
IMPACTO DA INTERPOLAÇÃO DAS MEDIDAS ATMOSFÉRICAS NA QUALIDADE DO IWV OBTIDO VIA GNSS

ELIAS R. SOUZA⁽¹⁾

LUIZ F. SAPUCCI⁽²⁾

LUCAS A. AVANÇO⁽²⁾

MARIANA CHAVES⁽³⁾

(1) Instituto Federal de Educação do Norte de Minas Gerais – IFNMG, Januária MG

(2) Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, SP,

(3) Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas da UNESP, Presidente Prudente, SP
eliassouzafisica@yahoo.com.br, luiz.sapucci@cptec.inpe.br, lucas.amarante@cptec.inpe.br,
mariana.unesp@hotmail.com

RESUMO: Uma aplicação importante da quantificação do vapor d'água atmosférico utilizando redes de monitoramento contínuo dos sinais GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é na assimilação de dados em modelos de previsão numérica de tempo (PNT) ao usar as estimativas do vapor d'água integrado na atmosfera (*Integrated Water Vapor - IWV*). Para a obtenção de tais estimativas utiliza-se um processo apropriado que determina o atraso Zenital Troposférico Úmido, o qual é convertido em estimativas do IWV usando medidas de pressão a altura da antena. Essa conversão está sujeitas a algumas fontes de erros, como a distância e desnível excessivos entre os sensores meteorológicos (em especial o barômetro) e os receptores GNSS, além da precisão dos instrumentos de medida utilizados. O presente trabalho objetiva um estudo do impacto dos erros das medidas das estações meteorológicas na quantificação de IWV, a partir de observações das redes GNSS no Brasil. O trabalho concentrou-se na coleta e análise de dados resultantes de uma campanha de coletas de dados utilizando de 9 estações meteorológicas idênticas. Os resultados mostram que os desníveis entre as estações, componente vertical da interpolação espacial, e a mudança brusca de pressão na madrugada, na qual a interpolação temporal não infere os valores reais, são as maiores fontes desses erros nesse processo e norteiam a assimilação de dados na determinação das incertezas das estimativas do IWV usando dados da RBMC

ABSTRACT: An important application of quantification of atmospheric water vapor using of GNSS (*Global Navigation Satellite System*) continuous monitoring networks is in the data assimilation in models of Numerical Weather Prediction (NWP) in which estimates of Integrated water vapor (IWV) are used. To obtain these estimates use an appropriated process that determines the Zenithal Tropospheric Humid, in which is converted in IWV estimates using pressure measures Antenna height. This conversion is exposit to some error source, for example, the excessive distance between meteorological sensors (in especial the barometer) and the receptors GNSS, besides of the accuracy of the instrument. The present work aims a study of impact of temporal interpolation and spatial corrections of measures from meteorological station available to be applied in the IWV quantification using GNSS observation in Brazil. The work focused on the collection and analysis of data resulting from a campaign of data

collection using identical nine weather stations. The results show that the gaps between the stations, the vertical component of the spatial interpolation and the sudden pressure change at dawn, wherein the temporal interpolation does not infer the actual values the major source of the errors in this process and direct the data assimilation in the determination of the uncertainties of the estimates of the IWV using RBMC data.

1 – INTRODUÇÃO

Ao empregar redes de monitoramento contínuo dos sinais GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para a quantificação do vapor d'água atmosférico tem-se a possibilidade de minimizar as deficiências da base de dados meteorológicos. Uma aplicação importante desses dados é na assimilação em modelos de previsão numérica de tempo (PNT) ao usar as estimativas do vapor de água integrado na atmosfera (*Integrated Water Vapor – IWV*) (MONICO, 2008). O GNSS tem como observáveis básicas a distância entre as antenas dos receptores em terra e as dos satélites artificiais que orbitam a Terra. Uma das fontes de erros nessas medidas é o chamado atraso troposférico (D_{TROP}) que é ocasionado pela atmosfera neutra quando os sinais de radiofrequência por ela atravessam. (SPILKER et al., 1994). Esse atraso pode ser estimado e convertido em estimativas de IWV. Essa conversão está sujeita a algumas fontes de erros, por exemplo, à distância excessiva entre os sensores meteorológicos (em especial o barômetro) e os receptores GNSS, além da precisão dos instrumentos de medida utilizados. O IWV apresenta variabilidade temporal e espacial, estando sujeito quantitativamente a mudanças significativas em curto período de tempo (HARTMAN, 1994). Isso torna a quantificação dessa variável, em nível de acurácia, exigido pela demanda científica, um desafio (SAPUCCI, 2005). O emprego do GNSS apresenta resultados significantes, por apresentar boa precisão para essa técnica (SAPUCCI et al., 2007).

