

Correlação da Precisão e da Exatidão com a Hora solar medida em uma Base de 80 km

Prof. Dr. Mauro Menzori
Prof. Dr. Ricardo Ernesto Schaal
Prof. Dr. Paulo Cesar Lima Segantine

USP – Departamento de Transportes
13560-590 São Carlos SP
menzori@sc.usp.br
schaal@sc.usp.br
seganta@sc.usp.br

Resumo:

A precisão da solução relativa L1 raramente representa a sua exatidão, contudo, quando obtida através de uma solução *fixed*, o “aninhamento” entre a precisão e a exatidão é maior, o que oferece maior segurança ao resultado. Opostamente, certas medidas resultantes de solução *float*, que seriam inicialmente descartadas devido à sua baixa precisão, podem ser consideradas como aproveitáveis em função da sua exatidão. Neste trabalho foram sistematicamente identificadas estas duas situações, que mostraram se ajustar ao horário solar médio da sessão. Dois anos de dados amostrais mapearam o comportamento do GPS e identificaram os horários em que a solução fixa tem maior probabilidade de ocorrência, assim como, identificaram horários nos quais não se explica a ocorrência de solução *float*, embora esta apresente boa exatidão.

Palavras chave: solução *fixed* e *float*, precisão, exatidão, hora-solar.

Abstract:

GPS obtained coordinates only have precision and don't have relation with accuracy, despite, fixed solutions shown more proximity whit accuracy then the float solutions. Otherwise, certain measurements obtained by the float solution can, inicialy, seem to be discartable because of its bad precision, but, could be considered good because of its high accuracy. Moreover, the ausence of relation connecting precision to accuracy can lead us to accept bad accureted coordinates that results with good precision. That's why, in this job, it was made a research over two years of GPS data, trying to find that relation. The research showed two distincts situations: first, seems to have a tendency to get fixed solutions and, consequently more accurated results, in some solar day time, second, the regular occurency, in certain solar day time, of float solutions with high accuracy.

Keywords: fixed, float, precision, accuracy, solar time.

1 Introdução

Nos últimos vinte e oito anos a navegação por satélites orbitais se tornou operacional e se firmou como uma tecnologia mundialmente confiável, principalmente pela qualidade e segurança oferecidas pelo Sistema Global de Posicionamento Global (GPS). Não há mais dúvidas de que os sinais transmitidos pelo GPS atendem com alta precisão as necessidades da navegação, principalmente porque o ato de navegar requer uma informação de posição com exatidão de alguns metros. Porém, o seu uso na engenharia requer a solução relativa *fixed*, que produz as coordenadas com qualidade centimétrica [Leick 2004, Wells 1987]. Um fator limitante desta solução é que ela não é obtida diretamente em um processo matemático ou estatístico.

No processamento relativo inicialmente se determina, pelo método dos mínimos quadrados, a solução “*triple*”. Esta solução não depende dos inúmeros fatores que degradam a solução, incluindo o termo de ambigüidade necessário no modelo matemático da fase da portadora. Esta solução, embora apresente um desvio padrão elevado, resulta em um vetor, que representa a linha de base, próximo ao vetor real, permitindo que se proceda à linearização das equações necessária para o cálculo da solução da dupla diferença de fase [Hoffman et Al, 2001].

Inicialmente, na solução vetorial da dupla diferença de fase, se assume que além do vetor, definido por suas componentes cartesianas, as duplas diferenças de ambigüidades também são incógnitas. Neste processo se obtém um novo vetor, mais próximo ao real e com menores desvios padrão. Esta solução é denominada de *float*, na qual as duplas diferenças de ambigüidades são expressas por números fracionários. Embora esta solução seja estatisticamente a mais provável, nada indica que seja a mais exata e próxima da real. É neste momento que surge o problema fundamental da solução relativa: como encontrar a solução mais próxima da real?

Sob o enfoque do modelo matemático da fase, a ambigüidade é um número inteiro e dessa forma a dupla diferença das ambigüidades também deve ser um número inteiro, impondo a necessidade de se encontrar uma nova solução, denominada de *fixed*. Esta solução é sempre obtida por meios estimativos [Leick, 2004], nos quais se procura um conjunto das duplas diferenças de ambigüidade constituído de apenas números inteiros que conduzam a solução de ajustamento dos dados a um desvio padrão significativamente inferior aos valores obtidos a partir de outros conjuntos de inteiros.

