

Painéis de dados para o monitoramento das atividades ionosféricas na região oeste do Paraná

Data panels for monitoring ionospheric activities in the Western region of Paraná

Guilherme Luís Weber de Souza¹, Vinícius Amadeu Stuaní Pereira², Arlete Teresinha Beuren³

RESUMO

Este estudo visa criar uma plataforma *online* para monitorar as atividades ionosféricas, a partir do uso de dados GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) localizadas em municípios do oeste do Paraná. A metodologia envolveu *scripts* para processar e visualizar dados através do Power BI. A partir dos painéis, pode verificar que durante o ciclo solar 25 houve aumento das métricas atraso ionosférico pela fase (If), índice de irregularidades ionosféricas normalizado (ROTIN) e gradiente ionosférico (glf), com picos entre agosto e abril dos anos. Também foi observada elevação do If e do conteúdo total de elétrons obtido pela fase (TECIf) das 11h às 12h e queda após o crepúsculo vespertino. A análise indicou a viabilidade de implantação do GBAS (*Ground-Based Augmentation System*) na região. Os resultados fornecem compreensão estruturada das irregularidades ionosféricas, permitindo detecção de padrões e melhorias no monitoramento.

PALAVRAS-CHAVE: GBAS; ionosfera; PowerBI.

ABSTRACT

This study aims to establish an online platform for monitoring ionospheric activities using Global Navigation Satellite System (GNSS) data from stations in the Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems (RBMC) located in municipalities in western Paraná. The methodology involved scripting for data processing and visualization through PowerBI. From the dashboards, it can be observed that during Solar Cycle 25, there was an increase in ionospheric delay metrics by phase (If), normalized irregularity index (ROTIN), and ionospheric gradient (glf), with peaks occurring between August and April of each year. Additionally, an elevation in If and the total electron content obtained by phase (TECIf) was observed from 11 a.m. to 12 p.m., followed by a decline after evening twilight. The analysis indicated the feasibility of implementing the Ground-Based Augmentation System (GBAS) in the region. The results provide a structured understanding of ionospheric irregularities, enabling pattern detection and improvements in monitoring.

KEYWORDS: GBAS; ionosphere; PowerBI.

INTRODUÇÃO

O presente estudo baseia-se na criação de uma plataforma *online* para o monitoramento das atividades ionosféricas, alimentada por métricas calculadas a partir de dados GNSS (*Global Navigation Satellite System*) das estações RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) dos municípios de Foz do Iguaçu/PR (ITAI), Mundo Novo/MS (MSMN) e Cascavel/PR (PRCV). A análise das métricas disponibilizadas pela plataforma, calculadas através do *script* Ion_Index (PEREIRA; CAMARGO, 2017) e

¹ Bolsista Voluntário de Iniciação Científica e Tecnológica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: guilhermeluissouza@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3442818281550502.

² Docente no Curso de Agronomia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: vpereira@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3206540313926848.

³ Docente no Curso de Ciência da Computação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: arletebeuren@utfpr.edu.br. ID Lattes: 0084145280240578.

processadas por um *script* de limpeza e armazenamento, tem como objetivo a investigação e o monitoramento da intensidade dos gradientes e irregularidades ionosféricas, em determinada data na região abrangida pelo presente estudo.

A partir das métricas obtidas pela plataforma citada anteriormente, a ferramenta PowerBI foi utilizada para a visualização dos dados tão importante para a análise estatística e comparação de dados históricos. Com a análise dos gráficos, espera-se detectar um máximo local no ápice do ciclo solar 25 (composto pelos anos de 2022 e 2023), especialmente entre os meses de agosto e abril. Ademais, espera-se encontrar mínimos locais no período correspondente à ascensão do ciclo (compreendido pelos anos de 2018 a 2021). Tal constatação representa uma forma de prever prováveis períodos com maior incidência de irregularidades ionosféricas, as quais podem resultar em erros no GPS (*Global Positioning System*).

