

USO DE POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO NO CADASTRO TERRITORIAL

Use of precise point positioning in the cadastre

Rovane Marcos de França

IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina

rovane@ifsc.edu.br

Adolfo Lino de Araújo

IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina

adolfo.lino@ifsc.edu.br

Arthur Peixoto Berbert Lima

IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina

arthur.berbert@ifsc.edu.br

Resumo:

O posicionamento por satélites fazendo uso da técnica Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) se popularizou com a ferramenta on-line disponibilizada pelo IBGE. Pelo fato desta técnica ser posicionamento absoluto, as observações não são ajustadas por dupla diferença de fase como ocorrem com os posicionamentos relativos injuncionados nos vértices do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). A falta de injuncionamento nos vértices do SGB, provoca a impossibilidade de identificação de erros de posicionamento, gerando divergências que podem produzir propagações de erros que, dependendo da aplicação, pode não ser tolerável. Analisando o comportamento em uma amostra contendo dez estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) ao longo dos últimos dez anos, esta pesquisa identificou divergências de até 51mm na planimetria e 62mm na altimetria, quando comparada a coordenada obtida através do processamento PPP de 24 horas de rastreamento, em SIRGAS2000, época 2000.4, em relação à coordenada oficial do SGB. Foi possível identificar que as divergências são sistemáticas, mostrando grande precisão nas coordenadas, mas baixa acurácia. Ocorreram variações das coordenadas de 19 mm, 25 mm e 50 mm respectivamente nas coordenadas UTM Norte, Este e h, o que invalida esta técnica para implantação de vértices de uma Rede de Referência Cadastral Municipal. Já para a medição de um vértice de um imóvel, mesmo que urbano, a qualidade atende o exigido pelas normas.

Palavras-chave: posicionamento por ponto preciso; rede de referência cadastral municipal; redes geodésicas.

Abstract:

Satellite positioning using the Precise Point Positioning (PPP) technique became popular with the online tool made available by IBGE. Because this technique is absolute positioning, observations are not adjusted by double phase difference as occurs with relative positioning constraints to the vertices of the Brazilian Geodetic System (SGB). The lack of constraints at the vertices of the SGB makes it impossible to identify positioning errors, generating divergences that can produce error propagation that, depending on the application, may not be tolerable. By analyzing the behavior of a sample of ten stations from the Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems (RBMC) over the last ten years, this research identified discrepancies of up to 51 mm in planimetry and 62 mm in altimetry, when comparing the coordinate obtained through PPP processing of 24 hours of tracking, in SIRGAS2000, epoch 2000.4, in relation to the official SGB coordinate. It was possible to identify that the discrepancies are systematic, showing great precision in the coordinates, but low accuracy. There were variations of 19 mm, 25 mm and 50 mm in the UTM North, East and h coordinates respectively, which invalidates this technique for implementing vertices of a Municipal Cadastral Reference Network. However, for measuring a vertex of a property, even if urban, the quality meets the requirements of the standards.

Keywords: precise point positioning; municipal cadastral reference network; geodetic networks.

1 O POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO (PPP)

Desde o surgimento do primeiro sistema de posicionamento por satélite até as gerações atuais do GPS, GLONASS, Galileu e Beidou, a evolução das aplicações fazendo uso do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é notória, trazendo praticidade e qualidade no posicionamento.

Na área de geodésia, as técnicas de posicionamento relativo (com mais de um receptor, comumente dois) permitiram o posicionamento com precisão na ordem de poucos milímetros já na década de 1990 (TRIMBLE, 1997). O processamento relativo elimina vários erros sistemáticos, minimiza outros mais complexos e reduz bastante o tempo de rastreamento, a depender do comprimento de linha base.

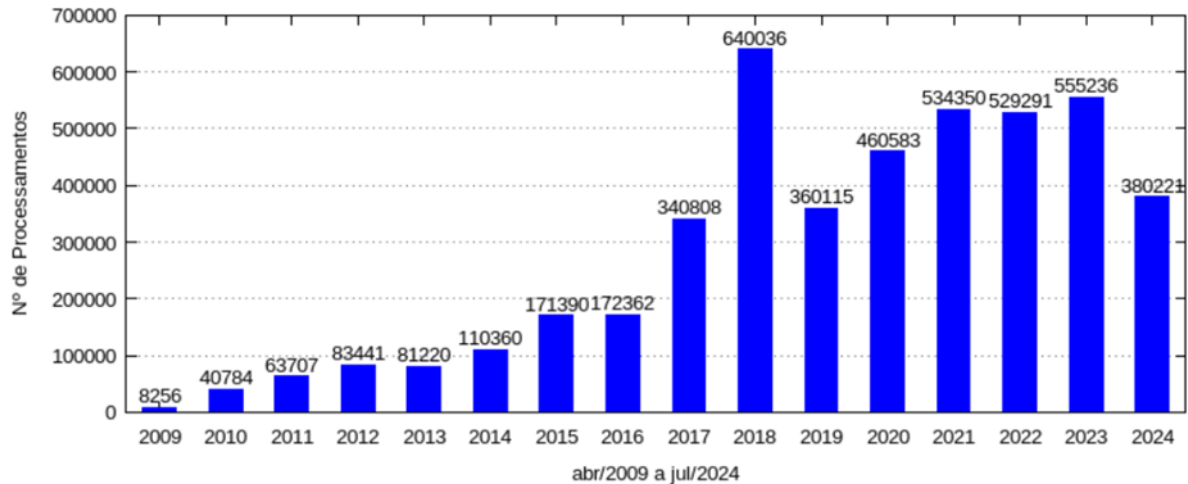
Técnicas de posicionamento absoluto (com emprego de apenas um receptor) foram sendo desenvolvidas, buscando de forma bastante eficaz a modelagem dos erros inerentes aos sistemas de posicionamento por satélites. A técnica conhecida como Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) desenvolvida em várias instituições de pesquisa, trouxe uma forma bastante prática com excelente precisão, conforme demonstrado nesta pesquisa. Vários serviços são disponibilizados de forma pública e privada em todo o mundo.

