

A Contribuição do GPS no Levantamento Imobiliário Cadastral

Verônica Maria Costa Romão
Admilson da Penha Pachêco
Ana Lúcia Bezerra Candeias
José Luiz Portugal
Lucilene Antunes C. Marques de Sá
Tarcísio Ferreira Silva

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Departamento de Engenharia Cartográfica - DECart
R. Acadêmico Hélio Ramos s/n - Cidade Universitária
50740-530 Recife-PE Fone/Fax: 081-2718235
✉ vcosta@npd.ufpe.br

Conteúdo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. Condução das Medições GPS <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Medições Estáticas 2.2 Medições Estático-rápidas 2.3 Medições Stop-and-go 3. Processamento das Observações <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Rede de Referência Local 3.2 Pontos Limites de Propriedades 3.3 Processamento dos Pontos de Detalhes 3.4 Levantamento Cinemático em Tempo Real (RTK) 4. Conclusões 5. Referências Bibliográficas
-----------------	---

Resumo: O Sistema de Posicionamento Global GPS, diante de suas grandes vantagens em relação aos métodos clássicos, vem sendo já rotineiramente empregado nas mais diversas tarefas geodésicas. Em regiões onde a infraestrutura geodésico-cartográfica é insuficiente, faz-se necessário o uso do GPS no maior número possível de tarefas do cadastro não só imobiliário como também utilitário (cadastro de serviços). Com a vantagem hoje, diante do acelerado desenvolvimento de receptores GPS e de software, de se levantar grandes áreas em curtíssimo tempo, empregando-se os métodos rápidos de observação. O presente trabalho trata do emprego do GPS no levantamento de limites de propriedades e de pontos topográficos, discutindo a precisão obtida e os métodos de observação e cálculo utilizados.

Palavras chaves: Cadastro, GPS, Métodos Rápidos de Observação

Abstract: The Global Positioning System GPS, is being used with advantages in relation to classical methods in several geodetic tasks. In areas of poor geodetic-cartographic infrastructure, the use of GPS in most of the cadastral tasks is necessary. With the high speed in the development of GPS receivers and software, various techniques have been used today that exploit the capability of GPS with rapid methods of observation. This work presents the possibilities of the use of GPS in cadastral surveying as well as discusses the precision of the results and the methods of observation and processing.

1. Introdução

Desde sua implementação, o sistema GPS tem sido empregado, com grandes vantagens em relação às técnicas terrestres convencionais, na instalação de redes geodésicas nos seus diversos níveis de precisão (Romão 1995; Seeber 1993; Seeber et Romão 1997).

Em regiões com infra-estrutura geodésico-cartográfica deficiente, o emprego do GPS tem se expandido cada vez mais na solução de diversas tarefas, as quais foram até o momento mais restritas às técnicas terrestres convencionais, tais como no levantamento de limites de propriedades, edificações e outros tipos de levantamentos de detalhes para o cadastro em geral.

Para pesquisar as possibilidades de uso do GPS no cadastro, foi conduzido em 1994, em uma pequena cidade da Alemanha (Saltzmitter Niedersachsen), um projeto apoiado pelo Órgão de Cadastro Público (Katasteramt) do município.

Na área em estudo (Fig. 1) foram levantados os pontos de levantamento (AP), os limites de propriedades e as edificações através da taqueometria eletrônica, cujos resultados serviram de referência para comparação com os resultados GPS. A precisão exigida pelo Órgão de Cadastro alemão é da ordem de 1 a 2 cm para os limites de propriedades e de 3 a 4 cm para as edificações.

2. Condução das Medições GPS

O levantamento de campo foi conduzido em 5 dias, utilizando-se 3 receptores de dupla frequência do tipo ASHTECH Z12 com código P, e um receptor de uma frequência tipo NAVSTAR XR5M. À época das observações o número máximo de satélites visíveis era de 6 e o valor do PDOP ficava em torno de 3, com uma piora por volta das 12 horas locais (Fig. 2)

Ao todo foram levantados por GPS 113 pontos limites de propriedades, 7 pontos de levantamento, 42 pontos bocas-de-lobo e 7 postes de energia elétrica.

