

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/5: 991-1004
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

NOVAS OBSERVÁVEIS GPS E A MELHORIA NA ACURÁCIA DO POSICIONAMENTO

New GPS Observables and the Positioning Accuracy Improvement

Lucas Silva de Andrade & Daniele Barroca Marra Alves

Universidade Estadual Paulista – UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT

Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica / Departamento de Cartografia

Rua Roberto Simonsen, 305. Presidente Prudente/SP, Brasil

lucas_andrade94@yahoo.com.br, danibarroca@fct.unesp.br

Recebido em 6 de Julho, 2015/ Aceito em 29 de Janeiro, 2016

Received on July 6, 2015/ Accepted on January 29, 2016

RESUMO

A determinação da posição em qualquer local da superfície terrestre sempre foi um problema e a solução surgiu na década de 70 com a criação do NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Time And Ranging - Global Positioning System*). Desde a sua criação houve diversas melhorias no sistema, sendo as últimas o desenvolvimento e disponibilização das novas observáveis GPS, denominadas de segundo sinal civil (L2C) e terceiro sinal civil (L5) em 2005 e 2010, respectivamente. Neste artigo foi analisada a melhoria no posicionamento ocasionada pelo uso das novas observáveis, mesmo que ainda não se tenha uma constelação completa transmitindo L2C e L5. Foram analisados os resultados dos processamentos utilizando o método Relativo Estático, Relativo Cinemático e *Moving-Base* para um período do dia onde dados de vários satélites modernizados estavam disponíveis. Para a comparação dos resultados obtidos utilizou-se o EMQ (Erro Médio Quadrático) 2D e o EMQ da altitude. As análises foram realizadas adotando-se duas estações de referência da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), sendo elas PPTE, em Presidente Prudente, e SPDR, localizada em Dracena. Os resultados mostraram que a utilização das novas observáveis faz com que se tenha uma melhoria principalmente para as coordenadas planimétricas, sendo a porcentagem média de melhoria de 52,7%. O estado da arte da constelação GPS, novas observáveis, resultados e análises são apresentados nesse artigo.

Palavras chaves: Posicionamento, GPS, Novas Observáveis.

ABSTRACT

The positioning on the Earth's surface has always been a problem and the solution came in the 70s with the creation of NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Time And Ranging – Global Positioning System*). Since the GPS development there were several improvements in the system, and the latest improvement was the development and availability of new GPS observables, called second civil signal (L2C) and third civil signal (L5) in 2005 and 2010, respectively. In this paper was analyzed the positioning improvement obtained by the new observables use, even if it is not available a complete constellation broadcasting L2C and L5. The processing results were analyzed using the static, kinematic and moving-base modes for a day time interval where data from many modernized satellites were available. In order to compare the results was used the 2D RMS (Root Mean Square) and height RMS. Analyzes were performed using two reference stations from RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - Brazilian Network for Continuous Monitoring), PPTE, in Presidente Prudente, and SPDR, in Dracena. The results showed that the use of

the new observables causes a great improvement, especially for the planimetric coordinates, the average percentage of improvement was about 52.7%. The state of the art of the GPS constellation, new observables, results and analyzes are presented in this paper.

Keywords: Positioning, GPS, New Observables.

1. INTRODUÇÃO

O posicionamento é basicamente o ato de atribuir coordenadas a algum objeto de interesse e que atualmente pode ser realizado de forma simples, utilizando, por exemplo, os satélites artificiais desenvolvidos para este fim. O sistema GPS tem abrangência global e permite a obtenção da coordenada de um ponto em qualquer local da Terra, apenas necessitando que seja possível realizar o rastreamento de no mínimo quatro satélites, independente das condições meteorológicas do local (MONICO, 2008; SEEGER, 2003).

Visando melhoria na acurácia do posicionamento, o sistema GPS está passando por um processo de modernização desde 2005. Primeiramente surgiu o segundo sinal civil (L2C) e posteriormente a criação do terceiro sinal civil (L5). Esta modernização ainda terá mais um passo com a criação do quarto sinal civil (L1C) (GPS, 2015).

A análise da melhoria destas novas observáveis no posicionamento não é um tema que vem sendo muito explorado, principalmente em âmbito nacional assim, existe a necessidade de realizar estudos que mostrem os reais efeitos desta modernização na acurácia do posicionamento GPS.

Deste modo este artigo tem como principal objetivo analisar as possíveis melhorias obtidas com a utilização das novas observáveis, mesmo que a modernização do sistema GPS ainda não esteja completa. A revisão teórica, materiais e métodos empregados, resultados e análises e considerações finais serão apresentados nas próximas seções.

2. NAVSTAR GPS

O GPS tem como objetivo original, desde a sua criação, a determinação de posição, velocidade e tempo de um usuário, em qualquer lugar da Terra instantaneamente. Para que estas operações sejam executadas é necessário que o receptor seja capaz de rastrear ao menos 4 satélites com efemérides conhecidas, para que deste modo seja possível determinar as

incógnitas relativas a posição (MONICO, 2008; HOFMANN-WELLENHOF, 2001; SEEGER, 2003).

O projeto da constelação completa do GPS contém um mínimo de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais, sendo quatro satélites em cada plano, com uma altitude aproximada de 20200 km. Estes planos estão com uma inclinação de 55° em relação ao Equador sendo de 12 horas siderais o seu período orbital (MONICO, 2008; LEICK, 2004). Atualmente (Novembro de 2015) a constelação GPS consta com 31 satélites ativos (GPS, 2015).

Devido à alta precisão que pode ser obtida e ao desenvolvimento da tecnologia dos receptores GPS, muitos segmentos da comunidade civil começaram a utilizar o GPS, por exemplo, na navegação, posicionamento geodésico, agricultura, controle de frotas, entre outros. Em todas as atividades que necessitam de posicionamento o uso dos receptores GPS vem se tornando essencial, devido, principalmente, a sua rapidez na obtenção das coordenadas e por não haver a necessidade de intervisibilidade entre estações, possibilitando um trabalho mais rápido e eficiente, além de ser possível utilizá-lo em quaisquer condições climáticas (MONICO, 2008; SEEGER, 2003).

O sistema GPS passou por diversas mudanças e modernizações desde que foi criado. A mudança de maior impacto ocorreu no ano 2000 com a desativação do SA (*Selective Availability*) que fez com que houvesse uma melhoria de 10 vezes na acurácia do posicionamento (MONICO, 2008; DANA, 1997). Uma importante fase de modernização do sistema começou no ano de 2005 com o lançamento dos satélites do bloco IIR(M) que começaram a transmissão do L2C. Essa modernização teve continuidade com o lançamento dos satélites do bloco IIF, cujo primeiro lançamento ocorreu em 2010, com a transmissão do L5, além de continuar com a transmissão de L2C (GPS, 2015). Na seção 2.1 a modernização do sistema GPS é apresentada com maiores detalhes.

2.1 Modernização do sistema GPS

Como citado anteriormente, nos últimos anos vem sendo realizada a modernização do GPS e com isso surgiu o segundo sinal civil na L2 (L2C ou C2) e o terceiro sinal civil na frequência L5 (L5 e C5). No ano de 2005 foi lançado o primeiro satélite modernizado com L2C e apenas em 2010 foi lançado o primeiro satélite com L5 (GPS, 2015).

