

GPS & GIS: INTEGRAÇÃO GEOMÉTRICA

Jorge Pimentel Cintra

Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Transportes

Caixa Postal 61.548 - CEP 05424-970 - São Paulo (SP)
tel.: (011) 818-5479 fax (011) 818-5716
e-mail: jpcintra@usp.br

RESUMO

É apresentado o problema da integração geométrica de dados, coletados através do GPS, com mapas digitais existentes. A partir de casos práticos são analisados duas situações: a integração de coordenadas de um GPS portátil (posicionamento absoluto) com mapas de pequena escala e a integração de coordenadas obtidas através de dois receptores (posicionamento diferencial) com mapas de grande escala.

ABSTRACT

The geometric integration between data collected by GPS and existing digital map is presented. By means of practical cases, two situations are analyzed: the integration between coordinates of a portable GPS (absolute positioning) and maps at a small scale and the integration between the coordinates acquired by two receivers (differential positioning) and maps at a great scale.

1. O PROBLEMA DA INTEGRAÇÃO

As aplicações do GPS multiplicam-se dia a dia, desde o controle de frotas até estudos geobotânicos. Boa parte dessas aplicações passa pelo fornecimento das coordenadas de um objeto de interesse e seu posicionamento em um determinado mapa (georreferenciamento). Surge então o problema da integração de coordenadas.

Como se sabe, o GPS trabalha internamente com coordenadas cartesianas (X,Y,Z) no sistema WGS-84 e, em princípio, pode fornecer as coordenadas em uma série de outros sistemas de referência, fazendo a conversão automática em função de parâmetros introduzidos no equipamento pelo fabricante ou fornecidos pelo usuário.

Por outro lado, nossos mapas estão confeccionados tendo como base a projeção UTM e utilizando o sistema SAD-69 ou o Córrego Alegre, em sua grande maioria.

A pergunta, que o presente artigo pretende responder, é *se e como* os dados GPS podem ser integrados a uma base cartográfica existente (mapa digitalizado), e com que precisão.

2. SITUAÇÕES TÍPICAS

Uma situação típica é a de *posicionamento*, em que o usuário necessita coletar a posição de determinadas feições de interesse e representá-las em um mapa existente. Por exemplo, a localização (x, y e em muitos casos z) de uma espécie vegetal, de um poste de luz, de uma boca de lobo, de uma via, de uma quadra urbana, de um talhão de determinada cultura, etc.

Outro caso típico é o da *navegação* e associados, como o controle de frotas, que incluem o fator tempo e seus derivados: velocidade, rota, distância e azimute para um destino, tempo de chegada, etc. Também necessitam localizar entes móveis (veículos, pessoas) em um mapa de referência.

Dentro dos casos de posicionamento, analisaremos duas situações mais comuns.

2.1 Usuários de pequena escala

A primeira situação é a do usuário que não produz mapas e que portanto procura órgãos oficiais em demanda de bases cartográficas. Se a área for no Estado de São Paulo, terá chances de encontrar mapas na escala 1:10.000 produzidos pelo IGC, com uns 20 anos de defasagem e recobrindo somente metade da área do Estado. Encontrará também mapas do IBGE na escala 1:50.000, desatualizados em 30 ou mais anos (vôo da USAF, 1962-65), recobrindo 13% do país: São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e pouco mais. Esses mapas estarão no sistema SAD-69 ou Córrego Alegre. Para outras regiões, o melhor mapa será na escala 1:100.000.

Esses produtos não são os mais adequados às suas necessidades cartográficas, mas de qualquer forma é a melhor base de referência disponível e que, melhor do que nada, será utilizada após a conveniente digitalização. Usuários mais experientes poderão tentar uma atualização através de imagens de sensoriamento remoto orbital, e existem técnicas para isso (Viadana e Cintra, 1995).

Esse é o caso de pessoas envolvidas com o planejamento regional, agrícola, florestal, ambiental (parques, reservas naturais), planejamento urbano em macro-escala e outros assemelhados. Esse usuário, em geral, não dispõe de muitos recursos e pensa na possibilidade de usar um GPS portátil (equipamento que utiliza o código e custa menos de R\$ 1.000). É um usuário que pensa numa solução simples como ir a campo e gravar as posições das feições de interesse.

