

ANÁLISE DA PRECISÃO E ACURÁCIA DE MARCOS GEORREFERENCIADOS COM O USO DA TÉCNICA DE SUAVIZAÇÃO DO CÓDIGO PELA PORTADORA

João Olympio de Araújo Neto
Instituto Federal Sul de Minas - Campus Inconfidentes
joao.olympio@ifs.ifsuldeminas.edu.br
olympioufv@yahoo.com.br

RESUMO

Neste trabalho será apresentado uma análise do comportamento da precisão e acurácia de pontos para fins de georreferenciamento, utilizando o algoritmo de suavização do código C/A (*coarse acquisition*) e a fase da portadora nas observações com receptores GPS de uma frequência. O trabalho foi desenvolvido num trecho da rodovia Washington Luis SP-310, entre as cidades de São Carlos e General Salgado. Foram implantados e ajustados 14 pontos de controle em seções de vários comprimentos. Com base nesses pontos foram feitos levantamentos em diferentes dias e épocas, usando receptores de uma frequência e a técnica de posicionamento “estático rápido” (com frações de rastreamento de 5 minutos, período de duas horas e em dias consecutivos). O processamento dos dados foi feito utilizando diferentes *softwares* de pós-processamento e os resultados apresentam uma comparação entre as coordenadas geodésicas dos pontos de controle e as obtidas nos rastreios com os aparelhos de uma frequência.

Palavras-chave: Suavização do código, fase da portadora, precisão e acurácia

ABSTRACT

This paper discusses the level of accuracy and precision obtained from a series of GPS field measurements using single frequency sensors (L1) and coding smoothing technique. A series of 14 control points have been established using a dual frequency GPS for accuracy determination. All measurements were made using Rapid Static measurement mode with 1 second observation rate and 5 minutes of observation time. Three different sensors were used for comparison based on a post-processing analysis.

Keywords: Smoothing Code, phase carrier, precision, accuracy

INTRODUÇÃO

O Sistema de posicionamento global (GPS) vem se consolidando cada vez mais nos diferentes ramos da engenharia, em particular no processo de georreferenciamento pontual ou territorial. É inevitável se falar em referenciamento global ou navegação sem trazer a memória este sistema de posicionamento mundialmente reconhecido e promissor.

A popularização do uso do sistema GPS no âmbito da mensuração vem se efetivando com a facilidade de atendimento das exigências de exatidão nos processos de maior controle no posicionamento em geral. Cada modelo de aparelho GPS (conjunto sensor/ antena) seja só código, uma ou dupla frequência, fornece diferentes padrões de precisão e acurácia. O melhor padrão de acuidade é obtido com os aparelhos de dupla frequência, que alcançam valores da ordem do milímetro nas observações pós-processadas. Já os equipamentos de uma frequência (L1) podem alcançar padrões de precisão e exatidão da ordem do centímetro, considerando a resolução da ambigüidade das ob-

serváveis da fase. Seu uso é aconselhado até 20 km pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra, 2003).

No Brasil, o georreferenciamento fundiário segundo as diretrizes da lei 10267 (Brasil, 2001) pode ser feito por meio da utilização de receptores GPS de uma frequência (topográfico) ou duas frequências (geodésico), desde que estes atendam às recomendações quanto ao comprimento máximo da linha base (vetorial). Isto é, o aumento gradativo do comprimento do vetor entre o aparelho fixo e o móvel, degrada a exatidão das medidas obtidas com o pós-processamento. O efeito de deterioração da acuidade posicional é resultante de vários fatores, dentre eles o que exerce maior influência são as perturbações provenientes da ionosfera (Seeber 2003).

Os dados observados com instrumentos GPS seguindo a rotina de procedimento e processamento das observáveis, fornecerão as coordenadas “exatas” exigidas pelo INCRA. No entanto, as coordenadas obtidas pelas observáveis advindas de receptores de uma frequência possuem limitações. Ou seja, os resultados de um levantamento para bases médias e longas são afetados pelo efeito sistemático, devido à ionosfera. Porém, para bases curtas, com distâncias menores do que 10 km, a posição relativa pode ser suficientemente acurada (Camargo, 1999 apud Wells et al., 1986).

