



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA**

**COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA**

**ANDRESSA LEAL CABRAL**

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE RASTREIO NA ACURÁCIA  
POSICIONAL DO PPP-RTK**

**SALVADOR  
2025**

ANDRESSA LEAL CABRAL

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE RASTREIO NA ACURÁCIA  
POSICIONAL DO PPP-RTK

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de  
Agrimensura e Cartográfica, da Universidade Federal  
da Bahia.

Orientador: Prof. Marcony de Paulo Ramos.

SALVADOR  
2025

---

C117 Cabral, Andressa Leal.

Influência da variação do tempo de rastreo na acurácia posicional do PPP-RTK/ Andressa Leal Cabral. – Salvador, 2025.

30f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Marcony de Paulo Ramos.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2025.

1. GNSS - posicionamento. 2. Rastreo - tempo. 3. Acurácia posicional. I. Ramos, Marcony de Paulo. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDD: 528.425

---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete  
Sinay Neves, Escola Politécnica – UFBA.

## TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRESSA LEAL CABRAL

### INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE RASTREIO NA ACURÁCIA POSICIONAL DO PPP-RTK

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Documento assinado digitalmente  
 **MARCONY DE PAULO RAMOS**  
Data: 10/01/2026 09:54:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Marcony de Paulo Ramos  
Orientador - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA

ASSINADO DIGITALMENTE  
**ELMO LEONARDO XAVIER TANAJURA**  
A conformidade com a assinatura pode ser verificada em:  
<http://serpro.gov.br/assinador-digital> 

---

Prof. Dr. Elmo Leonardo Xavier Tanajura  
Membro - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA

Documento assinado digitalmente  
 **NIEL NASCIMENTO TEIXEIRA**  
Data: 22/01/2026 15:55:47-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Niel Nascimento Teixeira  
Membro Externo - Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da UESC

Salvador, 11 de Dezembro de 2025

## SUMÁRIO

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO.....</b>                                             | <b>5</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                          | <b>5</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                     | <b>6</b>  |
| <b>2. REVISÃO TEÓRICA .....</b>                                | <b>7</b>  |
| <b>2.1. Métodos de Posicionamento GNSS .....</b>               | <b>8</b>  |
| 2.1.1. Posicionamento Relativo .....                           | 8         |
| 2.1.2. Posicionamento Absoluto .....                           | 9         |
| 2.1.3. Posicionamento PPP-RTK e o Serviço Centerpoint RTX..... | 11        |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                            | <b>13</b> |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                        | <b>17</b> |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                            | <b>27</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                       | <b>28</b> |

# INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE RASTREIO NA ACURÁCIA POSICIONAL DO PPP-RTK

## RESUMO

A evolução do posicionamento GNSS resultou no desenvolvimento de métodos que dispensam a infraestrutura de estações base locais, como é o caso do PPP-RTK (*Precise Point Positioning - Real Time Kinematic*). Este estudo analisa a influência da variação do tempo de rastreo na acurácia posicional desta técnica em diferentes cenários ambientais. A metodologia consistiu numa abordagem experimental comparativa, com coletas de dados em ambientes de campo aberto, com cobertura vegetal e obstrução tipicamente urbanas (construção), com tempos de rastreo variando de 5 segundos a 1 hora. O padrão de referência para a validação das discrepâncias foi o método relativo estático pós-processado. Os resultados indicam que, em áreas abertas, a técnica atinge acurácia centimétrica (horizontal  $\leq 2$  cm e vertical  $\leq 4$  cm) em curtos intervalos, apresentando estabilidade em conformidade com as especificações nominais. Em oposição, cenários com obstruções parciais e severas provocaram degradação significativa e instabilidade na solução, especialmente na componente altimétrica, com erros de ordem decimétrica. Concluiu-se que o PPP-RTK oferece elevada produtividade e precisão em áreas livres, mas a sua integridade em ambientes restritos é fortemente dependente da extensão do tempo de rastreo e da estabilização da solução.

**Palavras-chave:** GNSS, Posicionamento, PPP-RTK, RTX, Tempo de Convergência, Acurácia Posicional.

## ABSTRACT

*The evolution of GNSS positioning has resulted in the development of methods that do not require local base station infrastructure, such as PPP-RTK (Precise Point Positioning – Real Time Kinematic). This study analyzes the influence of tracking time variation on the positional accuracy of this technique in different environmental scenarios. The methodology consisted of a comparative experimental approach, with data collection in open field environments, with vegetation cover and typically urban obstructions (buildings), with tracking times ranging from 5 seconds to 1 hour. The reference standard for validating discrepancies was the post-processed relative static method. The results indicate that, in open areas, the technique achieves centimeter-level accuracy (horizontal  $\leq 2$  cm and vertical  $\leq 4$  cm) over short time intervals, showing stability in accordance with nominal specifications. In contrast, scenarios with partial and severe obstructions caused significant degradation and instability in the solution, especially in the vertical component, with errors on the order of decimeters. It was concluded that PPP-RTK offers high productivity and accuracy in open areas, but its integrity in restricted environments is strongly dependent on tracking time duration and solution stabilization.*

**Keywords:** GNSS, Positioning, PPP-RTK, RTX, Convergence Time, Positional Accuracy.

## 1. INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS - *Global Navigation Satellite System*) tornaram-se essenciais para o posicionamento geodésico e o georreferenciamento, disponibilizando soluções cada vez mais precisas e acessíveis para diversas áreas, como as geociências, a agricultura de precisão, topografia e até mesmo em aplicações civis (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2001; Monico, 2008).

No avanço das tecnologias GNSS, destacam-se os métodos que operam com correções em tempo real, a exemplo do *Real-Time Kinematic* (RTK) e, mais recentemente, o *Precise Point Positioning - Real-Time Kinematic* (PPP-RTK). A técnica PPP-RTK diferencia-se por dispensar a necessidade de uma estação base local, operando a partir de correções baseadas no estado do espaço (State Space Representation – SSR) transmitidas por redes globais via satélite ou internet (Wübbena *et al.*, 2005). Conforme destacam Teunissen e Khodabandeh (2015), o diferencial do PPP-RTK reside na sua capacidade de mitigar os erros atmosféricos e fixar as ambiguidades de fase de forma acelerada, integrando a independência global do posicionamento por ponto preciso (PPP) à típica agilidade do RTK.

A técnica PPP-RTK, que promete entregar um posicionamento com precisão de centímetros, apresenta um significativo progresso nos métodos de levantamento GNSS. Segundo Wübbena *et al.* (2005), essa evolução é especialmente relevante quando comparada aos métodos tradicionais, como o RTK, em áreas remotas, com obstruções de visada horizontal ou com infraestrutura limitada, pois dispensa a necessidade de estações base locais; ou como os métodos pós-processados, quando o tempo de rastreamento é um fator essencial nos resultados (Monico, 2008).

Nesse estudo, analisou-se o impacto da variação do tempo de rastreio em diferentes ambientes na acurácia posicional alcançada com o PPP-RTK. Como referência comparativa, foi incluído um levantamento por meio do método relativo estático, com o intuito de quantificar o desempenho do método em diferentes durações de coleta de dados.

A metodologia adotada buscou estabelecer parâmetros técnicos que auxiliassem profissionais e pesquisadores na escolha da estratégia de posicionamento mais adequada às condições de campo e às necessidades de precisão e tempo de operação. Este estudo contribui para ampliar a compreensão da aplicação da metodologia PPP-RTK no contexto nacional, ainda pouco explorado em estudos de desempenho com foco na variável tempo de rastreio.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

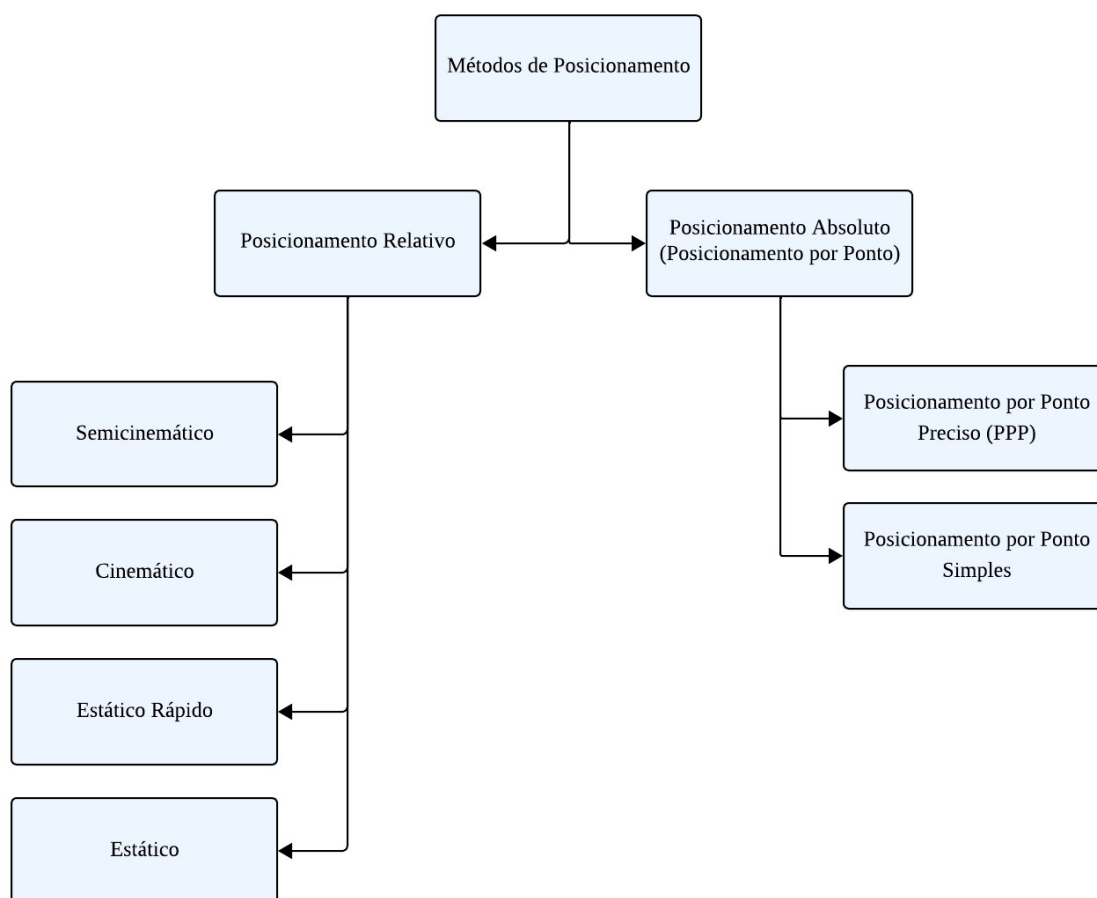
Os GNSS englobam um conjunto de tecnologias capazes de fornecer posicionamento, navegação e temporização com alta precisão, a partir da recepção de sinais enviados por satélites. Esses sistemas operam com base na medição do tempo de propagação dos sinais eletromagnéticos entre os satélites e os receptores, sendo utilizados amplamente em aplicações como topografia, geodésia, agricultura de precisão e navegação (Monico, 2008).

