

FÁBIO CAMPOS MACEDO

**INTERFACEAMENTO GPS/CAD EM TEMPO REAL:
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada para a obtenção
do grau de Mestre em Ciências no Curso
de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos

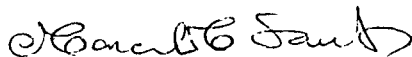
CURITIBA
1997

INTERFACEAMENTO GPS/CAD EM TEMPO REAL: ESTUDO DE CASO

POR

FÁBIO CAMPOS MACEDO

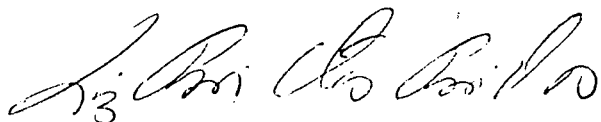
Dissertação aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. Marcelo Carvalho dos Santos - Presidente



Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos - Orientador



Prof. MSc. Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva - Membro

DEDICATÓRIA

Esta dissertação é dedicada aos meus queridos pais Maria Ignez e Demétrio, que sempre me apoiaram durante toda a minha vida, e à minha esposa Marina pela paciência, carinho e dedicação dispendidos ao meu favor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre manter iluminado o meu caminho.

Ao meu orientador, Professor Milton de Azevedo Campos, por confiar em minha capacidade de desenvolver este trabalho.

Ao Eng. Msc. Júlio Menezes, pelo apoio incessante no desenvolvimento computacional baseado na linguagem de programação C.

Ao colega e amigo Eng. Msc. Jeferson Massinhan, que, como ele mesmo me disse um dia, pelas lutas por tecnologias.

Ao apoio dado pela Empresa Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA) - Superintendência Regional 5.

Ao apoio dado pela Empresa Trimbase Com. Rep. e Prestação de Serv. Técnicos Ltda, pelo empréstimo de equipamentos e apoio do Eng. Alexandre Benevento.

A todos os colegas do Curso, em especial a Eng. Msc. Luciene Stamato Delazari, pelo fornecimento da base cartográfica utilizada no presente trabalho.

A Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pela oportunidade de realizar este Curso, possibilitando assim meu aperfeiçoamento profissional.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão de bolsa de estudo, durante a realização do curso.

A todos os amigos e colegas, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. Introdução	01
2. Fundamentação Teórica	03
2.1 Considerações sobre GPS	03
2.1.1 Evolução Histórica do Sistema GPS	03
2.1.2 Princípios Básicos de Funcionamento do Sistema GPS	04
2.1.3 Configuração Final e Características do Sistema GPS	08
2.1.4 Tipos de Levantamentos GPS Utilizados no Presente Trabalho	08
2.2 Considerações sobre CAD	09
2.2.1 Definição de CAD	10
2.2.2 Elementos de um Sistema CAD	10
2.2.2.a Hardware	11
2.2.2.a.1 CPU	11
2.2.2.a.2 Periféricos	12
2.2.2.a.2.1 Dispositivos de Entrada	13
2.2.2.a.2.1.1 Mesa Digitalizadora	13

2.2.2.a.2.1.2 <i>Mouse</i>	14
2.2.2.a.2.1.3 Teclado	15
2.2.2.a.2.1.4 Outros Dispositivos de Entrada	15
2.2.2.a.2.2 Dispositivos de Saída	15
2.2.2.a.2.2.1 Monitores de Vídeo	15
2.2.2.a.3 Memória	17
2.2.2.a.3.1 Memória RAM	17
2.2.2.a.3.2 Memória ROM	18
2.2.2.a.3.3 Memória Secundária	18
2.2.2.b <i>Software</i>	19
2.2.2.b.1 Estrutura de Dados Gráficos Utilizada pelo <i>Software</i> AutoCAD	21
2.3 Linguagem de Programação C/C++	22
3. Coleta de Dados	25
3.1 Equipamento Utilizado	25
3.2 Coleta de Dados para Levantamento do Trecho Ferroviário	26
3.2.1 Procedimentos para Coleta de Dados para o Levantamento do Trecho Ferroviário	26
3.3 Coleta de Dados em Tempo Real para Monitoramento dos Veículos Ferroviários	27
3.3.1 Procedimentos para a Coleta de Dados em Tempo Real	27
3.3.2 Formato de Transmissão dos Dados Utilizados pelos Receptores GPS/40 e GPS/45	28
3.3.2.1 Especificações do Formado de Transmissão NMEA 0183 Versão 2.0	29
4. Interfaceamento GPS/CAD	32

4.1 Desenvolvimento Computacional	32
4.1.1 Extração das Coordenadas Fornecidas pelos Receptores GPS	33
4.1.2 Comunicação entre Computadores para Interfaceamento	34
4.1.3 Simulação de Periféricos e Interpretação de Dados Executada pelo <i>Software AutoCAD</i>	37
4.2 Base Cartográfica e Trecho Ferroviário Utilizado para Testes	41
4.3 Processo de Deslocamento do Cursor no AutoCAD	45
4.4 Fluxograma dos Procedimentos Desenvolvidos na Linguagem de Programação C/C++ para o Interfaceamento GPS/CAD	47
5. Conclusão e Recomendações	51
5.1 Conclusões	51
5.2 Recomendações	52
ANEXOS	54
ANEXO 1 - Pares de Coordenadas Introduzidos na Base Cartográfica	55
ANEXO 2 - Transformação de Coordenadas	61
Referências Bibliográficas	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Princípio básico de posicionamento com GPS	05
Figura 2.2 - Sistema Terrestre Convencional (CTS)	06
Figura 2.3 - Relações geométricas no posicionamento por satélites	07
Figura 2.4 - A imagem de uma cadeira na forma matricial (a) tendo como atributo a letra “c” e na forma vetorial (b)	22
Figura 4.1 - Interfaceamento GPS/CAD	33
Figura 4.2 - Inversão dos pinos 2 e 3 da porta serial RS232c entre dois computadores	36
Figura 4.3 - Base cartográfica e parte do trecho ferroviário	44
Figura 4.4 - Erro de posicionamento do veículo ferroviário na tela de vídeo	47
Figura 4.5 - Fluxograma dos procedimentos desenvolvidos na linguagem de programação C/C++ (primeira parte)	48
Figura 4.6 - Fluxograma dos procedimentos desenvolvidos na linguagem de programação C/C++ (segunda parte)	49
Figura 4.7 - Fluxograma dos procedimentos desenvolvidos na linguagem de programação C/C++ (terceira parte)	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características dos sistemas GPS e TRANSIT	08
Tabela 4.1 - Descrição de 8 (oito) pinos da porta serial RS232c de 25 (vinte e cinco) pinos	36
Tabela 4.2 - Cursores utilizados pela mesa digitalizadora Calcomp 9100	40

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido para testar a possibilidade do interfaceamento entre o sistema de posicionamento GPS (Global Positioning System) e um *software* do tipo CAD (Computer Assisted Design), em tempo real, para o monitoramento do deslocamento de veículos ferroviários. Como teste para o interfaceamento, foi utilizado o trecho ferroviário Curitiba - Rio Branco do Sul, de propriedade da Rede Ferroviária Federal S.A. (R.F.F.S.A). No teste, empregou-se um receptor de navegação instalado em um veículo ferroviário, que coletava informações quanto a sua posição, ou seja, latitude e longitude. Essas informações foram retransmitidas via rádio para uma base de controle. Esta base estava localizada na região central da cidade de Curitiba. As coordenadas coletadas pelo receptor sofreram transformações geométricas para que pudessem ser interpretadas pelo *software* AutoCAD para posterior plotagem em monitor de vídeo, sobre uma base cartográfica do trecho ferroviário utilizado no presente trabalho. O interfaceamento foi desenvolvido, na linguagem de programação C/C++, a partir da simulação de uma mesa digitalizadora utilizado pelo *software* AutoCAD. No presente trabalho, a simulação da mesa digitalizadora foi direcionada para o modelo de mesa Calcomp 9100. Este interfaceamento foi executado com sucesso, possibilitando assim a utilização do *software* AutoCAD para auxiliar o controle de tráfego de veículos ferroviários, a partir de dados coletados por receptores GPS de navegação em tempo real.

ABSTRACT

The research described in this Dissertation was developed to test the connection between the Global Positioning System (GPS) and a software of the type "Computer Assisted Design" (CAD), in real time in order to monitor the motion of railroad vehicles. For the purpose of their test, a survey was carried out in the railroad between Curitiba - Rio Branco do Sul, which belongs to the Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA). A navigation GPS receiver on board the railroad vehicle, collected data which was transmitted via radio link to a base located in the central region of Curitiba. The coordinates transmitted from the receiver went through geometric transformations, allowing its use by the AutoCAD software. It was plotted on a video monitor, on the cartographic base describing the railroad previously surveyed. The interfacing was developed, in the language C/C++, simulating a Calcomp 9100 digitalizer table used by the AutoCAD software. The interfacing was successfully accomplished, showing the suitability of the application of the AutoCAD software to assist the control of railroad traffic in real time.

1. Introdução

Nos últimos anos, o aumento da utilização de receptores GPS (Global Positioning System) tem sido explorado em várias áreas de atuação além da simples localização geográfica sobre a superfície terrestre.

Existe um grande avanço da utilização do GPS para monitoramento de veículos de várias espécies, como por exemplo, navios, carros, caminhões, aviões, etc. No presente trabalho, o objetivo foi estudar a utilização do sistema GPS interfaceado a um sistema CAD (Computer Aided Design) para monitoramento de veículos ferroviários em tempo real.

A partir de um convênio estabelecido entre a Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) e a Universidade Federal do Paraná/Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (UFPr/CPGCG) no ano de 1994 com a finalidade de modernizar o controle do posicionamento de veículos ferroviários, onde surgiu inicialmente a primeira dissertação intitulada “POSICIONAMENTO CINEMÁTICO DE TRENS” (Kruger, 1994) e posteriormente a dissertação intitulada “UTILIZAÇÃO DO GPS NO APOIO AO CONTROLE OPERACIONAL DE VEÍCULOS FERROVIÁRIOS” (Massinhan, 1996). Paralelamente ao trabalho desenvolvido por Massinhan (1996), este presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de estabelecer um interfacimento entre o sistema GPS e um sistema CAD.

Este trabalho está dividido em 5 (cinco) capítulos. O segundo capítulo trata dos fundamentos teóricos sobre as principais ferramentas utilizadas, que são: o sistema GPS, a ferramenta para desenho CAD e a linguagem de programação C/C++.

O terceiro capítulo trata da coleta de dados feita em campo para testes e elaboração de uma posterior base cartográfica do trabalho.

O quarto capítulo trata especificamente da interface GPS/CAD desenvolvida na linguagem de programação C.

No quinto capítulo, serão discutidas as conclusões e sugestões para posteriores temas a serem pesquisados.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Considerações sobre GPS

Neste item, será discutida uma das ferramentas utilizadas neste trabalho, o sistema GPS. Serão abordados aspectos básicos sobre o funcionamento deste sistema e a sua utilidade dentro do trabalho proposto.

2.1.1 Evolução Histórica do Sistema GPS

De acordo com BLITZKOW (1992) "...desde o surgimento da era espacial, com o lançamento de primeiro satélite espacial, o SPUTNIK I (4 de outubro de 1957), os cientistas vêm estudando a possibilidade da utilização de satélites artificiais colocados em órbita terrestre e estações estabelecidas em terra com o intuito de posicionamento ou navegação". De acordo com vários autores, entre eles LOCH & CORDINI (1995), BLITZKOW (1992) e SEBEER(1993), cientistas americanos observaram o efeito Doppler-Fizeau nas transmissões de rádio do satélite SPUTNIK. De acordo ainda com BLITZKOW (1992), "...McClure sugeriu a utilização do efeito Doppler inversamente, ou seja, utilizar o efeito Doppler de um satélite de órbita conhecida para posicionar um observador em terra. A partir desta idéia, surgiu o primeiro sistema de satélite para posicionamento denominado de Navy Navigation Satellite System (NNSS), também conhecido como TRANSIT ...". Segundo BLITZKOW (1992) e SEBEER(1993), o sistema TRANSIT entrou em operação em 1964 para uso militar (U.S. Navy) e em 1967 para a comunidade civil.

Porém, segundo ainda BLITZKOW (1992), “...devido ao fato de o sistema TRANSIT não ser adequado para a utilização na navegação aérea e impunha restrições quanto à navegação marítima e o apoio ao posicionamento geodésico, fez com que o Departamento de Defesa dos Estados Unidos investisse e desenvolvesse um novo sistema de satélites para posicionamento. Com isso, surgiu então no ano de 1973 o sistema denominado NAVSTAR/GPS (Navigation Satellite with Time and Ranging / Global Positioning System) da fusão dos sistemas conhecidos como TIMATION (Time Navigation) da Marinha norte-americana (U.S.Navy) e o sistema denominado 621B da Força Aérea americana (U.S. Air Force) ...”. A combinação dessa duas siglas, ou seja, NAVSTAR/GPS é atualmente mais conhecido como simplesmente GPS.

O sistema GPS foi estabelecido inicialmente apenas para o uso militar, mas atualmente este é utilizado em grande escala pela comunidade civil. De acordo com BLITZKOW (1992, página 3), “...este sistema foi projetado para fornecer a posição instantânea bem como a velocidade de um ponto sobre a superfície da Terra ou próxima a ela num referencial tridimensional. O sistema deverá atender plenamente a navegação em geral e vem oferecendo precisões cada vez mais crescentes no posicionamento estático e cinemático.”.

2.1.2 Princípios Básicos de Funcionamento do Sistema GPS

O princípio deste sistema, segundo SEEBER (1993), consiste em se determinar a pseudodistância entre um receptor localizado na superfície terrestre que recebe sinais de rádio enviados por, pelo menos, quatro satélites simultaneamente. Como as coordenadas dos satélites são conhecidas, é possível se determinar a posição geográfica tridimensional do

ponto onde se encontra o receptor recebendo sinais dos satélites GPS. A **Figura 2.1** mostra o princípio básico do posicionamento com GPS, no qual R_1 , R_2 , R_3 e R_4 representam a “pseudodistância” entre os satélites e o receptor localizado na superfície terrestre.

Segundo o mesmo autor, há a necessidade de se trabalhar com pelo menos quatro satélites. Três satélites são suficientes para a determinação da localização tridimensional do receptor. Porém, como não há sincronismo entre o relógio do receptor e o relógio dos satélites, ocasionando assim um erro de sincronização, existe a necessidade da utilização de um quarto satélite para possibilitar a correção deste erro de sincronismo. Devido a este erro de sincronização e a outros erros sistemáticos, utiliza-se o termo “pseudodistância” ao invés de simplesmente “distância”.

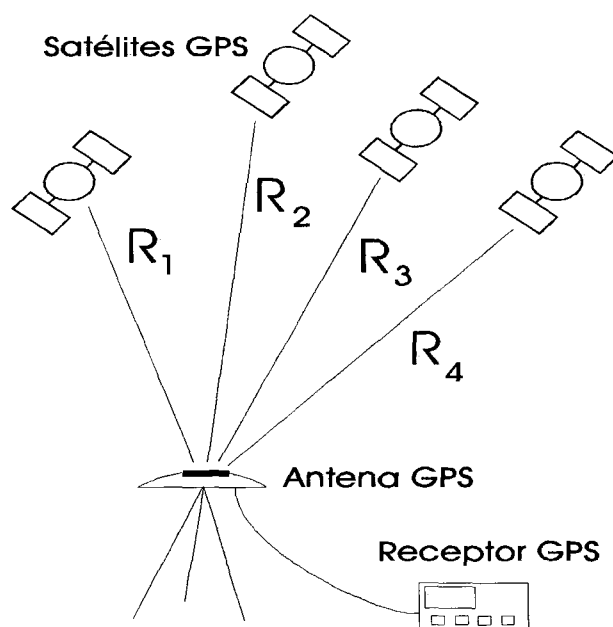


Figura 2.1 - Princípio básico do posicionamento com GPS.
Fonte: SEEBER (1993)

Segundo BLITZKOW (1992), o sistema referencial utilizado pelo sistema GPS é denominado Sistema Terrestre Médio (STM) ou também Sistema Terrestre Convencional (CTS). Este sistema de coordenadas cartesianas tem sua origem coincidente com o centro

de massa da Terra e por isso é conhecido com um sistema geocêntrico, cujo eixo terciário coincide com o eixo médio fixado pelo CIO (Conventional International Origin) orientado positivamente para o norte. O eixo primário coincide com o meridiano médio de Greenwich, e o eixo secundário completa o sistema dextrógiro. A **Figura 2.2** mostra como é constituído o Sistema Terrestre Convencional (CTS).

