

Análise do TEC na região equatorial a partir de dados GNSS

TEC analysis in the equatorial region from GNSS data

RESUMO

Thalles Felipe Kovalczuk Ribeiro
thallesribeiro@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Apucarana, Paraná,
Brasil

Claudinei Rodrigues de Aguiar
rodrigues.aguiar@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Apucarana, Paraná,
Brasil

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) tem se difundido amplamente em diversas áreas como meios de transporte, construção civil, entre outras. Porém, os sinais deste sistema estão sujeitos a diversas discrepâncias, destacando-se a ionosfera terrestre que através de fenômenos como a presença de elétrons livres, cintilação ionosférica, a anomalia equatorial, entre outros, influenciam diretamente nestes resultados. O erro sistemático referente a esta camada pode ser minimizado por meio da adoção de modelos matemáticos, como o GIB (Grade Ionosférica Brasileira). Este trabalho buscou analisar sinais obtidos através do sistema RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) sem nenhuma correção, com a correção através do GIB e com a correção a partir do modelo CODE (Center for Orbit Determination in Europe) e comparar o desempenho de cada modelo na região equatorial. Os resultados obtidos foram satisfatórios, de boa acurácia e baixa dispersão das coordenadas corrigidas.

PALAVRAS-CHAVE: Equador. Ionosfera. Grade Ionosférica Brasileira .

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The Global Navigation Satellite System (GNSS) has spanned extensively in various areas such as transportation, construction, and others. However, the signals of this system are subject to several error sources, especially into the terrestrial ionosphere layer, which through phenomena such as the presence of electrons, ionospheric scintillation, the equatorial anomaly, among others, directly influence these results. Systematic error related to this layer can be reduced by adopting mathematical models such as GIB (Brazilian Ionospheric Grid). This paper objective is analyzing the signals obtained through the Brazilian Continuous Monitoring Network (RBMC) system without any correction, with correction through GIB and with correction through CODE model (Center for Orbit Determination in Europe) and to compare the performance of each one model in the equatorial region. The results obtained were satisfactory, with good accuracy and low dispersion of corrected coordinates.

KEYWORDS: Equator. Ionosphere. Grade Ionosférica Brasileira.

INTRODUÇÃO

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS – Global Navigation Satellite System) é empregado atualmente em uma grande variedade de aplicações como sistemas de navegação, localização, agricultura, entre outros, o que torna seu uso e contínua implementação atrativos. Atualmente, uma variada gama de sistemas GNSS estão em uso e desenvolvimento constante, como por exemplo o GPS, GLONASS e Galileo (AGUIAR, 2010).

A grande problemática a que os sistemas GNSS estão sujeitas, consistem na influência de erros que afetam os sinais rastreados pelos receptores GNSS. Dentre essas fontes de erros, as mais relevantes são os efeitos atmosféricos, como é o caso de elétrons livres na camada ionosférica e erros por multicaminhos (AGUIAR, 2010).

Devido a esse fato, buscou-se o desenvolvimento de modelos matemáticos que possam corrigir ou minimizar o erro resultante da interferência ionosférica sobre os sinais interpretados pelos receptores, melhorando a acurácia do posicionamento e aumentando a confiabilidade do sistema. Dentre os modelos desenvolvidos, destacam-se os modelos com enfoque na região do Brasil (região equatorial), onde há maior densidade de elétrons livres por conta da maior incidência de raios solares, sendo esses o Modelo Regional da Ionosfera (Mod_Ion), desenvolvido por Camargo (1999), analisado posteriormente por Matsuoka (2003) e implementado para aplicações em tempo real por Aguiar (2005), e o da Grade Ionosférica Brasileira (GIB) desenvolvido por Aguiar (2010).

Este trabalho, tem por objetivo a análise do posicionamento, com a aplicação do algoritmo do GIB em conjunto com o pós processamento do RTKLib (TAKASU, 2013), em diferentes latitudes no Brasil, avaliando para isso a quantidade de elétrons livres na camada ionosférica e índices como k-index, bem como a análise do posicionamento, com diferentes configurações, utilizando o protótipo de baixo custo desenvolvido em conjunto com o sistema Reach RTK.

MÉTODOS

Considerando os efeitos ionosféricos anteriormente citados, selecionou-se épocas anuais em que pode haver uma considerável variação na concentração de elétrons livres por conta da proximidade do Sol com a Terra. Os períodos selecionados são os que consistem no verão e inverno na região equatorial. Para se selecionar estas datas, foram considerados índices como o TEC e o k-index que expressam o comportamento ionosférico nestes períodos através da análise dos elétrons livres e distúrbios no componente horizontal do campo magnético da Terra, respectivamente.

