

## Pontos GPS de apoio ao Cadastro: Análise de Exatidão Posicional entre diferentes condutas para obtenção de Coordenadas

Prof. Msc.Genival Corrêa de Souza <sup>1</sup>  
 Prof. Msc.Tule César Barcelos Maia <sup>2</sup>  
 Prof. Msc.Carlos Augusto Uchôa da Silva <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana (Ba)  
 Departamento de Tecnologia  
 Rod. BR 116, Km 03 – Feira de Santana – Ba  
 ✉ [gcorrea@uefs.br](mailto:gcorrea@uefs.br)

<sup>2</sup> Universidade Católica de Goiás  
 Departamento de Engenharia Civil  
 Av. Universitária 1440, Setor Universitário  
 74605-010 Goiânia Go  
 ✉ [tule@sc.usp.br](mailto:tule@sc.usp.br)

<sup>3</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará  
 Departamento de Estradas/Topografia  
 Av. Almirante Barroso, 1155  
 66000-000 Belém Pa  
 ✉ [uchoa@sc.usp.br](mailto:uchoa@sc.usp.br) ou ✉ [augusto.uchoa@cefetpa.br](mailto:augusto.uchoa@cefetpa.br)

Conteúdo	
	1. Introdução
	2. Metodologia
	2.1 Estratégia de Levantamento
	2.2 Equipamentos Utilizados
	2.3 Condutas de processamento
	3. Resultados
	4. Conclusões e Sugestões
	5. Agradecimentos
	6. Referências Bibliográficas

**Resumo:** Estimar coordenadas pelo método de ponto simples, com exatidão posicional comparável à do posicionamento relativo em rede, tem sido nos últimos anos objeto de estudo de pesquisadores do sistema GPS. Os resultados apresentados pelo processamento PPP (Precise Point Positioning) têm provado que isto é possível, o que permite a sua utilização na implantação de pontos de apoio para os levantamentos cadastrais em geral. Dentro desta linha de análise, este trabalho confronta resultados obtidos por posicionamento absoluto e relativo com ajustamento em rede, a partir de dados originados de um levantamento GPS realizado em 19 pontos distribuídos em uma área de 2º de Latitude X e 2º de Longitude no interior do Estado de São Paulo. O grau de exatidão posicional foi avaliado em função das diferenças de coordenadas, obtidas em cada ponto através de diferentes condutas de processamento. No trabalho procurou-se correlacionar os níveis de exatidão alcançados em cada procedimento com as diversas tolerâncias posicionais dos levantamentos cadastrais em geral.

**Palavras chave:** Exatidão Posicional, GPS, Cadastro.

**Abstract:** Estimating coordinates by use of single point positioning with accuracy similar to relative positioning of network, has been studied by GPS system researchers in the last years. The results presented by PPP (Precise Point Positioning) have proved that it is possible. This fact allows its use in control points implantation for general cadastral surveys. Using this analysis, this paper confronts results obtained by single point positioning and relative point positioning with network adjustment from 19 GPS surveyed points distributed in the area of 2º Latitude by 2º Longitude in central area of São Paulo State. The accuracy was evaluated in function of the differences of coordinates obtained in each point by different procedures of processing. The accuracy gotten by each procedure was correlated with the different tolerances in accuracy in general cadastral surveys.

**Keywords:** Accuracy, GPS, Cadastre.

### 1. Introdução

No Brasil pretende-se adotar no ato do registro do imóvel coordenadas georreferenciadas em um sistema único adotado para todo o território nacional. É um assunto atual e muito tem se discutido sobre qual deve ser a tolerância posicional ideal para esta situação.

Tanto no cadastro urbano quanto no rural existem alguns aspectos encadeados que devem ser considerados. Um deles é a exatidão posicional, que pode ser absoluta ou relativa. Características como dimensões, área, confrontantes, segurança jurídica e valor de imóveis são garantidas pela exatidão relativa, isto é, são intrínsecas ao imóvel cadastrado, enquanto que o relacionamento do imóvel com a sua região de abrangência é garantido pela exatidão absoluta (Brandão et al., 2001).

