



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16642-NTC/380

**PROCEDIMENTOS INICIAIS VISANDO À
OPERACIONALIZAÇÃO DA ASSIMILAÇÃO DE IWV
PROVENIENTES DE REDES DE RECEPTORES GPS
NO BRASIL**

Éder Martins da Silva
Luiz Fernando Sapucci

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/01.07.10.43>>

INPE
São José dos Campos
2009

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:

Presidente:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a significativa contribuição do meteorologista Fábio Luiz Rodrigues Diniz, pelo desenvolvimento de grande parte dos resultados aqui apresentados, quando o mesmo esteve no CPTEC durante o período de estágio de seu curso de graduação no primeiro semestre de 2009. Agradecimentos especiais são dados a Fundação de apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo N. 2006/04008-2, pelo apoio financeiro a esse trabalho e ao Ministério de Ciências e Tecnologia pelo auxílio financeiro na forma de bolsa PCI (Programa de Capacitação Institucional), Processo N. 383725/09-7.

RESUMO

O vapor d'água atmosférico é altamente variável em quantidade, variando significativamente no tempo e no espaço. Sua presença é absolutamente indispensável para toda a espécie de vida na Terra. Sua medição com precisão usualmente é feita empregando equipamentos especiais tais como radiômetros e radiossondas. Devido ao alto custo da utilização desses equipamentos, o monitoramento não é feito com a continuidade temporal que a meteorologia e a climatologia necessitam. A utilização de receptores GPS para esta tarefa tem se mostrado ser uma boa alternativa, empregando-se as várias redes de receptores de coleta contínua já existentes e que foram implantadas com o intuito de expandir as potencialidades do GPS. Nos últimos anos muitas regiões no mundo, tais como os EUA, o Japão e a Europa têm investido na expansão das redes de receptores GPS visando as mais variadas aplicações, dentre elas a quantificação do vapor d'água atmosférico (*Integrated Water Vapor - IWV*). Visando a operacionalização futura dos dados coletados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) este trabalho apresenta um estudo para verificar a disponibilidade de medidas de variáveis atmosféricas nas proximidades das estações GPS dessa rede. Através do levantamento das estações meteorológicas, pertencentes às mais variadas instituições, localizadas próximas das estações GPS, observa-se que enquanto em alguns locais há estações adequadas para este fim, em outros existe uma carência das mesmas, necessitando-se assim da instalação de estações apropriadas. Adicionalmente a este estudo, comparações entre valores de pressão de estações automática e convencional localizadas próximas às estações GPS são apresentadas. Os resultados obtidos mostram que enquanto há estações onde esses valores são consistentes, há outras em que as diferenças são significativas, as quais requerem estudos adicionais.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estações GPS localizadas sobre o território brasileiro, nas quais as estimativas do Z_{TD} estão sendo geradas operacionalmente.	14
Figura 2 – Estação Automática A835 plotada no <i>site</i> do INMET.....	21
Figura 3 – Diferença entre a localização da Estação Automática A835.....	22
Figura 4 – Séries temporais das medidas de pressão atmosférica obtidas nas estações: convencional SYNOP (cruzes em vermelho) e automática do INMET (círculos em azul) localizadas na cidade de Curitiba (PR) no mês de agosto de 2008.	24
Figura 5 – Séries temporais das medidas de pressão atmosférica obtidas nas estações: convencional SYNOP (cruzes em vermelho) e automática do INMET (círculos em azul) localizadas na cidade de Curitiba (PR) no mês de janeiro de 2009.	25
Figura 6 – Séries temporais das medidas de pressão atmosférica obtidas nas estações: convencional SYNOP (cruzes em vermelho) e automática do INMET (círculos em azul) localizadas na cidade de Presidente Prudente (SP) no mês de agosto de 2008.....	26
Figura 7 – Séries temporais das medidas de pressão atmosférica obtidas nas estações: convencional SYNOP (cruzes em vermelho) e automática do INMET (círculos em azul) localizadas na cidade de Presidente Prudente (SP) no mês de janeiro de 2009.....	27
Figura B.1 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Belém (PA).	37
Figura B.2 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Brasília (DF).	38
Figura B.3 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Vitória (ES).	38
Figura B.4 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Cuiabá (MT).	39

Figura B.5 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Ilha Solteira (SP).	39
Figura B.6 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Imbituba (SC).	40
Figura B.7 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Lins (SP).....	40
Figura B.8 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Macapá (AP).	41
Figura B.9 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Belo Horizonte (MG).....	41
Figura B.10 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Campo Grande (MS).	42
Figura B.11 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Cananéia (SP).....	42
Figura B.12 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Rio de Janeiro (RJ).....	43
Figura B.13 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Ourinhos (SP).....	43
Figura B.14 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Porto Alegre (RS).	44
Figura B.15 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Porto Velho (RO).....	44
Figura B.16 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de São Paulo (SP).....	45
Figura B.17 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Presidente Prudente (SP).....	45
Figura B.18 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Rio Branco (AC).	46
Figura B.19 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Campo dos Goytacazes (RJ).	46

Figura B.20 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Natal (RN).	47
Figura B.21 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Salvador (BA).	47
Figura B.22 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de São José do Rio Preto (SP).	48
Figura B.23 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Santa Maria (RS).	48
Figura B.24 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Curitiba (PR).	49
Figura B.25 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Ubatuba (SP).	49
Figura B.26 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Maringá (PR).	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista das estações GPS nas quais as estimativas do ZTD estão sendo geradas operacionalmente.....	12
Tabela 2 – Estações GPS e Meteorológicas próximas.	18
Tabela 2 – Estações GPS e Meteorológicas próximas. (<i>Conclusão - Continuação</i>)	19

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IWV	Integrated Water Vapor
GPS	Global Positioning System
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS
ZTD	Zenithal Tropospheric Delay
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SYNOP	Surface Synoptic Observations
PNT	Previsão Numérica de Tempo
MWR	MicroWave Radiometer
ZWD	Zenithal Wet Delay
ZHD	Zenithal Hydrostatic Delay
IGS	International GPS Service
NASA	National Aeronautics and Space Administration
BDM	Banco de Dados Meteorológicos
WMO	World Meteorological Organization
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
METAR	Meteorological Aerodrome Report
REDEMET	Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica
<i>Gempak</i>	General Meteorology Package
KML	Keyhole Markup Language
HTML	HyperText Markup Language
XML	Extensible Markup Language
DP	Desvio Padrão
RMS	Root Mean Square
FORTRAN	IBM Mathematical Formula Translation System

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.2 Objetivos do trabalho	3
1.3 Conteúdo do trabalho	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. O Atraso Zenital Troposférico	4
2.2. Estimativa do Z_{TD} usando dados GPS	6
2.3 Conversão de valores do Z_{TD} em estimativas do IWV	7
2.4 Coleta de valores da pressão atmosférica nas estações GPS	8
3. LEVANTAMENTO DAS APROPRIADAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS... 9	
3.1. Dados disponíveis e metodologia aplicada.....	10
3.2. Resultados obtidos:	14
4. ESTUDO SOBRE A CONSISTÊNCIA DAS MEDIDAS DE PRESSÃO DE DIFERENTES ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	23
4.1 Curitiba	23
4.2 Presidente Prudente	25
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
APÊNDICE A	35
APÊNDICE B.....	37

1. INTRODUÇÃO

Diversas variáveis são freqüentemente assimiladas em um modelo de PNT (Previsão Numérica do Tempo) com o objetivo de obter um estado inicial que melhor represente a realidade física da atmosfera. A assimilação do IWV (*Integrated Water Vapor*) em um modelo de PNT apresenta um benefício potencial que é corrigir a estrutura vertical do vapor d'água, e, por conseqüência, gerar um melhor estado inicial para o processo.

O GPS (*Global Positioning System*) consiste de uma constelação de satélites que transmitem sinais de rádio frequência para um grande número de usuários equipados com receptores GPS para fins de navegação, para determinação do tempo e para posicionamento geodésico, dentre outras aplicações (SAPUCCI, 2001). Ainda segundo Sapucci (2001), sua utilização para a determinação do IWV é possível porque os sinais sofrem influências do vapor d'água presente na troposfera ao se propagarem através da mesma. Esta influência resulta em um atraso, denominado atraso zenital troposférico (Z_{TD} -*Zenithal Tropospheric Delay*), que pode ser estimado a partir das observações realizadas por receptores GPS. Uma forma eficiente de se monitorar dados desta natureza é empregar redes ativas de monitoramento contínuo dos sinais GPS, como, por exemplo, a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS) (FORTES, 1997). O aproveitamento da infra-estrutura implantada, inicialmente para fins geodésicos na quantificação do IWV é uma prática que já vem sendo explorada em diversos países, como por exemplo, nos EUA (BEVIS et al., 1992; DUAN et al., 1996; WARE et al., 1997; ROCKEN et al., 1997), na Suécia (EMARDSON, 1998), no Japão (TSUDA et al., 1998), na Alemanha (REIGBER et al., 2001; MAREL 2001) e na Itália (PACIONE et al., 2001a), entre outros. Com as redes ativas de receptores GPS é possível monitorar de forma contínua o IWV com alta resolução temporal, como a obtida com os radiômetros de microondas (MWR- *MicroWave Radiometer*), porém com custos relativamente baixos, beneficiando-se assim as atividades desenvolvidas nas Ciências Atmosféricas.

Nos mais importantes centros de previsão de tempo, testes com a assimilação dos valores provenientes das observações GPS têm sido realizados nos últimos anos. O objetivo destes testes é verificar o potencial desse tipo de informação na PNT. O desenvolvimento de uma metodologia apropriada para a inclusão de valores do IWV em modelos de PNT de mesoescala (KUO et al., 1993) tornou possível a assimilação dessa informação proveniente das mais variadas fontes, tais como: satélites sondadores de umidade (SMITH, 1983); o *Raman Lidar* (MELFI et al., 1989); o radiômetro de microondas (HOGG et al., 1983); e valores do IWV-GPS (BEVIS et al., 1992), entre outras.

Com relação aos valores do IWV-GPS, experimentos que simulavam a assimilação em modelos de PNT foram realizados com a inclusão de valores tanto do IWV (PACIONE et al., 2001b; REIGBER et al., 2001), como do Z_{TD} (HIGGINS, 1999; CUCURULL et al., 2001). Em outros trabalhos, valores do IWV-GPS foram utilizados para validar sistemas de PNT (YANG et al., 1999; CUCURULL et al., 2000).

Para que uma determinada estação GPS seja empregada na PNT, há duas exigências principais quanto à configuração utilizada na coleta, armazenamento e processamento dos dados. A primeira é que as estimativas do Z_{TD} devem ser obtidas quase que em tempo real e a segunda é que, para os valores do IWV serem obtidos com alta qualidade, devem ser feitas observações de temperatura e pressão atmosférica próximo à antena GPS. A taxa de coleta dessas informações deve ser igual à taxa com que se deseja obter os valores do IWV.

A quantificação do IWV necessita que os receptores GPS estejam suficientemente próximos das estações meteorológicas para que, após ter sido gerada a estimativa do atraso zenital troposférico, esta seja convertida em valores do IWV ao utilizar os dados provenientes dos sensores meteorológicos. Para que este processo gere resultados satisfatórios a distância entre as antenas GPS e as estações meteorológicas deve ser a mínima possível. Por esta razão faz-se necessário um levantamento das estações meteorológicas já existentes nas proximidades dos receptores GPS de maneira a minimizar os erros na obtenção operacional do IWV-GPS.

1.2 Objetivos do trabalho

Esta nota técnica tem como objetivo apresentar os procedimentos realizados no levantamento das estações meteorológicas já existentes nas proximidades das estações GPS e na identificação das estações mais adequadas para fornecerem as medidas para a conversão das estimativas do Z_{TD} em valores do IWV. Para atingir esta meta principal os seguintes objetivos específicos têm sido desenvolvidos:

- Fazer um levantamento das estações meteorológicas disponíveis operacionalmente no banco de dados do CPTEC, as quais pertencem as mais variadas instituições, baseando-se na lista das estações GPS da RBMC.
- Identificar as estações mais apropriadas para fornecer as medidas para a conversão de valores do Z_{TD} em valores do IWV em cada uma das estações GPS da RBMC, levando em consideração neste estudo a distância entre as estações e a frequência com que os dados são disponibilizados.
- Fazer um estudo inicial da consistência das medidas de pressão atmosférica fornecidas por estações meteorológicas separadas por curtas distâncias (instaladas em uma mesma cidade).

1.3 Conteúdo do trabalho

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o Z_{TD} , sua estimativa utilizando observações GPS, a metodologia utilizada para a conversão em valores do IWV e a importância de medidas meteorológicas de qualidade para este processo. O terceiro capítulo trata do levantamento das estações meteorológicas mais apropriadas para cada uma das estações GPS da RBMC, bem como detalha a forma como esse levantamento foi realizado. No quarto capítulo o enfoque é a consistência das medidas de diferentes estações meteorológicas, automáticas e convencionais, quantificando estatisticamente as diferenças encontradas. No quinto e último capítulo são apresentadas as

conclusões obtidas e as perspectivas futuras sobre novos trabalhos envolvendo o mesmo tema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão apresentada aqui abrangerá os seguintes pontos: Atraso Zenital Troposférico (Z_{TD}); determinação do Z_{TD} a partir de observações GPS; conversão de valores do Z_{TD} em estimativas do IWV; Coleta de valores da pressão atmosférica nas estações GPS.