Em abril de 2009 o IBGE disponibilizou gratuitamente para a sociedade, o serviço denominado IBGE-PPP, que realiza o processamento de dados GNSS fazendo uso da técnica PPP a partir das observáveis do sistema GPS e GLONASS (código e fase da onda portadora) de receptores de uma ou duas frequências, tanto no modo estático como cinemático. O PPP é nativamente um posicionamento absoluto. As coordenadas processadas são referenciadas ao *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) e informadas no relatório por transformação no SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) para a data do levantamento e para a época de sua realização 2000.4, fazendo uso da redução de velocidade com o modelo VEMOS em 2000.4 (IBGE, 2009).

O IBGE-PPP faz uso do software GPSPACE desenvolvido pelo *Canadian Geodetic Survey* (CGS) do *Natural Resources Canada* (NRCan) e das órbitas e erros dos relógios dos satélites do *International GNSS Service* (IGS) ou no NRCan. A depender do tempo de processamento, o software faz uso automaticamente das órbitas finais, rápidas ou ultrarrápidas, além das correções aos relógios dos satélites, modelos e mapas globais de ionosfera e modelos de correção do centro de fase de antenas. Atualmente o serviço processa dados a partir de agosto de 2011 por conta da disponibilidade das órbitas GNSS pelo NRCan. Para mais informações sobre o IBGE-PPP consulte IBGE (2023).

O uso do serviço pela sociedade se mostra crescente (Figura 1), devendo chegar até o final do ano de 2024 com mais de 700 mil processamentos.

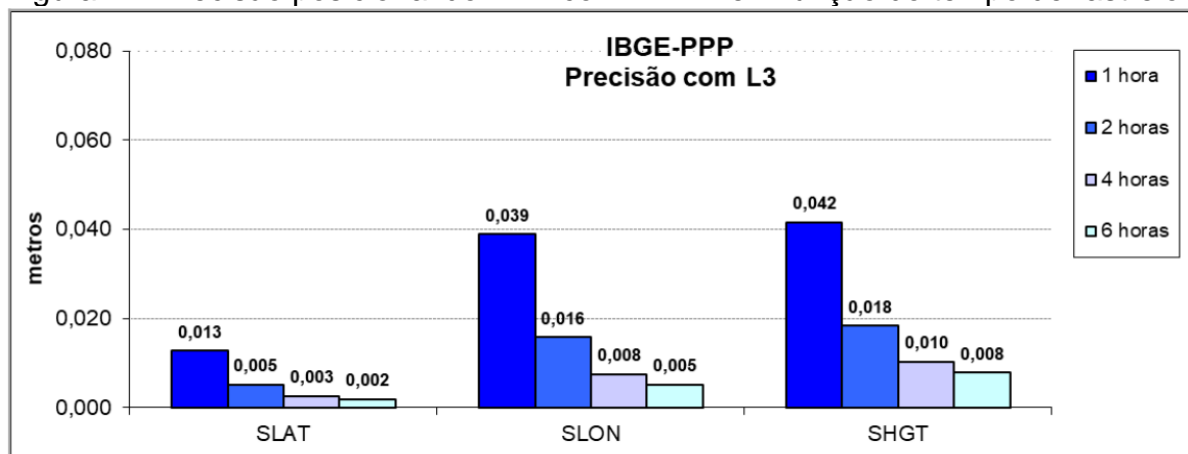
Figura 1 – número de processamentos PPP por ano.



Fonte: IBGE (2024).