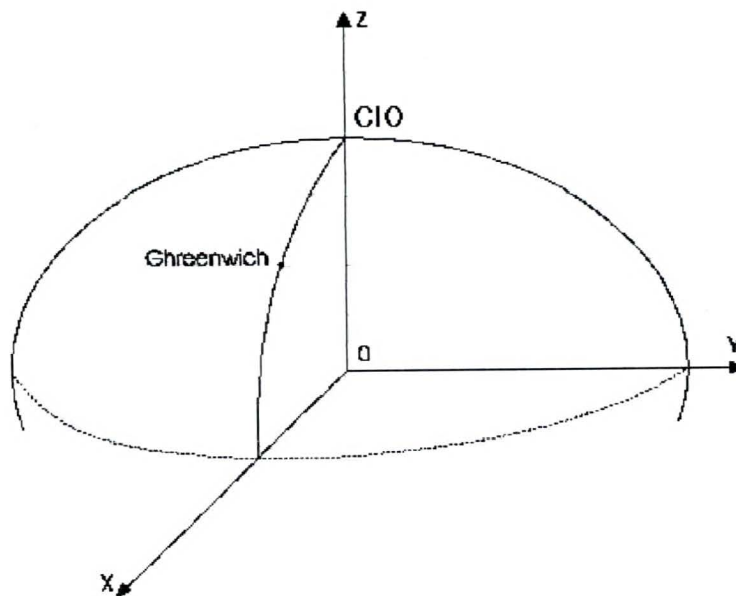


Figura 2.2 - Sistema Terrestre Convencional (CTS).
Fonte: BLITZKOW (1992).

De acordo com SEEBER (1993), a formulação matemática básica para o cálculo das coordenadas tridimensionais é:

$$PR_i = |\underline{\mathbf{X}}_i - \underline{\mathbf{X}}_B| + c \cdot dt_u = c \tau_i \quad (2.1)$$

∴

$$PR_i = \left((X_i - X_B)^2 + (Y_i - Y_B)^2 + (Z_i - Z_B)^2 \right)^{\frac{1}{2}} + c \cdot dt_u$$

onde:

- PR_i é a pseudodistância entre a antena do satélite S_i e a antena do receptor B ;

- \underline{X}_i é o vetor posição do satélite S_i no sistema geocêntrico CTS com as componentes X_i , Y_i e Z_i ;
- \underline{X}_B é o vetor posição da antena do receptor B no sistema geocêntrico CTS com as componentes X_B , Y_B e Z_B ;
- τ_i é o tempo de propagação do sinal observado entre a antena do satélite S_i e a antena do receptor B ;
- dt_u é o erro de sincronização entre o tempo do sistema GPS e o relógio do receptor;
- c é a velocidade de propagação do sinal.

A **Figura 2.3** representa a posição dos vetores e pontos apresentados na **equação (2.1)** no Sistema Terrestre Convencional (CTS), para dois instantes de tempo t_j e t_k de um mesmo satélite S_i .

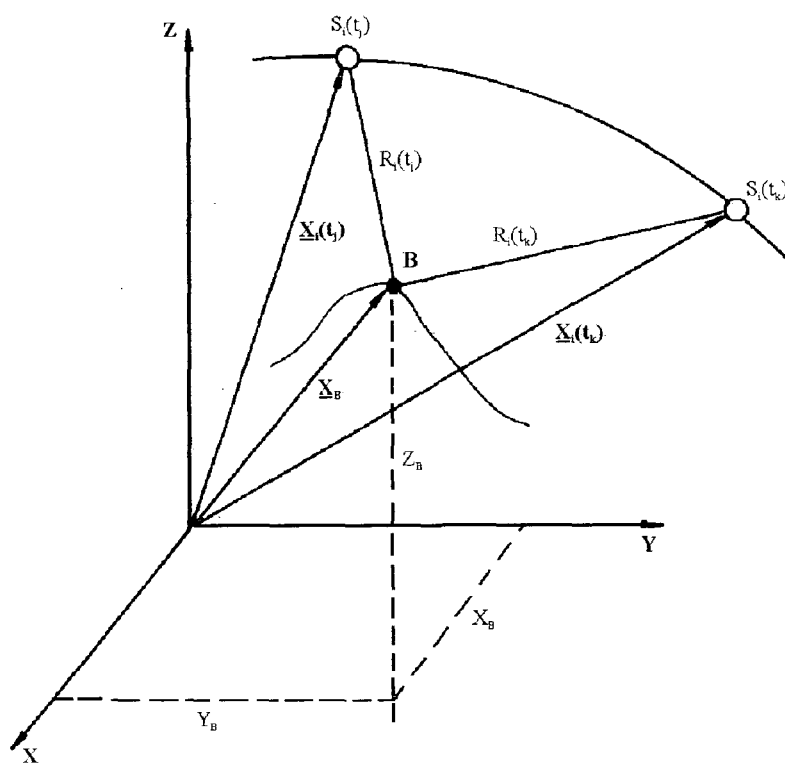


Figura 2.3 - Relações geométricas no posicionamento por satélites
Fonte: SEEBER (1993).

2.1.3 Configuração Final e Características do Sistema GPS

A configuração do sistema GPS é de 24 (vinte e quatro) satélites, todos em órbita à 20.200 quilômetros de altitude, abrangendo toda a superfície terrestre (SEEBER, 1993).

A **Tabela 2.1** apresenta as principais características do sistema de satélites NAVSTAR/GPS em comparação com seu antecessor, o sistema NNSS/TRANSIT.

Tabela 2.1 - Características dos sistemas GPS e TRANSIT.

Característica	NAVSTAR/GPS	NNSS/TRANSIT
altitude orbital	20200 km	1000 km
período	12 horas	105 minutos
freqüências	1575 MHz 1228 MHz	150 MHz 400 MHz
dados de navegação	X, Y, Z, t; velocidade	ϕ , λ
disponibilidade	continuamente	≈15-20 minutos por passagem
acuracidade	15 metros (código P / sem SA)	30-40 metros
constelação de satélites	24	6
geometria	repetição	variável
relógios dos satélites	rubídio e césio	quartzo

Fonte: SEEBER (1993).

2.1.4 Tipos de Levantamentos GPS Utilizados no Presente Trabalho

No presente trabalho, foram utilizados dois métodos de levantamentos GPS:

- posicionamento relativo cinemático com medidas de fase; e,
- posicionamento absoluto cinemático com código C/A.

No método relativo cinemático com medidas de fase, foram utilizados dois receptores geodésicos (Ashtech Z12), onde um receptor foi instalado em um ponto de coordenadas conhecidas (base) e o outro receptor foi instalado na estação móvel (veículo ferroviário). Após a coleta de dados ter sido executada simultaneamente com os dois receptores, os dados da base e da estação móvel foram pós-processados juntos pelo *software* Prism da Astech Inc. .

No método de posicionamento absoluto cinemático com código C/A, também conhecido como método de navegação, utilizou-se um receptor para navegação rastreando sobre a estação móvel (veículo ferroviário). Este método foi utilizado para monitorar o movimento do veículo sobre a trecho ferroviário escolhido para testes. As informações fornecidas pelo receptor (latitude, longitude, data de rastreio, hora de rastreio, etc.) foram transmitidas à base via rádio.

2.2 Considerações sobre CAD

Esse item tem como objetivo discutir o que vem a ser CAD, uma das principais ferramentas utilizadas no presente trabalho. Aqui serão discutidos a definição da sigla CAD, como essa ferramenta funciona, quais são seus componentes e sua utilidade dentro do trabalho proposto.

2.2.1 Definição de CAD

Atualmente, os projetos de engenharia vêm sendo planejados e executados com o auxílio de computadores, que cada vez mais estão presentes em nosso dia-a-dia. Em um passado não muito remoto, os desenhos de engenharia eram realizados sobre folhas de papel vegetal ou similares. Com o advento da era computacional, surgiu então o desenho auxiliado por computador ou como é conhecido na língua inglesa, Computer Aided Design (CAD). A sigla CAD também pode ser definida como Projeto Assistido por Computador. Segundo VOISINET (1988), vários outros termos também são usados, como por exemplo:

- Desenho assistido por computador;
- Desenho ampliado por computador; e,
- Desenho automatizado por computador.

Desta forma, pode-se afirmar que um sistema CAD é uma ferramenta para auxiliar a criação, manipulação e representação de desenhos, através da computação gráfica interativa (GOBBI, 1994).

2.2.2 Elementos de um Sistema CAD

Um sistema CAD é dividido em duas partes: *hardware* e *software*. Nesse item, serão discutidos os principais elementos dessas duas partes que compõem um sistema CAD completo.

2.2.2.a Hardware

Esta parte é definida para todos os componentes físicos de um sistema CAD completo. A seguir serão discutidos quais os principais componentes que fazem parte do *hardware* de um sistema CAD. Segundo ANTENUCCI *et all* (1991), os componentes de *hardware* podem ser classificados em três categorias principais:

- a unidade central de processamento; e,
- dispositivos denominados periféricos; e,
- memória.

2.2.2.a.1 CPU

A CPU (Central Processing Unit) ou Unidade Central de Processamento, também conhecida como microprocessador utilizado em microcomputadores (PC - Personal Computer), é o componente central de todos os sistemas computacionais, inclusive do sistema CAD. De acordo com VOISINET(1988), este é o local onde ocorre a execução das computações fundamentais.

Conforme ANTENUCCI *et all* (1991) e NORTON (1994), “a unidade central de processamento administra e supervisiona todas as funções de um sistema computacional. A CPU recebe dados e comandos fornecidos por programas ou *softwares* armazenados em memória, tais como sistemas operacionais, *softwares* comerciais e programas desenvolvidos pelo usuário, realiza operações solicitadas, e gera um resultado ou produto que é enviado ao usuário através de algum dos periféricos...”. De acordo com NORTON (1994), “A CPU controla as operações do computador enviando sinais de controle, endereçamento de

memória e dados de uma parte do computador para outra através de um grupo de caminhos eletrônicos interconectados chamados de barramento (ou *bus*).”

Segundo ainda esses mesmos autores, as funções da CPU são:

- controlar o acesso do usuário ao sistema computacional;
- executar a compilação de linguagens de alto-nível na forma em que a máquina entende;
- controlar a comunicação entre periféricos;
- efetuar computações e diagnósticos; e,
- executar todos os comandos programados ou solicitados pelo usuário em dois modos: iterativo ou em grupo.

Atualmente, os microprocessadores utilizados em microcomputadores do tipo IBM-PC, *hardwares* estes que são utilizados no presente trabalho, estão entre a quinta e a sexta geração, onde impera principalmente o processador Pentium, com uma largura de barramento de dados de 64 *bits*, uma largura interna de dados de 32 *bits* e uma largura de barramento de endereços de 32 *bits*, fabricado pela empresa Intel Inc. (NORTON, 1994). Associados a este processador, encontram-se os sistemas operacionais que utilizam instruções de 32 *bits*, como por exemplo, o Windows95 produzido pela empresa Microsoft Corporation.

2.2.2.a.2 Periféricos

Os periféricos mais importantes para um sistema completo CAD estão divididos basicamente em dois grandes grupos: dispositivos de entrada e dispositivos de saída. Esses

periféricos são conectados ao computador através de portas, tais como as portas de padrão serial RS232c e as portas paralelas (CENSI & LADEIRA, 1992).

2.2.2.a.2.1 Dispositivos de Entrada

Os dispositivos de entrada mais utilizados em um sistema CAD são:

- mesa digitalizadora;
- mouse; e,
- teclado.

Para o presente trabalho, todos estes periféricos foram utilizados.

2.2.2.a.2.1.1 Mesa Digitalizadora

Este dispositivo de entrada é um dos equipamentos mais utilizados em um sistema CAD. Trata-se de uma mesa semelhante a uma prancheta de desenho, porém, em seu interior, encontra-se uma malha fina de fio elétricos. Segundo VOISINET, a posição do cursor ou caneta (componentes integrantes das mesas digitalizadoras) sobre a mesa é determinada por um par de coordenadas (X,Y) através de pulsos elétricos entre o cursor ou caneta e a mesa digitalizadora. Essas coordenadas são enviadas ao computador através de uma porta serial.

Segundo CASTELLTORT (1988), o tamanho dessas mesas pode variar do formato A4 (210mm x 297mm) ao formato 2A0 (1189mm x 1682mm).

2.2.2.a.2.1.2 *Mouse*

Este é um periférico muito comum nos computadores do tipo IBM-PC e muito utilizado em ambientes gráficos, como ocorre por exemplo no sistema operacional Windows95.

De acordo com CASTELLTORT (1988), este dispositivo é formado por uma pequena caixa normalmente de plástico, contendo 2 (dois) ou 3 (três) botões e se desloca sobre qualquer superfície e transmite sua locomoção ao computador graças a um bola que se encontra em contato com essa superfície. Esta bola move dois potenciômetros que geram valores traduzidos em pares de coordenadas (X,Y). Desta forma, todos os movimentos do *mouse* podem ser acompanhados em uma tela de vídeo. Porém, segundo ainda o mesmo autor, este dispositivo não pode ser utilizado como um digitalizador, como é o caso da mesa digitalizadora, pois é um dispositivo de caráter relativo, ou seja, ele não sabe sua posição a não ser que esteja sobre uma superfície de contato, pois, caso contrário, não há deslocamento da bola, não indicando assim uma nova posição do *mouse*. Não é possível, por exemplo, com um *mouse*, localizar ou alinhar as coordenadas do desenho com as coordenadas da tela.

Em sistemas CAD, este dispositivo pode ser utilizado para editar desenhos após terem sido introduzidos ao sistema, ou acessar menus de trabalho dos *softwares* CAD, como, por exemplo, ocorre no *software* MaxiCad, produzido pela Empresa Maxidata Tecnologia e Informática Ltda e o AutoCAD, produzido pela Empresa Autodesk Inc..

2.2.2.a.2.1.3 Teclado

Segundo CASTELLTORT (1988), este é um dispositivo indispensável para qualquer sistema CAD assim como para qualquer sistema computacional, pois com ele se digitam as comandos iniciais para carregar os *softwares* e também para introduzir no sistema dados não gráficos, como por exemplo textos, números e símbolos muito utilizados em sistemas CAD.

2.2.2.a.2.1.4 Outros Dispositivos de Entrada

Além dos dispositivos de entrada que já foram discutidos anteriormente, podemos citar outros periféricos, tais como restituidores, *scanners*, *joysticks* e canetas óticas.

2.2.2.a.2.2 Dispositivos de Saída

Os dispositivos de saída mais utilizados pelos sistemas completos CAD são: monitores de vídeo (tela gráfica), impressoras e *plotters*. Para o presente trabalho, apenas os monitores de vídeo foram utilizados.

2.2.2.a.2.2.1 Monitores de Vídeo

Segundo CASTELLTORT (1988) e VOISINET (1988), este é o mais importante periférico de uma estação de trabalho de um sistema CAD. Trata-se de um dispositivo que gera imagens numa tela, esteja ela contida de informações alfanuméricas ou informações

gráficas. Para um sistema CAD, este dispositivo é utilizado basicamente com o objetivo de gerar imagens gráficas.

De acordo com VOISINET (1988), o tipo de monitor de vídeo mais utilizado atualmente é conhecido como CRT (Cathode-Ray Tube) ou Tubo de Raios Catódicos. Este tipo de exibição tem o mesmo princípio dos monitores de televisão. Os 2 (dois) principais tipos de CRT são: vetorial e rastreamento. O primeiro tipo não é muito utilizado em sistemas CAD, pois neste tipo de CRT, cada linha na figura é repintada ou redesenhada, desta forma, a imagem é vetorialmente redesenhada a cada mudança, tornando este método impraticável para desenhos complicados. Porém, o segundo tipo tem sido dominante de monitores de vídeo CRT.

Segundo CASTELLTORT (1988) e VOISINET (1988), os CRT do tipo rastreamento ou matricial utilizam uma grade ou *grid* referenciado a um sistema de coordenadas (X,Y) para mostrar a imagem na tela. Cada elemento desta grade é denominado de *PIXEL* (PICture Element ou elemento de figura). Os *pixels* que definem uma imagem na tela são iluminados, enquanto que para espaços em branco, os seus respectivos *pixels* não são iluminados. O tamanho do *pixel* determina a resolução de cada monitor de vídeo, ou seja, para *pixels* muito grandes, tem-se uma baixa resolução e quanto menor for o tamanho dos *pixels* dos monitores de vídeo, mais alta será a resolução.