2.1. O Atraso Zenital Troposférico

A variação na refratividade atmosférica (N) causa mudanças na direção e principalmente diminuição na velocidade das ondas eletromagnéticas ao se propagarem na troposfera. Isso gera na trajetória dos sinais GPS uma leve curvatura, se comparada à trajetória geométrica entre um satélite no espaço e um receptor na superfície da Terra (SPILKER et al., 1994). A diferença entre o comprimento da trajetória efetivamente percorrida pelo sinal (S) e o comprimento da trajetória geométrica (S_g) é denominado atraso troposférico (D_{TROP}), dado por:

$$D_{TROP} = S - S_g = 10^{-6} \int N ds. \quad (1)$$

Para facilitar a modelagem das variações da refratividade, e, por conseqüência, o atraso troposférico dos sinais GPS emitidos pelos satélites e recebidos pelos receptores na superfície da Terra, são empregadas as funções de mapeamento (DAVIS et al., 1985; NIELL, 1996, 2001 e 2003; BOEHM e SCHUH, 2004). Por intermédio delas, as variações da refratividade em uma direção qualquer podem ser tratadas na direção zenital, considerando apenas a concentração dos gases na coluna vertical atmosférica. Desta forma, a refratividade atmosférica pode ser considerada como uma função da temperatura (T), da densidade do ar (ρ) e da pressão parcial do vapor d'água (e), com valores

variando em função da altitude (h). Assim, tem-se (SPILKER et al., 1994; SAPUCCI, 2001):

$$Z_{TD} = 10^{-6} \int_{h_0}^{\infty} k_1 R_h \rho dh + 10^{-6} \int_{h_0}^{\infty} (k_2 \frac{e}{T} Z_w^{-1} + k_3 \frac{e}{T^2} Z_w^{-1}) dh, \quad (2)$$

sendo $R_h = 287,0538 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ é a constante específica para os gases hidrostáticos, Z_w^{-1} é o inverso da constante de compressibilidade do vapor d'água, $k_1 = 77,60 \text{ K hPa}^{-1}$, $k_2 = 22,10 \text{ K hPa}^{-1}$ e $k_3 = 373900 \text{ K}^2 \text{ hPa}^{-1}$ são constantes da refratividade atmosférica cujos valores foram determinados experimentalmente (BEVIS et al., 1994).

Devido ao tipo de comportamento dos gases que compõe a troposfera, o Z_{TD} é dividido em duas componentes: úmida (Z_{WD}), formada pela influência do vapor d'água, e hidrostática (Z_{HD}), formada pela influência dos demais gases que compõem a atmosfera, podendo assim ser expresso pela equação:

$$Z_{TD} = Z_{HD} + Z_{WD} \quad (3)$$

A componente hidrostática é modelada pela primeira parcela da equação 2, enquanto a componente úmida é modelada pela segunda parcela dessa equação. Nota-se que o Z_{HD} depende apenas da densidade do ar atmosférico. Por isto, seus valores podem ser determinados a partir de medidas de pressão atmosférica realizadas na superfície (P_s) em hPa , da latitude do local (φ), e da altitude (h) em quilômetros. A expressão para a determinação do Z_{HD} é dada pela equação (DAVIS et al., 1985; SAPUCCI 2001):

$$Z_{HD} = (2,27671422 \times 10^{-3}) \frac{P_s}{(1 - 0,0026 \cos 2 \varphi - 0,00028h)}. \quad (4)$$

Como mostra a equação 3, ao valores da componente umidade (Z_{WD}) podem ser obtidos subtraindo os valores do Z_{HD} das estimativas do Z_{TD} obtidas a partir das observações GPS.

2.2. Estimativa do Z_{TD} usando dados GPS

Utilizando-se as observáveis GPS: pseudodistância e a medida de fase da onda portadora (MONICO, 2008a), em ambas as frequências L_1 e L_2 , provenientes de quatro ou mais satélites GPS, os valores do atraso zenital troposférico são estimados depois de isolada a influência da troposfera na propagação dos sinais GPS (SAPUCCI, 2001). Isto é obtido ao introduzir alguns valores já conhecidos e ao reduzir os demais erros sistemáticos envolvidos no modelo de observação do ajustamento efetuado para este fim.

A distância geométrica (ρ_i^1) entre um satélite 1 e o receptor i deve ser bem conhecida. Para isso, deve-se tomar as coordenadas dos satélites e o erro de seu relógio (dt^1) a partir das efemérides precisas produzidas pelo IGS (*International GPS Service*), e as coordenadas da estação devem ser injuncionadas, tomando valores provenientes de posicionamentos anteriores. Para minimizar os efeitos da ionosfera deve-se utilizar a combinação linear das observáveis nas diferentes portadoras, denominada combinação livre da ionosfera (L_0) (*ionospheric free observable*) (MONICO, 2008a).

Procedendo-se dessa forma o modelo funcional resultante da combinação linear L_0 das observações da fase da onda portadora (ϕ) e da pseudodistância (PR), para um receptor (i) e um satélite (1), tem-se:

$$cdt^1 + \lambda_{L_0} \phi_{iL_0}^1 = \rho_i^1 + \lambda_{L_0} N_{iL_0}^1 + D_{TROP_i} + cdt_i + \varepsilon_{\phi_{L_0}} \quad (5)$$

$$cdt^1 + PR_{iL_0}^1 = \rho_i^1 + D_{TROP_i} + cdt_i + \varepsilon_{PR_{L_0}} \quad (6)$$

onde c é a velocidade da luz, λ_{L_0} é o comprimento de onda da L_0 , D_{TROP_i} é o atraso troposférico na estação i , $N_{iL_0}^1$ é a ambigüidade da combinação L_0 da fase da onda portadora, dt_i é o erro do relógio do receptor i , $\varepsilon_{\phi_{L_0}}$ é o resíduo nas medidas da fase da onda portadora na L_0 e $\varepsilon_{PR_{L_0}}$ é o resíduo na medida da pseudodistância.

Assim, o atraso zenital da componente úmida, juntamente com os demais parâmetros, é estimado ao utilizar técnicas recursivas dividindo o

arquivo de dados em lotes de dimensão pré-determinada. Aplica-se também o filtro de Kalman, que em suas três etapas (filtragem, suavização e predição) estima os valores dos parâmetros no final do processo de forma precisa para cada intervalo de tempo em que foram limitados os lotes do ajustamento recursivo.

2.3 Conversão de valores do Z_{TD} em estimativas do IWV

A relação entre os valores do D_{ZW} e a quantidade de vapor d'água atmosférico (IWV) existente no momento em que foram feitas as observações GPS está em função da temperatura média troposférica (Tm). Esta relação pode ser expressa pela seguinte equação (BEVIS et al., 1992; SAPUCCI, 2001):

$$IWV = D_{ZW} \cdot \frac{10^6}{R_w \left[k_2 + \frac{k_3}{Tm} \right]} \quad (9)$$

onde $R_w = (461,5181) \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ é a constante específica para o vapor d'água, $k_2 = 22,10 \text{ K hPa}^{-1}$ e $k_3 = 373900 \text{ K}^2 \text{ hPa}^{-1}$ são constantes da refratividade atmosférica cujo valores foram determinados experimentalmente (BEVIS et al., 1994).

O termo Tm é a temperatura média do perfil troposférico ponderada pela concentração do vapor d'água e pode ser expresso pela equação (DAVIS et al., 1985):

$$Tm = \frac{\int \frac{e}{T} dh}{\int \frac{e}{T^2} dh}, \quad (10)$$

onde e é a pressão parcial do vapor d'água e T é a temperatura, ambas medidas ao longo da altitude (h). Os valores de Tm são geralmente determinados a partir de análise estatística de perfis de radiossondagens, e a sua qualidade está relacionada com a quantidade e a distribuição dos perfis estudados. Na ausência de tais perfis uma outra opção seria estimar um valor aproximado a partir de medidas de outras variáveis meteorológicas observadas na superfície. Deve-se

para isto utilizar as radiossondas para correlacionar a temperatura média troposférica com valores dessas outras variáveis meteorológicas (BEVIS et al., 1992, 1994). Para o território brasileiro modelos apropriados têm sido desenvolvidos (SAPUCCI, 2001, 2005).

2.4 Coleta de valores da Pressão atmosférica nas estações GPS

Depois de gerar as estimativas do Z_{TD} em tempo real, o ponto mais importante para a operacionalização da assimilação do IWV gerados nas redes de receptores GPS é a coleta das informações de temperatura e pressão nas estações. A configuração ideal para isto é que os sensores sejam instalados próximos à antena GPS e que sejam providos de sistemas apropriados de leitura automática e disponibilizados de forma contínua. Cuidados especiais devem ser tomados quanto ao local de instalação do barômetro, o qual deve ser colocado no mesmo nível da antena GPS. As estações da rede SUOMINET são providas desses sensores e exemplificam bem esta configuração ideal (NASA, 2005a). Os receptores mais atuais já possuem *kits* de sensores meteorológicos integrados, ou permitem que tais sensores sejam neles acoplados, e os valores gerados são disponibilizados em arquivos com formato *RINEX*, específicos para essas informações. Atualmente há diversos projetos brasileiros que visam implantar estações meteorológicas junto aos receptores GPS, as quais são específicas para este fim (MONICO, 2008b; VITORELLO, 2008).

Na ausência dessa situação ideal, há outras opções para a obtenção das informações de superfície, as quais consistem em:

- utilizar valores coletados pelas plataformas de coleta de dados (PCD's) pertencentes à rede do CPTEC ou do INMET;
- usar as informações pertencentes ao Banco de Dados Meteorológicos (BDM) disponível para a PNT no CPTEC provenientes de estações padrões da WMO;

Essas opções podem gerar perda da qualidade dos resultados finais dos valores IWV-GPS e devem ser evitadas. De forma geral, um erro de 1 hPa na medida de pressão atmosférica resultará em um erro de $0,3 \text{ kg m}^{-2}$ na estimativa

do IWV (EMARDSON, 1998). Entre essas opções alternativas, as PCD's são as que mais se aproximam da condição ideal, quando essas se encontram próximas da estação GPS. Um problema dessas estações está relacionado com a taxa de armazenamento dessas PCD's, que atualmente é de 1 hora, enquanto que a taxa de coleta é de 1 minuto. Para as aplicações com o atual *status* da assimilação de dados no Brasil, esta taxa de armazenamento é suficiente. Porém, se forem consideradas as modificações futuras, uma taxa de armazenamento de 15 minutos seria a mais adequada.

Para a utilização das informações do BDM surge um problema com relação à distância entre as estações meteorológicas e as estações GPS. Um segundo problema é a taxa de coleta que não é temporalmente uniforme. Esta alternativa foi utilizada no passado em trabalhos com esta finalidade na Suécia (EMARDSON, 1998). No entanto, a rede de estações meteorológicas considerada nesse caso era muito maior do que a existente atualmente no Brasil. O ponto mais importante é definir qual é a estação mais apropriada para cada um dos receptores GPS das redes em funcionamento no Brasil. Nesta definição deverão ser considerados os seguintes pontos: a menor distância entre as estações, a precisão dos barômetros instalados, a taxa de coleta; as facilidades de obtenção das informações e a manutenção periódica das estações.

3. LEVANTAMENTO DAS APROPRIADAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

A necessidade inerente a este estudo é a de que sejam listadas estações meteorológicas que estejam próximas às estações GPS pelas razões supracitadas. Existem diversas redes de estações meteorológicas no Brasil porém, neste estudo especificamente, serão utilizados dados provenientes das redes meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da rede do INPE de Plataformas de Controle de Dados (PCD). As estações GPS utilizadas foram as da Rede GNSS Ativa do Estado de São Paulo e da RBMC listadas no site do IBGE.

De acordo com o INMET as estações meteorológicas possuem a seguinte classificação: Estação de Observação de Altitude ou de Radiossonda, Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática e Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional (INMET, 2009).

Dentro do conjunto de Estações Meteorológicas de Superfície temos as Estações METAR (dados de estações de superfície dos aeroportos coletados de uma em uma hora e ou horários intermediários caso esteja ocorrendo algum evento especial codificado e disponibilizado pela rede de meteorologia do comando da aeronáutica – REDEMET) e as Estações SYNOP (dados de estações de superfície coletados nos horários sinóticos, codificados e distribuído para os diversos órgãos de meteorologia) (CPTEC, 2009).

A RBMC disponibiliza as seguintes informações técnicas sobre suas estações: São materializadas através de pinos de centragem forçada, especialmente projetados, e cravados em pilares estáveis. Além dos receptores que coletam e armazenam continuamente observações do código e da fase da onda portadora, transmitidos pelos satélites GPS, as estações são dotadas de: antenas receptoras (em algumas estações são do tipo "*choke-ring*"); micro-computadores do tipo PC, responsáveis pelo controle da operação automatizada e transmissão diária das observações; e sistemas diversos de fornecimento de energia elétrica, que garantem a operação contínua das estações (IBGE, 2009).

3.1. Dados disponíveis e metodologia aplicada

Os dados disponíveis para estudo são fornecidos pelas respectivas fontes mencionadas acima e são obtidos através de *sites* próprios para tal levantamento. A localização é descrita mediante informação de latitude e longitude das estações tanto meteorológicas quanto GPS. Desta forma a análise realizada para a escolha das estações meteorológicas mais apropriadas foi simples: realizou-se uma comparação das localizações de forma a selecionar aquelas que tivessem menor distância das estações GPS.

Levando-se em consideração que as estimativas de IWV precisam que as estações GPS e as estações meteorológicas estejam sob as mesmas características atmosféricas, é recomendável que a distância entre a estação meteorológica e as estações GPS não ultrapasse 2 km, pois isto poderia atribuir erros de diferenças ambientais.

As Estações SYNOP (acrônimo de *Surface Synoptic Observations*) são estações que fazem observações sinóticas à superfície. Estas observações são enviadas em relatórios de seis em seis horas escrevendo informações meteorológicas gerais, tais como a temperatura, a pressão atmosférica e a visibilidade em uma estação meteorológica. Já uma estação meteorológica de superfície automática é composta de uma unidade de memória central, ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que integra os valores observados minuto a minuto e os envia automaticamente a cada hora (INMET 2009).