O presente trabalho objetiva um estudo do impacto da interpolação temporal e correções espaciais das medidas das estações meteorológicas pertencentes às redes já existentes na quantificação de IWV utilizando dados coletados nas redes de receptores GNSS no Brasil. É necessário compreender e analisar as estimativas e conversão dos valores de Z_{TD} via GNSS em estimativas de IWV, e as respectivas fontes dos erros presentes nesse processo. Faz-se necessário uma avaliação dos erros devido às interpolações espacial e temporal das medidas, determinando assim, os impactos causados por estes erros na qualidade final de IWV.

Para atingir esses objetivos, utiliza-se de dados provenientes de uma campanha de coletadas de dados realizadas em estações meteorológicas instaladas próximas a uma estação GNSS. Nesta campanha foram envolvidas 9 estações meteorológicas idênticas, todas instaladas em Cachoeira Paulista – São Paulo, e cidades vizinhas. Na seção 3 são apresentados os resultados obtidos e na seção 4 são tecidas algumas conclusões sobre os resultados encontrados.

2 – METODOLOGIA

Para o estudo, utilizou-se os dados resultantes de uma campanha de coletas de dados realizada no período de 19 de Julho a 4 de Setembro de 2010. Foram utilizadas 9 estações meteorológicas idênticas, tendo a estação CHPI, também

tratada de CHP1 em algumas situações do trabalho, instalada na cidade de Cachoeira Paulista como estação referencial. Junto a esta estação é instalada a estação CHPI2. A 1,0 km de distância encontra-se a URC1, instalada no prédio de Administração do INPE; a 2,2 km encontra-se a LIM1 e a LIM2, instaladas no Laboratório de Instrumentação Meteorológica do CPTEC-INPE; a 2,9 km instalou-se a SAPU, todas elas situadas em Cachoeira Paulista – SP. A estação CANA foi instalada na cidade de Canas –SP, a 7,2 km da estação referencial. Já a cidade de Lorena –SP recebeu a LORE, a 13,9 km de CHPI, e a 25 km de CHPI foi instalada a GUAR, em Guaratinguetá –SP. A figura 1 mostra a disposição espacial destas estações.