Ambas, as exatidões são de igual importância, mas podem ter exigências distintas. Este fato torna possível a utilização de processos de medição diferentes para garantir a obtenção de cada uma delas, o que implica em diminuição de custos se o método mais

adequado for utilizado para cada caso. Desta forma, a escolha do método de levantamento deve ser feita em função das tolerâncias posicionais em cada situação e, portanto, é importante conhecer as potencialidades de cada método de levantamento. Neste trabalho será abordada a obtenção de coordenadas a partir do sistema GPS analisando suas potencialidades em atender a diversas exigências posicionais.

Vários trabalhos publicados têm demonstrado que as precisões alcançadas pelo Sistema GPS mostram-se suficientes para atender grande parte das necessidades do mundo moderno em obras de engenharia, mapeamento, agrimensura, cadastro rural e urbano, sistemas de informações geográficas, navegação e muitas outras, tanto em exatidão posicional relativa como absoluta. Tal fato coloca o GPS em destaque entre os métodos atuais de medição.

Tradicionalmente, altos níveis de precisão com o sistema GPS são obtidos pelo método diferencial de fase. Em função da distância entre os pontos, os fatores condicionantes são o tempo de rastreamento, e a utilização de receptores adequados (receptores de dupla frequência para distâncias acima de dezenas de quilômetros).

A possibilidade de se obter uma melhor precisão no posicionamento absoluto passou então a ser objeto de estudo dos pesquisadores, visando eliminar a necessidade de uma rede vetorial, diminuindo o tempo e custo dos levantamentos. Nesse sentido, novas possibilidades têm se apresentado tais como o método PPP (Precise Point Positioning) (Mônico, 2001).

O PPP é um método que utiliza a fase das portadoras e pseudodistâncias a partir do código C/A e P coletadas por receptores de dupla frequência em conjunto com as efemérides precisas e correções de relógio do IGS (International GPS Service) para processamento absoluto. Disponibilizado pelo JPL (Jet Propulsion Laboratory) desde 1998, através de um serviço automatizado com livre acesso via Internet (file transfer protocol), tem se mostrado como uma alternativa particularmente atraente quando se deseja estabelecer, em locais remotos, uma nova estação de referência (Boon/Segantine, 1999). Proporciona precisão 3-D da ordem de alguns centímetros e demanda baixo esforço computacional em relação às redes (Mônico, 2001). Maiores detalhes acerca da submissão dos dados, modelos utilizados e testes realizados com o PPP podem ser obtidos em Silva, 2001.