Outrossim, espera-se também detectar uma elevação do I_f (atraso ionosférico obtido pela fase) e $TEC I_f$ (conteúdo total de elétrons a partir da fase) entre as 11h e 12h (corresponde às 14h e 15h TU - Tempo Universal) e um decréscimo após o crepúsculo vespertino, o qual refere-se ao momento em que os índices de irregularidades se elevam. Além disso, os gradientes também devem ter um valor maior entre o crepúsculo vespertino até as 1h e 2h (correspondente às 4h e 5h TU).

Por sua vez, o gráfico que relaciona gI_f (gradiente ionosférico pela fase) pelo horário é utilizado pelo DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), com objetivo de realizar uma avaliação da viabilidade do uso de um GBAS (*Ground-Based Augmentation System*) na região em questão. Para que a utilização do GBAS seja possível, os valores de gI_f não podem superar os 425mm/km.

Ainda, espera-se detectar regiões com maior ocorrência de irregularidades e gradientes, além de identificar a direção das bolhas ionosféricas e encontrar valores que possibilitem calcular os gradientes de qualidade.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O GNSS pode ser descrito como o que existe de mais contemporâneo quando se refere à geolocalização por meio de satélites artificiais (MONICO, 2008).

Ademais, apesar de o GPS ser mais conhecido, o GNSS também inclui outros sistemas, como o russo GLONASS, o europeu Galileo e o chinês BeiDou/Compass. Também fazem parte do GNSS os Sistemas Regionais e de Aumento, como o japonês Quase-Zenith Satellite System (QZSS), o indiano Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS), entre outros (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008).

Todos os sistemas pertencentes ao GNSS têm seu funcionamento baseado na emissão de radiofrequências que carregam informações sobre suas respectivas órbitas e o tempo em que os sinais foram transmitidos. Outrossim, os receptores GNSS calculam a sua posição com alta precisão, adotando o tempo de controle dos sinais (para a realização do cálculo de posicionamento, é necessário sinais de no mínimo quatro satélites).

A RBMC consiste em um conjunto de estações geodésicas equipadas com receptores GNSS de grande precisão, que fornecem em tempo real, ou diariamente, informações para determinação de coordenadas (IBGE, 2023).

A ionosfera refere-se a uma camada ionizada na parte superior da atmosfera terrestre, acima de 50 km de altitude. Esse extrato superior é ionizado devido à radiação eletromagnética e corpuscular do Sol (PEREIRA, 2018).

A visualização dos dados é uma ferramenta poderosa para a obtenção de informações, correlações e causalidades. Devido a facilidade de identificar padrões e outras relações em gráficos, quando comparado ao mesmo processo em dados tabulares, no presente estudo foi utilizada a ferramenta PowerBI, a qual permitiu a geração dos gráficos das métricas.

MATERIAIS E MÉTODOS

As métricas ionosféricas que alimentam a plataforma foram calculadas através do *script* *lon_Index* (PEREIRA; CAMARGO, 2017) implementado em C, o qual realiza a transferência de dados das efemérides e arquivos RINEX de observação para a máquina local, descompacta e realiza o processamento, gerando um arquivo de texto com cabeçalho que contém as métricas necessárias, em suas respectivas colunas. Visando o melhor entendimento, o *script* *lon_Index* será chamado de *script* de coleta.

Após a coleta dos arquivos com as métricas, tais arquivos são processados por outro *script*, implementado em Python, onde as métricas são tratadas, visando remover linhas contendo informações inválidas. O processamento ocorre transformando os arquivos de texto em DataFrames, estrutura de dados rotulada bidimensional da biblioteca Pandas, e buscando possíveis valores inválidos, como sequências de caracteres ou campos com valor NaN (*Not a Number*).

Ademais, as métricas foram calculadas com resolução temporal de 15s, o que acarretava arquivos que ocupavam muito espaço de armazenamento. Para viabilizar um possível pós-processamento dos dados e a implementação dos painéis, resolução temporal foi alterada para horária. Tal conversão foi executada por um outro *script* implementado em Python, que organizava todas as métricas de cada satélite e respectiva portadora na faixa de uma hora, calculando a média dos respectivos valores e adicionando a um novo arquivo CSV (*comma-separated values*).

