

**Centro Universitário Positivo – UnicenP
Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas – NCET
Engenharia da Computação
Evandro Rui Fernandes**

**Sistema On-Line de Localização e
Roteamento Urbano**

Curitiba, Novembro de 2006.

Centro Universitário Positivo – UnicenP
Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas – NCET
Engenharia da Computação
Evandro Rui Fernandes

Sistema On-Line de Localização e Roteamento Urbano

Monografia apresentada à disciplina de
Projeto Final, como requisito parcial à
conclusão do Curso de Engenharia da
Computação.

Orientadora: Adriana Cursino Thomé

Curitiba, Novembro de 2006.

TERMO DE APROVAÇÃO

Evandro Rui Fernandes

Sistema On-Line de Localização e Roteamento Urbano

Monografia aprovada como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Positivo, pela seguinte banca examinadora:

Professora Adriana Cursino Thomé (Orientadora)

Professor Alessandro Zimmer

Professor Roberto Selow

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me fornecer forças para enfrentar todos os momentos difíceis durante esta jornada.

À minha mãe, tias, irmão e irmãs, pelo incentivo, compreensão e apoio dados em todos os momentos.

À minha esposa Ingrid, pela paciência e dedicação ao longo deste ano, estando sempre ao meu lado em cada etapa deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas, pelo companheirismo, momentos de distração, e compreensão nas muitas vezes em que estive ausente.

À minha professora orientadora, Adriana Cursino Thomé, pelos seus direcionamentos e palavras de tranquilização nos momentos mais difíceis.

A todos os professores que, ao longo desta jornada, compartilharam seus conhecimentos e experiências, colaborando imensamente para a minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE SIGLAS.....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Motivação.....	12
1.2 Histórico.....	13
1.3 Objetivos.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Sistema de Posicionamento Global – GPS.....	15
2.1.1 A rádio-navegação.....	15
2.1.2 A tecnologia GPS.....	16
2.1.3 Fatores que afetam a precisão do GPS.....	19
2.1.4 Aspectos Técnicos do Restreamento de Satélites.....	20
2.1.5 Canais.....	20
2.1.6 Características dos sinais GPS.....	21
2.1.7 Fontes de Erros.....	22
2.2 O padrão NMEA.....	23
2.2.1 Sentenças NMEA.....	24
2.2.2 Estrutura das sentenças NMEA.....	25
2.2.2.1 GPGSA.....	25
2.2.2.2 GPGGA.....	26
2.2.2.3 GPRMC.....	27
2.3 Geoprocessamento.....	27
2.3.1 Sistemas de Informações Geográficas (SIG).....	28
2.3.2 Componentes de um SIG.....	29
2.3.3 Estrutura de um SIG.....	30
2.3.4 Os modelos <i>Raster</i> e Vetorial.....	33
2.3.5 Padrão <i>Environmental Systems Research Institute (ESRI) Shapefile</i>	34
2.4 Web Map Service (WMS).....	35
2.4.1 Elementos Básicos do Serviço.....	37
2.4.1.1 Número de versão e negociação.....	37
2.4.1.2 Regras gerais de comunicação via HTTP.....	39
2.4.2 Operações do <i>Web Map Service</i>	39
2.4.2.1 <i>GetCapabilities</i>	39
2.4.2.2 <i>GetMap</i>	40
2.4.2.3 <i>GetFeatureInfo</i>	40
2.5 GPRS – General Packet Radio Service.....	41
2.6 Algoritmo de Dijkstra.....	42
3 ESPECIFICAÇÃO DE <i>HARDWARE</i>	44
3.1 O receptor GPS.....	44

3.2	O modem GPRS/EDGE.....	46
3.3	Diagrama simplificado do módulo cliente.....	47
4	ESPECIFICAÇÃO DE <i>SOFTWARE</i>	48
4.1	Plataformas de Desenvolvimento	48
4.2	Módulo Cliente	50
4.2.1	Leitura e interpretação dos dados NMEA.....	52
4.2.2	Verificação de conexão com os módulos servidores	54
4.2.3	Solicitação e renderização de mapas.....	55
4.2.3.1	<i>SharpMap</i>	56
4.2.4	Roteamento	56
4.3	Módulo de servidor de mapas	57
4.4	Módulo de roteamento	59
4.5	Diagramas de Caso de Uso	63
4.6	Diagrama de Classe do projeto principal	63
5	TESTES E VALIDAÇÃO DO PROJETO	65
5.1	Testes e validação de hardware.....	65
5.2	Teste e validação de software	67
6	CONCLUSÃO	70
7	REFERÊNCIAS.....	73
	GLOSSÁRIO	75

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 - Estrutura de camadas de um SIG.....	31
Fig. 2 - Diferença de representação entre os modelos Vetorial (Vector) e Raster	34
Fig. 3 - Diagrama de Arquitetura dos OGC Web Services.....	36
Fig. 4 - Receptor de GPS modelo GPS V, fabricante GARMIN	44
Fig. 5 - Aparelho de telefone celular utilizado como MODEM GPRS/EDGE.	47
Fig. 6 - Diagrama simplificado do dispositivo cliente.	48
Fig. 7 - Ambiente de desenvolvimento Microsoft Visual C# Express.	49
Fig. 8 - Relação entre o módulo (dispositivo) cliente e os módulos de roteamento (banco de dados PostGIS) e módulo de servidor de mapas.	51
Fig. 9 - Exibição dos dados coletados do dispositivo GPS.	52
Fig. 10 - Diagrama de classe da classe NMEAProtocol	53
Fig. 11 - Diagrama de classe da classe dec2utm	54
Fig. 12 - Mapa georreferenciado renderizado pela biblioteca SharpMap.....	55
Fig. 13 - Cálculo de rota para pontos turísticos previamente determinados.	57
Fig. 14 - Interface de administração PostgreSQL.....	60
Fig. 15 - Exemplo de cálculo de rota executado diretamente no PostgreSQL. ...	62
Fig. 16 - Diagrama de Caso de Uso do módulo cliente.	63
Fig. 17 - Diagrama de Classe do projeto principal.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos campos da sentença GPGSA.....	26
Tabela 2 - Descrição dos campos da sentença GPGGA	26
Tabela 3 - Descrição dos campos da sentença GPRMC	27
Tabela 4 - Parâmetros da GetCapabilities.....	40
Tabela 5 - Características do Aparelho Garmin GPS V	45

LISTA DE SIGLAS

UNICENP – Centro Universitário Positivo

V – Volts

KHz – Kilo Hertz

MHz – Mega Hertz

A/D – Analógico/Digital

Freq. – Frequência

Kbps – Kilo bits por segundo

Rx – módulo de recepção

Tx – módulo de transmissão

SMS – *Short Mesage Service* (Serviço de Mensagens Curtas)

PC – *Personal Computer* (Computador Pessoal)

PDU – *Packet Data Unit* (Unidade de Pacote de Dados)

GSM – *Global System for Mobile*

GPS – *Global Positioning System* ou Sistema de Posicionamento Global

EDGE – *Enhanced Data rates for GSM Evolution*

GIS – *Geographic Information System*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

NMEA - *National Marine Electronics Association*

ASCII – *American Standart Code for Information Interchange*

UTM – *Universal Transverse Mercator*

WMS – *WebMap Server*

OGC – *Open Geospatial Consortium*

PRN – *Pseudo-Random Code*

RESUMO

Este documento descreve um sistema auxiliar de navegação veicular destinado a turistas, capaz de informá-los a localização geográfica ao longo de seu percurso. O tratamento desta localização se dá através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), onde dados são coletados do Sistema de Posicionamento Global – GPS (*Global Positioning System*), pré-processados e transmitidos ao Servidor de Mapas – *WebMap Server* (WMS) – através da rede de dados de telefonia celular com tecnologia *Enhanced Data rates for GSM Evolution* (EDGE). Por sua vez, o *WebMap Server* trata as informações recebidas e retorna o mapa sob demanda de acordo com a localização atual do turista.

ABSTRACT

This document describes a vehicle navigation help system destined to tourists, capable of informing the geographical location during his journey. The handling of system's location is through a Geographic Information System (GIS), where data are collected from the Global Positioning System (GPS), treated and transmitted to the WebMap Server (WMS) through the cell phone mobile infrastructure with Enhanced Data Rates for Global Evolution technology (EDGE). The WebMap Server treats the information received and returns the map under demand according to the current location of the tourist.

1 INTRODUÇÃO

Neste documento é apresentado um sistema auxiliar de navegação veicular destinado a turistas, composto de *software* e periféricos, dividido em módulo cliente, localizado no veículo, e módulos servidor. Este sistema permite, a partir do módulo cliente, acompanhar a localização geográfica em um mapa digital de acordo com dados coletados do Sistema de Posicionamento Global (GPS) através de dispositivo conectado a ele.

O módulo cliente também permite ao usuário consultar pontos turísticos de cidade de Curitiba – PR, obtendo informações turísticas sobre os mesmos, horário de funcionamento e endereço. O módulo cliente também permite que seja calculada a rota de menor caminho até o ponto turístico desejado.

Tanto o mapa digital quanto a rota são processados pelos módulos de servidor localizados na rede mundial de computadores, a *Internet*. O acesso a estes servidores pelo módulo cliente se dá através de modem de transmissão de dados pela rede de telefonia celular com tecnologia *Enhanced Data rates for GSM Evolution* (EDGE), presente na maioria das redes de operadoras com tecnologia *Global System for Mobile* (GSM).

1.1 Motivação

A principal motivação do desenvolvimento deste projeto é propiciar, principalmente aos turistas, uma ferramenta de auxílio na navegação veicular urbana e determinação de rotas, de forma a eliminar a necessidade de utilização de mapas convencionais, facilitando o acesso à informação sobre os pontos turísticos da cidade de Curitiba.

Além disso, este projeto visa explorar a mobilidade da transmissão de dados através da rede de telefonia celular, que possui boa abrangência em perímetros urbanos, com o objetivo de tornar o sistema o mais portátil e flexível possível.

Adicionalmente, o projeto prevê a exploração dos recursos de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) combinando com a tecnologia GPS.

1.2 Histórico

Há, principalmente no mercado norte-americano e europeu, algumas soluções de elevado custo que oferecem interface de navegação ao usuário, possibilitando-o acompanhar na tela de navegação a posição em um mapa digital, além de fornecer opção de traçar a rota entre dois ou mais pontos.

Estas soluções são, em grande parte, voltadas para o ramo de logística com o intuito de minimizar custos de entrega de produtos através da otimização do caminho a ser percorrido para os destinos estabelecidos. Há, também, aqueles que são voltados para o ramo de transporte escolar.

Dentro deste contexto, este projeto tem a finalidade de fornecer uma solução, destinada principalmente aos turistas de Curitiba e região, para o auxílio na navegação veicular urbana, baseada em padrões e protocolos abertos.

1.3 Objetivos

Dentre os objetivos deste projeto, pode-se citar:

- Coletar, filtrar e tratar as informações provenientes do dispositivo GPS, codificadas no protocolo *National Marine Electronics Association* (NMEA).
- Apresentar ao turista, na tela do módulo cliente, um mapa digital da localidade em que se encontra, fornecendo a sua localização com a precisão dos dispositivos GPS padrão (erro aproximado de 5 a 15 metros em média, condicionado a várias variáveis de ambiente).
- Apresentar ao turista, na tela do módulo cliente, informações diversas do estado do funcionamento do dispositivo, tais como estado das conexões com os periféricos (GPS e *modem* EDGE), satélites visíveis no momento, nível de sinal de cada satélite, estado da conexão com os módulos servidor (*Internet*, banco de dados e servidor de mapas), coordenadas geográficas da posição atual do veículo, velocidade do veículo, direção para o qual está se locomovendo, data e horário.
- Possibilitar ao turista realizar consultas por pontos turísticos e suas respectivas informações, tais como localização, horário de funcionamento, e informações gerais sobre o mesmo.
- Possibilitar ao turista obter a rota para se deslocar do ponto em que se encontra para um determinado ponto turístico existente na base de dados do módulo cliente;
- Possibilitar ao turista obter a rota para se deslocar do ponto em que se encontra para qualquer outro local da cidade de Curitiba.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir são apresentadas as tecnologias presentes no projeto.

2.1 Sistema de Posicionamento Global – GPS

Para uma melhor compreensão do funcionamento da tecnologia GPS, é necessário entender alguns conceitos de rádio-navegação, que são apresentados a seguir.

2.1.1 A rádio-navegação

O uso de sinais de rádio para determinar a posição foi um avanço significativo na navegação. O equipamento para rádio-navegação apareceu em 1912. Não era muito preciso, mas funcionou até que a II Grande Guerra permitisse o desenvolvimento do RADAR - *Radio Detection And Ranging* - e a capacidade de medir lapsos de tempo entre emissão/recepção de ondas de rádio.

Para determinar a posição, mede-se o lapso de tempo dos sinais provenientes de locais conhecidos. Os sinais de rádio são emitidos de transmissores exatamente ao mesmo tempo e têm a mesma velocidade de propagação. Um receptor localizado entre os transmissores detecta qual sinal chega primeiro e o tempo até a chegada do segundo sinal. Se o operador conhece as exatas localizações dos transmissores, a velocidade das ondas de rádio e o lapso de tempo entre os dois sinais, ele pode calcular sua localização em uma dimensão.

Com isso, é possível determinar onde se está numa linha reta entre os dois transmissores. Usando-se três transmissores, pode-se obter uma posição bi-dimensional, em latitude e longitude.

O GPS funciona baseado nos mesmos princípios citados. Na realidade, os transmissores de rádio são substituídos por satélites que orbitam a Terra a 20.200 km e permitem conhecer a posição em três dimensões: latitude, longitude e altitude (GPS BRASIL, 2000).

2.1.2 A tecnologia GPS

Atualmente, a tecnologia existente permite que qualquer pessoa possa se localizar no planeta com uma precisão nunca imaginada por navegantes e aventureiros há até bem pouco tempo. O sofisticado sistema que tornou realidade esse sonho é chamado GPS - *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global) - e foi concebido pelo Departamento de Defesa dos EUA no início da década de 1960, sob o nome de 'projeto NAVSTAR'. O sistema foi declarado totalmente operacional apenas em 1995. Ele consiste de 24 satélites que orbitam a Terra a 20.200 km, duas vezes por dia, e emitem simultaneamente sinais de rádio codificados.

Os receptores GPS de uso militar têm precisão de 1 metro e os de uso civil, de 15 a 100 metros.