A literatura apresenta vários métodos para a determinação da solução *fixed* [Kim/Langley, 2000], contudo, pode acontecer que a procura pela solução *fixed* não seja bem sucedida, limitando o resultado na solução *float*.

Especialistas em processamento de dados procuram encontrar a *fixed* modificando as configurações *default* do software na etapa de processamento, tais como: retirando satélites, mudando modelos de ionosfera e troposfera, etc. Neste trabalho não houve este procedimento, todos os dados foram processados nas mesmas condições estabelecidas a priori pelo fabricante do programa.

A literatura apresenta trabalhos que, em linhas de base com menos de 20 km, a solução *fixed*, usando apenas a portadora L1 representa o vetor mais próximo à realidade com exatidão centimétrica [Hoffman et Al, 2001]. Em linhas de base mais extensas se recomenda a solução *ion-free*, que elimina a degradação causada pela propagação na ionosfera. Esta solução requer uso de receptores L1/L2 e programas de processamento mais sofisticados, encarecendo todo o processo [Wells, 1987].

Por este motivo se decidiu efetuar a pesquisa em uma linha de base de 80 km, para se identificar quando e como que se poderia obter uma solução L1 *fixed*, ou mesmo *float*, que atendesse a especificação de exatidão de 0,5 m, imposta pela norma técnica do INCRA para trabalhos de georreferenciamento de imóveis rurais [Incra, 2003].

2 Coleta de dados

Na pesquisa foram utilizados dados amostrais durante um período de dois anos, pois, pois, as informações de uma pesquisa permitem que se façam generalizações desde que se usem amostras adequadamente escolhidas e representativas, para se concluir de uma forma global, com pequena margem estatística de erro sobre o universo que está sendo analisado [Rea & Parker, 2000].

A amostra que foi utilizada retrata uma situação regional e pode ser considerada como representativa de outras regiões com a mesma latitude geográfica, sendo constituída de um conjunto de dados GPS, observados em duas estações de monitoramento contínuo, não homologadas. As estações e a linha-base que as une são mostradas na Figura 1.

A primeira estação, denominada STT, está localizada na Escola de Engenharia de São Carlos, na laje superior da caixa d'água do Departamento de Transportes onde funcionou até o dia 16/05/2004, o conjunto de antena e receptor de sinais GPS, Leica SR9500, de dupla frequência, quando foi substituído, pelo conjunto de antena e receptor, Leica SR9400, de uma frequência. A segunda, denominada CIAGRI, está localizada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” no Centro de Informática onde funciona desde 16/04/2003, o conjunto de antena e receptor de sinais GPS, modelo Trimble ProXL, de simples frequência.

O vetor que liga estas estações possui uma extensão aproximada de 82.738,00 metros de comprimento.