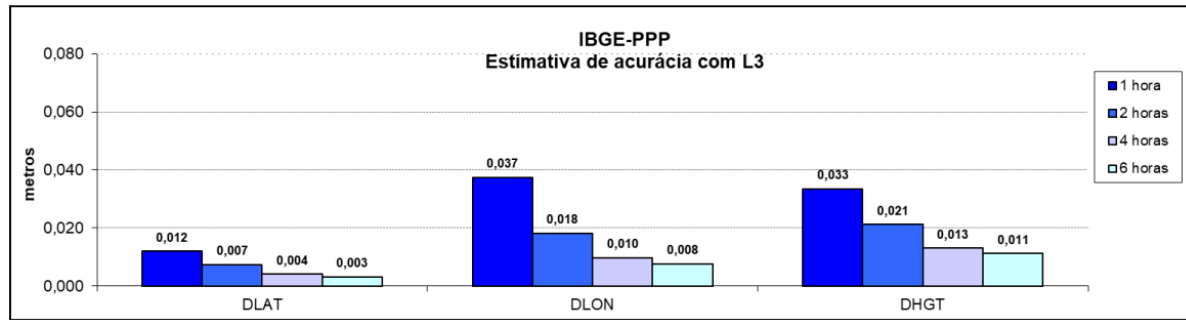
O PPP apresenta em seu manual (IBGE, 2023), gráficos a partir de estudos que demonstram na planimetria poucos milímetros na precisão (Figura 2) e na acurácia (Figura 3), rastreados por 4h. Estes estudos foram realizados em seis estações pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) e demonstram perfeitamente a precisão compatível com a acurácia.

Figura 2 – Precisão posicional do PPP com L1+L2 em função do tempo de rastreo.



Fonte: IBGE (2023).

Figura 3 – Acurácia posicional do PPP com L1+L2 em função do tempo de rastreio.



Fonte: IBGE (2023).

2 O PRINCÍPIO DA VIZINHANÇA

O Princípio da Vizinhança é definido na ABNT NBR 13133:2021 - Execução de levantamento topográfico como sendo a

“regra básica da Geodésia que deve ser aplicada à topografia, estabelecendo que cada ponto novo determinado deve ser amarrado ou relacionado a todos os pontos vizinhos mais próximos já determinados, para que haja uma otimização da distribuição dos erros” (ABNT, 2021)

Esta mesma norma afirma que “O levantamento topográfico, em qualquer de suas finalidades, deve obedecer ao princípio da vizinhança”. França (2023) afirma que é fundamental que o princípio da vizinhança seja tratado com a devida importância, principalmente na implantação de redes de referência. Romão, Carneiro e Silva (1996) definem que o princípio da vizinhança é um importante princípio geodésico que busca uma alta precisão relativa entre pontos vizinhos de uma rede. Segundo Brandão (2003), o princípio da vizinhança possibilita a homogeneização dos levantamentos em termos de qualidade posicional, atendendo assim a precisão especificada para a finalidade. Em sua tese de doutoramento, Brandão explica que:

“A aplicação do Princípio da Vizinhança nas medições dos pontos de um levantamento é uma garantia de sua qualidade métrica. Sua principal vantagem consiste na determinação das incertezas das posições dos pontos que podem ser confrontados e confirmados. As condições para a aplicação do Princípio da Vizinhança em um levantamento são basicamente duas: a medição de todos os pontos do levantamento com observações de controle, e a determinação das posições de todos os pontos do levantamento através de um ajustamento por mínimos quadrados.” Brandão (2003)

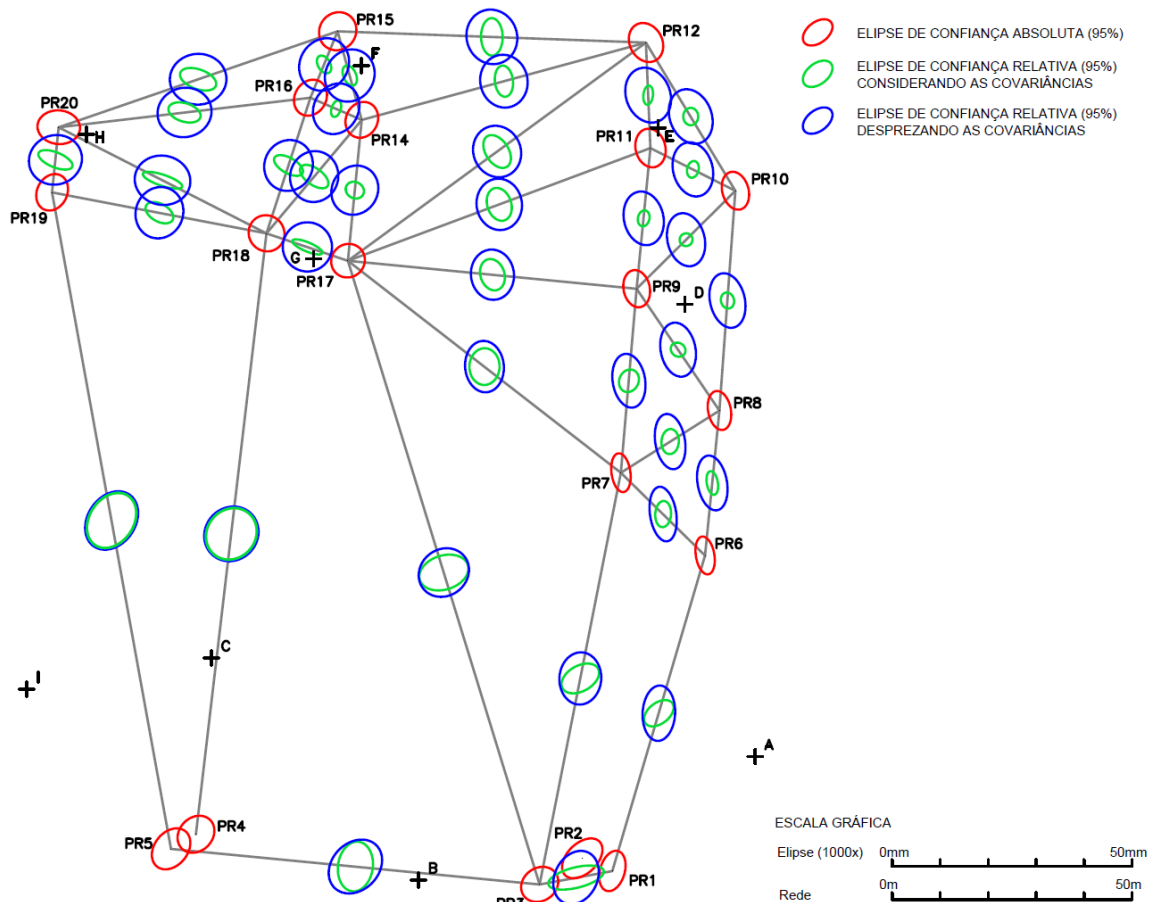
Desta forma, o princípio da vizinhança se mostra básico para evitar que levantamentos cadastrais territoriais realizados em momentos distintos, por profissionais distintos e usando como referência pontos distintos, tenham divergências que não atendam as normas técnicas e sejam importantes para as questões legais envolvendo as parcelas e imóveis.