Uma solução viável para se obter dados melhorados (maior acurácia) por meio de medições com aparelhos GPS de uma frequência (linhas bases superiores a 20 km) quando não se tem exatidão nos posicionamentos utilizando apenas a fase da portadora, seria a combinação entre os dados das observações do código pelas informações advindas da fase da portadora. Este processo de melhoria dos dados do código através das informações da portadora é um algoritmo criado por Ronald R. Hatch (Hatch, 1982).

O filtro de Hatch, como é conhecido internacionalmente possui melhorias e aplicações propostas por outros autores, tais como: Larson (1986), Lachapelle (1986), Meyerhoff e Evans (1986) e Teunissen (1991) (Hofmann-Wellenhof, 2001). O filtro proposto por Hatch se tornou popular no Brasil quando foi citado na norma do INCRA para georreferenciamento de imóveis rurais (Incra, 2003). Nesta, assegura-se que pode ser feito o cadastro rural com receptor GPS de uma frequência fazendo uso da “suavização do código pela portadora” de acordo com as recomendações e informações disponibilizadas pelos fabricantes.

O ideal em levantamentos de bases longas (maiores que 20 km) seria sempre georreferenciar com receptores geodésicos (L1/L2), pois a eliminação do efeito da ionosfera é obtida fazendo uso de combinação das diferentes frequências obtidas nesses aparelhos (Leick, 2004). No entanto, a aquisição destes tipos de aparelhos torna-se financeiramente inviável para alguns profissionais da área, pois o custo pode alcançar um valor de até três vezes o de um instrumento GPS de frequência única.

Em função dos questionamentos antecedentes e emergentes envolvidos na área de mensuração, fez-se este trabalho para caracterizar a precisão e degradação da acurácia de receptores de simples frequência fazendo uso do código suavizado pelas observáveis da portadora em diferentes comprimentos de linha base.

MATERIALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE

Todos os pontos foram materializados com marcos de concreto nas proximidades da linha de demarcação da faixa de domínio (por questão de segurança), no trecho da rodovia SP-310 Washington Luís, entre as cidades de São Carlos e General Salgado no estado de São Paulo (figura 01)

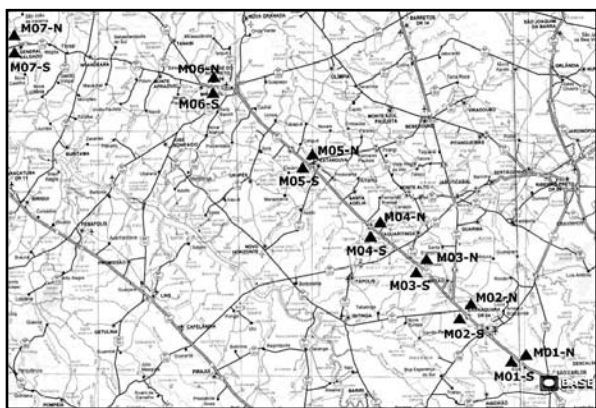


Figura 1. Localização dos marcos ao longo da rodovia SP-310 W. Luís. Trecho: São Carlos - General Salgado.

Estes pontos foram implantados com distâncias aproximadas de: 20, 50, 75, 100, 150, 200 e 300 km, respectivamente, a partir do ponto base estabelecido na Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP. Em todos os setores foi colocado um marco em cada lado da faixa de domínio, um no sentido norte (N) e outro no sentido sul (S), identificados conforme a nomenclatura usada nas placas de identificação de quilometragem da própria rodovia, para facilitar a localização.

