



Revista Brasileira de Cartografia (2014) N<sup>o</sup> 66/5: 1117-1133  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **AVALIAÇÃO DO POSICIONAMENTO GNSS OBTIDO PELOS MÉTODOS CINEMÁTICO RTK/NTRIP E PPP EM TEMPO REAL**

*Evaluation of the GNSS Positioning Obtained by Method Kinematic RTK/NTRIP  
and PPP in Real Time*

**Alexandre do Nascimento Souza; Sílvia Jacks dos Anjos Garnés  
& Haroldo Antonio Marques**

**Universidade Federal de Pernambuco - UFPE**  
**Departamento de Engenharia Cartográfica / Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e**  
**Tecnologias da Geoinformação**

Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n - 2<sup>o</sup> andar - Cidade Universitária - Recife - Cep: 50740-530, Brasil.  
{alexandre0363, sjgarnes, haroldoh2o}@gmail.com

*Recebido em 08 de Março, 2014/ Aceito em 24 de Maio, 2014*  
*Received on March 08, 2014/ Accepted on May 24, 2014*

### **RESUMO**

Neste trabalho foram analisados os métodos de posicionamento PPP cinemático em tempo real via software BNC V. 2.6 do BKG (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*), posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*) usando o protocolo NTRIP da RBMC-IP e o posicionamento relativo cinemático pós-processado, tomando-se como referências os vértices da Rede de Referência Cadastral da Cidade do Recife, implantados pela empresa ENGEFOTO no ano de 2009. Os levantamentos foram realizados com um receptor GNSS Hiper Lite +, em trajetórias cinemáticas, com permanência sobre os pontos de referência por um período de aproximadamente 2 minutos apenas para reconhecimento do vértice a posteriori por meio do instante da observação. Os resultados das precisões médias para cada tipo de levantamento foram respectivamente de: pós-processamento relativo (0,039 m); PPP em tempo real BKG (0,465 m) e RTK/NTRIP (1,235 m). Por outro lado, as discrepâncias médias com relação à posição conhecida das estações foram respectivamente de: pós-processamento relativo (0,207 m); RTK/NTRIP (2,855 m); PPP tempo real BKG (10,458 m). Durante a realização dos experimentos ocorreram muitas perdas de sinais, principalmente na portadora  $L_2$  e também problemas no recebimento dos dados do *mountpoint* RTCM3EPH a partir do *caster* do IGS no caso do PPP cinemático em tempo real.

**Palavras chaves:** GPS, NTRIP, PPP, RTK.

### **ABSTRACT**

In this work, we analyzed the positioning methods PPP real-time kinematic via software BNC V. 2.6 of BKG (*Bundesamt für und Kartographie Geodäsie*), RTK positioning (*Real Time Kinematic*) using the NTRIP protocol of RBMC-IP and post-processed positioning kinematic relative, taking as reference the vertices of the Cadastral Reference Network of Recife, ENGEFOTO implemented by the company in 2009. The surveys were conducted with kinematic trajectories remaining on the reference points for a period of approximately 2 minutes. The results of the averages accuracies for each type of survey were respectively: for post-processing (0.039 m); PPP real time BKG (0.465 m) RTK/NTRIP (1.235 m). Moreover, the discrepancies with respect to the average known position of the stations were respectively:

post-processing on (0,207 m); RTK/NTRIP (2,855 m); PPP real time BKG (10,458 m). During the experiments were many dropouts, especially in L2 carrier and also problems in receiving data of mountpoint RTCM3EPH from the caster of the IGS in the case of PPP kinematic in real time.

**Keywords:** GPS, NTRIP, PPP, RTK.

## 1. INTRODUÇÃO

Neste artigo é investigado e comparado os resultados de posicionamento GNSS utilizando os métodos PPP cinemático em tempo real; RTK via NTRIP e posicionamento relativo pós-processado, tendo como referências pontos de coordenadas geodésicas bem estabelecidas no campus da UFPE e na rede de referência do município do Recife - PE, implementados pela empresa ENGEFOTO em 2009. As trajetórias cinemáticas dos testes passaram pelo centro da cidade do Recife - PE.

Existe uma tendência para pesquisas de posicionamento pelo GNSS em tempo real, seja usando o RTK com transmissão de correções via protocolos de Internet, via UHF (*Ultra High Frequency*), seja RTK em rede, ou ainda para o posicionamento PPP, tanto em tempo real como ou pós-processado. Uma das opções que se busca no PPP é conseguir obter sucesso de resolução de ambiguidades em tempo real como é o caso do RTK. Grande parte dos testes realizados para se estimar a acurácia dos métodos de posicionamento foram desenvolvidos em condições favoráveis, nas quais a comunicação via Internet e a perda de sinal dos satélites por obstruções não era problema. Sabe-se que as obstruções e efeitos de multicaminhamento causadas principalmente por prédios nas grandes cidades é um dos fatores que mais prejudicam a obtenção de resultados com boa acurácia no posicionamento GNSS. Desta maneira nesta pesquisa, propõe-se aplicar os métodos de posicionamento cinemático PPP e RTK realizados em condições reais, sujeitos aos efeitos de multicaminho, perda de sinal com a Internet e obstruções diversas.

## 2. POSICIONAMENTO GPS EM TEMPO REAL DGPS E RTK

O DGPS foi desenvolvido para contornar a degradação da acurácia do posicionamento absoluto (Posicionamento por Ponto Simples) por causa da ativação do código ou técnica de

segurança de degradação *Selective Availability* (SA) (em 25 de março de 1990) imposto pelo *Department of Defense* (DoD) dos Estados Unidos da América. É baseado no uso de dois receptores, um base e outro móvel, o receptor base é instalado numa estação (ponto) de coordenadas conhecidas e calcula-se correções das pseudodistâncias com base no conhecimento da distância geométrica ( $\rho_R^S$ ) entre o receptor e os satélites num instante (t). Estas diferenças passam a ser chamadas de correções diferenciais e elas são enviadas por telemetria por meio um sistema de comunicação para a estação móvel (Figura 1) que as aplica, melhorando consideravelmente (até 97%) a precisão do posicionamento em tempo real (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER E COLLINS, 1994).

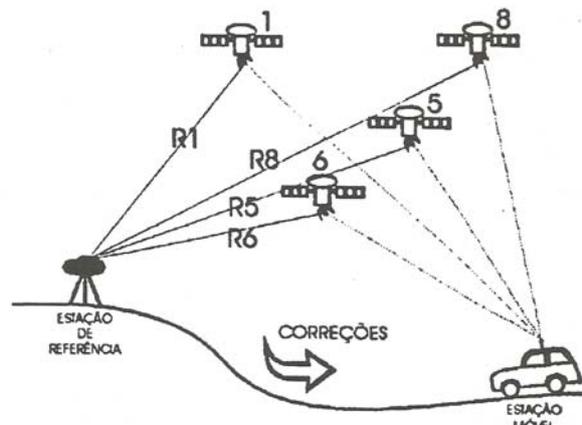


Fig. 1 - Conceito de DGPS. Fonte: Krueger (1996).

Um caminho para a realização do posicionamento DGPS seria calcular as correções das pseudodistâncias ( $V_{PR}^{S_i}$ ) do receptor base (R) medidas a cada um dos satélites ( $S_i$ ), obtidas em uma época (t), (Equação 1), aplicar às correções da base as correspondentes pseudodistâncias observadas no receptor móvel e obter a posição por um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, a fim de obter as coordenadas da antena *rover* e o erro do relógio do receptor.

$$V_{PR}^{S_i}(t) = \rho_R^{S_i}(t) - PR_R^{S_i}(t) \quad (1)$$

Quando as correções são da fase da onda portadora, o posicionamento passa a ser denominado de *Real Time Kinematic* (RTK). Este tipo de posicionamento vem sendo muito empregado por permitir determinar a posição do receptor *rover* (antena), em tempo real e de forma acurada, sendo um dos mais avançados no posicionamento GNSS (MONICO, 2008).