Esses sistemas GNSS operam com base em sinais emitidos por satélites que compõem diferentes constelações. Cada constelação possui diferentes características orbitais e operacionais, transmitindo sinais para permitir o posicionamento dos usuários. Atualmente, existem quatro constelações GNSS principais em funcionamento: GPS (*Global Positioning System* - Estados Unidos), GLONASS (*GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* - Rússia), Galileo (União Europeia) e BeiDou (China), sendo possível a combinação desses sinais para a obtenção de soluções mais robustas e acuradas (Setti Júnior *et al.*, 2020).

Entre os principais fatores que influenciam a acurácia do posicionamento GNSS destacam-se: atrasos ionosféricos e troposféricos, erros de efemérides, erro de relógio dos satélites e dos receptores e multicaminhamento (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2001; Monico, 2008). Conforme Langley (1999), a precisão do posicionamento depende da geometria dos satélites utilizados, fator este que pode ser avaliado por meio do índice DOP (*Dilution of Precision*) e do modelo de correção adotado.

Outro fator que influencia diretamente a acurácia dos métodos de posicionamento é a escolha do método de posicionamento.

Figura 1: Diagrama dos métodos de posicionamento.



Fonte: Autoria Própria (2025)

## 2.1. Métodos de Posicionamento GNSS

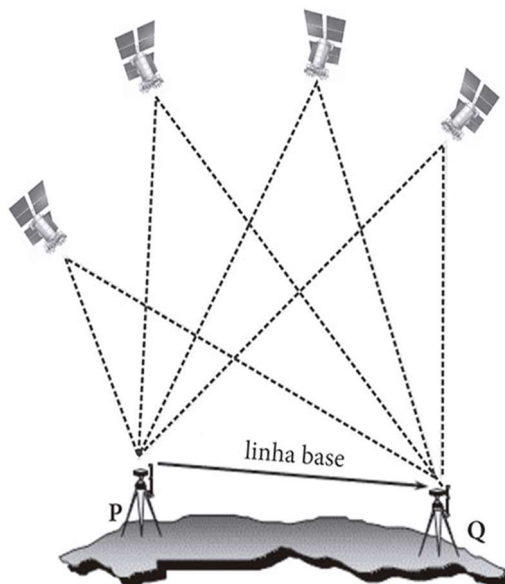
Os métodos de posicionamento GNSS influenciam diretamente a acurácia do posicionamento. Esses métodos podem ser classificados em *absolutos e relativos*. A escolha do método está diretamente relacionada à precisão exigida, ao tempo disponível para o levantamento e à infraestrutura disponível.

### 2.1.1. Posicionamento Relativo

No posicionamento relativo, dois receptores observam os mesmos satélites simultaneamente: um em uma estação de coordenadas conhecidas (base) e outro na posição desconhecida (rover). Essa abordagem, com duas fontes de observações, permite eliminar ou reduzir significativamente erros comuns às duas estações, possibilitando precisão milimétrica em linhas de base curtas (Monico, 2008). O método persiste em utilizar um ponto de coordenadas conhecidas – base, que, através de um vetor espacial (vetor da linha de base), irá

determinar as coordenadas de pontos remotos – rovers (Silva *et al.*, 2015), como indicado na Figura 2.

Figura 2 - Linha de base.



Fonte: Silva *et al.* (2015)

Dentre as variações do método relativo, temos o RTK, um método relativo cinemático de correções em tempo real (Mônico, 2008), que se tornou um dos mais populares nos levantamentos topográficos, por ser um método fácil, preciso e com correções em tempo real. O método utiliza medições das fases da portadora e das pseudodistâncias, com os receptores se comunicando através de uma antena remota, com a base enviando correções diferenciais para o rover, que fará uma combinação das correções recebidas com suas próprias observações e irá determinar em tempo real suas próprias coordenadas, sem necessidade de pós-processamento (Silva *et al.*, 2015).

#### 2.1.2. Posicionamento Absoluto

Segundo Silva *et al.* (2015), o posicionamento absoluto é baseado na medição direta das pseudodistâncias entre a antena receptora e pelo menos uma trilateração espacial. A utilização de apenas um receptor GNSS faz com que seja um método de posicionamento simples, de baixa precisão, na ordem de 3-15 metros e 5-25 metros, na horizontal e na vertical, respectivamente, com nível de confiança de 95%.

Também denominado posicionamento por ponto, o posicionamento absoluto utiliza efemérides transmitidas, no qual teremos um posicionamento por ponto simples, ou efemérides precisas, onde teremos um posicionamento por ponto preciso (PPP).

No PPP a precisão das coordenadas é melhorada com a utilização de correções precisas, fornecidas por serviços como o IGS (*International GNSS Service*), que é a fonte mais importante para efemérides precisas e outros produtos de GPS (Seeber, 2003; Silva *et al.*, 2015), e o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no âmbito nacional, permitindo atingir precisão milimétrica com um único receptor. Contudo, o tempo de convergência da solução pode variar de algumas dezenas de minutos a horas (Almeida *et al.*, 2016).

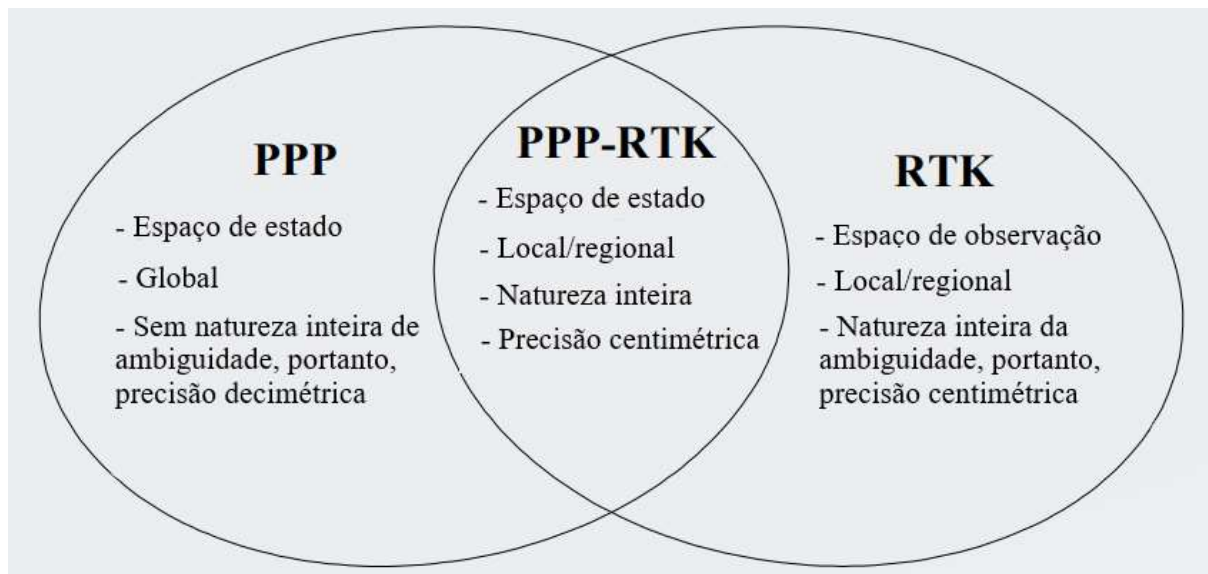
O IBGE disponibiliza o IBGE-PPP, serviço online gratuito pra pós-processamento de dados GNSS que faz uso do programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*), desenvolvido pela Divisão de Geodésia do *Natural Resources of Canada* (NRCan). O serviço processa dados coletados pelos usuários e entrega como resultado coordenadas referenciadas ao sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), o SIRGAS2000 (IBGE, 2023).

O posicionamento absoluto evoluiu significativamente com o PPP, permitindo acurácias elevadas sem infraestrutura local. Porém, o PPP convencional opera em modo pós-processado, limitando aplicações que exigem resultados imediatos. Para suprir essa demanda, surgiu o RT-PPP (*Real-Time Precise Point Positioning*), viabilizado pela transmissão de correções de órbitas e relógios em tempo real via internet ou satélite. Conforme Lenz (2004), essa infraestrutura permite que um receptor isolado obtenha coordenadas precisas instantaneamente em qualquer localidade. Porém, o RT-PPP ainda possui um considerável tempo de convergência para a solução das ambiguidades. Essa limitação impulsionou o desenvolvimento da técnica PPP-RTK. O nome e seus fundamentos são atribuídos a Wübbena *et al.* (2005), que propuseram a utilização de correções baseadas no *State Space Representation* (SSR).