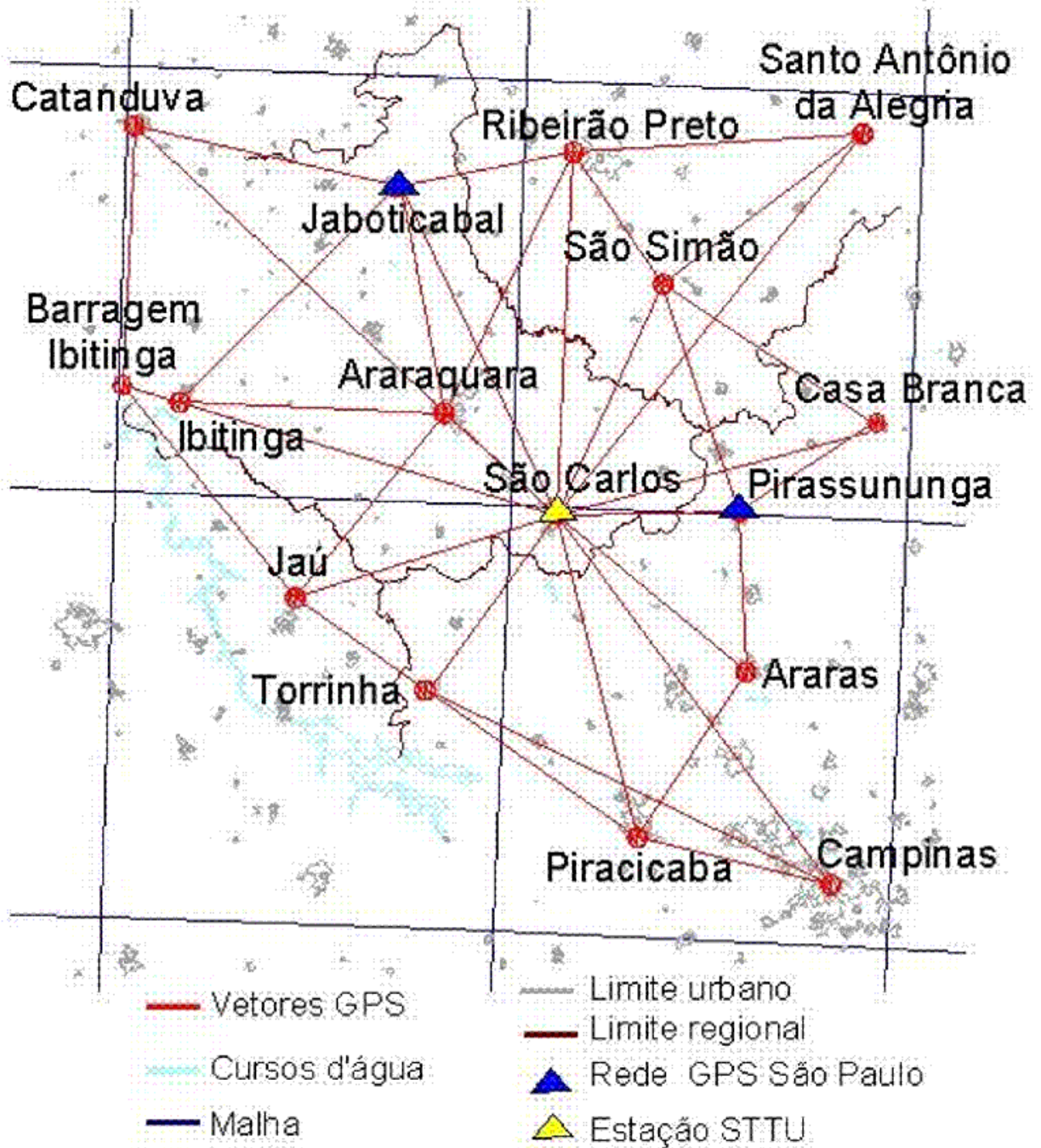
De acordo com Héroux, Kouba apud Mônico (2001) também é possível utilizar o posicionamento absoluto pós-processado a partir de pseudodistâncias e medidas de fase da portadora obtidas em receptores de simples ou dupla frequência utilizando as efemérides precisas e correções de relógio do IGS, sendo possível obter resultados com precisão espacial na ordem do metro.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar os diferentes níveis de exatidão na obtenção das coordenadas de pontos ou de bases que possam servir de apoio para levantamentos cadastrais, obtidas com o sistema GPS para diferentes observáveis e sob diversas condições de processamento tais como ponto simples, relativo e ajustamento de rede. As exatidões alcançadas são correlacionadas às tolerâncias posicionais nos diferentes tipos de levantamentos.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Estratégia de Levantamento**

A campanha GPS, origem dos dados para este estudo, foi realizada em março/2002, na área central do estado de São Paulo compreendida entre os paralelos 21° S a 23° S e meridianos 47° W e 49° W estando a cidade de São Carlos localizada aproximadamente no centro desta área, conforme apresentado na figura 1. Foram observados 19 pontos, sendo 12 pertencentes à Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro, 2 pontos pertencentes à rede rede GPS do estado de São Paulo (IBGE), 1 sendo a estação de monitoramento contínuo do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos - USP ( STTU ) e os demais pontos são utilizados como referência por outros órgãos.



**Figura 1** : Área de estudo (centro do estado de São Paulo)

No levantamento GPS utilizou-se o conceito de multi-estação como estratégia de observação em rede, usando três receptores na ocupação simultânea dos vértices além da estação STTU. Apesar disso, no processamento utilizou-se também o conceito de posicionamento absoluto (receptor simples) e de linha base (observações relativas com duas estações). O tempo de rastreamento foi de aproximadamente uma hora por ponto com taxa de armazenamento de dez segundos, com exceção do ponto "Campinas", com taxa de quinze segundos e da estação STTU com taxa de um segundo.

