



Identificação dos principais horários e locais de ocorrências de bolhas ionosféricas no oeste paranaense durante períodos de plantio e colheita de cultivares

Identification of the main times and places of occurrence of ionospheric bubbles in western Paraná during periods of planting and harvesting cultivars

João Pedro Michels Viar¹, Vinícius Amadeu Stuani Pereira², Arlete Teresinha Beuren³

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade a identificação e análise dos horários e direções de ocorrência com maior irregularidade ionosférica durante o período da colheita de soja e o plantio de milho (dezembro, janeiro e fevereiro) na região oeste paranaense para os anos de 2015 a 2023. Para calcular os índices utilizados (If e ROTI) foi necessário um *script* implementado em linguagem C, denominado Ion_Index. Com o objetivo de automatizar o processo de coleta, foi desenvolvido um *script* implementado em linguagem python, onde coletou dados de três estações GNSS (*Global Navigation Satellite System*): ITAI (Foz do Iguaçu/PR), MSMN (Mundo Novo/MS) e PRCV (Cascavel/PR) que fazem parte da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS). Com isso, foi possível identificar que os efeitos ionosféricos presentes na região analisada acompanham o ciclo solar. Apesar das estações estarem localizadas próximas umas das outras, é possível identificar que regiões localizadas ao norte e nordeste possuem maiores índices de irregularidade, além disso, as maiores irregularidades ionosféricas ocorrem durante o período noturno (após o pôr do Sol), dessa maneira, máquinas autônomas que apresentam o sistema GNSS, utilizadas com bastante frequência atualmente na lavoura, podem sofrer interferências com mais frequências após o pôr do Sol.

PALAVRAS-CHAVE: colheita; GNSS; irregularidades ionosféricas.

ABSTRACT

This work aims to identify and analyze the times and directions of occurrence with greater ionospheric irregularity during the soybean harvest and corn planting period (December, January and February) in the Western region of Paraná for the years 2015 to 2023. To calculate the indexes used (If and ROTI), a script implemented in C language, called Ion_Index, was necessary. With the aim of automating the collection process, a script implemented in Python language was developed, which collected data from three GNSS (Global Navigation Satellite System) stations: ITAI (Foz do Iguaçu/PR), MSMN (Mundo Novo/MS) and PRCV (Cascavel/PR) which are part of the RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems). With this, it was possible to identify that the ionospheric effects present in the analyzed region follow the solar cycle. Although the stations are located close to each other, it is possible to identify that regions located to the north and northeast have higher rates of irregularities, in addition, the greatest ionospheric irregularities occur during the night (after sunset), thus, autonomous machines which depend on the GNSS system, currently used quite frequently in agriculture, may suffer interference more frequently after sunset.

KEYWORDS: harvest; GNSS; ionospheric irregularities.

INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico é possível observar a presença de ferramentas automatizadas na agricultura, entre essas, pode-se destacar o piloto automático de

¹ Bolsista do CNPq – Ensino Médio. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, Paraná, Brasil. E-mail: j19933455@gmail.com. ID Lattes: 8690466763316964.

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.



maquinários. Para o funcionamento dos mesmos, um dos sistemas de posicionamento mais conhecido é o GPS (*Global Positioning System*), pertencente ao GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Os sinais transmitidos pelos satélites GNSS sofrem grandes interferências ao passarem pela ionosfera, pois nela é possível notar números elevados de elétrons que são produzidos pela influência da radiação solar na camada. O trabalho tem a finalidade de identificar e analisar o comportamento das bolhas ionosféricas presentes na região analisada (oeste paranaense) durante o período de colheita de soja e plantio de milho (dezembro, janeiro e fevereiro), para os anos de 2015 a 2023.

Para melhorar a apresentação e facilitar as análises dos dados extraídos das três estações GNSS presentes na região oeste paranaense, ITAI localizada em Foz do Iguaçu/PR, MSMN em Mundo Novo/MS e a estação PRCV que se encontra em Cascavel/PR é previsto a criação de *dashboards* interativos, com gráficos que relacionam esses dados e índices. Através das análises é previsto identificar os períodos, horários e regiões que sofrem mais interferência, assim como verificar o comportamento das bolhas ionosféricas. Depois de concluído, o trabalho poderá ser analisado por agricultores para realizarem suas atividades em campo em horários e períodos que apresentam menos interferências ionosféricas, dessa forma, garantindo um melhor funcionamento de seus maquinários autônomos (alta acurácia).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) é um sistema altamente tecnológico, utilizado na verificação de posicionamento de objetos e de maquinários automatizados utilizados na agricultura. Essa tecnologia é composta por constelações de satélites em órbita, a mais conhecida e utilizada é o GPS. Criado em 1972 pelo exército norte-americano, o GPS possui o objetivo de conceder informações como o posicionamento geodésico. Pode-se destacar que ele consiste em três segmentos, dentre esses o espacial (tem relação com os satélites em órbita), controle (possui o objetivo de controlar o sistema e monitorar a órbita dos satélites) e o usuário (receptores que recebem e decodificam os sinais utilizadas pelo homem) (PEREIRA, 2015, p.27-28). Além do GPS, atualmente existem outros sistemas de localização, como o GALILEO desenvolvido pela União Europeia e o GLONASS pela Rússia.