### 2.1.3. Posicionamento PPP-RTK e o Serviço *Centerpoint* RTX

Diferente do RT-PPP convencional, o PPP-RTK isola os biases e fornece informações detalhadas da ionosfera e da troposfera. Segundo Teunissen e Khodabandeh (2015), essa abordagem permite a resolução das ambiguidades em poucos minutos, integrando a independência do PPP com a produtividade do método RTK.

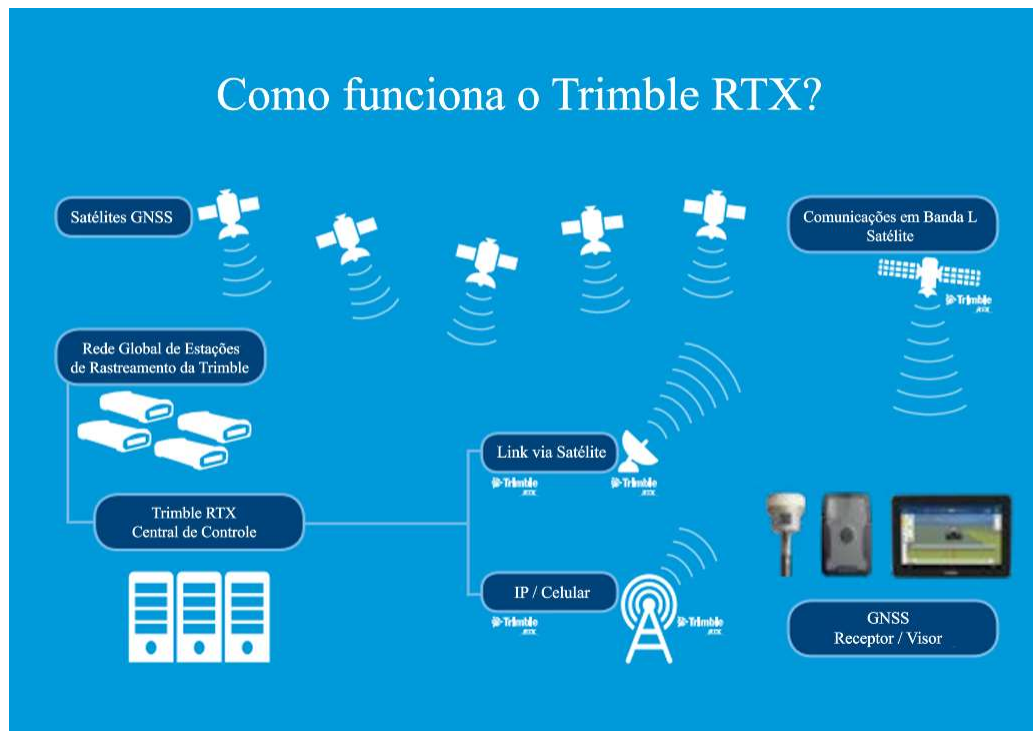
Figura 3 - Síntese das redes PPP e RTK.



Fonte: Traduzido de Wübbena et al. (2005).

Desenvolvido pela empresa Trimble, o serviço Trimble *Centerpoint* RTX utiliza os princípios da técnica de posicionamento PPP-RTK, com correções de alta precisão transmitidas via satélites geoestacionários ou internet, permitindo precisão centimétrica com apenas um receptor GNSS. Esse serviço combina vários centros de processamento com algoritmos avançados que calculam as correções referentes a órbitas de satélites, erros de relógios, bias (tendências) e correções atmosféricas, usando filtros de Kalman e modelos dinâmicos complexos. Após isso, as correções são transmitidas aos usuários por meio de receptores GNSS, como ilustrado na Figura 4, possibilitando posicionamentos precisos em qualquer lugar do mundo de forma contínua e confiável. (Leandro *et al.*, 2011; Teixeira *et al.*, 2023).

Figura 4 - Infraestrutura do sistema.



Fonte: Traduzido de Brandl (2014)

Segundo a Trimble (2025), o serviço de correção de sinal *CenterPoint* RTX oferece uma precisão horizontal e vertical de 2 cm e 5 cm, respectivamente, com repetibilidade infinita e taxas de posicionamento de 1 Hz, 5 Hz e 10 Hz. No serviço, as coordenadas fornecidas estão referidas ao sistema de referência global vigente no momento da coleta, atualmente o ITRF2020, sendo o Quadro de Referência Terrestre Internacional (ITRF - *International Terrestrial Reference Frame*) uma realização do Sistema Internacional de Referência Terrestre (ITRS - *International Terrestrial Reference System*) (Teixeira et al., 2022). As coordenadas ITRF foram obtidas a partir da combinação de soluções de sistemas de referência tridimensionais (os TRF - *Terrestrial Reference Frame*) geradas por centros de análise vinculados ao IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*), que tem como objetivo principal atender às comunidades astronômicas, geodésicas e geofísicas (ITRF, 2025).

No contexto brasileiro, conforme disposto na Resolução do Presidente do IBGE (RPR) 01/2005, o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano 2000 (SIRGAS2000), ficaria estabelecido como novo sistema de referência geodésica para o SGB, a partir da data de 25/02/2005, publicação da resolução. O SIRGAS2000 tem como base o ITRF2000, na época 2000.4, conforme os padrões técnicos atualmente recomendados

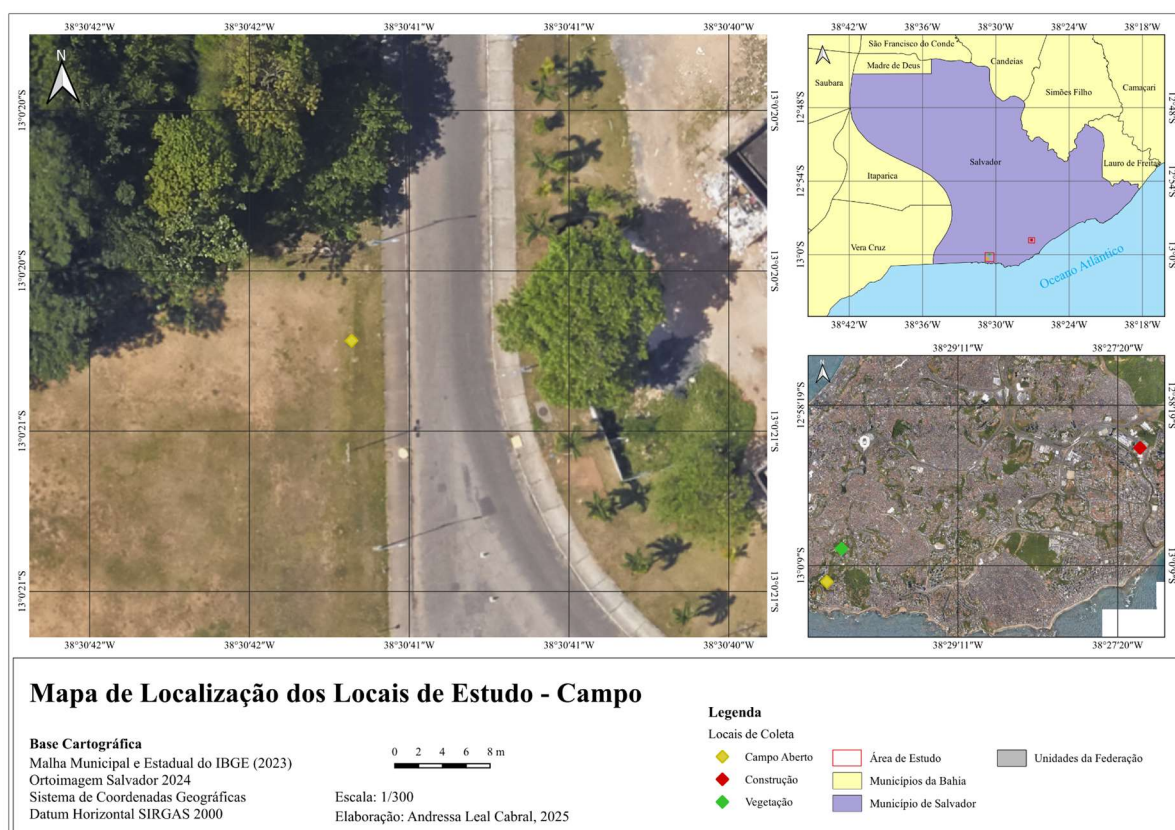
(Teixeira et al., 2022; IBGE, 2005).

Como já foi mencionado, o método depende de um tempo de convergência da solução, o qual é diretamente influenciado pelo tempo de rastreamento. Avaliar como a variação do tempo afeta a precisão final é o foco deste trabalho.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em três áreas com características distintas. Duas no campus de Salvador da Universidade Federal da Bahia, conforme figuras 5 e 6, e a outra no bairro STIEP, no município de Salvador, estado da Bahia, conforme figura 7.