## 2.2 Equipamentos Utilizados

Utilizou-se receptores GPS de diferentes fabricantes:

1. Um Receptor de dupla frequência modelo SR 9500 e antena AT 303 (Shock Ring L1/L2), fabricação Leica, instalado na estação STTU;
1. Dois receptores de dupla frequência, modelo 4000 SST e um receptor modelo 4000 SSI, todos com antenas Compact L1/L2 w/Ground Plane, fabricação Trimble, pertencentes ao Laboratório de Geodésia do Departamento de Engenharia de transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

### 2.3 Condutas de processamento

Os dados de campo foram processados utilizando-se 6 Condutas distintas obtendo 6 valores de coordenadas para cada ponto. Em todas as condutas utilizou-se WGS - 84 como sistema de referência, exceto para a conduta 4, onde foi utilizado o ITRF 2000. Apesar disso, as diferenças entre os dois sistemas não foram consideradas significativas nos resultados.

Conduta 1 – Navegação – O valor das coordenadas foram retirados do cabeçalho dos arquivos RINEX;

Conduta 2 - Processamento por ponto simples – PPS com inclusão de efemérides transmitidas usando o GPSurvey 2.35, software desenvolvido pela TRIMBLE;

Conduta 3 – Processamento por ponto simples – PPS com a inclusão de efemérides precisas fornecidas pelo IGS (International GPS Service) referenciadas ao IGS00 - ITRF2000 (International Terrestrial Reference Frame) utilizando o Sky-Pro 2.1, desenvolvido pela Leica;

Conduta 4 – PPP (Precise Point Positioning) utilizando o serviço automatizado do JPL(Jet Propulsion Laboratory) com acesso pela Internet via ftp (file transfer protocol) que utiliza o Gipsy também desenvolvido pelo JPL. Foram analisados dados de apenas quatro pontos, pois nos demais pontos foram utilizados receptores sem o código P, o que impossibilita o processamento PPP (Silva/Segantine, 2001);

Conduta 5 – Processamento da dupla diferença de fase L3 (Ion free solution) e ajustamento global dos vetores com injeção no ponto Pirassununga (Rede Geodésica do Estado de São Paulo - RGESP) e

Conduta 6 – Dupla diferença de fase L3 (Ion free solution) e ajustamento global dos vetores com injeção no pontos Pirassununga e Jaboticabal (RGESP).

Em cada conduta foram escolhidos os resultados que apresentaram melhor precisão no processamento.

### 3. Resultados

Os resultados oriundos da Conduta 6 foram tomados como referência para efeito de comparação com as coordenadas absolutas obtidas nas demais condutas. Esta escolha se deveu a existência de duas estações pertencentes a RGESP que serviram como injeções para o ajustamento, o que lhes confere um caráter oficial.

Com o objetivo de analisar a magnitude e direção do deslocamento foi utilizado o seguinte procedimento: todos os 19 pontos da Conduta 6 foram deslocados para a origem de um plano local com coordenadas X= 0.00 e Y = 0.00. As diferenças de coordenadas de cada ponto em cada conduta também foram transformadas para o plano local colocadas em um único sistema, permitindo assim a verificação imediata da magnitude e direção diferenças conforme apresentado na Figura 2.