As frequências de transmissão da L1 e das novas observáveis podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1: Frequências dos sinais GPS

Observável	Frequência (MHz)
L1	1575,42
L2	1227,6
L5	1176,45

De acordo com GPS (2015) o L2C combinado com o L1 permite a correção ionosférica, tendo deste modo uma melhoria na acurácia da posição. Assim, usuários de receptores com dupla frequência podem ter uma acurácia semelhante às obtidas com a utilização do sinal militar. Afirma-se ainda que nos receptores de dupla frequência o L2C permite uma aquisição mais rápida do sinal. A transmissão é mais potente do que os sinais L1, sendo assim a recepção em locais fechados ou embaixo de árvores torna-se mais fácil.

Segundo Berglund *et al.* (2010), o número de observações L2 gravadas aumenta quando se utiliza de L2C e a perda de ciclos também diminui com a utilização do L2C para observações acima de 10 graus de elevação.

Segundo Sokolovskiy *et al.* (2013), na presença de forte cintilação ionosférica L2P e L1CA sofrem com perdas de ciclo, enquanto o L2C é mais estável. A utilização de L2C faz com que o número de perdas de ciclo de L2 seja muito menor e também há uma redução do ruído nas estatísticas.

Atualmente (16/06/2015) existem 16 satélites transmitindo o L2C, sendo previsto 24 satélites operando até 2018 (GPS, 2015).

O L5 foi projetado para atender aos meios de transporte e serviços que exigem

alta acurácia na posição. O L5 é transmitido em uma frequência de rádio reservada para os serviços de segurança da aviação. Apresenta maior potência, maior largura de banda e um *design* avançado de sinais. A aviação no futuro deverá utilizar a combinação do L5 com L1 para melhorar a precisão por meio da correção da ionosfera, melhorando a segurança e aumentando a capacidade e eficiência (GPS, 2015).

Neste momento (16/06/2015) existem 9 satélites transmitindo L5, com previsão de 24 satélites em operação até 2021 (GPS, 2015).

Segundo GPS (2015), uma nova fase da modernização irá ocorrer a partir de 2016 com o lançamento dos satélites GPS III. Estes satélites irão iniciar a transmissão de um novo sinal denominado de quarto sinal civil (L1C) e irá ser transmitido na mesma frequência do L1.

Quando todos os 24 satélites da constelação estiverem transmitindo L2C e L5 é esperado que se obtenha uma melhoria considerável na acurácia do posicionamento quando forem utilizadas as novas observáveis.

2.2 Métodos de posicionamento

Na metodologia de posicionamento GNSS encontram-se o método relativo estático e o relativo cinemático, tendo ambos a possibilidade de obter a posição em tempo real ou no modo pós-processado (ALVES, 2008).

Para realizar o posicionamento relativo deve-se ter a disposição ao menos dois receptores GNSS realizando a coleta dos dados simultaneamente, sendo um dos receptores estacionado em um ponto de coordenadas previamente conhecidas e o outro receptor realizando a coleta dos dados dos pontos de interesse (MONICO, 2008; SEEBER, 2003).

O tempo de coleta mínimo para que o posicionamento possa ser classificado como relativo estático é de ao menos 20 minutos estacionado sobre o ponto de interesse. A precisão que pode ser alcançada é da ordem de 1 a 0,1 ppm. Já no posicionamento relativo cinemático o receptor se move enquanto é realizada a coleta dos dados. Para este método é importante que não haja perda do sinal dos satélites em nenhum momento da coleta (MONICO, 2008; SEEBER, 2003). Tais métodos de posicionamento serão empregados

nos experimentos realizados nesse artigo (MONICO, 2008; SEEGER, 2003).

2.3 Rede GNSS-SP

A criação da rede GNSS-SP ocorreu com o intuito de aumentar o número de estações GNSS ativas no estado de São Paulo. São 20 estações homologadas pelo IBGE atualmente, todas disponibilizam dados para posicionamento pós-processado ou em tempo real. Os dados em tempo real são obtidos com o uso do protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) (CALDAS, 2014). O mapa com a localização de cada uma das estações pode ser observado na Figura 1.

Estudos para a atmosfera, como o atraso troposférico e do Conteúdo Total de Elétrons (TEC), uma grandeza muito importante no estudo da ionosfera, são exemplos de usos possíveis para esta rede (MONICO *et al.*, 2006).

Os receptores utilizados nas estações possuem conexão direta à internet, tendo deste modo seus dados enviados diretamente a um computador central que os gerencia e armazena, fazendo a conversão dos arquivos para os formatos RINEX e Hatanaka, que são de uso geral. São disponibilizados arquivos a cada hora, com intervalo de 1 segundo, e a cada dia, com intervalo de 15 segundos (MONICO *et al.*, 2006).

A região abrangida pela rede é a mais densa do Brasil, contribuindo imensamente para a infraestrutura necessária para que sejam desenvolvidas pesquisas em posicionamento geodésico (GEGE, 2015).

As estações SPAR, SPDR, SPTU e PPTE da rede GNSS-SP disponibilizam dados com L5 e L2C por possuírem receptores TRIMBLE NETR9, que são capazes de realizar o rastreamento e disponibilização das novas observáveis GPS. Assim, nos experimentos realizados nesse artigo, foram utilizados dados das estações SPDR e PPTE, como descrito na seção 3.

3. MATERIAS E MÉTODOS

Os materiais e métodos são apresentados nesta seção que trata da seleção dos métodos de posicionamento e software empregados (seção 3.1) e seleção dos dias e horários utilizados nos experimentos (seção 3.2).

3.1 Seleção dos métodos de posicionamento e do software empregado

Para a realização dos experimentos foram aplicados três métodos de posicionamento, sendo eles: Relativo Cinemático, Relativo Estático e *Moving-Base*. O software utilizado no processamento dos dados foi o RTK Post, disponível em <http://www.rtklib.com/>.

Para a realização dos processamentos foram utilizadas efemérides precisas, correção da ionosfera: *IONEX TEC*, correção da troposfera: Saastamoinen e máscara de elevação de 0°.

A escolha do software selecionado para realizar os experimentos se deve ao fato de que existem poucos softwares disponíveis com a capacidade de processar dados com as novas observáveis GPS, incluindo os softwares online utilizados para o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso). Outro fator importante para a escolha do RTK Post (<http://www.rtklib.com/>) é o fato de que o software está disponível gratuitamente. A interface do RTK Post pode ser visualizada na Figura 2.

No software é possível utilizar arquivos RINEX como rover e estação base. Também é possível adicionar os arquivos de navegação, efemérides precisas e arquivos para correção da ionosfera.

O RTK Post ainda não realiza o processamento com as novas observáveis para o PPP, sendo possível a sua utilização apenas para o posicionamento relativo.

3.2 Seleção dos dias e horários utilizados nos experimentos

Devido a seleção do método relativo, foram utilizadas duas estações da RBMC e também pertencentes a rede GNSS-SP que coletam as novas observáveis. As estações escolhidas foram PPTE e SPDR, sendo que a primeira está localizada na cidade de Presidente Prudente e a segunda em Dracena. A estação PPTE foi utilizada como base e simulando o usuário foi utilizada a estação SPDR. A linha de base formada entre as duas estações tem o comprimento de aproximadamente 74,4 km. A linha de base utilizada pode ser observada na Figura 3.