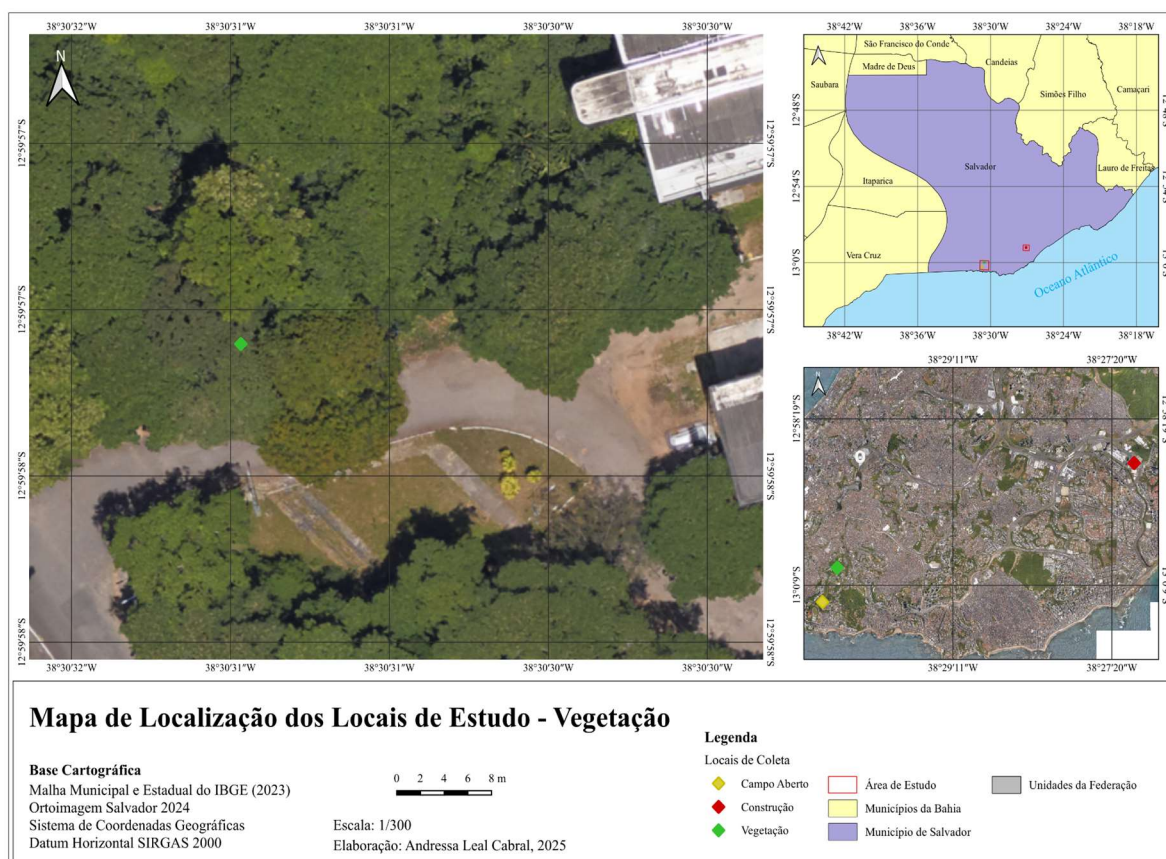
Figura 5 - Mapa de localização do ambiente de campo.



Fonte: Autoria Própria (2025)

A área aberta (figura 5), aqui denominada “campo aberto”, localizada próxima à portaria principal da Universidade Federal da Bahia, no campus de Ondina. O local de coleta foi um campo de futebol, marcado pela presença de poucas obstruções físicas.

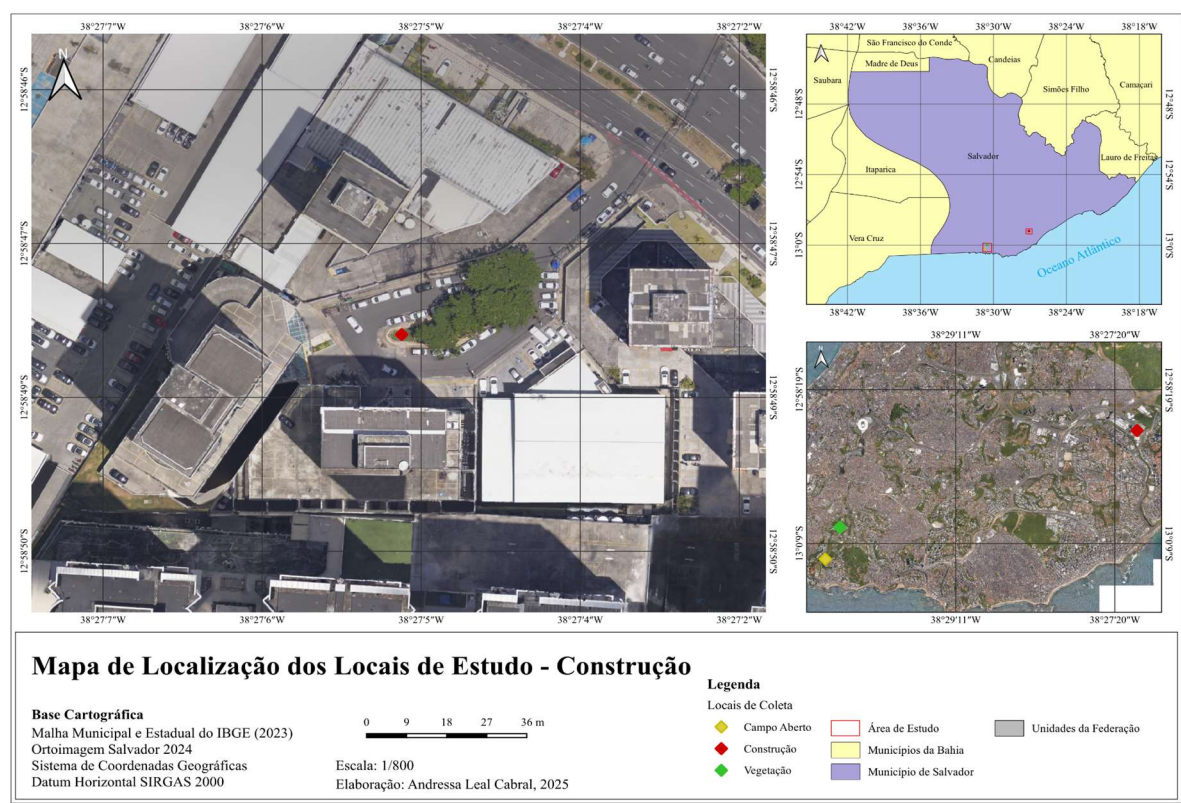
Figura 6 - Mapa de localização do ambiente de vegetação.



Fonte: Autoria Própria (2025)

O local de vegetação (figura 6) fica localizado próximo aos prédios de física e farmácia. É marcado pela presença de vegetação arbórea e densa.

Figura 7 - Mapa de localização do ambiente de construção.



Fonte: Autoria Própria (2025)

O ambiente de construção (figura 7) é caracterizado pela presença de altos prédios empresariais, de superfícies espelhadas, com alturas superiores a 60 m, em sua maioria.

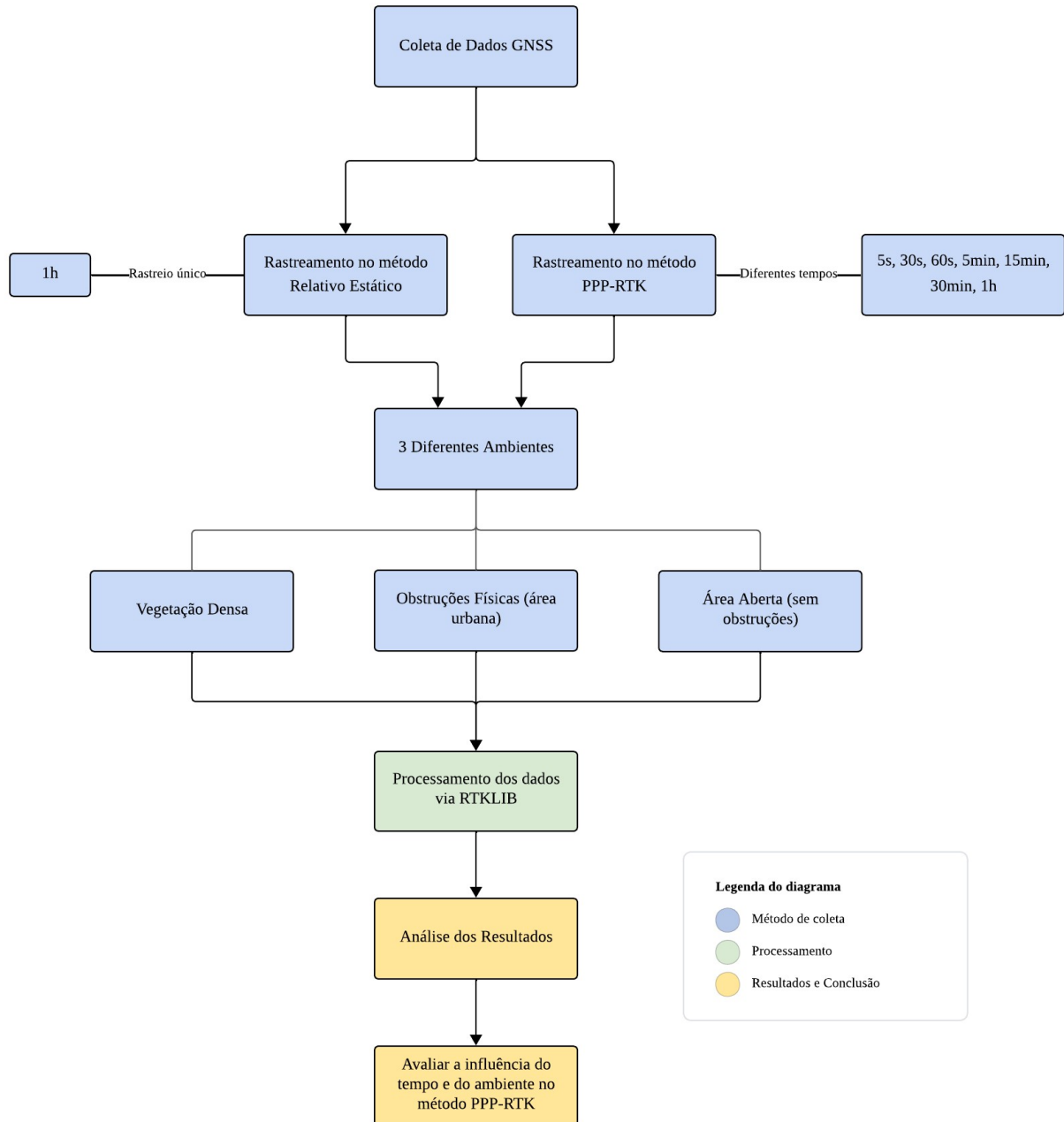
Figura 8 - Registros fotográficos dos ambientes de coleta.