De acordo com CASTELLTORT (1988), os CRT do tipo rastreamento podem ser coloridos, ou seja, ao invés de se ter apenas um canhão de elétrons para iluminar a grade de *pixels*, utiliza-se 3 (três) canhões contendo as cores básicas: vermelho, azul e verde.

Atualmente, são comuns no mercado, por exemplo, monitores de vídeo coloridos de 14 (quatorze) polegadas considerados de alta resolução com dimensões de 1024 *pixels* x 768 *pixels*.

Outro ponto importante, nesse tipo de CRT, trata-se da forma pelo qual as imagens geradas na tela são mantidas. Atualmente, segundo VOISINET (1988), a técnica mais utilizada em monitores de vídeo para manter a imagem na tela é conhecida como *refrescamento (refresh)*, onde a imagem é redesenhada constantemente na tela a uma velocidade (frequência) não perceptível pela visão humana.

2.2.2.a.3 Memória

Atualmente, os microcomputadores do tipo IBM-PC utilizam basicamente três tipos de memória, que são:

- memória principal ou memória RAM;
- memória ROM; e,
- memória secundária.

2.2.2.a.3.1 Memória RAM

De acordo com NORTON (1994), a memória RAM (Random Access Memory) ou memória de acesso aleatório é utilizada para armazenamento de informações durante a execução de programas feita pela CPU e fornece rápido acesso aos dados. Este tipo de memória é fornecida por um conjunto de *chips*. Atualmente, é comum em computadores do tipo IBM-PC a utilização de 8 a 64 MB (MegaByte) de memória RAM.

2.2.2.a.3.2 Memória ROM

De acordo com NORTON (1994), a memória ROM (Read Only Memory) ou memória apenas para leitura, também é utilizada na forma de *chips*. Esta memória contém programas ou *softwares* e dados de inicialização dos computadores, bem como *softwares* utilizados para controlarem periféricos. A memória ROM é composta por três elementos principais, que são:

- *as rotinas de partida* de inicialização dos microcomputadores;
- *a ROM BIOS* (Basic Input/Output System ou sistema básico de entrada/saída). De acordo com CABRAL (1989), o sistema BIOS “...é um programa (residente em memória permanente) que contém rotinas que cuidam do nível mais baixo da entrada e saída de periféricos...”; e,
- *as extensões da ROM*, que são utilizadas quando se adiciona algum equipamento opcional ao microcomputador.

Segunda ainda NORTON (1994), os microcomputadores do tipo IBM-PC utilizam, atualmente, pelo menos 40 KB (KiloByte) de memória ROM.

2.2.2.a.3.3 Memória Secundária

A memória secundária dos computadores do tipo IBM-PC está relacionada aos dispositivos auxiliares de armazenamento. Segundo VOISINET (1988), existem muitos dispositivos utilizados para armazenamento de informações, como por exemplo, cartuchos de fitas, discos flexíveis, discos rígidos, e mais recentemente, *cds* (compact discs).

Esses dispositivos são utilizados em sistemas CAD para armazenagem de *softwares* e arquivos de dados pois a memória principal ou memória RAM (Random Access Memory) não é suficiente para tal, além de permitir o transporte de dados ou *softwares* entre diferentes computadores, bem como proteger informações (ANTENUCCI *et all*, 1991).

De acordo ainda com VOISINET (1988), os dispositivos de armazenamento mais comuns são os discos flexíveis e os discos rígidos.

Atualmente, os discos flexíveis são confeccionados de poliéster com o diâmetros de 3.5 polegadas e são capazes de armazenar, normalmente, 1.44 *Megabytes* (Mb) ou 1.44 milhões de *bytes*, onde cada *byte* equivale a um caracter. Para que esses discos possam ser introduzidos em sistema computacional, utilizam-se os chamados *drives* de acesso.

Contudo, os discos rígidos, também chamados de *winchesters* são capazes de armazenar, atualmente, em sistema computacionais do tipo IBM-PC, em torno de 2 (dois) *Gigabyte* ou 2 (dois) bilhões de *bytes*. Estes discos são encapsulados ao vácuo e rígidos.

2.2.2.b *Software*

Segundo vários autores, entre eles GOBBI (1994) e VOISINET (1988), esta é a parte lógica de todo sistema computacional, inclusive dos sistemas CAD. A palavra *Software* é também conhecida como programa. ANTENUCCI *et all* (1992) estabelece 3 (três) níveis de *softwares*:

- sistema operacional: conjunto de programas utilizados para gerenciar e controlar as operações do sistema bem como controlar a comunicação dos diversos periféricos conectados ao computador;

- programas especiais de suporte ao sistema: conjunto de programas que são utilizados para darem suporte aos usuários do sistema, tais como programas de linguagens de programação, *drivers* para comunicação com periféricos e utilitários gerenciadores de arquivos para a manipulação de arquivos contidos em dispositivos auxiliares de armazenamento, como por exemplo *winchesters*.
- *software* de aplicação: conjunto de programas com uma aplicação específica para gerar um determinado produto, tais como editores de texto criados para gerarem documentos ou *softwares* gráficos CAD para gerarem desenhos ou projetos de engenharia.

De acordo com VOISINET (1988), os programas aplicativos são desenvolvidos em diversas linguagens de programação, tais como FORTRAN (FORmula TRANslation - tradução de fórmulas), BASIC (Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code - código de instruções simbólicas de uso geral para iniciantes) e COBOL (Common Business-Oriented Language - linguagem comum orientada aos negócios). Porém, os programas aplicativos CAD foram desenvolvidos inicialmente em FORTRAN e atualmente são desenvolvidos principalmente em duas linguagens de programação: C/C++ e PASCAL.

Existem vários aplicativos CAD no mercado, tais como o AutoCAD produzido pela Empresa Autodesk Inc. e o MicroStation produzido pela Empresa Bentley Systems Inc., aplicativos esses voltados para serem utilizados nas diferentes áreas da engenharia. Outro *software* muito utilizado no Brasil, específico para cartografia, é o *software* MaxiCAD, produzido pela Empresa Maxidata Tecnologia e Informática Ltda.

No Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, encontram-se disponíveis três *softwares* do tipo CAD, que são: o MaxiCAD, o MicroStation e o AutoCAD. No presente trabalho, optou-se por utilizar o aplicativo

AutoCAD, na versão 11.0 *for Windows*, por se tratar de um *software* de fácil manuseio e muito utilizado nos diversos ramos da engenharia, além de permitir a geração de arquivos de exportação DXF (Drawing Exchange Format) que podem ser exportados para outros *softwares* do tipo CAD, tais como o MaxiCAD e o MicroStation.

2.2.2.b.1 Estrutura de Dados Gráficos Utilizada pelo *Software* AutoCAD

Existem dois tipos de estruturas para se representar computacionalmente dados gráficos: estrutura vetorial e estrutura matricial.

Na estrutura vetorial ou *vector*, os objetos são representados a partir de um conjunto de pontos ou segmentos interligados e as curvas são construídas a partir de um conjunto de pequenos segmentos de retas, como mostra a **Figura 2.4b**. Os conjuntos de pontos são baseados em um sistema de coordenadas (GOBBI, 1994; BURROUGH, 1986).

Segundo ainda esse mesmos autores, na estrutura matricial ou *raster*, os objetos ou imagens são representados a partir de um conjunto de células ou *pixels* (picture elements). Para que o computador interprete que este conjunto de células faz parte de um mesmo objeto, dá-se um mesmo atributo para esse conjunto de células. Esse atributo pode ser um valor numérico, uma cor, ou ainda, uma escala de cinza (**Figura 2.4a**).

De acordo com BURROUGH (1986), a estrutura vetorial considera o espaço geográfico contínuo, seguindo postulados da Geometria Euclidiana, enquanto a estrutura matricial ou *raster* divide o espaço em elementos discretos.

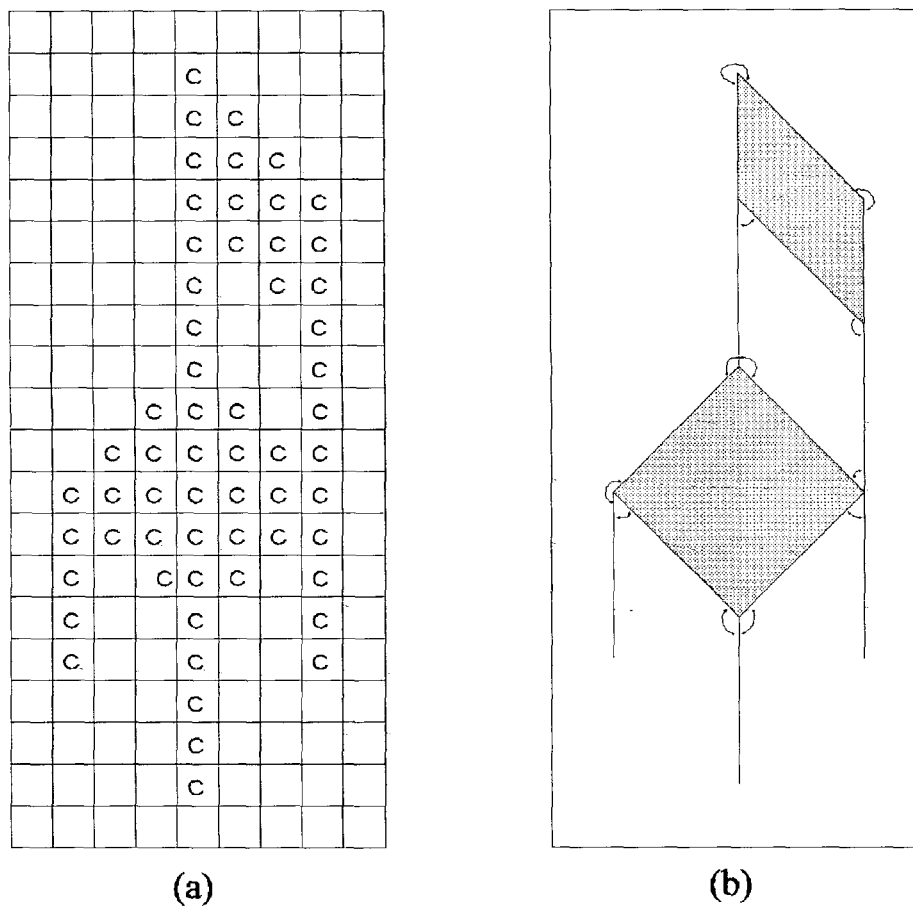


Figura 2.4- A imagem de uma cadeira na forma matricial (a) tendo como atributo a letra “c” e na forma vetorial (b). Fonte: BURROUGH (1986).

Segundo GOBBI (1994), no *software* AutoCAD os objetos são representados apenas na estrutura vetorial, ou seja, são representados por um conjunto de pontos ou segmentos interligados.

2.3 Linguagem de Programação C/C++

Atualmente, existem no mercado, várias linguagem de programação, tais como Pascal, Fortran e Visual Basic. No presente trabalho, todo o desenvolvimento

computacional que envolveu programação foi baseado na linguagem de programação C/C++, por se tratar de uma linguagem eficiente e de fácil manuseio, além do fato de que a interface sugerida e desenvolvida no presente trabalho poderá ser integrada ao programa “Localiza” desenvolvido por Jeferson Massinhan, discutida em sua dissertação intitulada “UTILIZAÇÃO DO GPS NO APOIO AO CONTROLE OPERACIONAL DE VEÍCULOS FERROVIÁRIOS”, que também foi todo desenvolvido a partir da linguagem de programação C/C++.

O termo “C/C++” está relacionado ao fato de que, no presente trabalho, utilizou-se a linguagem de programação C a partir de um programa compilador C++, pois este último contém todas as funções de um compilador C, utilizadas no presente trabalho.

Segundo SCHILDT (1990) e BASTOS *et all* (1987), a linguagem de programação C foi desenvolvida para ser utilizada inicialmente pelo sistema operacional *Unix*, por Brian W. Kernighan e Dennis M. Ritchie em 1972, derivada da linguagem ALGOL 68.

De acordo com SCHILDT (1990), essa linguagem é considerada de médio nível, por combinar elementos de linguagens de alto nível (Pascal, COBOL, FORTRAN, BASIC, etc.) e a funcionalidade da linguagem de baixo nível (Assembler), sendo assim uma linguagem que permite a manipulação de *bits*, *bytes* e endereços, elementos esses básicos com os quais o computador funciona.

Segundo SILVA FILHO (1987), as principais características da linguagem C, relevantes ao presente trabalho são:

- Alto grau de portabilidade, permitindo que seus programas-fontes sejam transportados entre diferentes tipos de máquinas, como por exemplo, entre o padrão Apple MacIntosh e o padrão IBM-PC;

- linguagem de uso geral, ou seja, pode ser utilizada desde para programação de sistemas operacionais, bem como *softwares* utilitários, bancos de dados, processadores de textos, *softwares* aplicativos, como é o caso da maioria dos sistemas CAD, etc;
- possibilita a geração de códigos executáveis (arquivos de extensão .exe) compactos e rápidos, sendo assim uma linguagem eficiente quando utilizada em microcomputadores;
- sintaxe de poucos comandos e grande número de operadores aritméticos e lógicos; e
- linguagem estruturada, ou seja, de acordo com SCHILDT (1990) “...esta linguagem tem a habilidade de seccionar e esconder do resto do programa todas as informações necessárias para se realizar uma tarefa específica...”, além de ser também uma linguagem modular.

3. Coleta de Dados

No presente trabalho, foram executadas 2 (duas) coletas de dados:

- para levantamento do trecho ferroviário; e,
- para monitoramento dos veículos ferroviários em tempo real.

Essas coletas foram executadas juntamente com o Engenheiro Jeferson Massinhan, que utilizou os dados coletados em sua dissertação de mestrado (MASSINHAN, 1996). Essas coletas foram realizadas a partir de receptores GPS, onde foram adquiridas as coordenadas dos receptores.

3.1 Equipamento Utilizado

Para a coleta de dados foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 2 receptores GPS Ashtech Z12 de precisão geodésica produzidos pela Empresa Ashtech Inc.;
- 1 receptor de navegação GPS 40 produzido pela Empresa Garmin;
- 1 receptor de navegação GPS 45 produzido pela Empresa Garmin;
- 2 rádios Pacific RFM96 produzido pelo Empresa Pacific Crest Corporation;
- 1 *software* Prism para pós-processamento dos dados da Empresa Ashtech Inc.; e
- 1 veículo ferroviário denominado auto-de-linha de propriedade da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) para percorrer o trecho utilizado para teste.

3.2 Coleta de Dados para Levantamento do Trecho Ferroviário

Esta coleta foi inicialmente executada no percurso ferroviário utilizado para testes, em 2 (duas) viagens que ocorreram em dias diferentes. Foram coletadas informações tanto na ida quanto na volta dessas viagens. O trecho ferroviário utilizado para testes compreende Curitiba - Rio Branco do Sul - Curitiba.

Todos as coordenadas coletadas foram pós-processadas através do *software* Prism da Empresa Ashtech Inc..

No presente trabalho, optou-se apenas em trabalhar com os dados coletados na segunda viagem e com as informações coletadas no percurso de ida, por se tratar de um percurso que sofreu menos perdas do sinal GPS, além de não se necessitar mais de um percurso para se estabelecer o levantamento de todo o trecho ferroviário utilizado para testes. Outro fator importante está relacionado ao fato de que durante os percursos, foram estabelecidas as marcações da hora GPS de todos os quilômetros cheios do trecho ferroviário (quilômetro 0, quilômetro 1, quilômetro 2, etc.), contudo, esta marcação não foi precisa, pois o veículo ferroviário se encontrava em movimento e desta forma, a marcação da quilometragem do percurso de ida de uma viagem não era exatamente a mesma do percurso de volta em relação as suas coordenadas.

3.2.1 Procedimentos para Coleta de Dados para o Levantamento do Trecho Ferroviário

Como citado anteriormente, nessa coleta de dados foram utilizados 2 (dois) receptores GPS geodésicos (Ashtech Z12), que no presente trabalho, constituiu um

procedimento de coleta de dados cinemático, ou seja, enquanto um dos receptores se encontrava no veículo ferroviário em movimento, o outro receptor foi utilizado como base para rastreamento em uma estação fixa. Os dois receptores foram programados para coletar dados a cada 1 (um) segundo. Foram gerados 2 (dois) arquivos de dados distintos, ou seja, um para cada receptor.