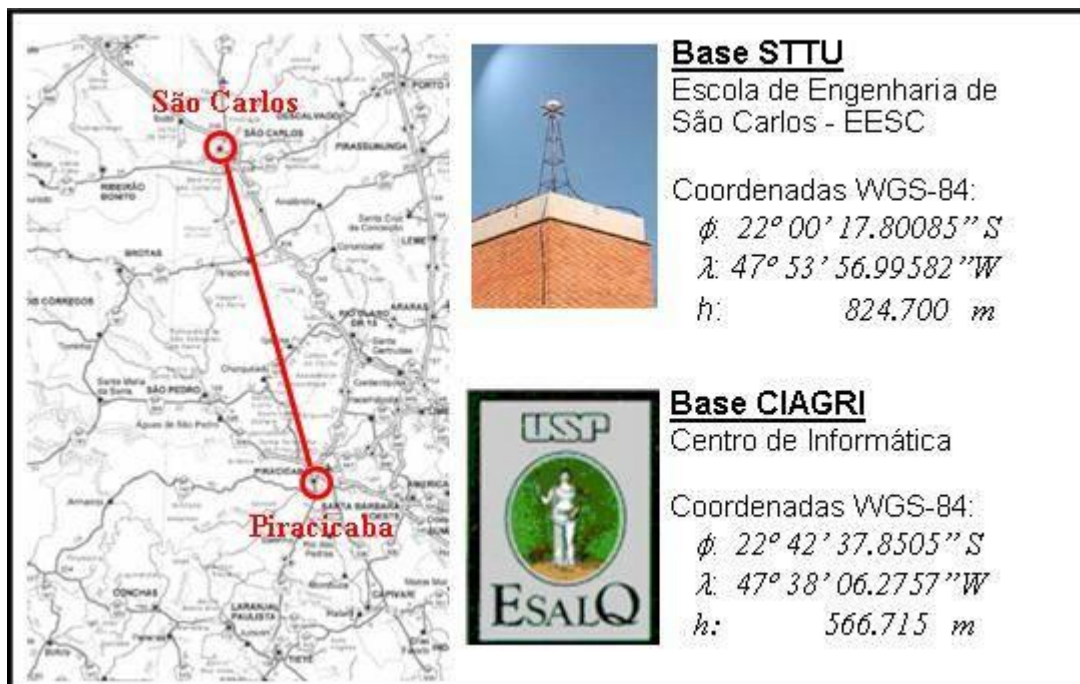


Figura 1 – Local da pesquisa.

A partir dos dados armazenados nestas estações entre agosto de 2003 e julho de 2005, foi selecionada a amostra que contém no mínimo dois dias de coleta contínua a cada mês, constituindo um banco de 3392 horas de dados resultando 1696 sessões com uma hora de duração.

Os dados foram processados com o programa Trimble Geomatics Office, versão 1.0, usando a fase da portadora L1, considerando sempre o vértice STTU como referência e o vértice CIAGRI como “*incógnito*”. O processamento foi realizado nas condições básicas estabelecidas pelo programa, sem nenhuma alteração nos parâmetros de processamento.

A exatidão plana das soluções foi computada com relação às coordenadas conhecidas da estação CIAGRI.

3 Processamento dos dados

A cada dia de investigação foram realizadas 24 sessões de uma hora como mostra a Tabela 1, por exemplo, com os resultados fornecidos pelo programa a partir dos dados coletados no dia 7 de junho de 2005, onde as soluções *fixed* estão destacadas em negrito.

O programa utilizado fornece o tipo de solução, *float* ou *fixed*, o desvio padrão do ajustamento (RMS); a razão entre o inverso do desvio padrão da solução *fixed* adotada com o inverso do desvio padrão do segundo melhor conjunto *fixed* determinado pelo método de fixação (Ratio), comprimento do vetor, desvio padrão do vetor e as coordenadas obtidas para o ponto CIAGRI.

Pode-se observar que opostamente ao que sugerem HOFMANN et. al (2001), num vetor com esta dimensão o RMS da solução não é um indicador consistente. Por outro lado, o desvio padrão da distância apresenta um comportamento bem distinto entre as soluções *fixed* e *float* e nesta amostra se verifica que o maior desvio das soluções *fixed* é 0,003 m e o menor nas soluções *float* é 0,005 m. Outro aspecto que se realça é a aglutinação das soluções *fixed*.

