

W. C. Machado<sup>1</sup>; T. A. Pereira<sup>2</sup>; H. A. Marques<sup>3</sup>

1 – FECIV-UFU (Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia) - wagnercarrupt@ufu.br  
 2 – Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da UFU (Universidade Federal de Uberlândia)  
 3 – Seção de Ensino em Engenharia Cartográfica (SE6) - IME (Instituto Militar de Engenharia); haroldoh2o@gmail.com



## Resumo

O Laboratório de Meteorología espacial, Atmósfera terrestre, Geodesia, Geodinámica, diseño de Instrumental y Astrometría (MAGGIA) da Universidade de La Plata, Argentina, desenvolveu um serviço regional capaz de fornecer mapas de ionosfera com alta resolução espacial e temporal, e em quase tempo real. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho dos mapas regionais de ionosfera produzidos pelo MAGGIA em relação ao mapas globais (GIM) durante os seis primeiros meses do serviço a partir de dados de estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC). A avaliação foi realizada utilizando-se o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) com o software RT-PPP, no qual foram processados dados de estações distribuídas em diferentes latitudes geomagnéticas no Brasil. O desempenho dos mapas de ionosfera, seja o regional (MAGN) ou global (GIM), foi avaliado a partir da acurácia posicional tomando como referências as coordenadas estimadas no PPP a partir da solução *ion-free*.

**Palavras chave:** Mapas de ionosfera, SIRGAS-CON, PPP.

## Dados GNSS

Foram usados dados GNSS das estações da RBMC AMTG, PIFL, MTIT e SJSP (Figura 1) de 01 de janeiro de 2019 a 30 de junho de 2019. Foram escolhidas estações que não foram utilizadas na produção do GIM e do MAGN, bem como localizadas em diferentes latitudes geomagnéticas. Como pode ser visto na Figura 2, os dados foram observados em um período de baixa atividade solar.

Figura 1 – Estações GNSS

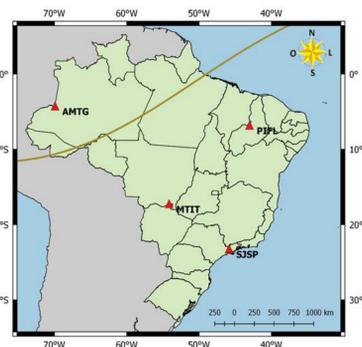
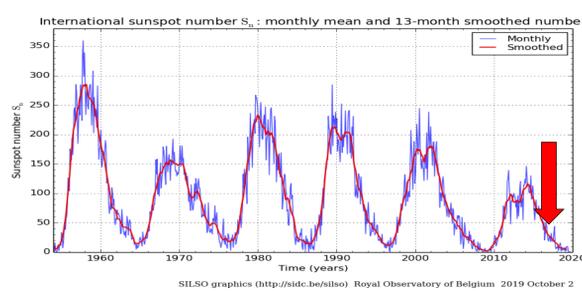


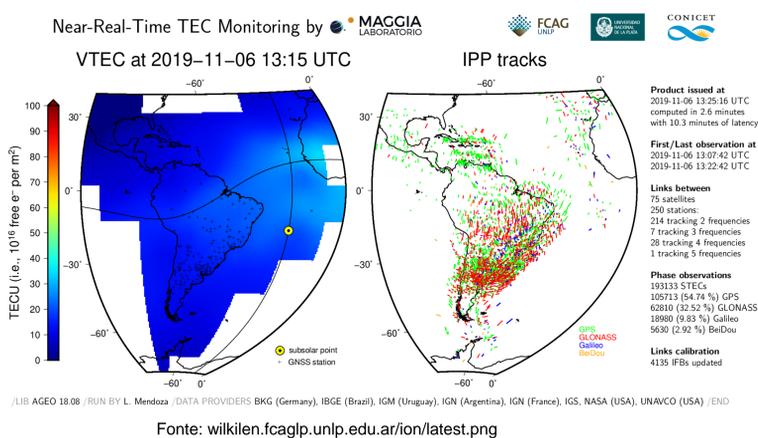
Figura 2 – Número de manchas solares



## Mapas de ionosfera

Os mapas de ionosfera utilizados nos experimentos foram os globais produzidos pelo CODE e os mapas regionais produzidos pelo MAGGIA.