Após o procedimento da coleta de dados, esses 2 (dois) arquivos foram introduzidos no *software* Prism, para posterior processamento. Para cada uma das viagens executadas foram gerados cerca de 3.600 (três mil e seiscentas) linhas contendo informações como: data do rastreio, hora do rastreio, coordenadas do receptor (latitude e longitude), altitude do receptor e velocidade de descolamento do mesmo.

No presente trabalho, dos dados coletados e processados, as informações utilizadas foram as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de todo o percurso utilizado para teste.

3.3 Coleta de Dados em Tempo Real para Monitoramento dos Veículos Ferroviários

Essa coleta de dados foi executada também por receptores GPS, porém todos os dados coletados foram enviados via rádio e em tempo real, para uma base instalada no Edifício Teixeira Soares (RFFSA).

3.3.1 Procedimentos para a Coleta de Dados em Tempo Real

A coleta de dados em tempo real foi executada a partir de um receptor GPS Garmin 45, onde sua antena de recepção do sinal GPS foi instalada no teto do veículo

ferroviário, acoplado a um rádio de comunicação de dados Pacific RFM96, ambos localizados no veículo ferroviário utilizado para teste. Um segundo receptor, ou seja, o receptor GPS Garmin 40, foi utilizado para estabelecer a hora GPS sobre os quilômetros cheios do trecho ferroviário (quilômetro 0, quilômetro 1, quilômetro 2, etc.) durante esta coleta de dados.

Em uma base montada no Edifício Teixeira Soares (RFFSA), na região central da cidade de Curitiba, encontrava-se um computador PC-486 acoplado a um rádio de comunicação de dados Pacific RFM 96 que foi programado para receber todas as informações transmitidas pelo rádio da estação móvel (veículo ferroviário). Desta forma, as informações contidas nos receptores GPS foram transmitidos para a base através dos rádios de comunicação em tempo real.

Outro ponto importante no processo de coleta de dados está relacionado com a forma de utilização dos dados coletados em tempo real nesse trabalho. Todos os dados utilizados (pseudodistância e código C/A) não sofreram correções, como ocorre no tipo de levantamento GPS denominado DGPS. Os dados aqui utilizados foram brutos.

3.3.2 Formato de Transmissão dos Dados Utilizado pelos Receptores GPS 40 e GPS 45

Existem vários formatos de transmissão de dados disponíveis pelos receptores da Empresa Garmin, tais como os formatos RTCM (Real-Time Differential Correction), NMEA 180 e NMEA 182, porém, no presente trabalho, optou-se apenas em transmitir os dados no formato denominado NMEA 0183 (National Marine Electronics Association), na versão 2.0. Esta versão do formato NMEA183 transmite coordenadas (latitude e longitude) com uma precisão de centésimos de segundo, enquanto que, por exemplo, na versão 1.5

deste mesmo formato, as coordenadas são transmitidas com uma precisão de 1 (um) segundo (GARMIN Inc., 1995).

3.3.2.1 Especificações do Formato de Transmissão NMEA 0183 Versão 2.0

Os formatos de transmissão de dados trabalham com certas especificações, como é o caso do formato NMEA 0183 utilizado pelos receptores da Empresa Garmin. Essas especificações são:

- velocidade de transmissão (*baudrate*): 4800 bps (*bits* por segundo);
- tamanho de cada caracter transmitido: 8 *bits* (1 *byte*);
- intervalo de transmissão entre uma mensagem e outra: 2 segundos;
- formato dos dados: ASCII (American Standard Code for Information Interchange).

Cada *frame* (bloco de mensagens) transmitido contém vários formatos de sentenças (linhas) iniciadas pelos caracteres \$GP (esses caracteres indicam o início de cada linha), como por exemplo: WPL, RTE, RMC, RMB, GCV, GSA, GLL e GGA.

Contudo, no presente trabalho, foi utilizada apenas uma sentença de cada *frame*, ou seja, a linha RMC (Recommended Minimum Specific GPS/Transit Data) contendo as seguintes informações, de acordo com GARMIN Inc (1995):

\$GPRMC,HHMMSS,A,DDMM.MMMM,N,DDDMM.MMMM,W,XXX.X,XXX.X,DDMMYY,XXX.X,E*XX

ou

\$GPRMC,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>*<12>

onde:

- <1> tempo TUC (Tempo Universal Coordenado) de uma posição fixada, formato hhmmss (hh = horas; mm = minutos; ss = segundos);
- <2> *Status*, A = posição válida, V = NAV inválido;
- <3> latitude no tempo TUC, formato ddmm.mmmm (dd = graus; mm = minutos; mmmm = décimos de minutos);
- <4> direção da latitude (N = norte, S = sul);
- <5> longitude no tempo TUC, formato ddmm.mmmm (dd = graus; mm = minutos; mmmm = décimos de minutos);
- <6> direção da longitude (E = leste, W = oeste);
- <7> velocidade de deslocamento em terra de 0.0 a 999.9 em nós;
- <8> curso de deslocamento em terra ou caminho de 000.0 a 359.9 graus;
- <9> data TUC da posição fixada, formato ddmmyy (dd = dia; mm = mês; yy = ano);
- <10> variação magnética de 000.0 a 180.0 graus;
- <11> direção da variação magnética (E = leste, W = oeste);
- <12> cheque da saúde do sinal.

Um exemplo típico dos dados contidos na linha RMC, pertencente a um *frame*, no formato NMEA 0183, na versão 2.0 e utilizado pelo receptor Garmin 45 é mostrado abaixo:

\$GPRMC,134523,A,3832.5623,N,09515.4045,W,044.9,339.7,081190,004.2,E*63

Para o exemplo acima, tem-se as seguintes informações, importantes para o desenvolvimento deste trabalho:

- hora (TUC) do rastreio: 13 horas 45 minutos 23 segundos;

- latitude coletada: 38 graus 32.5623 minutos Norte (N);
- longitude coletada: 095 graus 15.4045 minutos Oeste (W);
- velocidade de deslocamento do receptor: 44.9 nós;
- data do rastreamento: 08/11/1990.

As informações coletadas mais importantes para a execução do presente trabalho são os dados de posição, ou seja, a latitude e a longitude, rastreados pelos receptores.

4. Interfaceamento GPS/CAD

Nesse item são discutidos todos os procedimentos utilizados na execução do interfaceamento entre o sistema GPS e o sistema CAD.

4.1 Desenvolvimento Computacional

A interface GPS/CAD foi desenvolvida a partir da linguagem de programação C (CABRAL, 1989; SCHILDT, 1990) cujo compilador utilizado foi o Borland C++ Versão 3.1, produzido pela Empresa Borland International Inc.. Para a execução da interface, foram utilizados dois computadores, como mostra a **Figura 4.1**, onde o computador (a) recebeu os dados descarregados pelos receptores GPS, via porta serial RS232c e transmitiu as informações por outra porta serial conectada ao computador (b). O computador (b) utilizou o *software* AutoCAD, com o intuito de efetuar a plotagem de pontos representando assim o deslocamento dos veículos ferroviários, na tela de vídeo, em tempo real. A necessidade da utilização de dois computadores se faz pelo fato de que, posteriormente, esta interface poderá ser integrada ao programa “Localiza”, desenvolvido pelo Engenheiro Jeferson Massinhan e apresentado em sua dissertação de mestrado intitulada “UTILIZAÇÃO DO GPS NO APOIO AO CONTROLE OPERACIONAL DE VEÍCULOS FERROVIÁRIOS” (Massinhan, 1996).

Os principais procedimentos desenvolvidos foram:

- extração das coordenadas fornecidas pelos receptores GPS;
- comunicação entre os dois computadores para interfaceamento; e,

- simulação de periféricos e interpretação de dados executada pela ferramenta CAD.

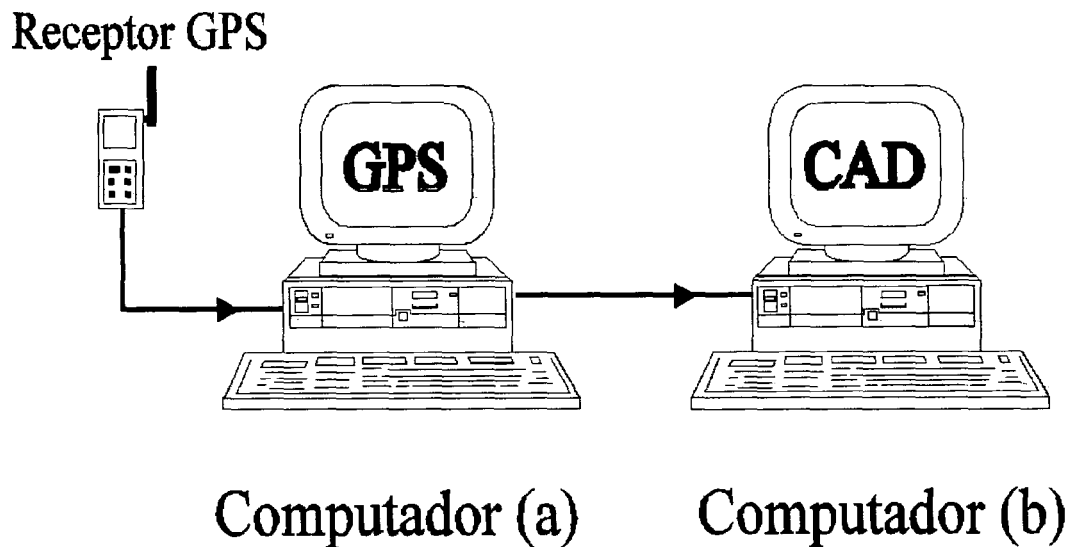


Figura 4.1 - Interfaceamento GPS/CAD.

4.1.1 Extração das Coordenadas Fornecidas pelos Receptores GPS

Conforme discutido no item 3.3.2, as informações contidas nos receptores são transmitidos através do formato NMEA 0183, na versão 2.0, que transmite *frames* (blocos de mensagens), com diferentes linhas de informações. No presente trabalho, para efeito de utilização no sistema CAD, interessa apenas as informações sobre a posição dos pontos no deslocamento dos veículos ferroviários. Essas informações são a latitude e a longitude dos pontos em deslocamento.

A latitude e a longitude encontram-se em uma das linhas do *frame*, cujas iniciais são \$GPRMC. Essa linha contém informações quanto a posição do receptor em movimento,

entre outras informações, como velocidade de deslocamento, hora do rastreo, etc. Mais detalhes sobre o formato NMEA podem ser vistos no **item 3.3.2** desse trabalho.

Para que se obtenha apenas as coordenadas do receptor, faz-se necessário a utilização de uma extração das informações contidas na linha \$GPRMC. Essa extração foi executada utilizando-se a linguagem de programação C/C++.

As informações contidas nos *frames* (blocos de mensagens) estão no formato ASCII e são de fácil manuseio. Cada linha é formada por um conjunto de caracteres, onde cada caracter foi identificado com um número. Assim, têm-se um vetor-caracter de cada linha, onde cada elemento deste vetor contém um caracter da linha, como por exemplo, considerando-se a seguinte linha:

```
SGPRMC,HHMMSS,A,DDMM.MMMM,N,DDDMM.MMMM,W,XXX.X,XXX.X,DDMMYY,XXX.X,E*XX.
```

A partir desta linha, tem-se o seguinte vetor-caracter:

$V[0] = \text{'\$'}; V[1] = \text{'G'}; V[2] = \text{'P'}; V[3] = \text{'R'}; V[4] = \text{'M'}; V[5] = \text{'C'}; \text{etc.}$

Dessa forma, a partir do vetor-caracter, é possível escolher apenas os caracteres que contenham as informações sobre a posição do receptor, ou seja, a latitude e a longitude do ponto.

4.1.2 Comunicação entre Computadores para Interfaceamento

A comunicação externa de computadores com periféricos (impressoras, *mouses*, mesas digitalizadoras, etc.) pode ser realizada a partir de conexões físicas denominadas “portas”. Para computadores do tipo IBM-PC, são utilizados dois tipos de portas, que são:

- porta paralela; e,
- porta serial.

Segundo NORTON (1994), “...no tipo de porta paralela, os dados são transmitidos com 8 (oito) *bits* (1 *byte*) de cada vez, ou seja, na forma paralela...”. A porta paralela utiliza um conector de 25 pinos, onde 8 (oito) pinos são utilizados para transmitir e receber dados, assim, cada pino transmite 1 (um) *bit*. Normalmente, as portas paralelas são utilizadas para conectar impressoras nos microcomputadores.

De acordo ainda com este mesmo autor, “...a porta serial se difere do porta paralela, por transmitir e receber dados na forma serial, ou seja, usando 1 (um) *bit* de cada vez. Este tipo de porta também é denominado RS-232c...”.

A comunicação entre os dois computadores utilizados no presente trabalho foi executada através de portas seriais padrão RS232c.

Em computadores do tipo IBM-PC, existem basicamente 2 (dois) formatos de conectores para portas seriais: 25 (vinte e cinco) e 9 (nove) pinos.

No presente trabalho, foram utilizados apenas 8 (oito) pinos, tanto no formato de porta serial de 25 (vinte e cinco) pinos quanto no formato de 9 (nove) pinos. A **Tabela 4.1** apresenta as descrições dos 8 (oito) pinos utilizados, para a porta serial de 25 (vinte e cinco) pinos.

Na conexão entre os computadores (a) e (b), mostrados na **Figura 4.1**, os pinos 2 (dois) e 3 (três) são invertidos, pois enquanto o computador (a) transmite os dados, o computador (b) os recebe, como mostra a **Figura 4.2**.

Para que houvesse a comunicação entre os dois computadores, foi necessário configurar essa comunicação. Essa configuração foi desenvolvida a partir da linguagem de programação C/C++. Os parâmetros de configuração para comunicação entre computadores são:

- velocidade de comunicação (*baudrate*);

- paridade;
- *bits* de parada (1 ou dois *bits*); e,
- tamanho do caracter (7 ou 8 *bits*).

Tabela 4.1 - Descrição de 8 (oito) pinos da porta serial RS232c de 25 (vinte e cinco) pinos.

Pino	Código de abreviatura	Descrição
1	GND	terra de proteção
2	TxD	dados transmitidos pelo terminal
3	RxD	dados recebidos pelo terminal
4	RTS	pedido para transmitir
5	CTS	disponível para transmitir
6	DSR	modem pronto
7	GND	terra lógico
20	DTR	terminal pronto

Fonte: CABRAL (1989)

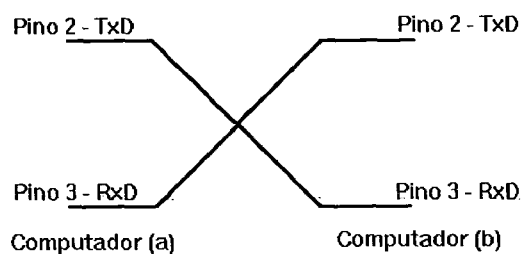


Figura 4.2 - Inversão dos pinos 2 e 3 da porta serial RS232c entre dois computadores.

4.1.3 Simulação de Periféricos e Interpretação dos Dados Executada pelo *Software* AutoCAD

No presente trabalho, para que o *software* AutoCAD recebesse as informações quanto ao deslocamento do veículo ferroviário, em tempo real, foi necessário que se executasse uma simulação. Nessa simulação, o *software* AutoCAD estaria utilizando uma mesa digitalizadora, pois com esse periférico é possível introduzir informações ao *software* em tempo real. As principais informações transmitidas ao *software* AutoCAD pela mesa digitalizadora são as coordenadas de posição do cursor sobre a mesa digitalizadora. Este posicionamento é apresentado no *software* AutoCAD a partir da tela de vídeo. Assim, o deslocamento do veículo ferroviário poderia ser apresentado na tela de vídeo como se fosse o deslocamento do cursor sobre a mesa digitalizadora. Este deslocamento do veículo ferroviário foi apresentado sobre uma base cartográfica digital, introduzida ao *software* AutoCAD, na forma de arquivo de dados.