Cada satélite emite um sinal que contém: código de precisão (P); código geral (CA) e informação de *status*. Assim como outros sistemas de rádio-navegação, todos os satélites enviam seus sinais de rádio exatamente ao mesmo tempo, permitindo ao receptor avaliar o lapso entre emissão/recepção. A potência de transmissão empregada pelos satélites é de apenas 50 Watts (GORGULHO, 2002).

Receptores GPS em qualquer parte do mundo mostram a mesma hora, minuto, segundo, até milissegundo. A hora-padrão é altamente precisa, porque cada satélite tem um relógio atômico, com precisão de nanosegundo - mais preciso que a própria rotação da Terra. Chama-se atômico por usar as oscilações de um átomo como "metrônomo".

O receptor tem que reconhecer as localizações dos satélites. Uma lista de posições, conhecida como almanaque, é transmitida de cada satélite para os receptores. Controles em terra rastreiam os satélites e mantêm seus almanaques acurados.

Cada satélite tem códigos P e CA únicos, e o receptor pode distingui-los. O código P é mais complexo que o CA, quase impossível de ser alterado e somente militares tem acesso garantido a ele. Receptores civis medem os lapsos de tempo entre a recepção dos sinais codificados em CA. O conceito da rádio-navegação depende inteiramente da transmissão simultânea de rádio-sinais. O controle de terra pode interferir, fazendo com que alguns satélites enviem seus sinais CA ligeiramente antes ou depois dos outros. Os receptores de uso civil desconhecem o valor do erro, que é alterado aleatoriamente e está entre 15 e 100 metros. Os receptores militares não são afetados (GORGULHO, 2002).

Existe outra fonte de erro que afeta os receptores civis: a interferência ionosférica. Quando um sinal de rádio percorre os elétrons livres na ionosfera, sofre um certo atraso. Sinais de frequências diferentes sofrem atrasos diferentes. Para detectar esse atraso, os satélites do sistema enviam o código P em duas ondas de rádio de diferentes frequências, chamadas L1 e L2. Receptores caros rastreiam ambas as frequências e medem a diferença entre a recepção dos sinais L1 e L2, calculam o atraso devido aos elétrons livres e fazem correções para o efeito da ionosfera. Receptores civis não podem corrigir a interferência ionosférica porque os códigos CA são gerados apenas na frequência L1 (1575,42 MHz) (THORTON, 1997).

Os sinais gerados pelos satélites contém um "código de identidade" (ou pseudo-randômico), dados efêmeros (de *status*) e dados do almanaque. O código de identidade, chamado de *Pseudo-Random Code* (PRN) identifica qual satélite está transmitindo. Usam-se como referência dos satélites seus PRN, de 1 a 32. O código pseudo-randômico permite que todos os satélites do sistema compartilhem a mesma frequência sem interferências.

Ao contrário dos satélites de TV, que estão em órbitas geo-síncronas (estacionários no céu), e transmitem poderosos sinais para refletores parabólicos em terra, o satélite GPS envia sinais com poucas informações e de baixa potência para antenas do tamanho do dedo polegar. De fato, os sinais GPS são tão fracos que não são maiores que o ruído de fundo (de rádio) inerente à Terra.

Com isso, o princípio do código pseudo-randômico, que significa literalmente "aparentemente aleatório", se baseia em uma comparação realizada em muitos ciclos de um sinal, que é demorada e incômoda se comparada com um sinal de TV.

Já os dados efêmeros (de *status*) são constantemente transmitidos e contém informações de status do satélite (operacional ou não), hora, dia, mês e ano.

Os dados de almanaque dizem ao receptor onde procurar cada satélite a qualquer momento do dia. Com um mínimo de três satélites, o receptor pode determinar uma posição Lat/Long - que é chamada posição fixa 2D - bidimensional. Neste caso, deve-se entrar com o valor aproximado da altitude para melhorar a precisão. Com a recepção de quatro ou mais satélites, um receptor pode determinar uma posição 3D, isto é, Lat/Long/Altitude, e através de um processamento contínuo de sua posição, um receptor pode, também, determinar velocidade e direção do deslocamento (GORGULHO, 2002).

2.1.3 Fatores que afetam a precisão do GPS

Um dos fatores que afetam a precisão é a chamada 'Geometria dos Satélites', ou seja, a localização dos satélites em relação uns aos outros sob a perspectiva do receptor GPS. Se um receptor GPS estiver localizado sob 4 satélites e todos estiverem na mesma região do céu, sua geometria é pobre. Na verdade, o receptor pode não ser capaz de se localizar, pois todas as medidas de distância provêm da mesma direção geral. Isto significa que a triangulação é pobre e a área comum da intersecção das medidas é muito grande (isto é, a área onde o receptor busca sua posição cobre um grande espaço).

Dessa forma, mesmo que o receptor mostre uma posição, a precisão não é boa. Com os mesmos 4 satélites, quando espalhados em todas as direções, a precisão melhora drasticamente. Suponhamos os 4 satélites separados em intervalos de 90° a norte, sul, leste e oeste. Esta geometria é ótima pois as medidas provêm de várias direções e a área comum de intersecção é muito menor, tornando a precisão muito maior. A geometria dos satélites torna-se ainda mais importante quando se utiliza o receptor GPS próximo a edifícios ou em áreas montanhosas ou vales. A justificativa disto é que, quando algum satélite é bloqueado, a posição relativa dos demais determinará a precisão. Receptores de qualidade indicam não apenas os satélites disponíveis, mas também onde estão no céu (azimute e elevação), permitindo ao operador saber se o sinal de um determinado satélite está sendo obstruído.

Outra fonte de erro é a interferência resultante da reflexão do sinal em algum objeto, a mesma que causa a imagem 'fantasma' na televisão. Como o sinal leva mais tempo para alcançar o receptor, este 'entende' que o satélite está mais longe que a realidade. Dentre as outras fontes de erro, pode-se citar o atraso na propagação dos sinais devido aos efeitos atmosféricos e alterações do relógio interno. Em ambos os casos, o receptor GPS é projetado para compensar os efeitos (THORTON, 1997).

2.1.4 Aspectos Técnicos do Restreamento de Satélites

Um receptor rastreia um satélite pela recepção de seu sinal. Sinais de apenas quatro satélites são necessários para obtenção de uma posição fixa tridimensional, mas é desejável um receptor que rastreie mais de quatro satélites simultaneamente. Como o usuário se desloca, o sinal de algum satélite pode ser bloqueado repentinamente por algum obstáculo, restando satélites suficientes para orientá-lo. A maioria dos receptores pode restrear de 8 a 12 satélites ao mesmo tempo.

Um receptor não é melhor que outro por rastrear mais satélites. Rastrear satélites significa conhecer suas posições e isto não significa que o sinal daquele satélite está sendo usado no cálculo da posição. Muitos receptores calculam a posição com quatro satélites e usam os sinais do quinto para verificar se o cálculo está correto (GORGULHO, 2002).

2.1.5 Canais

Segundo THORTON (1997), os receptores não funcionam acima de determinada velocidade de deslocamento. O número de canais determina qual a velocidade máxima de uso. Mais canais não significa necessariamente maior velocidade. O número de canais não é fator importante na escolha do receptor, e sim, sua velocidade de operação. Depois que os sinais são captados pela antena, são direcionados para um circuito eletrônico chamado canal, que reconhece os sinais de diferentes satélites. Um receptor com um canal lê o sinal de cada satélite sucessivamente, até receber os sinais de todos os satélites rastreados. A técnica é chamada *time multiplexing*. Leva menos de um segundo para processar os dados e calcular a posição. Um receptor com mais de um canal é mais rápido, pois os dados são processados simultaneamente.

2.1.6 Características dos sinais GPS

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2. Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz, que é multiplicada por 154 e 120, respectivamente. Dessa forma, as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) de L1 e L2 são:

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

L2 = 1227,60 MHz e $\lambda=19$ cm.

Essas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo aos usuários, corrigir grande parte dos efeitos em razão da refração ionosférica.

Os códigos que formam o PRN são modulados, em fase, sobre essas duas portadoras. Essa técnica permite realizar medidas de distância a partir da medida do tempo de propagação da modulação.

Um PRN é uma sequência binária de +1 e -1, ou 1 e 0, que parece ter característica aleatória. Como é gerado por um algoritmo, pode ser univocamente identificado. Trata-se basicamente dos códigos C/A (*Coarse Acquisition* – fácil aquisição) e P.

O código C/A com comprimento de onda por volta de 300m, é transmitido a uma razão de 1,023 MHz. Ele é gerado a partir do produto de duas sequências PN (*Pseudorandom* – pseudo-aleatório) denominadas G1 e G2, cada uma com período de 1.023 bits. O código C/A resultante também consistirá de 1.023 bits, com período de 1ms. Cada satélite transmite um código C/A diferente, dentre os 37 definidos no ICD-GPS-200C.

Isso poderia causar dificuldades para um receptor GPS distinguir entre todos os códigos possíveis. No entanto, o código C/A faz parte de uma família de códigos (*gold codes*), que tem como característica básica à baixa correlação

entre seus membros. Isso possibilita a rápida distinção dos sinais recebidos, simultaneamente, de vários satélites. Ele é modulado somente sobre a portadora L1. Esse é o código a partir do qual os usuários civis obtêm as medidas de distâncias que permitem atingir a acuracidade estipulado no SPS. Ele não é criptografado embora possa ter sua precisão degradada (MARTYNYSZYN, 2004).

2.1.7 Fontes de Erros

Segundo ADAMS (1995), o sistema GPS civil pode ter seu sinal degradado de diversas maneiras, devido a alguns erros potenciais resultados de uma soma de erros preliminares das seguintes fontes:

- Atrasos da Ionosfera e Troposfera, o atraso do sinal nesta parte da atmosfera é compensado por um modelo incluído no receptor, porém por fazer apenas um media dos atrasos, não é exato e assim perde-se um pouco de precisão.
- Sinais *multi-path*, quando o sinal é refletido por prédios ou formações rochosas, o tempo de propagação muda e isto causa erros.
- Erros do relógio do receptor, uma vez que não é possível ter um relógio atômico em cada receptor, podem ocorrer variações no relógio do receptor.
- Erros orbitais, imprecisões nos relatórios de localização dos satélites.
- Número de satélites visíveis, quanto mais satélites visíveis, maior a precisão. Prédios, terrenos acidentados, interferência eletrônica e até mesmo uma folhagem mais densa podem impedir a visualização dos

satélites por parte do receptor. Tipicamente não se consegue um bom funcionamento dentro de locais fechados, embaixo da água ou da terra.

- Geometria dos satélites / sombra, tipicamente existe uma geometria entre os satélites que favorece a decodificação da posição. Em alguns casos, satélites muito próximos uns dos outros ou alinhados, geram uma geometria "pobre", que resulta em uma precisão ruim.
- Problemas podem ainda ocorrer quando o sinal de rádio encontra objetos grandes, como os arranha-céus, pois o receptor tem a impressão que o satélite está mais longe do que realmente está.

2.2 O padrão NMEA

Dispositivos GPS comunicam-se com o mundo exterior através de um protocolo bem definido, desenvolvido pela *National Marine Electronics Association* (NMEA).

Os padrões NMEA atualmente existentes são o 0180, 0182 e 0183. Os *releases* 0180 e 0182 são simplificados do ponto de vista dos dados fornecidos pelo GPS, e suas interfaces físicas não são determinadas do ponto de vista elétrico. As versões 0180 e 0182 preconizam apenas a existência de duas linhas de comunicação, TX e RX.

A versão 0183 – atualmente em uso – é mais completa do ponto de vista da informação, e seu protocolo mais completo (ponto-multiponto). Além disso, a 0183 determina que a interface física seja conforme com a norma EIA-422.

O padrão NMEA determina o formato para a comunicação serial chamada 8N1 (8 bits sem paridade + 1 *stop* bit) a 4.800bps como mandatório (SANTOS, 2005).

2.2.1 Sentenças NMEA

Os dados provenientes dos dispositivos GPS são fornecidos em pacotes chamados de sentenças NMEA. Existem vários tipos diferentes de sentenças com finalidades distintas: para informar a posição, para relatar o estado dos satélites, entre outros. Algumas informações são redundantes, como a de longitude e latitude (posição), que podem aparecer em mais de um tipo de sentença.

As sentenças são sempre formadas por caracteres ASCII imprimíveis (o que descarta o código ASCII estendido). Cada sentença começa por um "\$", seguido de:

- Duas letras (*talker ID*);
- Três letras (*sentence ID*);
- Campos de dados separados por vírgulas;
- *Checksum*;
- Terminando sempre com CR/LF (*carriage return + line feed*).

Uma sentença pode ter até 82 caracteres, incluindo-se o "\$" e o CR/LF. O *talker ID* identifica o tipo de equipamento transmissor (GP para GPS, LC para Loran-C, por exemplo).

Se um campo não estiver disponível, ele é omitido na sentença. Porém, as vírgulas que o delimitam são sempre transmitidas sem espaços entre elas.

Uma vez que alguns campos têm comprimento variável ou podem ser omitidos, o receptor deve localizar os dados pela contagem das vírgulas em vez da posição dos caracteres na sentença.

O *checksum* é composto por um asterisco (*) seguido de dois dígitos hexadecimais formados pelo OU exclusivo de todos os caracteres entre, mas não incluindo, o "\$" e o " * ".

O *checksum* pode não ser requerido em algumas sentenças (SANTOS, 2005).

2.2.2 Estrutura das sentenças NMEA

Segundo LIMA (2005), a estrutura de uma sentença NMEA é representada, basicamente, pela sintaxe descrita nos tópicos a seguir.

2.2.2.1 GPGSA

Esta sentença descreve os satélites ativos e influência da geometria na precisão (Dilution of Precision – DOP), conforme descrito na Tabela 1.

Exemplo de sentença:

\$GPGSA,A,F,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,pp.p,hh.h,vv.v,*HH

Tabela 1 - Descrição dos campos da sentença GPGSA

A	Auto seleção de 2D ou 3D (M = Manual)
F	Fixo obtido (1 = nenhum, 2 = 2D, 3 = 3D)
01 ... 12	PRN dos satélites usados para determinar o fixo (espaço para 12)
pp.p	PDOP - Diluição da precisão da posição
hh.h	HDOP - Diluição da precisão horizontal
vv.v	VDOP - Diluição da precisão vertical
HH	Checksum

2.2.2.2 GPGGA

Esta sentença contém os dados essenciais para determinar a localização tridimensional e precisão dos dados. Nela é possível encontrar a latitude, longitude e altitude, por exemplo, e seus campos estão descritos na Tabela 2.