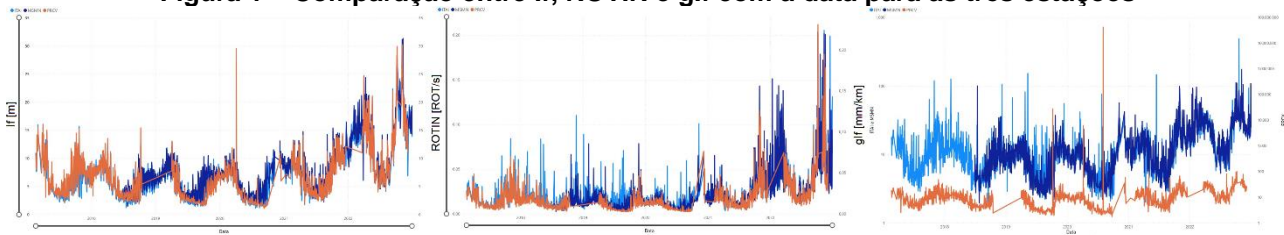
A visualização dos dados coletados e processados pelos *scripts* é feita através de uma ferramenta proprietária da Microsoft, o PowerBI. No PowerBI os dados coletados foram adicionados a ferramenta através da importação delas em formato CSV, sendo um arquivo para cada estação. Com a base de dados pronta dentro do PowerBI, realizou-se o relacionamento entre os arquivos através da coluna data e uma checagem rápida na integridade da fonte de dados, que se mostrou íntegra, não demandando nenhum tipo de tratamento dentro da ferramenta.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com enfoque em verificar a intensidade das irregularidades e gradientes ionosféricos, foram geradas algumas visualizações das métricas calculadas, possibilitando ter uma melhor compreensão da ionosfera na região oeste do Paraná.

Em primeiro plano, relacionou-se às métricas *If* (atraso ionosférico obtido pela fase), *ROTIN* (índice de irregularidades ionosféricas considerando todos os satélites disponíveis) e *glf* (gradiente ionosférico obtido pela fase), de todos os satélites GPS e GLONASS com as datas disponíveis de 2017 a 2023 (Figura 1). Ademais, percebe-se uma elevação dos valores no ápice do 25º ciclo solar (2022 e 2023), em especial entre os meses de agosto a abril (variação sazonal). De maneira inversa, pode-se observar valores menores durante o período de ascensão do ciclo solar, compreendido pelos anos de 2018 até 2021.

Figura 1 – Comparação entre If, ROTIN e glf com a data para as três estações



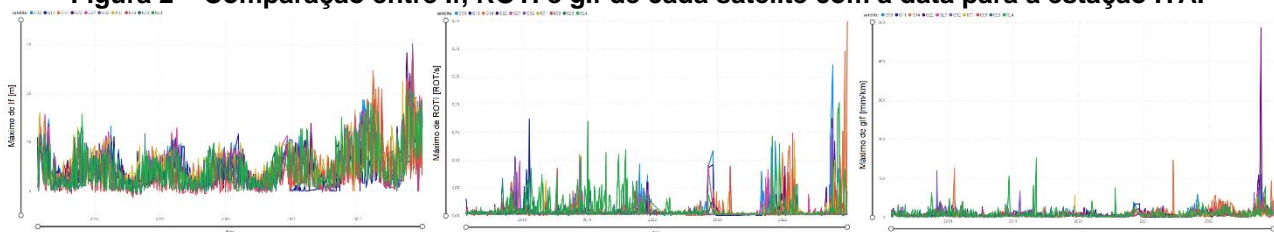
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

É possível perceber um gradiente categorizado como *outlier* no terceiro dia do mês de agosto de 2020. Justifica-se a classificação do gradiente como valor atípico devido ao mesmo ser o único a atingir tamanho valor (41.782.615,48), fugindo dos valores ditos íntegros. Além disso, os valores que compõem o gráfico sofreram uma normalização, para facilitar a comparação entre os valores.