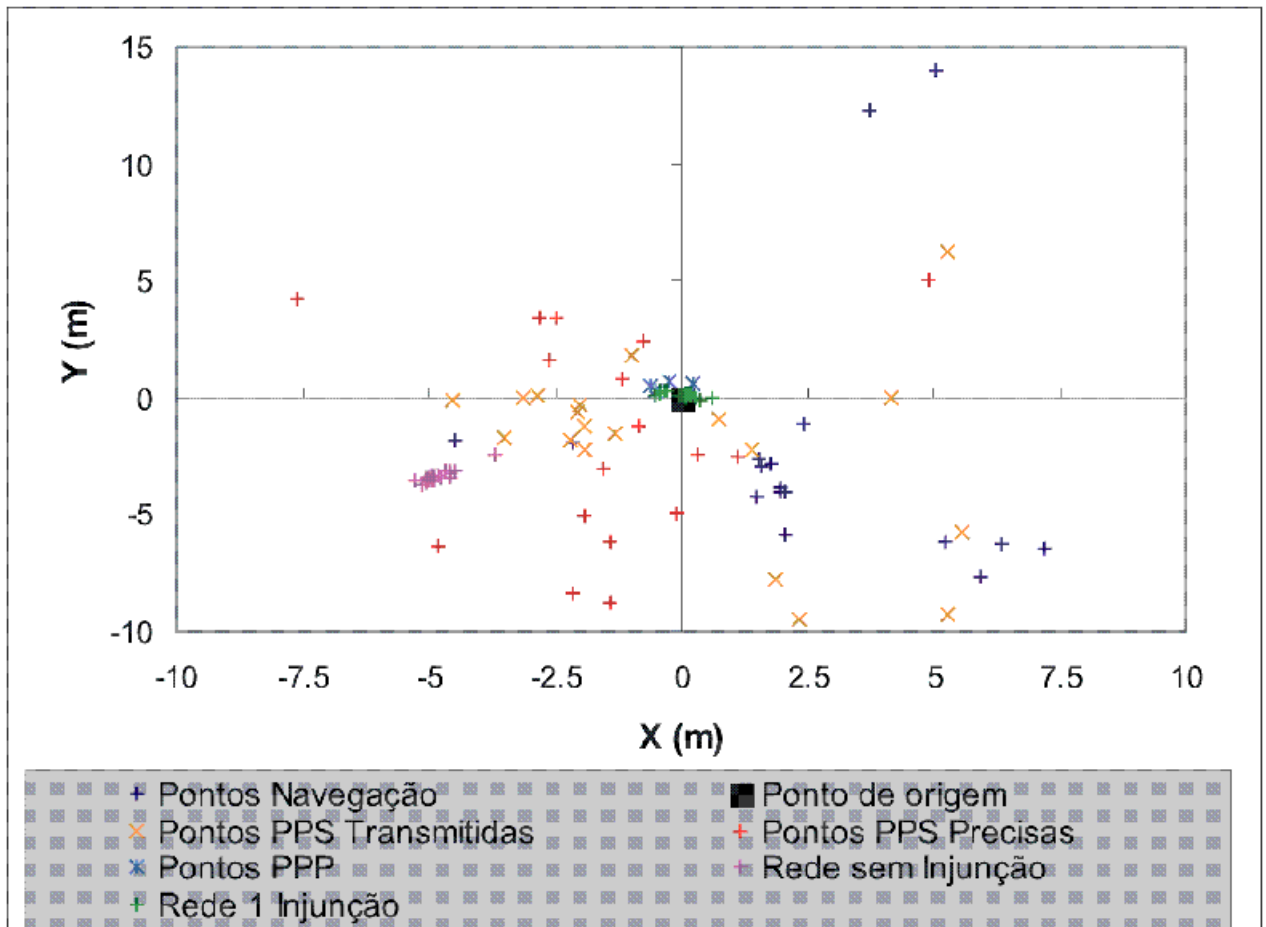


Figura 2 : Deslocamento dos Pontos em relação à referência utilizada.

As coordenadas de navegação (conduta 1) apresentaram um deslocamento máximo da ordem de 15 metros. É um resultado que reafirma os valores médios esperados para o posicionamento simples por código C/A.

As coordenadas obtidas por ponto simples pós-processado utilizando efemérides transmitidas mostraram deslocamento máximo da ordem de 11 m e os resultados obtidos por ponto simples utilizando efemérides precisas do IGS deslocamento máximo da ordem de 9 m.

Os resultados alcançados nas Condutas 4 e 5 (Figura 3) apresentaram as menores diferenças, com o máximo de 0,63 m em X e 0,68 m em Y na Conduta 4 (PPP) e 0,52 m em X e 0,24 m em Y na Conduta 5 (rede com 1 injunção). Esses valores extremos, na mesma ordem de grandeza, demonstram uma certa equivalência entre os níveis de exatidão proporcionados por estas condutas. Deve ser considerado que somente 4 pontos na Conduta 4 é amostra pouco significativa e que de uma certa forma limita o experimento.