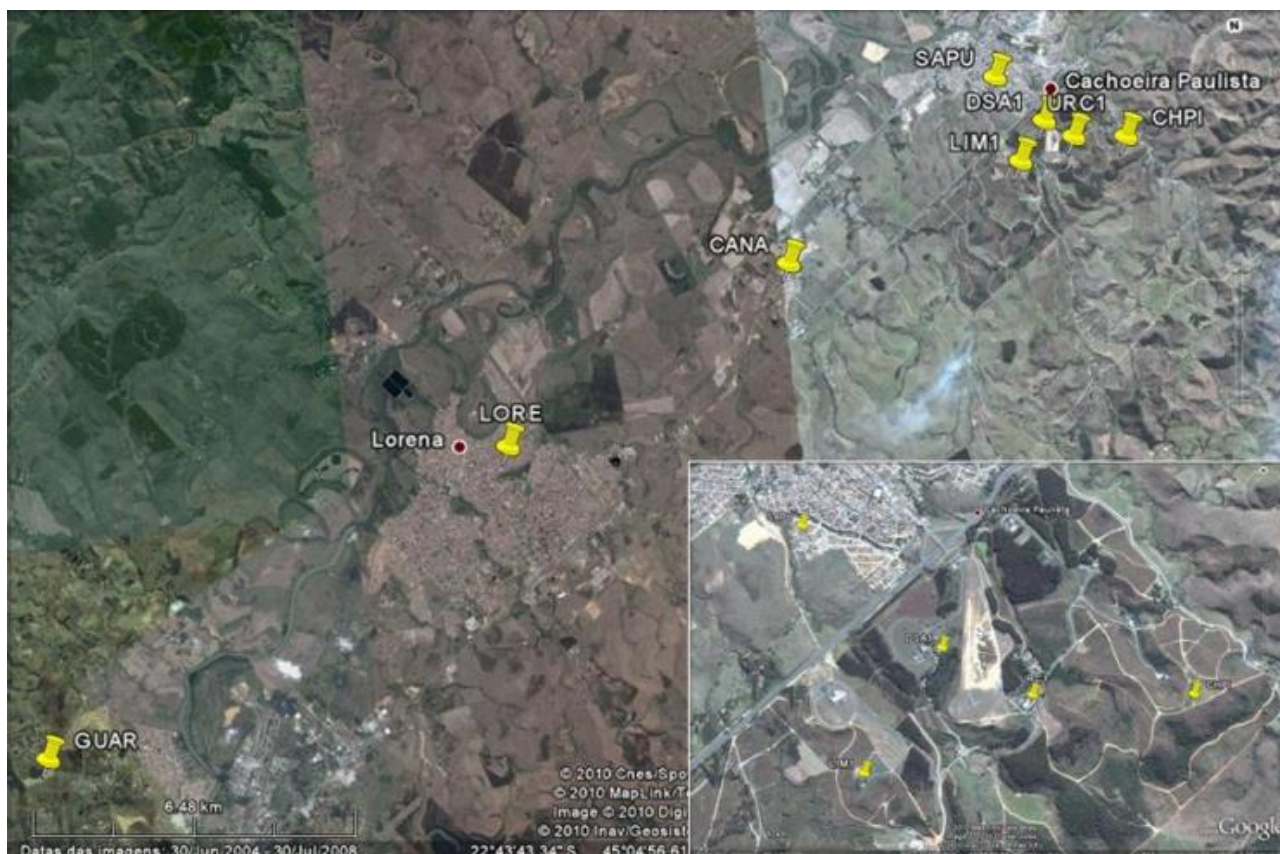


Figura 1: Disposição espacial das estações meteorológicas PTB330 utilizadas na campanha de coletas de dados, realizada em Cachoeira Paulista e cidades vizinhas.

Os dados coletados ao longo do experimento passaram por uma análise minuciosa, eliminando dados espúrios e períodos falhos. Na instalação das estações meteorológicas foi feita uma coleta de dados GNSS de uma seção de 30 minutos com o objetivo de determinar o desnível entre cada antena. Esses dados GNSS foram processados utilizando um software de processamento (*Trimble Geomatics Office- TGO*), onde as coordenadas foram obtidas. Utilizando-se dos dados da estação CHPI como dados de referência, realizou-se um posicionamento relativo estático entre os pontos das estações: LORE, URC1, SAPU, CANA, LIM(LIM1e LIM2) e GUAR, possibilitando assim, correções dos valores de desnível, determinação dos valores de métricas estáticas do comportamento das medidas de temperatura e pressão durante o período do experimento, além de estudos de interpolação temporal e impacto das incertezas nos valores de pressão gerados pela interpolação, distância entre as estações e o desnível na qualidade final de IWV GNSS através da propagação de covariância. A figura 2 mostra os valores das coordenadas ajustadas das estações em estudo, e foi retirada do relatório gerado pelo TGO

Coordenadas geodésicas ajustadas

Erros são relatados com uso de 1.96 σ .

Nome do ponto	Latitude	Erro N	Longitude	Erro L	Altura	erro alt	Fixar
CHPI	22°41'13.72660"s	0.000m	44°59'06.56990"O	0.000m	617.410m	0.000m	Lat Long a
Lore	22°43'46.52433"s	0.005m	45°06'26.08509"O	0.004m	521.134m	0.022m	
Urc1	22°41'07.17740"s	0.002m	44°59'43.14482"O	0.002m	571.417m	0.010m	
Sapu	22°40'25.50767"s	0.003m	45°00'34.05507"O	0.002m	534.186m	0.014m	
Cana	22°42'25.82260"s	0.012m	45°03'29.24098"O	0.010m	524.205m	0.031m	
Lim	22°41'21.64744"s	0.003m	45°00'22.83636"O	0.003m	579.962m	0.018m	
GUAR	22°46'44.04296"s	0.004m	45°12'39.70910"O	0.003m	542.938m	0.010m	

Figura 2: Ilustração do relatório gerado pelo TGO- Coordenadas geodésicas ajustadas

A tabela 1 apresenta as informações dos desníveis de cada estação tomando como referência a estação CHPI, a partir dos dados ajustados.