Fonte: Autoria Própria (2025)

A metodologia foi dividida em três etapas: coleta em campo, processamento e análise dos resultados. Essas etapas são demonstradas de forma condensada na figura 9.

Figura 9 - Diagrama de métodos.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Para avaliar a influência da variação do tempo de rastreamento na acurácia do posicionamento obtido por meio do método PPP-RTK, utilizou-se o serviço Trimble RTX, através do receptor DA2 Geo, com precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm e vertical de 5 mm + 0,5 ppm, compatível com múltiplas constelações GNSS.

Para isso, foram realizados rastreamentos em sete diferentes tempos: 5 segundos, 30

segundos, 60 segundos, 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos e 1 hora. As coletas ocorreram em diferentes ambientes, a fim de considerar também possíveis erros e interferências. Três ambientes diferentes foram selecionados, considerando os seguintes critérios: um com presença de vegetação densa, um com obstruções físicas (construções) e um campo aberto.

Para controle e comparação, foi feita também uma coleta através do método relativo estático — também sob as mesmas condições ambientais, local de observação e mesmo receptor GNSS. Essa etapa será importante para avaliar a consistência do PPP-RTK quando comparado com outro método e garantir uniformidade na análise dos resultados.

Todo o processamento dos dados foi realizado por meio do *software* RTKLIB, que é um pacote de programas de código aberto para posicionamento com o GNSS.

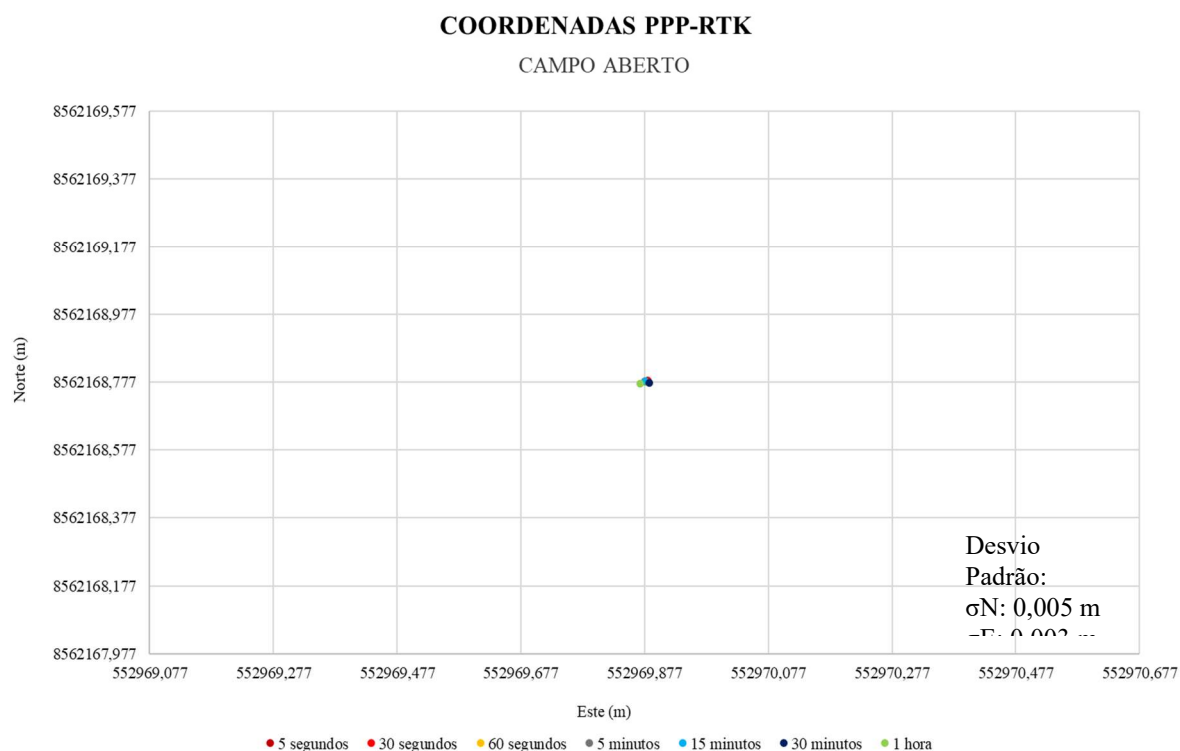
Por fim, os resultados obtidos foram comparados, buscando destacar vantagens e limitações operacionais do PPP-RTK frente aos métodos tradicionais já consolidados no mercado.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para cada tempo de observação, foram registrados pelo equipamento as coordenadas e demais parâmetros das observações (DOP, precisões, número de satélites e quantidade de épocas).

As figuras 10, 11 e 12 ilustram as representações gráficas de seus respectivos ambientes de coleta, apresentando como as coordenadas ficaram distribuídas espacialmente conforme o passar do tempo. Os gráficos apresentam a mesma amplitude gráfica nos eixos vertical e horizontal.

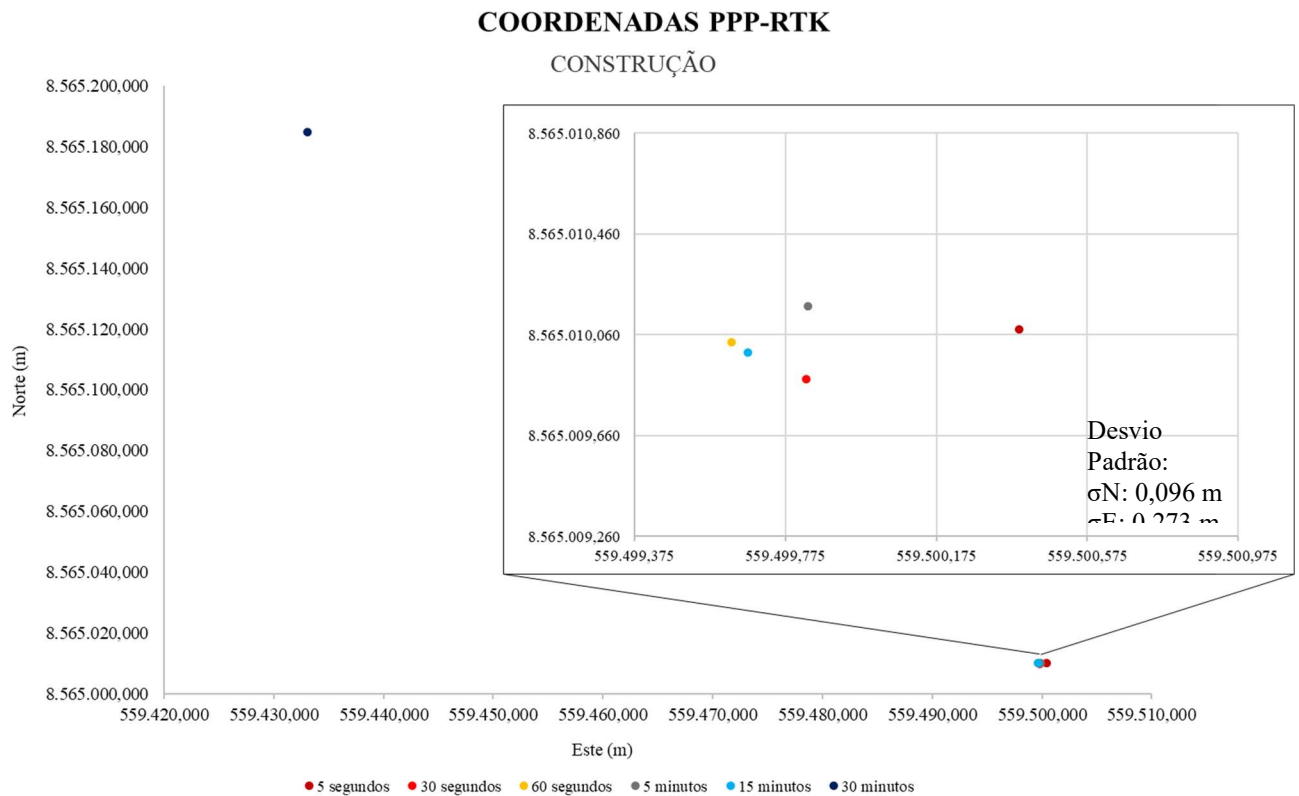
Figura 10 - Plotagem das coordenadas obtidas pelo PPP-RTK no ambiente de campo.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Representando o ambiente de campo aberto, a figura 10 traz uma distribuição altamente concentrada, com deslocamentos muito pequenos entre os intervalos de rastreamento. A distribuição é praticamente pontual, indicando elevada estabilidade da solução desde os primeiros segundos de coleta.

Figura 11 - Plotagem das coordenadas obtidas pelo PPP-RTK no ambiente de construção.