Como foi mencionado na introdução deste trabalho, para que uma determinada estação GPS seja empregada na PNT, há duas exigências principais quanto à configuração utilizada na coleta, armazenamento e processamento dos dados: A primeira é que as estimativas do Z_{TD} devem ser obtidas quase que em tempo real e a segunda é que, para os valores do IWV serem obtidos com alta qualidade, devem ser feitas observações de temperatura e pressão atmosférica próximas à antena GPS. A taxa de coleta dessas informações deve ser igual à taxa com que se deseja obter os valores do IWV. Considerando que as estações GPS estão com monitoramento praticamente contínuo, dar-se-á preferência às estações automáticas, já que estas fornecem maior quantidade de dados em um intervalo de tempo menor.

Realizou-se a análise com o uso de alguns *softwares* próprios tais como o *Gempak* desenvolvido pela *Unidata Program Center*, e o *Google Earth*[®], *software* bastante difundido na *Internet* desenvolvido pela *Google*. Com o *Gempak* obteve-se uma listagem das estações meteorológicas do Brasil bem como de suas respectivas localizações e o *Google Earth* por sua vez, serviu como ambiente de

plotagem das estações. Com o uso do *Google Earth* foi possível visualizar as estações meteorológicas plotadas e identificar as mais próximas das estações GPS. Na tabela 1 é apresentada a lista das estações GPS da RBMC, nas quais atualmente as estimativas do Z_{TD} são geradas operacionalmente.

As estações listadas na tabela 1 foram plotadas no *Google Earth* e para isto utilizou-se a programação KML ou *Keyhole Markup Language* (linguagem de marcação de *Keyhole*), que é um formato de arquivo e uma gramática XML que serve para modelar e armazenar características geográficas como pontos, linhas, imagens, polígonos e modelos para exibição no *Google Earth*, no *Google Maps* e em outros aplicativos (GOOGLE, 2009). O processamento de um arquivo KML no *Google Earth* é semelhante ao de arquivos HTML e XML em navegadores da *web*. Assim como o HTML, o KML tem uma estrutura de *tags* com nomes e atributos usados para finalidades de exibição específicas. Assim, o *Google Earth* funciona como navegador de arquivos KML.

Gerou-se a partir das tabelas uma listagem que foi transformada em arquivo de dados genérico (.dat) a ser utilizada em uma rotina escrita em linguagem *Fortran* que tem como função organizar os dados das inúmeras localizações das estações e gerar arquivos de extensão KML, os quais são plotados no *Google Earth*. No Apêndice A apresentado ao final deste trabalho é apresentada a rotina *Fortran* desse programa gerador de KML. Como resultados desse processo a Figura 1 mostra a distribuição espacial das estações listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Lista das estações GPS nas quais as estimativas do Z_{TD} estão sendo geradas operacionalmente.

Código	Latitude	Longitude	Cidade
<i>BELE</i>	-01°24' 31,6637"	-48°27' 45,1786"	Belém – PA
<i>BRAZ</i>	-15°56' 50,9112"	-47°52' 40,3283"	Brasília – DF
<i>CEFE</i>	-20°18' 38,8600"	-40°19' 10,0376"	Vitória – ES
<i>CUIB</i>	-15°33' 18,9468"	-56°04' 11,5196"	Cuiabá – MT
<i>ILHA</i>	-20°25' 40,0252"	-51°20' 36,1852"	Ilha Solteira – SP
<i>IMBT</i>	-28°14' 05,4220"	-48°39' 20,5970"	Imbituba – SC
<i>LINS</i>	-21°39' 54,2708"	-49°44' 01,8502"	Lins – SP
<i>MAPA</i>	+00°02' 48,0688"	-51°05' 50,4124"	Macapá – AP
<i>MGBH</i>	-19°56' 30,8431"	-43°55' 29,6291"	Belo Horizonte – MG
<i>MSCG</i>	-20°26' 27,2426"	-54°32' 26,5293"	Campo Grande – MS
<i>NEIA</i>	-25°01' 12,8615"	-47°55' 29,8867"	Cananéia – SP
<i>OURI</i>	-22°56' 57,0259"	-49°53' 42,1476"	Ourinhos – SP
<i>POAL</i>	-30°04' 26,5527"	-51°07' 11,1532"	Porto Alegre – RS
<i>POLI</i>	-23°33' 20,3323"	-46°43' 49,1232"	São Paulo – SP
<i>POVE</i>	-08°42' 33,6117"	-63°53' 46,7512"	Porto Velho – RO
<i>PPTE</i>	-22°07' 11,6571"	-51°24' 30,7225"	Presidente Prudente – SP
<i>PRMA</i>	-23°24' 34,8778"	-51°56' 18,3272"	Maringá – PR
<i>RIOB</i>	-09°57' 55,6526"	-67°48' 10,1219"	Rio Branco – AC
<i>ONRJ</i>	-22°53' 44,5220"	-43°13' 27,5937"	Rio de Janeiro – RJ
<i>RJCG</i>	-21°45' 53,5169"	-41°19' 34,1607"	Campos dos Goytacazes – RJ
<i>RNNA</i>	-05°50' 10,1062"	-35°12' 27,7485"	Natal – RN
<i>SAVO</i>	-12°56' 21,2886"	-38°25' 56,1134"	Salvador – BA
<i>SJRP</i>	-20°47' 07,8683"	-49°21' 35,8224"	São José do Rio Preto – SP
<i>SMAR</i>	-29°43' 08,1260"	-53°42' 59,7353"	Santa Maria – RS
<i>UBAT</i>	-23°30' 00,6375"	-45°07' 08,0467"	Ubatuba – SP
<i>UFPR</i>	-25°26' 54,1269"	-49°13' 51,4372"	Curitiba – PR



Figura 1 – Estações GPS localizadas sobre o território brasileiro, nas quais as estimativas do Z_{TD} estão sendo geradas operacionalmente.

3.2. Resultados obtidos:

Como resultado destes processos foi possível então plotar também as estações meteorológicas (Estações Automáticas do INMET e as Estações SYNOP) de interesse no *Google Earth* para permitir uma análise das distâncias que as separam. Desta plotagem gerou-se as imagens mostradas nas figuras apresentadas no Apêndice B deste trabalho. Nestas imagens é apresentada a codificação *Gempak* das estações INMET (quando em operação) e as respectivas distâncias entre cada estação meteorológica e a estação GPS de interesse. Essas distâncias foram calculadas utilizando-se a ferramenta do *Google Earth* disponível para esta função. Um ponto de extrema importância que deve ser ressaltado é que ao armazenar os valores das coordenadas das estações meteorológicas no banco de dados, algumas aproximações foram feitas nas casas decimais de graus. Com isso as coordenadas no banco existentes apresentam baixa precisão. Em

decorrência disso, as distâncias aqui consideradas não refletem totalmente a verdade das localizações. Exemplos dessas diferenças podem ser observados nas estações automáticas localizadas na cidade de Curitiba (PR) e Presidente Prudente, as quais mesmo estando ao lado da estação GPS, apresentam uma distância significativa ao considerar as coordenadas do banco de dados. Situação semelhante a esta pode estar acontecendo em outras localidades, no entanto não é possível saber, já que para isto seria necessário visitar pessoalmente cada estação. Levando-se em consideração esta observação, têm-se que:

- Na cidade de Belém (PA) as estações localizam-se a distâncias que variam de entre 2,5 e 3,5 km entre as estações meteorológicas e a estação GPS. A estação automática ficou mais próxima neste caso, mas a SYNOP está quase nas mesmas imediações.
- Em Brasília (DF) não há estações automáticas nas proximidades. Existem duas estações SYNOP e uma delas está a menos de 2 km da estação GPS.
- A estação GPS em Vitória (ES) possui em suas proximidades uma estação automática e um pouco mais distante uma estação SYNOP. Ambas estão a menos de 2 km de distância o que viabiliza a coleta dos dados.
- Na cidade de Cuiabá (MT) a estação meteorológica mais próxima da estação GPS faz parte das PCD's do INPE. Nesta região os três tipos de estações meteorológicas podem ser encontrados, mas dentro da faixa de 2 km apenas uma se enquadra.
- A cidade de Ilha Solteira (SP) possui o inconveniente de não haver nenhuma estação meteorológica nas imediações da estação GPS. A distância até a estação meteorológica mais próxima é de quase 50 km.
- A questão de não haver estações meteorológicas próximas à GPS se repete em Imbituba (SC) onde a estação meteorológica mais próxima está a mais de 30 km de distância.
- Na cidade de Lins (SP) a estação meteorológica encontra-se bem próxima. Trata-se de uma estação automática do INMET localizada a cerca de 80

metros da estação GPS. Há ainda uma estação convencional a menos de 2 km de distância.

- Em Macapá (AP) as estações meteorológicas localizam-se em distâncias razoavelmente semelhantes entre si, não há estações automáticas do INMET e a distância é superior ao valor adequado estipulado nos estudos.
- A estação GPS da cidade de Belo Horizonte (MG) possui várias estações meteorológicas em suas proximidades sendo que uma delas, uma estação convencional, está a pouco mais de 1 km.
- Em Campo Grande (RJ) a estação INMET e a SYNOP são as mais próximas da estação GPS, mas ambas estão a mais de 7 km de distância.
- A região de Cananéia (SP) só possui uma estação meteorológica, tipo SYNOP, localizada a menos de 1 km da estação GPS.
- Das cidades apresentadas aquela que mais possui estações meteorológicas em suas redondezas é a do Rio de Janeiro (RJ). Dentro do limite especificado há apenas uma estação automática. As duas estações INMET não puderam ser codificadas pelo *Gempak*, indicando que elas não estão operantes. As SYNOP e PCD's do INPE também estão presentes na região.
- Ourinhos (SP) possui apenas uma estação automática do INMET em suas imediações a menos de 200 metros de distância.
- A região de Porto Alegre (RS) possui muitas estações meteorológicas, mas todas acima de 2 km de distância da estação GPS. Na localidade existem todos os tipos de grupos de estações meteorológicas.
- Porto Velho (RO) também possui muitas estações meteorológicas de todos os grupos listados no presente trabalho, no entanto, todas distam mais de 5 km da estação GPS.
- Em São Paulo (SP) existem estações meteorológicas acessíveis, mas todas elas estão concentradas a mais de 10 km da estação GPS.
- Presidente Prudente (SP) possui estações automáticas do INPE e do INMET e duas estações convencionais. Dentro do valor adequado de no máximo dois quilômetros encontra-se apenas a estação convencional do INMET de acordo com a localização computada pelas coordenadas do banco de dados.

- Em Rio Branco (AC) a estação PCD do INPE e a SYNOP estão aparentemente sobre a mesma localização e a menos de 1 km de distância da estação GPS. A automática está a 7,7 km de distância.
- A localização das estações meteorológicas em Campos dos Goytacazes (RJ) é relativamente próxima da estação GPS RJCG. A estação mais próxima está a pouco mais de 1,5 km de distância.
- Em Natal, na região monitorada, a estação do INMET A304 é a única meteorológica encontrada e está a menos de 1 km da estação GPS.
- Num raio aproximado de 15 km em torno de SAVO, estação GPS em Salvador (BA), existem 4 estações meteorológicas, porém a distância mínima é de quase 8 km.
- Em São José do Rio Preto (SP) a estação meteorológica está localizada em um aeroporto e é classificada como SYNOP, apesar de não possuir a codificação numérica que neste caso seria a codificação mais comum para estações deste tipo.
- Em Santa Maria (RS) as estações A803 do INMET e SYNOP 83936 estão registradas com a mesma localização geográfica, estando desta forma igualmente distantes da estação GPS. A estação convencional está pouco mais de 1,5 km de distância.
- A cidade de Maringá (PR) possui uma estação convencional dentro da distância recomendada de 2 km. Existe ainda uma estação automática que de acordo com o banco de dados estaria a 0,56 km de distância, mas que o site do INMET indica estar a mais de 40 km.
- Em Curitiba (PR) ocorre o mesmo que em Presidente Prudente, onde a estação GPS e a meteorológica estão localizadas no mesmo terreno, mas os dados geográficos indicam a não proximidade.
- Em Ubatuba (SP) a localização das meteorológicas é muito distante da GPS, estando a pelo menos 7 km.

Tabela 2 – Estações GPS e Meteorológicas próximas.

