



# I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento  
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

## UTILIZAÇÃO DO SERVIÇO ONLINE DE PROCESSAMENTO POR PONTO PRECISO (PPP) COM DADOS GNSS PARA ESTUDO DE SUBSIDÊNCIA DO SOLO

*Aramis Leite de Lima 1, Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral 2*

**Palavras-chave:** Subsidência do solo; GNSS; Processamento por Ponto Preciso (PPP).

### INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades tem ampliado a pressão sobre o meio físico urbano, intensificando a ocorrência de processos geodinâmicos como a subsidência do solo, com repercussões diretas sobre edificações, redes de infraestrutura e risco de inundações (Huang; Shu; Yang, 2012; Xu et al., 2016). Em áreas densamente urbanizadas, a detecção precoce de pequenos deslocamentos verticais assume relevância estratégica para o planejamento urbano e a gestão de riscos, demandando métodos de monitoramento com alta acurácia e resolução temporal adequada (Galloway; Burbey, 2011; Hu; Chen; Zhang, 2019). Nesse contexto, técnicas baseadas em Sistema de Navegação Global por Satélites (GNSS) vêm se consolidando como instrumentos relevantes para o acompanhamento da subsidência, em função da capacidade de fornecer posicionamento geodésico com precisão milimétrica quando adequadamente configuradas (Santos et al., 2010; Shahbazi; Mousavi; Rezaei, 2022). A pesquisa insere-se nesse cenário ao avaliar o potencial de serviços gratuitos online de Processamento por Ponto Preciso (PPP) de dados GNSS (online GNSS-PPP) para detecção de deslocamentos verticais de pequena magnitude, simulando condições análogas à subsidência em ambiente urbano verticalizado na cidade do Recife-PE.

### METODOLOGIA

O estudo teve por objetivo analisar a viabilidade do uso de serviços gratuitos online GNSS-PPP na identificação de deslocamentos verticais controlados, com ordem centimétrica, associados ao fenômeno de subsidência do solo. Foram inicialmente identificados sete serviços online de PPP, dos quais quatro foram selecionados para a etapa comparativa por viabilidade de processamento e disponibilidade de produtos: OPUS, AUSPOS, IBGE-PPP e CSRS\_PPP. A área de estudo compreendeu dois marcos geodésicos materializados por chapas metálicas instaladas na cobertura de edifícios localizados no bairro de Boa Viagem, em Recife-PE (marcos BV19 e BV22), de forma a reduzir efeitos de multicaminhamento e obstáculos urbanos característicos de corredores urbanos de alta densidade construtiva (Yao et al., 2022).

---

1) Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), aramisleite@recife.ifpe.edu.br

2) Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) – Departamento de Engenharia Civil- Universidade Federal de Pernambuco (UFPE),  
Departamento de Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco (UPE), jaime.cabral@ufpe.br

Para simular deslocamentos verticais controlados, foram confeccionados, em laboratório, dois pares de pinos metálicos para receptores GNSS de dupla frequência, com diferença exata de 1 cm entre os elementos de cada par. Em cada marco realizou-se uma primeira sessão de rastreamento (posição P1), com pinos de altura  $Z$  cm, com duração aproximada de 2h30, seguida de uma segunda sessão (posição P2), utilizando pinos de altura  $Z-1$  cm, com mesma duração, configurando experimentalmente um rebaixamento vertical conhecido de 1 cm. Os arquivos de observação GNSS foram submetidos aos quatro serviços online GNSS-PPP, em modo estático, e as soluções obtidas para P1 e P2 foram comparadas quanto à capacidade de detectar: (i) rebaixamento vertical (situação de “subsidiência”); (ii) elevação (“não subsidiência”); e (iii) o valor exato de 1 cm de diferença de altura entre as posições.

## RESULTADOS

Os resultados indicaram desempenho variável entre os serviços online GNSS-PPP avaliados. Do conjunto de soluções processadas, cerca de 75% dos resultados indicaram “não subsidiência”, isto é, deslocamentos verticais para cima entre P1 e P2, enquanto apenas 25% representaram deslocamentos para baixo, compatíveis com a configuração física de subsidiência simulada. Observou-se ainda que o marco BV19 apresentou exclusivamente resultados de “não subsidiência”, sugerindo maior sensibilidade a efeitos locais, de geometria de satélites ou de ruído de observação.