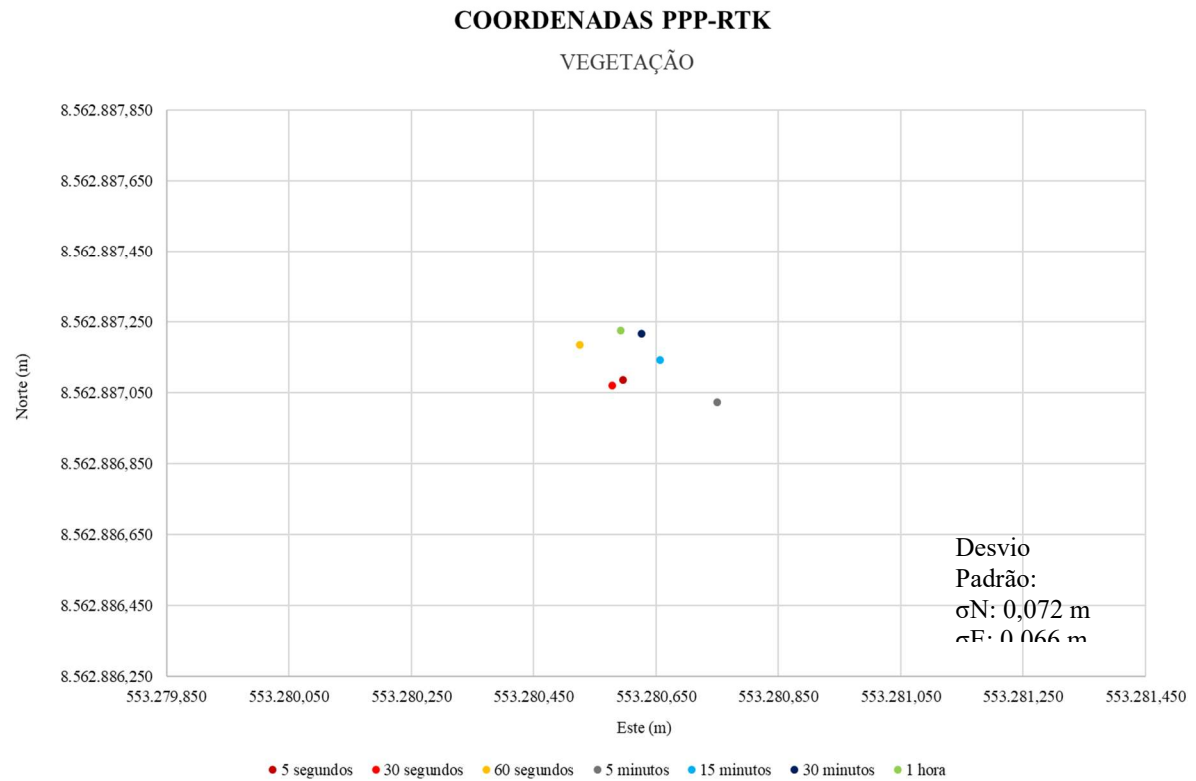


Fonte: Autoria Própria (2025)

No ambiente de construção, a distribuição é dispersa de forma significativa, como observado na Figura 11. Os pontos apresentam deslocamentos perceptíveis, formando uma distribuição mais espalhada e irregular. Esse padrão evidencia a influência direta do multicaminhamento e das obstruções causadas pelos obstáculos presentes em centros urbanos, que também refletiram no método de posicionamento relativo estático.

Durante o rastreamento de 30 minutos, no ambiente de construção, a correção entrou em modo autônomo, aos 24 minutos de rastreio, resultando na perda de solução de correção - comportamento que permeou durante o rastreio de 1 hora, em que não foram registrados dados válidos nesse ambiente. Esse comportamento anômalo resultou em outliers no tempo de 30 minutos, onde as coordenadas norte, este e a elevação apresentaram valores de variação de aproximadamente 174 m, 67 m e 182 m, respectivamente, quando comparados com as coordenadas de tempo inferiores desse mesmo ambiente.

Figura 12 - Plotagem das coordenadas obtidas pelo PPP-RTK no ambiente de vegetação.



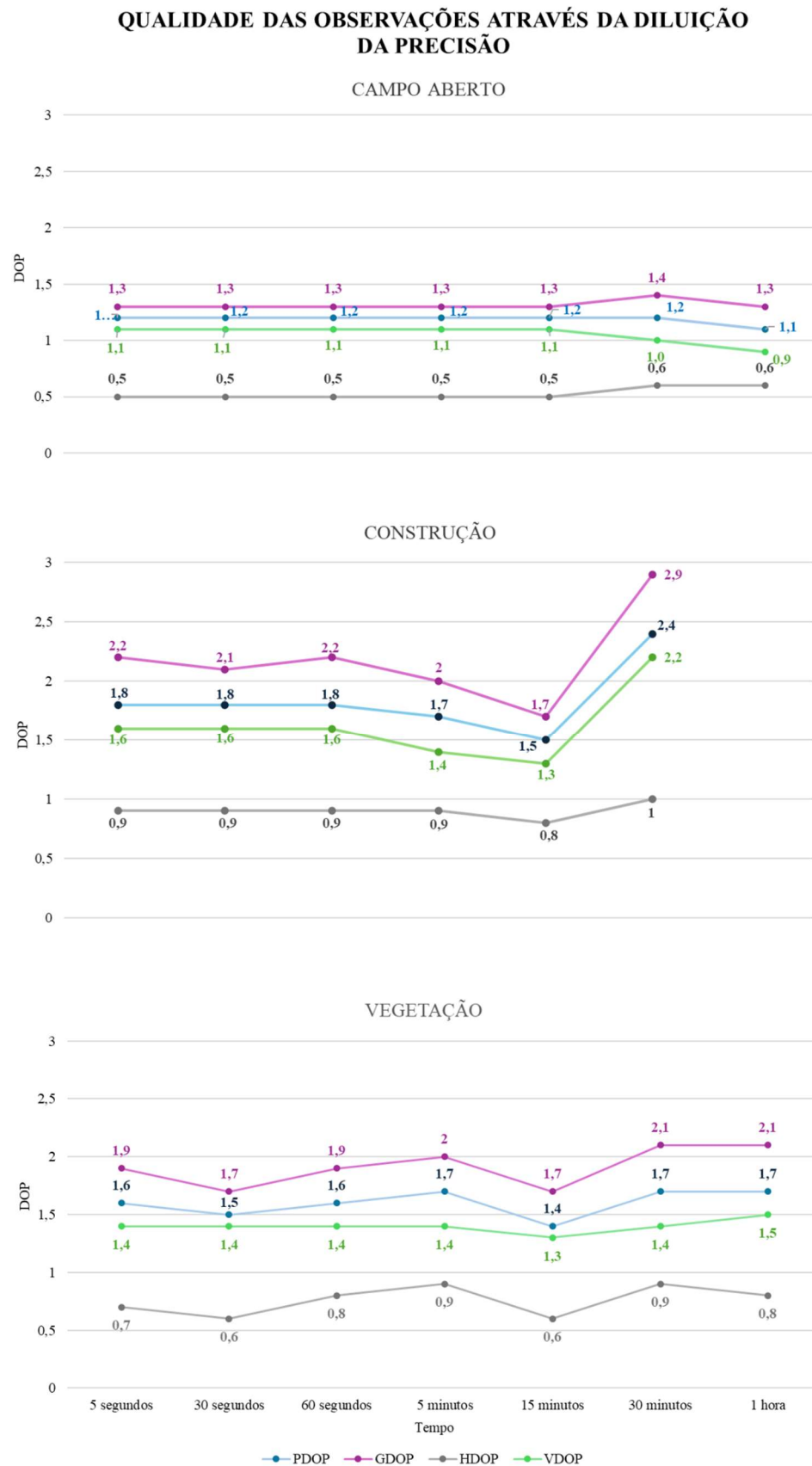
Fonte: Autoria Própria (2025)

Já na figura 12, a dispersão fica em um nível intermediário entre os cenários anteriores. Embora haja maior concentração dos pontos quando comparada à construção, ainda se observam variações mais amplas do que no campo aberto. A vegetação gera redução na intensidade do sinal e variações na precisão (que serão apresentadas mais para frente), resultando em oscilações na posição.

É importante ressaltar que todos os dados apresentados nos gráficos acima (e demais tabelas que apresentam parâmetros das observações PPP-RTK) não foram pós-processados e nem calculados pela autora, eles foram exportados do software Trimble Access, na TDC600 da Trimble, coletora do receptor DA2 Geo. Ao registrar as coordenadas, o software registra também os parâmetros das observações já citados anteriormente.

A figura 13 representa graficamente os dados DOP registrados pelo equipamento durante o rastreamento. Durante a coleta de dados e correção em tempo real via satélite, o equipamento armazena também os valores máximos de DOP captados pelo equipamento durante a coleta, o que é útil para analisarmos o comportamento do DOP ao longo da coleta de dados, principalmente em situações atípicas e com oscilações de precisão.

Figura 13 - Gráficos da qualidade das observações através do DOP no ambiente de campo.



Fonte: Autoria Própria (2025)

No campo, a quantidade de satélites rastreados manteve-se praticamente constante em 26, com valores de PDOP entre 1,1 e 1,2 e o GDOP entre 0,5 e 0,6, o que representa uma boa geometria dos satélites.

No ambiente de construções, o número de satélites variou entre 11 e 13 e os valores de PDOP variaram entre 1,7 e 2,4, indicando uma geometria menos favorável em relação ao ambiente de campo aberto. Enquanto nos dados de campo percebemos valores quase constantes, foram registradas uma abrupta mudança nos valores máximos de DOP, no tempo de 30 minutos, e a ausência de dados no rastreo de 1 hora. O GDOP e o PDOD apresentaram valores de, respectivamente, 102,3 e 5,3.

Já no ambiente de vegetação, o número de satélites variou entre 11 e 20, com PDOP entre 1,4 e 1,7, valores ainda considerados aceitáveis, mas que indicam perda parcial de visada.