Outro componente importante do sistema GNSS são os receptores presentes na superfície terrestre, estes recebem e armazenam os dados transmitidos pelas constelações em órbita. O Brasil possui a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), que atualmente conta com mais de 150 estações espalhadas pelo território brasileiro que coletam dados a cada 15 segundos, três dessas foram utilizadas no decorrer do trabalho (ITAI, MSMN e PRCV), presentes na região oeste do Paraná, como apresentado na Figura 1 (IBGE, 2023).

Figura 1 – Mapa das estações presentes no oeste do Paraná utilizada no trabalho

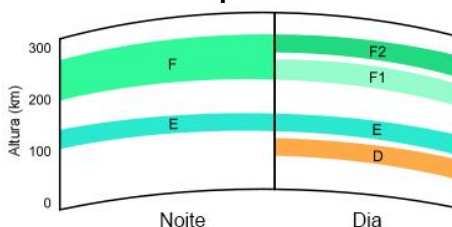


Fonte: Adaptado de IBGE (2023).

Os sinais transmitidos pelos satélites passam por camadas atmosféricas que acabam causando interferência nos dados, absorvendo, ou até mesmo refletindo as ondas eletromagnéticas (PEREIRA, 2015, p.48). Uma destas camadas é a ionosfera, que está presente a uma distância aproximada de 50 km da superfície terrestre, esta camada possui uma alta quantidade de elétrons graças a ionização de átomos e moléculas pela radiação solar (PEREIRA, 2015, p.44).

Esta camada é o principal fator que acaba interferindo na transmissão de sinais, graças a essa alta concentração de elétrons, ou seja, esse efeito causado pela camada é diretamente proporcional ao Conteúdo Total de Elétrons (TEC – *Total Electron Content*) (PEREIRA, 2015, p.51, 71). Como os elétrons presentes estão relacionados à radiação solar, no período noturno essa concentração de elétrons acaba diminuindo de maneira significativa, alterando o número de camadas que compõem a ionosfera (PEREIRA, 2015, p.47).

Figura 2 – Camadas presentes na ionosfera



Fonte: <<https://www.ondascurtas.com/cursos/propagacao/a-terra-e-a-sua-ionosfera/>>. Acesso em: 2 set. 2023.

METODOLOGIA

Para o cálculo das métricas ionosféricas (I_f – atraso ionosférico obtido a partir da fase da portadora (MATSUOKA; CAMARGO, 2004) e ROTI – índice de irregularidades ionosféricas (PI et al., 1997)) utilizadas no decorrer do trabalho, foi utilizado um *script* implementado em linguagem C, denominado *Ion_Index* (PEREIRA; CAMARGO, 2017), este desenvolvido pelo Professor Dr. Vinicius Amadeu Stuaní Pereira e um *script* implementado em linguagem python para a automatização do processo de coleta.

Para o funcionamento, o *script* python recebe um determinado intervalo de tempo medido em anos como argumento, feito isso, ele executa o *Ion_Index*, que gera arquivos CSV com os dados diários dos três meses desejados (janeiro, fevereiro e dezembro) disponíveis de cada uma das três estações usadas: ITAI, MSMN, PRCV.

Estes arquivos CSV passaram por uma etapa de limpeza, com o objetivo de extrair dados nulos e/ou que não teriam utilidade na análise. Em seguida foram concatenados de

maneira que gerasse um arquivo CSV com todos os dias, meses e anos disponíveis para cada estação.

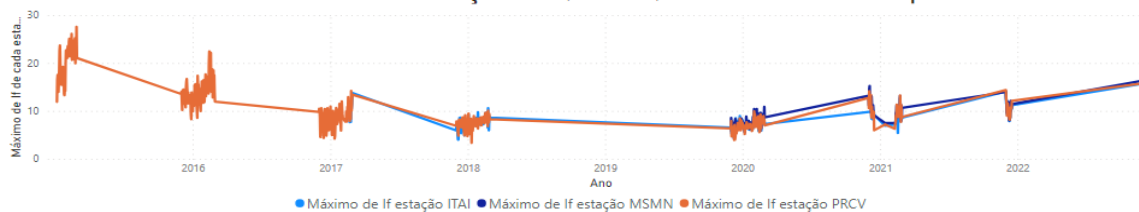
Com todos os dados disponíveis já organizados, foi utilizado o software Power Bi para a geração de relatórios com gráficos a fim de realizar e facilitar as análises das métricas obtidas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através de relatórios gerados no software Power Bi, pode-se realizar análises que facilitam a compreensão do comportamento ionosférico nos períodos estabelecidos.