O *software* AutoCAD pode utilizar diversos tipos de mesas digitalizadoras, onde para cada mesa utilizada o *software* tem um *driver* (programa de controle de periférico) específico. Porém, optou-se em utilizar na simulação, apenas um modelo de mesa digitalizadora, a Calcomp 9100, pois a partir do manual de usuário desta mesa, foi possível estabelecer qual o formato de transmissão de dados é estabelecida entre esta mesa digitalizadora e o *software* AutoCAD, pois cada tipo de mesa digitalizadora transmite informações ao AutoCAD de forma específica.

A escolha da mesa digitalizadora utilizada pelo AutoCAD foi realizada durante a etapa de configuração do *software*, onde optou-se em configurar o AutoCAD para utilização da mesa Calcomp 9100, utilizando o cursor de 16 (dezesseis) teclas, pois esta é a

forma pela qual a mesa Calcomp 9100 é utilizada pelo AutoCAD (CALCOMP Inc., 1988). Todo periférico utilizado pelo *software* AutoCAD (mesas digitalizadoras, *plotters*, impressoras, etc.) deve ser configurado pelo *software* antes de ser utilizado pelo mesmo, caso contrário este periférico não será reconhecido e não poderá ser utilizado durante a execução do *software* AutoCAD.

Uma vantagem encontrada na simulação dessa mesa foi a de que o *driver* que controla a mesma no *software* AutoCAD recebe as informações no formato de dados ASCII e a seguir converte para o formato binário, que é o formato de dados pelo qual o *software* AutoCAD recebe informações. Alguns outros *drivers* que controlam mesas digitalizadoras no AutoCAD recebem as informações transmitidas pelas mesas no formato binário, tais como, os *drivers* das mesas DIGIGRAF e SUMMAGRAPHICS (DIGIGRAF Tecnologia Eletrônica, 1987; SUMMAGRAPHICS Corporation, 1993), porém, o manuseio de informações no formato binário é mais complicado do que o manuseio no formato ASCII, e por isso, optou-se em trabalhar com um *driver* que recebe as informações transmitidas pela mesa digitalizadora no formato ASCII.

Para o modelo de mesa digitalizadora escolhida para a simulação, ou seja, o modelo Calcomp 9100, tem-se o seguinte formato de transmissão entre a mesa e o *software* AutoCAD (*driver* específico desta mesa):

<T><M><C>xxxxxyyyyy<CR>

onde,

- T representa o caracter de *status* da mesa digitalizadora. No presente trabalho, esse caracter recebeu a letra “A”, o que determinava que a mesa estava sempre apta a trabalhar;

- **M** representa o caracter de *status* do modo de operação. No presente trabalho, esse caracter recebeu a letra “R”, o que determinava o modo de operação *run* (contínuo);
- **C** representa qual a tecla do cursor da mesa digitalizadora que está sendo utilizado ou pressionado, em caracteres ASCII. A **Tabela 4.2** apresenta um resumo de todas as teclas e tipos de cursores utilizados pela mesa Calcomp 9100;
- **x** representa um dígito da coordenada X, onde cada dígito é um caracter ASCII, variando de 0 a 9;
- **y** representa um dígito da coordenada Y, onde cada dígito é um caracter ASCII, variando de 0 a 9;
- **CR** representa o retorno de carro (*carriage return*) para o formato ASCII. É um delimitador de fim de cada mensagem.

Para o formato de transmissão estabelecido, têm-se uma resolução de 1000 lpp (linhas por polegada) ou 40 lpmm (linhas por milímetro) para a mesa digitalizadora. Esses mesmos valores de resolução podem ser apresentados também da seguinte forma: 0.001 polegadas ou 0.025 milímetros. A resolução em polegadas ou em milímetros é estabelecida de acordo com o sistema de medida adotado, que pode ser métrico ou em polegadas (DIGIGRAF, 1987).

Considerando, por exemplo, um par de coordenadas (100,100), tem-se o seguinte formato de transmissão executado pela mesa digitalizadora, sem nenhuma tecla do cursor estar pressionada:

ARU0010000100<CR>

Tabela 4.2 - Cursores utilizados pela mesa digitalizadora Calcomp 9100.

Cursores			Formato de transmissão ASCII
3 teclas	4 teclas	16 teclas	
nenhuma	nenhuma	nenhuma	U
extremidade	1	1	0
primeira barra	2	2	1
segunda barra	3	3	2
extremidade e primeira barra	4	C	3
extremidade e segunda barra	--	4	4
primeira e segunda barra	--	5	5
todas	--	6	6
--	--	D	7
--	--	7	8
--	--	8	9
--	--	9	A
--	--	E	B
--	--	A	C
--	--	0	D
--	--	B	E
--	--	F	F

Fonte: SUMMAGRAPHICS Co. (1993).

As coordenadas (X,Y) transmitidas ao *software* AutoCAD, pela mesa digitalizadora, são coordenadas de mesa. Todas as coordenadas coletadas pelos receptores GPS devem ser transformadas em coordenadas de mesa, para que o *software* AutoCAD interprete e execute a posterior plotagem de pontos no monitor de vídeo. Todas as transformações necessárias, para que as coordenadas coletadas pelos receptores GPS sejam utilizadas para a plotagem de pontos no CAD, serão discutidas no **Anexo 2** do presente trabalho.

4.2 Base Cartográfica e Trecho Ferroviário Utilizado para Testes

Para o monitoramento do deslocamento do veículo ferroviário, foi introduzido ao *software* AutoCAD uma base cartográfica contendo parte do trecho ferroviário entre Curitiba e Rio Branco do Sul, trecho este utilizado para testes no presente trabalho. Em virtude de não se possuir uma base cartográfica de todo o trecho ferroviário, optou-se em utilizar uma base cartográfica contendo parte do trecho ferroviário, digitalizada pela Eng. Luciene Stamato Delazari, que utilizou esta base cartográfica em sua dissertação de mestrado. A parte do trecho ferroviário inserido nessa base cartográfica está compreendido, no sistema UTM, entre os pares de coordenadas:

$$\begin{array}{ccc} 673877.870 \text{ E} & & 669282.065 \text{ E} \\ & \text{e} & \\ 7197143.226 \text{ N} & & 7210797.757 \text{ N} \end{array}$$

A base cartográfica foi digitalizada a partir de cartas na escala 1:10.000, através de outro *software* do tipo CAD, porém cartográfico, chamado MaxiCAD. Esta base cartográfica digitalizada encontrava-se no sistema de referência geodésico Córrego Alegre (cartas analógicas originais referenciadas neste sistema), e foi convertida pelo *software* MaxiCAD para o sistema de referência geodésico SAD-69. De acordo com IBGE (1996), os parâmetro de transformação necessários para a mudança de sistemas de referência (Corrego Alegre para SAD-69) são:

$$\Delta x = - 138,70 \text{ metros};$$

$$\Delta y = + 164,40 \text{ metros}; \text{ e,}$$

$$\Delta z = + 34,40 \text{ metros}$$

Inicialmente, esta transformação entre sistemas de referência geodésicos não seria necessário, porém, a comunidade cartográfica brasileira utiliza atualmente o sistema de referência geodésico SAD-69 em seus trabalhos. Assim, optou-se em executar esta transformação entre sistemas de referência geodésicos.

A base cartográfica tem como elementos principais, as curvas de nível mestras representadas de 50 em 50 metros, representando assim a forma do relevo e parte do trecho ferroviário utilizado para testes. Esta base cartográfica é apresentada na **Figura 4.3**.

O trecho ferroviário levantado via GPS (**item 3.2**) não foi digitalizado, mas introduzido diretamente à base cartográfica. A partir da coleta de dados do trecho ferroviário, gerou-se um arquivo de dados contendo pares de coordenadas a cada 100 (cem) metros (dez pontos por quilômetro) aproximadamente, referenciados no sistema de referência geodésico WGS-84, salvo em locais onde não foi possível coletar dados, ou seja, onde ocorreu perda do sinal GPS, devido principalmente a proximidade de encostas e edifícios ao longo do trecho ferroviário, totalizando 369 (trezentos e sessenta e nove) pares de coordenadas.

A escolha dos pares de coordenadas a cada 100 (cem) metros foi estabelecida a partir da velocidade de deslocamento do veículo ferroviário durante a etapa de coleta de dados, onde foi possível determinar, em cada quilômetro do trecho ferroviário, a distância entre um ponto e outro coletado via GPS. Como foi gerado pares de coordenadas a cada 1 (um) segundo, foi possível estabelecer quantos pontos coletados se encontravam em cada quilômetro percorrido, e assim, escolher pontos a cada 100 (cem) metros do trecho ferroviário levantado. A escolha de pontos a cada 100 (cem) metros foi estabelecida devido ao fato de que, no processo de coleta de dados em tempo real para monitoramento dos veículos ferroviários (**item 3.3**), utilizando-se receptores de navegação GPS Garmin 40 e

GPS Garmin 45, tem-se uma acurácia quanto a posição do ponto coletado de 100 (cem) metros.

As coordenadas dos pontos referentes ao trecho ferroviário introduzidos à base cartográfica foram também transformadas para o sistema de referência geodésico SAD-69, pois se encontravam referenciadas ao sistema de referência geodésico WGS-84. De acordo com IBGE (1996), os parâmetros de transformação entre o sistema WGS-84 e o sistema SAD-69 são:

$$\Delta x = + 66,87 \text{ metros;}$$

$$\Delta y = - 4,37 \text{ metros; e,}$$

$$\Delta z = + 38,52 \text{ metros.}$$

O trecho ferroviário utilizado para os testes, ou seja, o trecho Curitiba-Rio Branco do Sul, no estado do Paraná, tem cerca de 41 (quarenta e um) quilômetros de extensão, contendo 6 (seis) estações ferroviárias, inclusive a de Curitiba e a de Rio Branco do Sul, além de diversas passagens de nível e pontes. Esse trecho é utilizado pela Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) para o transporte de cal e cimento (MASSINHAN, 1996).

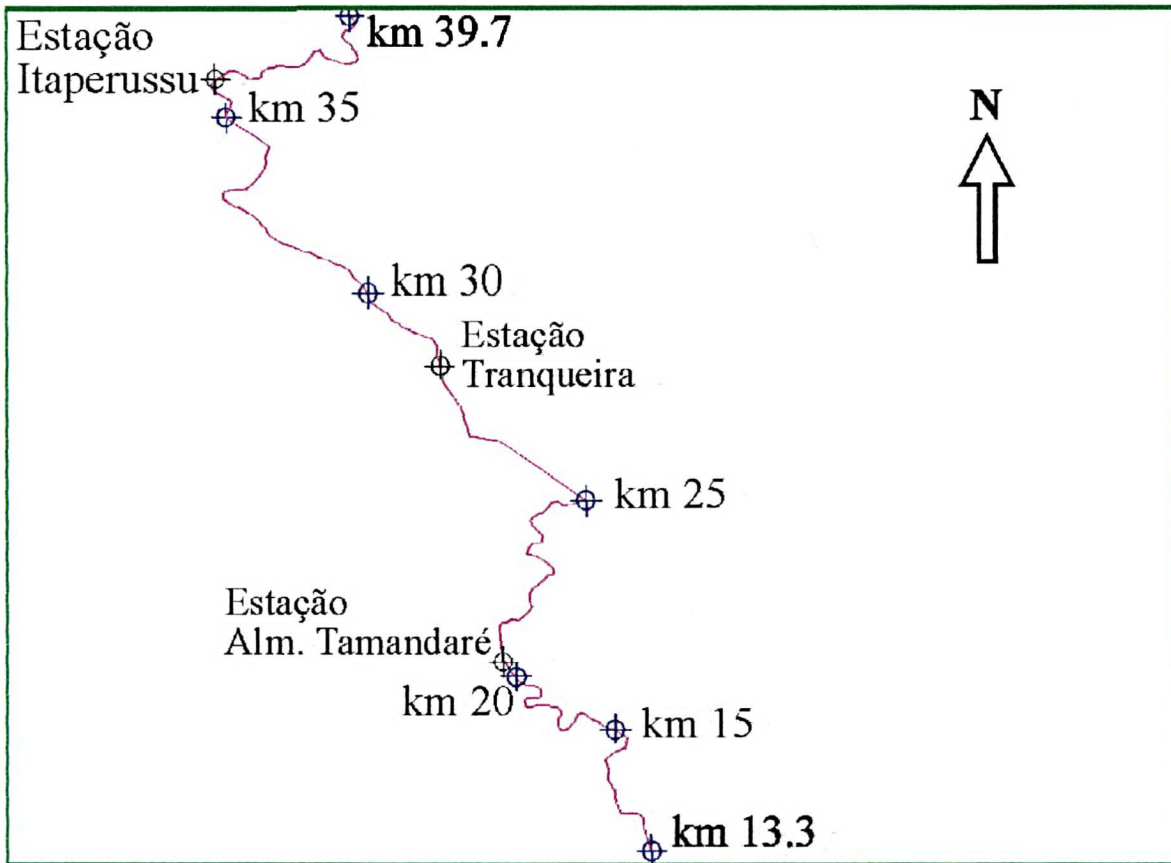
Como foi citado anteriormente, neste mesmo **item**, a base cartográfica utilizada não contém todo o trecho ferroviário utilizado para testes, ou seja, o trecho Curitiba - Rio Branco do Sul, desta forma, a parte do trecho ferroviário introduzida a base cartográfica gerou um arquivo de dados contendo 238 (duzentos e trinta e oito) pares de coordenadas e compreende informações entre os quilômetro 13.3 e 39.7., perfazendo um total de 26.4 quilômetros do trecho ferroviário Curitiba - Rio Branco do Sul (aproximadamente metade do trecho), como mostrado no **Anexo 1**. Este arquivo contendo 238 (duzentos e trinta e oito) pares de coordenadas foi introduzida à base cartográfica também a partir do *software* MaxiCAD e, juntamente com toda a base cartográfica, foi exportado para o *software*

AutoCAD a partir de um arquivo de dados no formato DXF (Drawing Exchange Format).

Esta parte do trecho ferroviário é apresentada na **Figura 4.3**.

E 682 612.05

N 7 210 752.83



E 663 549.58

N 7 197 148.92

Figura 4.3 - Base cartográfica e parte do trecho ferroviário.

4.3 Processo de Deslocamento do Cursor no AutoCAD

A partir da base cartográfica, o monitoramento do deslocamento do veículo ferroviário foi executado através de deslocamento do cursor sobre a base cartográfica na tela de vídeo do computador, representado assim, o deslocamento de veículo ferroviário sobre o trecho ferroviário.

O trecho ferroviário é de geometria fixa, ou seja, não há como o veículo ferroviário se deslocar para fora do trecho ou trilho. O cursor na tela de vídeo deveria se deslocar apenas sobre a representação, na base cartográfica, do trilho ferroviário em questão, ou seja, as coordenadas coletadas pelos receptores deveriam estar sempre sobre o trecho ferroviário. Porém, a acurácia com que as coordenadas foram coletadas em tempo real, pelo receptor de navegação da Empresa Garmin Inc., GPS 45 (**item 3.3**), girou em torno de 30 metros, fazendo-se uma comparação com as coordenadas coletados pelos receptores geodésicos Ashtech Z12, utilizados no levantamento do trecho ferroviário (**item 3.2**), podendo chegar a uma acurácia de 100 (cem) metros. Portanto, não foi possível posicionar diretamente essas coordenadas na tela de vídeo, pois essas coordenadas estariam fora do trilho ferroviário. Dessa forma, foi necessário que se procedesse a uma substituição: cada coordenada coletada pelos receptores de navegação (**item 3.3**) era comparada às coordenadas previamente coletadas pelos receptores geodésicos do levantamento do trecho ferroviário (**item 3.2**), para que se pudesse estabelecer uma representação do deslocamento do veículo ferroviário sobre o trilho ou trecho ferroviário.

Cada par de coordenadas coletado pelos receptores de navegação era comparado com os pares de coordenadas previamente coletados pelos receptores geodésicos, que estavam armazenados em um arquivo de dados, sendo substituído pelo par de coordenadas

mais próximo. Este procedimento forçava o cursor a se deslocar sempre sobre o trecho ferroviário, na tela de vídeo. Esta comparação entre pares de coordenadas foi estabelecida a partir de uma busca de todos os pares de coordenadas do arquivo de dados coletados pelos receptores geodésicos, que para esta parte do trecho ferroviário utilizado, gerou um arquivo de dados contendo 238 (duzentos e trinta e oito) pares de coordenadas, apresentadas no **Anexo 1** e discutidas no **item 4.2** do presente trabalho. Este procedimento de troca de coordenadas é semelhante ao procedimento denominado “Map Matching”, desenvolvido pela Empresa norte-americana Etak Inc. (ETAK Inc., 1995).