Como métodos de observação, foram empregados o estático, o estático-rápido e o stop-and-go. Ao final do trabalho foi ainda empregado o método cinemático em tempo real (RTK), cujos resultados foram também comparados com os resultados existentes do cadastro convencional.

2.1 Medições Estáticas

Dos 7 pontos de levantamento (AP), 4 foram amarrados a uma estação permanente GPS, localizada em Hannover, distante 50 km da área de trabalho, através de observações estáticas com um tempo que variou entre 1,5 e 5 horas. Com essas medições foi formada uma rede de referência local, mostrada na figura 3.

2.2 Medições Estático-rápidas

As medições com o método estático-rápido foram conduzidas em dois dias em 12 pontos limites de propriedades e em pontos de levantamento, com um tempo de observação de 15 min em cada ponto, tendo no 1º dia o ponto A242 como estação de referência. No dia seguinte os mesmos pontos foram reocupados e observados, com idêntico tempo de medição, mas com relação a outra estação de referência, o ponto A241.

2.3 Medições Stop-and-go

Todos os pontos limites de propriedades, pontos de levantamento, pontos de bocas-de-lobo e postes foram levantados com o método stop-and-go, com um intervalo de tempo de 2 seg e um tempo de observação de 30 seg. No caso do receptor XR5M, as observações tiveram um intervalo de 1 seg e uma duração de 10 seg nos mesmos pontos.

Com exceção das medições realizadas com o receptor XR5M, as observações stop-and-go foram inicializadas com "troca de antenas" (antenna swapping) para a solução da ambiguidade de fase. No caso do levantamento com o XR5M, foi utilizada a solução da ambiguidade durante o movimento (On The Fly).



Fig. 1: Área de Trabalho das Medições GPS (Salzgitter)