Tabela 1: Tabela referente aos desníveis entre as estações da campanha.

Estação	Desnível	Desnível	Desnível total
	Est. Met –Est. GPS	Est. GPS –Est. CHPI	Est. Met – Est. CHPI
CHPI2	0.00	0,000	0.000
SAPU	-1.20	-81.224	-82.424
LORE	0.00	-96.276	-96.276
URC1	0.00	-45.993	-45.993
GUAR	0.00	-74.472	-74.472
LIM1	0.00	-37.448	-37.448
LIM2	-3.34	-37.448	-40.788
CANA	+2.10	-93.205	-91.105

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gráfico da figura 3 apresenta os erros nas medidas de pressão na estação CHPI, caso a distância horizontal e o desnível entre as estações não fossem considerados.

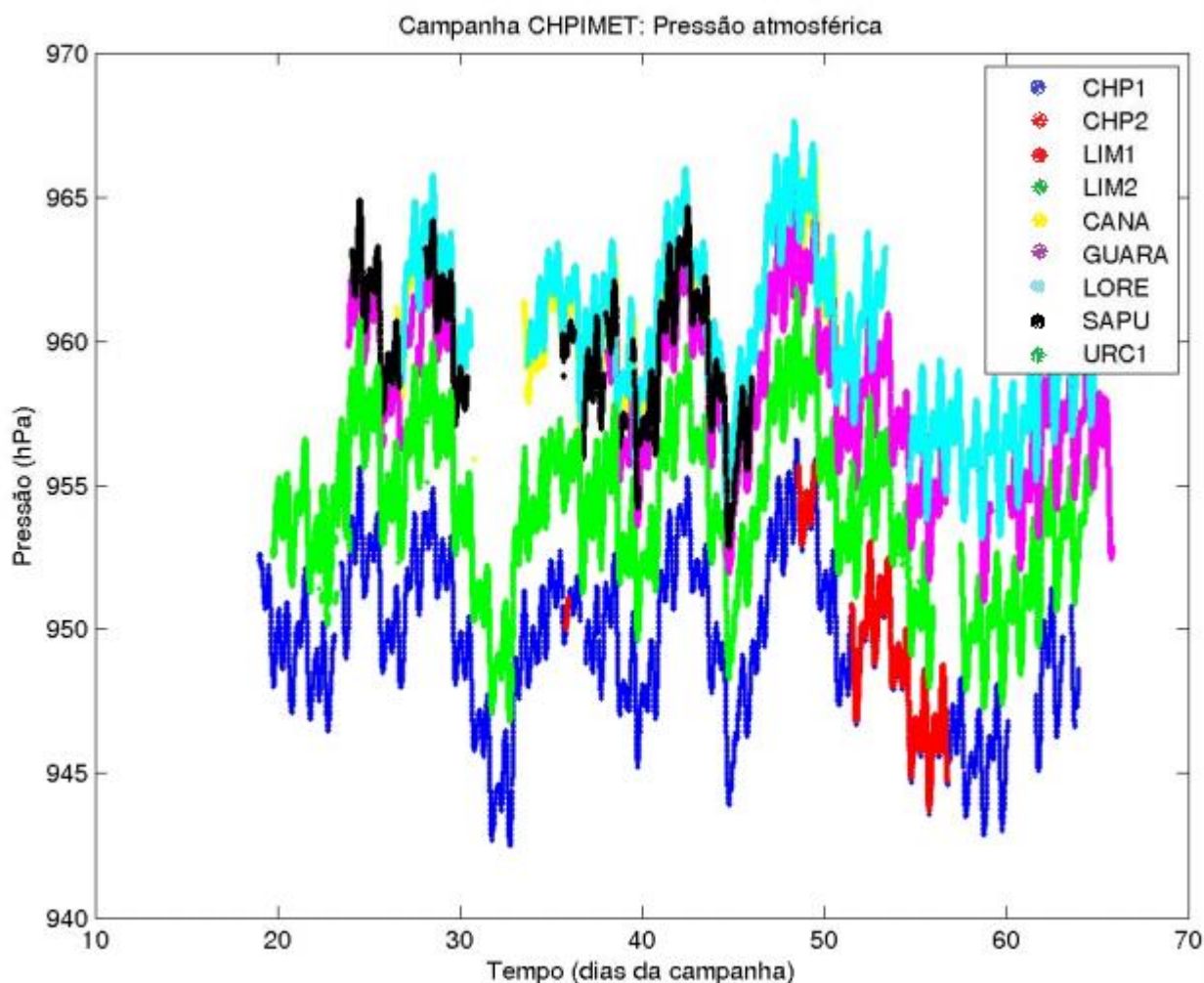


Figura 3: Série temporal dos valores de pressão medidos nas diferentes estações meteorológicas da Campanha CHPIMET.