O RTK se baseia no posicionamento relativo, com erro de poucos centímetros. Utiliza as correções da fase da portadora recebidas do receptor base (colocado numa estação de coordenadas conhecidas), via link de rádio em frequências normalmente UHF, em algoritmos de resolução de ambiguidades em tempo real (*On The Fly* – OTF) no ajustamento sequencial (ou recursivo) das observáveis. Em geral, procede-se a combinação linear da dupla diferença de fase, podendo, dependendo da estratégia de implementação computacional, se utilizar de recursos de combinações lineares entre as portadoras. No posicionamento usando o RTK, com exceção dos desenvolvedores de algoritmos e softwares, os usuários ficam limitados a solução adotada pelos fabricantes dos receptores, os quais, inserem suas soluções nos chips das coletoras ou de certos modelos de receptores, permitindo a verificação em tempo real se as ambiguidades foram resolvidas ou não Garnés (2001), (SEEBER, 2003) e (COSTA *et al.*, 2009).

Em relação a resolução de ambiguidades GPS duas estratégias são as mais utilizadas; uma com realização de busca no espaço das coordenadas usando a função de ambiguidade, Equação (2) (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER e COLLINS, 1994); (GARNÉS, 2001) e outra, com busca no espaço das ambiguidades, Equação (3), (TEUNISSEN, *et al.*, 1995); (GARNÉS, 2001).

$$f_{amb} = \sqrt{\left[ \sum_{j=1}^n \cos(\varphi_{AB}^j - \frac{2\pi}{\lambda} \rho_{AB}^j) \right]^2 + \left[ \sum_{j=1}^n \sin(\varphi_{AB}^j - \frac{2\pi}{\lambda} \rho_{AB}^j) \right]^2} \quad (2)$$

onde:

- $f_{amb}$  - função de ambiguidade a ser maximizada;
- $\varphi_{AB}^j$  - simples diferença de fase em ciclos;
- $\rho_{AB}^j$  - simples diferença de distâncias entre os receptores A e B e satélite j.

$$\min_{\mathbf{a} \in \mathbb{Z}} \Omega(\mathbf{a}) = (\mathbf{a} - \hat{\mathbf{x}}_2)^T \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2}^{-1} (\mathbf{a} - \hat{\mathbf{x}}_2) \quad (3)$$

onde:

$\Omega(\mathbf{a})$ : função quadrática das ambiguidades a ser minimizada;

$\hat{\mathbf{x}}_2$  : vetor das ambiguidades reais;

$\mathbf{a}$ : vetor das ambiguidades inteiras;

$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2}$ : matriz cofatora das ambiguidades reais estimadas por Mínimos Quadrados.

Um dos métodos mais populares para resolução da ambiguidade foi proposto por Teunissen (1993) e denominado de *Least-Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment* (LAMBDA). Os algoritmos desse método foram implementados em MATLAB© e podem ser encontrados em Strang e Borre (1997).

A resolução das ambiguidades GPS é a essência para o posicionamento preciso RTK, tendo como fator decisivo para seu sucesso a mudança da geometria dos satélites e a eliminação de erros sistemáticos nas observáveis. O RTK iniciado com aplicações usando apenas um receptor base e um móvel, foi expandido para uso em rede, aproveitando com isso, a vantagem da eliminação de alguns erros sistemáticos principalmente os provenientes das refrações troposféricas, ionosféricas e erros do estado dos relógios dos satélites em relação ao tempo GPS.

### 3. POSICIONAMENTO GPS POR PONTO PRECISO

Segundo Monico (2008), quando se utilizam as observáveis pseudodistância ou fase da onda portadora, ou ambas, coletadas por receptores de simples ou dupla frequência, com efemérides precisas, trata-se do PPP. Requer fundamentalmente o uso de efemérides e correções dos relógios dos satélites, ambas de precisão ou alta precisão. As efemérides precisas podem ser obtidas do *International GNSS Service* (IGS), neste serviço também são disponibilizados vários produtos de efemérides.

Quando o receptor dispõe de dupla frequência, as observáveis da combinação linear *ion-free* podem ser utilizadas, tanto para o código quanto para a fase, conforme equações (4) e (5) (MONICO, 2008):

$$P_{RIF}^S = \rho_R^S + c (dt_R - dt^s) + Trop_R^S + dtrop_R^S m(E) \quad (4)$$

$$\Phi_{RIF}^S = \frac{f_1}{c} \rho_R^S + f_1 (dt_R - dt^s) + N_{IF} + \frac{f_1}{c} Trop_R^S + \frac{f_1}{c} dtrop_R^S m(E) \quad (5)$$

onde:

$\rho_R^S$  : distância geométrica entre as antenas do satélite e do receptor no instante  $t_R$ ;

$c$  : velocidade da luz no vácuo;

$dt_R$  : estado do relógio do receptor em relação ao tempo GPS;

$dt^S$  : estado do relógio do satélite em relação ao tempo GPS;

$Trop_R^S$  : atraso troposférico estimado por algum modelo disponível;

$dtrop_R^S m(E)$  : correção residual de  $Trop_R^S$  ;

$m(E)$  : função de mapeamento.

$f_1$  : frequência da combinação linear *ion-free*;

$\Phi_{RIF}^S(t_R)$  : fase da combinação linear *ion-free* no instante  $t_R$ ;

$t_R$  : instante de recepção do sinal no relógio do receptor;

$N_{IF}$  : ambiguidades da combinação linear *ion-free*;

#### 4. POSICIONAMENTO GPS POR PONTO PRECISO EM TEMPO REAL

No caso do PPP em tempo real as efemérides precisas e os erros dos relógios dos satélites devem estar disponibilizados com o mínimo de latência possível. Utilizando a estrutura geodésica de estações GNSS de monitoramento contínuo espalhadas pelo mundo, essa possibilidade já é realidade, sendo disponibilizados pelo IGS (*International GNSS Service*) via protocolo de transmissão pela Internet NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) (COSTA et al, 2009). Nos trabalhos de Marques et al (2010), por exemplo, fica evidenciado precisões ao nível do centímetro e decímetro para experimentos no estado de São Paulo, Brasil.

Além do IGS, no Brasil, a disponibilidade para o uso deste recurso, pode contar com a infraestrutura do IBGE da RBMC-IP (Rede

Brasileira de Monitoramento Contínuo). A Figura 2 ilustra os principais componentes desta rede para transmitir correções via NTRIP.

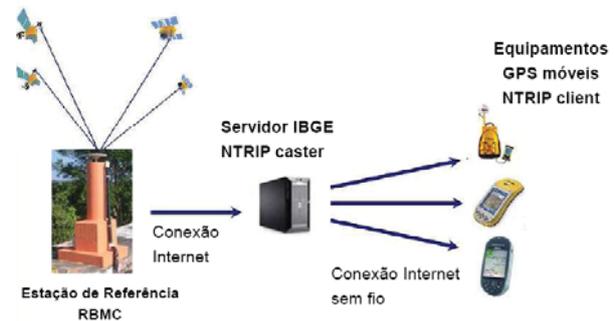


Fig. 2 - Componentes da rede RBMC-IP  
Fonte: COSTA et al (2009).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos foram divididos em três partes: área de estudo; materiais empregados; e os métodos que foram testados.

### 5.1. Área de estudo

A área de estudo está inserida na cidade do Recife, estado de Pernambuco, tendo sido uma parte da pesquisa, realizada no Campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e outra parte, em algumas das principais ruas e avenidas da cidade do Recife, como BR 101, Av. Caxangá, Av. Conde da Boa Vista, Av. Sul, Av. Eng. José Estelita, Av. Herculano Bandeira, Av. Eng. Domingos Ferreira, Av. Boa Viagem, Av. Recife, entre outras. Na Figura 3, visualiza-se o trajeto dos levantamentos realizados (linha em azul) e localização dos marcos de controle (início no ponto 1 em verde, 2, 3, 4, 5 e 6 em amarelo e finalizando no ponto 7 em vermelho), utilizando os métodos PPP em tempo real via NTRIP e RTK via NTRIP.

Foram utilizados dois marcos geodésicos materializados no Campus da UFPE da rede Planialtimétrica (V07-93992-IBGE e EPS04), que podem ser visualizados em alaranjado com círculos vermelhos na Figura 4 e Figura 5 (V07-93992-IBGE) e cinco dos treze vértices geodésicos da Rede de Referência do Município do Recife (vértices V08-ENGEFOTO, V09-ENGEFOTO, V12-ENGEFOTO, V13-93991-IBGE e V10-ENGEFOTO) visualizados na Figura 5.



Fig. 3 - Trajeto levantamento PPP cinemático.  
Fonte: <https://www.google.com.br/maps>.