2.2 Usuários de grande escala

A segunda situação é a daqueles usuários que produzem ou contratam a produção de mapas para suas necessidades, como pode ser o caso de prefeituras (para cadastro urbano), de departamentos de água, de telefone, de energia elétrica e de serviços urbanos de uma maneira geral. Pode ser também o caso de aplicações rurais em que se encomenda a elaboração de mapas específicos, em geral por processo topográfico convencional, para a localização de talhões de culturas, por exemplo. Em geral a escala será mais detalhada e portanto maior: 1:5.000, 1:2.000, 1:1.000 ou até mesmo 1:500, em algum caso.

Esse usuário, em geral, dispõem de maiores recursos, tem necessidades mais rígidas em termos de precisão, enfrenta grande volume de tarefas e por isso cogita em diversas tecnologias que atendam suas

necessidades; no nosso caso, receptores e técnicas GPS de maior precisão.

3. PRECISÃO DE EQUIPAMENTOS E NECESSIDADES DO USUÁRIO

A resposta sobre a viabilidade de uso de um ou outro esquema passa sempre pela precisão fornecida pelo sistema e pela requerida pelo usuário. A própria escala do mapa utilizado já é um indicativo do grau de detalhe e da precisão necessários.

No extremo mais exigente em termos de precisão estão as aplicações propriamente cartográficas, que requerem para mapas da classe A e C, uma precisão de 0,3 e 0,5 mm, respectivamente, na escala do mapa.

É de se ressaltar que, através de algumas análises de mapas, na escala 1:50.000 principalmente, e percorrendo efetivamente a região representada, constatamos que essas precisões não são rigorosamente obedecidas, ocorrendo simplificações de feições, como no caso de estradas sinuosas, que acarretam erros maiores que os estabelecidos nos padrões oficiais acima definidos. Isso quando não ocorrem erros grosseiros ou generalizações de conteúdos que tornam o mapa impreciso, também desse ponto de vista.

Por outro lado, podemos também estimar que um usuário, interessado na aplicação e não tanto na cartografia, poderia tolerar um erro maior, digamos de até 1 mm na escala do mapa. Um valor maior do que esse traria muito erro de posicionamento. Para nosso uso poderíamos denominar essa exigência como sendo de classe D.

Em termos práticos isso resultaria na tabela 1 em que figuram os valores absolutos do erro admissível e que servirá como base de referência para ser confrontada com a precisão efetiva fornecida pelo instrumento de posicionamento, ou seja, pelos diferentes equipamentos e técnicas GPS.

TABELA 1 - PRECISÃO EXIGIDA PARA MAPAS, EM FUNÇÃO DA ESCALA E DA CLASSE

Escala	Classe A	Classe C	Classe D
1: 50.000	15 m	25 m	50 m
1: 10.000	3 m	5 m	10 m
1: 5.000	1,5 m	2,5 m	5 m
1: 2.000	60 cm	1,0 m	2 m
1: 1.000	30 cm	50 cm	1 m
1: 500	15 cm	25 cm	50 cm

4. PRECISÃO DE UM GPS PORTÁTIL

4.1 SA inativa

Os manuais desse equipamento (Trimble, 1996) fornecem como precisão típica o valor de 30 m quando não estiver ativada a chamada *disponibilidade seletiva*, conhecida pela sigla SA (Selective Availability). Então, nessa hipótese, confrontando esse valor com a tabela 1, poderíamos dizer que um equipamento seria útil somente para o posicionamento de classe D na escala 1:50.000.

É preciso lembrar que esse valor se refere a um círculo dentro do qual cairiam 95% dos posicionamentos feitos e que se espera portanto que algumas medidas (5%) tenham valores piores. O que levanta o problema do quão erradas estão essas medidas.

Assim sendo, realizamos uma série de experiências para testar a precisão de um GPS portátil em casos reais, antes da SA estar ativa (Cintra, 1996).