Figura 3 – Mapa ionosférico gerado em quase tempo real



A Tabela 1 mostra as principais características dos mapas utilizados.

Tabela 1 – Principais características dos mapas de ionosfera

Característica	GIM	MAGGIA
Resolução espacial	5° (Long) e 2,5° (Lat)	0,5° (Long) e 0,5° (Lat)
Resolução temporal	2 h	15 min
Latência	14 dias	poucos minutos
Estações utilizadas	IGS	SIRGAS-CON+
Sistemas utilizados	GPS	GPS+GLONASS+Galileo+BDS
DCB	Disponível	Não disponível

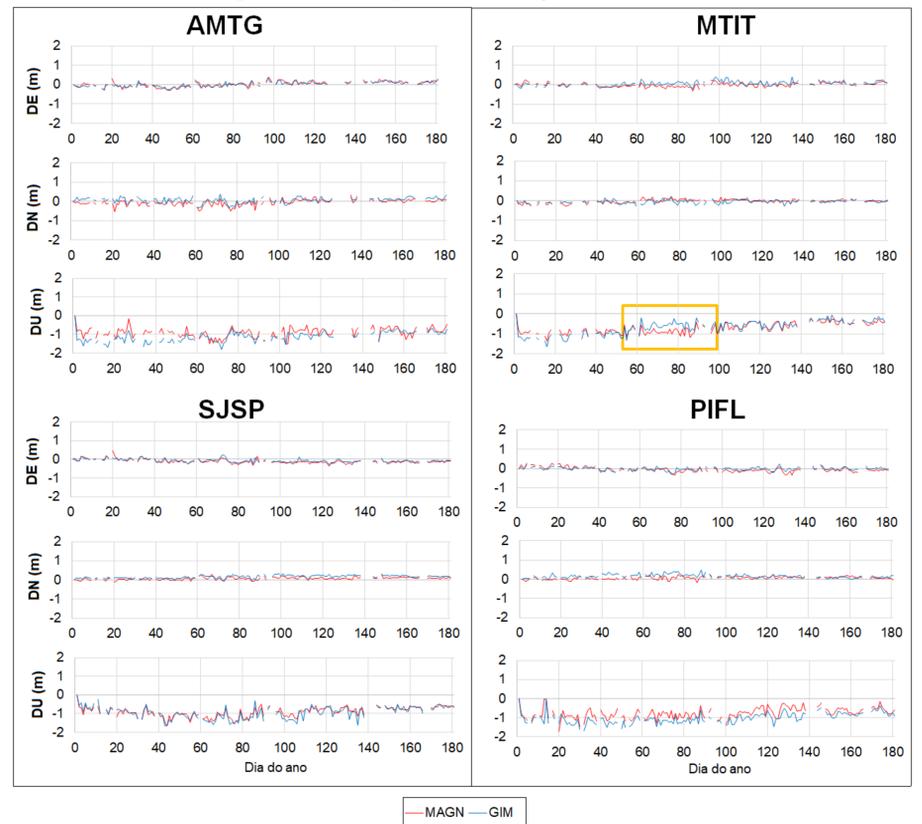
## Avaliação dos mapas de ionosfera

As soluções envolvendo os mapas de ionosfera foram calculadas utilizando o código C/A considerando a solução estática diária. O atraso troposférico foi estimado por meio de um processo estocástico do tipo *random walk*. O erro interfrequência foi reduzido pelos DCB obtidos do CODE, seja para o caso do posicionamento com GIM ou MAGN. A redução das coordenadas para a época 2000,4 foi realizada com a utilização do modelo VEMOS. Foram calculadas estatísticas e porcentagens de melhoria soluções obtidas com GIM e MAGN.