Estações GPS	Estações Convencionais	Distância	Estações Automáticas				
			PCD's do INPE	Distância	Estações do INMET		
					Código INMET	Código Gempak	Distância
BELE	82191	2,37	***	***	A201	2049	2,07
	82193	3,71					
BRAZ	83373	1,93	***	***	***	***	***
	83378	10,09					
CEFE	83648	1,51	***	***	A612	6156	0,61
	83649	6,06					
CUIB	83360	5,97	32590	0,58	A901	9217	7,55
	83361	5,41	32741	4,23			
ILHA	83617	48,18	***	***	***	***	***
	83618	54,13					
IMBT	83924	31,19	32732	31,65	A866	8258	43,02
	83925	44,01					
LINS	83674	1,76	***	***	A727	7195	0,08
MAPA	82098	5,58	31944	4,21	***	***	***
	82099	3,05	32234	4,21			
MGBH	83571	7,33	32513	6,94	A521	5141	7,92
	83605	1,34					
MSCG	83611	8,34	31950	10,54	A702	7170	7,91
NEIA	83845	0,51	***	***	***	***	***
ONRJ	83798	5,3	32263	8,28	A651	***	6,92
	83815	2,67	32264	4,84	A656	***	1,71
OURI	***	***	***	***	A716	***	0,11
POAL	83967	11,28	32394	8,63	A801	8193	5,23
	83971	10,03					
PRMA	83767	2,21	***	***	A835	8217	42,88

(continua)

Tabela 2 – Conclusão

Estações GPS	Estações Convencionais	Distância	Estações Automáticas				
			PCD's do INPE	Distância	Estações do INMET		
					Código INMET	Código Gempak	Distância
POLI	83871	12,8	***	***	A701	7169	12,95
	83779	11,92					
POVE	82824	7,25	32153	11,12	A925	9241	10,7
	82825	7,25	31998	10,83			
OURI	***	***	***	***	A716	***	0,11
POAL	83967	11,28	32394	8,63	A801	8193	5,23
	83971	10,03					
POLI	83871	12,8	***	***	A701	7169	12,95
	83779	11,92					
POVE	82824	7,25	32153	11,12	A925	9241	10,7
	82825	7,25	31998	10,83			
PPTE	83616	5,73	31980	6,77	A707	7175	0,94
	83716	2,95					
PRMA	83767	2,21	***	***	A835	8217	0,56
RJCG	83103	7,64	***	***	A607	6151	5,83
	83698	1,62					
RNNA	***	***	***	***	A304	3076	0,91
SAVO	83230	8,12	32497	7,85	A401	4097	10,77
	83248	11,83					
SJRP	SBSR	4,46	***	***	***	***	***
SMAR	83936	2,64	***	***	A803	8195	2,64
	83937	1,61					
UBAT	83786	7,45	***	***	***	***	***
	83852	8,31					
UFPR	83011	5,31	***	***	A807	9199	0,1
	83842	4,99					

Como fôra mencionado anteriormente no item 3.1 deste relatório, o valor adequado da distância entre uma estação meteorológica e a estação GPS é de no máximo 2 km e algumas das estações meteorológicas não cumprem este quesito. Isto ocorre nas estações localizadas na cidade de Belém (BELE), Ilha Solteira (ILHA), Imbituba (IMBT), Macapá (MAPA), Campo Grande (MSCG), Porto Alegre (POAL), São Paulo (POLI), Porto Velho (POVE), Salvador (SAVO), Santa Maria (SMAR), São José do Rio Preto (SJRP) e Ubatuba (UBAT). As demais estações GPS possuem ao menos uma estação meteorológica em distância menor do que 2 km.

A estação GPS PRMA localizada na cidade de Maringá apresenta uma diferença na localização da Estação Automática A835 disponibilizada no banco de dados. Quando se compara a localização do banco de dados com a informação constante no balão informativo da estação acessado no *site* do INMET através de imagens de satélite, percebe-se nitidamente a incompatibilidade da localização.

Ao verificar-se os valores de latitude e longitude disponíveis no banco de dados, encontra-se o valor de 23°24'28.00"S para a latitude e 51°55'60.00"O para a longitude, que é exatamente o mesmo que aparece nos dados de acesso do *site* (Latitude: -23.2428° e Longitude: -51.5600°). A questão é que a imagem plotada no *site* disponível para acesso aparentemente apresenta um valor em graus como se este fosse um valor decimal. Neste caso a latitude plotada é de 23°14'34.08"S e a longitude de 51°33'36.00"O (Figura 3). Como não foi possível determinar qual das duas localizações esta correta preferiu-se não utilizar os dados relativos à estação mencionada. O departamento responsável pelas estações do INMET foi contactado de maneira que a dualidade na localização da estação automática de Maringá foi corrigida. De fato, as coordenadas corretas são aquelas constantes no banco de dados e não as utilizadas anteriormente no site do INMET.

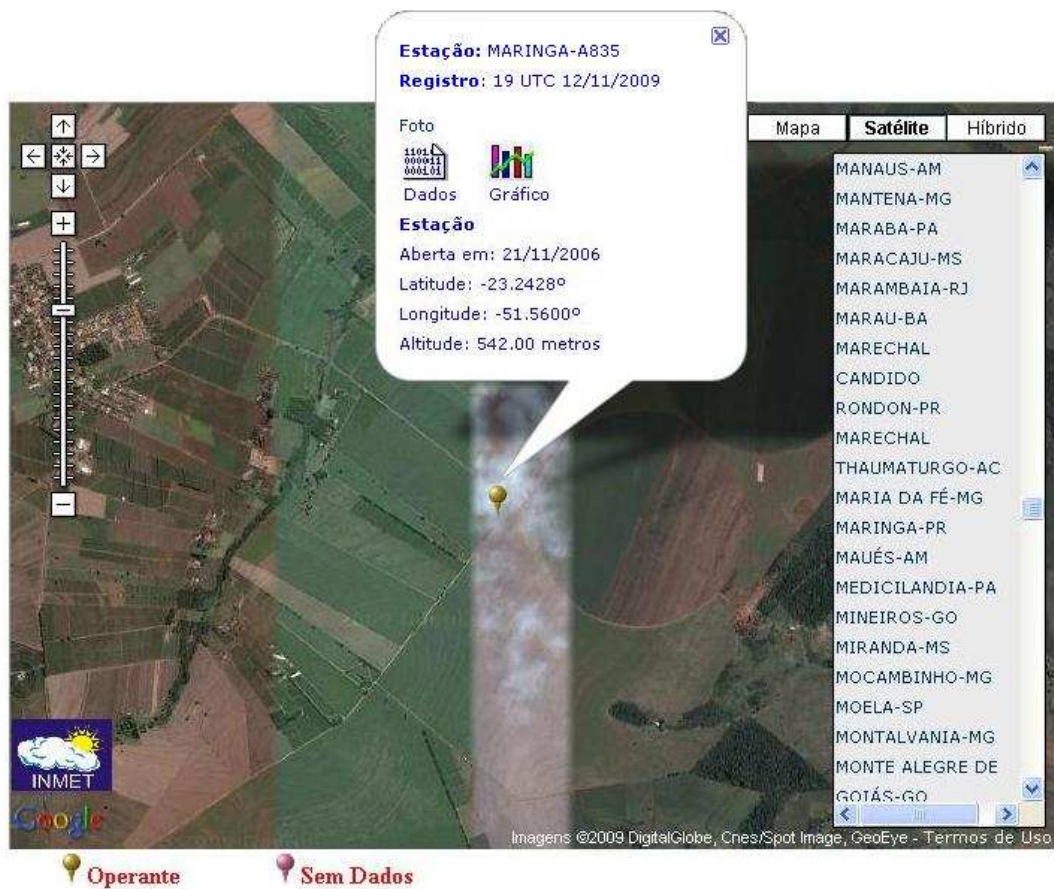


Figura 2 – Estação Automática A835 plotada no site do INMET.

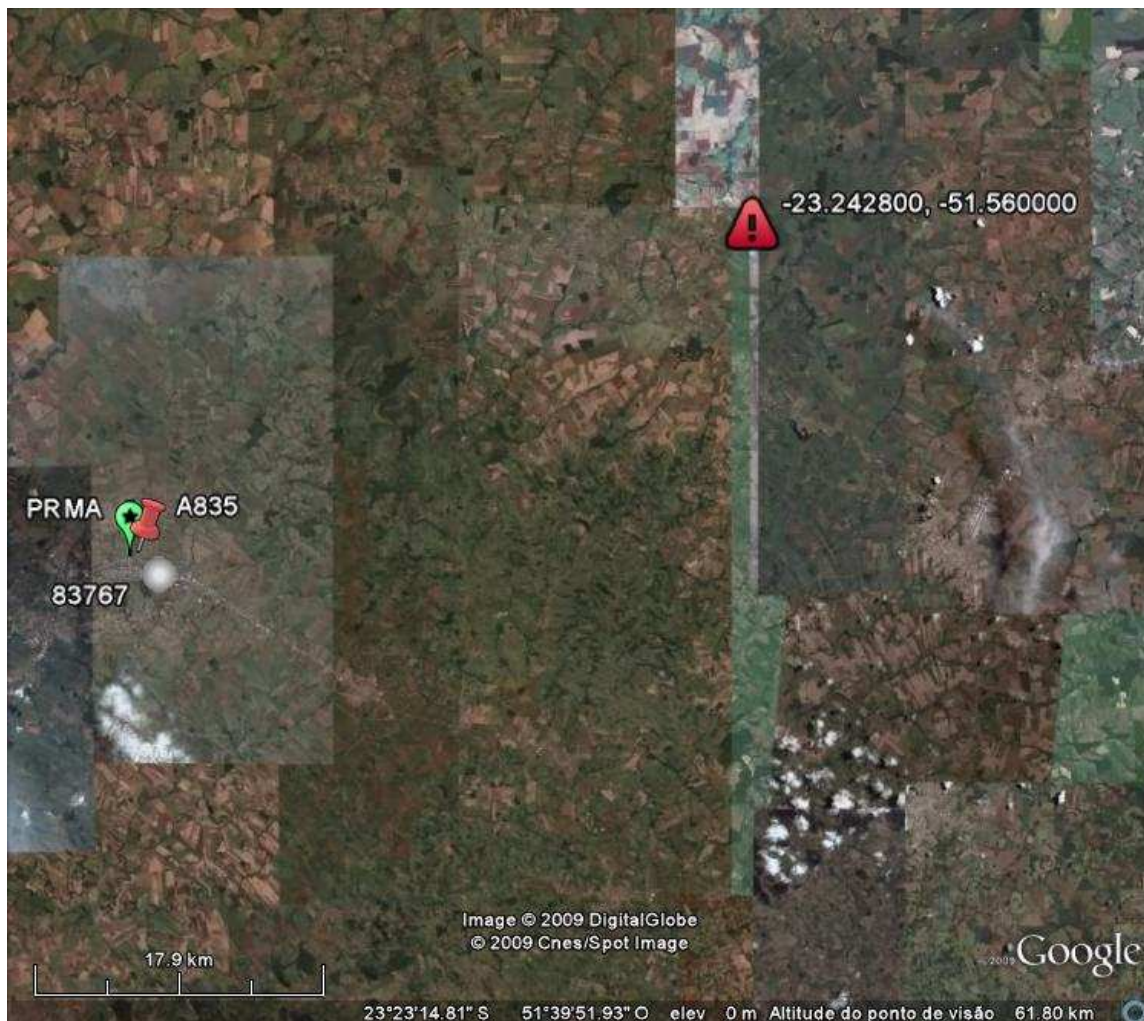


Figura 3 – Diferença entre a localização da Estação Automática A835.

4. ESTUDO SOBRE A CONSISTÊNCIA DAS MEDIDAS DE PRESSÃO DE DIFERENTES ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Além da verificação das estações disponíveis de acordo com as localizações das mesmas, é importante verificar a consistência de suas observações. Para isto foi feita uma análise dos dados observados em algumas estações em um determinado período. Dessa forma, foram acessados os dados armazenados no *Gempak* de pressão atmosférica na altura da estação (em hPA) de algumas estações selecionadas.

As estações selecionadas para este estudo foram as localizadas nas cidades de Curitiba (PR) e Presidente Prudente (SP), pois nessas cidades é conhecido o fato de que as estações automática e convencional estão instaladas a poucos metros de distância entre si, embora a distância mostrada respectivamente nas Figuras B.24 e B.17 do Apêndice B seja de alguns quilômetros devido a baixa precisão das coordenadas.

4.1 Curitiba

As estações selecionadas na cidade de Curitiba foram: a estação SYNOP 83842 e a Estação INMET A807 (codificada como 8199 no *software Gempak*). Os dados para o estudo foram coletados do banco de dados e os períodos selecionados foram os meses de agosto de 2008 e janeiro de 2009. Os valores medidos pelas diferentes estações são plotados na Figura 4 e na Figura 5 para os meses de agosto e janeiro, respectivamente. Essas figuras apresentam também as medidas estatísticas calculadas a partir dos pares de dados medidos simultaneamente.

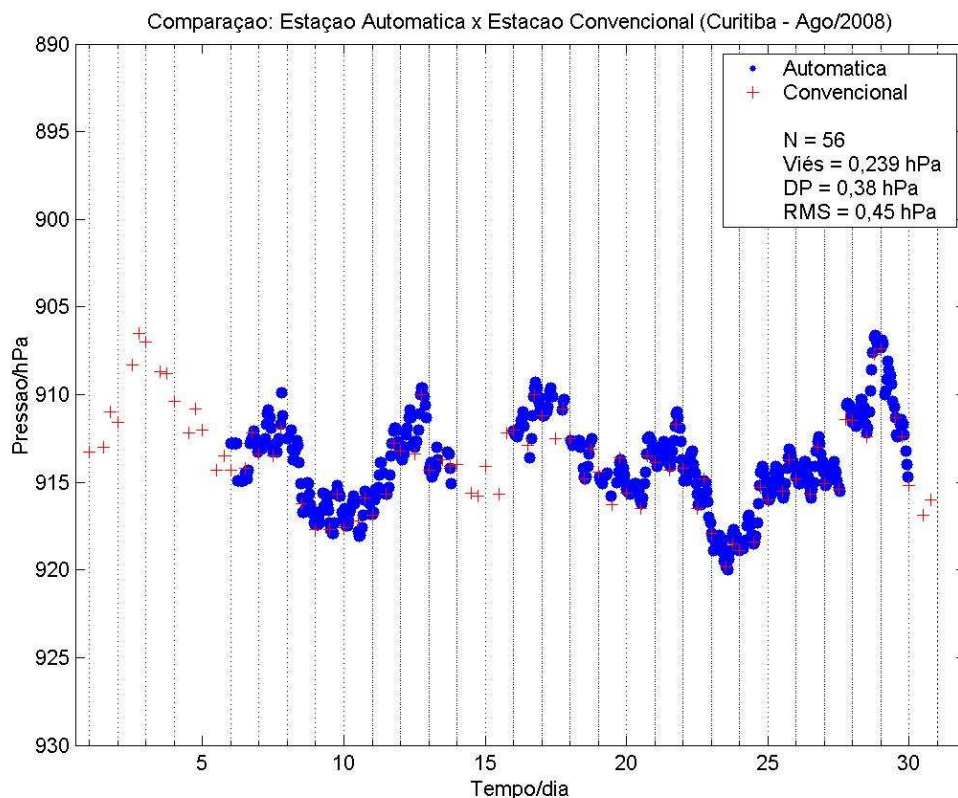


Figura 4 – Séries temporais das medidas de pressão atmosférica obtidas nas estações: convencional SYNOP (cruzes em vermelho) e automática do INMET (círculos em azul) localizadas na cidade de Curitiba (PR) no mês de agosto de 2008.