A primeira experiência consistiu na ocupação reiterada de um ponto de coordenadas conhecidas. Foram 51 valores obtidos em dias e horários diferentes, resultando em uma média e desvio padrão para cada coordenada. Os desvios padrões para N, E e h foram respectivamente: 45, 48 e 48 m. O desvio padrão plano resulta portanto em 67 m, e o total em 82 m. No entanto, esses valores apontam para a probabilidade de 68 % de ocorrência e, de fato, existem valores bastante discrepantes: 90, 100, 120 e até 194 m de diferença para com a média em uma das coordenadas. Ou seja, isto pode prejudicar a confiabilidade de um usuário que necessita das precisões indicadas na tabela 1, para todos os pontos.

Um segundo tipo de experiências consistiu em ocupar vértices da rede brasileira oficial, com coordenadas conhecidas, e comparar a média dos valores fornecidos pelo GPS com essas coordenadas oficiais. O resultado foi uma diferença menor que 70 m para cada coordenada com relação ao valor oficial, para 80% dos pontos e uma diferença entre 70 e 140 m para os 20% restantes. Realizando a composição plana do erro esses valores tornam-se piores: até 200 m.

4.2 SA ativa

No entanto, como se sabe, a SA está ativa e a precisão do sistema encontra-se, esperamos que provisoriamente, degradada. Para essa situação os manuais (Trimble, 1996) apontam a precisão típica de 100 m de erro com relação ao valor real. Esse erro refere-se ao CEP, círculo de erro provável, significando que 50% dos pontos coletados estarão dentro de um círculo com o raio especificado, num plano horizontal. Se quiséssemos maior confiabilidade, digamos 68% ou 95%, o raio deveria ser aumentado para 150 e 250 m, aproximadamente.

E isso não descarta a ocorrência de situações piores. De fato, em algumas experiências, talvez não muito significativas (Cintra e Ribeiro, 1996), registramos diferenças superiores a 300 m e para alguns pontos valores superiores a 500 m.

Ao preparamos o presente trabalho fizemos mais um teste que consistiu no levantamento de um loteamento urbanizado, coletando a posição de 10 pontos bem definidos (cruzamento do eixo de ruas) e cujas coordenadas foram extraídas do mapa do IGC na escala 1:10.000, esperando-se um erro de uns 5 m por leitura na planta (0,5 mm) e outros 5 por erro no processo de elaboração do mapa. Os resultados são apresentados na tabela 2.

TABELA 2 - COMPARAÇÃO DE COORDENADAS: MAPA X GPS

a) Coordenadas Interpoladas do mapa			b) Coordenadas GPS (media)		Diferenças Mapa - GPS		
Po	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)	DN	DE	DT
1	7381420	264545	7381437	264574	-17	-29	34
2	7381675	264235	7381600	264357	75	-122	143
3	7381395	264225	7381152	264392	243	-167	294
4	7381065	264220	7381039	264229	26	-9	28
5	7380995	264325	7381011	264334	-16	-9	18
6	7380790	264615	7380752	264615	38	0	38
7	7380640	264795	7380628	264789	13	6	14
8	7380710	264820	7380679	264822	31	-2	31
9	7380920	264835	7380912	264835	8	-0	8
10	7381130	264860	7381080	264869	50	-9	51
					média =		66

Realizamos os seguintes comentários e esclarecimentos a essa tabela:

- a) Cada valor anotado como coordenadas GPS corresponde a uma média de 10 valores que apresentaram desvios de até 243 m com relação à média.
- b) Na maior parte das medições estavam disponíveis 7 ou 8 satélites, e em alguns poucos casos 5 ou 6. Os valores de PDOP mantiveram-se sempre baixos (menores que 4). Ou seja, ocorreu sempre uma situação bastante favorável.
- c) A média dos desvios apresentou o valor muito razoável de 66 m, quando comparado com o valor teórico esperado de 100 m. No entanto, o que preocupa são alguns pontos que, conforme esperado pela estatística, situam-se em patamares maiores. É o caso dos pontos 2 e 3, que apresentaram desvios de 143 e 294 m.
- d) Outra análise foi a quantificação de uma área desse loteamento para estudar a magnitude do erro. Tornamos, deliberadamente o quadrilátero 1,2,3,4 e 5, por corresponder a uma quadra e em função dos erros ocorridos nos pontos 2 e 3. A área calculada pelas posições GPS resultou em 58.700 m², contra 127.400 m² da área calculada pelas posições mais precisas, representando menos da metade da área real, ou seja, um erro muito grande para esse tipo de aplicação.
- e) Situações como essa, de locais com erros de grande magnitude dentro de um conjunto razoável, são frequentes pela própria natureza estatística dos resultados. Como na maior parte dos casos não dispomos das coordenadas verdadeiras, esses erros não são detectáveis, e isso diminui a confiabilidade de todo o levantamento e inviabiliza alguns tipos de aplicação.