Os marcos são feitos de concreto, com um formato cilíndrico e dimensões de 15 cm de diâmetro por 35 cm de altura. O ponto foi materializado no marco por meio de um parafuso inoxidável com um pequeno furo para facilitar a instalação do bastão da antena. Para que não houvesse perigo de destruição dos marcos, estes foram enterrados 33 cm, aproximadamente, deixando um ressalto de 2 cm conforme apresentado na figura 02.



Figura 2. Marco cilíndrico de concreto utilizado em todos os pontos.

RASTREIO DOS PONTOS DE CONTROLE E CÁLCULOS DAS COORDENADAS AJUSTADAS

Dois receptores GPS de dupla frequência foram utilizados para definir as coordenadas georreferenciadas (acuradas e precisas), dos marcos implantados. O equipamento usado foi o modelo GPS System 520, fabricado pela Leica-Geosystems. Segundo o fabricante, este instrumento possui uma precisão de 3 mm + 0,5 ppm (rms) para duas frequências (L1 e L2).

O tempo mínimo de ocupação em cada ponto da seção de trabalho foi baseado nas recomendações feitas pela Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais (Incrá, 2003), com o intuito de resolver o problema da ambigüidade e com uma quantidade de observáveis suficiente para se fazer combinação entre os dados das duas portadoras (ionosfera livre).

O tempo de ocupação depende exclusivamente da distância entre o ponto no qual estão sendo efetuadas as coletas de dados e a base de referência. A seguir são apresentadas duas tabelas, uma com o tempo proposto pela norma e a outra com o tempo real de ocupação.

A tabela 01 apresenta uma relação entre o tempo de ocupação e a distância entre estações (base de referência e GPS móvel) para os levantamentos de controle proposto pelo INCRA.

Tabela 1. Relação entre tempo de ocupação e distância entre estações para levantamentos dos pontos controle (Incrá, 2003).

Distância entre base e móvel (km)	Tempo mínimo de rastreio (h)	Observáveis
Até 20	0,5	L1 ou L1/L2
20 - 50	2,0	L1/L2
Acima de 100	4,0	L1/L2

Os dados da tabela 02 apresentam o tempo de rastreio utilizado neste trabalho, de acordo com as recomendadas pelo INCRA.

Tabela 2. Relação entre tempo de ocupação e distância entre estações dos pontos de controle.

Marco - Distância (km) entre estações	Tempo rastreio (em horas)
M01 - 20	0,5
M02 - 50	1,0
M03 - 75	2,0
M04 - 100	3,0
M05 - 150	4,0
M06 - 200	4,0
M07 - 300	5,0

O processamento diferencial das observações obtidas em ambas portadoras com o receptor de dupla frequência foi realizado pelo software “SKI Pro 3.0”, de fabricação da Leica Geosystems, mesmo fabricante do receptor utilizado nesta fase da pesquisa.

Por se tratar de um programa comercial foram utilizados apenas os parâmetros de processamento de dados disponíveis, limitando-se a fazer as diferentes análises permitidas. Isto permitiu aproximar-se dos métodos utilizados comumente pelos profissionais da área voltados a mensuração, pois estes técnicos fazem uso apenas dos softwares comerciais, devido às facilidades disponíveis pelo mesmo.

Os cálculos de todos os pontos foram feitos utilizando o mesmo padrão de processamento e com mesmo rigor. A seguir serão apresentados os processos e os procedimentos adotados no processamento dos pontos de controle da seção 01 (M01-N e M01-S). Para cada ponto foram calculadas suas coordenadas, fazendo uso da base do EESC-USP, como apresenta a figura 5.1.