Observa-se que os valores medidos em cada estação, apresentam diferenças significativas, as quais estão associadas com os desníveis, algo confirmado ao comparar os dados das estações CHP1 e CHP2 posicionadas em mesmo nível e local. Uma exceção é constatada para a estação LIM2, no entanto, a razão para essa diferença é desconhecida. Foi observado que os valores de medidas de temperatura realizadas são muito semelhantes entre as estações, mesmo no caso de distância maiores entre as estações.

Os valores das diferenças de desníveis apresentado na figura 3 podem ser corrigidos com a aplicação dos dados da tabela 1 numa equação hipsométrica, dada pela seguinte equação:

$$P_{corr} = P_{med} e^{\left(\frac{h_{EST} - h_{REF}}{H}\right)} \quad (1)$$

onde P_{corr} e P_{med} são os valores de pressão medidos e corrigidos, respectivamente, enquanto que h_{EST} e h_{REF} correspondem os valores da altura da estação sendo corrigida e a estação de referência. O termo H é a altura da camada

úmida. Com a correção, obtém-se valores muito semelhantes aos medidos na estação CHPI, como mostrado na figura 4, confirmando a eficiência da equação 1 na minimização das incertezas geradas pelo desnível entre as estações.

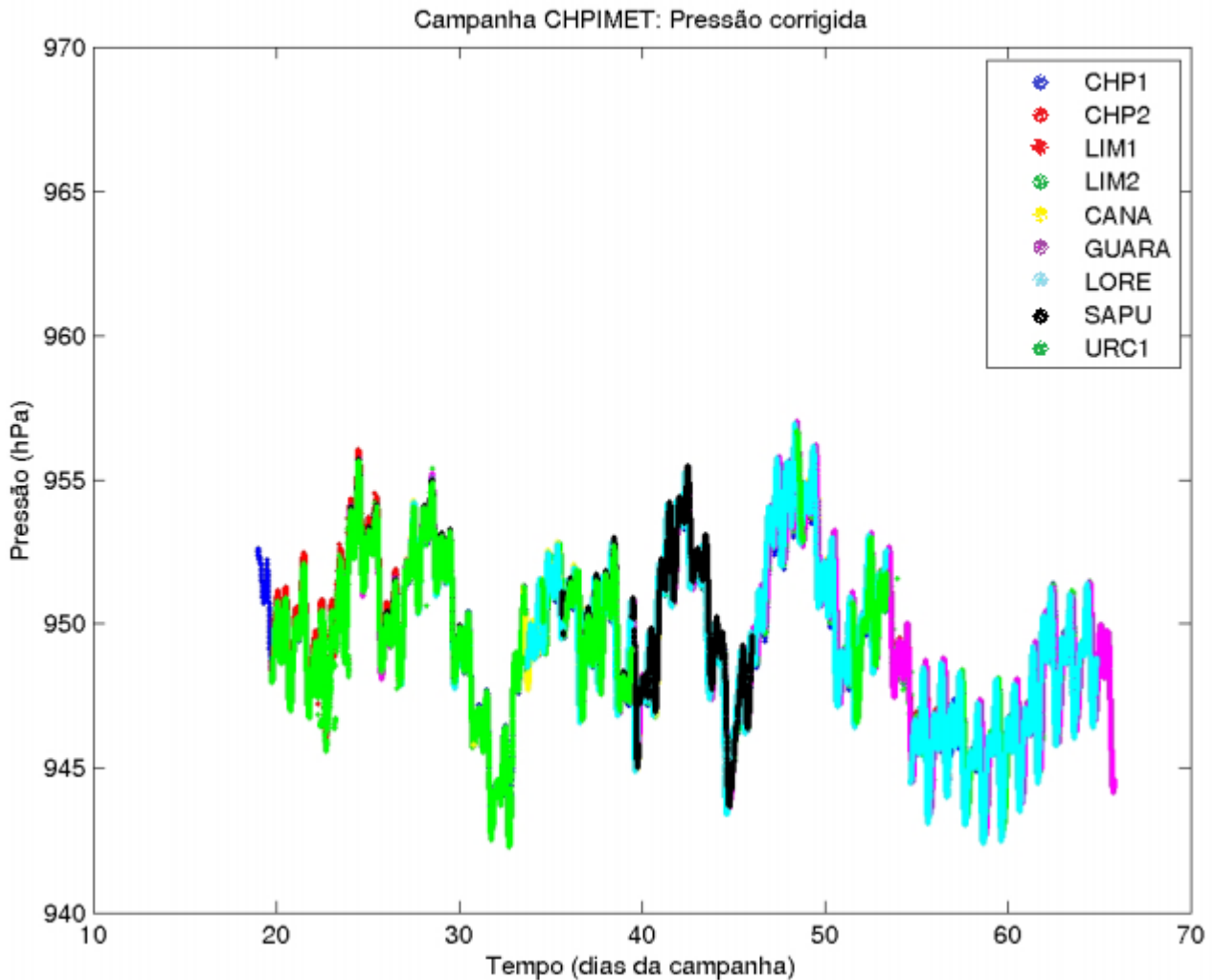


Figura 4: Série temporal da pressão atmosférica das estações da Campanha CHPIMET com correção do desnível entre as estações meteorológicas.

Em estações meteorológicas que não possuem coletas automáticas, que são aquelas que não fazem parte da Plataforma de Coletas de Dados (PCD's), os dados são coletados durante o dia e as coletas das 6 UTC (3 horas locais), isso é, no período da madrugada, normalmente não são feitas por problemas de recursos humanos. Para minimizar erros operacionais causados por esses picos (falhas) nas coletas, utiliza-se da interpolação temporal.

Utilizando-se a estação meteorológica CHPI, foi realizada uma coleta de dados no período de 01 a 28 de agosto de 2010. Fez-se uma simulação na qual neste período não tenha sido feita a coletas as 6:00 UTC, portanto os dados foram interpolados por meio da interpolação por spline cúbica, processo que implica na determinação de prováveis valores dando regularidades nas medidas para este período. A figura 5 mostra o resultado obtido a partir da avaliação dos erros consequentes do uso da interpolação temporal, onde os dados obtidos pela interpolação por spline cúbica (na cor verde) são comparados com os valores observados (na cor azul) nos horários das coletas.