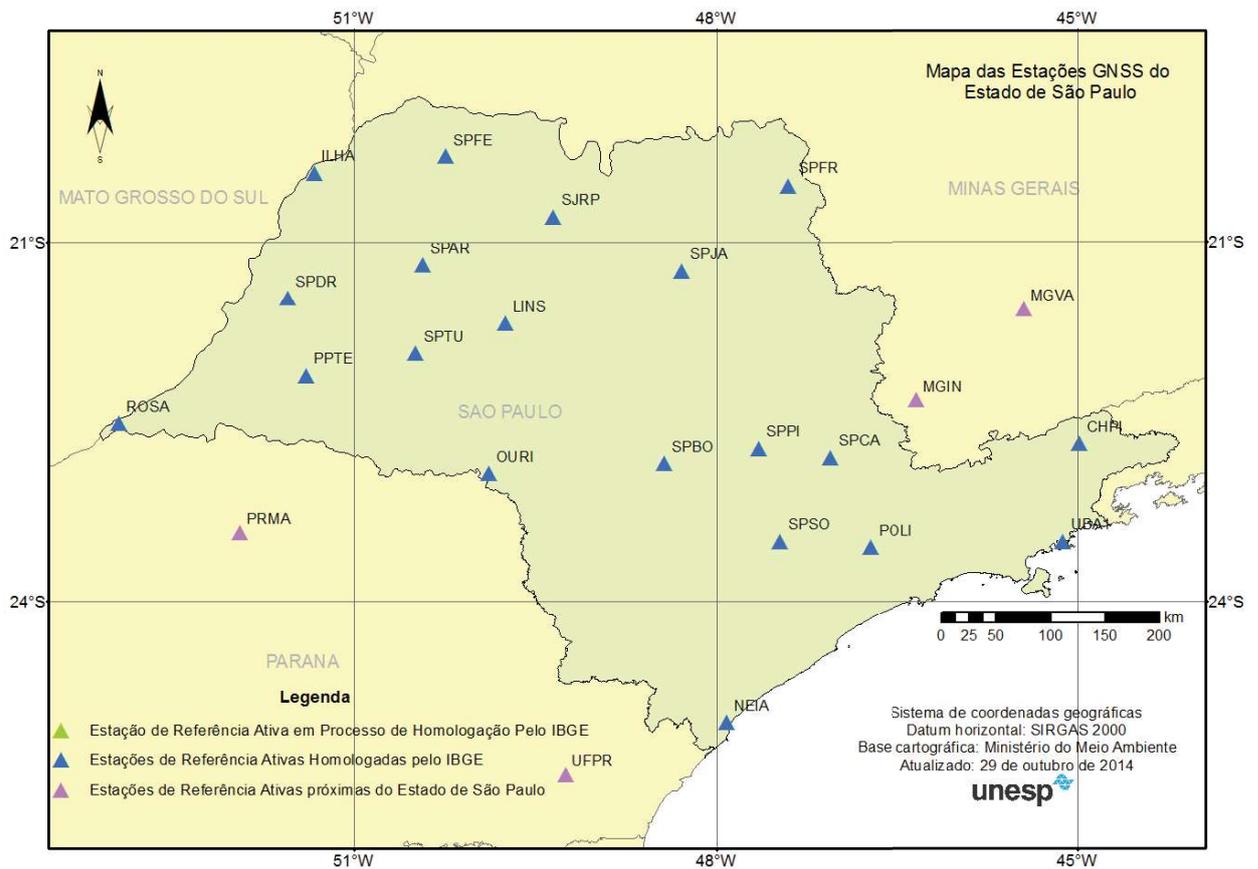


Figura 1 - Rede GNSS-SP. Fonte: <http://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/rede-gnss-sp2089/>

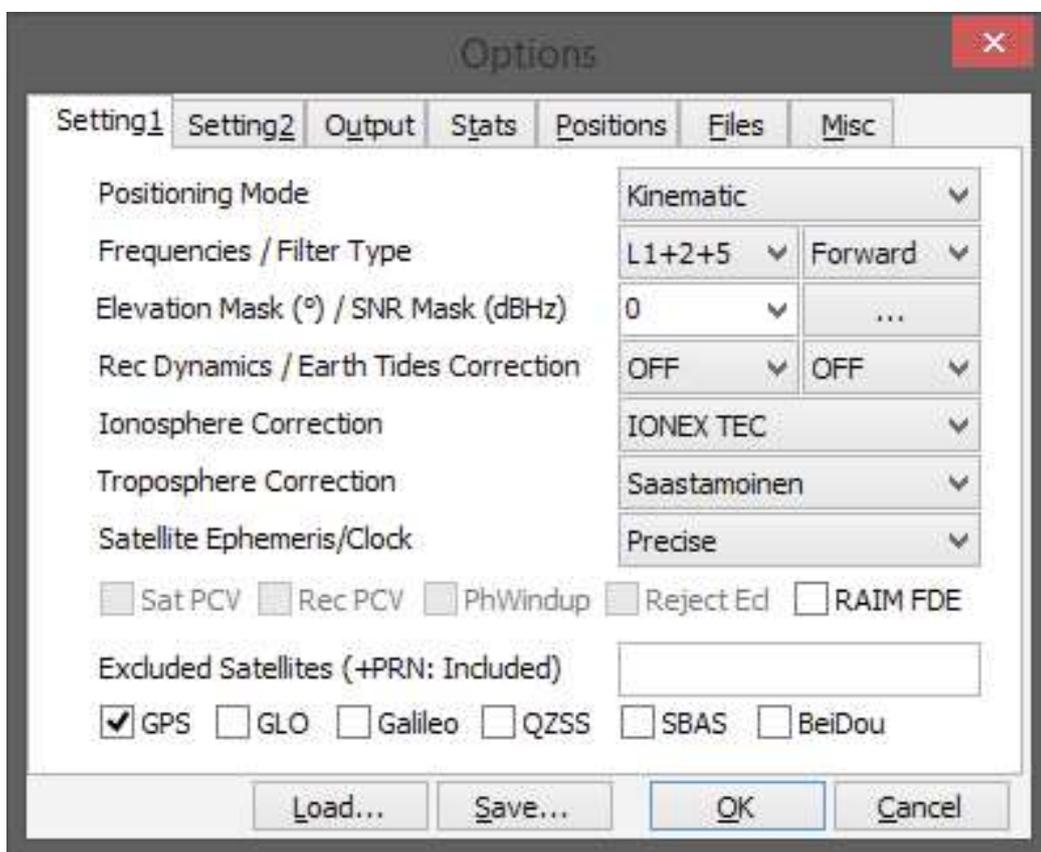


Fig. 2 - Interface do software RTK Post.

A escolha das estações de referência se deve principalmente ao fato de serem estações da rede GNSS-SP que rastreiam e disponibilizam os arquivos RINEX com L2C e L5, além de

possuírem uma linha de base média (o ideal é que fosse mais curta para que os erros da troposfera e ionosfera fossem minimizados, mas não havia disponibilidade de dados).