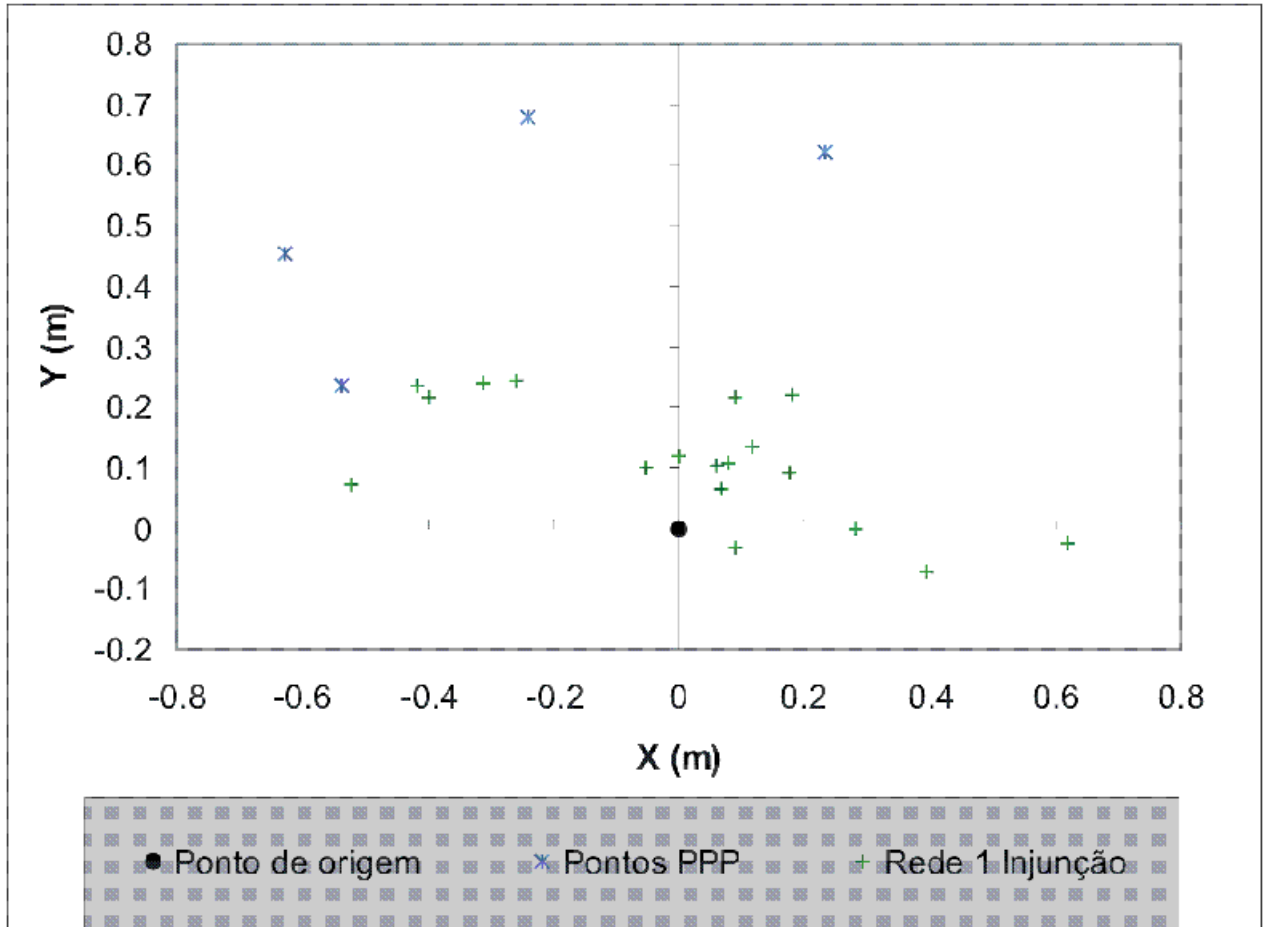


Figura 3 : Detalhe da variação das coordenadas dos pontos da condutas 4 e 5.

Um fato que deve ser ressaltado é que a Conduta 6, ajustada em 2 pontos da RGESP, provavelmente não apresenta valores que mais se aproximam das coordenadas reais dos pontos. Trabalhos recentes Segantine(1995), Fonseca Jr.(1996), Larocca (2000), mostram que as coordenadas da RGESP podem apresentar variações de até 1 metro, em função da estratégia do seu ajustamento. Desta forma, é difícil dizer qual, entre as condutas 4, 5 e 6, proporcionou melhores valores de exatidão posicional.