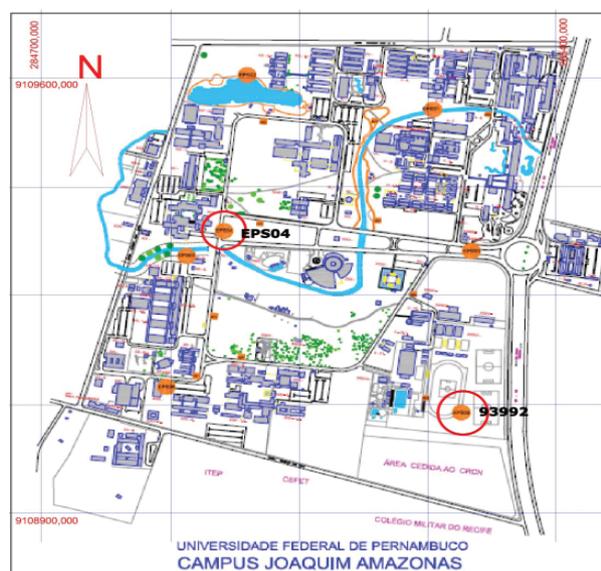


Fig. 4 - Geometria da rede de referência cadastral do Campos Joaquim Amazonas da UFPE, Recife-PE. Fonte: Vila Flor (2008).

## 5.2. Materiais

Para a coleta dos dados, visando à determinação das coordenadas dos marcos pelos métodos PPP em tempo real utilizando o protocolo NTRIP via caster do IGS e RTK com protocolo NTRIP via RBMC-IP, foram utilizados os equipamentos que se encontram no Laboratório de Geodésia do Departamento de Engenharia Cartográfica do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), sendo estes: um par de receptores *GNSS Topcon Hiper Lite +*, coletora

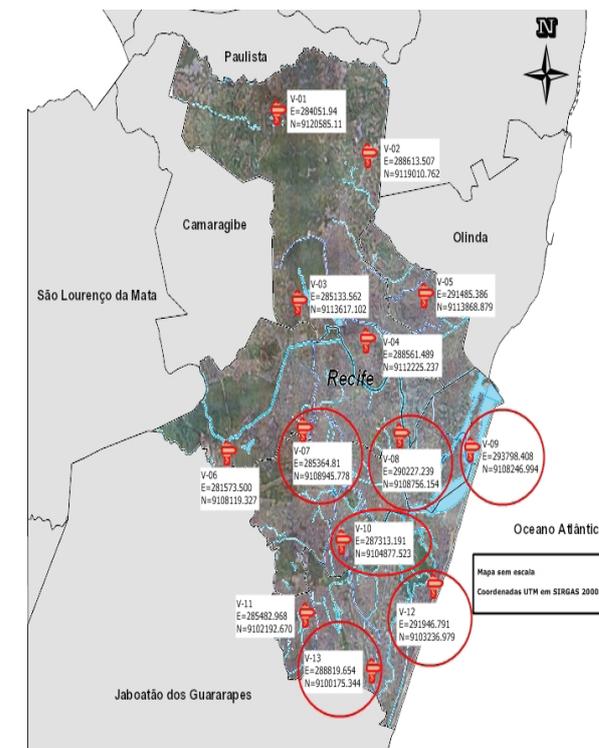


Fig. 5 - Rede de referência do município do Recife - PE. Fonte: <http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/>. Acesso em ago 2012

de dados Topcon FC200 e demais acessórios.

Para o processamento dos dados no pós-processamento, foram utilizados os *softwares*: Topcon Tools v.8.2 com *Hardlock* do LabGeo/DECart, AstGeoTop – Módulos: PPP Cinemático @ Versão 2012.12.13 e Transformação de coordenadas @ Versão 2012.12.13.

O software livre utilizado para recepção das correções no receptor móvel com a comunicação via Internet, para uso do protocolo NTRIP, foi o BKG Ntrip Client (BNC) Versão 2.6 (Figura 6) disponível em <http://igs.bkg.bund.de/ntrip/download>. Este software permite baixar dados de efemérides e correções dos relógios dos satélites pela Internet em tempo real, simultaneamente de diferentes estações (Figura 7), além de realizar o PPP em tempo real.

O BNC V. 2.6 disponibiliza um arquivo de log (Figura 8) com as coordenadas cartesianas dos pontos e outras informações e pode-se também gravar o arquivo RINEX. A leitura do arquivo log do BNC V. 2.6, as correções do ITRF2008 para o SIRGAS2000 foram obtidas no software AstGeoTop, módulo PPP cinemático @ versão 2012.12.13 (Figura 9), e a transformação de coordenadas geodésicas do SIRGAS2000 para

UTM (Universal Transversa de Mercator) foi feita no módulo Transformação de Coordenadas @ Versão 2012.10.10 do mesmo programa.

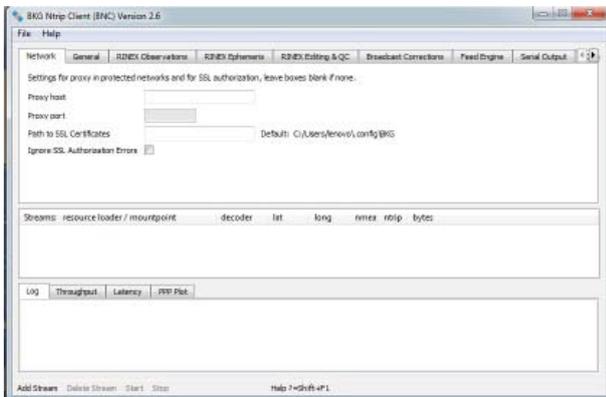


Fig. 6 - Tela do Software BNC Versão 2.6. Fonte: BKG Ntrip Client(BNC) Versão 2.6.

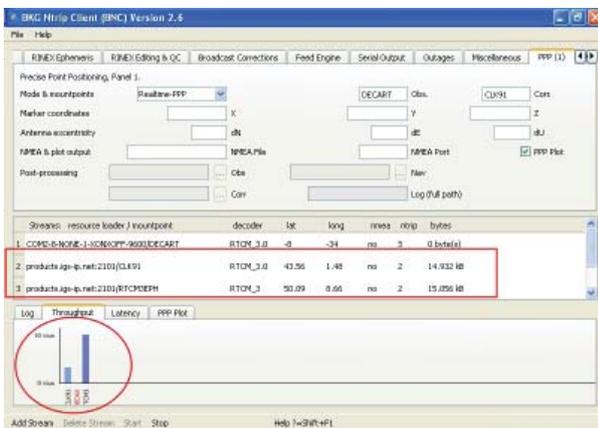


Fig. 7 - BNC recebendo dados das efemérides. Fonte: BKG Ntrip Client (BNC) Versão 2.6.

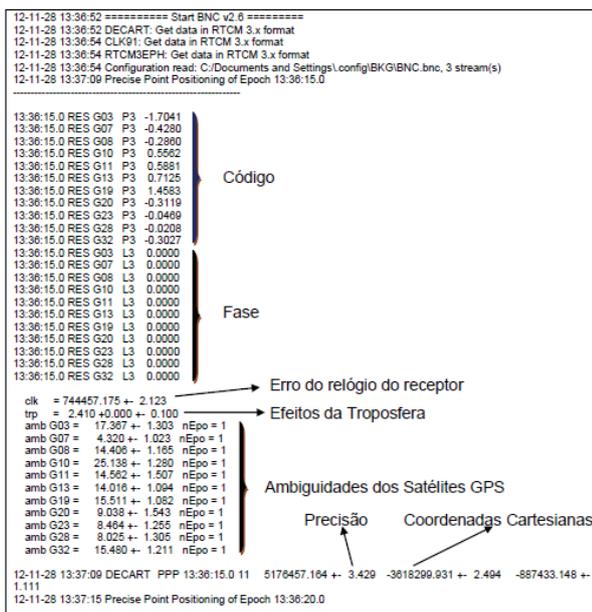


Fig. 8 - Arquivo log disponibilizado pelo BNC V. 2.6

Fonte: BNC V. 2.6.



Fig. 9 - AstGeoTop Módulo PPP Cinemático © 2012.12.13. Fonte: Software AstGeoTop V. 2013.12.13.