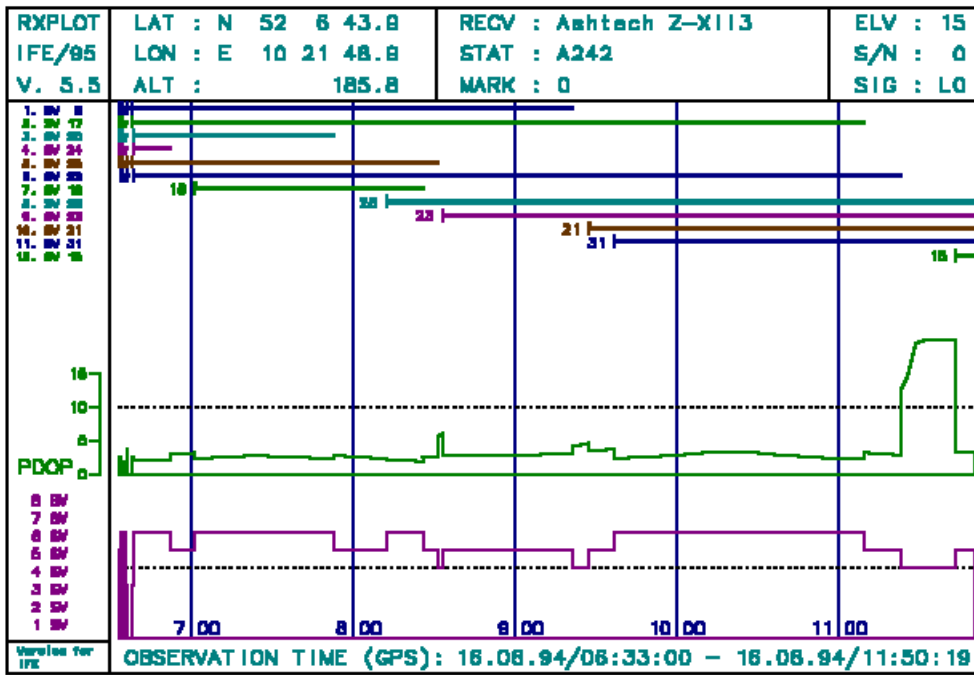


Fig. 2: Diagrama de Visibilidade dos Satélites

3. Processamento das Observações

3.1 Rede de Referência Local

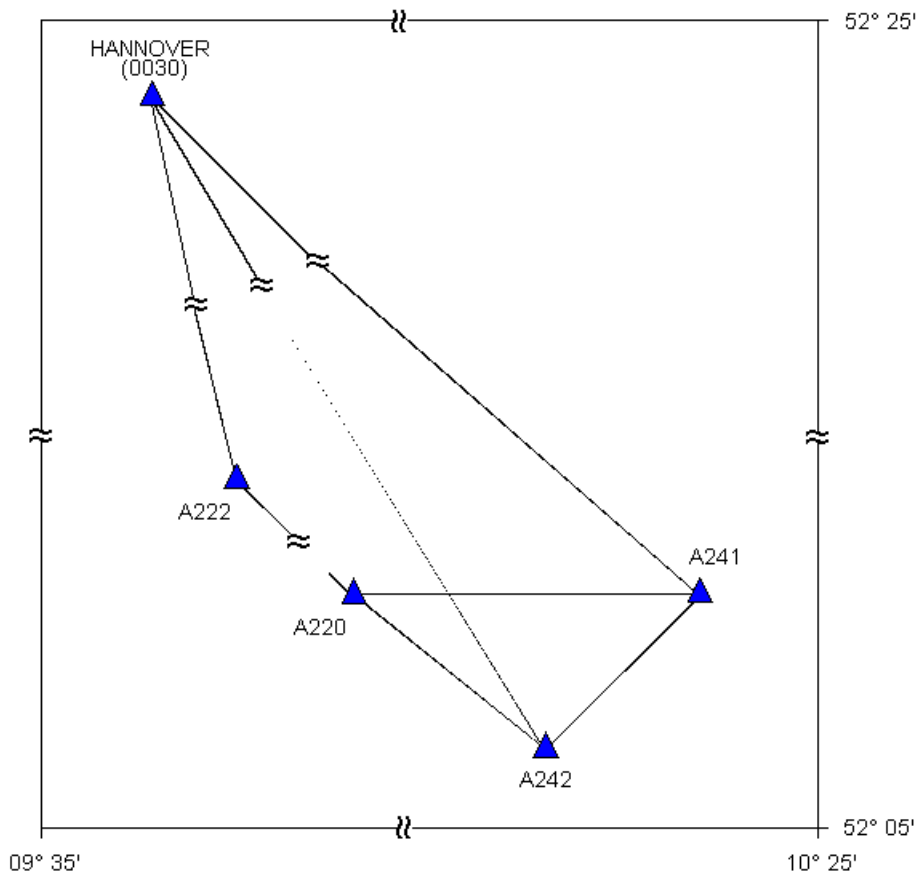


Fig. 3: Rede de Referência Local Ligada à Estação Permanente GPS Hannover

A rede de referência local (cf. Fig. 3) foi processada com o sistema de programas científico GEONAP (Wübbena 1991), desenvolvido no Instituto de Geodésia da Universidade de Hannover. Todas as ambiguidades no cálculo das grandes linhas de base foram resolvidas com a combinação linear "widelane". No entanto verificou-se posteriormente, através de testes conduzidos com outros tipos de combinações lineares, que a ambiguidades não haviam sido corretamente fixadas. Desta forma, optou-se pelo uso, nos cálculos seguintes, dos resultados das soluções "float" (*float solution*) dessas grandes linhas (Romão 1996). Os desvios-padrão das coordenadas relativas resultantes do ajustamento da rede ficaram entre 4 mm e 2,5 cm para as coordenadas horizontais, e entre 4 mm e 6 cm para a altura.

Para se verificar as relações de vizinhança entre os pontos de levantamento, foram comparados entre si os resultados de dois dias de levantamentos com o método estático-rápido, sendo tomada uma estação de referência diferente (A241 e A242) para cada dia.