Tabela 1 - Soluções obtidas no dia 7/06/2005

Horário	Solução	Rms	Ratão	Extensão	Desvio	Latitude			Longitude			h
				(m)	(m)	(S)			(W)			(m)
00 a 01	float	0,02	-	82738,51	0,009	22	42	37,81113	47	38	6,29208	562,634
01 a 02	fixed	0,02	2,4	82738,50	0,002	22	42	37,81118	47	38	6,29381	562,65
02 a 03	float	0,02	-	82738,55	0,014	22	42	37,8103	47	38	6,28591	562,564
03 a 04	float	0,03	-	82738,49	0,015	22	42	37,80831	47	38	6,28604	562,615
04 a 05	float	0,02	-	82738,46	0,012	22	42	37,81035	47	38	6,29513	562,606
05 a 06	float	0,02	-	82738,40	0,008	22	42	37,80785	47	38	6,29415	562,644
06 a 07	fixed	0,02	3,9	82738,44	0,001	22	42	37,80922	47	38	6,29422	562,586
07 a 08	fixed	0,01	9,3	82738,46	0,001	22	42	37,81	47	38	6,29481	562,551
08 a 09	fixed	0,02	3,0	82738,44	0,003	22	42	37,80938	47	38	6,29492	562,578
09 a 10	fixed	0,02	3,5	82738,45	0,001	22	42	37,8100	47	38	6,29536	562,563
10 a 11	float	0,01	-	82738,49	0,005	22	42	37,81191	47	38	6,29726	562,406
11 a 12	float	0,03	-	82738,36	0,014	22	42	37,80907	47	38	6,30213	562,626
12 a 13	float	0,06	-	82738,16	0,039	22	42	37,80748	47	38	6,31853	562,324
13 a 14	float	0,06	-	82738,45	0,025	22	42	37,80575	47	38	6,28253	562,473
14 a 15	float	0,05	-	82738,41	0,035	22	42	37,81081	47	38	6,30173	562,312
15 a 16	float	0,03	-	82738,42	0,024	22	42	37,80826	47	38	6,29381	562,836
16 a 17	float	0,06	-	82738,58	0,048	22	42	37,80821	47	38	6,27565	561,788
17 a 18	float	0,05	-	82738,52	0,048	22	42	37,80919	47	38	6,28532	562,318
18 a 19	float	0,05	-	82738,49	0,027	22	42	37,81267	47	38	6,29934	562,559
19 a 20	float	0,04	-	82738,49	0,023	22	42	37,81049	47	38	6,29289	562,489
20 a 21	float	0,04	-	82738,48	0,023	22	42	37,80906	47	38	6,28932	562,597
21 a 22	fixed	0,03	1,9	82738,46	0,002	22	42	37,80972	47	38	6,29391	562,546
22 a 23	fixed	0,02	2,8	82738,44	0,002	22	42	37,80929	47	38	6,29414	562,574
23 a 24	fixed	0,02	2,8	82738,45	0,001	22	42	37,80954	47	38	6,29372	562,593

4 Análise das soluções

A primeira análise realizada foi o levantamento do percentual de ocorrência de soluções *fixed* e a respectiva dispersão das coordenadas obtidas em relação à referência.

A Tabela 2 mostra que nesta linha de base com mais de 80 km ocorre um baixo percentual de soluções *fixed*, e que elas apresentam um valor de dispersão da exatidão plana bem abaixo do 0,5 m solicitado pelo INCRA, enquanto que a solução *float* apresenta uma dispersão mais elevada, sugerindo a princípio que ela deve sempre ser descartada.

Tabela 2 – Soluções obtidas

Solução	Ocorrências	Dispersão do erro real
<i>fixed</i>	196	0,2 m
<i>float</i>	1500	~5,0 m

Em vista da amostra apresentada na Tabela 1 se verifica o comportamento das 196 sessões com solução *fixed* em função da hora média de cada sessão no horário solar médio de Brasília. Não se considerou nesta análise a variação da hora da passagem meridiana do Sol ao longo do ano, devido à excentricidade da órbita terrestre. A figura 2 apresenta o número de ocorrências *fixed* em função da hora média de cada sessão. O Horário de Verão foi desconsiderado.