### 5.3 Métodos

Para a realização do levantamento PPP cinemático em tempo real, foram utilizados um receptor *rover* de dupla frequência marca Topcon Hiper Lite +, um *netbook*, um modem USB 3G e um cabo serial-USB. O equipamento foi montado conforme a Figura 10 e utilizada a porta de comunicação serial para a conexão entre o receptor e o *netbook*. O passo seguinte foi fazer a configuração no *netbook* do software livre BKG Ntrip Client (BNC V. 2.6) Versão 2.6 para o PPP em tempo real, que por sua vez faz a conexão com o servidor *caster* utilizando o protocolo NTRIP via Internet. O BNC V. 2.6 pode obter coordenadas para uma posição do *rover* no método do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Ele usa código ou código mais fase da portadora usando combinação livre da ionosfera P3 (código) e L3 (fase).

Realizada a configuração para recepção das correções dos relógios dos satélites para a *mountpoint* (designação do BKG) CLK91 e recepção das efemérides pelo *mountpoint* RTCM3EPH disponibilizadas pelo IGS.

No levantamento RTK via NTRIP, foram utilizados os seguintes equipamentos: um receptor *rover* de dupla frequência marca Topcon Hiper Lite +, um coletor Topcon FC-200 e um celular GPRS com acesso a Internet (Figura 11). A configuração para acesso a rede RBMC-IP do IBGE pelo telefone celular foi criada seguindo as instruções constantes no manual de configuração do software TOPSURV© instalado na coletora.



Fig. 10 - Equipamento montado para o levantamento PPP em tempo real usando BNC V.2.6. Fonte: O Autor



Fig. 11 - Equipamentos para o levantamento RTK via NTRIP. Fonte: O Autor

## 6. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados da pesquisa para o levantamento PPP cinemático em tempo real e levantamento cinemático em tempo real (RTK) via NTRIP.

### 6.1. Levantamento PPP cinemático em tempo real

A Tabela 1 apresenta as coordenadas no sistema de projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e a precisão dos vértices da Rede de Referência do município do Recife - PE, usadas na comparação dos resultados encontrados. A Tabela 2, mostra os resultados obtidos pelo método PPP em tempo real e processados pelo software livre BKG Ntrip Client V. 2.6 e na Tabela 3 obtidos pelo pós-processamento relativo através do *software* Topcon Tools V. 8.2. O erro de posicionamento planimétrico (Erropos) foi obtido pela Equação (6).

$$\text{Erropos} = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2} \quad (6)$$

Tabela 1: Coordenadas da rede de referência do município do Recife (PE)

Estação	ENGEFOTO		
	E (m)	N (m)	h (m)
93992	285364,810 s = <b>0,004</b>	9108945,778 s = <b>0,004</b>	3,12 s = <b>0,030</b>
V08	290227,239 s = <b>0,005</b>	<b>9108756,154</b> s = <b>0,007</b>	-2,698 s = <b>0,012</b>
V09 Marco Zero	293798,408 s = <b>0,007</b>	9108246,994 s = <b>0,009</b>	-2,231 s = <b>0,015</b>
V12	291946,791 s = <b>0,007</b>	9103236,979 s = <b>0,010</b>	-1,433 s = <b>0,016</b>
93991 Aeroporto	288819,654 s = <b>0,004</b>	9100175,344 s = <b>0,003</b>	2,69 s = <b>0,028</b>
V10	287313,191 s = <b>0,006</b>	9104877,523 s = <b>0,008</b>	3,551 s = <b>0,013</b>
EPS04	284742,576 s = <b>0,001</b>	9109481,118 s = <b>0,001</b>	4,892 s = <b>0,008</b>

Tabela 2: Levantamento PPP em tempo real utilizando o BKG Ntrip Client V. 2.6

Estação	Horas	E (m)	N (m)	h (m)
V08	14:50:42	290236,812 s = <b>0,574</b>	9108743,820 s = <b>0,405</b>	125,853 s = <b>0,603</b>
	Discrep.	$\Delta E$ 9,573	$\Delta N$ -12,334	128,551
	Erropos	15,613		
V09	15:32:50	293803,772 s = <b>0,332</b>	9108246,980 s = <b>0,235</b>	2,382 s = <b>0,391</b>
	Discrep.	$\Delta E$ 5,364	$\Delta N$ -0,014	4,613
	Erropos	5,364		
V12	15:59:59	291948,824 s = <b>0,301</b>	9103249,661 s = <b>0,135</b>	-60,382 s = <b>0,337</b>
	Discrep.	$\Delta E$ 2,033	$\Delta N$ 12,682	-58,949
	Erropos	12,844		
EPS04	13:53:46	284742,676 s = <b>0,376</b>	9109481,08 s = <b>0,204</b>	7,271 s = <b>0,412</b>
	Discrep.	$\Delta E$ 0,100	$\Delta N$ -0,037	2,379
	Erropos	0,107		

Observa-se, na Tabela 2, que o maior erro encontrado no posicionamento planimétrico utilizando o processamento pelo BNC V. 2.6 foi de 15,613 m para a estação V08 da rede de referência do município do Recife e o menor erro foi de 0,107 m para a estação EPS04 da rede do campus Joaquim Amazonas da UFPE.

Nota-se, na Tabela 2 que não comparecem valores para os vértices 93991, 93992 e V10, para o processamento entre as épocas 14:07:43

e 14:23:24 (vértice 93992), 16:20:01 e 16:32:36 (vértice 93991) e entre as épocas 16:40:34 e 16:50:57 (vértice V10), podendo ser verificado no arquivo de log disponibilizado pelo software BNC V. 2.6, indicado pela detecção de erros (*outlier phase*) e perda de conexão com *mountpoint* RTCM3EPH (Figura 12).

```

12-11-28 14:08:49 Precise Point Positioning of Epoch
14:08:00.0
-----
Outlier Phase G20 0.082
Outlier Phase G10 0.043
Outlier Phase G20 0.084

12-11-28 14:08:50 RTCM3EPH: Failure threshold exceeded,
outage since 12-11-28 13:51:19
12-11-28 14:08:50 RTCM3EPH: Data timeout, reconnecting
12-11-28 14:09:03 Precise Point Positioning of Epoch
14:08:01.0
12-11-28 16:20:46 Precise Point Positioning of Epoch
16:19:59.0
-----
Outlier Phase G23 0.808
Outlier Phase G04 0.513
Outlier Phase G23 0.816

12-11-28 16:20:47 Precise Point Positioning of Epoch
16:20:01.0
-----
Outlier Phase G23 0.852
Outlier Phase G04 0.521
Outlier Phase G23 0.887

12-11-28 16:20:48 Precise Point Positioning of Epoch
16:20:02.0
-----
Outlier Phase G23 0.854
Outlier Phase G04 0.531
Outlier Phase G23 0.892
12-11-28 16:33:21 Precise Point Positioning of Epoch
16:32:23.0
-----
Outlier Phase G07 0.561
bncModel::cmpBancroft: not enough data

12-11-28 16:33:24 Precise Point Positioning of Epoch
16:32:36.0
12-11-28 16:40:34 DECARTE PPP 16:39:41.0 8 5177412.703
+- 0.436 -3615748.942 +- 0.219 -892276.231 +- 0.094
12-11-28 16:40:34 Precise Point Positioning of Epoch
16:39:46.0
-----

```

```

Outlier Phase G26 0.356
Outlier Phase G08 0.287
Outlier Phase G26 0.429
12-11-28 16:40:34 Precise Point Positioning of Epoch
16:39:47.0
-----
Outlier Phase G10 0.228
bncModel::cmpBancroft: not enough data

12-11-28 16:40:34 Precise Point Positioning of Epoch
16:39:48.0
-----
bncModel::cmpBancroft: not enough data

12-11-28 16:40:35 Precise Point Positioning of Epoch
16:39:49.0
12-11-28 16:50:54 Precise Point Positioning of Epoch
16:49:54.0
-----
Outlier Phase G05 1.080
Outlier Phase G07 0.653
Outlier Phase G10 0.991
Outlier Phase G07 0.850
12-11-28 16:50:54 Precise Point Positioning of Epoch
16:50:05.0
-----
Outlier Phase G08 1.080
Neglected PRNs: G08
16:50:05.0 RES G05 P3 0.2506
16:50:05.0 RES G07 P3 -0.0170
16:50:05.0 RES G10 P3 -0.2914
16:50:05.0 RES G13 P3 0.0722
16:50:05.0 RES G17 P3 0.0685
16:50:05.0 RES G05 L3 -0.0145
16:50:05.0 RES G07 L3 0.0080

```

Fig. 12 - Arquivo de *log* do BNC V.2.6.