Através da análise destes índices, foram selecionados os dias 20, 21, 22 e 23 do mês de Junho, referente ao período de menor atividade solar, e os dias 20, 21, 22 e 23 de dezembro, referente ao período de maior atividade. Com isso, pode-se realizar a correção dos sinais GNSS captados pelas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do GNSS (RBMC), disponibilizados pelos IBGE (IBGE, 2019), através do emprego do GIB, onde há a geração de um mapeamento da ionosfera no período processado, sendo possível seu emprego para a correção de sinais GNSS. Para a determinação da órbita dos satélites foram utilizados dados

das efemérides disponibilizados pela NASA. Antes do processamento pelo algoritmo, selecionou-se estações RBMC, localizadas em diferentes regiões do Brasil, sendo algumas na região equatorial e outras mais próximas ao trópico de Capricórnio, estas foram excluídas da correção pelo GIB, a fim de possibilitar sua análise individual através do pós-processamento onde há a simulação de um usuário do sistema GNSS. As estações selecionadas foram a de Bom Jesus da Lapa (BABJ), Imperatriz (IMPZ) e Santarém (PASM). Além dessas, as estações mais afastadas do Equador foram Santa Maria (SMAR) e Lins (SPLI).

Através do processamento pelo GIB e pós processamento pelo software RTKlib 2.4.2, obteve-se um conjunto de coordenadas X, Y e Z onde foi possível realizar o cálculo das discrepâncias em relação as coordenadas definidas como verdadeiras, fornecidas pelo IBGE. Para melhor análise dos valores obtidos anteriormente, calculou-se um valor referente a cada conjunto de coordenadas em três dimensões, através da equação 1.

$$D_{3D} = \sqrt{D_x^2 + D_y^2 + D_z^2} \quad (1)$$

RESULTADOS

Através dos resultados obtidos para os dias, destacam-se os dias 21 de dezembro de 2018 (Quadro 1), relativo ao período de maior atividade, e 21 de junho de 2018 (Quadro 2), relativo ao período de menor atividade. Os comportamentos, em termos de correções de coordenadas, tiveram desempenho similar nos demais dias selecionados.

Quadro 1 – Resultados obtidos para o dia 21 de dezembro de 2018.

Estação	Correção	Média (m)	Desvio Padrão (m)	Máximo (m)	Mínimo (m)
BABJ	Sem	1,530	0,793	4,967	0,048
	GIB	1,140	0,596	3,111	0,010
	CODG	0,820	0,525	2,838	0,022
IMPZ	Sem	1,300	0,767	5,680	0,028
	GIB	1,240	0,687	4,005	0,070
	CODG	1,260	0,676	4,540	0,065
PASM	Sem	1,320	0,803	9,020	0,040
	GIB	1,770	1,178	14,919	0,276
	CODG	1,310	0,901	12,156	0,067
SMAR	Sem	1,880	1,567	8,381	0,058
	GIB	1,660	1,017	6,194	0,024
	CODG	1,000	0,488	3,491	0,049
SPLI	Sem	1,750	1,324	6,759	0,059
	GIB	0,950	0,526	3,194	0,056
	CODG	1,020	0,640	3,918	0,046

Fonte: Autoria Própria (2019).

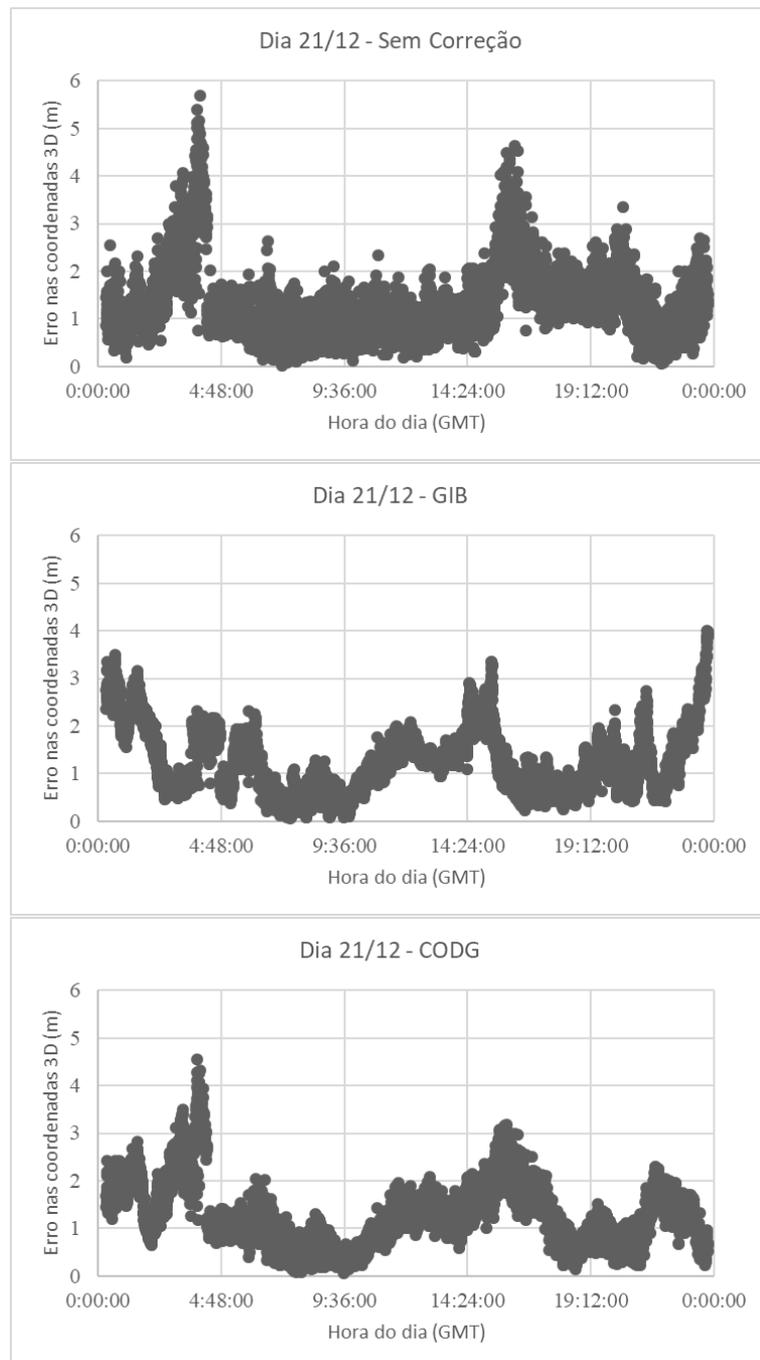
Quadro 2 – Resultados obtidos para o dia 21 de junho de 2018.