Exemplo de sentença:

\$GPGGA,093244,5312.022,N,02917.232,W,Q,ss,p.pp,869.6,M,52.4,M,t,s,*HH

Tabela 2 - Descrição dos campos da sentença GPGGA

093244	Fixo determinado às 9 horas, 32 minutos e 44 segundos UTC
5312.022,S	Latitude 53° 12,022' Sul
02917.232,W	Longitude 29° 17,232' Oeste
Q	Qualidade do fixo: 0 = inválido, 1 = válido, 2 = válido diferencial (DGPS)
Ss	Número de satélites sendo rastreados
pp.p	Diluição da precisão da posição
869.6,M	Altitude em metros sobre o nível médio do mar (869,5m no exemplo)
52.4,M	Altura do geóide (nível médio do mar) sobre o elipsóide do WGS84
T	Tempo em segundos desde a última atualização diferencial (DGPS)
S	Identificação da estação diferencial transmissora DGPS
HH	Checksum

2.2.2.3 GPRMC

O protocolo NMEA possui uma sentença que provê as informações mínimas do tipo PVT (posição, velocidade e tempo). Ela é chamada de RMC, ou *Recommended Minimum* e a descrição de seus campos é relacionada na Tabela 3.

Exemplo de sentença:

\$GPRMC,093244,A,5312.022,N,02917.232,W,034.1,042.7,210504,019.8,E*HH

Tabela 3 - Descrição dos campos da sentença GPRMC

093244	Fixo determinado às 9 horas, 32 minutos e 44 segundos UTC
A	Alerta do receptor de navegação: A = normal, V = Alerta
5312.022,S	Latitude 53° 12,022' Sul
02917.232,W	Longitude 29° 17,232' Oeste
034.1	Velocidade no solo, em nós (34,1 kt no exemplo)
042.7	Curso verdadeiro (rumo 42,7° no exemplo)
210504	Fixo determinado em 21 de maio de 2004
019.8,E	Variação magnética local, 19,3° Leste
HH	Checksum

O protocolo NMEA possui, ao todo, vinte e cinco sentenças em sua versão 0183. Os detalhes de todas as sentenças podem ser consultados GPSINFORMATION.NET (2006).

2.3 Geoprocessamento

O Geoprocessamento é o processamento computacional de dados georeferenciados. Apresenta-se, na sequência, os conceitos e fundamentos desta tecnologia.

2.3.1 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é a terminologia frequentemente aplicada à tecnologia computacional orientada geograficamente usada em um grande número de aplicações que, mais recentemente, despertou interesse significativo em diversos campos de atuação. Por inúmeras razões, é muito mais difícil definir o que é um SIG do que se possa imaginar. Fica claro, entretanto, que se trata de uma tecnologia relativamente recente.

São apresentadas, a seguir, algumas definições sobre SIG (JUNIOR, 2000):

- Sistema computacional que armazena e une dados de atributos não gráficos ou geograficamente referenciados, com feições de mapas, para permitir uma grande gama de processamento e disposição de informações, tanto quando produção de mapas, análises e modelagens.
- Um sistema de base de dados computadorizado para captura, armazenagem, recuperação e disposição de dados espaciais.
- São sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representem objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la.
- Sistema baseado em computador que permite ao usuário coletar, manusear e analisar dados georeferenciados.
- Um possui uma estrutura flexível de dados baseados em relações topológicas. Os sistemas típicos (modelos vetoriais) se baseiam nas

entidades características de todo desenho cartográfico: o ponto, a linha e a área. E, justamente por causa desta estrutura topológica, pode-se realizar diversos tipos de análises de dados geográficos.

Os Sistemas de Informações Geográficas organizam desenhos e mapas eletrônicos de diferentes tipos de dados em um único ambiente de dados que contém localizações espaciais e seus atributos geográficos.

Um sistema de informação geográfica é destinado ao tratamento de diversas fontes como mapas, imagens de satélites, cadastros, entre outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análises de dados. A tecnologia SIG vem encontrando uma utilidade cada vez maior em diversas áreas do conhecimento humano, dentre elas pode-se destacar o planejamento urbano e de transportes.

A utilização em larga escala dos sistemas de informações geográficas tornou-se possível, e com custos aceitáveis, a partir da disponibilidade de diversas tecnologias como a cartografia digital, os bancos de dados e o geoprocessamento digital de imagens. Tipicamente, um SIG combina essas tecnologias com técnicas de análise e manipulação da informação espacial georeferenciada (JUNIOR, 2000).

2.3.2 Componentes de um SIG

Um sistema de informações geográficas constitui tecnologia para a investigação de diversos fenômenos que podem estar relacionados com transportes, urbanismo, planejamento, navegação, etc. Uma outra definição clássica diz que um SIG é uma coleção organizada de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoal envolvido no trabalho para capturar, armazenar,

atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as formas de informações georeferenciadas.

O *hardware* é composto pelos diversos componentes do computador e seus periféricos, tais como impressoras e *plotters*, *scanners*, coletores de dados, entre outros.

Os *softwares* são constituídos dos programas especificamente desenvolvidos para atuarem no sistema de informações geográficas. Estes podem ser simples, com poucos recursos, ou complexos com aplicações específicas em determinadas áreas (JUNIOR, 2000).

2.3.3 Estrutura de um SIG

O mundo real é composto de diversas feições geográficas que podem ser representadas por várias camadas de dados relacionados, como mostra a Figura 1, entre elas a malha viária, rede de esgoto, rede de hospitais e diversos estabelecimentos, densidade demográfica, tráfego de veículos em determinados horários, entre outros índices e parâmetros diversos.

Um SIG combina os avanços da cartografia automatizada, dos sistemas de manipulação de banco de dados e do sensoriamento remoto com o desenvolvimento metodológico da análise geográfica, para produzir um conjunto distinto de procedimentos analíticos que auxiliam no gerenciamento e na atualização constante das informações disponíveis.

O SIG tem, predominantemente, orientação espacial na sua capacidade de busca e análise, podendo posicionar geograficamente características de feições nas suas posições relativas. Conceitualmente, um sistema de informações geográficas é um mapeador automatizado ou um sistema de mapeamento temático.

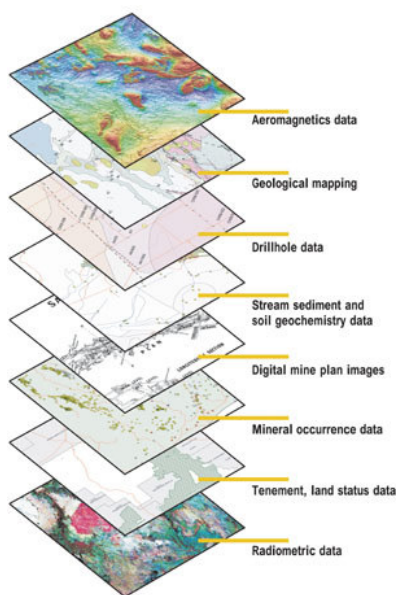


Fig. 1 - Estrutura de camadas de um SIG

Fonte: DPI (2006).

Um sistema de informações geográficas, de maneira geral, é composto por dois grandes conjuntos de informações: um *banco de dados espaciais* e *dados de atributos*. O cerne do sistema é o banco de dados que, em resumo, é a coleção de mapas e informações associadas na forma digital. O banco de dados representa as características do terreno, sendo composto por dois elementos: um *banco de dados espaciais*, que descreve as características geográficas da superfície do terreno (forma e posição), e um *banco de dados de atributos*, que descreve as qualidades dessas características.

O SIG possui, como característica básica, a integração de dois tipos distintos de dados: gráficos e não gráficos. Os gráficos correspondem à base cartográfica, na qual as entidades como pontos, linhas e polígonos representam os diversos aspectos existentes e possíveis de serem mapeados (residências, curvas de nível, rede hidrográfica, etc.). Os dados gráficos podem ser de modelo vetorial e *raster*. O modelo vetorial caracteriza-se pela facilidade de localizar, relacionar e descrever as entidades. O modelo de dados *raster* consiste de um

grid regular, composto por linhas e colunas, onde cada posição, definida por uma linha e por uma coluna, representa um *pixel* (*Picture Element* ou *Picture Cell*) ou célula; Os não gráficos, também conhecidos por descritivos ou atributos, caracterizam quantitativamente e qualitativamente as entidades contidas na base cartográfica digital (tipo de solo, pluviosidade, estrutura geológica, etc.).

Comumente, nos sistemas do tipo SIG, usa-se a topologia para armazenar e permitir o relacionamento entre os vários modelos de dados ou objetos espaciais. A topologia que envolve o uso da teoria de grafos para separar e relacionar objetos cartográficos, usando-se uma série de arcos e nós, dá inteligência à base de dados (BD) cartográfica. Este tipo de modelo de dados representa uma diferença, e para muitas aplicações, é uma estrutura superior de gerenciamento de dados geográficos se comparado com os modelos gráficos.

Um SIG manipula grande coleção de informações espaciais. Além de ser uma ferramenta gráfica flexível, um SIG é fundamentalmente direcionado para manipular grande coleção de informações espaciais. Recursos operacionais são incluídos para executar recobrimentos de dados geográficos de grandes áreas, para serem eficientemente organizados, pesquisado e visualizados. Também, recursos funcionais são incluídos como ferramentas analíticas e de manipulação, que são difíceis ou complexas de serem executadas numa BD geograficamente estruturada. Esses recursos incluem ferramentas como identificação automática de relacionamento entre e dentro dos mapas, seleção de rotas ótimas numa rede de linhas e análise de fluxos dentro de relevos.

O modelo de dados de um SIG envolve armazenamento de dados tabulares (atributos), em associação com muitas entidades cartográficas simples (pontos, linhas e polígonos). Na abordagem ferramentalista do SIG, este está desenhado para a entrada, gerenciamento, manipulação, análise, pesquisa, e visualização de grande quantidade de dados espaciais. As ferramentas operacionais são tipicamente organizadas em torno de uma BD do SIG, de modo a prover múltiplos usos com referência na BD (JUNIOR, 2000).

2.3.4 Os modelos *Raster* e Vetorial

Sistemas de Informação Geográfica trabalham fundamentalmente com dois tipos diferentes de modelos geográficos – o modelo vetorial e o modelo *raster*, conforme a Figura 2. No modelo vetorial (*Vector*), as informações sobre pontos, linhas e polígonos são codificadas e armazenadas como uma coleção de coordenadas x, y . O foco das representações concentra-se na precisão da localização dos elementos no espaço. A localização de um ponto pode ser descrita por uma única coordenada x, y .

Informações lineares podem ser armazenadas como uma coleção de coordenadas de ponto, ou seja, uma lista de coordenadas x, y . Polígonos podem ser armazenados como um ciclo fechado de coordenadas, ou seja, como uma lista de coordenadas x, y onde a primeira e a última coordenadas são iguais. O modelo vetorial mostra-se mais útil na descrição de informações discretas, porém menos útil na descrição de dados que alteram sucessivamente.

O modelo *raster* foi desenvolvido para modelar tais características. Uma imagem *raster* compreende uma coleção de células de grade como um mapa ou figura. Concentra-se nas propriedades do espaço, compartimentando-o em células regulares (normalmente quadradas). Cada célula representa um único valor. Quanto maior a dimensão de cada célula (resolução) menor é a precisão ou detalhe na representação do espaço geográfico.

Ambos os modelos têm vantagens e desvantagens para armazenar dados geográficos. Sistemas modernos são capazes de lidar com ambos os modelos (KRUKLIS, 2005).

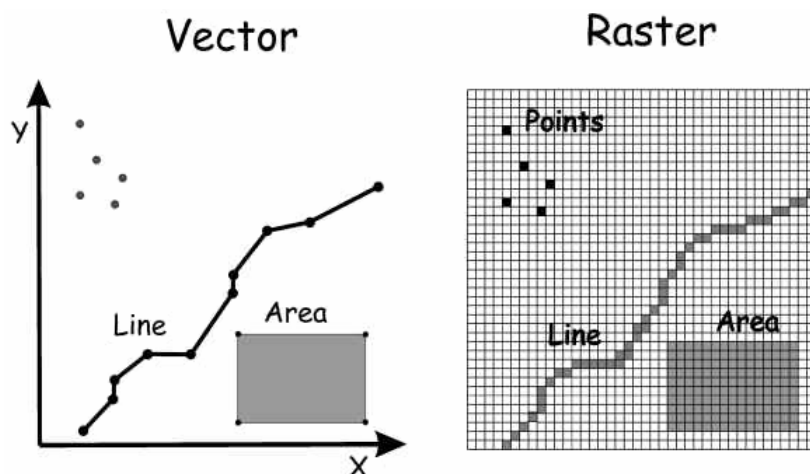


Fig. 2 - Diferença de representação entre os modelos Vetorial (Vector) e Raster

Fonte: CARTOWEB(2006)

2.3.5 Padrão *Environmental Systems Research Institute (ESRI) Shapefile*

A base de dados utiliza um formato de arquivo de dados introduzido pela ESRI para armazenar objetos geográficos no formato vetorial, o *shapefile* (SHP). Isso significa que os objetos de um mapa são representados como conjuntos de coordenadas X e Y. As coordenadas em *shapefiles* usam o sistema de coordenadas cartesianas.

A geometria de cada objeto é armazenada como uma figura (*shape*) que inclui um conjunto de coordenadas vetoriais. Os atributos de cada *shape* são armazenados como um registro em uma tabela *dBASE* associada com o *shapefile*. Há um registro na tabela *dBASE* para cada objeto no arquivo principal.

Um *shapefile* é armazenado na forma de dois arquivos no sistema de arquivos do computador. O arquivo principal contém a geometria para as figuras. A tabela *dBASE* contém os atributos para cada figura. Pode-se modificar as definições dos campos (adicionando, retirando ou alterando campos) numa tabela *dBASE*.

Shapefiles contém tipos diferentes de objetos. Os tipos de figuras suportados são: pontos, multipontos e polígonos.

Pontos possuem simplesmente coordenadas x, y. Cada ponto possui um registro de atributos. Multipontos consistem de poli linhas simples ou múltiplas que podem ou não estar conectadas. Uma poli linha é um conjunto de vértices ordenados.

Polígonos contêm um ou mais anéis. Um anel é um ciclo fechado que não se intercepta. A ordem direcional dos anéis determina se eles são áreas interiores em um polígono. Cada polígono possui um registro de atributos (KRUKLIS, 2005).

2.4 Web Map Service (WMS)

O WMS é um dos *Web Services* definido pelo Consórcio Open GIS (OGC). Este conjunto de OGC *Web Services* (OWS) é composto principalmente por três tipos de serviço de acesso a informações georeferenciadas: *Web Map Server* (WMS), *Web Coverage Server* (WCS) e *Web Feature Server* (WFS).