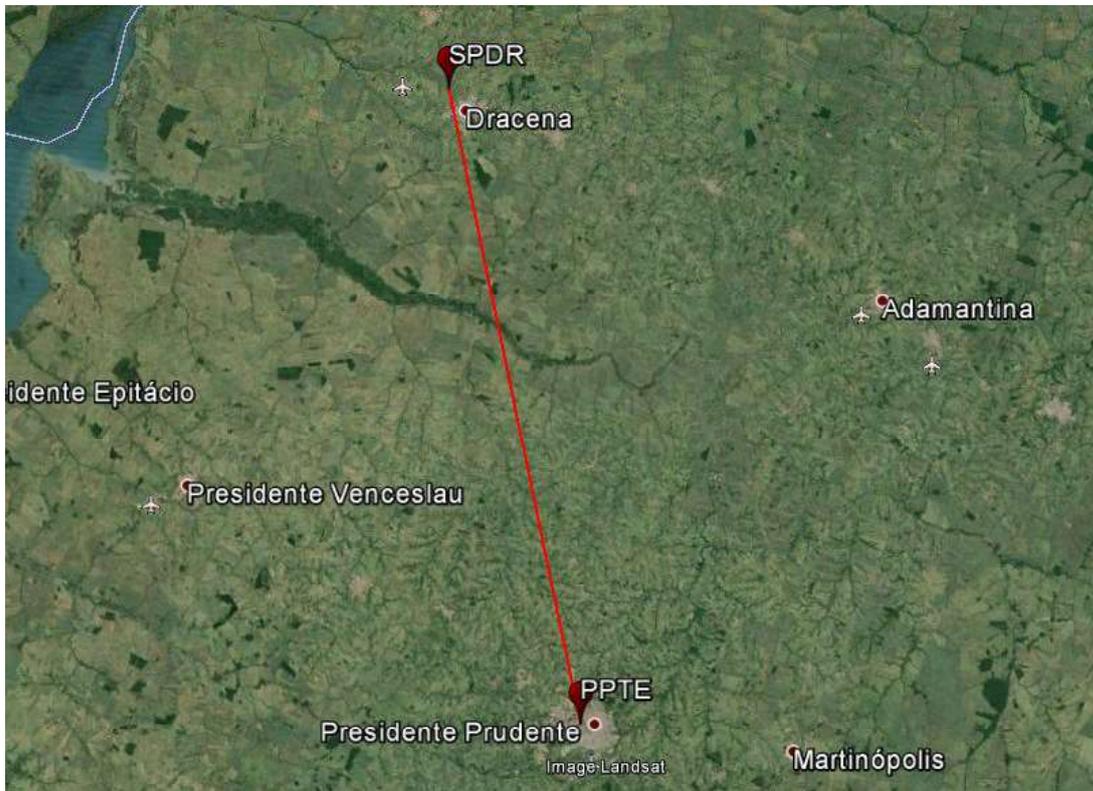


Fig. 3 - Linha de base entre PPTe e SPDR. Fonte: Google Earth.

As coordenadas geodésicas de cada uma das estações utilizadas foram obtidas através do descritivo disponível no site do IBGE, referenciadas ao SIRGAS 2000, época 2000,4. Para realizar os experimentos as coordenadas foram atualizadas para a época do levantamento através do software TReVel (PROL, 2014), disponível em <http://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/pps-on-line/trevel/>.

Foram selecionados 4 dias do fim de maio e começo de junho, sendo eles os dias: 150, 151, 154 e 155 de 2014. A escolha foi realizada por este ser um período de baixa atividade ionosférica, para que a mesma não interferisse nos resultados, pois o objetivo não é verificar se as novas observáveis também minimizam os erros ionosféricos. Foram selecionados dias consecutivos para que fosse possível utilizar os mesmos satélites em todos os dias analisados.

Em todos os processamentos foi utilizado o período do dia das 7 às 9 horas da manhã. Este período foi selecionado devido a maior quantidade

de satélites modernizados disponíveis. Foi considerado, principalmente, o período no qual o número de observáveis L5 e C5 fosse maior, pois sempre estão em menor quantidade do que L2C, devido ao menor número de satélites transmitindo-as. Além disso, é também um horário com menor influência dos efeitos ionosféricos, visto que tal efeito não é objeto de estudo nesse artigo.

Na Figura 4 as duas barras hachuradas representam o período que abrange as 7 e 8 horas. Cada uma das barras diz respeito ao número de observações para um período de uma hora, sendo que está representado na figura o período das 4 às 23 horas, pois até às 4 horas não há L5 e C5, sendo este período desprezado na análise.

Pode-se observar na Figura 4 que o período das 7 às 9 horas é o momento em que se tem o maior número de observáveis, inclusive de L2C (C2).

Como apenas uma parte dos satélites da constelação GPS transmitem as novas observáveis, nesse período os que transmitem L2C são o G05, G12, G15, G17, e G29. Os que transmitem L2C e L5 são os satélites G24 e G25.

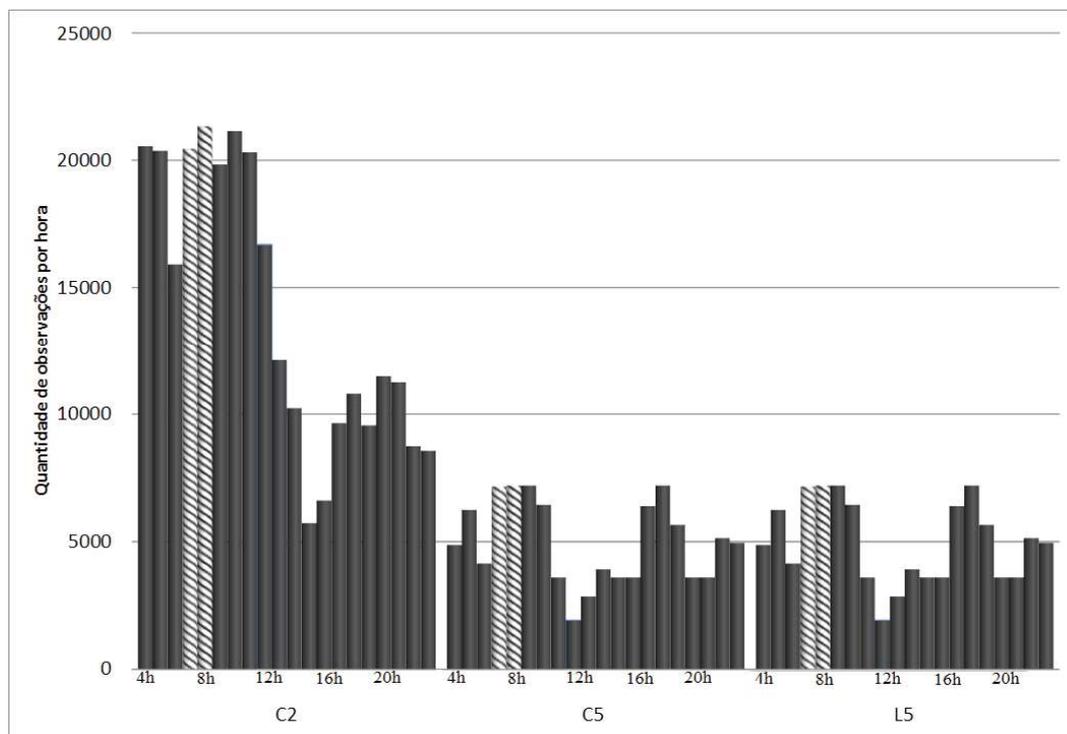


Fig. 4 – Quantidade de observáveis rastreadas nos dias utilizados no estudo.