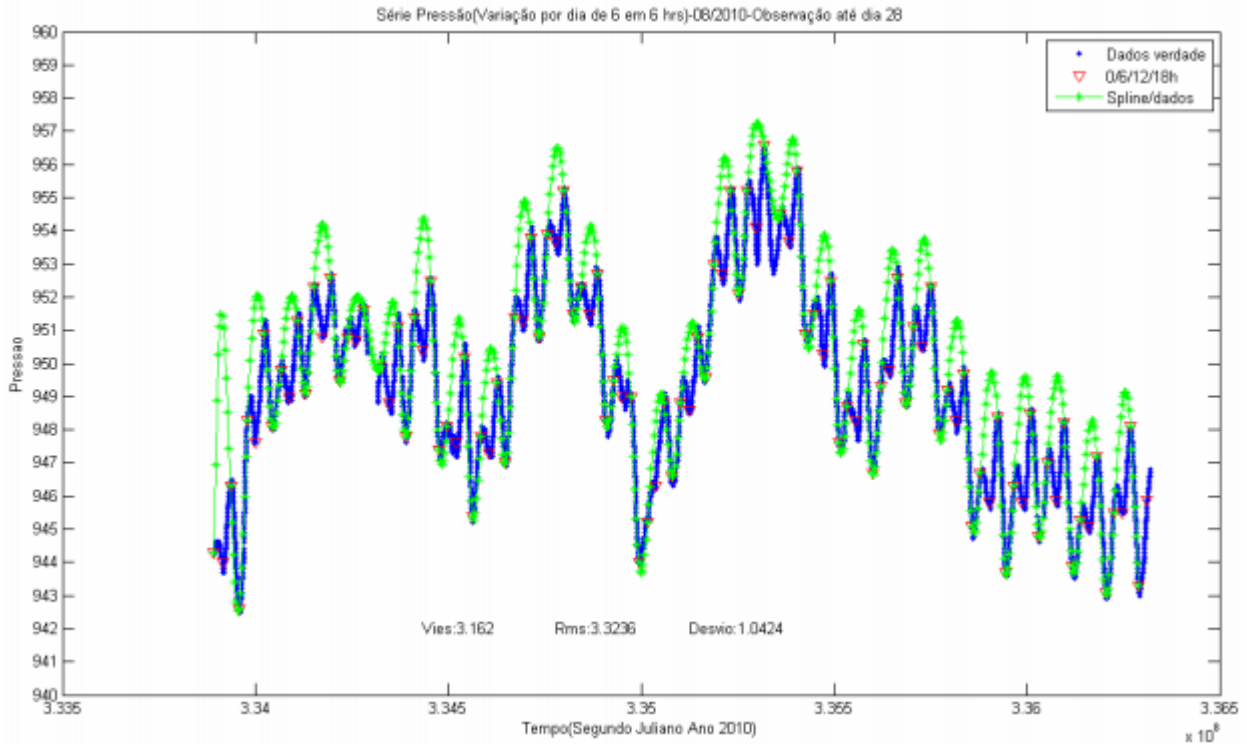


Figura 5 : Gráfico da diferença da interpolação por spline de valores de pressão medidos a cada 6 horas para a estação meteorológica CHPI.

Aplicando-se um zoom em um dos casos apresentado na figura 5, como mostrado na figura 6, observa-se que a interpolação