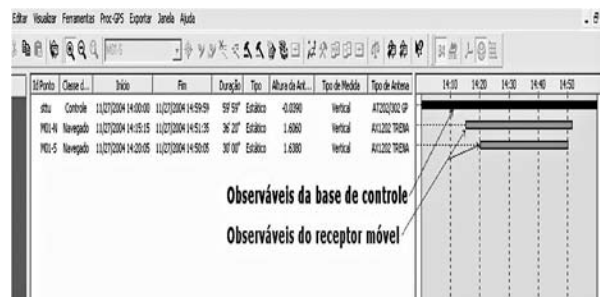


Figura 3. Processamento da seção 01 utilizando a base da USP como referência

As configurações dos parâmetros utilizados no pós-processamento foram:

- 15° para ângulo de corte dos satélites;
- As efemérides foram às transmitidas;
- Opção “Automático” para os dados usados (neste caso foi utilizado a fase da portadora);
- Uso de todos os satélites, por não ter constatado nenhum problema em suas observáveis transmitidas.

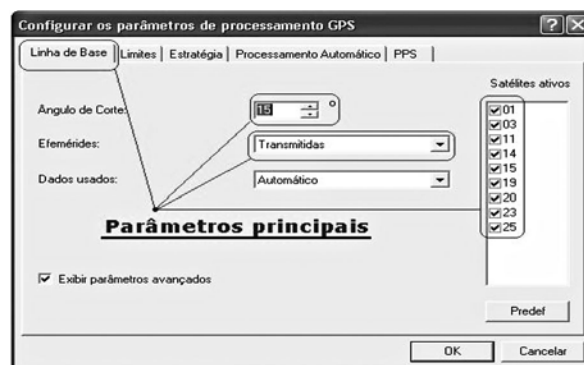


Figura 4. Parâmetros utilizados

Informações sobre o estado de cada satélite no período de rastreio da base, do marco M 01-N e M 01-S.



Figura 5. Satélites observados na base de referência (EESC-USP) com seus respectivos período de rastreio

Depois de analisado a saúde dos satélites, os parâmetros a serem utilizados, os valores de $Pdop$ e $Gdop$, as possíveis perdas de ciclo etc., deu-se início a fase de processamento. No primeiro instante calcularam-se as coordenadas de cada ponto da seção como vetores independentes, fixando-o como refe-

rência a mesma base, no mesmo período de rastreamento. Na fase seguinte, adotou-se como referência um dos pontos de campo e analisou-se a precisão do fechamento vetorial do triângulo formado entre os dois pontos da seção mais a estação de controle.



Figura 6. Satélites observados na estação em campo, do marco M01-N com seus respectivos período de rastreamento

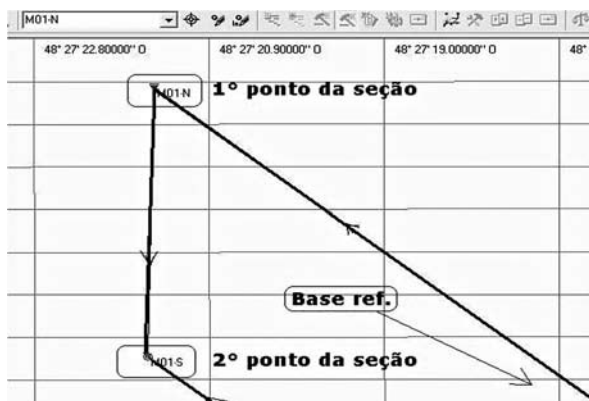


Figura 7. Triângulo formado pelos vetores entre as estações M01-S, M01-N e STTU.

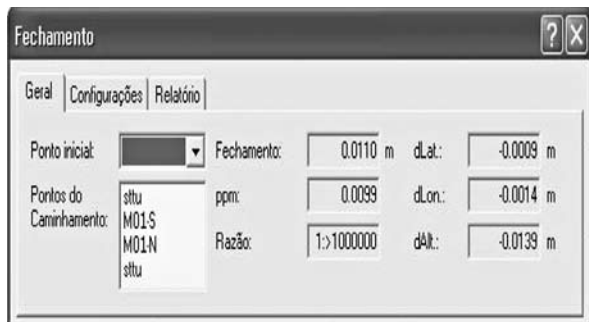


Figura 8. Relatório de fechamento do triângulo formado pelos vetores entre os vértices M01-S, M01-N e a estação STTU.