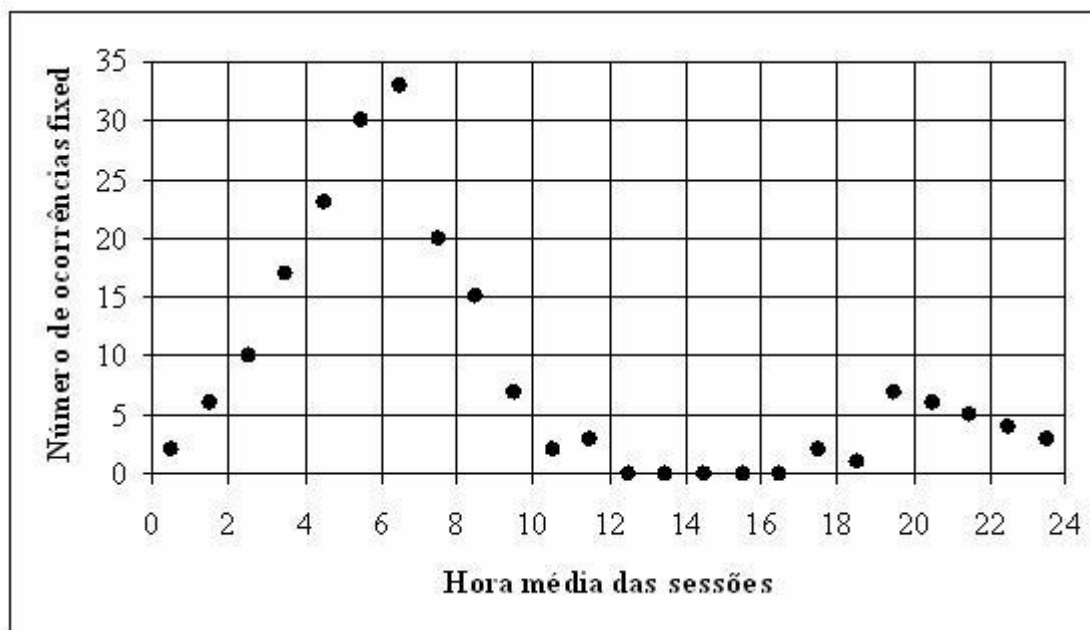


Figura 2 Número de ocorrências de soluções *fixed* ao longo das horas locais.

A figura mostra claramente que há uma dependência da iluminação solar da linha de base. Neste trabalho em particular a linha de base pesquisada tem uma orientação próxima à direção Norte-Sul e a sua iluminação do trajeto ocorre em um intervalo de tempo reduzido, embora, para uma base de 80 km disposta em qualquer direção este termo seja irrelevante.

Outro aspecto analisado foi o comportamento da exatidão plana de todas as soluções, *fixed* e *float*. A Figura 3 apresenta os respectivos valores médios e desvios padrão em função da hora média das sessões.

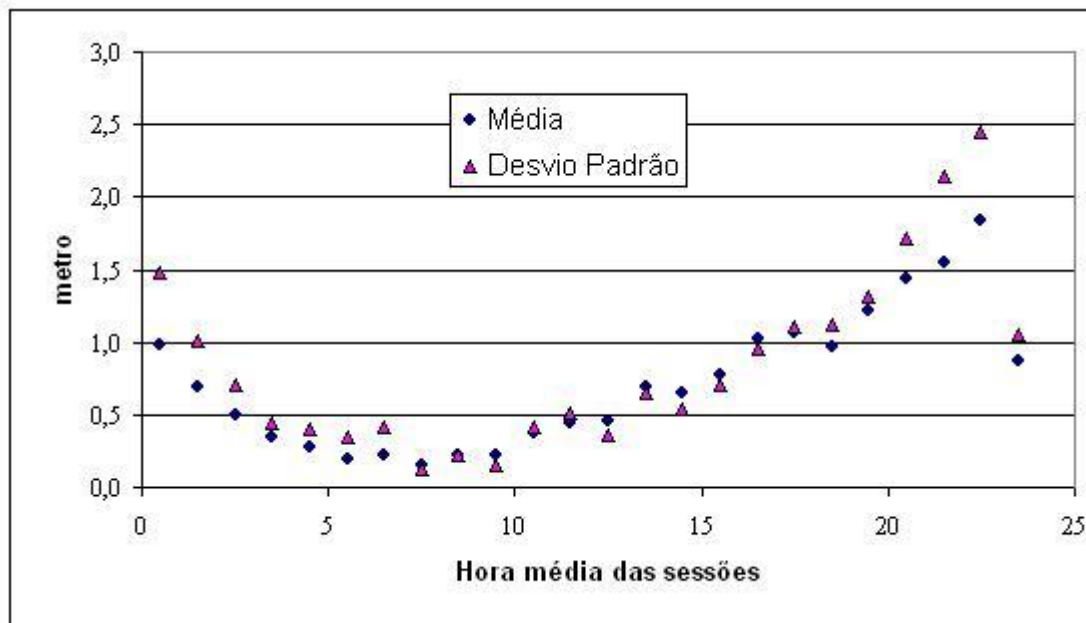


Figura 3 Média e respectivo desvio padrão das exatidões obtidas nas horas médias do dia no período de 24 horas.