O primeiro relatório (Figura 3) apresenta gráfico relacionando o atraso ionosférico (If) máximo com suas respectivas datas. É possível observar que o efeito ionosférico presente na região oeste paranaense acompanha o ciclo solar, e por estar apresentando três estações próximas uma das outras, o comportamento do gráfico é similar entre elas.

Figura 3 – Máximo de If de cada estação relacionado por data
Máximo de If de cada estação (ITAI, MSMN, PRCV) relacionadas por data

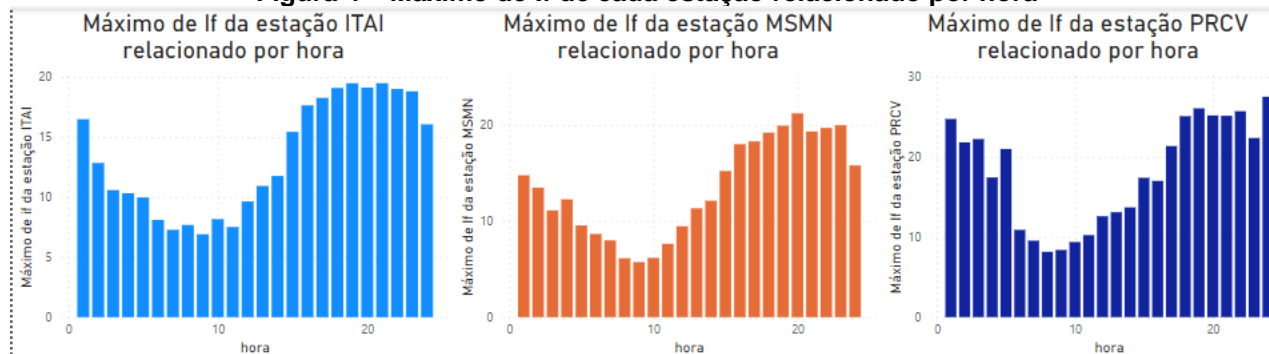


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Mediante ao gráfico (Figura 3), pode-se concluir que nos períodos apresentados houve uma alta na métrica apresentada, significando que se em algum evento, durante a utilização de um maquinário agrícola autônomo, ocorreu um mau funcionamento ou ineficácia do equipamento, é possível constatar que o motivo foi a alta interferência ionosférica.

Ao analisar o segundo relatório (Figura 4), o objetivo é verificar os horários que apresentam um aumento na interferência ionosférica. Os gráficos estão apresentando as horas em tempo universal, ou seja, para a análise é necessário subtrair três horas, assim, a hora passará a ser local (horário de Brasília).