Todos os relatórios de cada ponto de controle contendo todos os parâmetros utilizados, diluição da precisão nos respectivos horários, tipo de solução, modelo ionosférico e troposférico etc. foram arquivados para o caso de uma posterior análise do trabalho.

A tabela 03 nos apresenta as coordenadas, em UTM - WGS, dos pontos de controle. Apesar da base estar coberta pelo fuso 23, todos os marcos estão contidos no fuso 22.

Tabela 3. Coordenadas dos pontos de controle em UTM

Nome	Coordenadas	
	Leste (E)(m)	Norte (N) (m)
Stt	200663,5610	7563786,4865
M01-N	804549,4981	7574525,9259
M01-S	804542,2596	7574442,1642
M02-N	779587,3910	7595338,7495
M02-S	779487,9843	7595259,9403
M03-N	763433,3793	7611921,5065
M03-S	763429,6514	7611824,2042
M04-N	738540,6728	7631201,864
M04-S	738566,0352	7631092,9474
M05-N	704136,4181	7663039,7573
M05-S	704010,6388	7662968,4504
M06-N	659684,1552	7697597,4278
M06-S	659674,3372	7697521,0338
M07-N	562574,0881	7716836,6213
M07-S	562549,2798	7716786,7242

RASTREIO E PROCESSAMENTO DAS OBSERVÁVEIS GPS COM RECEPTORES DE SIMPLES FREQUÊNCIA

No rastreamento com receptores GPS de uma frequência foram utilizados diferentes marcas, com intuito de se obter uma maior

diversidade de informações, já que existem diferentes recomendações expressas pelos respectivos fabricantes de GPS, e cada modelo utiliza diferentes variáveis nos algoritmos de solução da ambigüidade nos *softwares* de pós-processamento dos dados (Inkra, 2003).

Nesta fase utilizou-se 03 (três) receptores GPS topográfico, sendo que cada aparelho foi instalado, no mínimo, duas vezes no mesmo ponto em cada seção da rodovia, somando um período de rastreo aproximado de uma hora para cada dia, independentemente da distância da base de referência. Estes dados foram subdivididos em um tempo aproximado de 5 (cinco) minutos, constituindo um levantamento estático rápido.

O processamento foi feito com o *software* SKI Pro 3.0 da Leica Geosystems, o qual faz uso do da suavização do código pela portadora. Os dados não compatíveis com programa foram convertidos na extensão RINEX para serem processados.

CÁLCULOS DA DISSIPAÇÃO DA PRECISÃO E ACURÁCIA NOS GPS DE UMA FREQUÊNCIA

A diluição da acuidade das coordenadas obtidas pelos três receptores GPS de simples frequência, com o uso do código suavizado pela portadora para rastreo em modo estático rápido, foram calculadas em função das medidas obtidas pelos instrumentos de dupla frequência, conforme citado anteriormente. Em coordenadas UTM, o módulo das abscissas dos pontos de controle (E_{L1L2}) subtraídas dos pontos em análise (E_{L1}), nos informa as dispersões provenientes nas abscissas (ΔE); para as ordenadas foi utilizado mesmo procedimento, como se segue:

$$\Delta E = | E_{L1L2} - E_{L1} | \quad (1)$$

$$\Delta N = | N_{L1L2} - N_{L1} | \quad (2)$$

Onde os subscritos L1L2 e L1 representam o tipo de instrumento do qual foi obtido as observáveis deste produto.

O erro da acuidade radial será fornecido utilizando as dispersões das coordenadas, conforme equação (3).

$$Erro = [\Delta E^2 + \Delta N^2]^{1/2} \quad (3)$$

A precisão, ou acurácia aparente, é calculada pelo *software* usado para processar os dados e não faz relação alguma com as coordenadas de controle. A precisão é fornecida pela dispersão relativa das coordenadas individuais em função da média das coordenadas medidas. Neste trabalho, mais de 90% dos valores das precisões obtiveram resultados inferiores a 10 cm em função dos valores das dispersões da acurácia. Concretiza-se a maçante recomendação de que os valores das precisões fornecidas no procedimento de cálculo não pode ser parâmetro final de avaliação na confiabilidade dos resultados.