Similarmente à ocorrência de soluções *fixed*, o valor da exatidão apresenta um comportamento em função da insolação da linha de base.

Ambos gráficos mostram que a solução, seja ela *fixed* ou *float*, tende a se otimizar no período do início da manhã, apresentando períodos que a exatidão permanece abaixo de 0,5 m, independente da época do ano. Isto indica que existem muitas soluções *float*, que inicialmente seriam descartadas, podem ser utilizadas em trabalhos como o cadastro para o INCRA, Menzori (2005).

A Figura 4 mostra o comportamento da exatidão plana de 74 sessões *fixed* e *float*, registradas em dias diferentes, no horário das 08:00 à 09:00 h, que apresentam uma média e um desvio bem abaixo de 0,5 m. Neste horário, apenas cinco sessões apresentaram exatidão acima de 0,5 m.

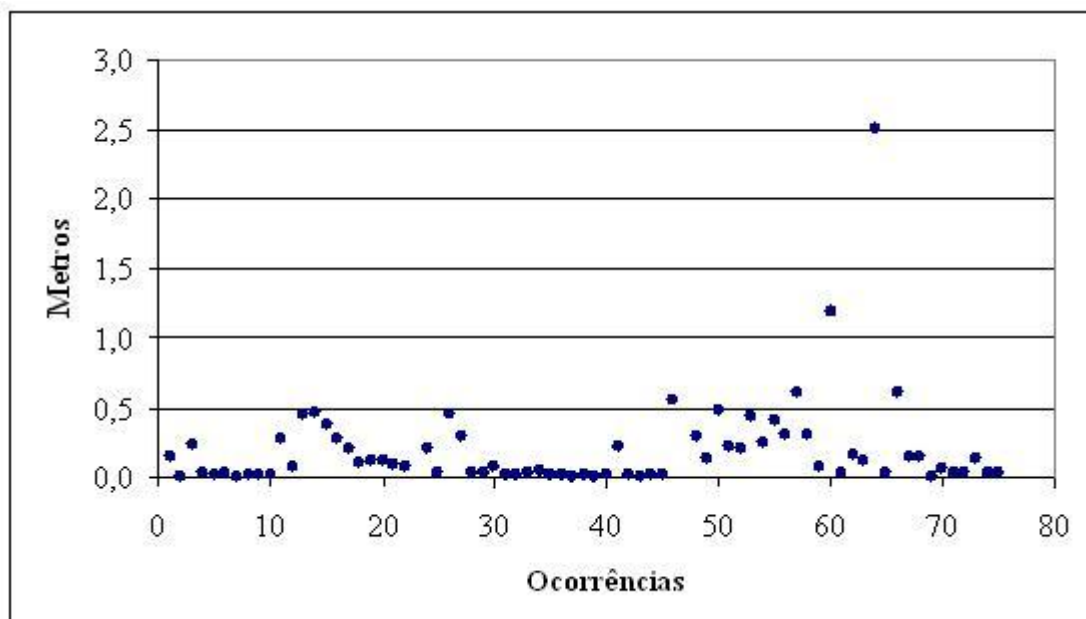


Figura 4: Comportamento da exatidão de 74 sessões no horário das 08:00 à 09:00 h. Situação oposta é mostrada na Figura 5, compreendendo o período das 20:00 às 21:00 h.