Uma análise geral nos resultados em cada conduta mostra que as diferenças não apresentam uma distribuição aleatória, e que existe uma certa tendência para uma certa direção. Este fato pode ser causado por erros sistemáticos das coordenadas da Conduta 6 em relação a valores reais.

#### 4. Conclusões e Sugestões

Os resultados mostram que as condutas de processamento utilizadas neste experimento podem ser divididas em dois grupos em função dos deslocamentos observados. O primeiro, constituído pelas condutas 1, 2 e 3, apresentam valores que confirmam a precisão esperada para o sistema GPS depois da desativação da AS (Selective Availability), isto é, da ordem de 10 m, com 95% de probabilidade (Monico, 2001). No caso em estudo, todos os valores observados ficaram abaixo de 10 m, exceto dois resultados, com 13 m e 15 m. São valores grandes para possibilitar o uso em trabalhos geodésicos e na maioria dos levantamentos cadastrais, mas que possibilitam o seu emprego para diversas finalidades com tolerância posicional acima deste valor como reconhecimento e exploração de diretriz de rodovias, estudos de ocupação e uso do solo, navegação, roteamentos e outros.

No segundo grupo enquadram-se as condutas 4, 5 e 6. Os valores absolutos dos deslocamentos nestes casos por si só não informam a exatidão alcançada em cada uma delas uma vez que a referência, mesmo tendo sido escolhida por possuir um caráter oficial, não necessariamente apresenta coordenadas absolutas de alta qualidade, devido as questões já levantadas. Entretanto, a magnitude desses deslocamentos permitem colocar estas condutas em um mesmo patamar de exatidão, inclusive a conduta 6. Este fato reafirma a possibilidade de se obter com o PPP, o mesmo nível de exatidão proporcionado pelas redes e, portanto, serviria para apoiar trabalhos de cadastro e locação para as mais variadas finalidades. Tal fato leva a seguinte pergunta: poderia o posicionamento por ponto simples a exemplo do PPP substituir as redes? Parece evidente que o levantamento de pontos isolados, mesmo oferecendo precisão posicional compatível com as redes, não pode ainda garantir a validação dos resultados. Apesar disso, ele se apresenta como uma outra possibilidade para a determinação de coordenadas absolutas com alta exatidão a um custo menor e com um mínimo esforço computacional.

Como sugestão para trabalhos futuros, ficam o desenvolvimento e testes de uma metodologia de controle que possibilite utilizar de forma confiável e segura as coordenadas de pontos processados pelo PPP como apoio às mais variadas atividades, tal como se

utilizam as coordenadas obtidas através de processamento relativo e ajustamento de redes.

## 5. Agradecimentos

Aos Professores Dr. Ricardo Ernesto Schaal e Dr. Paulo César Lima Segantine pela orientação no desenvolvimento do trabalho e elaboração do artigo.

## 6. Referências Bibliográficas

**Boon,W.; Segantine, P.C.L.** Testing JPL's PPP Service. GPS Solutions, pp 73-76, Vol.3, no. 1.,1999.

**Brandão, A.C.; Rocha, R.S.; Phipips, J.** Exatidão Posicional do Cadastro Imobiliário. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, XX. CT6. Porto Alegre, Anais,2001.

**Fonseca Jr, E.S.** .Estudo e Avaliação Metodológica da Rede GPS do Estado de São Paulo. 120p. Dissertação de (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,1996.

**Larocca, A.P.C.**.. Análise de estratégias para processamento de redes geodésicas com o sistema GPS. 203 p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo ,2000.

**Mônico, J.F.G.**.. O Posicionamento Pontual Preciso – Descrição, Resultados e Aplicações. Congresso Brasileiro de Cartografia, XX. CT2. Porto Alegre, Anais,2001.

**Segantine, P. C. L.** Estabelecimento e ajustamento de uma rede geodésica GPS no estado de São Paulo utilizando o sistema NAVSTAR/GPS. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 234 p. (1995).

**Silva, C.A.U.; Segantine, P.C.L.**..O Posicionamento Pontual Preciso – PPP. : Congresso Brasileiro de Cartografia, XX. CT2. Porto Alegre, Anais,2001.