Estação	Correção	Média (m)	Desvio Padrão (m)	Máximo (m)	Mínimo (m)
BABJ	Sem	0,990	0,584	3,378	0,027
	GIB	0,990	0,490	2,923	0,089
	CODG	0,890	0,525	3,256	0,036
IMPZ	Sem	1,050	0,617	4,994	0,051
	GIB	1,000	0,462	2,842	0,065
	CODG	1,040	0,642	4,016	0,021
PASM	Sem	1,180	0,643	12,838	0,040
	GIB	1,360	0,697	28,169	0,309
	CODG	1,190	0,782	23,307	0,096
SMAR	Sem	1,400	0,928	6,706	0,044
	GIB	0,650	0,394	2,892	0,022
	CODG	0,740	0,550	3,562	0,038
SPLI	Sem	1,200	0,721	3,626	0,023
	GIB	0,710	0,360	2,488	0,028
	CODG	0,750	0,415	2,923	0,012

Fonte: Autoria Própria (2019).

A partir dos resultados obtidos, nota-se uma melhora significativa do posicionamento tridimensional dos sinais GNSS após a correção pelo CODE e pelo GIB, tanto em termos de valor médio quanto em termos de dispersão em torno da média. Com isso, selecionou-se a estação com bom desempenho em termos de correções, sendo esta a localizada em Imperatriz (IMPZ) e analisou-se o comportamento dos sinais ao longo do dia selecionado no período de maior atividade solar, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Resultados ao longo do dia 21 de dezembro de 2018.



Fonte: Autoria Própria (2019).

CONCLUSÕES

O emprego de modelos matemáticos para correção de sinais GNSS, como o GIB e o CODG, possibilita uma maior precisão do posicionamento, permitindo assim uma ampliação nas aplicações do GNSS com uma maior acurácia, principalmente em aparelhos de simples frequência, amplamente utilizados no meio civil.

Através da análise de resultados, observa-se um bom desempenho do GIB, considerando a boa correção das coordenadas registradas, principalmente em dias de maior atividade solar e em uma região onde há maior influência de anomalias, como é o caso da região equatorial, tendo uma eficiência superior ao CODE em grande parte dos dias analisados.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico) pelo auxílio financeiro ao desenvolvimento da pesquisa. A Fundação Araucária FA – Paraná/Brasil pelo incentivo em forma de bolsa. Ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) pelo fornecimento dos dados GNSS das estações RBMC.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Claudinei Rodrigues de. Modelo Regional da Ionosfera (Mod_Ion): Implementação em Tempo Real. 2005. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2005.

AGUIAR, Claudinei Rodrigues de. Grade Ionosférica para Aplicações em Posicionamento e Navegação com GNSS. 2010. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010.

CAMARGO, P. O. Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores gps de uma frequência. 1999. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

IBGE. RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-contínuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html> >. Acesso: 14 ago. 2019.

MATSUOKA, M.T.. Avaliação de Funções para Modelagem do Efeito da Refração Ionosférica na Propagação dos Sinais GPS. 2003. 164 f. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente.

TAKASU, T. RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning. ver. 2.4.2. Japan: Tokio. 2013.