O comportamento dos valores obtidos na estação convencional SYNOP e na automática do INMET neste caso mostraram-se bastante consistentes entre si. Esta observação é facilmente constatada mediante análise do comportamento dos pontos de pressão apresentados nos gráficos acima. O viés é de $-0,1$ e $+0,2$ hPa e RMS obtido na comparação é de $0,45$ e $0,52$ hPa para os meses de agosto e janeiro, respectivamente.

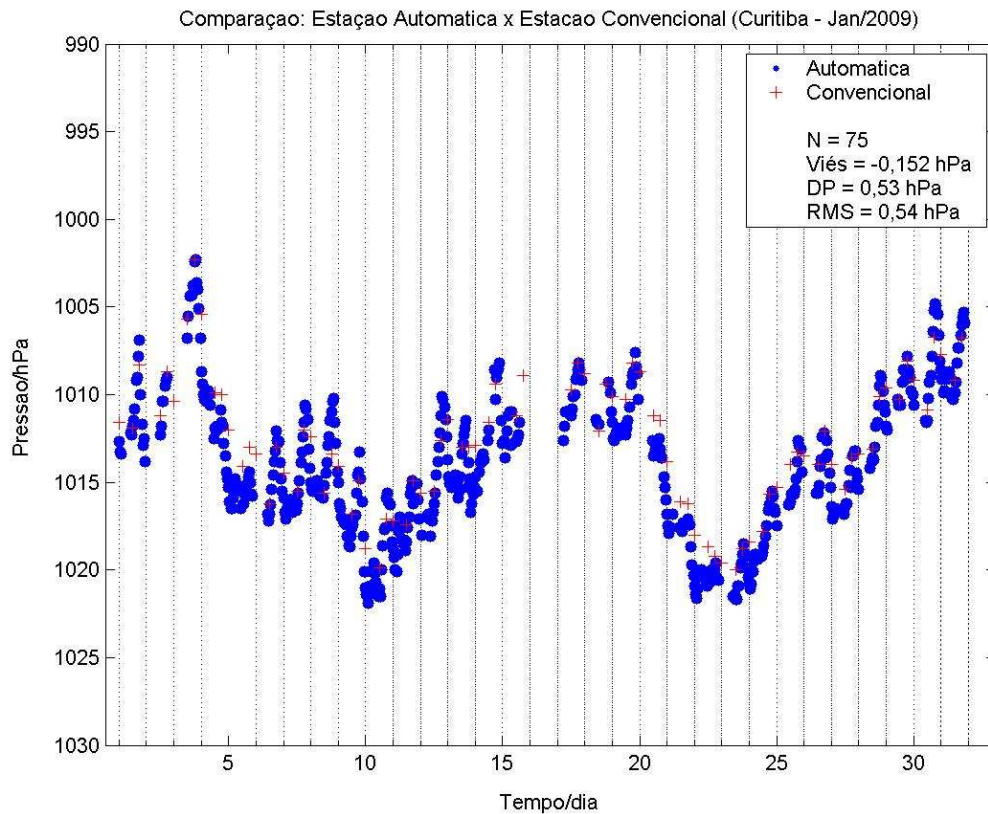


Figura 5 – Séries temporais das medidas de pressão atmosférica obtidas nas estações: convencional SYNOP (cruzes em vermelho) e automática do INMET (círculos em azul) localizadas na cidade de Curitiba (PR) no mês de janeiro de 2009.

4.2 Presidente Prudente

As estações selecionadas na cidade de Presidente Prudente foram: a estação SYNOP 83716 e a estação INMET A707 (codificada como 7175 no *software Gempak*. A metodologia de seleção de dados bem como a forma de acesso foram as mesma adotadas anteriormente na comparação feita com os dados de Curitiba. Para o mês de agosto de 2008 o número de pares de observações foi o mesmo para Curitiba e para Presidente Prudente. Para o mês de janeiro de 2009 o número de pares de observações utilizados na comparação foi menor que o observado em Curitiba no mesmo período, conforme é verificado

nas figuras 6 e 7. O motivo para isto é que a coleta de dados efetuada em Presidente Prudente sofreu problemas técnicos e foi interrompida diversas vezes neste período.

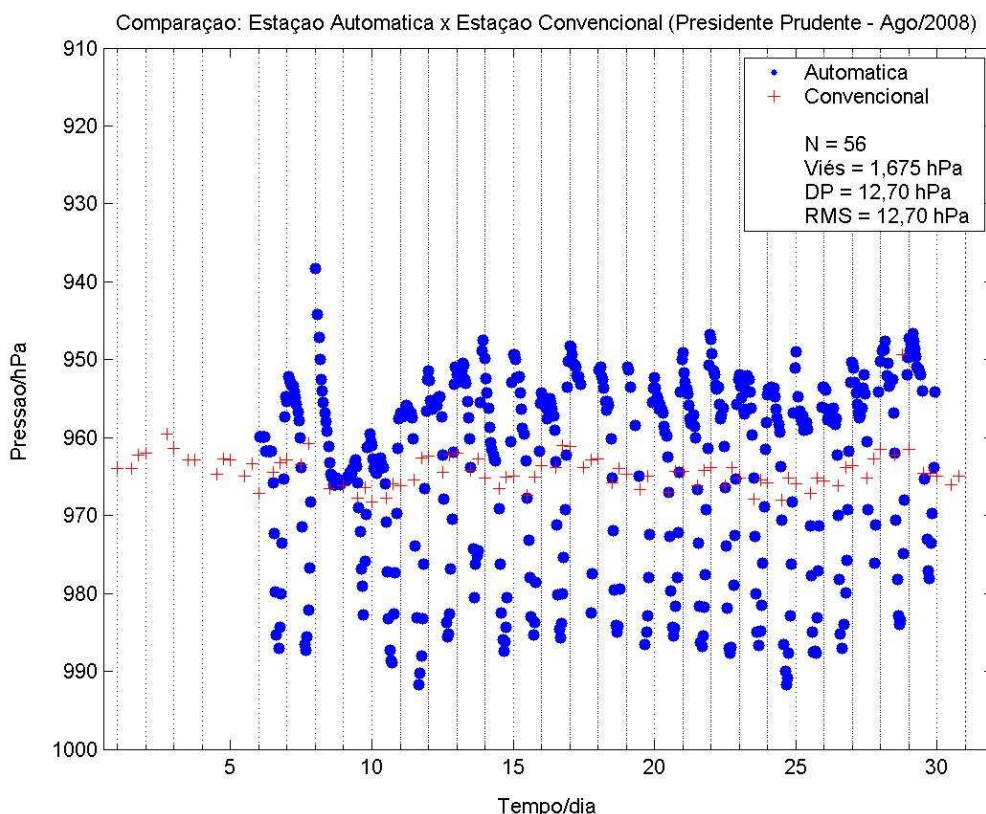


Figura 6 – Séries temporais das medidas de pressão atmosférica obtidas nas estações: convencional SYNOP (cruzes em vermelho) e automática do INMET (círculos em azul) localizadas na cidade de Presidente Prudente (SP) no mês de agosto de 2008.

É fácil perceber que os dados obtidos na estação automática do INMET estão excessivamente dispersos com relação aos valores medidos na estação convencional SYNOP. A análise estatística quantifica esta dispersão, pois o Desvio Padrão da diferença de pressão entre as estações é muito alto em ambos os períodos avaliados quando se considera o número de pontos utilizados na estimativa. O valor do DP foi de 12,70 e 8,08 hPa, enquanto que o RMS resultante foi de 12,70 e 7,96 hPa para os meses de agosto de 2008 e janeiro de 2009,

respectivamente. Calculando-se o DP em torno da média para a estação automática observa-se que esse sensor apresenta uma dispersão excessiva. Nesse caso o DP é de 11,68 hPa em agosto de 2008 e 9,71 para janeiro de 2009.

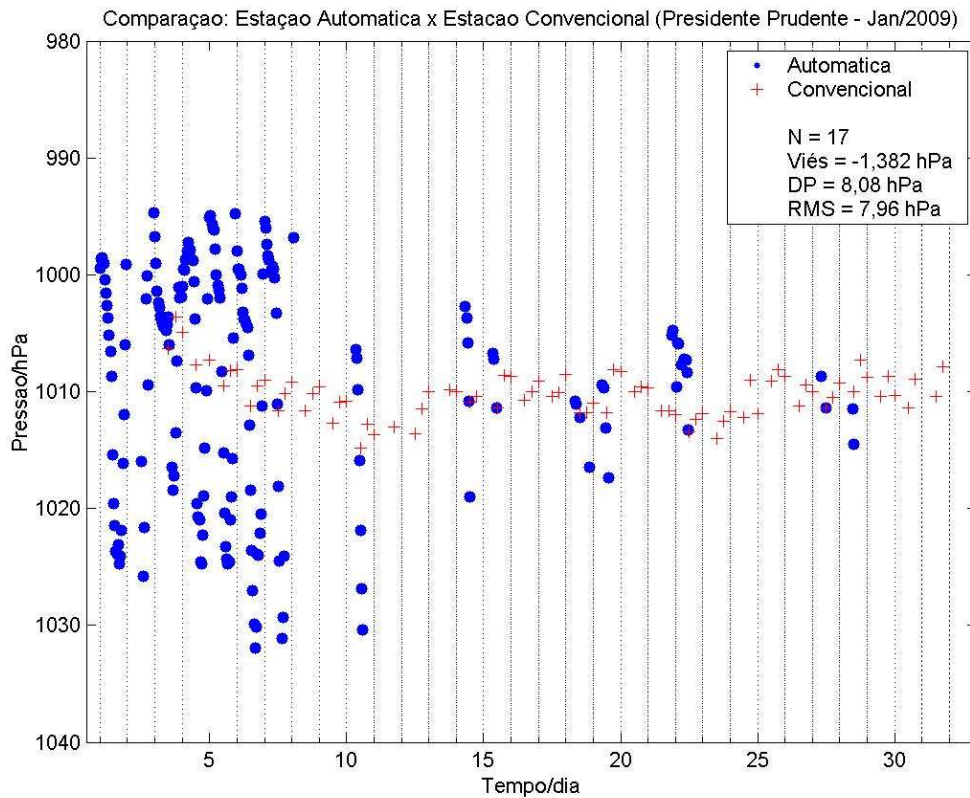


Figura 7 – Séries temporais das medidas de pressão atmosférica obtidas nas estações: convencional SYNOP (cruzes em vermelho) e automática do INMET (círculos em azul) localizadas na cidade de Presidente Prudente (SP) no mês de janeiro de 2009.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho apresentou os resultados do levantamento de todas as estações meteorológicas localizadas próximas às estações GPS da RBMC onde as estimativas do ZTD estão sendo atualmente geradas de forma operacional. Neste processo foram identificadas as estações mais próximas e, portanto as prováveis estações a serem utilizadas na conversão das estimativas do Z_{TD} em valores do IWV. A partir deste levantamento observou-se que as estações de Belém (PA), Vitória (ES), Lins (SP), Ourinhos (SP), Presidente Prudente (SP), Rio Branco (AC), Rio de Janeiro (RJ), Natal (RN), Santa Maria (RS) e Curitiba (PR) possuem estações automáticas do INMET próximas e, portanto servirão para o propósito já mencionado acima. As estações localizadas nas cidades de Brasília (DF), Belo Horizonte (MG), Cananéia (SP) e Campos dos Goytacazes (RJ) possuem apenas estações convencionais nas proximidades. Por outro lado, observou-se que as estações GPS localizadas em Cuiabá (MT), Ilha Solteira (SP), Imbituba (SC), Macapá (AP), Campo Grande (MS), Porto Alegre (RS), São Paulo (SP), Porto Velho (RO), Salvador (BA), São José do Rio Preto (SP) e Ubatuba (SP) não possuem estações meteorológicas suficientemente próximas. Tais estações são fortes candidatas a receberem estações meteorológicas que estão sendo adquiridas em projetos vinculados com a aplicação da rede RBMC na quantificação do IWV, levando-se em consideração a importância da região em que elas se localizam para o monitoramento do IWV no Brasil.

Na comparação dos valores de pressão atmosférica medidos por estações automáticas com estações convencionais observou-se que enquanto na cidade de Curitiba os valores obtidos mostraram boa consistência, o mesmo não foi observado nas estações localizadas na cidade de Presidente Prudente. O resultado obtido em Curitiba mostra que os valores apresentados pelas diferentes estações são muito semelhantes. Este comportamento pode ser encontrado em outras estações, todavia não é regra, já que os resultados observados em Presidente Prudente revelam que há um problema na coleta dos dados que merece mais investigação para que o mesmo seja identificado e corrigido. Na

estação automática de Presidente Prudente o que chama a atenção é a alta dispersão dos valores apresentados por essa estação, uma vez que o DP em torno da média foi de 11,68 hPa no mês de agosto de 2008 e 9,71 no mês de janeiro de 2009.

Um ponto de extrema importância que deve ser ressaltado é que os bancos de dados que disponibilizam a localização geográfica das estações, principalmente as meteorológicas, fornecem estas informações com pouca exatidão. Os valores de latitude e longitude são muitas vezes arredondados e este arredondamento remete à uma localização falha, já que esta diferença numérica gera erros de centenas de metros até quilômetros. Esta questão deve ser considerada quando se analisa as imagens constantes no Apêndice B deste trabalho, pois nestas se especifica a distância entre as estações meteorológicas a partir de pontos obtidos com esta deficiência.