Um ponto importante relacionado a apresentação da posição do cursor na tela de vídeo, a partir do *software* AutoCAD, está relacionado ao fato de que, a posição do cursor pode ser mostrada na tela de vídeo, sem que haja a necessidade de se plotar qualquer ponto sobre a base cartográfica, não havendo desta forma, uma duplicação do trecho ferroviário sobre esta base cartográfica.

A distância entre os pontos deve ser respeitada, ou seja, os pontos no arquivo de dados devem estar distantes uns dos outros de aproximadamente 100 (cem) metros, pois, caso contrário o veículo ferroviário poderia estar passando por uma posição do trecho ferroviário, estando contudo, a tela de vídeo, apresentado a sua posição em uma outra localidade do trecho ferroviário, como mostra a **Figura 4.4**.

Esse procedimento de troca de coordenadas também foi desenvolvido a partir da linguagem de programação C/C++.

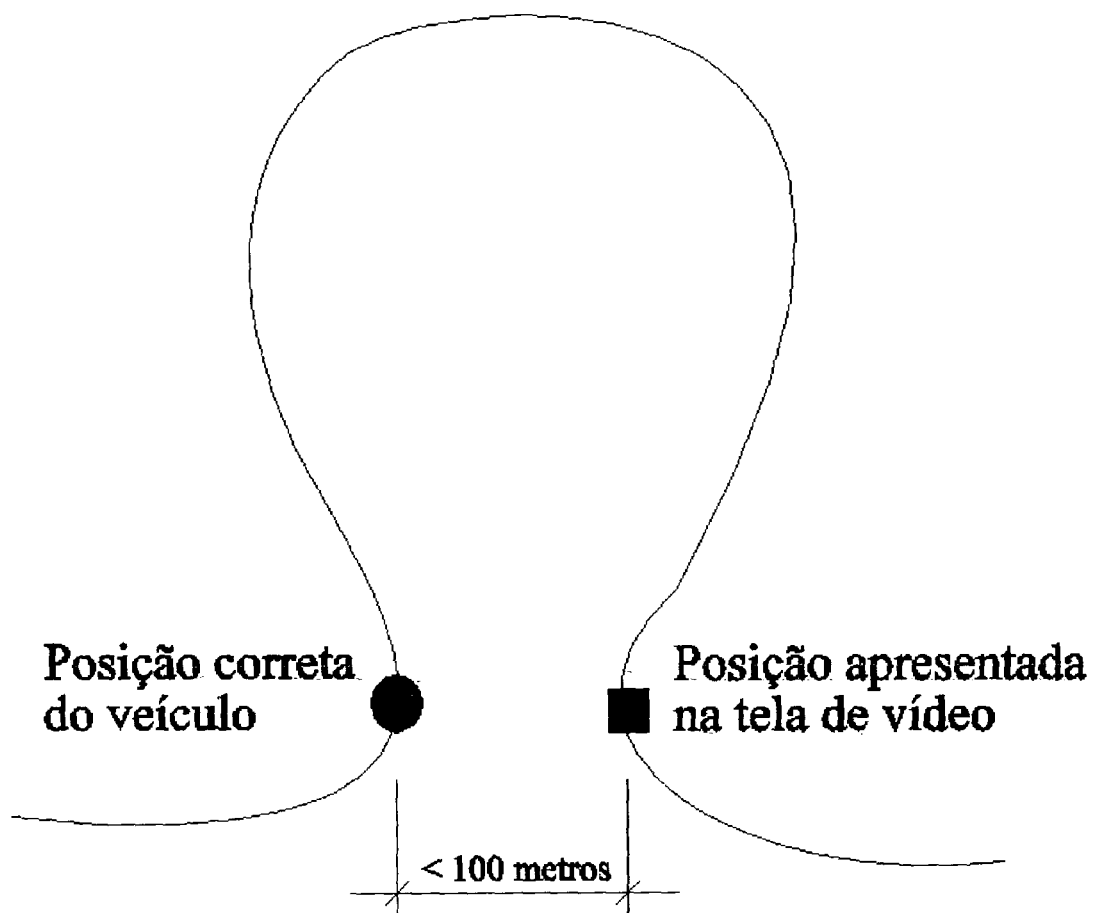


Figura 4.4 - Erro de posicionamento do veículo ferroviário na tela de vídeo

4.4 Fluxograma dos Procedimentos Desenvolvidos na Linguagem de Programação C/C++ para o Interfaceamento GPS/CAD

Um fluxograma de todos os procedimentos desenvolvidos no interfaceamento entre o sistema GPS e o *software* AutoCAD, sugerido no presente trabalho, é apresentado nas **Figura 4.5, Figura 4.6 e Figura 4.7.**

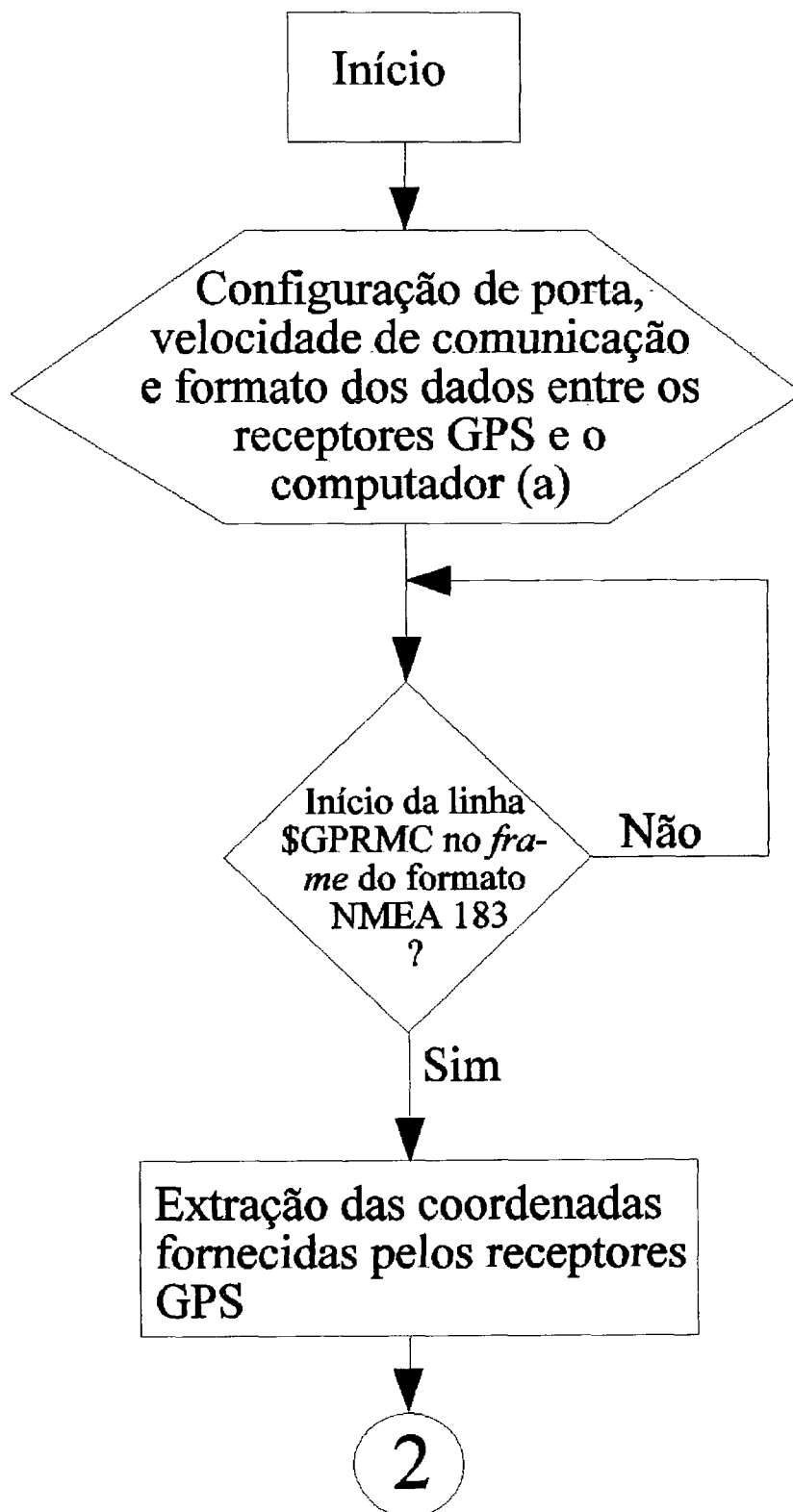


Figura 4.5 - Fluxograma dos procedimentos desenvolvidos na linguagem de programação C/C++ (primeira parte).

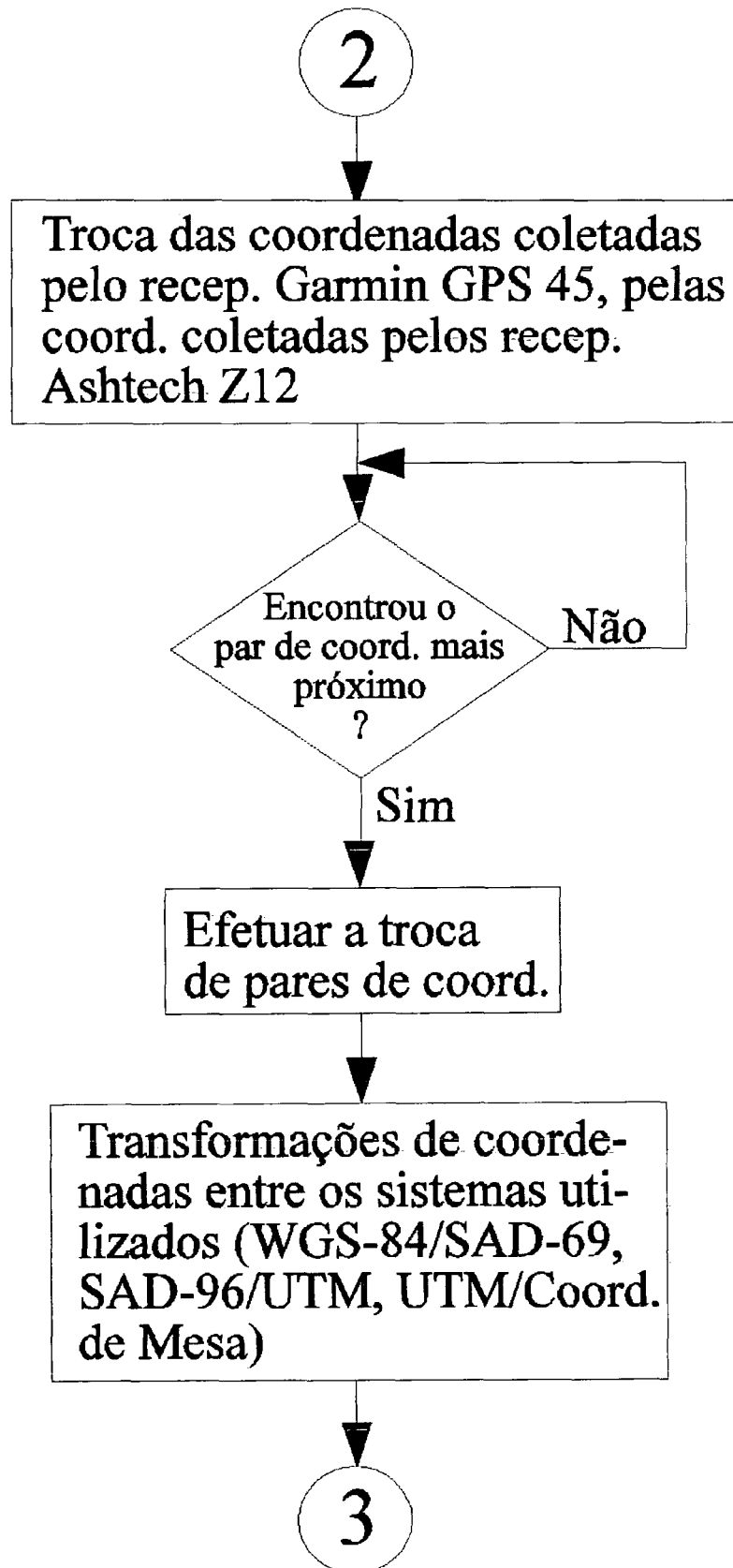


Figura 4.6 - Fluxograma dos procedimentos desenvolvidos na linguagem de programação C/C++ (segunda parte).

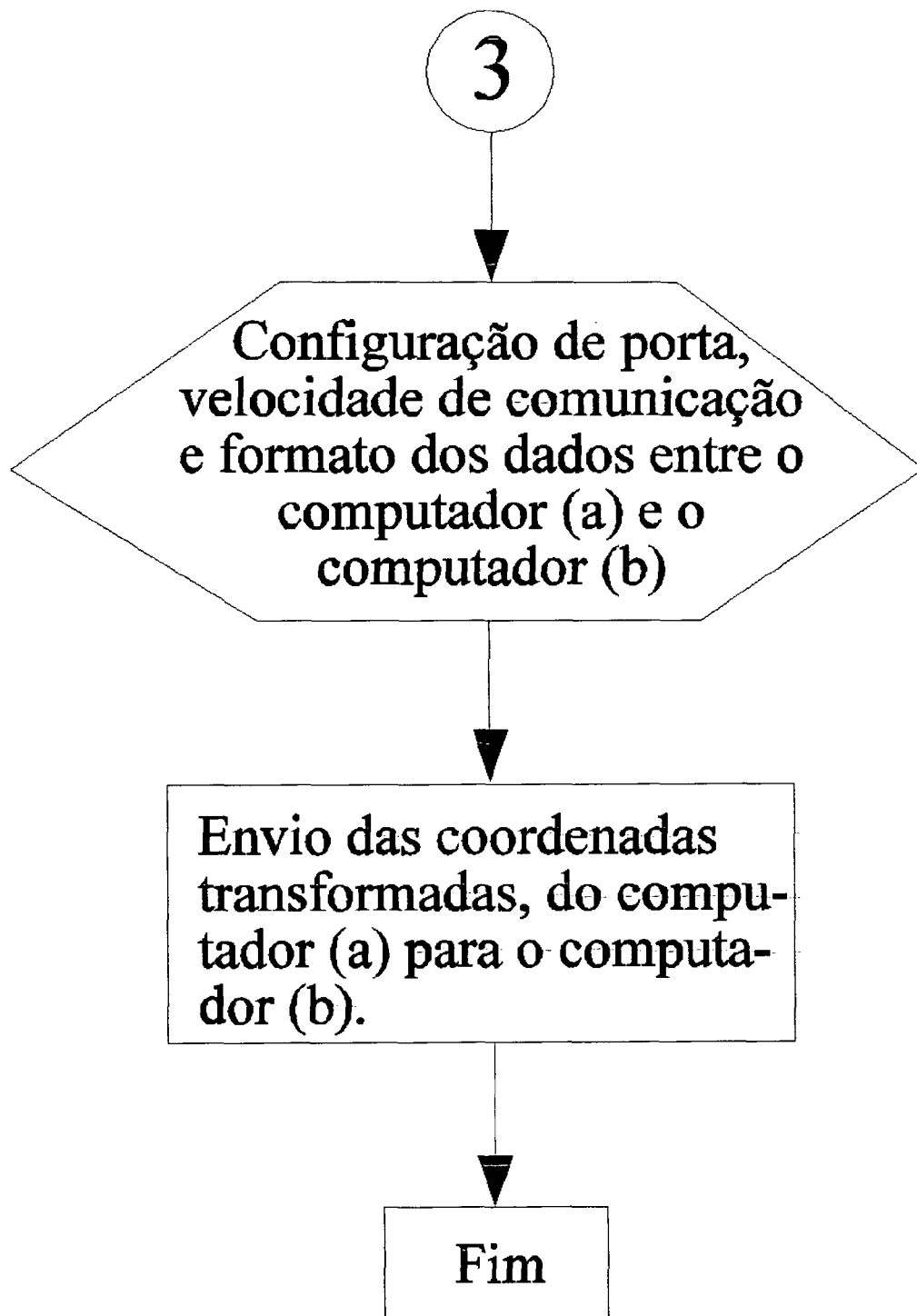


Figura 4.7 - Fluxograma dos procedimentos desenvolvidos na linguagem de programação C/C++ (terceira parte).