Existem outros serviços como o *GeoParser* e *GeoCoder*. A Figura 3 mostra a relação entre estes serviços, além de algumas (não todas) as operações definidas (PEREIRA, 2004).

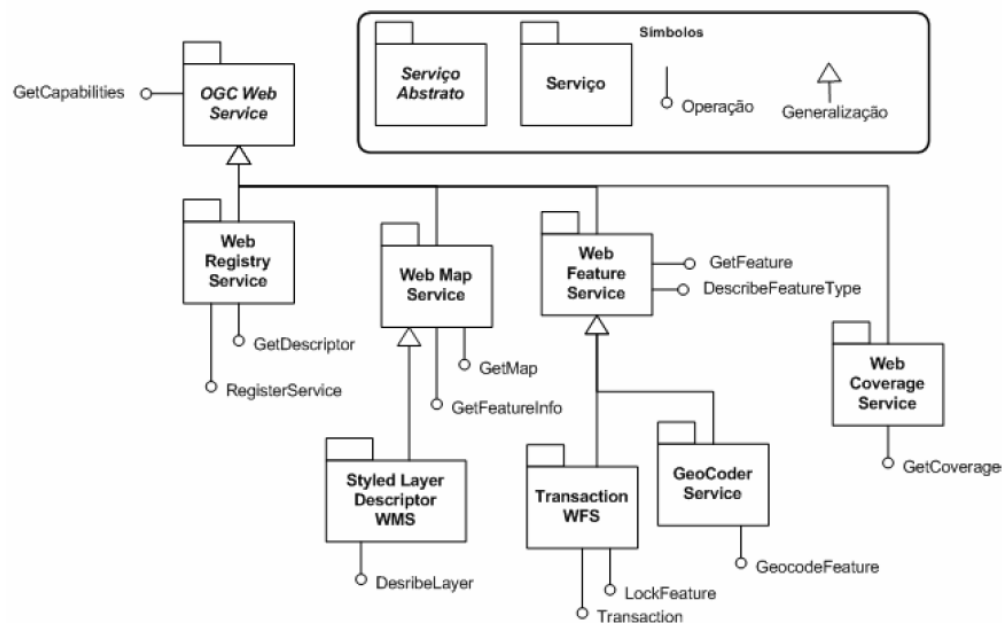


Fig. 3 - Diagrama de Arquitetura dos OGC Web Services.

Fonte: CARTOWEB(2006)

O padrão WMS especifica como o cliente deve requisitar as informações para o servidor e como este deve responder ao cliente. Para esta comunicação são definidas três operações, onde duas devem necessariamente ser implementadas e uma é opcional em qualquer implementação de WMS:

- **GetCapabilities:** Obrigatório. Obtém informações sobre o serviço propriamente dito e sobre as informações geoespaciais.
- **GetMap:** Obrigatório. Obtém o mapa com os parâmetros geoespaciais e dimensionais bem definidos.
- **GetFeatureInfo:** Opcional. Requisita informações associadas a uma região específica do mapa.

Um navegador de *Internet* padrão pode requisitar informações de um servidor *Web Map Server* (WMS), usando as operações definidas, apenas submetendo parâmetros através de endereços de *internet* (URLs).

Usando um método do tipo *GetMap*, o cliente pode escolher quais *layers* serão exibidos, em qual estilo (*Style*), em qual sistema de projeção de coordenadas (*Spatial Reference System*, ou SRS), etc. Se o mapa aceitar consultas, através do *GetFeatureInfo*, o cliente pode requisitar as informações associadas a uma região específica do mapa (PEREIRA, 2004).

2.4.1 Elementos Básicos do Serviço

O padrão OGC para *WebMap Server* (WMS) descreve alguns elementos básicos para a interoperabilidade do sistema. Estes elementos estão descritos na sequência.

2.4.1.1 Número de versão e negociação

O número de versão é formado por três inteiros positivos, separado por pontos, na forma "x.y.z", onde "y" e "z" nunca vão exceder 99. O número de versão aparece em pelo menos dois lugares: no arquivo XML de metainformações, onde está a descrição do serviço, e na lista de parâmetros onde o cliente requer serviços.

Cliente e servidor podem implementar várias versões do padrão WMS. Para estabelecer o serviço entre o cliente e o servidor, ambos devem implementar pelo menos uma mesma versão do serviço. Assim, deve haver antes uma negociação do número da versão.

O cliente envia uma requisição ao servidor, contendo um número de versão. A partir daí, a negociação começa:

- Se o servidor implementa a versão, ele deve retornar uma resposta contendo esta versão.
- Se a versão requisitada for desconhecida pelo servidor, ele deve retornar a maior versão menor que a requisitada.
- Se o cliente requisita uma versão menor que todas as implementadas pelo servidor, ele deve retornar a menor versão que ele implementa.
- Se o cliente não implementa a versão retornada pelo servidor, ele deve encerrar a comunicação ou enviar uma nova requisição com uma nova versão que o cliente entenda, mas que é menor ou igual à retornada pelo servidor (se o servidor respondeu com uma versão menor).
- Se o servidor respondeu com uma versão maior (porque a versão requisitada é menor que todas as versões implementadas pelo servidor) e o cliente não entende a versão, ele deve fazer uma nova requisição com uma versão maior que a enviada pelo servidor.

O processo se repete até que uma versão comum a ambos é atingida ou até que o cliente determine que não é possível estabelecer o serviço com o servidor em particular (PEREIRA, 2004).

2.4.1.2 Regras gerais de comunicação via HTTP

Um serviço WMS pode ser estabelecido sobre o protocolo HTTP. Para isto, cada URL deve seguir as especificações padrão do protocolo HTTP e somente os parâmetros devem obedecer ao protocolo estabelecido para cada operação do serviço WMS.

O protocolo HTTP suporta dois métodos de requisição: *GET* e *POST*. A versão 1.1.1 do WMS somente suporta o método *GET*. A resposta deve ser acompanhada pelo tipo MIME apropriado para o objeto (PEREIRA, 2004).

2.4.2 Operações do *Web Map Service*

As três operações definidas para o *Web Map Service* são *GetCapabilities*, *GetMap* e *GetFeatureInfo*. Esta seção especifica a implementação e uso destas operações no protocolo HTTP (PEREIRA, 2004).

2.4.2.1 *GetCapabilities*

Esta é uma operação requerida em um servidor WMS e seus parâmetros são descritos na Tabela 4. Ela se destina a disponibilizar para o cliente as informações sobre os mapas disponíveis e sobre o serviço propriamente dito.

Quando um cliente submeter uma requisição a um servidor WMS, o qual pode implementar outros OGC *Web Services*, é necessário que o cliente indique que está solicitando um serviço WMS em particular. Assim, o valor do parâmetro *SERVICE* da requisição deve ser “WMS” como indicado na tabela abaixo (PEREIRA, 2004).

Tabela 4 - Parâmetros da GetCapabilities

Parâmetro de Requisição	Requerido / Opcional	Descrição
VERSION= <i>versão</i>	Opcional	Versão Requerida
SERVICE=WMS	Requerido	Tipo de serviço
REQUEST=GetCapabilities	Requerido	Nome da requisição
UPDATESEQUENCE= <i>string</i>	Opcional	Numero de seqüência ou string para controle de cache

2.4.2.2 GetMap

A operação *GetMap* é responsável por produzir um mapa. Ao receber uma requisição *GetMap*, o servidor deve satisfazer a requisição ou levantar uma exceção.

Esta operação pode ser implementada, assim como a *GetCapabilities*, codificada em parâmetros de uma URL, usando a operação HTTP GET.

A implementação desta operação é obrigatória para o serviço WMS (PEREIRA, 2004).

2.4.2.3 GetFeatureInfo

Esta operação é opcional. Ela só é suportada pelos *layers* cujo atributo *QUERYBLE* tem valor *TRUE*. Neste caso, o atributo pode ser sido declarado explicitamente para o *layer* ou herdado de um pai.

Esta operação serve para proporcionar ao cliente mais informações, além das contidas no mapa, previamente requisitado na operação de *GetMap*. O caso

típico de uso da operação *GetFeatureInfo* é, depois de receber um mapa, o usuário selecionar um ponto do mapa, do qual deseja ver mais informações.

Esta operação permite ao cliente dizer qual pixel de qual *layer* está sendo consultado. Como pode haver perda de informação na comunicação entre o cliente e o servidor, a operação *GetFeatureInfo* inclui a maior parte dos parâmetros da operação *GetMap*.

Mediante as informações espaciais do contexto (*BBOX*, *SRS*, *WIDTH*, *HEIGHT*) originais da *GetMap* mais as coordenadas X e Y do ponto do qual deseja-se obter maiores informações, o servidor WMS pode retornar maiores informações sobre o ponto (PEREIRA, 2004).

2.5 GPRS – General Packet Radio Service

GPRS - *General Packet Radio Service* é uma tecnologia que aumenta as taxas de transferência de dados nas redes GSM existentes. Esta permite o transporte de dados por pacotes (Comutação por pacotes). Sendo assim, o GPRS oferece uma taxa de transferência de dados muito mais elevada que as taxas de transferência das tecnologias anteriores, que usavam comutação por circuito, que eram em torno de 12kbps. Já o GPRS, em situações ideais, pode ultrapassar a marca dos 170kbps. No entanto na prática, essa taxa está em torno dos 40 kbps.

Diferente das tecnologias de Comutação de Circuitos que é um modo no qual uma conexão (ou circuito) é estabelecida do ponto de origem da transferência de dados ao destino. Recursos da rede são dedicados por toda a duração da chamada, até que o usuário interrompa a conexão. No GPRS o serviço é "sempre ativo", ou seja, ele é um modo no qual os recursos somente são atribuídos a um usuário quando for necessário enviar ou receber dados.

Esta técnica permite que vários usuários compartilhem os mesmos recursos, aumentando assim a capacidade da rede e permitindo uma gerência razoavelmente eficiente dos recursos. Isto permite às operadoras GPRS disponibilizar acesso à *Internet* em alta velocidade e a um custo razoável, pois a cobrança é feita pela quantidade de pacotes de dados transmitidos e não pelo tempo de conexão à rede (TUDE, 2003).

2.6 Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo de Dijkstra soluciona o problema do caminho menos custoso para um grafo com arestas de peso não negativo.

Um exemplo prático de problema que pode ser resolvido pelo algoritmo de Dijkstra é: alguém precisa se deslocar de uma cidade para outra. Para isso, dispõe-se de várias estradas, que passam por diversas cidades. Qual delas oferece uma trajetória de menor caminho?

Considerando-se um grafo dirigido G e cujas arestas possuem um *peso*. V é o conjunto de vértices de G . O vértice de origem é denominado s . As arestas são representadas pelo par ordenado (u, v) ou seja, a conexão entre o vértice u e o vértice v . O conjunto das arestas de G é E . O peso de cada aresta é definido pela função $w: E \rightarrow \mathbb{R}_+$.

$\delta(s, v)$ é o menor caminho de entre s e um vértice $v \in E$ qualquer. Portanto, $\delta(s, v)$ é a menor soma possível dos pesos das arestas que compõem um caminho entre s e v , ou infinito se não existir caminho entre s e v . Na execução do algoritmo também é necessário um $d[v]$ chamado de *estimativa de menor caminho*, é o limite máximo estimado para $\delta(s, v)$ em um determinado instante. $\pi[v]$ é o vértice *predecessor* de v .

1º passo: iniciam-se os valores:

```

para todo  $v \in V[G]$ 
   $d[v] \leftarrow \infty$ 
   $\pi[v] \leftarrow \text{nulo}$ 
 $d[s] \leftarrow 0$ 

```

Admitindo-se a pior estimativa possível, o caminho infinito.

2º passo: Usa-se dois conjuntos: S , que representa todos os vértices v tal que $d[v] = \delta(s, v)$, e o Q , simbolizando todos os outros vértices.

3º passo: são realizados uma série de relaxamentos das arestas, de acordo com o código:

```

enquanto  $Q \neq \emptyset$ 
   $u \leftarrow \text{extraia-mín}(Q)$ 
   $S \leftarrow S \sqcup \{u\}$ 
  para cada  $v$  adjacente a  $u$ 
    se  $d[v] > d[u] + w(u, v)$  //relaxe  $(u, v)$ 
      então  $d[v] \leftarrow d[u] + w(u, v)$ 
       $\pi[v] \leftarrow u$ 

```

No final do algoritmo tem-se o menor caminho entre s e qualquer outro vértice de G (WIKIPEDIA, 2006).

3 ESPECIFICAÇÃO DE *HARDWARE*

O papel do *hardware* no projeto está, em sua totalidade, inserido dentro do contexto do módulo, ou dispositivo, cliente. É no dispositivo cliente que encontramos os periféricos necessários para a coleta dos dados provenientes do sistema GPS e transmissão dos dados através da tecnologia GPRS/EDGE, presente nas redes GSM.

Para o módulo cliente, utilizou-se um computador portátil (*Laptop*) de plataforma IBM/PC como base para o sistema.

3.1 O receptor GPS

Este periférico é o responsável pela recepção dos dados provenientes dos satélites, disponibilizando-os através de interface serial (RS232) codificado sob o protocolo NMEA 0183. Para esta função é utilizado o equipamento GPS V Plus do fabricante GARMIN, mostrado na Figura 4. Este equipamento provê alguns recursos que foram importantes para os testes e validação do sistema, a serem descritos na seqüência.



Fig. 4 - Receptor de GPS modelo GPS V, fabricante GARMIN

Fonte: GARMIN (2006).

Este equipamento foi escolhido devido à sua flexibilidade de utilização, podendo ser alimentado por pilhas comuns, ou recarregáveis, ou pela alimentação de 12 Volts encontrada nos automóveis, além de possuir suporte para carregá-lo no pulso e suporte automotivo. Também é possível escolher entre diversos tipos de projeções de mapas no intuito de diminuir e/ou anular o erro gerado com escolhas não apropriadas deste item.