A Figura 5 apresenta a elevação dos satélites que transmitem L2C no momento selecionado para o experimento para o dia 151, ou 31 de maio de 2014. Foi utilizado apenas um dia para mostrar a elevação dos satélites, devido ao intervalo entre os dias utilizados nos experimentos ser de menos de uma semana, deste modo não há uma mudança significativa na constelação, pois os satélites passam pelo menos ponto com uma diferença de apenas 4 minutos

entre um dia e outro.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Para facilitar a análise e apresentação dos resultados, essa seção está dividida em Posicionamento Relativo Estático (Seção 4.1), Posicionamento Relativo Cinemático (Seção 4.2) e Posicionamento *Moving-Base* (Seção 4.3), de acordo com o método de posicionamento empregado.

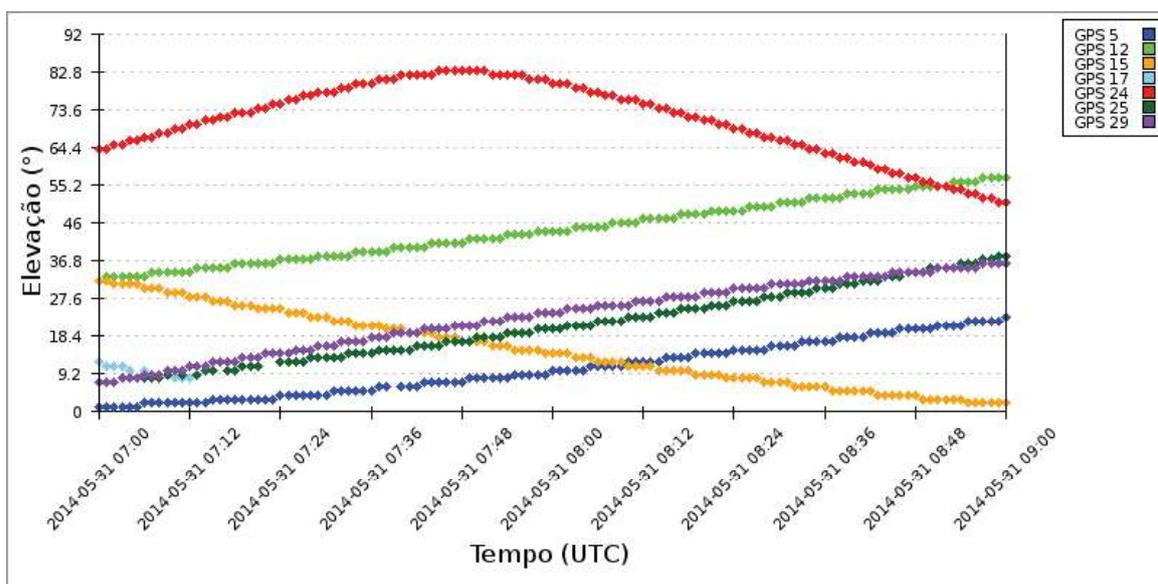


Fig. 5 – Elevação dos satélites no período analisado. Fonte: <http://is-cigala-calibra.fct.unesp.br/is/ismrtool/view/View.php>

4.1 Posicionamento Relativo Estático

Nesta seção são exibidos os resultados obtidos através do processamento utilizando o método relativo estático. São apresentados os valores do Erro Médio Quadrático planimétrico (EMQ 2D) e altimétrico (EMQ h) em cada processamento. A Figura 6 ilustra os resultados do posicionamento relativo estático para o período das 7 às 9 horas.

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos a cada época. Note na figura que em todos os dias avaliados têm-se uma grande melhoria na posição no processamento realizado com L2C e L5, tendo o valor de EMQ estabilizado próximo ao zero na maior parte das análises.

A posição com as novas observáveis em todos os casos mostra um comportamento muito parecido, diminuindo muito rápido no início e se mantendo constante com um valor de EMQ baixo, como para o dia 150 em que o EMQ 2D esteve pouco abaixo de 13 cm, como é possível observar na Tabela 2. Diferente do comportamento apresentado sem L2C e L5, para a maior parte dos dados analisados.

É possível observar na Figura 6 que o dia 150 foi o que obteve melhor desempenho no processamento sem as novas observáveis, ficando com valores muito próximos em quase todo o período analisado. Mas, em nenhuma época, foi obtido um valor de EMQ menor em relação à posição obtida com L2C e L5.

Em relação ao EMQ h, os resultados obtidos nos dias 150, 154 e 155 sem as novas observáveis foram muito semelhantes aos obtidos com o uso da L2C e L5.

Para facilitar as análises, as Tabelas 2 e 3 mostram os valores de EMQ 2D e EMQ h, respectivamente, sendo estes o último valor do processamento. Pode-se observar a porcentagem de melhoria obtida com a utilização das novas observáveis.

Tabela 2: EMQ 2D e porcentagem de melhoria com a utilização das novas observáveis

EMQ 2D			
Dia	Posição com L2C e L5 (m)	Posição sem L2C e L5 (m)	Porcentagem de melhoria (%)
150	0,1554	0,6054	74,34
151	0,7239	5,5518	86,96
154	0,1267	1,2881	90,16
155	0,4061	1,0628	61,79

Tabela 3: EMQ h e porcentagem de melhoria com a utilização das novas observáveis

EMQ h			
Dia	Posição com L2C e L5 (m)	Posição sem L2C e L5 (m)	Porcentagem de melhoria (%)
150	0,1348	0,4551	70,38
151	0,6139	1,5791	61,12
154	0,0614	0,3975	84,54
155	0,2294	0,3111	26,29

A porcentagem de melhoria apresentada nas tabelas foi calculada considerando a posição sem L2C e L5 como 100%. Assim, a diferença para os valores obtidos na posição com L2C e L5 é a porcentagem de melhoria no posicionamento.

Os resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3 demonstram que para o posicionamento relativo estático a utilização de L2C e L5 melhora a acurácia na posição final obtida em todos os casos analisados. A melhoria obtida para as coordenadas planimétricas é superior à melhoria apresentada para a altitude, pois em todos os dias analisados a melhoria foi de no mínimo 61%.

Em relação ao EMQ h, apenas no dia 155 a melhoria obtida foi inferior a 60%, mas ainda assim apresentando uma melhoria.

4.2 Posicionamento Relativo Cinemático

Nesta seção são apresentados os resultados relativos ao processamento utilizando o método relativo cinemático no período das 7 às 9 horas. Os resultados podem ser observados na Figura 7.

No geral percebe-se uma melhoria da posição no processamento que utilizou as novas observáveis, L2C e L5, quando se analisa o EMQ 2D. O EMQ h mostra que o processamento sem L2C e L5 tem um melhor desempenho no dia 151 em alguns momentos do período analisado, mas ao fim deste período o desempenho utilizando as novas observáveis tem uma melhor acurácia.