A fim de verificar se algum sistema de posicionamento (GPS ou GLONASS) possui diferença de valores das métricas, possibilitando assim uma possível preferência por aquele que resulta em menores índices de atraso, comparou-se as métricas If, ROTI e glf para os satélites disponíveis.

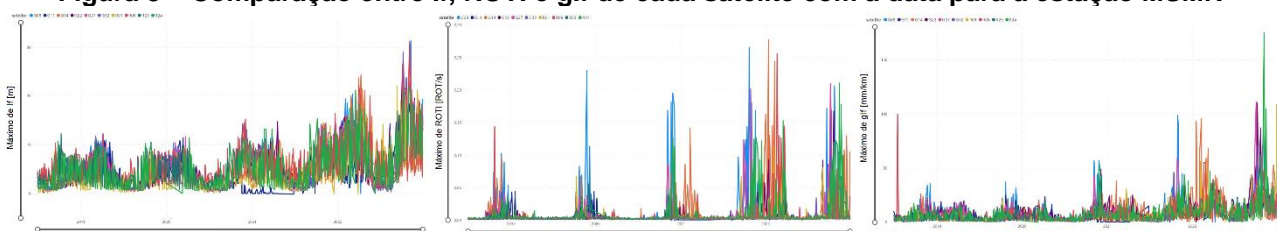
De modo a facilitar o entendimento, cada gráfico dessa linha de análise contém uma das métricas para cada satélite disponível. Os gráficos podem ser visualizados nas Figuras 2 (ITAI), Figura 3 (MSMN) e Figura 4 (PRCV). Os valores contidos nos gráficos representam o valor máximo da determinada métrica para o respectivo dia.

Figura 2 – Comparação entre If, ROTI e glf de cada satélite com a data para a estação ITAI



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

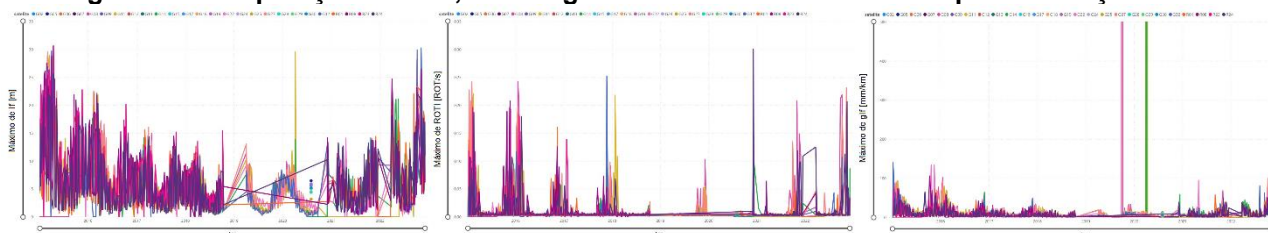
Figura 3 – Comparação entre If, ROTI e glf de cada satélite com a data para a estação MSMN



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para a estação PRCV, encontraram-se alguns valores atípicos para a métrica glf (Figura 4), sendo que tais valores não representam a realidade de maneira fidedigna.

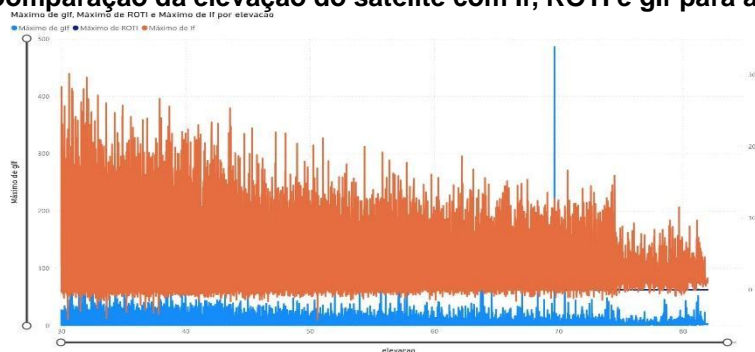
Figura 4 – Comparação entre If, ROTI e glf de cada satélite com a data para a estação PRCV