5. Conclusões e Recomendações

Nesse item, serão discutidas as conclusões e as recomendações para futuros trabalhos.

5.1 Conclusões

Conclui-se que o interfaceamento entre o sistema GPS e o sistema CAD em tempo real foi realizado com sucesso. Entretanto, deve ser salientado que, o presente trabalho foi direcionado para a simulação da utilização de uma mesa digitalizadora ligada ao *software* AutoCAD, que ao invés de estar realmente utilizando uma mesa digitalizadora, estaria sim, recebendo informações coletadas por receptores GPS.

Este interfaceamento pode ser realizado com qualquer *software* do tipo CAD, desde que o mesmo permita conexão com mesas digitalizadoras. Nem todos os *softwares* CAD permitem essa conexão, como é o caso do CAD AutoCAD Lite produzido pela Empresa Autodesk Inc..

A utilização do *software* AutoCAD exige a utilização de componentes de *hardware* que suportem este *software*. Utilizou-se, no presente trabalho, dois tipos de microcomputadores, ou seja, um microcomputador IBM-PC 386 DX40 e um microcomputador IBM-PC 586 DX133. A utilização do *software* AutoCAD no microcomputador IBM-PC 386 foi muito prejudicada, principalmente quando da utilização do comando de ampliação do *software* (*Zoom*). Esse comando exigia grande esforço computacional pois o mesmo utiliza o processo de regeneração de todas as informações

gráficas, que no presente trabalho, tratava-se de toda a base cartográfica utilizada. Ao se utilizar o microcomputador IBM-PC 586 DX133, ocorreu uma melhora significativa no processamento destas informações no *software* AutoCAD.

A utilização do *software* AutoCAD gerou algumas limitações. As principais limitações consideradas foram:

- o tipo do cursor apresentado na tela de vídeo de forma única, não podendo ser modificado;
- impossibilidade de mudança da cor do cursor na tela de vídeo; e,
- impossibilidade da integração do *software* AutoCAD com um *software* do tipo DBMS (DataBase Management System).

5.2 Recomendações

Recomenda-se, para futuros estudos, a possibilidade da integração entre o sistema GPS e o sistema CAD em outras áreas de pesquisa, como por exemplo, na topografia terrestre e na topografia marinha.

Estudo de interfaceamento entre o sistema GPS e um sistema SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Para a melhoria da qualidade das informações coletadas pelos receptores GPS de navegação, estudo sobre o posicionamento DGPS.

Estabelecer um *driver* específico entre o sistema GPS e o *software* AutoCAD, possibilitando assim, a eliminação da necessidade de utilização de 2 (dois) computadores,

como foi sugerido neste presente trabalho, sendo necessário apenas a utilização de 1 (um) computador.

Estudo da possibilidade da utilização de *softwares* do tipo CAD em associação com *softwares* do tipo DBMS (DataBase Management System), como por exemplo, o CAD MaxiCAD em associação com o DBMS DBMapa, *softwares* estes desenvolvidos pela Empresa MaxiData Tecnologia Ltda, juntamente com a interface GPS/CAD desenvolvida no presente trabalho.

Outra utilização para essa interface pode ser aplicada ao controle de posicionamento do veículo ferroviário, quanto ao meio ambiental, pois esse monitoramento pode informar ao usuário a proximidade dos veículos ferroviários quanto, por exemplo, a hidrografia do trecho ferroviário ou florestas, evitando assim, em caso de acidentes, danos ecológicos de grandes conseqüências.

Este interfaceamento pode ser utilizado também, para plotagem de dados coletados em campo por receptores GPS em tempo real, além do monitoramento de veículos.

Essa interface pode ser plenamente integrada ao programa denominado “Localiza”, desenvolvido pelo Engenheiro Jeferson Massinhan, apresentado na dissertação “Utilização do GPS no Apoio ao Controle Operacional de Veículos Ferroviários”.

ANEXOS

**ANEXO 1 - Pares de Coordenadas Introduzidos na Base
Cartográfica**

Ponto	Coordenada E	Coordenada N	Observação
1	673923.17	7197228.19	quilômetro 13.3
2	673889.42	7197310.61	
3	673857.01	7197431.64	
4	673840.84	7197559.64	
5	673788.14	7197677.37	
6	673789.01	7197778.16	
7	673735.92	7197833.10	
8	673629.78	7197839.23	
9	673457.57	7197850.37	
10	673378.30	7198025.64	
11	673339.29	7198209.06	
12	673246.87	7198374.35	
13	673252.60	7198550.12	
14	673225.18	7198713.27	
15	673383.32	7198823.68	
16	673544.26	7198904.85	
17	673589.54	7199059.77	
18	673391.12	7199201.54	quilômetro 15
19	673295.85	7199223.02	
20	673203.34	7199266.40	
21	673110.03	7199310.71	
22	673020.33	7199360.78	
23	672938.74	7199420.21	
24	672854.47	7199467.96	
25	672770.88	7199439.59	
26	672730.92	7199363.34	
27	672677.80	7199294.34	
28	672607.43	7199232.38	
29	672559.08	7199201.44	
30	672503.78	7199204.27	
31	672467.63	7199229.74	
32	672447.30	7199279.32	
33	672450.87	7199333.64	
34	672462.23	7199386.56	
35	672486.44	7199421.36	
36	672508.07	7199457.65	
37	672509.87	7199499.39	
38	672492.72	7199537.57	
39	672450.46	7199567.37	
40	672406.70	7199576.52	
41	672360.74	7199589.08	
42	672316.01	7199606.87	
43	672269.56	7199618.12	
44	672207.65	7199617.49	
45	672146.96	7199610.49	
46	672101.40	7199594.02	
47	672044.13	7199573.01	
48	671987.21	7199573.53	
49	671946.60	7199604.05	
50	671929.21	7199651.51	
51	671940.33	7199699.38	
52	671962.52	7199725.55	

53	671998.45	7199743.03	
54	672044.30	7199742.66	
55	672103.31	7199734.49	
56	672155.79	7199750.99	
57	672184.61	7199781.78	
58	672197.58	7199821.86	
59	672191.71	7199865.14	
60	672157.39	7199908.39	
61	672101.21	7199926.88	
62	672049.55	7199932.51	
63	671999.02	7199936.83	
64	671949.77	7199934.21	
65	671887.91	7199951.10	
66	671855.09	7200000.45	
67	671826.88	7200038.37	
68	671800.02	7200075.89	quilômetro 20
69	671719.46	7200188.45	
70	671638.89	7200301.02	
71	671625.47	7200319.78	Estação Almirante Tamandaré
72	671550.51	7200906.84	
73	671582.79	7200956.23	
74	671627.68	7200976.36	
75	671697.54	7201008.52	
76	671776.97	7201027.98	
77	671872.55	7201003.45	
78	671945.18	7201050.14	
79	671998.79	7201134.71	
80	672047.79	7201218.95	
81	672029.30	7201322.08	
82	672024.51	7201428.40	
83	672105.58	7201505.66	
84	672180.95	7201570.49	
85	672238.89	7201650.74	
86	672334.34	7201697.94	
87	672416.80	7201749.32	
88	672422.57	7201845.14	
89	672353.07	7201909.62	
90	672266.69	7201960.65	
91	672180.78	7202004.16	
92	672086.85	7202012.28	
93	672011.82	7202062.75	
94	672014.40	7202161.55	
95	672100.34	7202210.42	
96	672205.71	7202202.68	
97	672270.38	7202262.69	
98	672252.45	7202352.08	
99	672170.98	7202431.72	
100	672081.33	7202501.53	
101	672053.88	7202579.54	
102	672086.81	7202650.98	
103	672168.36	7202684.36	
104	672258.95	7202710.55	
105	672332.92	7202780.86	

106	672422.94	7202845.60	
107	672512.75	7202883.35	
108	672585.97	7202841.89	
109	672669.89	7202821.65	
110	672743.85	7202840.42	
111	672817.81	7202859.20	
112	672891.76	7202877.97	
113	672965.72	7202896.74	quilômetro 25
114	671646.73	7203861.34	
115	671574.75	7203885.90	
116	671486.00	7203899.96	
117	671397.79	7203915.31	
118	671309.58	7203930.65	
119	671221.37	7203946.00	
120	671120.56	7203963.54	
121	671013.36	7204408.56	
122	670945.28	7204497.67	
123	670897.68	7204576.05	
124	670872.99	7204632.73	
125	670791.02	7204716.12	
126	670711.80	7204861.38	
127	670689.13	7204990.63	
128	670671.57	7205087.45	
129	670664.20	7205129.02	quilômetro 28 / Estação Tranqueira
130	670623.24	7205277.61	
131	670613.14	7205348.01	
132	670611.19	7205400.04	
133	670602.50	7205479.55	
134	670548.58	7205556.54	
135	670462.05	7205591.97	
136	670361.42	7205617.55	
137	670266.13	7205663.29	
138	670167.05	7205718.34	
139	670073.39	7205768.84	
140	669996.49	7205811.73	
141	669918.74	7205856.44	
142	669877.38	7205899.07	
143	669848.65	7205983.38	
144	669787.28	7206034.51	
145	669708.72	7206049.81	
146	669629.66	7206108.13	
147	669548.22	7206191.67	
148	669513.03	7206309.89	quilômetro 30
149	669453.52	7206396.90	
150	669375.30	7206483.75	
151	669298.86	7206568.78	
152	669222.81	7206652.85	
153	669130.88	7206722.46	
154	669036.98	7206762.69	
155	668956.37	7206796.52	
156	668888.40	7206825.12	
157	668808.02	7206858.88	
158	668708.29	7206899.49	

159	668599.05	7206945.53	
160	668481.50	7206995.11	
161	668363.18	7207044.86	
162	668266.88	7207085.48	
163	668169.79	7207126.44	
164	668055.50	7207174.77	
165	667963.87	7207229.64	
166	667931.02	7207269.51	
167	667899.74	7207312.59	
168	667852.95	7207377.46	
169	667801.64	7207448.46	
170	667738.86	7207525.43	
171	667650.81	7207588.09	
172	667565.58	7207635.99	
173	667480.01	7207683.92	
174	667380.09	7207739.88	
175	667280.60	7207795.45	
176	667206.71	7207860.30	
177	667206.97	7207939.60	
178	667278.28	7207998.28	
179	667369.20	7207989.40	
180	667465.89	7207973.27	
181	667561.34	7207989.37	
182	667640.52	7208050.87	
183	667701.27	7208117.60	
184	667769.37	7208193.87	
185	667825.90	7208275.32	
186	667862.76	7208355.91	
187	667886.14	7208438.04	
188	667906.19	7208508.44	
189	667936.26	7208614.04	
190	667959.65	7208696.17	
191	667264.65	7209184.44	quilômetro 35
192	667331.00	7209305.45	
193	667350.43	7209432.66	
194	667236.80	7209518.52	
195	667093.83	7209603.99	
196	667042.43	7209695.78	
197	667102.70	7209786.47	Estação Itaperussu
198	667212.16	7209855.55	
199	667336.03	7209917.66	
200	667453.03	7209912.04	
201	667539.57	7209863.91	
202	667575.28	7209842.32	
203	667610.17	7209821.51	
204	667645.40	7209804.23	
205	667695.31	7209786.16	
206	667752.37	7209782.95	
207	667796.76	7209801.03	
208	667827.66	7209834.13	
209	667845.37	7209876.48	
210	667880.11	7209923.06	
211	667937.30	7209950.34	

212	668066.76	7209994.95	
213	668171.92	7210008.25	
214	668269.42	7209998.36	
215	668385.52	7209997.24	
216	668496.03	7209978.90	
217	668573.62	7210052.91	
218	668655.78	7210126.91	
219	668718.45	7210219.98	
220	668817.17	7210236.76	
221	668878.49	7210153.63	
222	668946.83	7210099.48	
223	669043.40	7210093.33	
224	669131.97	7210052.45	
225	669216.36	7210000.16	
226	669297.13	7210004.02	
227	669382.87	7210046.50	
228	669427.08	7210116.94	
229	669391.37	7210201.23	
230	669332.46	7210281.74	
231	669285.54	7210353.10	
232	669188.65	7210394.51	
233	669153.42	7210480.37	
234	669216.28	7210558.88	
235	669307.01	7210603.77	
236	669370.84	7210653.86	
237	669357.72	7210744.97	
238	669282.07	7210797.76	quilômetro 39.7

ANEXO 2 - Transformação de Coordenadas

1. Transformação de Coordenadas

O sistema GPS utiliza como referência, o sistema geodésico denominado World Geodetic System 1984 (WGS-84), contudo, para a utilização dessas coordenadas em sistemas do tipo CAD, faz-se necessário que as coordenadas GPS sejam transformadas para um sistema de coordenadas compatível com a ferramenta CAD. Nesse capítulo, serão discutidos todos os sistemas de coordenadas utilizados no presente trabalho e de todas as transformações necessárias para que uma coordenada coletada por um receptor GPS seja convertida em uma coordenada que seja entendida pelo CAD e que possibilite a sua plotagem no monitor de vídeo.

1.1 Datum

Antes de discutir-se as transformações de coordenadas entre sistemas geodésicos, que será discutido no **item 1.2** desse trabalho, faz-se necessário a discussão do que vem a ser datum.

De acordo com BLITZKOW (1992), a figura geométrica que mais se assemelha a forma terrestre é chamada de elipsóide de revolução. Esse elipsóide de revolução pode ser caracterizado por dois parâmetros, o semi-eixo maior “a” e o achatamento “f”. Contudo, para que o elipsóide de revolução caracterize um sistema geodésico, é necessário que este seja fixado e orientado no espaço. Dessa forma, deve-se escolher um ponto de origem, e atribuir a esse ponto coordenadas geodésicas, ou seja, latitude (ϕ_G) e longitude (λ_G), além

de sua altura geoidal (N). A orientação é executada a partir de um azimute inicial (A_G). Esse ponto de origem é denominado “Datum Geodésico Horizontal”.

Segundo esse mesmo autor, o Brasil adotou por muitos anos o datum “Corrego Alegre”, localizado nas imediações de Uberaba - MG, cujos elementos característicos são:

$$\phi_G = \phi_A = 19^\circ 50' 15.14'' \text{ S};$$

$$\lambda_G = \lambda_A = 48^\circ 57' 42.75'' \text{ W};$$

$$N = 0; e,$$

$$A_G = 128^\circ 21' 48.96''.$$

Esse sistema adota o elipsóide de Hayford, cujos parâmetros são:

$$a = 6\,378\,388 \text{ metros}; e,$$

$$f = 1 : 297.00.$$

Porém, a partir de 1979, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) optou pela mudança de datum, passando a utilizar o sistema denominado SAD-69 (South American Datum 1969), tendo como origem o vértice CHUÁ, cujos elementos característicos são:

$$\phi_G = \phi_A = 19^\circ 45' 41.6527'' \text{ S};$$

$$\lambda_G = \lambda_A = 48^\circ 06' 04.0639'' \text{ W};$$

$$N = 0; e,$$

$$A_G = 271^\circ 30' 04.05''.$$

Esse sistema adota o elipsóide 1967, cujos parâmetros são:

$$a = 6\,378\,160 \text{ metros}; e,$$

$$f = 1 : 298.25.$$

Porém, devido ao fato do sistema de posicionamento GPS ser de uso global, fez-se necessária a adoção de um único sistema de referência que caracterizasse o Sistema

Terrestre Convencional, denominado WGS-84 (World Geodetic System 1984), que utiliza o elipsóide de revolução 1980, que tem os seguintes parâmetros:

$$a = 6\,378\,137 \text{ metros} \pm 2 \text{ metros; e,}$$

$$f = 1 : 298.257223563.$$

Dessa forma, para a utilização de um referencial para outro, necessita-se sempre de uma transformação entre sistemas geodésicos.

1.2 Transformação de Sistemas Geodésicos

A primeira transformação de coordenadas necessária refere-se à transformação entre sistemas geodésicos. As coordenadas coletadas pelo receptor GPS estão referenciadas ao sistema global WGS-84. Todavia, conforme citado anteriormente, o Brasil utiliza como referência, em seus trabalhos geodésicos ou cartográficos mais recentes, o sistema geodésico denominado SAD-69, e nos trabalhos mais antigos, o sistema de referência de Córrego Alegre. Dessa forma, faz-se necessário que toda coordenada referenciada ao sistema WGS-84 seja convertida ao sistema SAD-69 ou, caso as cartas utilizadas sejam mais antigas, a conversão de sistemas será executada do sistema WGS-84 para o sistema de referência geodésico Córrego Alegre.