RESULTADO DA DILUIÇÃO DA ACURÁCIA OBTIDAS NOS GPS DE UMA FREQUENCIA

As seguintes tabelas nos mostram as faixas de dispersões obtidas pelos receptores A, B e C (nome fictício de cada marca), como o número de medidas inclusas nessas faixas (10, 20, 30, 40, 50 cm e superior). De acordo com as apresentações das tabelas abaixo, o receptor da marca A, foi utilizado somente na primeira etapa do trabalho. Os aparelhos da marca B e C foram utilizados nas duas etapas do projeto.

Tabela 4. 1º Dia da PRIMEIRA - Resultados obtidos

GPS	Dist Base (Km)	≤10 cm	10> e ≤20 cm	>20 e ≤30 cm	>30 e ≤40 cm	>40 e ≤50 cm	>50 cm
A	20	0	6	2	1	0	7
	30	0	0	1	3	2	6
	75	0	0	0	0	0	12
	100	0	2	0	0	0	10
	150	0	0	0	0	0	12
	200	0	0	0	0	0	12
	300	10	0	0	0	0	23
B	20	1	6	1	3	1	0
	30	2	1	1	4	2	2
	75	3	4	2	1	2	0
	100	0	0	0	3	3	6
	150	3	1	1	1	3	3
	200	0	0	1	1	0	10
	300	0	1	0	4	2	24
C	20	6	6	0	0	0	0
	30	3	5	1	1	1	1
	75	0	1	7	4	0	0
	100	2	9	1	0	0	0
	150	0	4	2	3	2	0
	200	0	0	1	0	1	10
	300	0	0	0	1	1	22

Tabela 5. 2º Dia da PRIMEIRA - Resultados obtidos

GPS	Dist. Base (Km)	≤10 cm	10> e ≤20 cm	>20 e ≤30 cm	>30 e ≤40 cm	>40 e ≤50 cm	>50 cm
A	20	0	4	0	5	3	0
	30	0	0	6	2	0	4
	75	0	0	0	0	0	12
	100	0	0	6	1	1	4
	150	0	0	0	8	0	4
	200	0	0	0	0	3	9
	300	1	0	0	0	0	23
B	20	2	2	4	1	2	1
	30	0	4	2	0	2	4
	75	0	0	2	5	4	1
	100	0	0	0	2	1	9
	150	0	2	5	3	2	0
	200	3	3	6	1	0	0
	300	2	2	3	5	0	0
C	20	3	6	3	0	0	0
	30	4	2	5	0	1	0
	75	1	3	7	1	0	0
	100	1	8	3	0	0	0
	150	1	3	1	0	0	0
	200	8	3	1	0	0	0
	300	0	0	0	0	0	0

Tabela 6. 1º Dia da SEGUNDA - Resultados obtidos

GPS	Dist. Base (Km)	≤10 cm	10> e ≤20 cm	>20 e ≤30 cm	>30 e ≤40 cm	>40 e ≤50 cm	>50 cm
B	20	0	0	1	3	1	6
	30	0	4	2	2	0	4
	75	0	0	0	0	0	12
	100	0	0	0	0	0	12
	150	0	0	0	0	0	12
	200	0	0	0	0	0	12
	300	0	0	1	0	1	18
C	20	0	2	0	2	1	6
	30	0	0	1	3	2	6
	75	0	0	0	0	0	12
	100	0	0	0	0	1	11
	150	0	0	0	0	0	12
	200	0	0	0	0	0	12
	300	0	0	0	0	1	11