3 IMPORTÂNCIA DO AJUSTAMENTO EM REDE

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é o conjunto de vértices geodésicos implantados na superfície terrestre que materializa o sistema geodésico adotado no Brasil através de suas coordenadas e altitudes. Portanto, ao utilizar um vértice do SGB como referência para realizar observações, estar-se-á de fato vinculando o novo ponto

ao SGB, permitindo ajustar os erros aleatórios e minimizar os erros sistemáticos inerentes às observações geodésicas. Já na técnica PPP, as observações do novo ponto não estão injuncionadas a nenhum vértice do SGB, sendo então esta posição vinculada ao SGB através de modelos matemáticos parametrizados para a transformação da coordenada obtida no processamento para a mesma época da determinação do sistema geodésico adotado como referência. Os ajustamentos no PPP minimizam os efeitos dos erros relacionados às observações, mas ignoram os vértices já determinados na rede existente, não permitindo identificar a magnitude dos erros em relação à rede determinada.

Figura 4 – Elipses de confiança relativa com e sem as covariâncias



Fonte: França, Klein e Veiga (2024).

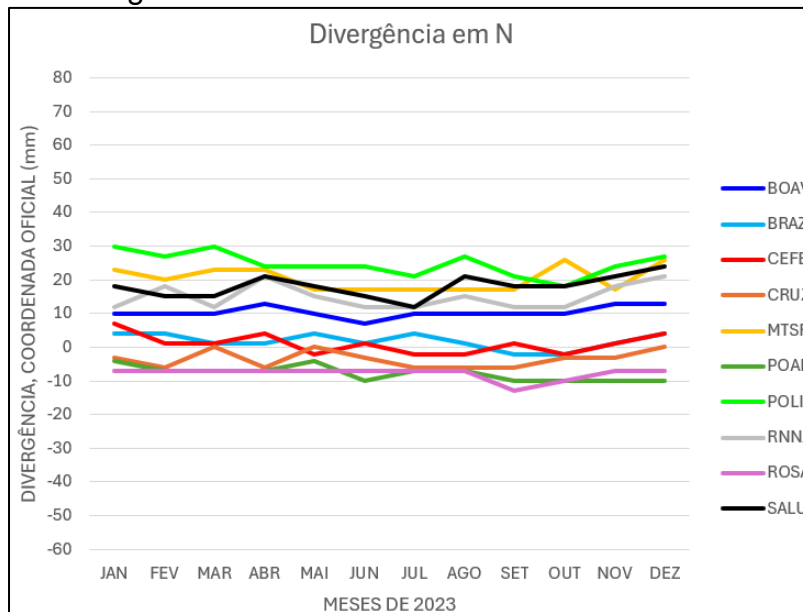
Desta forma, ao processar usando a técnica PPP, não se consideram os erros inerentes aos vértices já materializados do SGB. Assim, dois quaisquer vértices medidos com PPP não terão covariâncias entre eles, podendo gerar propagações de erros de difícil tratamento e controle de sua magnitude. França, Klein e Veiga (2024) mostraram as elipses de confiança numa rede ajustada por mínimos quadrados em vértices injuncionados. A diferença das elipses relativas (elipses dos lados da rede), quando a covariância é considerada ou não, é ocular (Figura 4). Numericamente, os autores demonstraram ainda que em um alinhamento a área da elipse chegou a ser 12x maior quando a covariância foi desprezada.

Assim, ao realizar o ajustamento dos vértices em rede, será garantido o princípio da vizinhança.