Fonte: BNC V. 2.6.

Em uma análise detalhada dos arquivos de log do BNC V. 2.6, verifica-se na Figura 13, que próximo da época 16:45:13, não há coordenadas processadas pelo BNC V. 2.6. Além disso, o BNC V. 2.6 indica detecção de erros (*outlier phase*) na medida de fase para alguns satélites (G08 e G10). Quando ocorre detecção de erros para algum satélite, o BNC V. 2.6 elimina as observações deste satélite no processamento, o que pode provocar singularidade no sistema de equações para o ajustamento numa época específica, levando assim à não obtenção das coordenadas naquela época.

Ao analisar o arquivo RINEX armazenado

pelo BNC V. 2.6, verificou-se que foram coletados dados de nove satélites na época 16:45:13, a qual foi utilizada para obtenção de coordenadas do vértice V10. Essa quantidade de satélites é suficiente para aplicação do ajustamento no PPP em tempo real, até mesmo porque foi perdida apenas uma observação de fase na  $L_2$  do G08, as demais observações  $C_1$ ,  $L_1$ , P2 e  $L_2$  estão presentes para todos os nove satélites.

```

Arquivo Log do BNC

12-11-28 16:44:59 Precise Point Positioning of Epoch
16:44:10.0
-----
Outlier Phase G08 2.688
Outlier Phase G10 1.476
Outlier Phase G08 2.904

12-11-28 16:45:09 Precise Point Positioning of Epoch
16:44:14.0
-----
Outlier Phase G08 2.684
Outlier Phase G10 1.478
Outlier Phase G08 2.901

12-11-28 16:45:47 Precise Point Positioning of Epoch
16:44:20.0
-----
Outlier Phase G08 2.672
Outlier Phase G10 1.485
Outlier Phase G08 2.893

12-11-28 16:45:48 Precise Point Positioning of Epoch
16:45:02.0
-----
Outlier Phase G08 2.603
Outlier Phase G10 1.483
Outlier Phase G08 2.828
    
```

Fig. 13 - Arquivo de log do BNC V. 2.6 apresentando falhas. Fonte: BNC V. 2.6.

As informações de correções das órbitas e relógios transmitidos pelos satélites (Mensagem 1060), são armazenadas nos arquivos CLK.log e para a época do vértice V10 encontram-se na Figura 14. Verifica-se ainda na Figura 14 que o tempo é dado em semana GPS e segundos da correspondente e no caso do levantamento realizado, trata-se da semana GPS 1716. A Figura 14 indica que as correções (taxa de recebimento de 5 segundos) para as órbitas transmitidas, bem como as correções para os relógios transmitidos dos satélites GPS próximo da época 16:45:13,

foram recebidas via Internet pelo BNC V. 2.6 através do protocolo NTRIP e do mountpoint CLK91. Desta maneira, não se pode dizer que o problema é consequência do não recebimento das correções em tempo real. Como confirmado pela Figura 15, o problema realmente ocorreu no processamento com o BNC V. 2.6.

Para o caso do vértice 93991-Aeroporto, ocorreram os mesmos problemas do vértice V10. Novamente, verificando no arquivo RINEX, dados de onze satélites estavam disponíveis para o processamento PPP em tempo real. As correções de órbitas e relógios também foram recebidas, indicando que não havia problemas de conexão com a Internet ou de recebimento destas correções. Contudo ao analisar o arquivo de log do BNC V. 2.6, novamente observou-se a detecção de *outliers* para alguns satélites e não foram encontradas as coordenadas processadas.

```

! Orbits/Clocks: 28 GPS 0 Glonass
1060 0 1716 319510.0 G01 30 -34.608 0.585 -1.059 -0.824
1060 0 1716 319510.0 G03 85 -38.793 1.987 -1.132 0.738
1060 0 1716 319510.0 G04 40 -34.725 1.451 1.066 0.212
1060 0 1716 319510.0 G05 48 -34.812 0.785 0.242 0.106
1060 0 1716 319510.0 G06 68 -35.729 2.189 0.725 0.124
1060 0 1716 319510.0 G07 42 -35.283 0.724 1.738 -0.566
.
.
! Orbits/Clocks: 28 GPS 0 Glonass
1060 0 1716 319515.0 G01 30 -34.914 0.586 -1.059 -0.824
1060 0 1716 319515.0 G03 85 -39.109 1.988 -1.132 0.739
1060 0 1716 319515.0 G04 40 -35.031 1.451 1.066 0.213
1060 0 1716 319515.0 G05 48 -35.130 0.785 0.243 0.107
1060 0 1716 319515.0 G06 68 -36.039 2.188 0.724 0.124
1060 0 1716 319515.0 G07 42 -35.596 0.725 1.738 -0.566
    
```

Fig. 14 - Arquivo CLK.log do BNC 2.6. Fonte: BNC V. 2.6

No caso do vértice 93992, ocorreu o mesmo problema encontrado no vértice V10 (*outlier*) (Figura 15) e também houve perda de conexão com o mountpoint RTCM3EPH que disponibiliza as efemérides transmitidas, indicado no ponto 1 na Figura 16.

```

12-11-28 14:20:09 RTCM3EPH: Data timeout,
reconnecting
12-11-28 14:20:34 Precise Point Positioning
of Epoch 14:19:12.0
-----
Outlier Phase G10 3.971
Outlier Phase G07 2.157
Outlier Phase G10 3.087
    
```

12-11-28 14:20:38 Precise Point Positioning  
of Epoch 14:19:50.0

---

Outlier Phase G10 3.949  
Outlier Phase G07 2.173  
Outlier Phase G10 3.094

Fig. 15 - Arquivo log do BNC V. 2.6 apresentando falhas. Fonte: BNC V. 2.6



Fig. 16 - Evidência de falha no processamento no vértice 93992. Fonte: Google Earth.

Tabela 3: Levantamento PPP em tempo real utilizando pós-processamento com o software Topcon Ttools 8.2

Estação	Horas	E (m)	N (m)	h (m)
93992	14:20:19	285364,819 $\sigma=0,024$	9108945,763 $\sigma=0,140$	1,003 $\sigma=0,025$
	Discrep.	$\Delta E$ 0,009	$\Delta N$ -0,015	-2,117
	Erropos	0,017		
V08	14:50:42	290227,427 $\sigma=0,023$	9108756,310 $\sigma=0,028$	-3,917 $\sigma=0,020$
	Discrep.	$\Delta E$ 0,188	$\Delta N$ 0,156	-1,219
	Erropos	0,244		
V09	15:32:50	293797,616 $\sigma=0,024$	9108247,189 $\sigma=0,019$	-2,044 $\sigma=0,026$
	Discrep.	$\Delta E$ -0,792	$\Delta N$ 0,195	0,187
	Erropos	0,816		
V12	15:59:59	291946,712 $\sigma=0,027$	9103236,983 $\sigma=0,017$	-1,571 $\sigma=0,030$
	Discrep.	$\Delta E$ -0,079	$\Delta N$ 0,004	-0,138
	Erropos	0,079		
93991 Aero- porto	16:23:27	288819,666 $\sigma=0,035$	9100175,354 $\sigma=0,022$	2,68 $\sigma=0,033$
	Discrep.	$\Delta E$ 0,012	$\Delta N$ 0,010	-0,01
	Erropos	0,016		

V10	16:45:13	287313,192 $\sigma=0,031$	9104877,525 $\sigma=0,024$	3,586 $\sigma=0,028$
	Discrep.	$\Delta E$ 0,001	$\Delta N$ 0,002	0,035
	Erropos	0,002		
EPS04	13:53:46	284742,571 $\sigma=0,024$	9109481,106 $\sigma=0,011$	2,915 $\sigma=0,021$
	Discrep.	$\Delta E$ -0,005	$\Delta N$ -0,012	-1,977
	Erropos	0,013		

Tabela 4: Resultados do tipo de solução para o pós-processamento relativo

PPP TEMPO REAL PÓS-PROCESSADO		
Estação	Solução	Distância da Base em metros
93992	<i>fixed</i>	747,799
V08	<i>partial</i>	5.356,251
V09	<i>partial</i>	8.962,489
V12	<i>partial</i>	9.441,166
93991	<i>fixed</i>	10.153,678
V10	<i>fixed</i>	5.249,040
EPS04	<i>fixed</i>	202,402

Na Tabela 3 pode-se observar os resultados obtidos no pós-processamento utilizando o software Topcon Tools V. 8.2 com o arquivo RINEX gerado pelo BNC 2.6. Neste caso, foi encontrado o menor erro planimétrico de 0,002 m no vértice V10 e o maior erro planimétrico de 0,816 m encontrado no vértice V09. Nota-se que os vértices que não aparecem no processamento pelo BNC V. 2.6 (93992 e V10), agora estão presentes no pós-processamento utilizando o Topcon Tools V. 8.2.