## Resultados

A série temporal das diferenças de coordenadas do PPP com GIM e MAGN em relação à *ion-free* é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Série temporal das diferenças de coordenadas



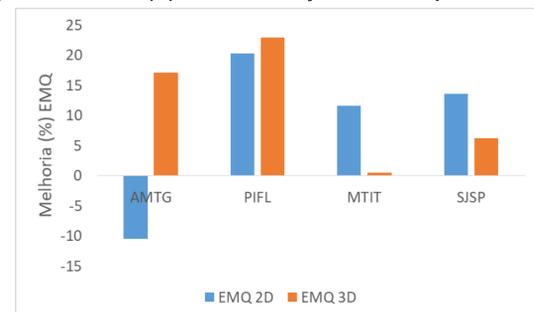
A Tabela 2 mostra o erro médio quadrático das diferenças de coordenadas obtidas com as soluções.

Tabela 2 – Erro médio quadrático (metros) das diferenças de coordenadas

Estação	MAGN					GIM				
	DE	DN	DU	2D	3D	DE	DN	DU	2D	3D
AMTG	0,150	0,160	0,959	<b>0,219</b>	<b>0,984</b>	0,130	0,150	1,170	<b>0,198</b>	<b>1,187</b>
PIFL	0,130	0,098	0,824	<b>0,163</b>	<b>0,840</b>	0,093	0,182	1,071	<b>0,204</b>	<b>1,090</b>
MTIT	0,107	0,099	0,750	<b>0,146</b>	<b>0,764</b>	0,132	0,099	0,750	<b>0,165</b>	<b>0,768</b>
SJSP	0,152	0,102	0,938	<b>0,183</b>	<b>0,956</b>	0,112	0,180	0,997	<b>0,212</b>	<b>1,019</b>

A Figura 5 apresenta a porcentagem de melhoria média proporcionada pela utilização dos mapas MAGN em relação ao GIM.

Figura 5 – Melhoria (%) MAGN em relação ao GIM no posicionamento



## Observações

- A componente DU é a mais afetada pelos efeitos residuais da ionosfera;
- A estação AMTG não apresentou melhoria em planimetria ao utilizar o MAGN, contudo foram observados problemas na obtenção dos valores de VTEC, o que pode estar relacionado com as proximidades da estação na borda geográfica de cobertura dos mapas;
- Observa-se que a estação SJSP, localizada sob a crista da anomalia equatorial, apresenta um efeito residual mais elevado na época do equinócio de outono para a componente DU;
- Ao utilizar o MAGN no posicionamento, o nível de melhoria na resultante 3D atingiu o mínimo de 1% e máximo de 23% em relação ao uso do GIM.

## Comentários finais

Os mapas de ionosfera regionais produzidos pelo MAGGIA se apresentam como uma boa alternativa para serem utilizados no posicionamento, visto produzirem bons resultados e possuírem como uma das maiores vantagens a baixa latência.

## Agradecimentos

Ao CNPq pelo financiamento de bolsa de iniciação científica para segundo autor, ao IBGE por disponibilizar os dados da RBMC, ao CODE por fornecer os GIM, ao IGS por fornecer as efemérides precisas e os arquivos de correção de relógio dos satélites e ao MAGGIA por disponibilizar os mapas regionais.

## Referências

- "A multi-GNSS, multi-frequency and near real-time ionospheric TEC monitoring system for South America", por Mendoza, L. P. O., Meza, A. M. y Aragón Paz, J. M. (2019), en Space Weather, 17, <https://www.doi.org/10.1029/2019SW002187>;
- "Technical note on the multi-GNSS, multi-frequency and near real-time ionospheric TEC monitoring system for South America", por Mendoza, L. P. O., Meza, A. M. y Aragón Paz, J. M. (2019), en EarthArXiv, <https://www.doi.org/10.31223/osf.io/3vts6>.