4 DIVERGÊNCIAS ENTRE PPP E SGB

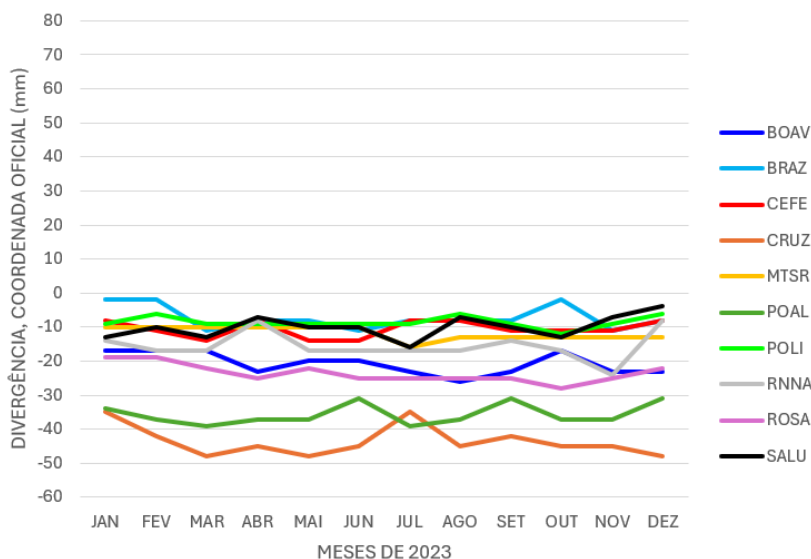
Em virtude da forma com que as observações são tratadas, é de se esperar que haja divergências entre o PPP e as coordenadas determinadas dos vértices do SGB. Para averiguar a aplicabilidade do PPP em Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM), nesta pesquisa foi realizado o processamento PPP a partir dos dados da RBMC e comparado com suas coordenadas homologadas que são ajustadas em rede (SIRGAS2000, época 2000.4). Para que erros aleatórios temporais do sistema GNSS não influenciem na análise, foram realizados processamentos com rastreamento de 24h, mas amostrados mensalmente no ano de 2023, sempre no dia 15 de cada mês, ou na falta deste, o próximo dia com dados. Os dados utilizados foram integrais do arquivo diário (24 h) da RBMC com taxa de gravação de 15 segundos, garantindo assim que erros sistemáticos de órbitas dos satélites não influenciem a análise. Foram escolhidas 10 estações distribuídas no território nacional (Figura 11) que estivessem ativas e operando pelo menos nos últimos 10 anos. Nas Figuras 5, 6 e 7 podem-se observar as divergências das coordenadas N, E e h (altitude geométrica) processadas no PPP em relação às coordenadas determinadas na realização da rede do SGB, na época 2000.4.

Figura 5 – Divergências mensais em 2023 da coordenada Norte do PPP



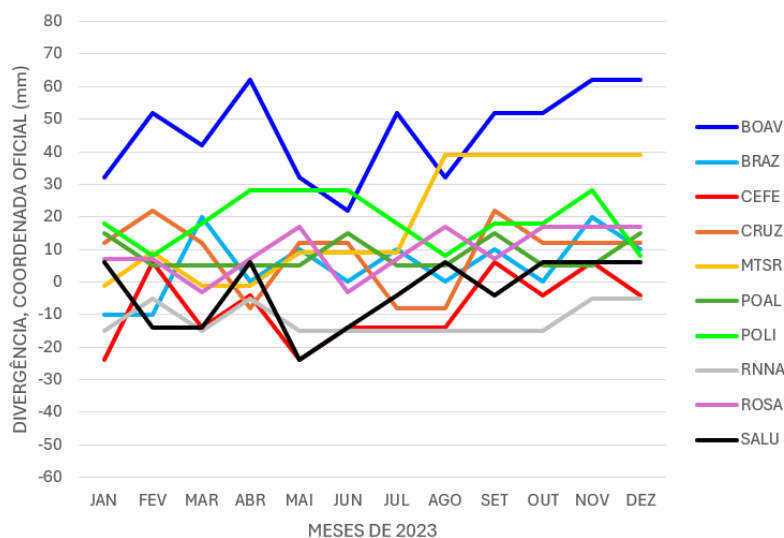
Fonte: os autores (2024).

Figura 6 – Divergências mensais em 2023 da coordenada Este do PPP
Divergência em E



Fonte: os autores (2024).