A Tabela 4 apresenta as soluções para o pós-processamento relativo utilizando o arquivo RINEX gerado pelo BNC V. 2.6. Em relação as soluções das ambiguidades, conforme Garnés (2001), as fixas indicam que as ambiguidades inteiras foram resolvidas e validadas por teste estatístico de hipótese, enquanto as soluções parciais, dizem respeito a apenas parte das equações de observações terem suas ambiguidades resolvidas aos inteiros, e outra parte ter ficado com soluções flutuantes (solução de ambiguidades sobre os números reais).

## 6.2 Levantamento cinemático em tempo real (RTK)

Os resultados para o levantamento RTK via NTRIP são apresentados na Tabela 5. A estação base utilizada foi a RECF da RBMC-

IP do IBGE localizada no Campus da UFPE. Nota-se que o menor erro planimétrico foi encontrado no vértice EPS04 com valor de 0,006 m e o maior erro planimétrico foi observado no vértice V12 com valor de 4,675 m. Observa-se na Tabela 6 que somente os vértices 93992 e EPS04 obtiveram solução *fixed* (ambiguidades resolvidas) e com uma linha de base menor que 3 km, os demais vértices obtiveram a solução *float* para distâncias acima de 3 km. Conforme Garnés (2001), o comprimento da linha de base é um dos fatores que influencia na velocidade de resolução de ambiguidades GPS pelos algoritmos dos programas de processamento GNSS. As constantes perdas de sinais durante o percurso com recomeço da resolução das ambiguidades, associada a latência das correções de fase pelo NTRIP da RBMC-IP (não indicada pela coletora), foi a causa da degradação da acurácia do método além dos 3km.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos no pós-processamento utilizando o software Topcon Tools V. 8.2 utilizando o arquivo RINEX gravado no receptor Hiper Lite + e a Tabela 8 as soluções para o pós-processamento relativo.

Tabela 5: Resultados para o levantamento RTK via NTRIP

Estação	Horas	E (m)	N (m)	h (m)
93992	12:52:55	285364,826 $\sigma= 0,017$	9108945,769 $\sigma= 0,011$	0,951 $\sigma= 0,025$
	Discrep.	$\Delta E$ 0,016	$\Delta N$ -0,009	-2,169
	Erropos	0,018		
V08	13:47:20	290226,489 $\sigma= 1,087$	9108759,271 $\sigma= 1,078$	0,545 $\sigma= 3,925$
	Discrep.	$\Delta E$ -0,750	$\Delta N$ 3,117	3,243
	Erropos	3,206		
V09		293797,816 $\sigma= 1,128$	9108250,064 $\sigma= 1,119$	1,454 $\sigma= 3,498$
	Discrep.	$\Delta E$ -0,592	$\Delta N$ 3,070	3,685
	Erropos	3,127		
V12		291943,395 $\sigma= 1,470$	9103240,192 $\sigma= 1,449$	-3,89 $\sigma= 4,026$
	Discrep.	$\Delta E$ -3,396	$\Delta N$ 3,213	-2,46
	Erropos	4,675		
93991 Aero- porto		288817,552 $\sigma= 1,222$	9100176,792 $\sigma= 1,203$	5,757 $\sigma= 3,272$
	Discrep.	$\Delta E$ -2,102	$\Delta N$ 1,448	3,067
	Erropos	2,552		
V10		287311,503 $\sigma= 1,206$	9104879,926 $\sigma= 1,203$	5,065 $\sigma= 3,458$
	Discrep.	$\Delta E$ -1,688	$\Delta N$ 2,403	1,514
	Erropos	2,937		
EPS04	16:23:10	284742,574 $\sigma= 0,025$	9109481,112 $\sigma= 0,007$	2,799 $\sigma= 0,034$
	Discrep.	$\Delta E$ -0,002	$\Delta N$ -0,006	-2,093
	Erropos	0,006		

Tabela 6: Resultados do tipo de solução para o levantamento RTK/NTRIP

RTK NTRIP		
Estação	Solução	Distância da Base em metros
93992	<i>Fixed</i>	747,798
V08	<i>Float</i>	5.354,882
V09	<i>Float</i>	8.962,268
V12	<i>Float</i>	9.436,554
93991	<i>Float</i>	10.151,540
V10	<i>Float</i>	5.246,134
EPS04	<i>Fixed</i>	202,397

Tabela 7: Resultados para o RTK/NTRIP utilizando pós-processamento relativo com o software Topcon Tools V. 8.2

Estação	Horas	E (m)	N (m)	h (m)
93992	12:52:55			
	Discrep.	$\Delta E$ 0,009	$\Delta N$ -0,015	-2,117
	Erropos	0,029		
V08	13:47:20			
	Discrep.	$\Delta E$ 0,188	$\Delta N$ 0,156	-1,219
	Erropos	0,026		
V09	14:39:19			
	Discrep.	$\Delta E$ -0,792	$\Delta N$ 0,195	0,187
	Erropos	0,166		
V12	15:09:19			
	Discrep.	$\Delta E$ -0,079	$\Delta N$ 0,004	-0,138
	Erropos	0,246		
93991 Aero- porto	15:38:18			
	Discrep.	$\Delta E$ 0,012	$\Delta N$ 0,010	-0,01
	Erropos	0,013		
V10	16:07:36			
	Discrep.	$\Delta E$ 0,001	$\Delta N$ 0,002	0,035
	Erropos	0,020		
EPS04	16:23:10			
	Discrep.	$\Delta E$ -0,005	$\Delta N$ -0,012	-1,977
	Erropos	0,011		

Tabela 8: Resultados do tipo de solução para o pós-processamento relativo

CINEMÁTICO PÓS-PROCESSADO		
Estação	Solução	Dist Base em metros
93992	<i>partial</i>	747,798
V08	<i>partial</i>	5.354,882
V09	<i>partial</i>	8.962,268
V12	<i>partial</i>	9.436,554
93991	<i>partial</i>	10.151,540
V10	<i>fixed</i>	5.246,134
EPS04	<i>partial</i>	202,397

### 6.3 Precisão e acurácia dos métodos do posicionamento GNSS testados

A precisão do posicionamento GNSS é importante, mas só permite uma análise interna da distribuição de frequências do posicionamento em si, assim, num contexto mais

realístico é preciso fazer a análise da acurácia do posicionamento. Uma das formas de medir essa acurácia é por meio do Erro Médio Quadrático (EMQ), que segundo Mikail e Ackerman (1976), foi proposta por Gauss, como sendo a esperança matemática da diferença quadrática da estimativa do parâmetro pelo parâmetro verdadeiro, ou seja, a esperança do erro verdadeiro ao quadrado, Equação (7):

$$EMQ = m^2 = E[(\hat{p} - E(\hat{p}))^2] = E[\varepsilon^2] \quad (7)$$

Em termos práticos, para uma população de  $n$  elementos da variável aleatória  $e$ , a esperança matemática  $E[(\times)]$  pode ser calculada por (GEMAEL, 1994):

$$m^2 = E[\varepsilon^2] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \quad (8)$$

Pela suposição de que  $E[e]=0$ , ou seja, a esperança matemática do estimador cuja estimativa é  $\hat{p}$  tenha erros verdadeiros nulos, segue da Equação (8) e (7) a seguinte relação:

$$m^2 = \sigma_p^2 + \beta^2 \quad (9)$$

onde:

$\beta$  : erro sistemático (bias);

$\sigma_p^2$  : a variância populacional da variável  $p$ .

Um longa discussão da interpretação da Equação (9) como indicador de acurácia nas Ciências Geodésicas pode ser encontrada em MONICO *et al.* (2009).