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

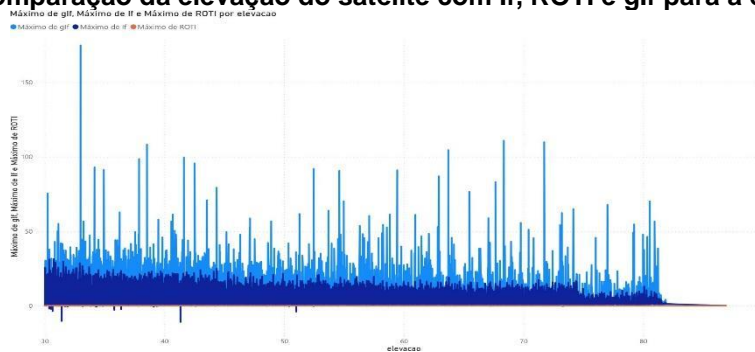
Outrossim, com objetivo de analisar a viabilidade do uso do GBAS na região, construiu-se uma sequência de gráficos relacionando a elevação do satélite com as métricas If, ROTI e glf, para as estações ITAI (Figura 5) e MSMN (Figura 6).

Figura 5 – Comparação da elevação do satélite com If, ROTI e glf para a estação ITAI



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 6 – Comparação da elevação do satélite com If, ROTI e glf para a estação MSMN



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

CONCLUSÕES

Os gráficos gerados no presente estudo viabilizaram a supervisão das ocorrências na ionosfera na parte ocidental do estado do Paraná, utilizando as estações da RBMC, dispensando a aquisição de receptores geodésicos especializados. A ferramenta desenvolvida possibilitou uma compreensão precisa e estruturada das irregularidades e dos gradientes ionosféricos para um momento e região específicos.

Percebeu-se uma concentração de altos valores das métricas If, ROTI e glf no ápice do ciclo solar 25, correspondendo aos anos de 2022 e 2023, e uma variação sazonal da ionosfera (compreendida pelos meses de agosto a abril) para a região analisada. Tal

informação auxilia na previsão de períodos com possíveis maiores ocorrências de irregularidades ionosféricas, já que elas são fontes de erros no posicionamento pelo GNSS.

Ademais, notou-se uma elevação do f^oF_2 por volta das 8 e 9 TU e um decréscimo após o pôr do Sol, os gradientes também foram maiores entre o pôr do Sol e até 4,5 TU. Os gráficos de comparação da métrica glf com a elevação (Figuras 5 e 6) são utilizados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) para avaliar a viabilidade da adoção do GBAS e uma determinada região, e para a região do estudo, o GBAS se mostra viável, já que os valores da métrica não ultrapassam 425 mm/km.

Em relação aos satélites, notou-se valores semelhantes para as métricas em diferentes satélites (Figuras 2, 3 e 4).

Olhando adiante, é recomendável seguir acompanhando e estudando as ações na ionosfera na região ocidental do Paraná. O objetivo é detectar padrões nas ocorrências das irregularidades e aprimorar a maneira como os dados são apresentados nos painéis. Além disso, vale a pena investigar outras características e medidas ligadas às atividades ionosféricas, para ter uma visão mais completa

AGRADECIMENTOS

À UTFPR, pela bolsa voluntária de iniciação científica e tecnológica, ao IBGE pelo fornecimento dos dados GNSS das estações RBMC, e aos professores Dr^(a). Arlete Beuren e Dr. Vinícius Stuaní pelas dedicações e empenhos.

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more**. New York: Springer-Verlag Wien, 2008. 516p.

IBGE. **RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS**. 2023. 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?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

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

PEREIRA, V. A. S. **Investigação da Usabilidade do GBAS no Brasil**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo.

PEREIRA, V. A. S.; CAMARGO, P. O. Brazilian active GNSS networks as systems for monitoring the ionosphere. **GPS Solutions**, v. 21, n. 3, p. 1013–1025, 2017.