As características de operação do aparelho GARMIN GPS V são apresentadas da Tabela

Tabela 5 - Características do Aparelho Garmin GPS V

Taxa de atualização	1 em 1 segundo, continuamente
Precisão	< 15 metros, 95% típica
Velocidade	0.05 metro/seg
Precisão na Posição com WAAS ativo	< 3 metros
Precisão na Velocidade com WAAS ativo	0.05 metros/seg
Impactos	6Gs
Interfaces	RS232 com NMEA 0183, formato de dados RTCM 104 DGPS e formato GARMIN
Antena	destacável, com conector BNC
Diferencial	RTCM-104 e WAAS
Tempo de aquisição Morno	15" (Quinze segundos)
Tempo de aquisição Frio	45" (quarenta e cinco segundos)
Tempo de aquisição Auto Locate	5' (cinco minutos)
Peso do instrumento	0,255 Kg (com pilhas)
Alimentação	4 pilhas comuns
Autonomia	24 horas com pilhas alcalinas
Waypoints	Suporta cadastro de 500 waypoints

Memória	16 MB para armazenagem de mapas
Dimensões	12.7 x 5.9 x 4.1 cm
Visor	com 5.6 x 3.8 cm, 256 x 160 pixels, alto-contraste FSTN com iluminação e orientação tanto na vertical como na horizontal
Corpo	completamente lacrado, liga de plástico de alto impacto e à prova d'água (norma IEC 529 e IPX7 - 30 minutos à 1 metro sob a água)
Temperatura de Operação	de -15°C a 70°C
Armazenagem de dados	indefinidamente, memória independente de bateria ou pilha
Fabricante	GARMIN
Procedência	USA

3.2 O modem GPRS/EDGE

O periférico responsável pela conexão com a *Internet* é um aparelho de telefone celular GSM com tecnologia GPRS/EDGE. Este aparelho de telefone celular atua como um modem e possui implementado, internamente, toda a pilha TCP/IP para a comunicação de dados com a rede mundial de computadores, a *Internet*.

O modelo de aparelho celular utilizado foi o 6111 do fabricante Nokia (Figura 5). Este aparelho possui as seguintes características de conectividade, pertinentes ao projeto:

- Portas *Universal Serial Bus* (USB) e Infravermelho;
- EDGE *multislot* classe 8 (4+1): velocidade até 236.8 kbps;
- GPRS *multislot* classe 8 (4+1): velocidade até 85.6 kbps;

- HSCSD (*High-Speed Circuit-Switched Data*): transferência até 43,2 Kbps em redes HSCSD;
- TCP/IP *stack*.



Fig. 5 - Aparelho de telefone celular utilizado como MODEM GPRS/EDGE.

Fonte: CARTOWEB (2006)

3.3 Diagrama simplificado do módulo cliente

Na Figura 6 é apresentado o diagrama simplificado do sistema, onde o *Laptop* coleta os dados do receptor GPS através da interface RS232, pré-processa e os envia aos módulos de servidores (servidor de mapas e roteamento) através do modem GPRS/EDGE também acoplado a ele.

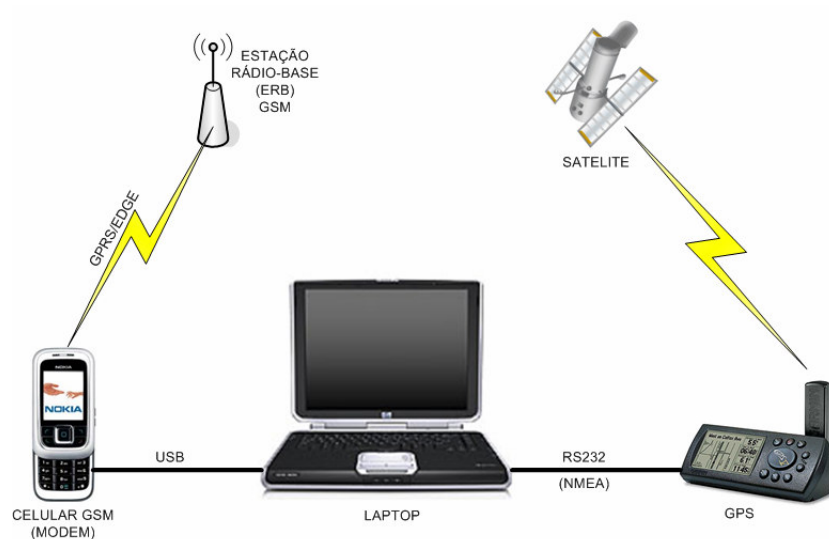


Fig. 6 - Diagrama simplificado do dispositivo cliente.

É possível, contudo, que se utilize qualquer dispositivo receptor de GPS que possua compatibilidade com o protocolo NMEA 0183 e conexão RS232, bem como qualquer aparelho de telefonia celular que possua a pilha TCP/IP já implantada (atuando como *MODEM*).

4 ESPECIFICAÇÃO DE SOFTWARE

Por se tratar de um ambiente distribuído, o *software* é composto de arquitetura cliente-servidor e é dividido, basicamente, em três componentes com funções bem distintas, a ser explanadas na seqüência: módulo cliente, módulo de roteamento e módulo de servidor de mapas.

4.1 Plataformas de Desenvolvimento

Para o desenvolvimento do módulo cliente, utilizou-se o ambiente *Visual Studio 2005, Express Edition*, do fabricante Microsoft, ilustrado na Figura 7. A

linguagem utilizada é o C#. Este ambiente é disponibilizado gratuitamente no *site* do fabricante Microsoft para *download*.

Para o módulo de roteamento utilizou-se, como base, o banco de dados *PostgreSQL*, em sua versão 8.1, com extensões para armazenamento de objetos de Sistemas de Informações Geográficas. Este banco de dados também é disponibilizado gratuitamente no site do fabricante, assim como as extensões *PostGIS*.

Para o módulo de servidor de mapas, utilizou-se o WMS padrão OGC da Universidade de Minnesota, o *UMN MapServer*. Este servidor WMS atende aos padrões definidos pelo Consórcio OpenGIS. O servidor de mapas é contemplado pela distribuição MS4W disponível gratuitamente em MAPTOOLS (2006), sendo esta distribuição exclusiva para sistemas operacionais *Microsoft Windows*.

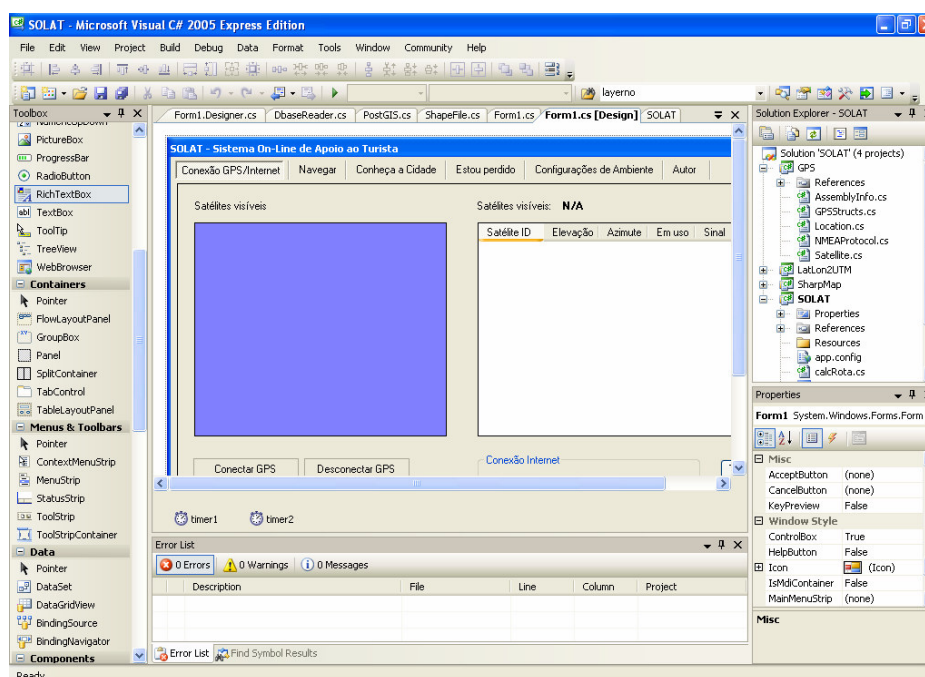


Fig. 7 - Ambiente de desenvolvimento Microsoft Visual C# Express.

4.2 Módulo Cliente

O módulo cliente, que nada mais é do que o dispositivo auxiliar de navegação presente no veículo, possui as seguintes funções:

- Receber e pré-processar os dados provenientes do receptor GPS que estará conectado ao dispositivo móvel (*laptop*) através de interface serial RS232. Estes dados são recebidos no padrão NMEA e devem ser tratados e filtrados de acordo com os objetivos da aplicação.
- Gerenciar conexão com dispositivo servidor através da tecnologia de transmissão de dados pela rede de telefonia celular, especificamente o GPRS/EDGE.
- Apresentar ao turista a sua localização no mapa digital carregado sob demanda do módulo de servidor de mapas.
- Atualizar a localização do turista na medida em que ele se locomove, informando a sua posição no mapa existente na tela (ou solicitando o carregamento de um novo mapa, caso necessário), sua velocidade e direção.
- Fornecer a opção de busca de pontos turísticos da cidade de Curitiba e região, permitindo ao turista obter informações básicas sobre cada um deles.
- Fornecer a opção de obtenção de trajeto (rota) para determinado destino, dados sua posição atual e local desejado, seja ele pré-determinando ou não.
- Possibilitar ao turista visualizar o mapa sob diversos níveis de ampliação (*zoom+*, *zoom-*), bem como possibilitá-lo que efetue a configuração de diversas variáveis de ambiente (endereço do servidor, configuração de receptor GPS e portas de comunicação, etc.).

A relação entre o módulo cliente, e seus periféricos, com os módulos de

roteamento (banco de dados) e servidor de mapas é apresentada na Figura 8.

Para o desenvolvimento do módulo cliente, utilizou-se a linguagem C# em conjunto com o ambiente *Visual Studio Express*, como já previamente citado. Escolheu-se este ambiente devido ao fato da linguagem C# possuir semelhanças com o C++, além da vasta documentação, comunidades e grupos de discussão disponíveis da *Internet*. O Ambiente *Visual Studio Express* é dotado de interface intuitiva e poderosa, propiciando boa curva de aprendizado ao longo de seu uso.

O *software* do módulo cliente pode ser dividido, basicamente, em quatro partes: o de leitura e interpretação dos dados NMEA provenientes do periférico GPS conectado à serial do *laptop*, o de verificação de conexão com os servidores de mapas e roteamento através da *Internet*, o de solicitação e renderização de mapas sob demanda oriundos do servidor de mapas, e o de cálculo de roteamento.

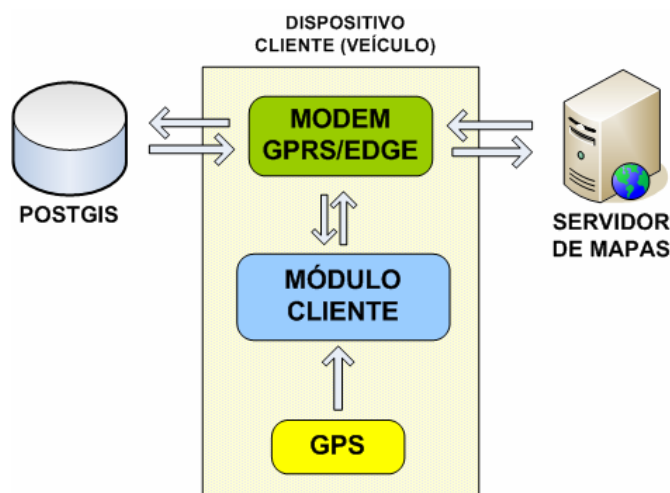


Fig. 8 - Relação entre o módulo (dispositivo) cliente e os módulos de roteamento (banco de dados PostGIS) e módulo de servidor de mapas.

4.2.1 Leitura e interpretação dos dados NMEA

Os dados provenientes do dispositivo GPS, através da conexão serial ao *Laptop*, são codificados no protocolo NMEA. Para se extrair os dados que interessam ao contexto do projeto e que serão exibidos na interface apresentada na Figura 9, é necessário que seja realizado o processamento das *strings* recebidas, atribuindo os valores lidos aos atributos da classe que as trata.

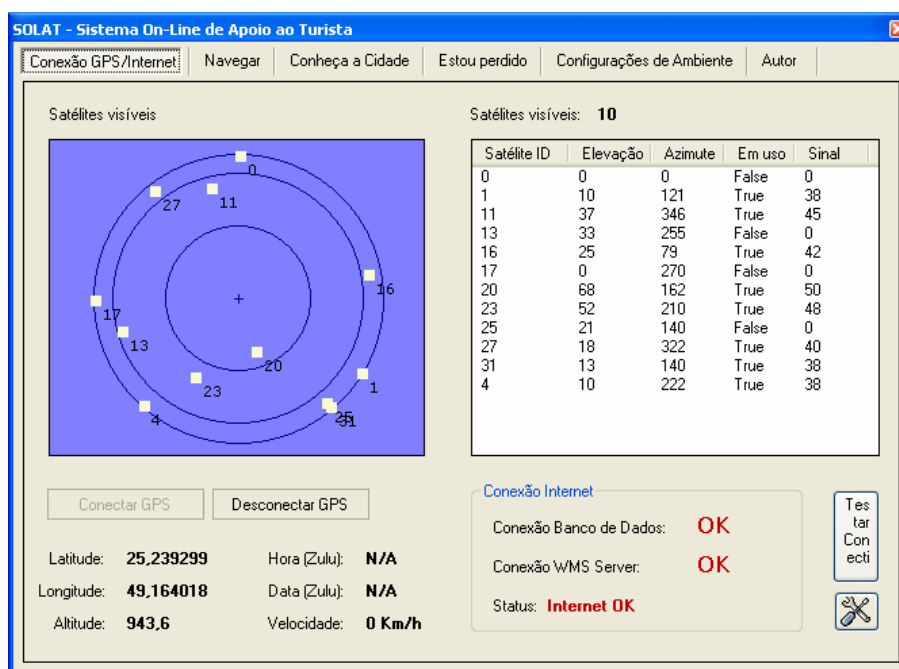


Fig. 9 - Exibição dos dados coletados do dispositivo GPS.

Na Figura 10 é apresentado o diagrama de classe da classe que trata os dados NMEA, a *NMEAProtocol*.

Após a coleta e tratamento dos dados com os métodos da classe NMEAProtocol, as coordenadas latitude e longitude são apresentadas no formato graus, minutos e segundos (decimal). Entretanto, toda a base georeferenciada de mapas utilizada no projeto utiliza o formato UTM fazendo-se necessário realizar uma conversão entre estes dois formatos.

Para esta conversão, elaborou-se a classe dec2utm que faz toda a conversão entre esses sistemas.

O diagrama de classe da classe dec2utm é apresentado na Figura 11.