O próximo passo deste trabalho é utilizar estes resultados no processo de assimilação de dados das estimativas do IWV a partir da utilização de receptores GPS. Essa foi a meta motivadora deste trabalho e será desta forma, o próximo passo no estudo da estimativa do IWV a partir do atraso zenital troposférico observado por estações GPS. Para tanto, um estudo adicional será realizado para determinar o impacto da distância entre as estações meteorológicas e estações GPS na qualidade final das estimativas do IWV. Em uma outra fase serão investigadas metodologias para minimizar este impacto com o emprego de interpolação espacial e temporal das medidas de pressão atmosférica e temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEVIS, M.; BUSINGER, S.; HERRING, T. A.; ROCKEN, C.; ANTHES, R. A.; WARE, R. H. GPS meteorology: remote of atmospheric water vapor using the Global Positioning System. **Journal of Geophysical Research**. v. 97, p.15.787-15.801, October. 1992.

BEVIS, M.; CHISWELL, G.; HERRING, T. A.; ANTHES, R.; ROCKEN, C.; WARE R.H. GPS Meteorology: mapping zenith wet delays into precipitable water. **J. Appl. Meteor.**, v.33, p.379-386, 1994.

BOEHM, J.; SCHUH. H. Vienna mapping functions in VLBI analyses. **Geophys. Res. Lett.**, 31, L01603, doi: 10.1029/2003GL018984. 2004.

CPTEC. CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. 2009. **Glossário**. Disponível em <http://www.cptec.inpe.br/glossario/>. Acessado em 9 de out. de 2009.

CUCURULL, L.; NAVASCUES, B.; RUFFINI, G.; ELÓSEGUI, P.; RIUS, A.; VILÀ, J. The use of GPS to valuate NWP sustem: the HIRLAM model. **Journal Atmospheric and Oceanic Technology**. V. 17, p. 773-787, 2000.

CUCURULL, L.; RIUS A.; VANDENBERGHE F.; PONDECA M. 4D-VAR assimilation of GPS-deriver ZTD: a case study. In: ION GPS INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF INSTITUTE OF NAVIGATION, 14., 2001, Salk Lake City – Utah. **Proceedings...** Salk Lake City: ION GPS, 2001.

DAVIS, J. L.; HERRING, T. A.; SHAPIRO I.; ROGERS, A .E.; ELGENED, G. Geodesy by interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of base line length. **Radio Sci.**, v. 20, p.1593-1607, 1985.

DUAN, J.; BEVIS, M.; FANG, P.; BOCK, Y.; CHISWELL, S.; BUSINGER, S.; ROCKEN, C.; SOLHEIM, F.; HOVE, T.; WARE, R.; MCCLUSK, S.; HERRING, T. A.; KING, R. W. GPS meteorology: direct estimation of the absolute value of precipitable. Water. **Journal of Applied Meteorology**, v. 35, p.830-833, 1996.

EMARDSON, T. R. **Studies of atmospheric water vapor using the Global Positioning System**. Göteborg, Sweden: School of Electrical and Computer Engineering Chalmers University of Technology, 1998. (Technical Report No. 339).

FORTES, L.P.S. **Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC)**. 152 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1997.

GOOGLE. **KML** - guia do usuário do Google Earth. 2009. Disponível em http://earth.google.com/intl/pt-BR/userguide/v4/ug_kml.html. Acessado em 9 de out. de 2009.

HIGGINS, M. **Simulated 1D-variational assimilation of ground based GPS measurements of total Zenith delay**. [S.l.]: The Met Office: Numerical Weather Prediction. Technical Reports n. 285, Nov. 1999

HOGG, D. C.; DECKER, M. T.; GUIRAUD, F. O.; GARNSHAW, K. B.; MERRITT, D. A.; MORAN, K. P.; SWEZZY, W. B.; STRAUCH, R. G.; WESTWATER, E.R.; LITCKE, C. G. An automatic profile of the temperature, wind and humidity in the troposphere. *J. Climate appl. Meteor.*, v.22, p.807-831, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo**. 2009. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/info_tec.shtm. Acessado em 9 de out. de 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **INMET** – Rede de observação. 2009. Disponível em http://www.inmet.gov.br/html/rede_obs.php. Acessado em 10 de out. de 2009.

KUO, Y. H., GUO, Y. R.; WESTWATER, E. R. Assimilation of precipitable water into mesoscale numerical model. **Mon. Wea. Ver.**, 121, 1215-1238, 1993.

MAREL, H. **Exploitation of ground based GPS for numerical weather prediction and climate applications in Europe**. Delf, The Netherlands: Delf University of Technology, Department of Geodesy, 2001.

MELFI, S. H.; WHITEMAN, D.; FERRARE. R. Observation of atmospheric fronts using raman lidar moisture measurements. **J. Appl. Meteor.**, v.28, p.789-806, 1989

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: UNESP, 2008a 476p.

MONICO. J. F. G. **GNSS: Investigações e aplicações no posicionamento geodésico, em estudos relacionados com a atmosfera e na agricultura de precisão**. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista.2008b. Projeto aprovado em andamento na FAPESP na modalidade temático. Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas.

NATIONAL AERONAUTICS SPACE ADMINISTRATION (NASA). **GENESIS** – Global Environmental & Earth Science Information System. 2005a. Disponível em <http://genesis.jpl.nasa.gov/zope/GENESIS>. Acesso em 25 de out. de 2005.

NIELL, A. E. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n.B2, p. 3227-3246, 1996.

_____. Preliminary evaluation of atmospheric mapping functions based on numerical weather models. **Phys. Chem. Earth**, v. 26, p.475-480, 2001.

PACIONE, R.; SCIARRETTA C.; FIONDA E.; VESPE, F.; FERRARA R. GPS and ground-based microwave radiometer IPWV: a case study at Cagliari astronomical station, Italy. ION GPS INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF INSTITUTE OF NAVIGATION, 14., 2001, Salk Lake City – Utah. **Proceedings...** Salk Lake City: ION GPS, 2001.

REIGBER C.; GENDT. G.; DICK G.; TOMASSINI M. Near real-time water vapor monitoring in a german GPS network and assimilation into weather forecast model. In: ION GPS INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF INSTITUTE OF NAVIGATION, 14., 2001, Salk Lake City – Utah. **Proceedings...** Salk Lake City: ION GPS, 2001

ROCKEN, C.; ANTHES, R.; EXNER, M.; HUNT, D.; SOKOLOVSKIY, S.; WARE, R.; GORBUNOV, M.; SCHREINER, W.; FENG, D.; HERMAN, B.; KUO, Y.; ZOU, X. Analysis and validation of GPS/MET data in the neutral atmosphere. **J. Geophys. Res.**, v.102, p.29849-29866, 1997.

SAPUCCI, L. F. **Estimativa do vapor d'água atmosférico e a avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS**. 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado Em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.

_____. **Estimativas do IWV utilizando receptores GPS em bases terrestres no Brasil**: sinergia entre a geodésia e a meteorologia. 2005. 200 f. Tese

(Doutorado Em Ciências Cartográficas) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2005.

SMITH, W. L. The retrieval of atmospheric profiles from VAS geostationary radiance observations. **J. Atmos. Sci.**, v.40, p.2025-2035, 1983.

SPILKER, J.; J. JR. **Tropospheric effects on GPS**. [S.l.]: American Institute of Aeronautics and Astronautics v. 1, cap. 13, p. 517 – 546, 1994.

TSUDA, T.; HEKI, K.; MIYAZAKI, S.; AONASHI, K.; HIRAHARA, K.; NAKAMURA, H.; TOBITA, M.; KIMATA, F.; TABELI, T.; MATSUSHIMA, T.; KIMURA, F.; SATOMURA, M.; KATO, T.; NAITO, I. GPS meteorology project of Japan – exploring frontiers of geodesy. **Research News Earth Planets Space**, v. 50, n. 10. 1998.

VITORELLO, I. **Sistema Integrado de Posicionamento GNSS para estudos geodinâmicos**. São José dos Campos: INPE/PETROBRÁS, 2008. Projeto aprovado e em andamento com recursos da PETROBRAS.

WARE, R.; ALBER, C.; ROCKEN, C.; SOLHEIM, F. Sensing integrated water vapor along GPS ray paths. **Geophys. Res. Lett.**; v.24, p.417-420, 1997.

YANG, X.; SASS, H.; ELGERED, G.; JOHNSON, J. M.; EMARDSON, T. T. A comparison of precipitable water vapor estimates by an NWP simulation and GPS observations. **Journal of Applied Meteorology**, v.38, p. 941-956, 1999.

APÊNDICE A

Rotina em Linguagem *Fortran* para gerar os arquivos no formato KML
para plotagem de estações no *software Google Earth*.
Autoria e cortesia: Met. Fábio Luiz Rodrigues Diniz

```

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
C INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS C
C CENTRO DE PREVISAO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMATICOS C
C GRUPO DE ASSIMILACAO DE DADOS C
C C
C PROGRAMA QUE ADICIONA UM PAR DE COORDENADAS A UM ARQUIVO COM C
C EXTENSAO .KML PARA SEREM VISUALIZADAS NO SOFTWARE GOOGLE EARTH. C
C C
C AUTORES: FABIO LUIZ RODRIGUES DINIZ C
C LUIS FERNANDO SAPUCCI C
C C
C V0.0 DATA: 25/03/2009 C
C V0.1 DATA: 01/04/2009 C
C V0.1 DATA: 28/08/2009 C
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

```

```

program gearth
implicit none
integer i,t
character *20 lon,lat,est,des

open(10,file='INMET_auto.kml',status='unknown')
open(20,file='lon.dat',status='old')
open(30,file='lat.dat',status='old')
open(40,file='est.dat',status='old')
open(50,file='des.dat',status='old')

```

```

C CABECALHO DO KML
write(10,*) '<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>'
write(10,*) '<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">'
write(10,*) ' <Document>'
write(10,*) '   <Folder>'
write(10,*) '     <Style id="icone">'
write(10,*) '       <IconStyle>'
write(10,*) '         <scale>1.0</scale>'
write(10,*) '         <Icon>'
write(10,*) '           <href>vermelho.png</href>'
write(10,*) '         </Icon>'
write(10,*) '       </IconStyle>'
write(10,*) '     </Style>'
write(10,*) '   <name>INMET - auto</name>'

```

```

do
C ESTRUTURA DO PLACEMARK
  read(40,*,END=99)est
  read(50,'(A20)')des
  read(20,*)lon
  read(30,*)lat
  write(10,*) , '      <Placemark>'
  write(10,70)est
  write(10,*) , '      <styleUrl>#icone</styleUrl>'
  write(10,80)des
  write(10,*) , '      <Point>'
  write(10,60)lon,lat
  write(10,*) , '      </Point>'
  write(10,*) , '      </Placemark>'
  enddo
99  CONTINUE

C RODAPE DO KML
  write(10,*) , '    </Folder>'
  write(10,*) , ' </Document>'
  write(10,*) , '</kml>'

  close(10)
  close(20)
  close(30)
  close(40)
  close(50)

60  format('      <coordinates>'(A20) ','(A20) ',0</coordinates>')
70  format('      <name>'(A5) '</name>')
80  format('      <description>'(A31) '</description>')
  stop
  end

```

APÊNDICE B

Nesta seção serão apresentadas as imagens compostas no *Google Earth* que identificam a localização das estações GPS e as estações meteorológicas em suas proximidades.



Figura B.1 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Belém (PA).

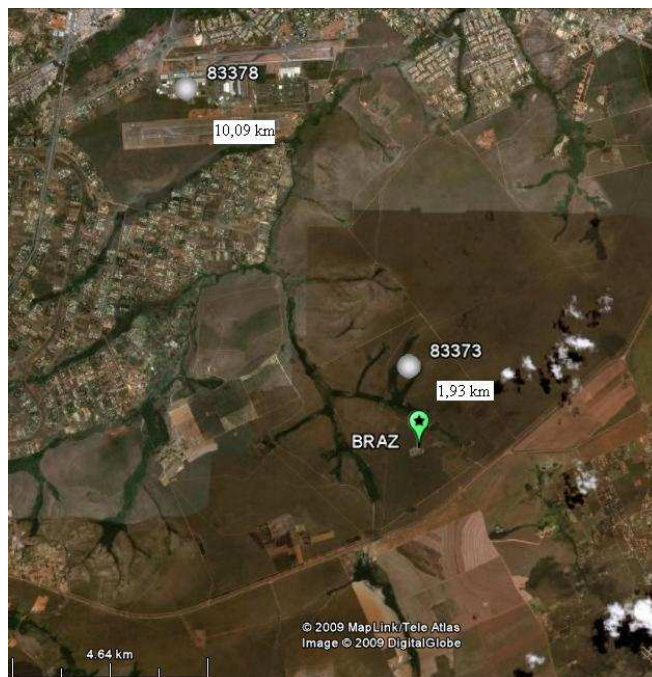


Figura B.2 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Brasília (DF).



Figura B.3 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Vitória (ES).

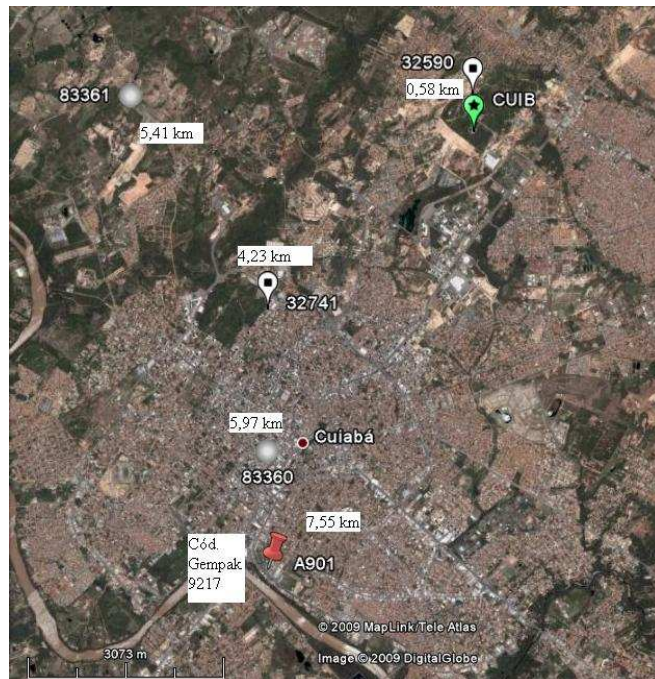


Figura B.4 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Cuiabá (MT).