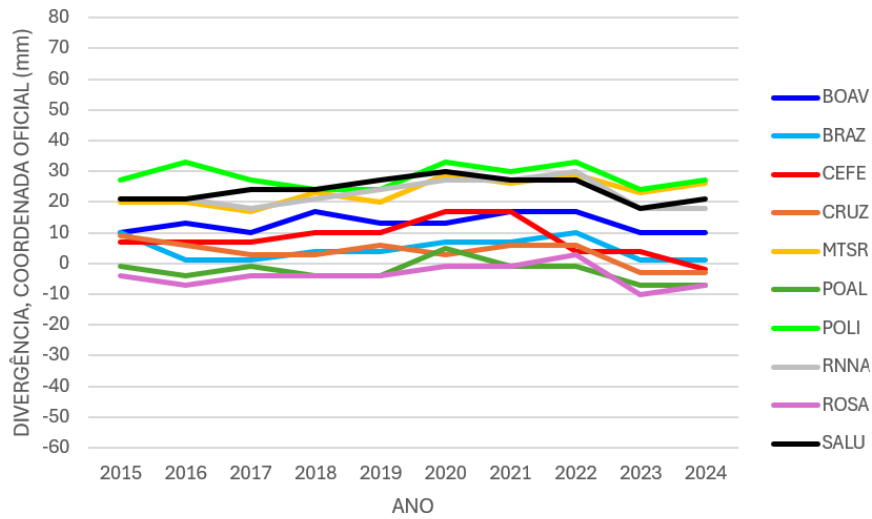
Figura 7 – Divergências mensais em 2023 da altitude geométrica (h) do PPP
Divergência em h



Fonte: os autores (2024).

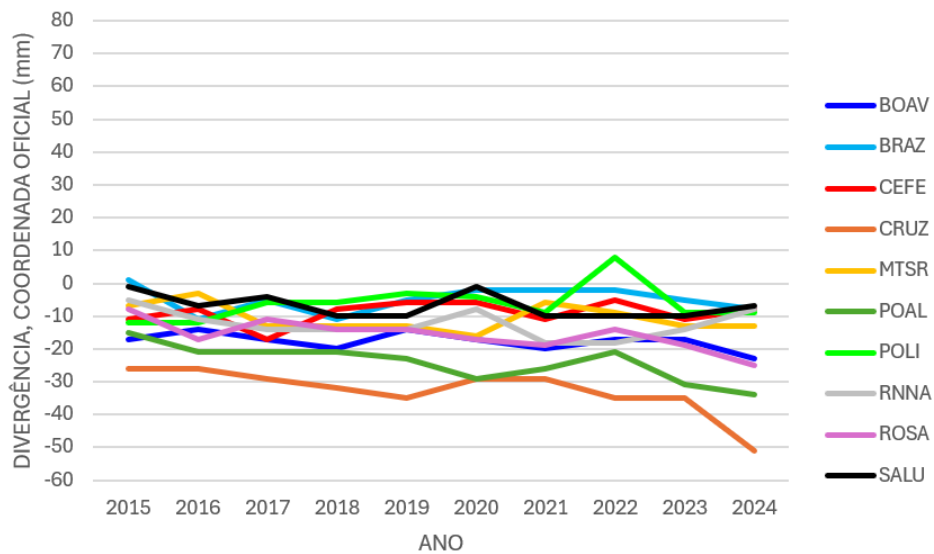
Os gráficos evidenciam divergências de ordem sistemática, que podem ser oriundas de várias fontes. Então, para averiguar o comportamento ao longo do tempo de operação, já que mudanças em parâmetros de transformação, no modelo de antena, em algoritmos de processamento, observáveis utilizadas, novas constelações, entre outras mudanças, foi realizado o processamento anual últimos 10 anos, utilizando os dados integrais do dia 01/janeiro de cada ano, ou o próximo a este em caso de inexistência. As Figuras 8, 9 e 10 mostram que o comportamento das divergências ao longo de 10 anos, ocorrem de forma similar ao ano de 2023.

Figura 8 – Divergências anuais da coordenada Norte do PPP
 Divergência em N



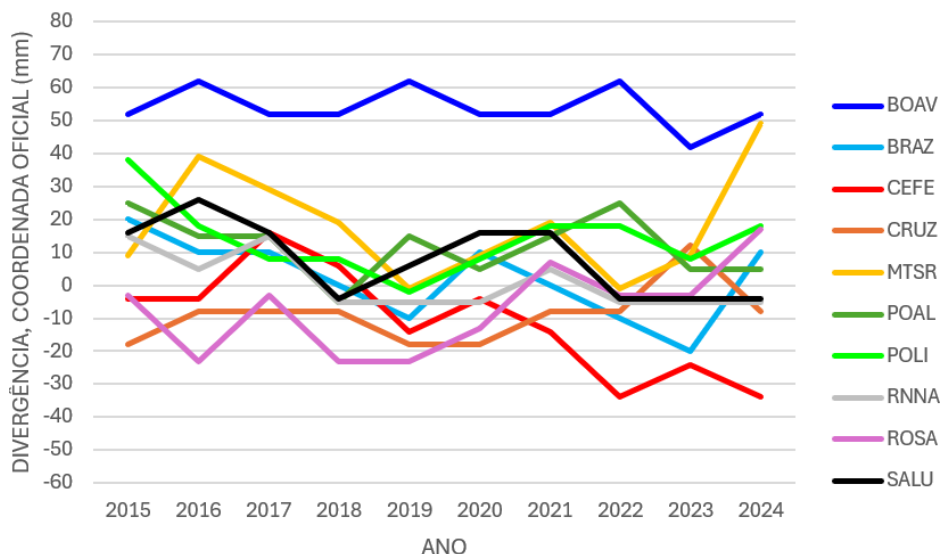
Fonte: os autores (2024).