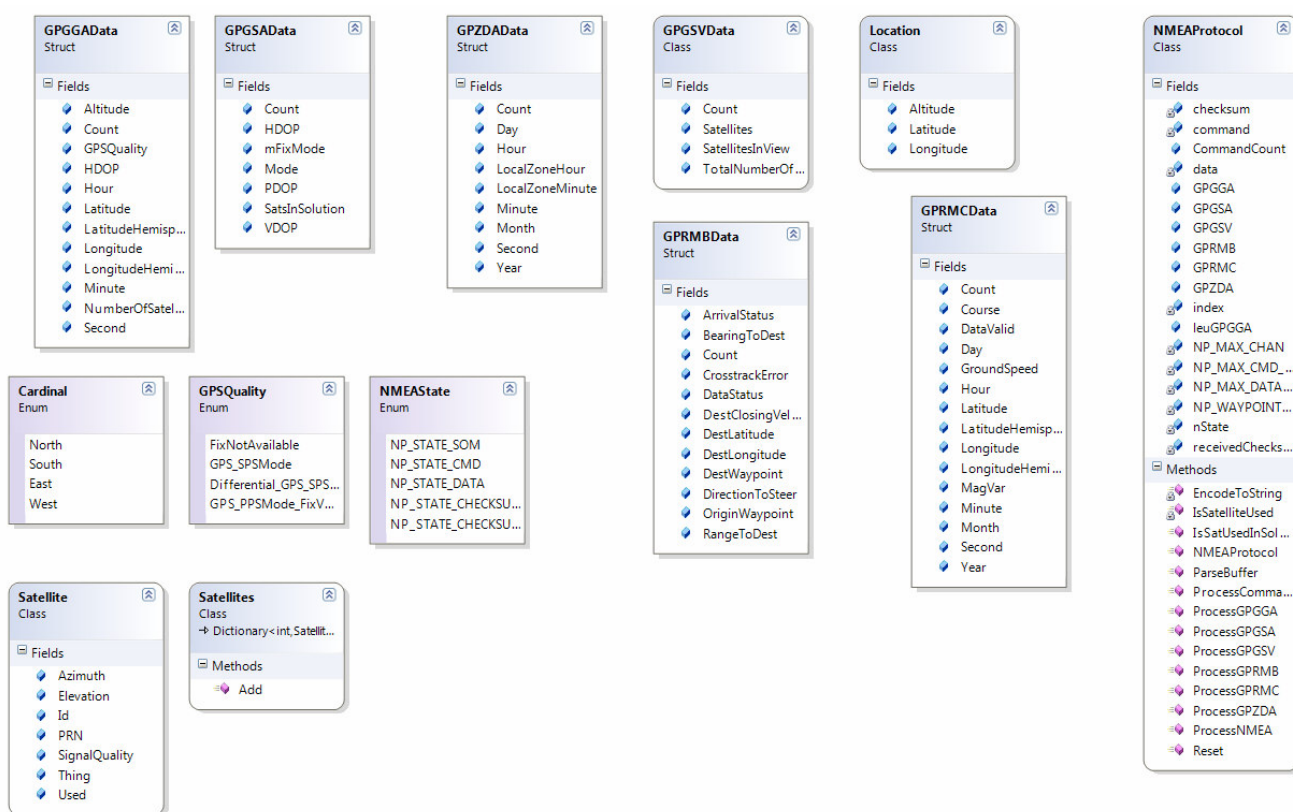


Fig. 10 - Diagrama de classe da classe NMEAProtocol

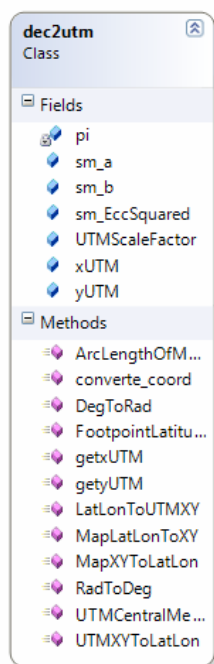


Fig. 11 - Diagrama de classe da classe `dec2utm`

4.2.2 Verificação de conexão com os módulos servidores

O estado da conexão com os servidores de mapa e roteamento são verificados constantemente com o intuito de monitorar a alcançabilidade a estes serviços. Isto é necessário devido à possibilidade de instabilidades e quedas de conexão com a *Internet*.

A verificação de alcance a estes serviços de dá através da funções presentes em bibliotecas da linguagem, com testes de conectividade a cada 2 segundos. Estas funções estão declaradas dentro da classe da aplicação.

As bibliotecas utilizadas estes testes de conectividade foram: `System.Net` e `System.Net.Sockets`.

4.2.3 Solicitação e renderização de mapas

O trabalho de solicitação e renderização dos mapas acontece sob demanda. Isso quer dizer que o mapa é carregado em pequenas porções, sempre de acordo com a localização geográfica atual do módulo cliente, assim como o níveis de *zoom* definido pelo usuário do dispositivo.

Em linhas gerais, apenas o mapa ao redor do cliente é solicitado ao servidor de mapas e carregado pelo sistema para que o processamento seja minimizado e a transferência de dados seja otimizada. Esta solicitação é disparada através de um evento que é chamado quando há alteração da posição geográfica do sistema.

Para a renderização dos mapas georreferenciados, conforme a Figura 12, é utilizado a biblioteca *OpenSource SharpMap*, de autoria do suíço Morten Nielsen. As características desta biblioteca são citadas na seqüência.

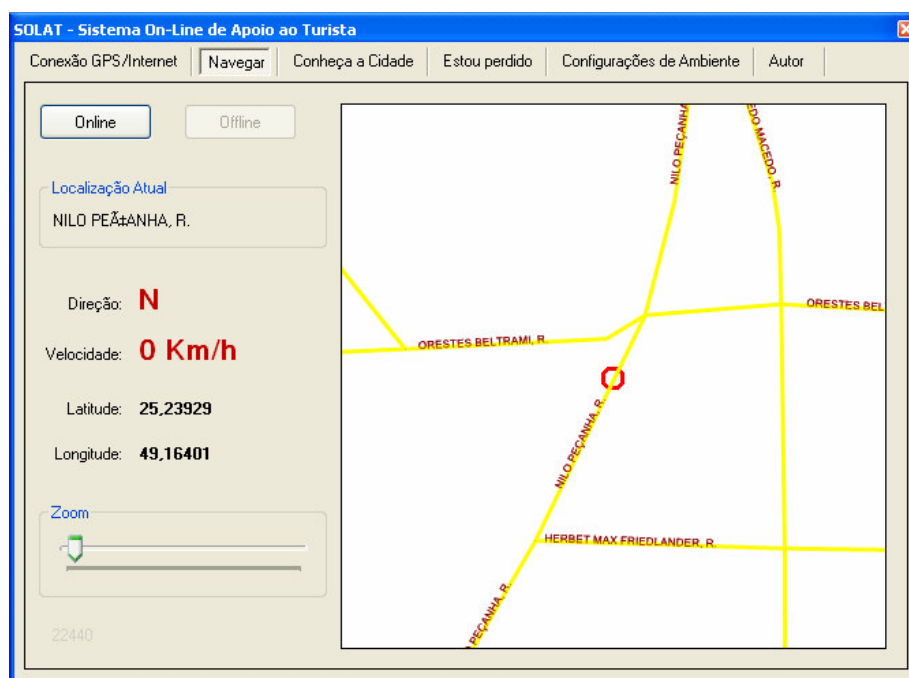


Fig. 12 - Mapa georreferenciado renderizado pela biblioteca SharpMap.

4.2.3.1 *SharpMap*

SharpMap é uma biblioteca escrita 100% em linguagem C#, com poderoso sistema de renderização de objetos georeferenciados, possui código aberto e está disponível sob a licença de uso GNU *Lesser General Public License*. Entre suas características e funcionalidades, podemos citar:

- Compatível com a plataforma .NET, incluindo C#, VB.NET and J#;
- suporte à PostgreSQL/PostGIS;
- suporte à ESRI *Shapefiles*;
- suporte à Microsoft SQL Server;
- suporte à Oracle;
- suporte à OleDb;
- suporte a camadas WMS (*WebMap Server*);
- suporte a imagens *raster* ECW e JPEG2000;
- suporte a Pontos, Linhas, Polígonos, Multi-Pontos, Multi-Linhas e Multi-Polígonos, *GeometryCollections* e outros;
- suporte à renderização de atributos como camadas;
- possibilidade de atuar como um WMS com poucas linhas de código;
- escrito completamente em C# .NET 2.0.

4.2.4 Roteamento

Entre os recursos presentes no módulo cliente está o cálculo de roteamento. Esta funcionalidade está disponível de duas maneiras para o usuário: cálculo de rota para pontos turísticos pré-determinados, conforma a Figura 13, ou cálculo de rota para endereços definidos pelo usuário do sistema.

Ambos os sistemas funcionam de forma semelhante, enviando uma solicitação ao banco de dados com a localização geográfica atual do dispositivo cliente e o destino desejado.

As funções do algoritmo de cálculo de rota (dijkstra) estão implementadas no servidor de banco de dados PostGIS, o chamado módulo de roteamento.

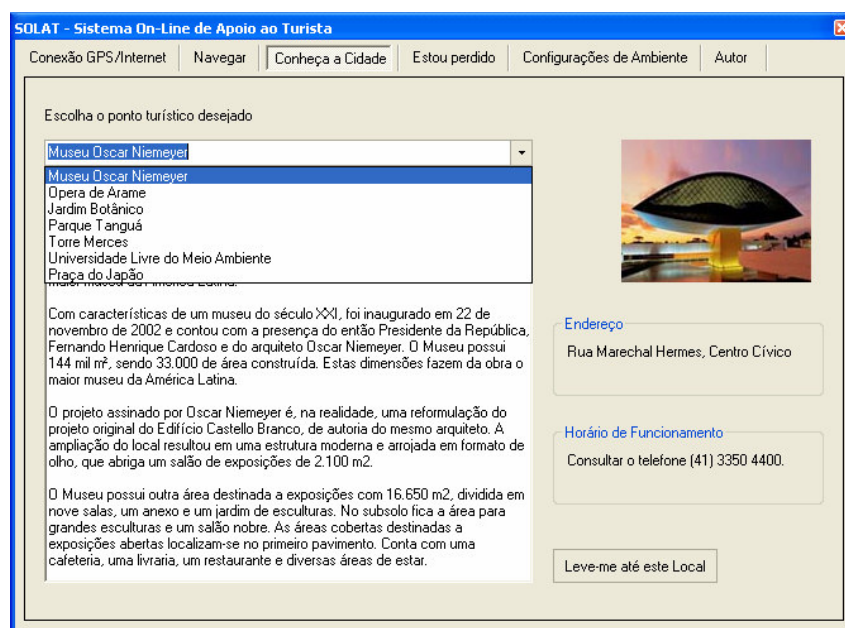


Fig. 13 - Cálculo de rota para pontos turísticos previamente determinados.

4.3 Módulo de servidor de mapas

O módulo de servidor de mapas é o responsável pelo fornecimento de mapas dinâmicos ao módulo cliente. Após a solicitação do módulo cliente por um novo mapa de acordo com sua localização geográfica, o servidor de mapas retorna uma imagem baseado nos parâmetros requisitados (camadas – *layers*, resolução, DATUM, tamanho e formato da imagem, entre outros).

Para este papel foram testados alguns servidores WMS, optando-se pelo WMS da universidade de Minossota, o UMN MapServer. Este WMS foi escolhido devido à boa quantidade de documentação existente, embora muitas delas sem bom índice de aprofundamento.

Este WMS está disponível tanto para ambiente Microsoft (Windows 2000, XP e 2003) quando para ambientes Linux e MacOS.

Devido à necessidade de diversos outros módulos para que este WMS opere corretamente (*Apache*, *PHP*, bibliotecas *libproj*, *libcurl*, *OGR*, *GDAL* e outros), optou-se por uma distribuição que já contempla todos os módulos e bibliotecas necessários para o correto funcionamento do servidor de mapas (WMS), a MS4W, disponibilizada gratuitamente em MAPTOOLS (2006).

A instalação desta distribuição é simples e basta apenas registrar o serviço para que o servidor de mapas em si inicie a operar.

Entretanto, é necessário configurar o arquivo de mapas (de extensão .map) para que os mapas desejados sejam ofertados pelo servidor WMS. Este trabalho envolve passos simples e o arquivo de mapas é apresentado abaixo:

```
MAP
  NAME quadra
  WEB
    METADATA
      "wms_title" "quadra"
      "wms_onlineresource" "http://200.250.222.81:5433/cgi-bin
                           /mapserv.exe?map=/ms4w/apps/quadra/quadra.map"
      "wms_srs" "EPSG:4326"
    END
  END
  PROJECTION
    "init=epsg:4326"
  END
  IMAGETYPE PNG
  SHAPEPATH "/ms4w/apps/quadra/data/"
  EXTENT 671000 7174000 671800 7174600
  SIZE 800 600
  IMAGECOLOR 255 255 255
  LAYER
    NAME quadra
    METADATA
      "wms_title" "quadra"
    END
    DATA quadra
    STATUS ON
    TYPE LINE
```

```

CLASS
  NAME      "quadra"
  STYLE
    COLOR    22 72 232
    OUTLINECOLOR 55 132 32
  END
END
END
LAYER
  NAME endereco
  METADATA
    "wms_title" "endereco"
  END
  DATA endereco
  STATUS      ON
  TYPE LINE
  LABELITEM 'nome_rua'
  CLASSITEM 'nome_rua'
  CLASS
    NAME      "endereco"
    STYLE
      COLOR    255 255 255
      OUTLINECOLOR 255 232 32
    END
    LABEL
      FONT arial
      SIZE MEDIUM
      COLOR 0 0 0
      OUTLINECOLOR 255 255 255
      MINDISTANCE 300
      ANGLE AUTO
    END
  END
END
END
END

```

4.4 Módulo de roteamento

O módulo de roteamento é basicamente composto de um banco de dados, o PostgreSQL, apresentado na Figura 14, com extensões de geoprocessamento (PostGIS). Estas extensões adicionam características que permitem o armazenamento de entidades georeferenciadas no banco de dados PostgreSQL.

Por padrão, o PostgreSQL já possui suporte à geometrias espaciais, porém as extensões PostGIS agregam ao banco de dados a capacidade de armazenamento e recuperação de dados georeferenciados de acordo com a especificação SFS (*Simple Features Specification*) do consócio OGC. O PostgreSQL é licenciado sob a GNU GLP (*General Public License*).

Complementando o ambiente de banco de dados, utilizou-se uma biblioteca de funções, adicional ao PostGIS, para o cálculo de roteamento. Esta biblioteca chama-se *pgdijkstra* e disponibiliza métodos de preparação da base de dados (gerando tabelas auxiliares definindo a relação entre cada objeto georreferenciados) na construção de um grafo não-orientado, a ser detalhado mais adiante.