Figura B.5 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Ilha Solteira (SP).

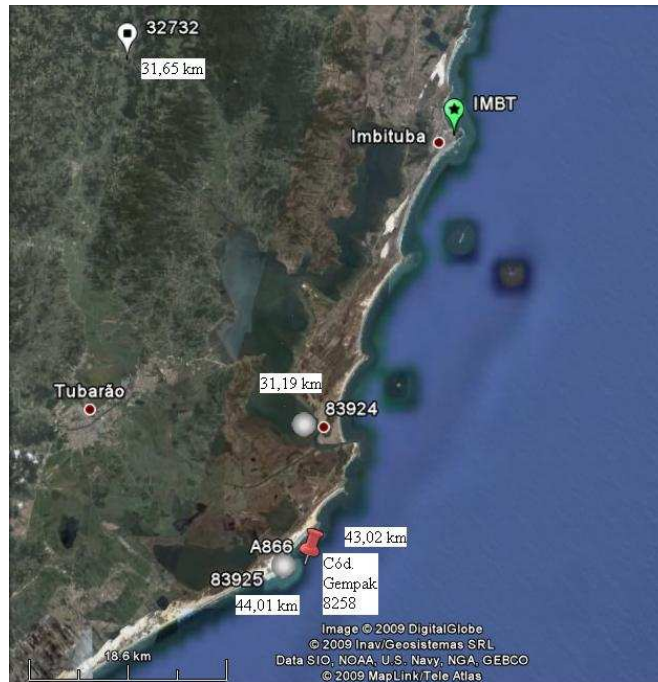


Figura B.6 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Imbituba (SC).



Figura B.7 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Lins (SP).



Figura B.8 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Macapá (AP).

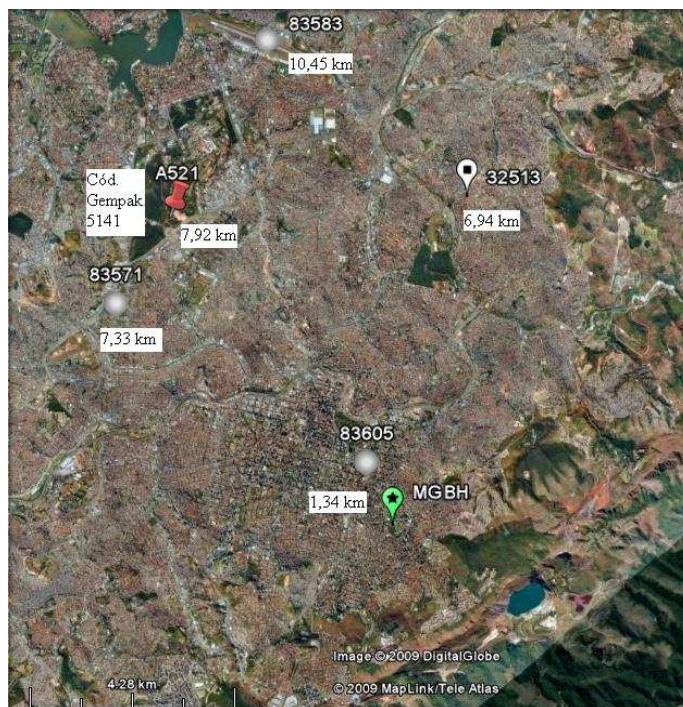


Figura B.9 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Belo Horizonte (MG).

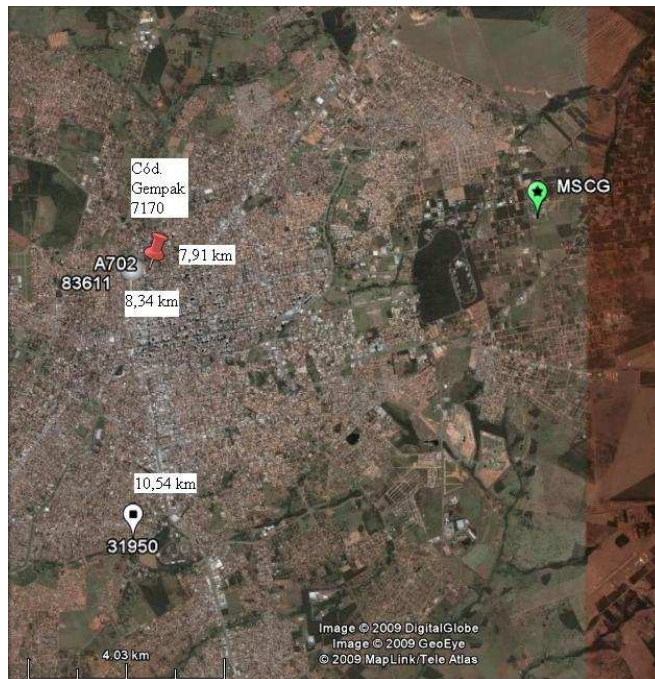


Figura B.10 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Campo Grande (MS).



Figura B.11 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Cananéia (SP).

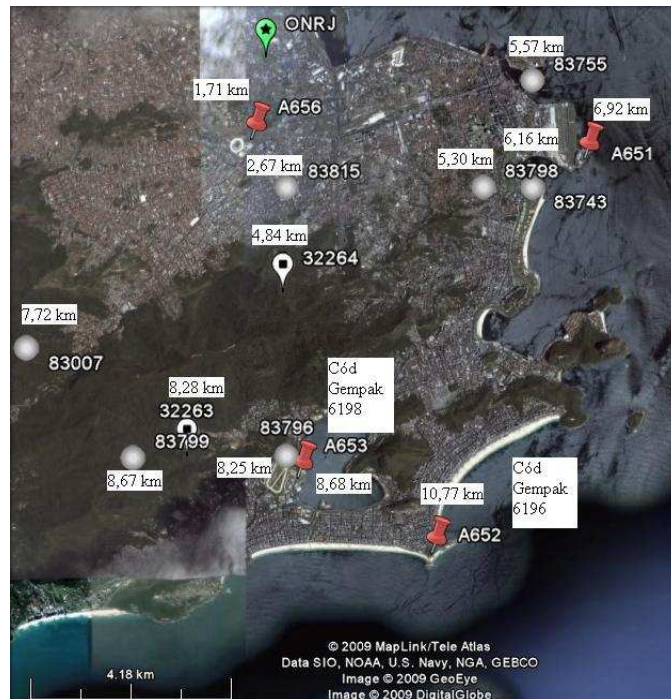


Figura B.12 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Rio de Janeiro (RJ).



Figura B.13 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Ourinhos (SP).

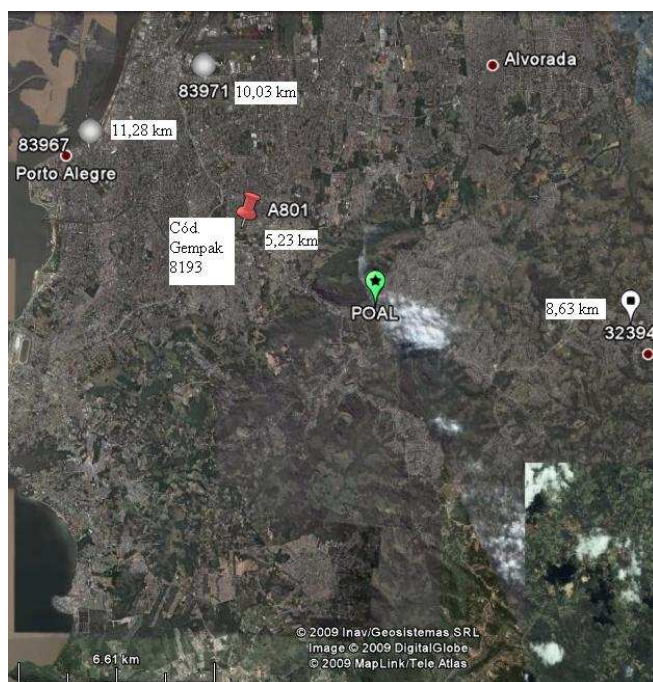


Figura B.14 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Porto Alegre (RS).

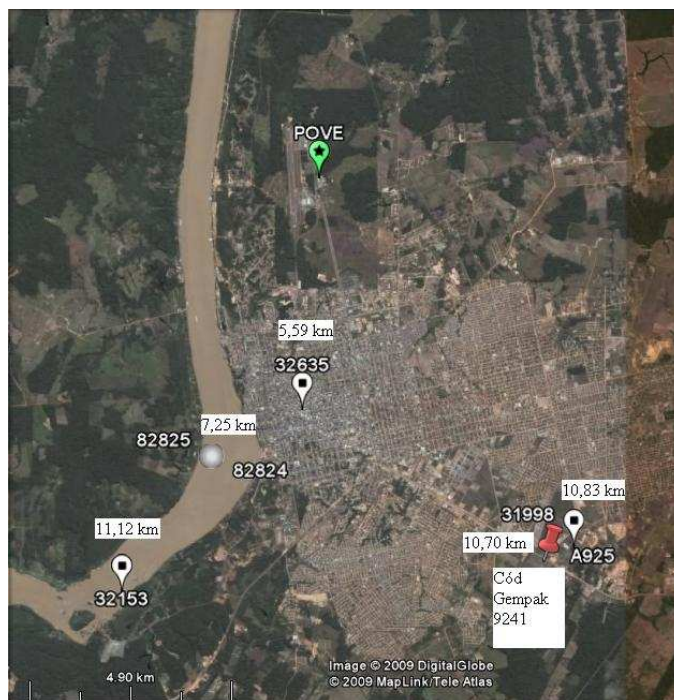


Figura B.15 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Porto Velho (RO).

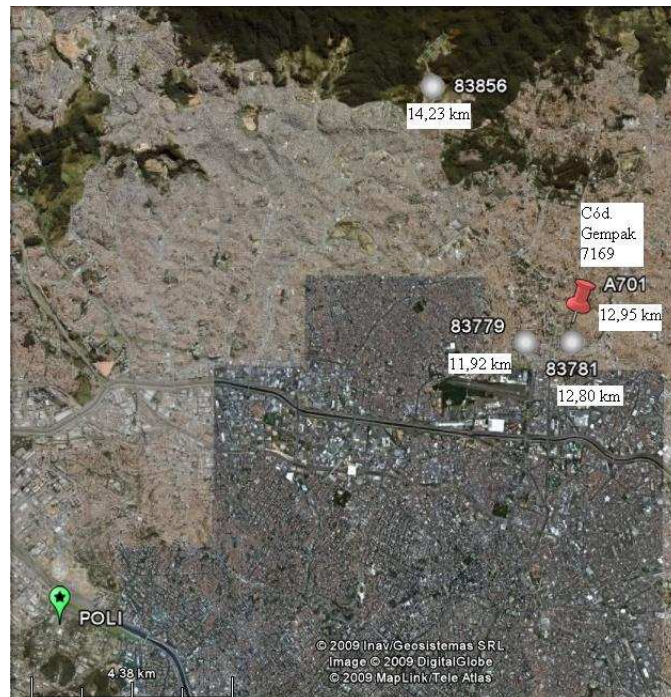


Figura B.16 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de São Paulo (SP).

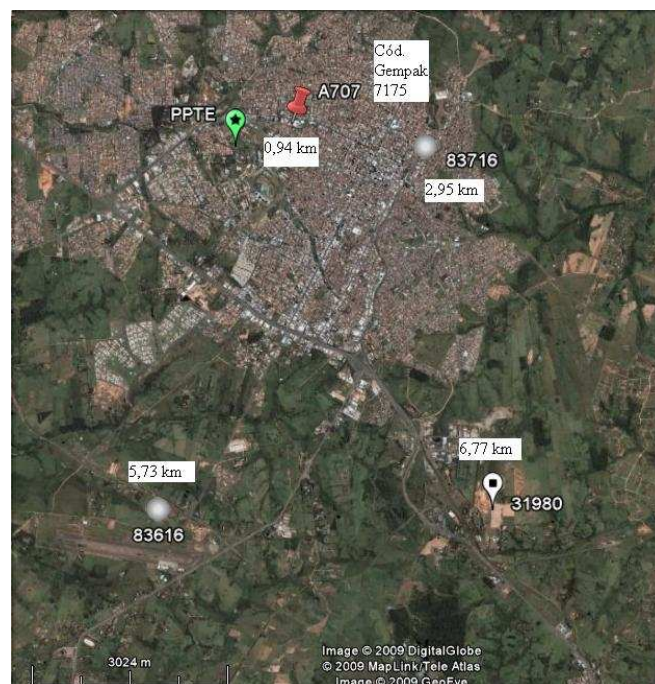


Figura B.17 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Presidente Prudente (SP).