Para o dia 150, na análise do EMQ 2D e EMQ h, tem-se que o posicionamento com o uso de L2C e L5 apresenta uma acurácia superior em quase todo o período analisado. Já o posicionamento sem as novas observáveis tem grandes variações no EMQ, demonstrando um desempenho inferior.

No dia 151 o posicionamento com as novas observáveis tem uma acurácia superior na análise do EMQ 2D. Mas de maneira semelhante ao dia 150 o EMQ h com o uso de L2C e L5 teve um desempenho pior antes da convergência para o dia 151.

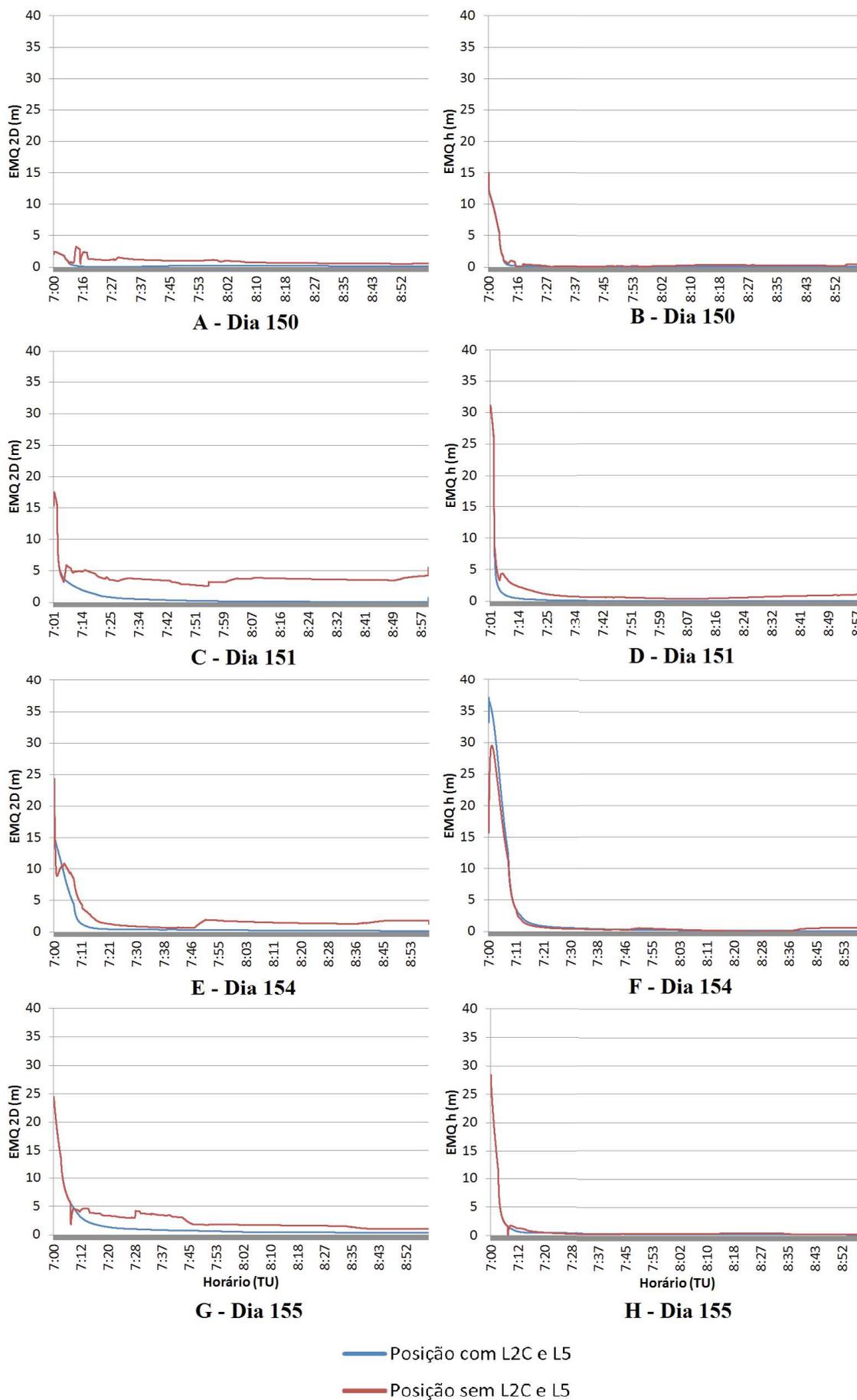


Fig. 6 - EMQ 2D e EMQ h para o posicionamento relativo estático, sendo apresentados os dias 150 (A e B), 151 (C e D), 154 (E e F) e 155 (G e H).