Com base nas Equações (8) e (9) foram usados como indicadores da acurácia horizontal do posicionamento GNSS nesse trabalho, as interpretações formuladas em (10) até (13) :

$$EMQ_1 = \sqrt{\sigma_{(horiz)i}^2 + \Delta_{(horiz)i}^2} \quad (10)$$

onde:

$\sigma_{(horiz)i}$ : desvio padrão do posicionamento horizontal do  $i$ -ésimo vértice fornecido pelo processamento GNSS;

$\Delta_{(horiz)i}$ : discrepância do posicionamento horizontal do  $i$ -ésimo vértice, corresponde ao Erros definido na Equação (6);

$EMQ_1$  : Erro Médio Quadrático usando a precisão e a discrepância de cada vértice;

$$EMQ_{1M} = \frac{EMQ_1}{n} \quad (11)$$

onde:

$EMQ_{1M}$  : média aritmética do  $EMQ_1$  ;

$$EMQ_2 = \sqrt{\overline{\sigma}_{horiz}^2 + \overline{\Delta}_{horiz}^2} \quad (12)$$

onde:

$EMQ_2$  : Erro Médio Quadrático usando a precisão média e a discrepância média de todos os vértices;

$\overline{\sigma}_{horiz}^2$  : média dos desvios padrão da posicionamento horizontal ao quadrado;

$\overline{\Delta}_{horiz}^2$  : média das discrepâncias horizontais ao quadrado.

Por fim, assumindo que a discrepância do posicionamento horizontal num vértice, coincida com o erro verdadeiro neste vértice, tendo como base a posição previamente estabelecida por métodos mais precisos (hipótese da Equação (8)), tem-se:

$$EMQ_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{(horiz)i}^2}{n}} \quad (13)$$

onde:

$EMQ_3$  : Erro Médio Quadrático considerando a discrepância como erro verdadeiro; e

$\Delta_{(horiz)i}$  : Discrepância horizontal assumido como erro horizontal verdadeiro do  $i$ -ésimo vértice.

A Tabela 9 apresenta os resultados do método de processamento PPP em tempo real usando o software BNC V. 2.6; a Tabela 10 apresenta os resultados do pós-processamento relativo usando o software Topcon Tools V. 8.2, com o arquivo RINEX gerado pelo software BNC V. 2.6; a Tabela 11 - apresenta os resultados do método de levantamento cinemático em tempo real (RTK/NTRIP); a Tabela 12 - apresenta os resultados do método RTK/NTRIP, utilizando os dados gravados no receptor do Hiper Lite + e pós-processado com o software Topcon Tools V. 8.2, utilizando o arquivo RINEX.

Na Tabela 13, visualiza-se o Erro Médio

Quadrático do posicionamento planimétrico dos métodos testados; na Tabela 14 e no gráfico na Figura 17 , a precisão média.

Tabela 9: Precisão e acurácia do levantamento PPP cinemático em tempo real pelo software BNC V. 2.6 do BKG

Estação	Precisão Horizontal (m)			Discrepâncias - bias (m)			EMQ <sub>1</sub> Horiz. (m)	
	sE (m)	sN (m)	shoriz (m)	ΔE	ΔN	Δhoriz		
93992								
V08	0,574	0,405	0,702	9,573	-12,33	15,613	<b>15,629</b>	
V09	0,332	0,235	0,407	5,364	-0,014	5,364	<b>5,379</b>	
V12	0,301	0,135	0,330	2,033	12,682	12,844	<b>12,848</b>	
93991								
V10								
EPS04	0,376	0,204	0,428	0,100	-0,037	0,107	<b>0,441</b>	
Média=	0,396	0,245	0,465	Média=	4,268	0,074	8,482	
							EMQ <sub>1M</sub> =	<b>8,574</b>
							EMQ <sub>2</sub> =	<b>8,495</b>
							EMQ <sub>3</sub> =	<b>10,458</b>

Tabela 10: Precisão e acurácia do levantamento PPP com RINEX gerado pelo BNC V. 2.6 pós-processado com o software Topcon Tools 8.2

Estação	Precisão Horizontal (m)			Discrepâncias - bias (m)			EMQ <sub>1</sub> Horiz. (m)	
	sE (m)	sN (m)	shoriz (m)	ΔE	ΔN	Δhoriz		
93992	0,024	0,140	0,142	0,009	-0,015	0,017	<b>0,143</b>	
V08	0,023	0,028	0,036	0,188	0,156	0,244	<b>0,247</b>	
V09	0,024	0,019	0,031	-0,792	0,195	0,816	<b>0,816</b>	
V12	0,027	0,017	0,032	-0,079	0,004	0,079	<b>0,085</b>	
93991	0,035	0,022	0,041	0,012	0,010	0,016	<b>0,044</b>	
V10	0,031	0,024	0,039	0,001	0,002	0,002	<b>0,039</b>	
EPS04	0,024	0,011	0,026	-0,005	-0,012	0,013	<b>0,029</b>	
Média=	0,027	0,037	0,046	Média=	-0,095	0,049	0,170	
							EMQ <sub>1M</sub> =	<b>0,201</b>
							EMQ <sub>2</sub> =	<b>0,176</b>
							EMQ <sub>3</sub> =	<b>0,323</b>

Tabela 11: Precisão e acurácia do levantamento cinemático em tempo real (RTK/NTRIP)

Estação	Precisão Horizontal (m)			Discrepâncias - bias (m)			EMQ <sub>1</sub> Horiz. (m)
	sE (m)	sN(m)	shoriz (m)	ΔE	ΔN	Δhoriz	
93992	0,017	0,011	0,020	0,016	-0,009	0,018	<b>0,027</b>
V08	1,087	1,078	1,531	-0,750	3,117	3,206	<b>3,553</b>
V09	1,128	1,119	1,589	-0,592	3,070	3,127	<b>3,507</b>
V12	1,470	1,449	2,064	-3,396	3,213	4,675	<b>5,110</b>
93991	1,222	1,203	1,715	-2,102	1,448	2,552	<b>3,075</b>

V10	1,206	1,203	1,703		-1,688	2,403	2,937	<b>3,395</b>	
EPS04	0,025	0,007	0,026		-0,002	-0,006	0,006	<b>0,027</b>	
Média=	0,879	0,867	1,235	Média=	-1,216	1,891	2,360		
								EMQ <sub>1M</sub> =	<b>2,671</b>
								EMQ <sub>2</sub> =	<b>2,664</b>
								EMQ <sub>3</sub> =	<b>2,855</b>

Tabela 12: Precisão e acurácia do levantamento cinemático em tempo real (RTK/NTRIP) pós-processado

Estação	Precisão Horizontal (m)				Discrepâncias - bias (m)			EMQ <sub>1</sub> Horiz. (m)	
	sE (m)	sN (m)	shoriz (m)		ΔE	ΔN	Δhoriz		
93992	0,024	0,012	0,027		0,020	-0,021	0,029	<b>0,040</b>	
V08	0,029	0,015	0,033		-0,022	-0,014	0,026	<b>0,042</b>	
V09	0,028	0,021	0,035		-0,135	-0,096	0,166	<b>0,169</b>	
V12	0,030	0,019	0,036		-0,096	-0,227	0,246	<b>0,249</b>	
93991	0,038	0,020	0,043		0,009	0,009	0,013	<b>0,045</b>	
V10	0,028	0,014	0,031		-0,018	-0,009	0,020	<b>0,037</b>	
EPS04	0,020	0,010	0,022		0,010	0,004	0,011	<b>0,025</b>	
Média=	0,028	0,016	0,032	Média=	-0,033	-0,051	0,060		
								EMQ <sub>1M</sub> =	<b>0,087</b>
								EMQ <sub>2</sub> =	<b>0,069</b>
								EMQ <sub>3</sub> =	<b>0,114</b>

Tabela 13: Erro médio quadrático do posicionamento planimétrico dos métodos testados

Nº campanha	Levantamento	EMQ <sub>1M</sub> (m)	EMQ <sub>2</sub> (m)	EMQ <sub>3</sub> (m)
1ª	PPP em tempo real BKG	<b>8,574</b>	<b>8,495</b>	<b>10,458</b>
	Pós- Processamento Relativo	<b>0,201</b>	<b>0,176</b>	<b>0,323</b>
2ª	RTK/NTRIP	<b>2,671</b>	<b>2,664</b>	<b>2,855</b>
	Pós- Processamento Relativo	<b>0,087</b>	<b>0,069</b>	<b>0,114</b>