de spline apresenta a tendência de gerar valores de pressão maiores que os observados e maiores que a dispersão detectada na estação, indicando um erro sistemático.

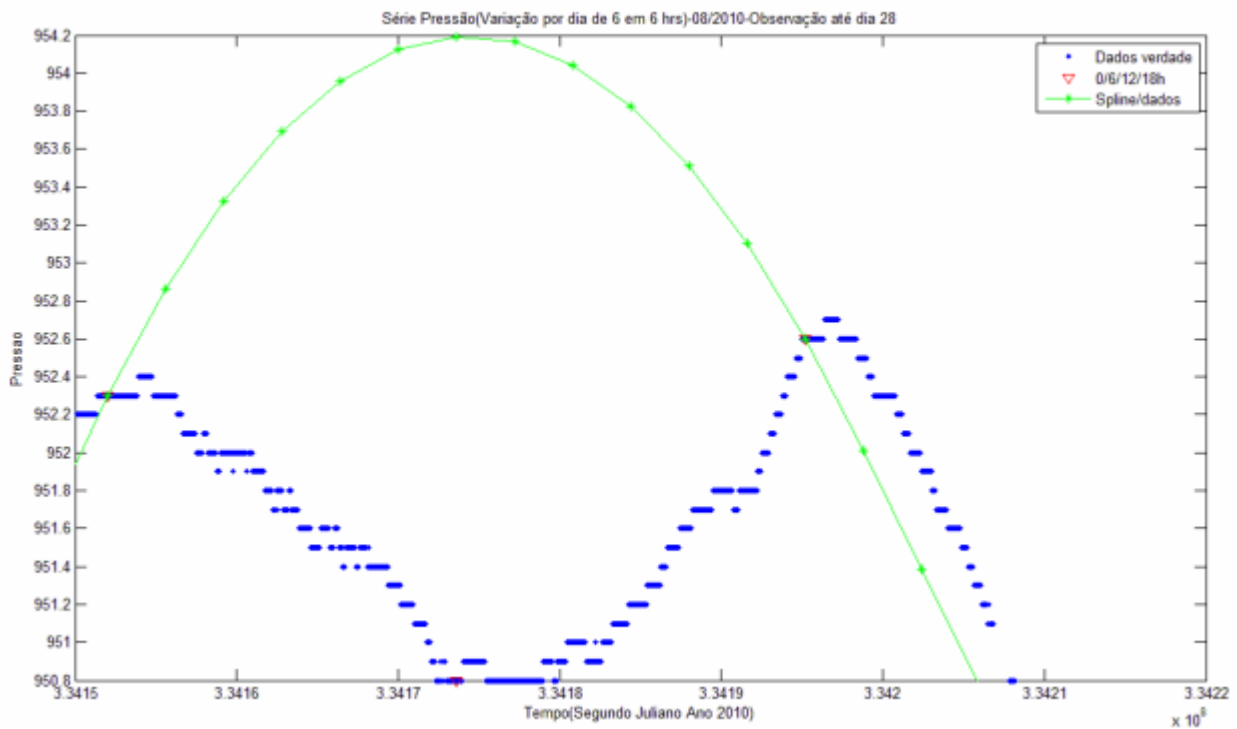


Figura 6: O mesmo da figura 5, mas com um zoom no período em um curto período de dados.