Para a cartografia digital, a utilização do sistema de referência geodésico SAD-69 ou Córrego Alegre está relacionado, por exemplo, a utilização de cartas ou mapas cartográficos referenciados em um desses sistemas, pois estas cartas ou mapas serão utilizadas para digitalização, ou seja, conversão de informações analógicas para informações

digitais, como ocorreu no presente trabalho, quando da digitalização da base cartográfica, a partir de mapas analógicos na escala 1: 10.000, referenciados no sistema de referência geodésico Córrego Alegre.

A formulação matemática para essa conversão de sistemas geodésicos será descrita a seguir (IBGE, 1996).

As equações que se seguem são denominadas equações diferenciais simplificadas de MOLODENSKI:

$$\Delta\phi^{\circ} = \frac{1}{M_1} \cdot \{ (a_1 \cdot \Delta f + f_1 \cdot \Delta a) \cdot \text{sen}(2\phi_1) - \Delta x \cdot \text{sen}(\phi_1) \cdot \text{cos}(\lambda_1) - \Delta y \cdot \text{sen}(\phi_1) \cdot \text{sen}(\lambda_1) + \Delta z \cdot \text{cos}(\phi_1) \} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (\text{a.1})$$

$$\Delta\lambda^{\circ} = \frac{1}{N_1 \cdot \text{cos}(\phi_1)} \cdot \{ -\Delta x \cdot \text{sen}(\lambda_1) + \Delta y \cdot \text{cos}(\lambda_1) \} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (\text{a.2})$$

onde,

- a_1 - semi-eixo maior do elipsóide no sistema S_1 ;
- f_1 - achatamento do elipsóide no sistema S_1 ;
- ϕ_1 - latitude geodésica no sistema S_1 ;
- λ_1 - longitude geodésica no sistema S_1 ;
- a_2 - semi-eixo maior do elipsóide no sistema S_2 ;
- f_2 - achatamento do elipsóide no sistema S_2 ;
- ϕ_2 - latitude geodésica no sistema S_2 ;
- λ_2 - longitude geodésica no sistema S_2 ;
- Δx , Δy e Δz - parâmetros de translação do sistema S_1 em referência ao sistema S_2 ;
- raio de curvatura do 1.º vertical no sistema S_1 ;

$$N_1 = \frac{a_1}{(1 - e_1^2 \cdot \sin^2(\phi_1))^{1/2}} \quad (\text{a.3})$$

- raio de curvatura meridiana no sistema S₁:

$$M_1 = \frac{N_1}{(1 + e_1'^2 \cdot \cos^2(\phi_1))} \quad (\text{a.4})$$

- diferença de semi-eixos maiores entre os sistemas S₁ e S₂:

$$\Delta a = a_2 - a_1 \quad (\text{a.5})$$

- diferença de achatamentos entre os sistemas S₁ e S₂:

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (\text{a.6})$$

- primeira excentricidade ao quadrado no sistema S₁:

$$e_1^2 = f_1 \cdot (2 - f_1) \quad (\text{a.7})$$

- segunda excentricidade ao quadrado no sistema S₁:

$$e_1'^2 = \frac{e_1^2}{1 - e_1^2} \quad (\text{a.8})$$

Neste trabalho, S₁ representa o sistema WGS-84, cujas coordenadas foram transformadas para o sistema S₂ (sistema SAD-69), cujos parâmetros para transformação são:

- S₁ (WGS-84):

$$a_1 = 6\,378\,137 \text{ metros}$$

$$f_1 = 1/298,257223563$$

- S₂ (SAD-69):

$$a_2 = 6\,378\,160 \text{ metros}$$

$$f_2 = 1/298,25$$

- parâmetros de translação:

$$\Delta x = + 66,87 \text{ metros}$$

$$\Delta y = - 4,37 \text{ metros}$$

$$\Delta z = + 38,52 \text{ metros}$$

A partir das equações diferenciais simplificadas de MOLODENSII, aplicadas aos parâmetros acima citados, as coordenadas GPS são transformadas para o sistema geodésico utilizado atualmente no Brasil, o sistema SAD-69.

1.3 Transformação de Coordenadas Geodésicas para Coordenadas Planas

Após a transformação de sistemas geodésicos, a próxima transformação a ser realizada refere-se a transformação de todas as coordenadas geodésicas em coordenadas planas.

Enquanto que, a utilização de um sistema geodésico faz-se necessária para representar o mais fiel possível a forma da Terra, a necessidade de se trabalhar com coordenadas planas se faz para que a Terra seja representada na forma de cartas ou mapas cartográficos.

Vários tipos de projeções planas foram definidas para se representar as diferentes partes do planeta, na forma de cartas ou mapas. Essas projeções podem ser classificadas quanto ao seu método de construção, ao seu ponto de vista, a sua superfície de projeção, ao objetivo da representação, etc.

O sistema de coordenadas planas mais conhecido e utilizado atualmente no meio cartográfico é denominado sistema UTM (Universal Transverse Mercator). De acordo com GEMAEL (1976), esse é um sistema de representação plana do elipsóide terrestre que

adota a projeção conforme de Gauss (mantém o forma, ou seja, conserva os ângulos das figuras representadas), seguindo certas especificações, que são:

1. projeção conforme de Gauss;
2. divisão da Terra em fusos de 6° de amplitude, contados a partir do anti-meridiano de Greenwich, totalizando 60 zonas, estabelecendo-se para cada zona, um meridiano central (para a região de Curitiba, o meridiano central equivale a 51° W);
3. fator de redução da escala, utilizado para reduzir deformações, $K_0 = 1 - \frac{1}{2500} = 0.9996$;
4. latitude máxima de trabalho igual à $\pm 80^\circ$;
5. eixos cartesianos ortogonais: transformadas do meridiano central e do equador;
6. representação das coordenadas plano-retangulares pelas letras N e E, respectivamente, representando as ordenadas e as abcissas;
7. para se trabalhar com esse sistema no Hemisfério Sul terrestre com valores sempre positivos, os valores das ordenadas devem ser somados de 10 000 000 metros ($N = N_1 + 10\,000\,000.00$) e as abcissas de 500 000 metros ($E = E_1 + 500\,000.00$).

De acordo com LOCH & CORDINI (1995), a projeção cilíndrica UTM consiste em envolver o elipsóide terrestre com um cilindro secante transverso ao eixo polar do globo terrestre, fazendo com que o cilindro tenha um raio menor do que o raio médio terrestre.

A formulação matemática para a transformação de coordenadas geodésicas para coordenadas planas UTM é apresentada a seguir, de acordo com IBGE(1986):

$$N_1 = I + II \cdot P^2 + III \cdot P^4 + (A'6) \cdot P^6 \quad (\text{a.9})$$

e

$$E_1 = IV \cdot P + V \cdot P^3 + (B'5) \cdot P^5 \quad (\text{a.10})$$

sendo,

$$I = S \cdot K_0 \quad (\text{a.11})$$

$$II = \frac{V \cdot \text{sen}(\text{LAT}) \cdot \cos(\text{LAT}) \cdot \text{sen}(1'')}{2} \cdot K_0 \cdot 10^8 \quad (\text{a.12})$$

$$III = \frac{\text{sen}^4(1'') \cdot V \cdot \text{sen}(\text{LAT}) \cdot \cos^3(\text{LAT})}{24} \cdot (5 - \tan^2(\text{LAT}) + 9 \cdot e'^2 \cdot \cos^2(\text{LAT}) + 4 \cdot e'^4 \cdot \cos^4(\text{LAT})) \cdot K_0 \cdot 10^{16} \quad (\text{a.13})$$

$$IV = V \cdot \cos(\text{LAT}) \cdot \text{sen}(1'') \cdot K_0 \cdot 10^4 \quad (\text{a.14})$$

$$V = \frac{\text{sen}^4(1'') \cdot V \cdot \cos^3(\text{LAT})}{6} \cdot (1 - \tan^2(\text{LAT}) + e'^2 \cdot \cos^2(\text{LAT})) \cdot K_0 \cdot 10^{12} \quad (\text{a.15})$$

$$A'6 = \frac{\text{sen}^6(1'') \cdot V \cdot \text{sen}(\text{LAT}) \cdot \cos^5(\text{LAT})}{720} \cdot (61 - 58 \cdot \tan^2(\text{LAT}) + \tan^4(\text{LAT}) + 270 \cdot e'^2 \cdot \cos^2(\text{LAT}) - 330 \cdot e'^2 \cdot \text{sen}^2(\text{LAT})) \cdot K_0 \cdot 10^{24} \quad (\text{a.16})$$

$$B'5 = \frac{\text{sen}^5(1'') \cdot V \cdot \cos^5(\text{LAT})}{120} \cdot ((5 - 18 \cdot \tan^2(\text{LAT}) + \tan^4(\text{LAT}) + 14 \cdot e'^2 \cdot \cos^2(\text{LAT}) - 58 \cdot e'^2 \cdot \text{sen}^2(\text{LAT})) \cdot K_0 \cdot 10^{20} \quad (\text{a.17})$$

$$P = 0.0001 \cdot (\text{LON} - \text{MC})'' \quad (\text{a.18})$$

onde,

- LAT - latitude do ponto considerado;
- LON - longitude do ponto considerado;
- S - comprimento do arco de meridiano definido pelo ponto considerado e o Equador;
- V - raio de curvatura da seção primeiro vertical na latitude considerada;
- e' - segunda excentricidade do elipsóide de referência;
- K₀ - fator de escala no meridiano central (0.9996); e,
- MC - longitude do meridiano central.

Para o Hemisfério Sul tem-se no sistema UTM, as seguintes coordenadas:

$$N = N_1 + 10\,000\,000.00 \text{ metros; e,}$$

$$E = E_1 + 500\,000.00 \text{ metros.}$$

1.4 Transformação de Coordenadas Planas para Coordenadas de Mesa Digitalizadora

Após a transformação de todas as coordenadas geodésicas para coordenadas planas, a próxima etapa do presente trabalho trata da transformação de todas as coordenadas planas para coordenadas compatíveis com a mesa digitalizadora simulada nesse trabalho, ou seja, a mesa Calcomp 9100.

De acordo com o **item 4.1.3**, a transmissão de dados entre a mesa digitalizadora e o computador é feita no formato ASCII, onde cada mensagem transmitida contém 5 (cinco) caracteres de informação da coordenada x (abscissa) e 5 (cinco) caracteres de informação da coordenada y (ordenada) da mesa digitalizadora. Contudo, essas informações de coordenadas são executadas em função da resolução com que a mesa está trabalhando. No presente trabalho, a resolução equivale a 1000 lpp (linhas por polegada) ou 40 lpmm (linhas por milímetro), ou seja, a menor distância que a mesa digitalizadora pode distinguir é de 0.001 polegadas ou 0.025 milímetros. Dessa forma, para um par de coordenadas (100, 100), por exemplo, transmitido pela mesa digitalizadora no sistema métrico, tem-se um par de coordenadas, em milímetros, de (2.5mm, 2.5mm).

Aproveitando-se ao máximo os caracteres transmitidos pela mesa digitalizadora relacionados às coordenadas de mesa, pode-se transmitir valores de 00000 a 60000 para

cada coordenada (equivalente a 60 polegadas, que representa o tamanho da mesa Calcomp 9100 simulada no presente trabalho), em função da resolução adotada e tamanho da mesa digitalizadora. Adotando-se o sistema métrico como sistema de medida da mesa digitalizadora, tem-se uma área útil de trabalho simulada de 1500 x 1500 mm ou 1.5 x 1.5 m.

A conversão de coordenadas planas UTM para coordenadas de mesa foi executada a partir do seguinte critério: a distância entre o canto inferior esquerdo e o canto superior direito (extremos da base cartográfica), em função do sistema cartesiano, equivale a um $\Delta x = 19062.47$ metros e a um $\Delta y = 13603.91$ metros. Portanto a maior distância em função dos eixos cartesianos equivale a 19062.47 metros.

A partir da maior distância estabelecida, pois esta distância representa o maior valor transmitido pela mesa digitalizadora, foi calculado um fator de escala para converter cada coordenada plana no sistema UTM em coordenada de mesa digitalizadora. Esse fator de escala, definido como C, equivale a:

$$C = \frac{60000}{\Delta x} = \frac{60000}{19062.47} = 3.14754593712 \quad (\text{a.19})$$

Este fator de escala estabelecido foi calculado para ser utilizado, única e exclusivamente para a base cartográfica utilizada no presente trabalho, não podendo ser utilizado trabalhos posteriores.

Após a determinação do fator de escala C, as coordenadas, no sistema UTM, foram convertidas para o sistema de mesa digitalizadora da seguinte forma:

$$CM_x = (P_x - P_1x) \cdot C \quad (\text{a.20})$$

e

$$CM_y = (P_y - P_1y) \cdot C \quad (\text{a.21})$$

onde,

- CM_x é a coordenada convertida ao sistema de mesa digitalizadora no eixo das abcissas (x);
- CM_y é a coordenada convertida ao sistema de mesa digitalizadora no eixo das ordenadas (y);
- P_{1x} é a coordenada, no sistema UTM, no eixo das abcissas (x) do canto inferior esquerdo da base cartográfica;
- P_{1y} é a coordenada, no sistema UTM, no eixo das ordenadas (y) do canto inferior esquerdo da base cartográfica;
- P_x é a coordenada, no sistema UTM, no eixo das abcissas (x) de um ponto P qualquer a ser convertida para o sistema de mesa digitalizadora localizado dentro da base cartográfica;
- P_y é a coordenada, no sistema UTM, no eixo das ordenadas (y) de um ponto P qualquer a ser convertida para o sistema de mesa digitalizadora localizado dentro da base cartográfica; e,
- C é a constante multiplicadora.

Cada par de coordenadas, no sistema UTM, convertido para um par de coordenadas de mesa foi então enviado ao *software* CAD, através de uma porta serial, conforme discutido no **item 4.1.2** do presente trabalho.

Referências Bibliográficas

- ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWELL, P. L.; KEVANY, M.; ARCHER, H. **Geographic Information Systems: a guide to the technology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- BASTOS, A. M.; LIMA FILHO, A. S.; NERY, F.; MANNHEIMER, P. H.; FARIAS, A. S. **P. LINGUAGEM C - Programação e Aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1987.
- BLITZKOW, D. **Posicionamento Geodésico NAVSTAR/GPS**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, 1992.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986.
- CABRAL, F. **A Linguagem C e o PC-Bios**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1989
- CASTELLTORT, X. **CAD/CAM: metodologia e aplicações práticas**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
- CENSI, A. L. C.; LADEIRA, M. C. **AutoCad: release 11**. 3. ed. São Paulo: Érica, 1992.
- DIGIGRAF Tecnologia Eletrônica. **Mesa Digitalizadora Van Gogh: manual do usuário**. Brasil, jul., 1987.
- ETAK Inc. Motorola Licenses Etak Technology. **MAPS ALIVE**, EUA, v.4, n.2, p. 2, janeiro, 1995.
- GARMIN International Inc. **GPS 30 TrackPack Owner's Manual**. Kansas, mar., 1995.
- GEMAEL, C. **Sistema de Projeção**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1976.

GOBBI, C. **AutoCad 12 : estudos dirigidos para arquitetura e engenharia**. 2. ed. São Paulo: Érica, 1994.

IBGE. Diretoria de Geociências. Departamento de Geodésia. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (Coletânea das Normas Vigentes)**. Rio de Janeiro, 1996.

IBGE. Diretoria de Geodésia e Cartografia. Superintendência de Geodésia. **Tabelas para cálculos no sistema de projeção universal transversal de mercator - UTM (elipsóide internacional 1967)**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia Contemporânea: Planimetria**. 1. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

MASSINHAN, J. **Utilização do GPS no Apoio ao Controle Operacional de Veículos Ferroviários**. Curitiba, 1996. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

NORTON, P. **A Bíblia do Programador**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.

SCHILDT, H. C, **completo e total**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

SEBBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications**. 1. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 1993.

SUMMAGRAPHICS Corporation. **Summagrid IV Series of Digitizers: user's manual**. U.S.A., mar.,1993.

TANENBAUM, A. **STRUCTURED COMPUTER ORGANIZATION**. 3. ed. EUA: Prentice-Hall International Editions, 1990.

VOISINET, D. D. **CADD, projeto e desenhos auxiliado por computador: introdução, conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.