Para esta comparação foram conduzidos dois tipos de cálculos: a) as coordenadas dos pontos de referência A241 e A242 foram obtidas da ligação individual à estação permanente Hannover; b) as coordenadas dos pontos de referência A241 e A242 foram obtidas do ajustamento da rede de referência local. Os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1

Procedimento	Discrepâncias entre os dois Levantamentos com o Método Estático-rápido (cm)		
	dN	dE	dH
a) ligação individual direta	1,0	2,9	6,9
b) rede de referência local	1,0	1,4	1,4

Como era de se esperar, os resíduos no primeiro procedimento são maiores que no segundo, principalmente em relação à componente vertical. Nota-se pelos resultados que, sob as condições, como eram na época das medições, nem sempre é possível se determinar pontos de levantamento através de ligações diretas a estações de referência distantes em torno de 50 km, sem prejuízo para as relações de vizinhança. Por outro lado, pode-se verificar que os resíduos obtidos de 1 até 3 cm para as componentes horizontais, fazendo-se este tipo de amarração, são suficientes para muitas aplicações no Brasil, inclusive no cadastro (Romão *et al.* 1996). Esta é a mesma ordem de grandeza dos resíduos quando comparamos as coordenadas GPS com as coordenadas terrestres existentes do cadastro, como mostra a tabela 2.

Tabela 2

Resíduos: GPS Gauss-Krüger		
Pontos	Norte	Leste
A220	1,8	0,8
A241	0,1	2,4
A242	0,1	0,4

3.2 Pontos Limites de Propriedades

Os cálculos das medições GPS sobre os pontos limites de propriedades foram feitos com o GEONAP e, para os dados ASHTECH, foi utilizado também o programa comercial GPPS.

Os valores da precisão relativa das coordenadas resultantes do ajustamento realizado com os dois programas nos dois métodos de observação são vistos na Tabela 3.

Tabela 3

Método de Observação	Desvio-padrão das Coordenadas Relativas (cm)					
	GEONAP			GPPS		
	Latitude	Longitude	Altura	Latitude	Longitude	Altura
Estático-rápido	1,7	1,1	3,3	0,6	0,4	0,8
Stop-and-go	3,4	2,6	8,1	1,3	1,4	1,0

Os resultados com o programa GPPS mostram valores muito otimistas para o cálculo do desvio-padrão, quando comparados com o resultado do GEONAP. Verifica-se ainda que os desvios-padrão no método stop-and-go, quase duas vezes maiores que os do estático-rápido, justificam-se pelo curtíssimo tempo de observação, próprio do método, e do pequeno número de satélites visíveis na época.

Como todos os pontos foram ocupados duas vezes nos dois métodos de observação, em relação a duas diferentes estações de referência, A241 e A242, os dois resultados das duas soluções independentes de cada método (estático-rápido e stop-and-go) puderam ser comparados entre si. A tabela 4 mostra os resíduos médios entre as duas soluções com o método estático-rápido e as duas soluções com o método stop-and-go.

Tabela 4

Métodos de Observação	Resíduos entre as duas Ocupações (cm)		
	dN	dE	dH

Estático-rápido	1,1	1,4	1,4
Stop-and-go	1,2	4,6	7,8

Na tabela 4 encontramos resíduos de 1 a 1,5 cm para as componentes horizontais e de 1,4 para a componente vertical, no caso do método estático-rápido. Já no método stop-and-go, os resíduos médios são da ordem de 1 a 5 cm para as componentes horizontais e de 8 cm para a componente vertical. Os valores mais elevados para a solução stop-and-go em relação ao estático-rápido se explicam pelas condições pouco favoráveis para o segundo método, como uso de bastão em vez de tripé, e alguns segundos de observação contra 15 mim.

A concordância dos resultados das medições estático-rápido e stop-and-go foi verificada através de uma transformação tridimensional de similaridade. Os resíduos médios entre as duas soluções são da ordem de 2,5 cm para as coordenadas horizontais e para a altura (Tab. 5).