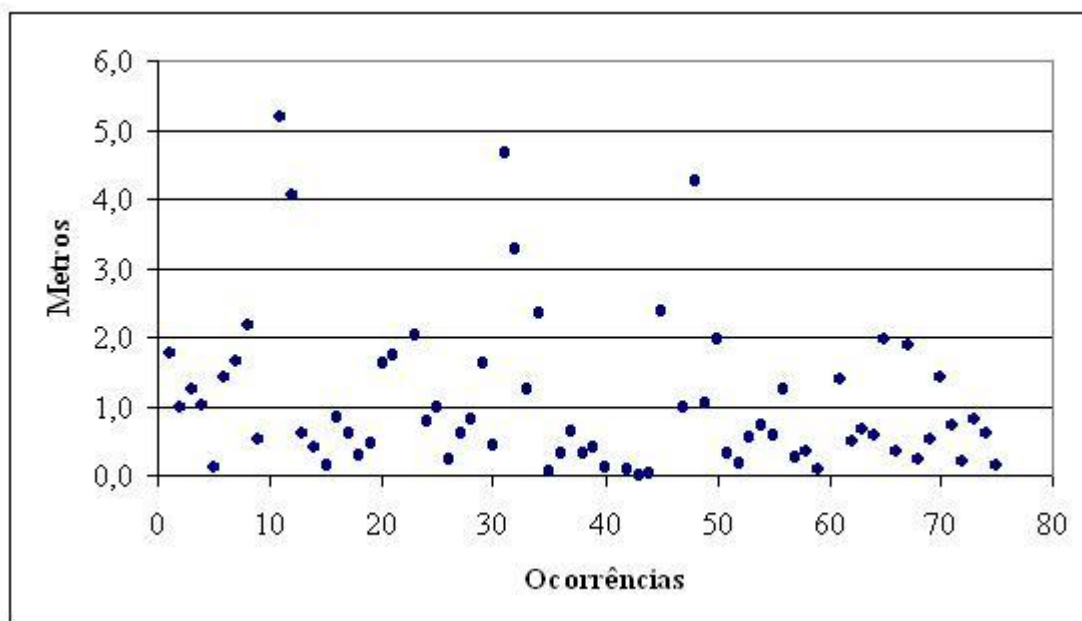


Figura 5: Comportamento da exatidão de 74 sessões das 20:00 à 21:00 h.

5 Conclusões

Lembrando que esta pesquisa tem um caráter regional e abrangeu um período de dois anos, durante o qual ocorreram as mais diversas condições de: atividade solar, condições da troposfera, número de satélites com distintas distribuições espaciais das constelações, ficou claro que estes fatores apresentam uma contribuição limitada em relação processo dinâmico da relação Sol -Terra.

O monitoramento do comportamento individual de cada um dos vetores analisados mostrou que 11% das soluções são *fixed*, mesmo sem a introdução de modificações no *process setup* do programa de processamento (ionosfera, troposfera, número de satélites, tempo de processamento, filtros, etc.).

Outras pesquisas devem ser prosseguidas com dados de bases distintas no hemisfério Norte para consolidar as conclusões.

No próximo passo a ser dado em continuidade a esta pesquisa, os dados coletados diariamente em estações de monitoramento das redes ativas particulares ou públicas, em atividade no estado ou no país, podem deixar de ser meramente armazenados de forma passiva, para assumir um papel ativo na corroboração do que foi aqui identificado como uma tendência.

6 Referências Bibliográficas

Fonseca Jr, F. S.: *O Sistema GPS como ferramenta para a avaliação da refração ionosférica no Brasil*, Tese de Doutorado, apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002

Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtegger, H.; Collins, G.: *Global Positioning System, Theory and Practice*, Editora Springer-Verlag Wien, Austria 2001.

Incra, *Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais*, 2003.

Kim D. & Langley R.B.: *GPS Ambiguity Resolution and Validation: Methodologies, Trends and Issues*, Geodetic Research Laboratory, Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick, Fredericton, Canada. 2000.

Leick, A.: *GPS-Satellite Surveying*, Editora John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2004.

Menzoni, M.: *Classificação da exatidão de coordenadas obtidas com a fase da portadora L1 do GPS*, Tese

de Doutorado, apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

Rea & Parker: *Metodologia de Pesquisa*, Editora Pioneira, São Paulo 2000

Seeber, G.: *Satellite Geodesy*, Editora Walter de Gruyter & Co. Berlim 2003

Wells D. et. Al.: *Guide to GPS Positioning*, Canadian GPS Associates, 1987