Tabela 14: Erro médio quadrático do posicionamento planimétrico dos métodos testados e precisão média

	Pós-processamento Relativo (m)	PPP em tempo real BKG (m)	RTK/ NTRIP(m)
<b>Precisão média</b>	<b>0,039</b>	<b>0,465</b>	<b>1,235</b>
<b>EMQ<sub>1M</sub> médio</b>	<b>0,140</b>	<b>8,574</b>	<b>2,671</b>
<b>EMQ<sub>2</sub> médio</b>	<b>0,123</b>	<b>8,495</b>	<b>2,664</b>
<b>EMQ<sub>3</sub> médio</b>	<b>0,207</b>	<b>10,458</b>	<b>2,855</b>

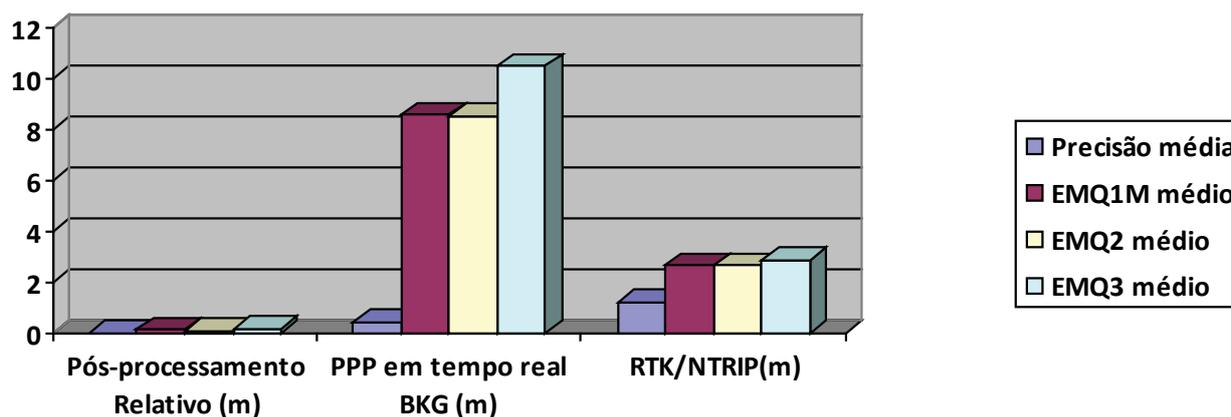


Fig. 17 - Gráfico das precisões e dos Erros Médios Quadráticos (EQM) médios dos métodos de posicionamento GNSS.

Com base nos dados e nos processamentos realizados, em termos de precisão e acurácia planimétrica, em condições não favoráveis durante o trajeto cinemático passando pelas ruas e avenidas do Recife, utilizando o receptor Hiper Lite +, os softwares e os serviços descritos anteriormente com suas respectivas versões, os métodos ficam classificados em termos de melhores resultados na seguinte ordem:

Precisão (desvio padrão horizontal médio dos métodos entre as campanhas):

1) Pós-processamento relativo:

$$\sigma_{hor} = 0,039 \text{ m}$$

2) PPP tempo real BKG:

$$\sigma_{hor} = 0,465 \text{ m}$$

3) RTK/NTRIP:

$$\sigma_{hor} = 1,235 \text{ m}$$

A precisão dada pelo desvio padrão é um indicativo da consistência interna dos processamentos das observáveis GNSS e dos dados com base no algoritmo (incluindo os filtros de *outliers*) que o desenvolvedor implementa. Os resultados podem ou não refletir a dispersão da verdadeira posição. Todavia a inclusão da tendência (*bias*) dada pela discrepância na posição de pontos obtidos com métodos sabidamente mais acurados, como foi o caso dos pontos da Rede de Referência do município do Recife (ENGEFOTO, 2009), realizados

com a tecnologia GNSS por método estático, rastreio simultâneo nas estações e ajustamento de rede geodésica. A Inclusão da tendência foi incorporada pelo EMQ de três formas de interpretar, Equações (11) a (13), com resultados equivalentes em termos classificatórios entre os EMQ<sub>1M</sub>, EMQ<sub>2</sub> e EMQ<sub>3</sub>. Assim, conforme a Figura 17 a acurácia dos métodos ficam classificados na seguinte ordem:

1) Pós-processamento relativo:

$$EMQ_3 = 0,207 \text{ m}$$

2) RTK/NTRIP:

$$EMQ_3 = 2,855 \text{ m}$$

3) PPP tempo real BKG:

$$EMQ_3 = 10,458 \text{ m}$$

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho consistiu em investigar e comparar a precisão e acurácia dos métodos de posicionamento cinemático: PPP em tempo real; RTK via NTRIP e cinemático relativo pós-processado, em situação desfavorável em ambiente com obstáculos que evidencia a degradação da geometria e perda de sinais dos satélites.

Conforme metodologia adotada e levando em consideração as análises feitas para os resultados e condições da área de levantamento, pode-se concluir que:

1 - No levantamento PPP cinemático em tempo real utilizando o software BNC V. 2.6, ocorreram vários problemas culminando na degradação da acurácia do método; os identificados foram a perda de conexão com o *mountpoint* RTCM3EPH com não recebimento das correções de fase; e também pela eliminação de observações de alguns satélites pelo filtro de detecção de *outliers* do software. A precisão do método ficou em torno de 50 cm e a acurácia em torno dos 10 m.

2 - Para o levantamento RTK via NTRIP houve problemas na solução das ambiguidades por ocasião do reinício das resoluções sempre que o sinal dos satélites eram perdidos, a fixação das ambiguidades só foi conseguida para os dois pontos de referência que ficavam com distâncias menores que 3 km da base. Como o resultado foi pior que o pós-processamento relativo, fica evidente que além das perdas dos sinais, a latência das correções enviadas pelo protocolo NTRIP da RBMC-IP teve consequência no desempenho do método, cuja precisão ficou em torno de 1,20 m e a acurácia em torno de 2,8 m.

3 - O pós-processamento relativo foi o método que mostrou maior precisão e acurácia, a precisão ficou em torno de 5 cm e a acurácia em torno de 20 cm.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com apoio do Laboratório de Geodésia do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco. Também, com o apoio do CNPQ, através do projeto “Detalhamento dos modelos da realidade espacial da região metropolitana de Recife pelo refinamento dos elementos geodésicos: desvio da vertical, geoide local, velocidade de placa Tectônica e modelo digital de terreno”, processo 487489/2012-8.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; JÚNIOR, N. J. M.; ABREU, M. A.; SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. **RBMC em tempo real via NTRIP e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS**. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas,

Buenos Aires, p. 135-141, 2009.

**ENGEFOTO. Relatório Conclusivo**. Prefeitura Municipal de Recife, julho 2009. 100 p.

GARNÉS, S. J. A. **Resolução das ambiguidades GPS para linhas de base curta : análise dos algoritmos de otimização**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001. 204 p.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319 p.

H O F M A N N - W E L L E N H O F, B . ; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global positioning system: theory and practice**. 3. ed. New York: Spring-Verlag Wien, 1994. 355 p.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. 267 f. Tese (Doutorado em Geodésia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 1996. 267 p.

MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. G.; SHIMABUKURO, M. H.; AQUINO, M. PPP em tempo real com estimativa do erro do relógio do satélite no contexto de rede GNSS. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, **Anais**, ISBN 978-85-63978-00-4, p.1-3, 2010.

MIKHAIL, E. M.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**, Thomas V. Crowell Company Inc. Boston. 1976. 497 p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª Edição, São Paulo: UNESP, 2008. 476 p.

MONICO, J.F.G.; DAL PÓZ, A. P.; GALO, M.; SANTOS, M. C. dos; OLIVERIA, L. C. de. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Bol. Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.15, nº3, p.469-483, jul-set, 2009.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. 2 ed. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 2003. 589 p.

STRANG, G.; BORRE, K. **Linear algebra, geodesy, and GPS**. Wellesley: Cambridge Press,

1997. 624 p.

TEUNISSEN, P. J. G.; JONGE, P. J. de; TIBERIUS, C. C. J. M. A new way to fix carrier-phase ambiguities. **GPS WORLD**, v. 6, n. 4, p. 58-61, abr. 1995.

VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica**

**cadastral do campus Recife da UFPE: Fase I – planejamento e implantação da rede principal.** Trabalho final de graduação. Relatório parcial. Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. 55 p.