal1$, b, 1)) XOR VAL(MID$(pal2$, b, 1)))
NEXT b
XOR$ = compact$(r$)
END FUNCTION
```

## ANEXO C – NMEA\_GGA8

AUTOR: PROF. ENO DARCI SAATKAMP

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      PROGRAMA PARA LEITURA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS NMEA-$GPGGA
%
% DESENVOLVIDO POR ENO DARCI SAATKAMP
% VERSÃO 1.1 - UFPR, FEVEREIRO DE 2002
% V. 1.2 - Adaptado pelo prof. Eno em 24/fev/2009 na UFSM para leitura de dados no formato texto da Garmin
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all;
clc;

% Coordenadas do ponto de referência

glat=29;%ponto MSG (Marco do Setor de Geodesia)
mlat=43;
slat=8.23763;

glon=53; %ponto MSG (Marco do Setor de Geodesia)
mlon=42;
slon=59.19901;

alt=97.978;

no=zeros(25); %inicializa a matriz de número de ocorrências

% Entrada do arquivo de dados NMEA
[arq,cam]=uigetfile (*.*,'Entrada do arquivo com dados NMEA');
if arq==0
    msgbox('Inválido!','warn');
    break;
end

pos=struct('cam',{cam},'arq',{arq});

% Leitura dos dados do arquivo
cami=strcat(pos.cam,pos.arq);
fid=fopen(cami,'r'); % r=somente leitura e t=modo texto

a=1;
while feof(fid)==0,

    dados=fgets(fid);
    campo=findstr(dados,',');
    tabaux(a,1)=str2num(dados((campo(1)+1):(campo(1)+2))); %hora
    tabaux(a,2)=str2num(dados((campo(2)+1):(campo(2)+2))); %minuto
    if round(str2num(dados((campo(3)+1):(campo(4)-1))))==60; %verifica se segundo=60,adiciona 1 minuto e
segundo=0
        tabaux(a,3)= 0 ;
        tabaux(a,2)=tabaux(a,2)+1;
    else
        tabaux(a,3)=round(str2num(dados((campo(3)+1):(campo(3)+2)))); %segundo
    end
    if tabaux(a,2)==60 % verifica se minuto=60, adiciona 1 hora e minuto=0

        tabaux(a,2)=0;
        tabaux(a,1)=tabaux(a,1)+1;
    end
end

```

```

tabaux(a,4)=str2num(dados((campo(5)+1):(campo(5)+2))); % graus de latitude
tabaux(a,5)=str2num(dados((campo(6)+1):(campo(6)+2))); % minutos de latitude
fmlat=str2num(dados((campo(7)+1):(campo(7)+3))); % fracao de minutos de latitude
tabaux(a,6)=(fmlat*60)/1000; % segundos de latitude

tabaux(a,7)=str2num(dados((campo(9)+1):(campo(9)+3))); % graus de longitude
tabaux(a,8)=str2num(dados((campo(10)+1):(campo(10)+2))); % minutos de longitude
fmllon=str2num(dados((campo(11)+1):(campo(11)+3))); % fracao de minutos de longitude
tabaux(a,9)=(fmllon*60)/1000; % segundos de longitude

% calculo do erro (diferenca entre a coordenada obtida e a de referênciã)
erglat=tabaux(a,4)-glat; %erro de latitude em graus
ermlat=tabaux(a,5)-mlat; %erro de latitude em minutos
erslat=tabaux(a,6)-slat; %erro de latitude em segundos
ertlat=erglat*3600+ermlat*60+erslat; %erro total de latitude em segundos
tabaux(a,10)=ertlat;
tabaux(a,11)=ertlat*30.9220; %erro da latitude em m (considerada sobre uma esfera de ...
% raio a=6378137 m, onde 1" de arco equivale a 30.9220m)

erglon=tabaux(a,7)-glon; %erro de longitude em graus
ermlon=tabaux(a,8)-mlon; %erro de longitude em minutos
erslon=tabaux(a,9)-slon; %erro de longitude em segundos
ertlon=erglon*3600+ermlon*60+erslon; %erro total de longitude em segundos
tabaux(a,12)=ertlon;
tabaux(a,13)=ertlon*30.9220; %erro da longitude em m (considerada sobre uma esfera de ...
% raio a=6378137 m, onde 1" de arco equivale a 30.9220m)

%cálculo do módulo do erro em metros
% OBS.: para este cálculo foi considerado um pior caso, desconsiderando-se a latitude,
% isto é, como se fosse para o equador de uma esfera com raio a=6378137 m (tamanho do
% semi-eixo maior do elipsóide de referência para o WGS84).
%
% O módulo do erro real para o ponto é proporcional aos parâmetros locais de onde foi
% efetuado o rastreo, ou seja: ds=sqrt(M^2*dlat+N*cos^2(lat)*dlon), onde ds é o arco de
% deslocamento infinitesimal, M e N são, respectivamente, o raio de curvatura meridiana
% (pequena normal) e o raio de curvatura do 1o.vertical (grande normal), dlat e dlon são
% os arcos de deslocamento infinitesimal em latitude e em longitude (em radianos), e lat
% é a latitude local.

ermodm=sqrt(power(tabaux(a,13),2)+power(tabaux(a,11),2));%módulo do erro (m)
tabaux(a,14)=ermodm;
tabaux(a,15)=atan2(tabaux(a,11),tabaux(a,13));%direção do vetor de erro

%acumula no. de ocorrências de erros em faixas de 1/3 m
for i=1:24
    if ermodm<=i/3
        no(i,i)=no(i,i)+1;
        break
    elseif ermodm>8
        no(25,25)=no(25,25)+1;
        break
    end
end

a=a+1;

end

[b,c]=size(tabaux);
%tprastm=(tabaux(b,1)*60+tabaux(b,2))-(tabaux(1,1)*60+tabaux(1,2)); % tempo de rastreo em minutos
figure(1);
polareno8(-pi,8);
hold on;
axis on;
axis equal;
xlabel('Desvio em longitude (m)', 'FontSize', 14);

```