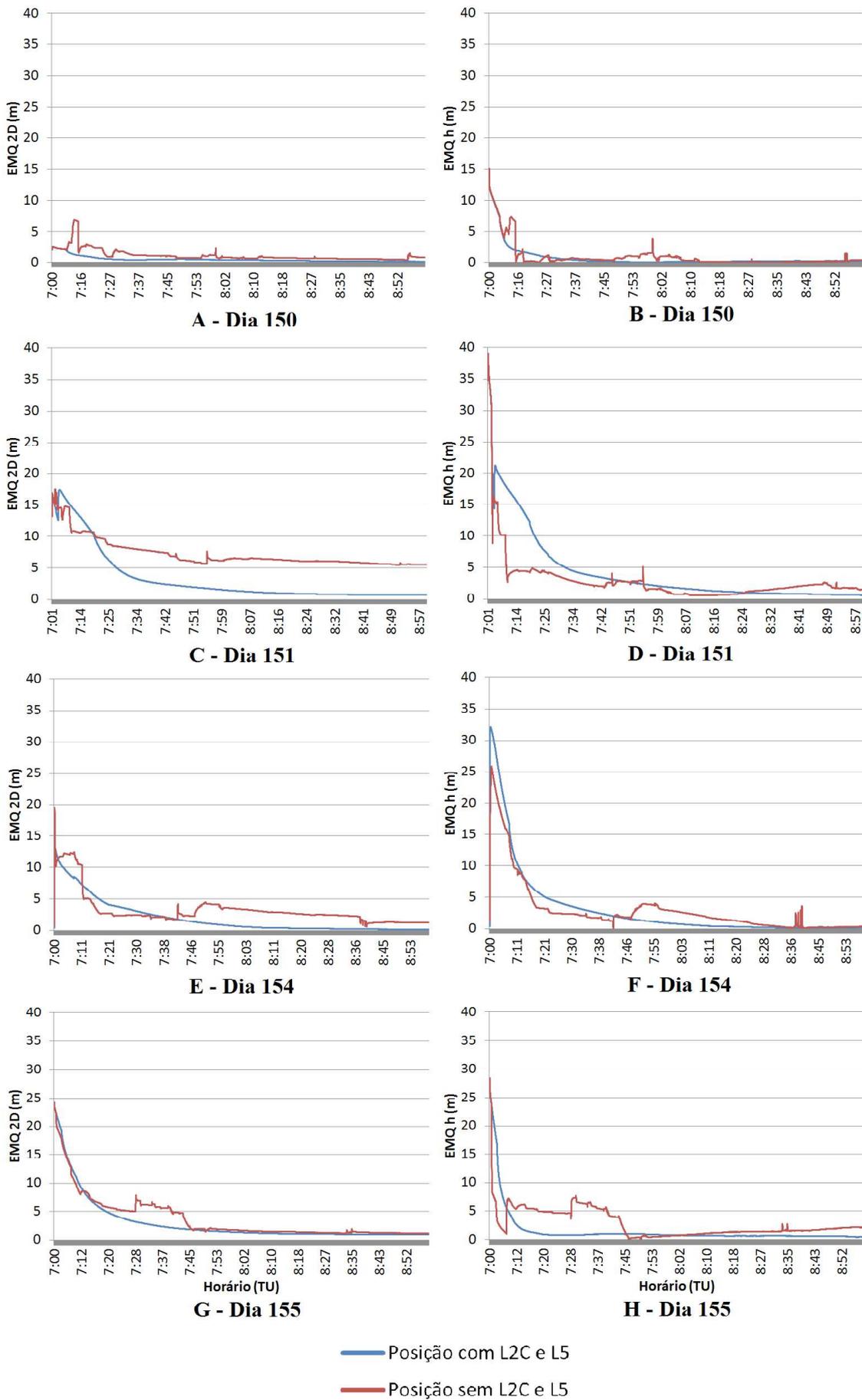


Fig. 7 - EMQ 2D e EMQ h para o posicionamento relativo cinemático, sendo apresentados os dias 150 (A e B), 151 (C e D), 154 (E e F) e 155 (G e H).

O dia 154 obteve um desempenho superior no EMQ 2D e no EMQ h, na maior parte do tempo quando as novas observáveis foram empregadas. Já para o dia 155 o desempenho é semelhante.

As Tabelas 4 e 5 mostram os valores de EMQ 2D e EMQ h. Pode-se observar a porcentagem de melhoria obtida com a utilização das novas observáveis.

Tabela 4: EMQ 2D e porcentagem de melhoria com a utilização das novas observáveis

EMQ 2D			
Dia	Posição com L2C e L5 (m)	Posição sem L2C e L5 (m)	Porcentagem de melhoria (%)
150	0,1273	0,8100	84,28
151	0,7250	5,5548	86,95
154	0,1311	1,2914	89,85
155	0,9584	1,1547	17,00

Tabela 5: EMQ 3D e porcentagem de melhoria com a utilização das novas observáveis

EMQ h			
Dia	Posição com L2C e L5 (m)	Posição sem L2C e L5 (m)	Porcentagem de melhoria (%)
150	0,1985	0,3211	38,18
151	0,6007	1,5656	61,63
154	0,0462	0,3822	87,90
155	0,4436	2,0973	78,85

Para os dois casos analisados, tanto na Tabela 4 como na Tabela 5, percebe-se que o posicionamento relativo cinemático com L2C e L5 é superior a partir do momento que há a estabilização. Todos os dias analisados obtiveram uma melhoria na acurácia da posição, chegando a ser superior a 80% em três dias no EMQ 2D e em um dia no EMQ h. Assim, pode-se concluir que no posicionamento relativo cinemático a melhoria na acurácia ocorre tanto para as coordenadas planimétricas, quanto para a altitude a partir do momento em que as coordenadas estão estabilizadas.

Observando as Figuras 6 e 7 percebe-se que a acurácia na posição com a utilização de L2C e L5 não apresenta grandes variações em um período curto de tempo, como ocorre quando não há o uso das novas observáveis. Principalmente para o posicionamento utilizando o método relativo cinemático a variação na acurácia da posição sem o uso das novas observáveis sofre com grandes variações, chegando a ter picos de aproximadamente 7 metros de erro por volta das 7h 30min no EMQ h para o dia 155.

4.3 Posicionamento *Moving-Base*

Nessa seção são apresentados e analisados os resultados do processamento utilizando o método denominado *Moving-Base* no período das 7 às 9 horas.

Como pode ser visto na Figura 8, boa parte dos dados analisados tiveram um comportamento semelhante ao apresentado no posicionamento Relativo Cinemático.

Para o dia 150 tem-se que o comportamento do processamento com e sem L2C e L5 é muito similar, sendo difícil encontrar uma diferença visível na posição, na escala utilizada, observando o valor do EMQ 2D e EMQ h de cada um. Estes resultados também podem ser vistos nas Tabelas 6 e 7.

Nos dias 151 e 155, no EMQ 2D o posicionamento utilizando as novas observáveis teve um melhor desempenho durante praticamente todo o período analisado. No dia 155 pode-se observar que o posicionamento sem L2C e L5 sofre algumas variações bruscas, como aconteceu no começo do processamento.

O EMQ h apresenta desempenho semelhante em todos os dias analisados.

Tabela 6: EMQ 2D e porcentagem de melhoria com a utilização das novas observáveis

EMQ 2D			
Dia	Posição com L2C e L5 (m)	Posição sem L2C e L5 (m)	Porcentagem de melhoria (%)
150	2,0584	2,2312	7,74
151	1,5998	4,4510	64,06
154	0,9234	0,5723	-61,34
155	0,6757	1,7395	61,16

Tabela 7: EMQ 3D e porcentagem de melhoria com a utilização das novas observáveis

EMQ h			
Dia	Posição com L2C e L5 (m)	Posição sem L2C e L5 (m)	Porcentagem de melhoria (%)
150	6,1303	6,0601	-1,16
151	1,1458	2,0193	43,26
154	2,6270	2,9258	10,21
155	3,2940	5,6342	41,54

Os resultados apresentados nas Tabelas 6 e 7 demonstram melhoria na acurácia da posição na maior parte dos dias analisados, mas também se pode observar uma deterioração da acurácia da posição para as coordenadas planimétricas no dia 154.

Para as coordenadas altimétricas houve uma deterioração de apenas 1% na posição no dia 150.