Por outro lado, a análise da capacidade de identificar o módulo do deslocamento mostrou que 75% das soluções indicaram diferenças próximas do valor exato de 1 cm entre as posições, independentemente do sinal (para cima ou para baixo), evidenciando potencial dos serviços GNSS-PPP para captar pequenas variações verticais. Apenas uma combinação de serviço e marco – o AUSPOS no marco BV22 – produziu simultaneamente: (i) deslocamento vertical para baixo; e (ii) módulo de 1 cm, configurando o resultado considerado mais acurado para representar a subsidiência controlada simulada, embora corresponda a apenas 12,5% do total de casos analisados. Serviços como GAPS e APPS não puderam ser incluídos na comparação final devido a falhas de processamento e limitações de tamanho de arquivo, enquanto o RT\_PPP não foi utilizado por dificuldades operacionais na interface de entrada de dados.

## CONCLUSÕES

Os achados da pesquisa indicam que os serviços gratuitos online GNSS-PPP apresentam potencial para detecção de pequenos deslocamentos verticais, mas ainda com limitações significativas quando se busca representação consistente de subsidiência centimétrica em condições experimentais controladas. A elevada proporção de resultados classificados como “não subsidiência”, bem como a baixa ocorrência de soluções simultaneamente coerentes quanto ao sentido e à magnitude do deslocamento, sugere a necessidade de aprofundar investigações sobre a metodologia operacional em levantamentos GNSS, com especial atenção ao tempo de rastreamento, à configuração de satélites, ao tratamento de erros atmosféricos e à escolha do serviço de PPP (Alves et al., 2010; Marques, 2012).

Do ponto de vista aplicado, os resultados reforçam que o uso de serviços online GNSS-PPP pode integrar estratégias de monitoramento de subsidiência em áreas urbanas, sobretudo como ferramenta complementar, desde que amparado por protocolos rigorosos de observação e validação independente, por exemplo com redes GNSS locais,

nivelamento geométrico topográfico ou Interferometria por Radar de Abertura Sintética (InSAR) (De Luna et al., 2021; Hu; Chen; Zhang, 2019). O estudo contribui, assim, para a discussão sobre a viabilidade de soluções de baixo custo e amplo acesso para detecção de deformações verticais em ambiente urbano, apontando a necessidade de novos experimentos, com séries temporais mais longas e diferentes configurações de ensaio, para consolidar o emprego de serviços online GNSS-PPP no monitoramento operacional da subsidência do solo em cidades como Recife-PE.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Chaenne *et al.* Avaliação da qualidade do Posicionamento por Ponto Preciso na sua forma on-line. **Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, v. 3, n. 3, p. 1–7, 27 jul. 2010.
- DE LUNA, Rejane Maria Rodrigues *et al.* Suitability of GNSS for analysis of soil subsidence in Recife in a highly urbanized coastal area. **Natural Hazards**, v. 106, n. 3, p. 1821–1837, abr. 2021.
- GALLOWAY, Devin L.; BURBEY, Thomas J. Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. **Hydrogeology Journal**, v. 19, n. 8, p. 1459–1486, 1 dez. 2011.
- HU, Bo; CHEN, Junyu; ZHANG, Xingfu. Monitoring the Land Subsidence Area in a Coastal Urban Area with InSAR and GNSS. **Sensors**, v. 19, n. 14, p. 19, jan. 2019.
- HUANG, Bijuan; SHU, Longcang; YANG, Y. S. Groundwater Overexploitation Causing Land Subsidence: Hazard Risk Assessment Using Field Observation and Spatial Modelling. **Water Resources Management**, v. 26, n. 14, p. 4225–4239, nov. 2012.
- MARQUES, Haroldo Antonio. **PPP em tempo real com estimativa das correções dos relógios dos satélites no contexto de rede GNSS**. Tese (Doutorado)—São Paulo - SP: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 26 abr. 2012.
- SANTOS, Sylvana *et al.* Detecção de deslocamentos verticais usando GPS em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, n. 02, p. 137–144, 2010.
- SHAHBAZI, Saeedeh; MOUSAVI, Zahra; REZAEI, Abolfazl. Constraints on the hydrogeological properties and land subsidence through GNSS and InSAR measurements and well data in Salmas plain, northwest of Urmia Lake, Iran. **Hydrogeology Journal**, v. 30, n. 2, p. 533–555, 1 mar. 2022.
- XU, Ye-Shuang *et al.* Analysis of Factors in Land Subsidence in Shanghai: A View Based on a Strategic Environmental Assessment. **Sustainability**, v. 8, n. 6, p. 12, jun. 2016.
- YAO, Hexiong *et al.* GNSS Urban Positioning with Vision-Aided NLOS Identification. **Remote Sensing**, v. 14, n. 21, p. 1–24, 31 out. 2022.