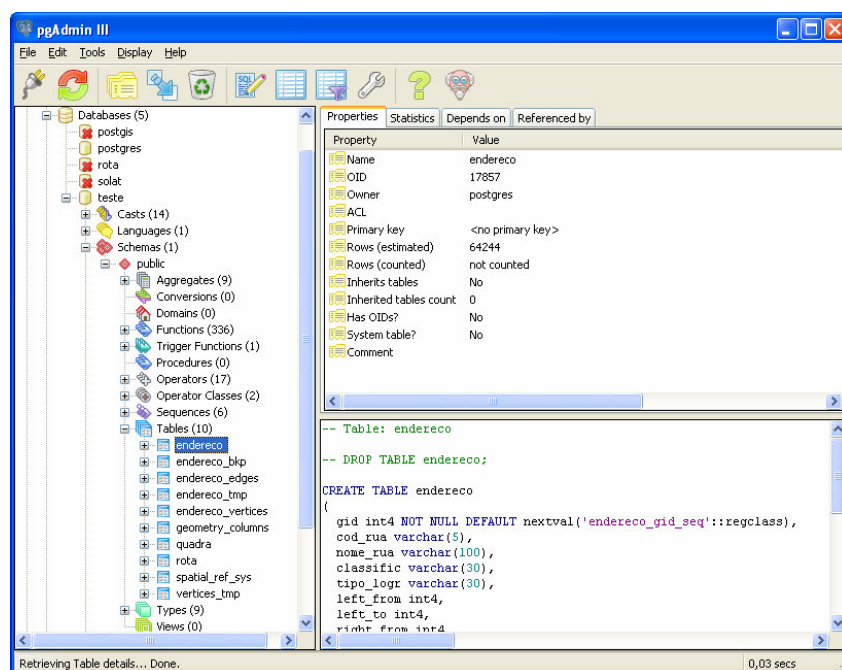


Fig. 14 - Interface de administração PostgreSQL.

Todo o processo de exportação e preparação da base de dados para tabelas do banco de dados PostgreSQL a partir de um arquivo *shapefile*, para atender os requisitos quando da utilização do recurso de roteamento, é descrito a seguir. Para este exemplo utilizaremos o usuário *unicenp* e o banco de dados *solat*.

- Primeiramente necessita-se criar um novo banco de dados:

```
createdb -U unicenp solat
```

```
password: <digitar a senha>
CREATE DATABASE
```

- No segundo passo, adiciona-se uma linguagem ao novo banco de dados:

```
createlang plpgsql -U unicenp solat
Password for user unicenp: <digitar a senha>
```

- Na seqüência, insere-se as funções de roteamento no banco de dados criado:

```
psql -U unicenp solat -f ``c:\temp\pgdijkstra\dijkstra.sql``
Password for user unicenp: <digitar a senha>
```

- Exporta-se os dados do arquivo *shapefile* utilizando o utilitário *shp2pgsql.exe*:

```
shp2pgsql c:\temp\ruas.shp ruas > ruas.sql
```

- Insere-se os dados no banco de dados:

```
psql -d solat -f ruas.sql
```

- Neste momento, faz-se necessário inserir três novos campos na tabela de dados importada: *source_id* (*int*), *target_id* (*int*), *edge_id* (*int*).

- Executa-se a seguinte função no banco de dados em questão:

```
SELECT assign_vertex_id('ruas', 0.1);
```

- Executa-se a função de geração das tabelas com o grafo:

```
SELECT create_graph_tables('ruas', 'int4');
```

- E, por fim, gera-se os pesos (distância) entre as adjacências:

```
SELECT update_cost_from_distance('ruas');
```

Ao fim destes passos, temos uma base de dados georeferenciados representada como um grafo não-orientado. Para calcular a rota entre dois pontos, utiliza-se a seguinte consulta SQL:

```
SELECT gid, astext(the_geom) FROM shortest_path_as_geometry
('ruas', 1372, 12483);
```

Neste exemplo, é realizada uma seleção dos objetos geográficos (geometrias) resultante do cálculo de rota entre os objetos, com identificação no banco de dados, de números 1372 e 12483. Para qualquer outro cálculo de rota, basta passar como parâmetros os *id* de origem e destino dos objetos geográficos existentes na tabela em questão. A Figura 15 mostra o resultado “crú” de um calculo de rota executado no banco de dados.

R..	gid (int4)	the_geom	nome_rua (varchar)
7	10675	010500000...	ÂNGELO PIAZZETTA, Trav.
8	10675	010500000...	ÂNGELO PIAZZETTA, Trav.
9	10692	010500000...	HUMBERTO MORONA, R.
10	10692	010500000...	HUMBERTO MORONA, R.
11	10692	010500000...	HUMBERTO MORONA, R.
12	10692	010500000...	HUMBERTO MORONA, R.
13	10694	010500000...	OYAPOCK, R.
14	10694	010500000...	OYAPOCK, R.
15	10694	010500000...	OYAPOCK, R.
16	10694	010500000...	OYAPOCK, R.
17	10736	010500000...	MANOEL V. DE OLIVEIRA MELLO, R.
18	10736	010500000...	MANOEL V. DE OLIVEIRA MELLO, R.
19	10736	010500000...	MANOEL V. DE OLIVEIRA MELLO, R.
20	10736	010500000...	MANOEL V. DE OLIVEIRA MELLO, R.
21	10737	010500000...	BR 116 (RÉGIS BITTENCOURT), Rod.
22	10737	010500000...	BR 116 (RÉGIS BITTENCOURT), Rod.
23	10737	010500000...	BR 116 (RÉGIS BITTENCOURT), Rod.
24	10737	010500000...	BR 116 (RÉGIS BITTENCOURT), Rod.
25	22807	010500000...	MANOEL V. DE OLIVEIRA MELLO, R.
26	22807	010500000...	MANOEL V. DE OLIVEIRA MELLO, R.
27	22807	010500000...	MANOEL V. DE OLIVEIRA MELLO, R.
28	22807	010500000...	MANOEL V. DE OLIVEIRA MELLO, R.

Fig. 15 - Exemplo de cálculo de rota executado diretamente no PostgreSQL.

4.5 Diagramas de Caso de Uso

Apresenta-se, na seqüência, o diagrama de caso de uso do *software* do módulo cliente:

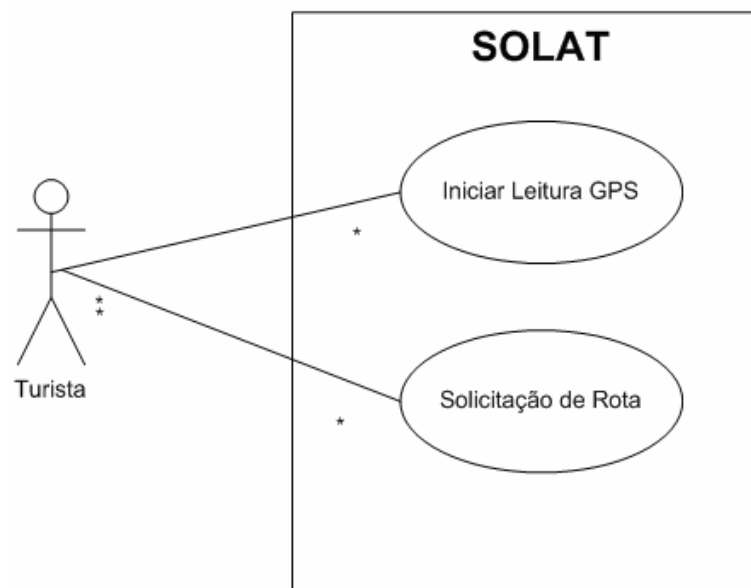


Fig. 16 - Diagrama de Caso de Uso do módulo cliente.

4.6 Diagrama de Classe do projeto principal

A Figura 17 apresenta o diagrama de classes do projeto principal.

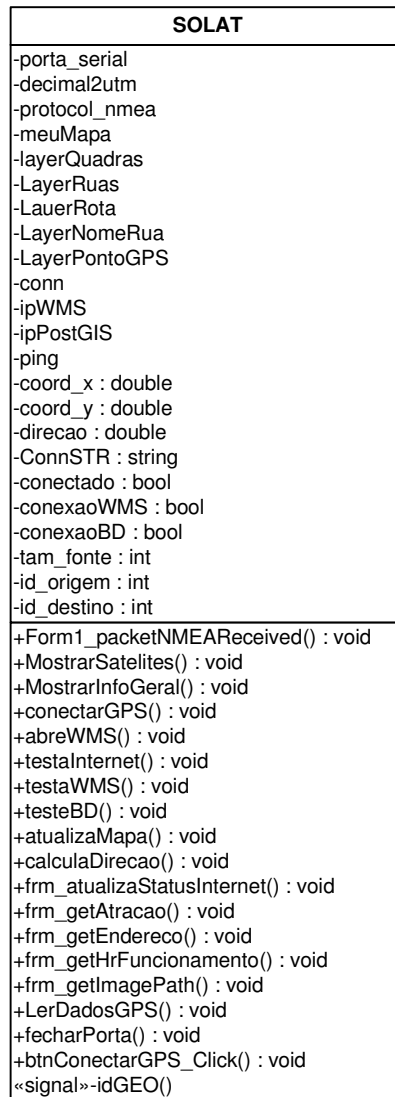


Fig. 17 - Diagrama de Classe do projeto principal.

5 TESTES E VALIDAÇÃO DO PROJETO

Os processos de teste e validação do projeto foram acontecendo gradualmente, visto que o tema do projeto envolve diversas tecnologias, permitindo que cada componente fosse testado e validado individualmente, agregando-o posteriormente a outros componentes do projeto ao longo de seu desenvolvimento.

Esta agregação de componentes gerou, na grande maioria das vezes, uma nova série de testes e validação para certificar-se que um determinado componente não degradaria ou influenciaria o desempenho e funcionalidade de outro.

A seguir são abordados os testes realizados para a validação de todos os componentes do projeto.

5.1 Testes e validação de *hardware*

Os testes de *hardware* foram os primeiros executados e, desde o início, nenhuma dificuldade explícita foi encontrada durante a fase de testes.

Tanto os testes de leitura de dados do dispositivo GPS, através da porta serial do *laptop*, quanto a de conectividade com a *Internet*, através do modem GPRS/EDGE, foram realizados sem problemas.

A utilização das bibliotecas da linguagem C# para acesso ao *hardware* da porta serial é dotada de diversos métodos e recursos e, portanto, permite que sejam desenvolvidas aplicações, que necessitem de acesso à porta serial, com bom desempenho e confiabilidade.

A velocidade utilizada para a leitura de dados da porta serial é de 4800 *bits* por segundo, 8 *bits* de dados, sem paridade, 1 *bit* de parada e nenhum controle de fluxo (4800-8N1).

A conexão do celular (modem) GPRS/EDGE se dá através de cabo USB próprio do fabricante. O cabo utilizado neste projeto foi o do fabricante Nokia, modelo DKU-3. A instalação de *driver* para o reconhecimento do *modem* no sistema operacional também é obrigatório.

Também foram realizados testes com dispositivo adaptador de porta USB para porta serial (RS232). O dispositivo utilizado era baseado em *chip* TUSB, da *Texas Instruments*, e os testes ocorreram sem problemas nem conflitos.

Entretanto, durante a fase de validação do projeto, constatou-se que a conexão de dados através da rede de telefonia celular GSM apresentava instabilidades durante a locomoção do veículo.

De acordo com a dinâmica dos testes, levantou-se a hipótese de que estas instabilidades são decorrentes da troca de antena ao qual o sistema está sujeito, pois, de forma transparente, o *modem* GPRS/EDGE procura e verifica, constantemente, a ERB (estação rádio-base) de melhor sinal ao seu alcance.

Nesta suposta troca de ERB, a comunicação é interrompida por alguns instantes (cerca de 2 a 20 segundos), sendo restabelecida, na grande maioria das vezes, sem nenhuma intervenção por parte do usuário do sistema.

Da mesma forma, presenciou-se que algumas regiões da cidade de Curitiba apresentam mais instabilidades do que outras. A mesma situação acontece com o horário de utilização da rede de telefonia celular para a transmissão de dados, onde, durante a madrugada, verificou-se que o

comportamento de sistema em relação à conexão de dados é extremamente satisfatória (região central da cidade).

Estas instabilidades chegaram a afetar os testes do sistema em algumas situações, onde as solicitações de cálculo de roteamento ao módulo de roteamento (banco de dados) não eram corretamente processadas sob conexões instáveis (veículo em movimento). Contudo, as mesmas requisições eram processadas perfeitamente quando o ambiente era simulado em laboratório, ou em outros horários e condições de menor utilização da rede.

5.2 Teste e validação de *software*

Os testes de *software* se iniciaram com a escolha da linguagem e ambiente de desenvolvimento. Optou-se pelo *Microsoft Visual C# Express* pela boa curva de aprendizado oferecida, forte semelhança, em muitos aspectos, da linguagem C# com a linguagem C++, e preenchimento de vários requisitos para projeto.

Outro ponto importante na decisão foi o fato desta plataforma ser totalmente gratuita. Outros ambientes de desenvolvimento testados: *Borland Builder C++*, *Sun Java Studio Creator* e *Eclipse Java*.

Após a definição da linguagem e ambiente de desenvolvimento, iniciou-se uma imersão na plataforma com o objetivo de se familiarizar com os recursos de compilação, *debug* e edição, bibliotecas, estrutura da linguagem e organização de projeto.

Paralelamente ao ambiente de desenvolvimento, foram pesquisadas as tecnologias e padrões existentes pertinentes ao projeto, de forma a se interar de

todos os componentes que poderiam vir a fazer parte da aplicação como um todo.

Optou-se pela utilização de um servidor de mapas (WMS) existente devido ao fato de que o tempo para o desenvolvimento de um servidor WMS tornaria o projeto impraticável.

Também optou-se pelo banco de dados PostgreSQL, com extensões PostGIS, devido à sua robustez, abundância de documentação, capacidade de execução de funções (*procedures*) no próprio banco, licença de uso GNU GPL, entre outros. A adoção deste banco de dados foi, talvez, um dos fatores que mais contribuíram no sucesso do projeto. Entretanto, o seu aprendizado básico foi mais oneroso que o esperado.

Todos os testes de cada componente do sistema eram cuidadosamente realizados para se ter certeza de que a integração com outros módulos aconteceria da maneira mais correta possível.