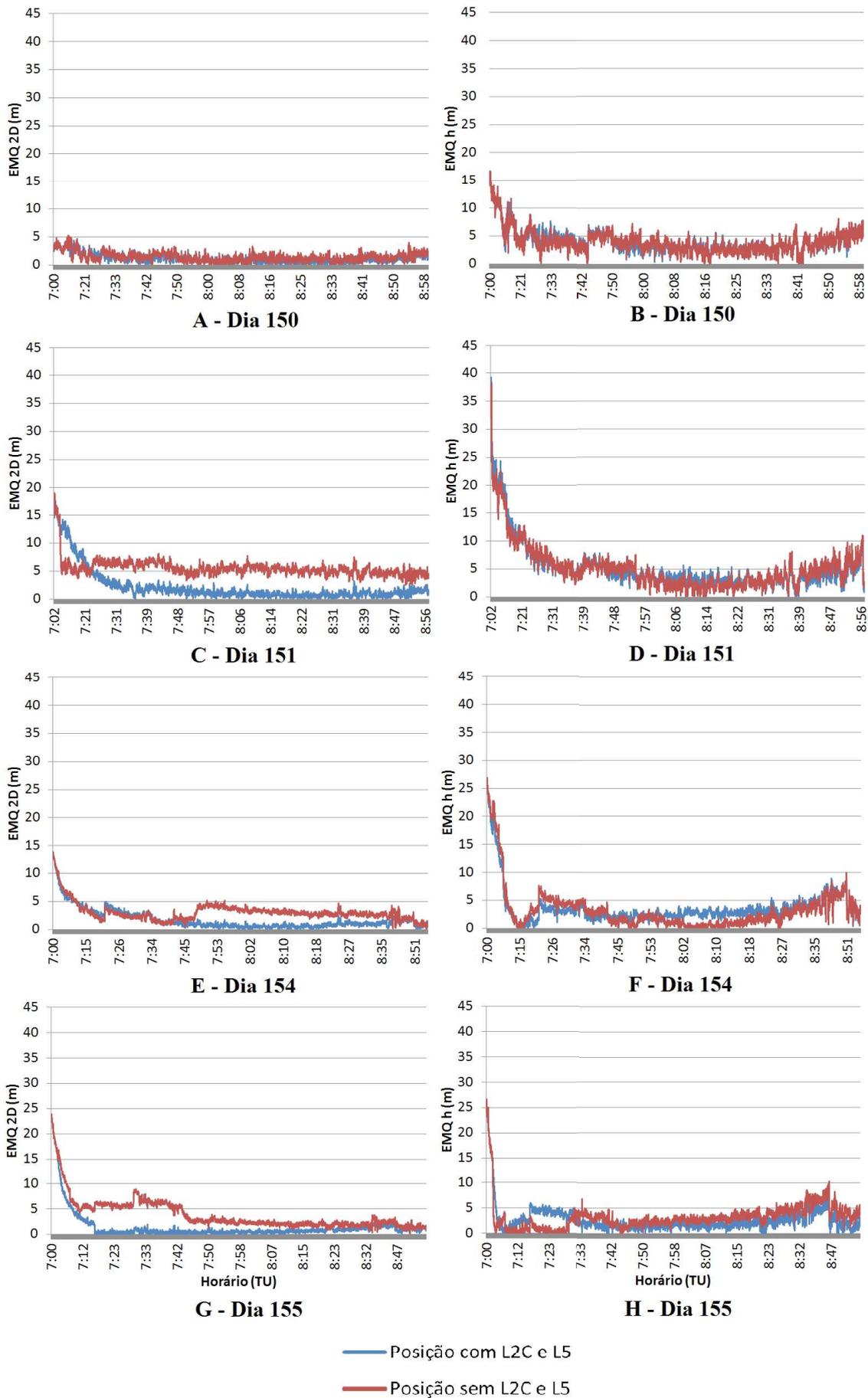


Fig. 8 – EMQ 2D e EMQ h para o posicionamento *Moving-Base*, sendo apresentados os dias 150 (A e B), 151 (C e D), 154 (E e F) e 155 (G e H).

De uma forma geral, houve uma melhoria na posição com a utilização de L2C e L5, principalmente na análise do EMQ 2D, chegando a mais de 60% de melhoria na posição nos dias 151 e 155. Já para o EMQ h a maior melhoria foi de 43,2% para o dia 151.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foram realizadas revisões bibliográficas sobre o sistema GPS com o objetivo de contemplar um tema que não é muito explorado, principalmente no Brasil, que trata do uso das novas observáveis no posicionamento GPS.

Com relação aos resultados obtidos nota-se que a posição tem melhor acurácia com o uso das novas observáveis na maioria dos casos analisados. As melhorias foram ainda mais significativas quando foi empregado o método relativo estático.

Outro ponto a ser destacado é que, principalmente, no método relativo estático e no relativo cinemático, pode-se observar que o uso de L2C e L5 faz com que haja uma convergência mais rápida no posicionamento. A partir do momento em que há a estabilização da posição o posicionamento com a utilização de L2C e L5 apresenta melhorias significativas na maioria dos casos analisados.

Atualmente ainda não existem muitos *softwares* disponíveis que realizem o processamento utilizando as novas observáveis, sendo difícil encontrar outro *software* para que os resultados sejam comparados. É possível que sejam realizados novos testes quando houver uma maior disponibilidade de *softwares* que processem tais observáveis.

Finalizando, pode-se dizer que de maneira geral a utilização das novas observáveis GPS traz uma melhoria no posicionamento mesmo que ainda se tenha poucos satélites transmitindo L2C e L5. A tendência é de que com a constelação completa transmitindo as novas observáveis, a acurácia no posicionamento terá uma melhoria ainda mais significativa. Em trabalhos futuros pretende-se realizar uma análise mais abrangente, analisando um período maior e também utilizando períodos com alta atividade ionosférica, para verificação da qualidade das observáveis quando há o efeito da cintilação nas observações.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo projeto Regular (processo 2012/19906-7) e pela bolsa de IC (processo 2015/20623-8). Ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa para a segunda autora e ao projeto Universal (processo 470112/2012-3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. B. M. **Posicionamento Baseado em Redes GPS utilizando o conceito de estação virtual**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, p.18.

BERGLUND, H.; BLUME, F.; ESTEY, L. H.; BORSA, A. A. **The Effects of L2C Signal Tracking on High-Precision Carrier Phase GPS Positioning**. American Geophysical Union, Fall Meeting 2010, dez. 2010. DOI: 2010AGUFM.G11B0640B, p.1.

CALDAS, F. L. **Análise de deformação da rede GNSS/SP com base na teoria da elasticidade**. 2014, Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, p.104.

DANA, P. H. Global Positioning System (GPS) Time Dissemination for Real-Time Applications. **Real-time Systems**, v. 12, n. 1, p.9-40, 1997. Springer Science + Business Media. DOI: 10.1023/a:1007906014916.

GEGE – Grupo de Estudo em Geodésia Espacial. 2015. Disponível em <<http://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/home/>>. Acesso em: jun. 2015.

GPS - Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. 2015. Disponível em <<http://www.gps.gov/>>. Acesso em: jun. 2016.

H O F M A N N - W E L L E N H O F , B . ; L I C H T E N E G G E R , H . ; C O L L I N S , J . **GPS Theory and Practice**. 5 ed. Springer-Verlag wien GmbH, 2001, p.382.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008, p.472.

MONICO, J. F. G.; CAMARGO, P. O.; SAPUCCI, L. F.; ALVES, D. B. M.; SOUZA, E. M.; FAUSTINO, R. C.; DALBELLO, L. F.;

POLEZEL, W. C. Rede GPS ativa do Estado de São Paulo: suporte ao posicionamento geodésico. **Relatório Científico N° 01**. FAPESP – Auxílio à Pesquisa, Processo 04/03384-5. 2006.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. p. 464.

PROL, F. S.; MARCATO JUNIOR, J.; NIEVINSK, F. G.; GOMES, R. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Transformação entre referenciais e cálculo de velocidades através do aplicativo web TREVel. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 3, p. 569-579, 2014.

RTKLIB: An Open Source Program Package

for GNSS Positioning. Disponível em < <http://www.rtklib.com/>>. Acesso em: fev. 2015.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003, p.610.

SOKOLOVSKIY, S. V.; SCHREINER W. S.; ZENG Z.; HUNT D. C.; KUO Y.-H.; MEEHAN T. K.; STECHESON T. W.; MANNUCCIA A. J.; AO C. O. Use of the L2C signal for inversions of GPS radio occultation data in the neutral atmosphere. **GPS Solutions**, v. 18, n. 3, p.405-416, jul. 2014. DOI: 10.1007/s10291-013-0340-x.