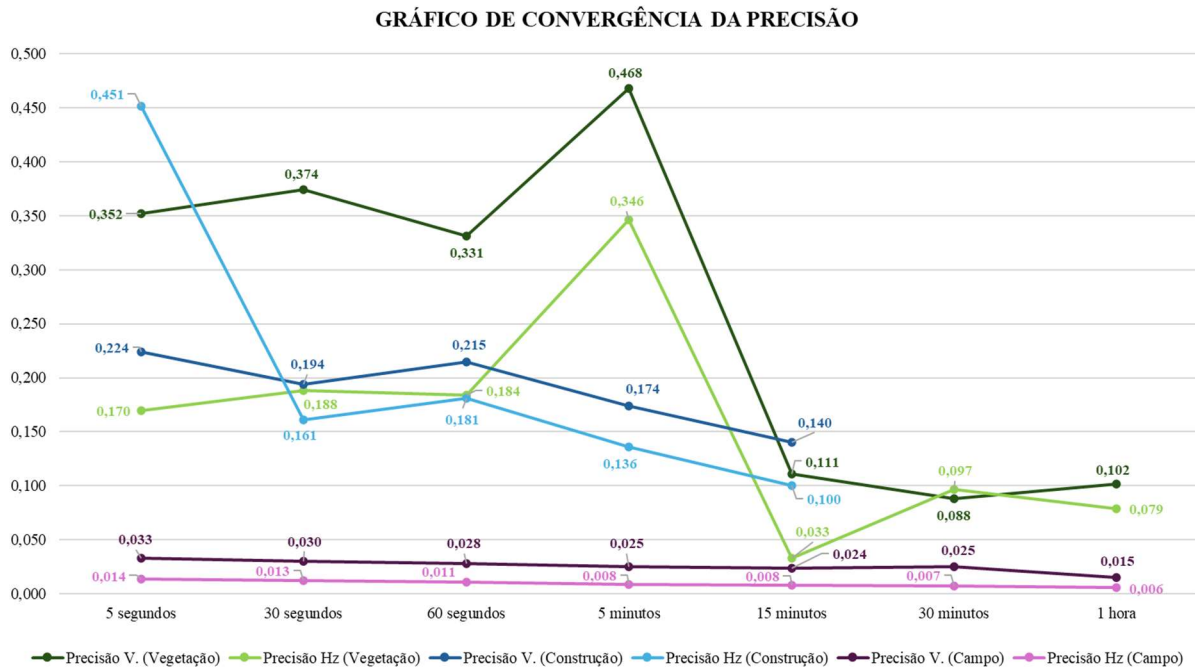
A Tabela 2 apresenta os dados de precisão das observações em cada intervalo de tempo, seguida por uma representação gráfica na figura 14, onde é possível verificar as variações das precisões com o passar do tempo.

Tabela 2 - Tabela de precisão das observações.

| Ambiente     | Precisão (m) | Tempo de Rastreo |             |             |           |            |            |        |
|--------------|--------------|------------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|--------|
|              |              | 5 segundos       | 30 segundos | 60 segundos | 5 minutos | 15 minutos | 30 minutos | 1 hora |
| Campo Aberto | Horizontal   | 0,014            | 0,013       | 0,011       | 0,008     | 0,008      | 0,007      | 0,006  |
|              | Vertical     | 0,033            | 0,030       | 0,028       | 0,025     | 0,024      | 0,025      | 0,015  |
| Construção   | Horizontal   | 0,451            | 0,161       | 0,181       | 0,136     | 0,100      | -          | -      |
|              | Vertical     | 0,224            | 0,194       | 0,215       | 0,174     | 0,140      | -          | -      |
| Vegetação    | Horizontal   | 0,170            | 0,188       | 0,184       | 0,346     | 0,033      | 0,097      | 0,079  |
|              | Vertical     | 0,352            | 0,374       | 0,331       | 0,468     | 0,111      | 0,088      | 0,102  |

Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 14 - Gráfico de convergência da precisão.



Fonte: Autoria Própria (2025)

No ambiente de campo, os valores do erro horizontal e vertical diminuem gradativamente à medida que o tempo de rastreamento aumenta, evidenciando o processo de estabilização da solução posicional. Nos primeiros intervalos, entre 5 segundos e 60 segundos, a precisão horizontal apresentou valores de 0,014 m e 0,011 m, enquanto a partir de 5 minutos atingiu precisões milimétricas, com estabilização de 0,006 m no rastreo de 1 hora. A precisão vertical também apresentou melhora progressiva, passando de 0,033 m, no menor tempo, para 0,015 m no rastreamento de 1 hora. Esse comportamento demonstra que, em ambiente de campo aberto, o PPP-RTK é capaz de atingir precisão centimétrica estável logo nos primeiros minutos de rastreo. Após esse período inicial, a variação dos resultados torna-se milimétrica, indicando uma boa consistência dos dados.

No ambiente construtivo, a precisão horizontal inicial apresentou valores em torno de 0,450 m para o rastreo de 5 segundos, melhorando gradativamente com o passar do tempo. Os valores de precisão de 30 minutos e 1 hora, pelos problemas já apresentados acima, não foram registrados pelo equipamento.

O ambiente de vegetação densa apresentou resultados mais estáveis em comparação ao ambiente de construção, embora também haja degradação dos valores de precisão em relação ao campo aberto.

A precisão horizontal iniciou com 0,170 m no rastreo de 5 segundos, reduzindo para

0,079 m após 1 hora de coleta. De modo semelhante, a precisão vertical passou de 0,352 m para cerca de 0,102 m, mostrando tendência de convergência conforme o aumento do tempo de observação. O comportamento confirma que, mesmo sob interferência vegetal, a tecnologia é capaz de atingir níveis centimétricos de precisão, desde que mantido o rastreamento por períodos superiores a 15 minutos, porém, ainda assim, não atingindo a precisão proposta pelo fabricante para condições ideais.

Os números de DOP (com pouca variação do PDOP e do GDOP) e o gráfico de precisão demonstram que o PPP-RTK mantém um desempenho que, a depender da aplicação e da precisão desejada, pode ser considerado satisfatório sob condições de atenuação moderada de sinal por meio de vegetação. Entretanto, o tempo de convergência tende a ser mais prolongado do que em campo aberto.

Uma etapa da metodologia que deve ser abordada é que a coleta de dados no ambiente de campo aberto e de vegetação foi iniciada pelos rastreios de maior tempo e, no ambiente de construção, a coleta ocorreu no sentido contrário, do menor tempo para o maior. Por exemplo, no campo foi realizado primeiro o rastreio de 1 hora, depois o de 30 minutos e assim avançando para os tempos menores de forma decrescente. Ao observar os resultados das precisões obtidas nos três casos, percebemos que o tempo efetivo de coleta foi um fator determinante para a estabilização da solução, mais do que o período prévio em que o equipamento permaneceu ligado antes do início da coleta efetiva.

Para avaliar a consistência dos resultados obtidos com o PPP-RTK, foi realizada uma comparação com as coordenadas obtidas pelo método relativo estático e pós-processamento no *software* RTKLIB, com a utilização da estação de referência SSA1, de código SAT 93236, da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), localizada na Capitania dos Portos de Salvador, na Bahia. Essa abordagem permitiu verificar o comportamento do PPP-RTK em relação a um método de alta precisão. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Coordenadas adquiridas pelo método relativo estático.

| Ambiente            | Tempo de Rastreio | Norte (m)     | Este (m)    | Erro Horizontal (m) | Elevação (m) | Erro Vertical (m) |
|---------------------|-------------------|---------------|-------------|---------------------|--------------|-------------------|
| <b>Campo Aberto</b> | 1 hora            | 8.562.188,968 | 552.971,768 | 0,007               | 12,059       | 0,003             |
| <b>Construção</b>   | 1 hora            | 8.565.009,210 | 559.501,787 | 0,025               | 13,859       | 0,040             |
| <b>Vegetação</b>    | 22 minutos        | 8.562.887,221 | 553.280,742 | 0,022               | 17,224       | 0,034             |

Fonte: Autoria Própria (2025)

Durante a etapa de coleta de dados com o método relativo estático, foram observadas inconsistências no registro das observações GNSS, especialmente relacionadas à configuração inicial do equipamento. O receptor DA2, ao ser configurado no modo “RTX + Dados Brutos”, apresentou falhas na continuidade do armazenamento, interrompendo a gravação dos dados antes do tempo previsto. Em testes realizados, observou-se que os rastreios configurados nesse modo estavam sendo armazenados no método Stop and Go, o que inicialmente não seria um problema, porém, como os dados estavam sendo registrados de forma incompleta, ficou inviável a utilização dos dados brutos coletados simultaneamente às observações PPP-RTK, conforme planejado inicialmente. Buscando solucionar o problema, ao final da primeira etapa, com o registro via PPP-RTK, o equipamento foi reconfigurado para o modo 'Método Estático' para uma nova sessão de 1 hora, o que corrigiu parcialmente as falhas de registro. No ambiente de campo aberto e construção, as observações foram registradas corretamente durante todo o período de 1 hora, enquanto no ambiente com vegetação o receptor gravou apenas 22 minutos de observações, mesmo permanecendo em funcionamento durante todo o intervalo previsto.

Apesar das observações do ambiente “Construção” terem sido registradas da forma correta, o multicaminhamento presente no local, associado ao pouco tempo de rastreo no método relativo estático (para as condições ambientais), os resultados não ficaram acurados o suficiente para critérios de comparação, sendo necessário um tempo maior de rastreo para solução das ambiguidades e do multicaminhamento.

A figura 15 mostra o tamanho dos deslocamentos apresentados nesse ambiente, através da comparação do dado pós-processado, do PPP-RTK e do local planejado para rastreo, todos sobre a ortofoto oficial de Salvador (2024), disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Salvador.

Figura 15 - Apresentação dos deslocamentos posicionais a partir de seu ponto de referência (local de rastreo).