Figura 4 – Máximo de If de cada estação relacionado por hora



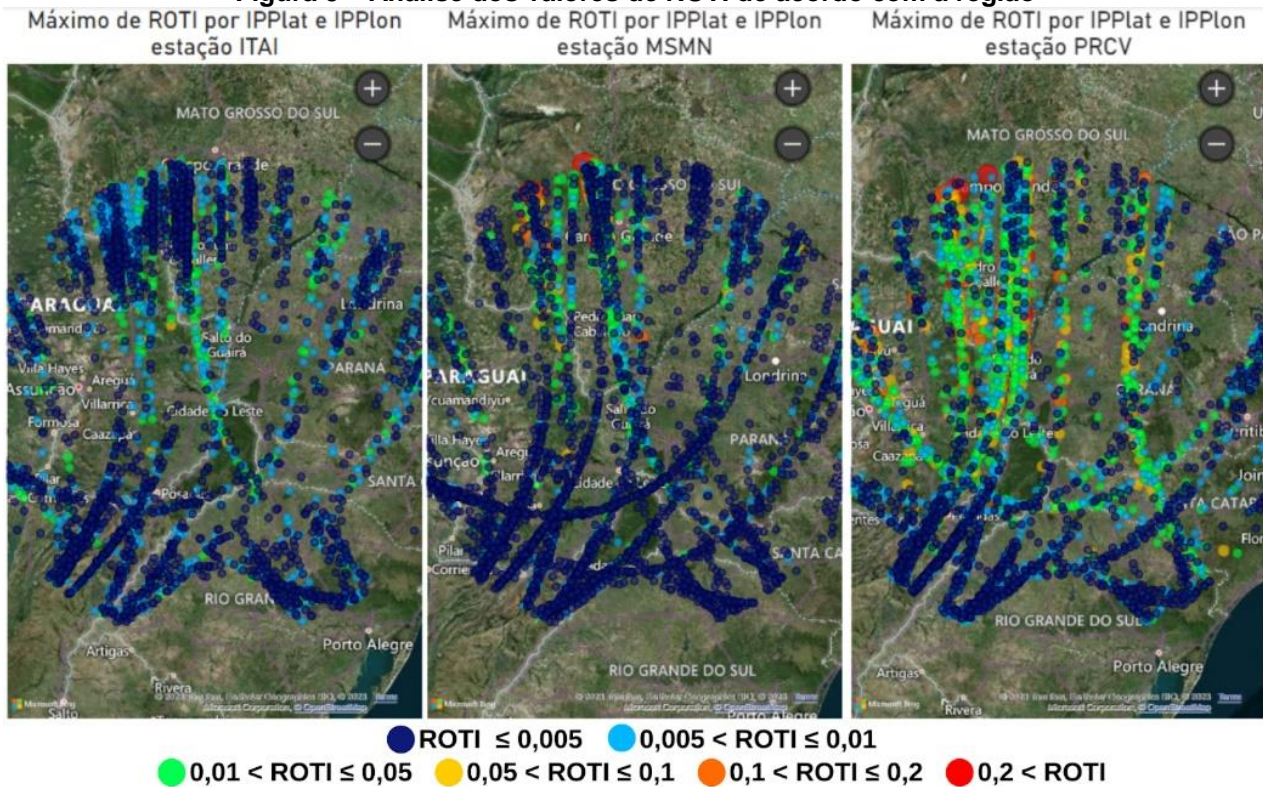
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Pode-se concluir que durante o período de dados coletados, houve um valor maior na métrica durante o período noturno “após o pôr do Sol”, das 20h às 2h em tempo universal, das 17h às 23h no horário local. Ou seja, a uma maior interferência ionosférica após o pôr do Sol, após esse horário, é possível identificar maior irregularidade no funcionamento de maquinários autônomos.

Após a análise e a conclusão, este gráfico poderia ajudar ao agricultor em suas tomadas de decisões, nesse caso, permitia escolher os horários em que o funcionamento dos maquinários tem menos irregularidades (5h às 17h).

O gráfico geográfico (Figura 5) está apresentando a relação dos valores de um dos índices de irregularidade ionosférica (ROTI) por coordenadas geográficas (latitude e longitude dos IPP – *Ionospheric Pierce Point*).

Figura 5 – Análise dos valores de ROTI de acordo com a região



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

De acordo com o padrão classificatório do índice, temos que: $ROTI \leq 0,05$ indica que os níveis de interferência são baixos podendo ser nulos, $0,05 < ROTI \leq 0,2$ pode representar a presença de irregularidades consideradas moderadas e $ROTI > 0,2$ indica a presença de fortes irregularidades. Dessa forma, analisando o gráfico (Figura 5) é possível notar que há maiores interferências nas regiões norte e noroeste, com $ROTI > 0,2$.

CONCLUSÕES

Após a construção dos relatórios utilizando os dados coletados das três estações presentes no oeste paranaense (ITAI, MSMN, PRCV), têm-se uma maior facilidade para a



realização das análises, facilitando entender o comportamento das bolhas ionosféricas presentes na região oeste do Paraná.

Após análises, verificou-se os anos com maiores interferências, concluindo que as bolhas ionosféricas presentes na região acompanham o ciclo solar. Pode ocorrer com mais frequência o mau funcionamento de equipamentos automatizados com o sistema GNSS durante o período noturno (após o pôr do sol), e observou-se através de coordenadas geográficas que o comportamento varia conforme a localização da estação, quanto mais ao norte, maiores os índices.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica – ensino médio, à UTFPR pela estrutura de pesquisa, ao IBGE pelo fornecimento dos dados GNSS das estações RBMC, e aos professores Dra. Arlete Beuren e Dr. Vinícius Stuaní pelas dedicações e empenhos.

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

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: 7 set. 2023.

MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O. Cálculo do TEC usando dados de receptores GPS de dupla frequência para produção de mapa da ionosfera para região brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 56, n. 1, p. 14-27, jul. 2004.

PEREIRA, V. A. S. **Monitoramento das irregularidades ionosféricas e cintilação do sinais GNSS: em tempo real e pós-processado**. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2015.

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.

PI, X.; MANNUCCI, A. J.; LINDQWISTER, U. J.; HO, C. M. Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network. **Geophysical Research Letters**, v. 24, n. 18, p. 2283-2286, Sep. 1997.