Os resultados mostraram que nesse período do dia, onde há mudanças bruscas nos valores de pressão, uma interpolação temporal não permite inferir adequadamente os valores reais.

A tabela 2 mostra o impacto das incertezas nos valores de pressão nos valores de IWV. No lado esquerdo da tabela avalia-se a influência do desnível por propagação de covariância nos resultados finais dos valores do IWV, com base nos valores de pressão para cada estação com seus respectivos desníveis entre as estações. A tabela da direita mostra a influência da distância na qualidade final dos valores de IWV por meio dos valores de variância de cada estação envolvida no experimento e a incertezas nos valores de pressão após a correção dos desníveis de cada estação meteorológica.

Tabela 2. Incertezas dos valores de IWV resultantes dos Impactos do desnível entre estações meteorológicas e a Incertezas dos valores do de IWV dos Impactos entre as estações meteorológicas, depois de considerados os desníveis entre as mesmas.

Impacto do desnível da estação na variância do IWV				Impacto da distância horizontal na variância do WV			
Estação	Desnível (Δm)	RMS pressão	Incert. IWV	Estação	Distância (km)	Pressão corrigida	Incert. IWV
CHPI2	0	0.128	0.125	CHPI	0	0.128	0.125
LIM1	-37.448	4.513	0.932	LIM1	1.063	0.083	0.125
LIM2	-40.788	4.559	0.952	LIM2	2.190	0.365	0.129
URC1	-45.993	5.076	1.186	URC1	2.190	0.108	0.125
GUARA	-74.472	8.334	3.572	GUARA	2.904	0.188	0.126
SAPU	-82.424	9.284	4.601	SAPU	7.818	0.678	0.129
CANA	-91.105	10.264	5.838	CANA	13.395	1.419	0.129
LORE	-96.276	10.785	6.571	LORE	25.329	0.226	0.126

4- CONCLUSÕES

Nesse trabalho foram utilizados dados meteorológicos de temperatura e pressão coletados em uma campanha onde uma rede de estações idênticas instaladas próximas a um receptor GNSS foi empregada com o objetivo de avaliar as incertezas geradas pela interpolação espacial e temporal de tais medidas na quantificação do IWV usando dados GNSS. Na interpolação espacial a componente horizontal é menos impactante do que a componente vertical. A análise dos resultados da campanha é suficiente para concluir que o desnível apresenta maior interferência na qualidade final do IWV do que a distância horizontal. Quanto à distância horizontal, os dados experimentais mostram que estações distantes até 25 Km da estação GNSS podem ser utilizadas para suprir a ausência de sensores juntos as antenas GNSS, isso após a correção dos desníveis entre as mesmas, que deve ser bem conhecido. De acordo com os resultados durante a madrugada, período do dia em que há mudança brusca no comportamento dos valores de pressão, a interpolação temporal não permite inferir valores reais. Portanto, ao aplicar as redes de monitoramento contínuo na assimilação de dados operacionais, para que se tenham resultados significantes, há necessidade de se conhecer o valor do desnível entre a estação meteorológica e a estação GNSS.

REFERÊNCIAS

HARTMAN, D.L. **Global Physical Climatology**. Ed; Academic Press, California: 410 p, 1994.

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

SAPUCCI, L. F. **Estimativas do IWV utilizando receptores GPS em bases terrestres no Brasil: Sinergia entre a Geodésia e a Meteorologia**. 2005.

SAPUCCI, L. F.; MACHADO, L. A. T.; MONICO, J. F. G.; PLANA-FATTORI, **Atermio**. **Intercomparison of Integrat Water Vapor Estimative from multi-sensor in Amazonian Regions**. Journal of Atmospheric end Oceanic Technology. V. 24, p. 1880-1894, 2007.

SPIPKER, J.; J. JR. Tropospheric Effects on GPS. **American Institute of Aeronautics and Astronautics**. V.1, p.517 - 546, 1994