Tabela 5

Resíduos: Estático-rápido Stop-and-go (cm)		
dN	dE	dH
1,5	1,9	2,5

Os resultados dos cálculos com o programa GEONAP e o programa GPPS foram comparados entre si nos dois métodos de observação empregados. Os resíduos no estático-rápido são da ordem de 1 a 2 cm para as componentes horizontais e de 2 cm para a altura. No método stop-and-go as diferenças são 2 vezes maiores (Tab. 6).

Tabela 6

Métodos de Observação	Resíduos: GEONAP GPPS		
	dN	dE	dH
Estático-rápido	1,0	1,7	2,2
Stop-and-go	3,7	2,9	5,4

Verifica-se que os resultados do método estático-rápido apresentam uma alta precisão, podendo assim ser usado em inúmeras aplicações. Da mesma forma, a precisão alcançada com o stop-and-go, de 1 a 5 cm para as coordenadas horizontais e a vertical, preenchem as exigências para a maioria das aplicações em GIS e no cadastro no Brasil (Romão et al. 1996). A vantagem aqui é o curto tempo de medição necessário.

Por último, foi realizada uma comparação entre as coordenadas obtidas com o GPS e as coordenadas resultantes do levantamento taqueométrico existente no Órgão Público de Cadastro da cidade, para se verificar a precisão externa do levantamento GPS. As coordenadas GPS, referenciadas ao sistema WGS-84 foram transformadas para o sistema local (coordenadas Gauss-Krüger).

As comparações foram feitas separadamente para as diferentes técnicas de levantamento GPS. Para se evitar a influência de eventuais erros residuais sistemáticos, a comparação foi feita por meio de uma transformação de similaridade. Os resíduos são mostrados na tabela 7.

A comparação externa mostra que os melhores resultados foram alcançados com o método estático-rápido. Mas, como já foi dito antes, o método stop-and-go atende perfeitamente a precisão exigida em muitas aplicações na área do GIS e cadastro.

Tabela 7

Método de Observação	Resíduos: GPS Gauss-Krüger (cm)			
	GEONAP		GPPS	
	dN	dE	dN	dE
Estático-rápido (1º dia)	1,8	0,6	1,4	1,7
Estático-rápido (2º dia)	1,5	1,6	1,8	1,9
Stop-and-go (com ASHTECH)	1,2	3,2	1,4	2,8
Stop-and-go (com XR5M)	1,7	2,1	—	—

Verifica-se também que os resíduos encontrados com o receptor XR5M são baixos. Isto significa que para pequenas distâncias, receptores de uma frequência conduzem a soluções de ambiguidades de forma muito rápida.

A tabela 7 mostra também que não há uma diferença acentuada entre os resultados obtidos com o GEONAP e os resultados do GPPS. Isso confirma o uso de programas comerciais em levantamentos de pequenas áreas.

3.3 Processamento dos Pontos de Detalhes

Os pontos de detalhes, como postes, bocas-de-lobo e quinas de casas foram levantados com os receptores ASHTECH através do método stop-and-go. O processamento desses dados foram conduzidos com os dois programas, GEONAP e GPPS. Como cada ponto foi ocupado uma única vez, o controle dos resultados só pode ser realizado através da comparação com as coordenadas terrestres existentes em Gauss-Krüger.

A precisão média do levantamento dos detalhes obtida do processamento com o programa GEONAP foi da ordem 1 cm para as tres coordenadas, enquanto que os resíduos oriundos da comparação das coordenadas GPS com as coordenadas terrestres existentes são da ordem de 2 a 3 cm.

3.4 Levantamento Cinemático em Tempo Real (RTK)

Para finalizar, foram realizadas medições em 40 pontos limites de propriedades com 2 receptores TRIMBLE SSI no modo RTK (Real Time Kinematic). Um receptor ficou instalado em um determinado local da área de medição, na forma de "estacionamento livre", enquanto o outro receptor ocupava 3 pontos de levantamento, para definir o sistema de coordenadas local. Através de um sistema de comunicação ("link de rádio") as coordenadas dos 40 pontos foram obtidas em tempo real no sistema local. No total, foram necessárias duas horas para o levantamento completo. A comparação desses resultados com as coordenadas terrestres cadastrais apresentaram resíduos de 1 a 4 cm, ficando na mesma ordem de grandeza dos demais métodos.