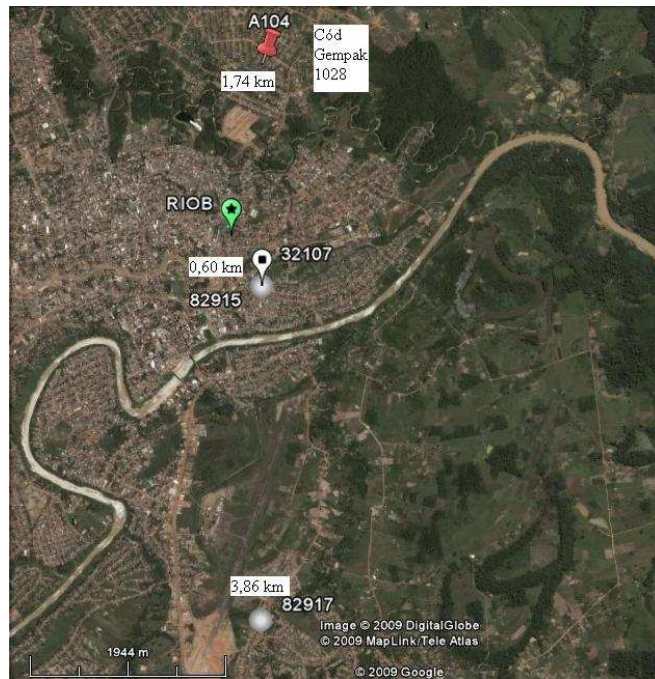


Figura B.18 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Rio Branco (AC).

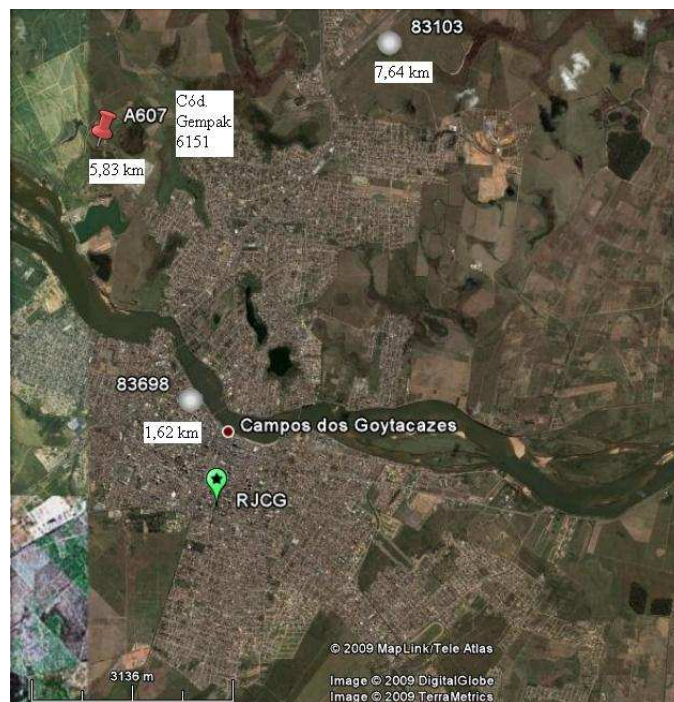


Figura B.19 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Campo dos Goytacazes (RJ).

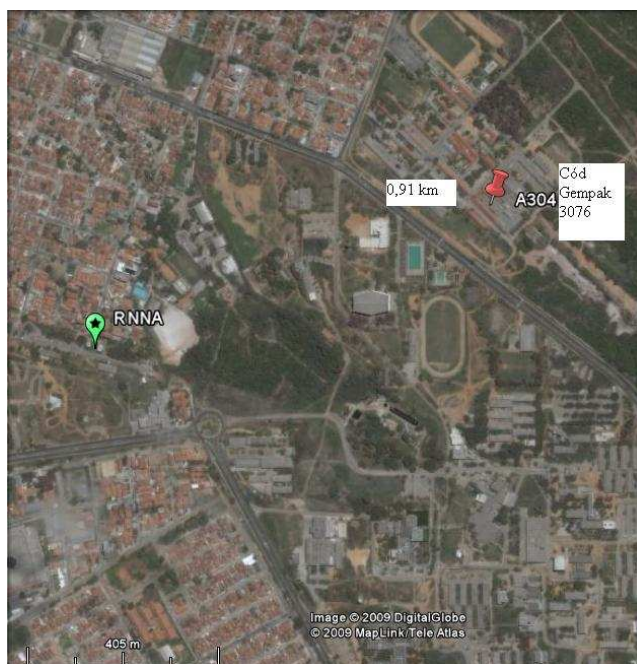


Figura B.20 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Natal (RN).

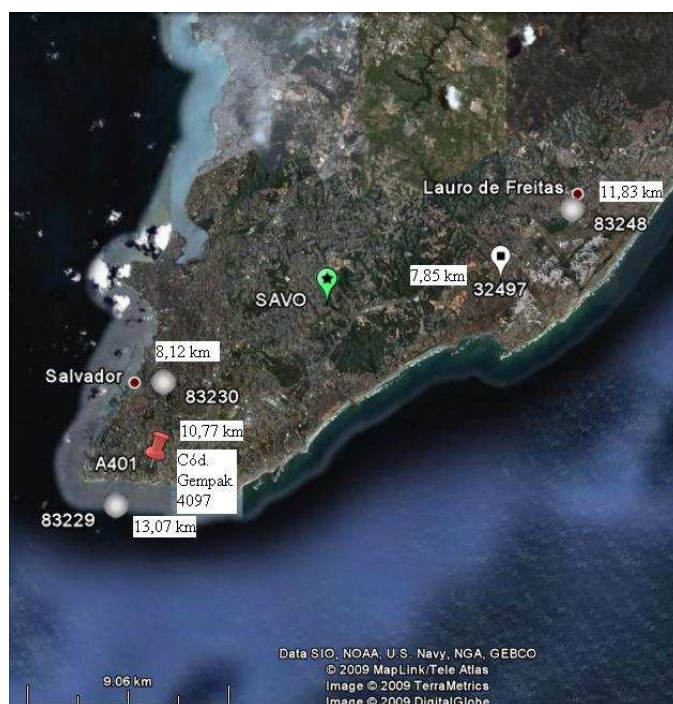


Figura B.21 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Salvador (BA).

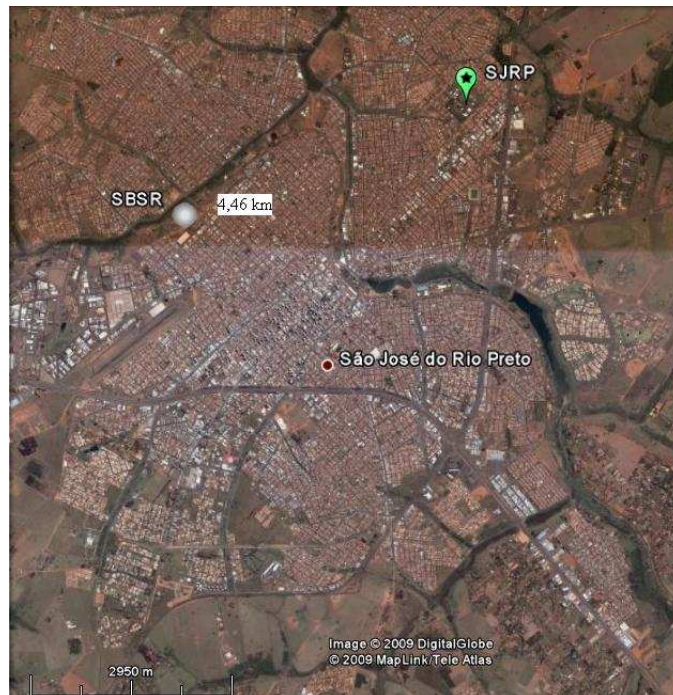


Figura B.22 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de São José do Rio Preto (SP).

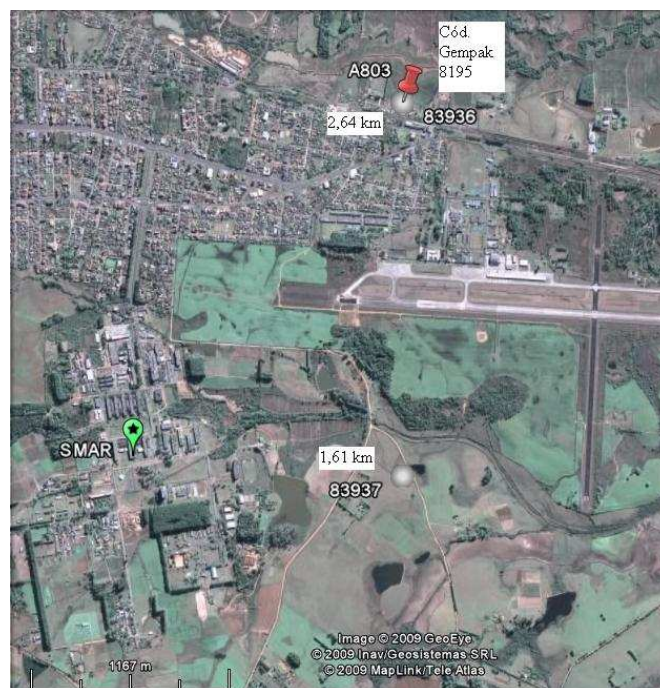


Figura B.23 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Santa Maria (RS).

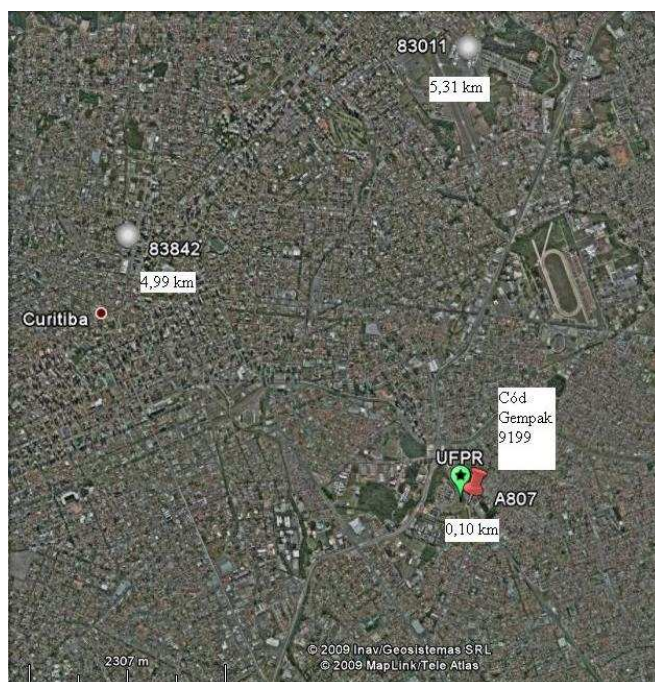


Figura B.24 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Curitiba (PR).

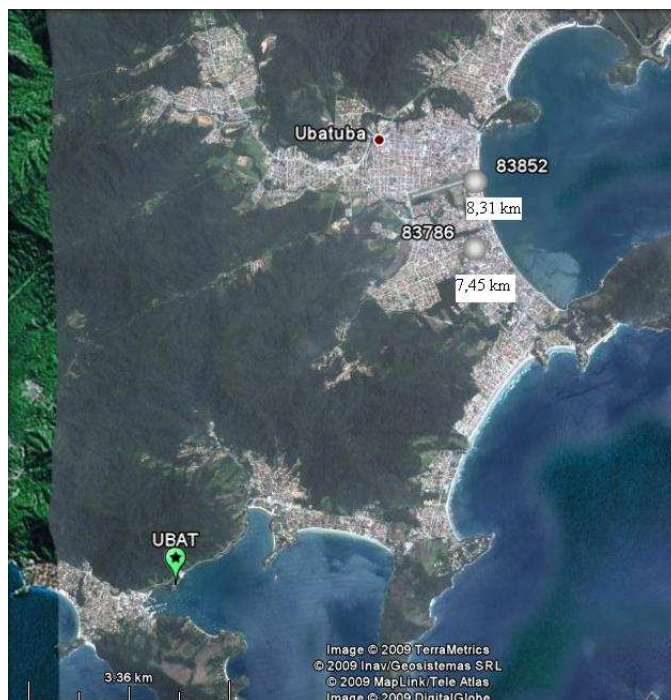


Figura B.25 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Ubatuba (SP).

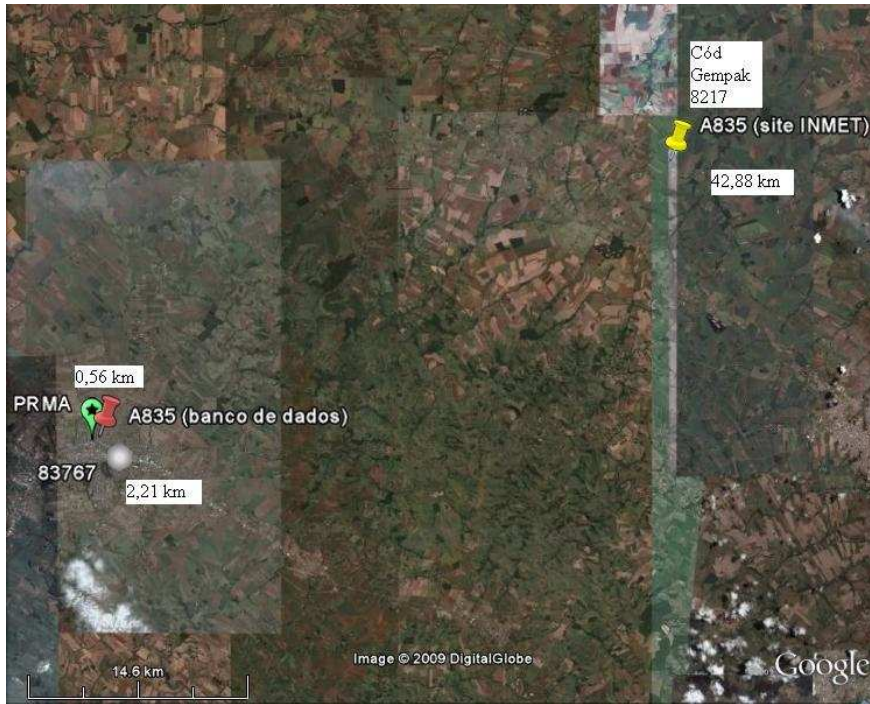


Figura B.26 – Localização das estações meteorológicas próximas da estação GPS instalada na cidade de Maringá (PR).