Tabela 7. 2º Dia da SEGUNDA - Resultados obtidos

GPS	Dist. Base (Km)	≤10 cm	10> e ≤20 cm	>20 e ≤30 cm	>30 e ≤40 cm	>40 e ≤50 cm	>50 cm
B	20	0	1	0	1	2	8
	30	0	0	0	0	0	12
	75	0	1	2	2	2	5
	100	0	0	0	0	0	12
	150	0	0	0	0	1	11
	200	1	0	3	0	2	6
	300	2	2	3	4	1	0
C	20	0	0	1	0	0	11
	30	0	0	0	3	0	9
	75	0	0	0	0	0	12
	100	0	0	0	0	0	12
	150	0	0	0	0	0	12
	200	0	0	1	5	4	2
	300	0	0	0	0	0	0

CONCLUSÕES

A verificação dos desvios das coordenadas dos três receptores GPS utilizados neste trabalho foi feita usando o recurso do código suavizado pela fase da portadora, e o limite máximo admissível foi igual a 50 cm, em função da Lei 10.267 que trata do georreferenciamento fundiário brasileiro.

Na primeira etapa da coleta (primeiro rastreio) os dados obtiveram resultados significativos (tab. 04 e tab. 05), com poucas dispersões com relação à etapa posterior. A acuidade dos levantamentos feitos no 1º dia da 1ª

coleta foi bem melhor quando comparadas ao 2º dia da 1ª coleta, principalmente quando se utilizaram dados da base de referência até 150 km. Isto foi para os receptores “B” e “C”, o receptor “A” não obteve tanto êxito. No segundo rastreio, da primeira etapa, os receptores “A” e “B” obtiveram resultados menos satisfatórios, mas vale ressaltar que o segundo receptor obteve uma seqüência lógica de dispersão, o que não tinha havido anteriormente.

Na segunda fase de coleta das observáveis, em outra época, foram utilizados apenas os equipamentos que fazem uso da suavização do código (B e C). Os dados foram bastante degradados neste dia (tab. 06 e tab. 07), não obtendo êxito na acurácia das suas coordenadas. Em todos os marcos foram observadas coordenadas em que a sua acurácia ultrapassasse o limite de 50 cm, colocada como fator determinante de aceitação.

Em função dos resultados obtidos, avalia-se que a suavização do código por meio da fase da portadora, melhora significativamente os resultados quando não se consegue trabalhar com a fase no modo convencional, podendo alcançar precisões em nível do milímetro e na maioria das vezes centímetro. Todavia, os valores de acurácia alcançado por essa técnica não garantem segurança em 100% das medições. Por isso a nossa recomendação é que o usuário não deve proceder a um processo de medição com apenas o código sem estabelecer um processo de verificação rigoroso dos resultados. Não se devem aceitar os resultados apenas com base na indicação da qualidade da medição, já que eles são sempre otimistas e não são indicadores da acurácia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, 2001. Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. **Lei de criação do sistema público de registro de terras**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110267.htm>. Acessado em 10.07.2003.

CAMARGO, P.O. **Modelo Regional da Ionosfera Para o Uso em Posicionamento com Receptores GPS de Uma Frequência**. Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, Curitiba - PR, 1999.

HATCH, R.R.; Keegan, R.G.; Stansell, T.A. Code and Phase Multipath Mitigation Techniques. **Leica's, ION**, Proceedings of the National Technical Meeting, January, 1997.

INCRA, 2003. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 1. ed. Disponível em: <ftp://200.252.80.5/Cartografia/download/Norma%20T%E9cnica.pdf>. Acessado em 12.02.2004.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global Positioning System Theory and Practice**. 5. ed. Springer-Verlag, New York:, 2001.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3. ed., John Wiley & Sons, New York, 2004.

MONICO, J.F.G., **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo, Editora Unesp. 2000.

SANTOS, M.S.T. **Potencialidades do GPS em levantamentos geofísicos terrestres**. Dissertação de Mestrado. Curso de pós-graduação em Geofísica do IAG-USP, São Paulo, 2005. 140 p.

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

WERKEMA, M.C.C. **Avaliação da qualidade de medidas** - Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.