4. Conclusões

O estudo realizado deixa claro que o GPS pode ser empregado, com grande vantagem em relação aos métodos convencionais, no cadastro e também nos sistemas de geo-informações (GIS), tanto para o levantamento de redes locais, de pontos limites de propriedades, como para o levantamento de detalhes.

Como foi mostrado no item 3.1, a amarração direta a uma estação GPS de referência, distante em torno de 50 km da área de levantamento, atende, nas condições atuais em que o Sistema se encontra (maior número de satélites visíveis), as exigências de precisão em diversas aplicações, com suficiente confiabilidade.

Dos resultados dos levantamentos dos pontos limites de propriedades e dos pontos de detalhes, verifica-se que, embora o método estático-rápido apresente uma alta precisão com 15 minutos de observação, o emprego do método stop-and-go, com uma precisão encontrada da ordem de 1 a 5 cm, é suficiente para muitas aplicações no Brasil, inclusive cadastro e GIS. Aqui salienta-se a grande vantagem do método, que é o curtíssimo tempo de medição.

Vale ressaltar aqui os novos desenvolvimentos, como o conceito de serviços PDGPS, em que, através de uma rede de estações de referência com distâncias em torno de 50 a 70 km, os erros residuais sistemáticos (órbita, ionosfera) podem ser modelados dentro de uma precisão em torno de 1 cm, e colocados à disposição do usuário em forma de correções, que podem ser transmitidas em tempo real (Seeber *et al.* 1996, Wübbena *et Bagge* 1995). Para isso é necessário se dispor de algoritmos potentes para a solução rápida das ambiguidades em distâncias longas.

No Brasil está em implantação a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), atualmente com 9 estações em funcionamento e mais 3 estações programadas para funcionar ainda este ano, a qual pode ser usada para o desenvolvimento de uma Wide Area Differential GPS (WADGPS). Até o momento, no entanto, a RBMC só funciona para o emprego em pós-processamento. Maiores informações podem ser encontradas em Fortes *et al.* (1997).

5. Referências Bibliográficas

Fortes, L.P.S.; R.T. Luz; K.D. Pereira; S.M.A. Costa; Blitzkow D.: *The Brazilian network for continuous monitoring of GPS (RBMC): Operation and products.* In: XVIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, 1997.

Romão, V.M.C.: *Der Beitrag von GPS zur Bereitstellung des Raumbezugs für Geoinformationssysteme in kartographisch wenig erschlossenen Gebieten.* Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Hannover, 1995, 131p.

Romão - V.M.C.: *Definição de uma Referência Espacial Única através do GPS para o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) e os Sistemas de Geo-Informações (GIS) no Estado de Pernambuco.* In: Anais do VII Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura, Salvador, 1996.

Romão, V.M.C.; A.F.T. Carneiro; J. Philips; T.F. Silva.: *Rede de Referência Cadastral Municipal: Uma Proposta do Grupo de Cadastro sobre Cadastro Municipal, do DECart-UFPE.* In: II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, p. 412-416, Florianópolis, 1996.

Seeber, G.: *Satellite Geodesy Foundations, Methods, and Applications*, 531 p., W. de Gruyter, Berlin/New York 1993.

Seeber, G.; V.M.C. Romão: *Princípios Básicos do GPS nas Medições Geodésicas*, GEODÉSIA online, 2/1997.

Seeber, G.; V. Böder; H.-J. Goldan; M. Schmitz; G. Wübbena: *Precise DGPS Positioning in Marine and Airborne, and Spaceborne Applications.* In: IAG Symposium No. 113, Springer Verlag 1996.

Wübbena, G. *Zur Modellierung von GPS Beobachtungen für de hochgenaue Positionsbestimmung*, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 168, Hannover, 1991.

Wübbena, G.; A.Bagge: *Precises DGPS in Echtzeit für Vermessung und GIS-Anwendungen.* In: DVW-praxisseminar DGPS-Anwendungen. Hamburg 1995.