Figura 9 – Divergências anuais da coordenada Este do PPP
 Divergência em E



Fonte: os autores (2024).

Figura 10 – Divergências anuais da altitude geométrica (h) do PPP
 Divergência em h



Fonte: os autores (2024).

Na Tabela 1 podem-se observar as variações em Norte, Este e Altitude ocorridas nas coordenadas, nos processamentos anuais.

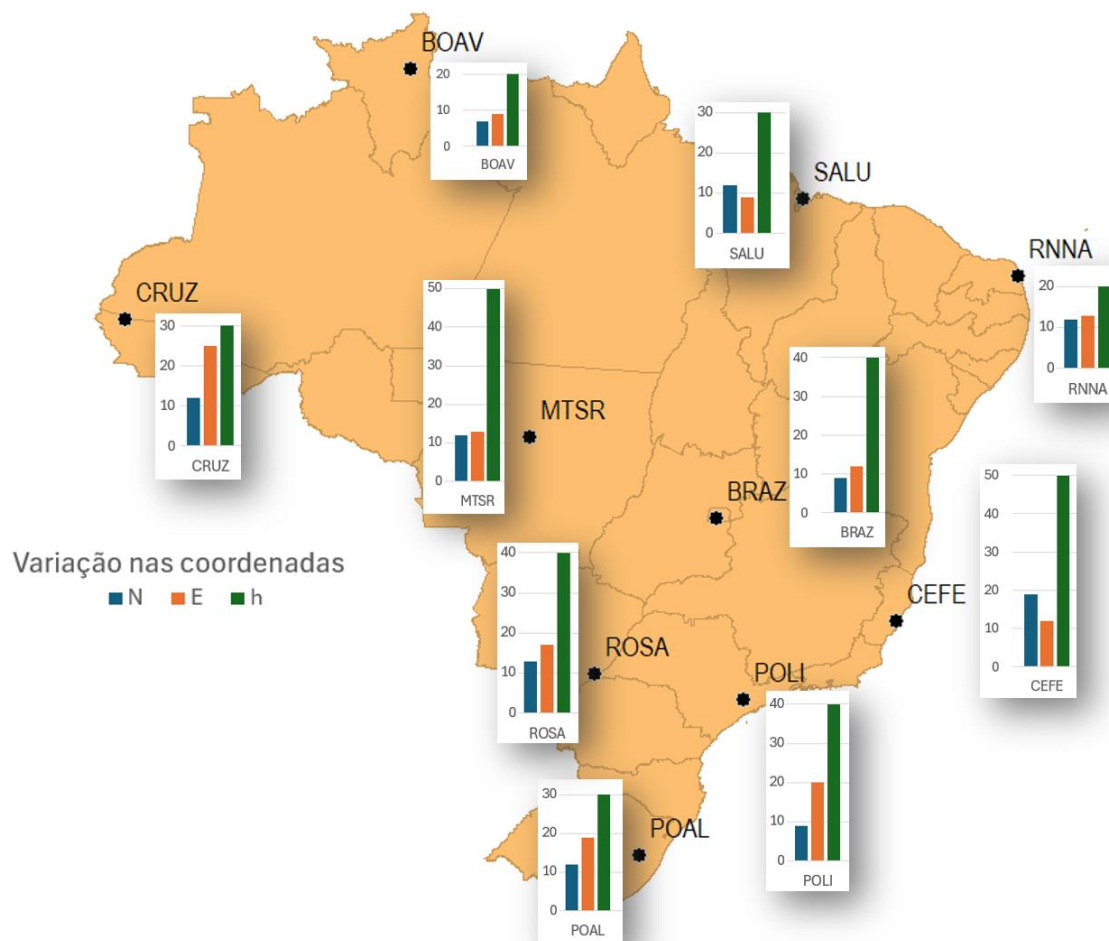
Tabela 1- Variação das coordenadas em mm.

COORD	BOAV	BRAZ	CEFE	CRUZ	MTSR	POAL	POLI	RNNA	ROSA	SALU
Norte	7	9	19	12	12	12	9	12	13	12
Este	9	12	12	25	13	19	20	13	17	9
Altitude	20	40	50	30	50	30	40	20	40	30

Fonte: os autores (2024).

Na Figura 11 observam-se a espacialização no território nacional das variações ocorridas nas coordenadas, nos processamentos anuais. É possível identificar variações sistemáticas, mas que não estão relacionadas à regionalização no território brasileiro.

Figura 11 – Espacialização das variações em mm nos processamentos



Fonte: os autores (2024).

5 CONCLUSÕES

As precisões alcançadas com o método PPP têm demonstrado o seu grande potencial para várias aplicações geodésicas. O serviço on-line traz bastante agilidade, para os profissionais.

Como o serviço do IBGE-PPP é on-line, e, conforme informado pelo IBGE, os parâmetros vêm sofrendo alterações para melhoria dos resultados, é fundamental armazenar o relatório do processamento de forma a permitir que futuramente sejam analisadas as divergências com as coordenadas processadas usando novos parâmetros, permitindo analisar a importância para a aplicação. Importante destacar que em maio de 2020 houve mudanças dos parâmetros de transformação do ITRF para SIRGAS2000 para reduzir os impactos causados pelas mudanças dos referenciais ocorridas ao longo do tempo. Estas alterações dos parâmetros podem apresentar diferenças na planimetria de até 2 cm e na altimetria de até 3 cm se comparada com processamentos mais antigos (IBGE, 2023).