No módulo cliente, os testes com a biblioteca *SharpMap* demandaram muito estudo e tempo, haja visto que algumas situações de erro eram presenciadas e, por se tratar de um projeto ainda em desenvolvimento, o *SharpMap* ainda apresentava *bugs*. Por se tratar de um projeto com código aberto, foi possível realizar customizações na biblioteca *SharpMap* de forma a adaptá-la às necessidades deste projeto em questão.

Ainda no mesmo módulo, o desenvolvimento das classes de leitura e processamento dos dados, codificados sob o protocolo NMEA, provenientes do dispositivo GPS aconteceu sem maiores dificuldades, embora o trabalho de decodificação de cada sentença NMEA tenha razoavelmente trabalhosa.

As rotinas de teste de conectividade com a *Internet* demandaram estudos de bibliotecas da linguagem C#, e, neste item, verificou-se que os métodos utilizados no projeto, embora eficientes, já estão descontinuados. Para os teste

de conectividade, são utilizados dois passos: o primeiro é um requisição do tipo icmp e, em caso de sucesso na resposta, o segundo passo é acionado e é realizado uma tentativa de conexão na porta TCP dos serviços necessários (BD e WMS).

Devido à concepção da idéia do projeto, as requisições aos servidores de mapa e roteamento com as leituras de dados do GPS acontecem de forma assíncrona. Para garantir o correto funcionamento do módulo cliente e seus componentes, foi utilizado recurso de “processamento paralelo”, as chamadas *threads*.

Para a validação de cada item, simulou-se primeiramente um ambiente próximo ao que seria encontrado na solução final, seguinte de testes elaborados de acordo com o que seria encontrado na aplicação definitiva (testes com o veículo em movimento):

- Para a validação da classe GPS, simulou-se várias horas de navegação com o aparelho GPS V do fabricante Garmim, com inúmeras verificações de precisão e consistência dos dados, não sendo reportado nenhum problema.
- Para a validação da biblioteca de renderização de mapas, a *SharpMap*, utilizou-se o mesmo ambiente de simulação GPS renderizando mapas a partir de arquivos *shapefile*, PostGIS e WMS, com processos rodando em *Threads* distintas.
- Os testes iniciais e validação do banco de dados PostgreSQL, e suas funções de roteamento, foram realizadas dentro do próprio ambiente do servidor, onde foi possível simular as consultas e execução de funções para o cálculo das rotas.
- O servidor de mapas exigiu bom estudo para a sua correta configuração como WMS e, após a correta configuração do servidor, iniciou-se em laboratório os testes de requisição de mapa sob demanda para o servidor de mapas. Muitos ajustes se fizeram

necessários tanto do lado do cliente quando do lado do servidor, e o resultado atual pode ser melhorado.

- Em inúmeras vezes a integração entre os módulos foi testada no ambiente final, ou seja, no veículo com todos os componentes finais da solução. Esses testes aconteciam após a realização de testes em laboratório e serviam como base para eventuais ajustes pertinentes à aplicação.

Após a integração de todos os módulos pertencentes à solução, foram realizadas cerca de 15 horas de testes em ambiente para o qual a aplicação foi projetada (veículo em movimento, diversas regiões da cidade).

Cerca de 55 MB (Megabytes) de dados foram transferidos ao longo dos testes através da rede de telefonia celular, não se limitando somente à este meio. Para efeito comparativo, cada mapa carregado sob demanda do servidor de mapas possui um tamanho de aproximadamente 2 a 4 KB (Kilobytes).

6 CONCLUSÃO

Embora extremamente poderoso, verificou-se que o banco de dados PostgreSQL, com extensões PostGIS, se mostrou lento quando comparado à leitura de arquivos *shapefile* ou até mesmo de mapas obtidos de um servidor de mapas. Entretanto, o PostgreSQL é, sem dúvida, uma excelente ferramenta para a análise de dados geográficos relacionados, recurso estes disponíveis em arquivos *shapefile* somente em aplicativos comerciais de elevado custo. Sem o PostgreSQL e a biblioteca pgdijkstra, as funcionalidades de roteamento não existiriam neste projeto.

Utilizando as tecnologias GPRS/EDGE presentes nas redes de telefonia celular GSM, notou-se que algumas interrupções na transmissão de dados

ocorrem quando o veículo encontra-se em movimento, o que de certa forma prejudica o perfeito funcionamento do módulo cliente. O tratamento de algumas exceções precisa ser aperfeiçoado de forma que estas instabilidades na rede de telefonia celular sejam transparentes ao usuário.

Inúmeras dificuldades surgiram ao longo do projeto, muitas delas solucionadas com muita pesquisa, trabalho e testes. Estas dificuldades aconteceram em diversas etapas do projeto com quase todos os recursos utilizados, pois o comportamento de uma determinada funcionalidade nem sempre era da maneira necessária para o correto funcionamento entre os módulos.

O descobrimento de que o padrão OGC para os *Web Map Services* poderia ser utilizado no projeto demandou muita pesquisa e trabalho, e a utilização da distribuição MS4W para o WMS da universidade de Minnessota foi algo que minimizou o trabalho demandado por este recurso. A configuração do arquivos de mapa foi algo oneroso devido ao grau de detalhamento exigido pelo servidor UMN *Mapserver*.

Embora o projeto tenha atingido um bom nível de desenvolvimento e exploração das tecnologias e padrões existentes, ainda há muito a ser melhorado. Há a necessidade de aperfeiçoamentos na interface com o usuário, de forma a tratar todas as exceções internas do *software* oriundas das instabilidades da conexão de dados através da rede de telefonia celular.

Da mesma forma, a migração para um ambiente embarcado é algo que pode e deve ser explorado, justamente por se tratar de um dispositivo que tem como objetivo estar alocado em um veículo. A plataforma Microsoft .NET *Compact Framework* se torna uma opção interessante neste caso, bem como os sistemas operacionais *Windows Mobile*, da Microsoft. A utilização de *hardware* embarcado para a transmissão de dados pela rede de telefonia celular e

recepção de GPS também pode ser adotada, embora a disponibilidade de opções de mercado seja limitada e de elevado custo.

Com a disseminação pelo mundo de diversos serviços WMS (destaque para os EUA e parte da Europa), o dispositivo aqui apresentado possui potencial de proporcionar a qualquer turista em inúmeros locais no mundo a capacidade de dispor de um sistema auxiliar de navegação veicular único, bastando apenas referenciar o sistema para a utilização de um outro servidor WMS.

7 REFERÊNCIAS

- ADAMS, L. J.; AXELRAD, P.; BOSSLER, J. D. ***The Global Positioning System: A Shared National Asset***. National Academy Press. Washington, D.C.1995.
- CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. Tese (doutorado) – Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1995.
- CARTOWEB. **Advanced Geographical Information System for the Web**. On-Line (<http://cartoweb.org>). Junho de 2006.
- DPI. **Department of Primary Industries**. Victoria, Austrália. On-Line (<http://www.dpi.vic.gov.au>). Agosto de 2006.
- GARMIN. **Manual de Operação do receptor GPS V Deluxe**. On-Line (<http://www.garmin.com>). Fevereiro de 2006.
- GEOMINAS. **Glossário de Geoprocessamento e Cartografia**. On-line. (<http://www.geominas.mg.gov.br>). Agosto de 2006
- GORGULHO, Miguel. **Apostila GPS**. On-Line (<http://www.planetacelular.com.br/gps.htm>). Março de 2006.
- GPS BRASIL. **Registro Brasileiro de Coordenadas: Waypoints - GPS (Global Positioning System)**. On-Line (<http://www.barretos.com.br/gps>). Março de 2006.
- GPSINFORMATION.NET. **GPS Receiver Information, Software, and Hardware Reviews of Garmin, Lowrance, Magellan and other GPS Receivers:.** On-Line (<http://gpsinformation.net/>). Maio de 2006.
- IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**: Manual Técnico do IBGE. IBGE, 1999
- JUNIOR, Archimedes A. R.. **Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistema de Informações Geográficas**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, 2000.
- KRUKLIS, S. **Sistema de localização via GPS para plataforma Pocket PC**. Monografia. Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas – NCET. Centro Universitário Positivo – UnicenP. Curitiba, 2005.
- LIMA, Alessandro V. F. **P2P, LBS e Comunidades Virtuais: Os Ingredientes**

para Aplicações Inovadoras em Sistemas 3G. Centro de Informática. Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2005.

MAPTOOLS. **GIS Resources.** *On-Line* (<http://www.maptool.org/ms4w>). Agosto de 2006.

MARTYNYSZYN, João Miguel. **Sistema de Rastreamento Veicular GPS com comunicação SMS.** Monografia. Núcleo de Ciências Exatas e Tecnológicas – NCET. Centro Universitário Positivo – UnicenP. Curitiba, 2004.

PEREIRA, Marconi de Arruda. **Uma Implementação do serviço WMS sob a Biblioteca TerraLib.** Tese. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RIO. Rio de Janeiro, 2004.

SANTOS, António José D. F. G., **Localização de Comboios via Rádio.** Departamento de Telecomunicações. Universidade de Aveiro. Portugal, 2003

THORTON, JONATHAN. **Apostila sobre GPS.** São Paulo. 1997.

TUDE, Eduardo. **Conceitos básicos do General Packet Radio Services.** Instituto Militar de Engenharia - IME. *On-Line* (<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgps/>). Abril de 2006.

WIKIPEDIA. **Enciclopédia Online.** *On-Line.* (<http://wikipedia.org>). Julho de 2006.

GLOSSÁRIO

Arquivo vetorial - Arquivo gráfico cujas informações estão armazenadas sob a forma vetorial, ou seja, por coordenadas formando pontos, linhas e polígonos. GEOMINAS (2006).

ASCII - *American Standart Code for Information Interchange*. Tabela de códigos de oito bits estabelecida pelo *American National Standart Institute* (ANSI), para todos os caracteres do teclado do computador. Define um padrão para equipamentos de computação. GEOMINAS (2006).

Banco de dados - Conjunto de dados organizado de maneira lógica, ou seja, numa sequência que permite acesso rápido e simples. GEOMINAS (2006).

Dados vetoriais - Conjunto de vetores que permitem formar pontos, linhas ou linhas fechadas (poligonais). GEOMINAS (2006).

Datum - Superfície de referência para controle horizontal (X,Y) e vertical (Z) de pontos. GEOMINAS (2006).

Fuso UTM - Zona de projeção delimitada por dois meridianos cuja longitude difere de 6 graus e por dois paralelos de latitude 80 graus, Norte e Sul. GEOMINAS (2006).

Geoprocessamento - Conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, desenvolvimento e uso de informações georeferenciadas. GEOMINAS (2006).

GIS - *Geographic Information System*. Sistema de Informação Geográfica. Sistema de computador composto de *hardware*, *software*, dados e procedimentos, construído para permitir a captura, gerenciamento, análise,

manipulação, modelamento e exibição de dados referenciados geograficamente para solucionar, planejar, gerenciar problemas. GEOMINAS (2006).

GPS - *Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global. Sistema criado para navegação, utilizando sinais emitidos por satélites artificiais. Suas aplicações incluem navegação e posicionamento no mar, no ar e sobre a superfície terrestre. GEOMINAS (2006).

GPRS - *General Packet Radio Service*. Tecnologia de transmissão de dados pela telefonia celular que provê aumento na velocidade de transmissão dos dados para acesso à *Internet*. É uma evolução da tecnologia celular GSM (*Global System for Mobile Communications*). GEOMINAS (2006).

GSM - *Global System for Mobile Communications*. Sistema de celular digital baseado em divisão de tempo. Permite a troca de dados do usuário entre telefones. GEOMINAS (2006).

Latitude - Ângulo entre o plano do horizonte e o eixo de rotação da Terra; isto é, de forma simplificada, a distância em graus de um dado ponto da superfície terrestre à linha do Equador. A latitude vai de 0° a 90° tanto para o Norte como para o Sul. GEOMINAS (2006).

Longitude - Ângulo entre o plano de um meridiano qualquer e o plano do Meridiano de Greenwich, isto é, de forma mais simplificada, a distância em graus de um dado ponto da superfície terrestre ao Meridiano de origem (Greenwich). A Longitude vai de 0° a 180° para o Leste e para o Oeste. GEOMINAS (2006).

Nível de informação ou Layer - Separação ou distinção do conjunto de entidades gráficas de um desenho que guardam uma relação de atributo. *Layer*. GEOMINAS (2006).

Pixels - Abreviatura de "*picture elements*", elementos formadores das estruturas raster, definidos por linhas verticais e horizontais espaçadas regularmente. GEOMINAS (2006).

Projeção - Maneira pela qual a superfície da Terra é representada em superfícies bi-dimensionais, procurando-se minimizar a distorção em área, distância e direção. GEOMINAS (2006).

Quadriculado UTM - Sistema de quadriculado cartográfico, baseado na projeção transversa de Mércator, destinado às cartas da superfície terrestre até as latitudes de 84º N e 80º S. GEOMINAS (2006).

Quarta - Cada uma das 32 divisões da rosa-dos-ventos que são obtidas com a subdivisão ao meio das 16 meias-partidas. Como cada meia-partida vale 22° 30', cada quarta vale 11° 15'. Medida de superfície equivalente a 37,1 ares; medida de capacidade equivalente a 90,7 l. GEOMINAS (2006).

Roteamento - Sistema de rotas ou trajetos ideais entre pontos de uma carta. Ex.: os caminhos seguidos pelos caminhões de coleta de lixo de uma cidade. GEOMINAS (2006).

UTM - *Universal Transverse Mercator*. Sistema de coordenadas planas que circulam o globo baseado em 60 zonas de tendência, no sentido norte-sul, cada uma com 16 graus de largura de longitude. GEOMINAS (2006).

Vetor - Segmento de linha reta, com o tamanho normalmente representado pelos pares de coordenadas dos pontos extremos. Dados vetoriais referem-se a dados em forma tabular com uma dimensão. GEOMINAS (2006).

Vetorização - Processo de geração de arquivos gráficos com dados vetoriais, utilizando softwares de CAD ou *softwares* de interpretação de imagens digitais

em formato *raster* (vetorização automática). GEOMINAS (2006).

X - Coordenadas - Distâncias este-oeste, também chamadas abcissas. GEOMINAS (2006).

Y - Coordenadas - Distâncias norte-sul, também chamadas ordenadas. GEOMINAS (2006).

Zona de projeção - Região do elipsóide de referênica normalmente representada por um sistema de projeção, de modo que as alterações de projeção, de modo que as alterações de projeção ficam fracas. A superfície pode ser estendida além dos limites normais a fim de assegurar o reconhecimento parcial de outras áreas contíguas. GEOMINAS (2006).