Fonte: Autoria Própria (2025)

Acima é possível observar que o resultado do pós-processamento apresentou uma discrepância posicional maior que os dados obtidos via PPP-RTK. Nesse ambiente, o pós-processamento do dado relativo estático resultou em uma convergência para um local incorreto, distinguindo-se aproximadamente 4 m do local da coleta, devido à degradação do sinal apresentada neste ambiente. Logo, dos resultados apresentados na Tabela 3, apenas os referentes ao ambiente de campo e à vegetação foram utilizados para comparação e serão apresentados na Tabela 4.

As discrepâncias posicionais foram calculadas para cada intervalo de rastreo da técnica PPP-RTK. Os erros em norte ( $\Delta N$ ), este ( $\Delta E$ ) e na elevação ( $\Delta Elev$ ), que serão apresentados na Tabela 4, foram calculados a partir da diferença entre as coordenadas determinadas em tempo real e as coordenadas de referência (pós-processadas). As discrepâncias resultantes, tanto horizontais quanto verticais, foram calculadas pela distância euclidiana, conforme as equações a seguir.

$$d_{UTM} = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2}$$

Fonte: Silva (2015)

Tabela 4 - Discrepâncias posicionais entre coordenadas do PPP-RTK e o posicionamento relativo estático.

| Ambiente     | Discrepância (m) | Tempo de Rastreio |             |             |           |            |            |        |
|--------------|------------------|-------------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|--------|
|              |                  | 5 segundos        | 30 segundos | 60 segundos | 5 minutos | 15 minutos | 30 minutos | 1 hora |
| Campo Aberto | Horizontal       | 0,019             | 0,017       | 0,021       | 0,015     | 0,019      | 0,016      | 0,018  |
|              | Vertical         | 0,014             | 0,008       | 0,008       | 0,027     | 0,028      | 0,018      | 0,039  |
| Construção   | Horizontal       | -                 | -           | -           | -         | -          | -          | -      |
|              | Vertical         | -                 | -           | -           | -         | -          | -          | -      |
| Vegetação    | Horizontal       | 0,198             | 0,223       | 0,220       | 0,198     | 0,116      | 0,116      | 0,150  |
|              | Vertical         | 0,432             | 0,269       | 0,129       | 0,499     | 0,210      | 0,049      | 0,100  |

Fonte: Autoria Própria (2025)

De acordo com a Tabela 4, em áreas abertas, as discrepâncias posicionais entre a técnica PPP-RTK e o método relativo estático são inferiores a 2 cm, variando entre 0,016 m e 0,021 m, na componente horizontal. Tais resultados demonstram que o desempenho do sistema está em estrita conformidade com o nível de acurácia centimétrica nominal estabelecido para essa tecnologia. A componente vertical apresenta uma variação um pouco maior (até 4 cm), variando entre 0,008 m e 0,039 m, porém, esses valores permanecem dentro do limite de tolerância de 5 cm definido no manual técnico do fabricante.

Quando acrescentamos obstruções vegetais ao ambiente, as discrepâncias apresentam valores típicos de instabilidade, com a componente horizontal apresentando diferenças entre 0,116 m e 0,223 m, enquanto a vertical varia de 0,049 m a 0,499 m. Esses resultados reforçam que nesse tipo de ambiente há certa instabilidade da solução PPP-RTK, degradando significativamente a precisão, especialmente no eixo vertical.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que a precisão do PPP-RTK é diretamente afetada pelo tempo de observação e pelas condições de recepção dos sinais GNSS. Em áreas abertas, como campos, a convergência ocorre rapidamente, com estabilidade após os primeiros minutos. Já em ambientes de vegetação ou com obstruções físicas, há reduções da acurácia e interrupções ocasionais no rastreamento, explicitando a influência das condições ambientais na estabilidade da solução. Sob vegetação, há degradação na precisão, maior tempo de estabilização da solução e sem garantia de convergência. Em áreas urbanas com significativas obstruções, o desempenho do

PPP-RTK é significativamente afetado, podendo resultar em perda completa da solução.

A comparação com o método estático indicou boa consistência dos resultados em áreas abertas e livres de obstruções significativas, validando o potencial do PPP-RTK para levantamentos de precisão em tempo real, desde que observadas as limitações de convergência e qualidade de sinal.

Considerando os diferentes comportamentos observados ao longo das coletas, algumas limitações foram identificadas ao longo da pesquisa e evidenciam oportunidades de aprofundamento em estudos futuros. Desta forma acredito que seja interessante verificar como a internet influencia, e se influencia, na velocidade de convergência do PPP-RTK e verificar os parâmetros de configuração do método de trabalho “RTX + Dados Brutos” e também do “Método Estático”, a fim de verificar qual o motivo da falta de informação em alguns arquivos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. **Posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente?**. 2016. v. 22, n. 1, p. 175–195. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, jan./mar. 2016.
- BRANDL, M. **Advancing Trimble CenterPoint RTX by adding BeiDou and Galileo**. Proceedings of the European Navigation Conference (ENC) 2014, Rotterdam, The Netherlands.
- COSTA, S. M. A., LIMA, M. A. A., MOURA JUNIOR, N. J. de, ABREU, M. A., DA SILVA, A. L. e FORTES, L. P. S. **RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS**, 2008, v. 2, p. 8-11. Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Pernambuco.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global Positioning System: Theory and Practice**. 2001. 5. ed. Wien: Springer-Verlag, 2001.
- IBGE. **Resolução do Presidente R.PR-1/2005**. Brasília, 25 de fev. 2005.
- IBGE. **IBGE-PPP: Serviço on-line para Pós-Processamento de dados GNSS**. Brasília, jun. 2023.
- IERS. **Science background - General concepts**. ITRF, 2025. Disponível em: <https://itrf.ign.fr/en/background>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- JEREZ, G. O.; Alves, D. B. M. **Análise do uso de dados GPS/GLONASS em diferentes métodos de posicionamento por satélites considerando a influência das condições ionosféricas brasileiras**. 2022. n. 105, p. 31–46. *Revista cartográfica*, Ciudad de México jul./dic. 2022.
- LEANDRO, R.; H. LANDAU, M. NITSCHKE, M. GLOCKER, S. SEEGER, X. CHEN, A. DEKING, M. BEM TAHAR, F. ZHANG, R. STOLZ, N. TALBOLT, G. LU, K. FERGUSON, M. BRANDL, V. GOMEZ PANTOJA, A. KIPKA. **RTX Positioning: the Next Generation of cm-accurate Real-time GNSS Positioning**, Paper presented at ION-GNSS-2011. 2011. 20-23. Trimble TerraSat GmbH, Germany (2011), September 20-23, 2011, Portland, OR, USA.
- LENZ, E. **Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) – Application and Benefit in Modern Surveying Systems**. In: FIG Working Week 2004, Athens, Greece, 2004.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS – Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.
- DE OLIVEIRA, A. F.; ALVES, D. B. M.; FERREIRA, L. D. D. **Avaliação de diferentes modelos troposféricos de previsão numérica de tempo no posicionamento em redes**. 2014. v. 66, n. 3, p. 691–704. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, jul./set. 2014.
- PEIXOTO, A. L. A.; NEVES, B. C.; RANGEL, M. T. R.; CASTRO JÚNIOR, M. A. de; LEBLANC, P. B.; RIOS, T. N.; SANTOS, V. V. dos. **Guia para uso ético e responsável da**

**inteligência artificial generativa na Universidade Federal da Bahia.** Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2025. Disponível em: [https://www.ufba.br/sites/portal.ufba.br/files/guia\\_ia\\_ufba.pdf](https://www.ufba.br/sites/portal.ufba.br/files/guia_ia_ufba.pdf). Acesso em: 24 jul. 2025.

SALVADOR, Secretaria Municipal da Fazenda. **Mapeamento Cartográfico de Salvador.** Prefeitura de Salvador, 2025. Disponível em: <http://mapeamento.salvador.ba.gov.br>. Acesso em: 12 nov. 2025.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy.** 2o ed. New York: Walter de Gruyter, 2003.

SETTI JÚNIOR, P. T.; SILVA, C. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, P. S.; ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G. **Posicionamento multi-GNSS.** 2020. v. 72, n. especial, p. 1200–1215. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, 2020.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

TEIXEIRA, N. N.; CRUZ JÚNIOR, D. C.; RODRIGUES, W. S. **Análise do Desempenho da Técnica de Posicionamento GNSS PPP-RTK em Tempos de Convergência Distintos.** 2022. v. 11, n. 16. Research, Society and Development, 2022.

TEIXEIRA, N. N.; CRUZ JÚNIOR, D. C.; SILVA NETO, M. O. **Avaliação da Acurácia da Técnica de Posicionamento GNSS PPP-RTK com o Uso do Serviço de Correção TRIMBLE CENTERPOINT RTX.** 2023. n. 000233. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza, 2023.

TEUNISSEN, P. J. G.; KHODABANDEH, A. **Review and theoretical comparison of PPP-RTK and GNSS-based sensor fusion.** Journal of Geodesy, v. 89, n. 10, p. 951-968, 2015.

TEUNISSEN, P.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems.** Suíça: Springer, 2017.

TRIMBLE. **CenterPoint RTX Post-Processing Data Service Overview.** Trimble, 2025. Disponível em: <https://ptxtrimble.com/pt-br/positioning-services>. Acesso em: 20 jun. 2025.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; BAGGE, A. **PPP-RTK: Precise Point Positioning Based on State Space Corrections in Real-Time.** In: ION GNSS 2005, Long Beach, CA, 2005.

ZHANG, F. et al. **Trimble CenterPoint RTX – A First Study on Supporting Galileo.** In: European Navigation Conference 2013, Vienna, Austria, 2013.