Pelas divergências apresentadas, o posicionamento com PPP atendeu perfeitamente a precisão de ± 80 mm necessária para a medição de um vértice de imóvel urbano conforme a ABNT NBR 17047:2022 (ABNT, 2022b). Porém, há de se observar sempre as condições de rastreamento para evitar os multicaminhamentos,

problemas típicos em regiões urbanizadas com edificações e vegetação. Também não se pode ignorar a questão de produtividade, que exigirá algumas horas de rastreo para cada um dos vértices, o que onera bastante um levantamento mesmo num imóvel urbano com poucos vértices.

As precisões informadas nos relatórios de processamento PPP nesta pesquisa, conforme esperado foram todos de ordem milimétrica pelo longo rastreo, sendo o pior sigma planimétrico de 5mm e altimétrico de 12mm. Porém, estes valores de precisão não são compatíveis com as divergências máximas encontradas de 51 mm na planimetria e 62mm na altimetria. Mesmo as divergências se apresentando sistemáticas, ocorreram variações significativas nas coordenadas processadas de até 19 mm, 25 mm e 50mm respectivamente nas coordenadas Norte, Este e h, pelo fato do processamento PPP não ser injuncionado nos vértices do SGB.

As covariâncias numa rede de referência são fundamentais para minimizar a propagação dos erros sistemáticos e aleatórios, principalmente quando se utiliza observações angulares e lineares com estação total a partir dos vértices da rede, condição tipicamente necessária em áreas urbanizadas onde o posicionamento GNSS possui restrições.

Desta forma, o PPP não deve ser utilizado para a implantação de pontos de apoio para levantamentos cadastrais territoriais de imóveis urbanos, e muito menos para a implantação de redes de referências cadastrais municipais, visto que não atende o princípio da vizinhança, comprovado pelos resultados obtidos nesta pesquisa.

O ajustamento em rede pelo método dos mínimos quadrados, permite que novos pontos medidos estejam relacionados aos pontos existentes mais próximos, minimizando o impacto da propagação dos erros, garantindo assim a homogeneidade e precisão posicional requerida nos levantamentos cadastrais territoriais.

Para garantir o princípio da vizinhança unido à produtividade, e, consequentemente menor custo, nos locais que não se tenha vértices da RRCM próximos, é a implantação de vértices de apoio com posicionamento GNSS relativo ajustado na RRCM (conforme NBR 14166:2022 – ver ABNT, 2022a) e a partir destes realizar as medições aos vértices com as técnicas previstas na NBR 17047:2022 (ABNT, 2022b).

Importante ressaltar que o objetivo desta pesquisa não foi identificar possíveis erros do IBGE no serviço IBGE-PPP, mas sim verificar a fidedignidade do posicionamento comparado com os vértices do SGB e sua aplicação no cadastro territorial.

Para futuras pesquisas, sugere-se avançar nos estudos dos motivos de algumas anomalias e ressaltos visíveis nos gráficos e se possuem relação com mudanças como parâmetros de transformação, modelo de antena, algoritmos, observáveis, constelações, entre outras ocorridas e registradas pelo IBGE em seus relatórios.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução do levantamento topográfico - Procedimento. Rio de Janeiro, 2021. 57 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022a. 23 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17047**:

Levantamento cadastral territorial para registro público - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022b. 12 p.

ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. Posicionamento por Ponto Preciso e Posicionamento Relativo com GNSS: Qual é o método mais acurado atualmente?. 2016. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v.22, n.1.

BRANDÃO, A. C. **O princípio da vizinhança geodésica no levantamento cadastral de parcelas territoriais**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003. 128p.

FRANÇA, R. M. **Redes geodésicas horizontais em áreas urbanas: uma nova proposta para a densificação**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. 117p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual do Usuário Posicionamento Por Ponto Preciso**. Versão março 2009. Disponível em https://ppp.ibge.gov.br/manual_ppp.pdf. Acesso em: 24 setembro 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA PPP (IBGE-PPP). **Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP - Manual do Usuário**. Versão Junho de 2023. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101677.pdf>. Acesso em: 20 junho 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA PPP (IBGE-PPP). **Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP - Estatísticas de uso**. 2024. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=estatisticas-de-uso>. Acesso em: 23 junho 2024.

TRIMBLE. **4800 Specifications**. 1997. Disponível em <https://unavco.knowledgebase.co/assets/483/4800ss.pdf>. Acesso em: 24 setembro 2024.

ROMÃO, V. M. C.; CARNEIRO, A. F. T.; SILVA, T. F. **Rede de referência cadastral municipal: uma proposta do grupo de trabalho sobre cadastro municipal (GTCM) do DECart - UFPE**. In: Anais II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC Florianópolis, 13 a 17 out 1996, p. III - 412.