A avaliação final é que, enquanto a SA estiver ativa, o GPS portátil não é uma solução satisfatória para problema de mapeamento ou localização de entidades sobre cartas em escalas iguais ou maiores que 1:50.000.

Continua sendo muito útil em problemas de navegação em que erros da ordem de 100 a 300 m são pouco significativos, e em casos em que se pode inferir posições ou forçar a melhoria das mesmas como, por exemplo, quando se sabe que um veículo está sobre determinada via ou no cruzamento de determinadas feições e portanto há formas de *corrigir* uma posição errada.

Uma observação final é que não adianta querer aumentar o número de observações sobre um determinado ponto para melhorar a precisão das

coordenadas. Como se sabe, há um limite que se atinge com umas 180 medições (Trimble, 1996). Para comprovar isso, realizamos uma experiência que consistiu em tomar 2 conjuntos de 1000 medições sobre um ponto de coordenadas conhecidas. Isso não levou a melhores resultados.

5. PRECISÃO DO GPS NO MODO DIFERENCIAL

Existem certamente equipamentos de maior porte, que trabalhando aos pares, no modo diferencial, utilizando a fase, etc. conseguem precisões da ordem de centímetro e até milímetro, como é o caso das aplicações de tipo geodésico como a determinação das coordenadas de vértices de uma rede geodésica oficial ou de uma rede de apoio para aerolevantamentos. No entanto, além do custo do par de receptores, essas aplicações exigem que as observações sejam feitas durante horas e que sejam tomados cuidados especiais no processamento como, por exemplo, a resolução da ambigüidade, eliminação da perda de ciclos, ajuste dos vetores nas seções, ajuste de mínimos quadrados para a rede, e outros, que não são do domínio do usuário médio.

Então, uma primeira alternativa a ser avaliada é a utilização de pares de receptores mais simples, que vem sendo lançados no mercado. Seu custo é da ordem de R\$ 12.000,00, a operação de campo é relativamente simples e os programas automatizam muito os cálculos, não exigindo muita prática computacional nem grandes conhecimentos teóricos sobre o sistema GPS.

Com relação à precisão, elemento fundamental para os casos que estamos analisando, os manuais (Trimble, 1996) indicam duas faixas de valores:

- a) Precisão de 2 a 5 m, utilizando o código e realizando a correção através de pós-processamento. Neste caso um equipamento fica fixo na base de coordenadas conhecidas e o outro (rover ou remoto) desloca-se para os pontos de interesse, com um tempo de permanência aproximada de 3 minutos por ponto.
- b) Precisão submétrica, utilizando opções avançadas que utilizam a fase da portadora e exigindo um tempo de permanência média de uns 10 minutos por ponto.

Para testar o primeiro caso realizamos a ocupação de uma série de pontos de coordenadas conhecidas situados na raia olímpica da USP (campo de prova) e, de fato, encontramos um erro médio de 5 m. No entanto, houve erros isolados de até 10 m.

Isso significa, analisando os valores da tabela 1, que um esquema desse tipo seria útil para usuários que trabalham com mapas na escala 1:50.000, atingindo até a

precisão cartográfica e para usuários que utilizam mapa na escala 1:10.000 e não necessitam de uma precisão propriamente cartográfica (classe D), o que atende a uma grande quantidade de usuários: possivelmente todos os de grande escala.

Caso se confirme a precisão submética no esquema apontado em b), acima, esse esquema será útil para usuários que trabalham em escala talvez de até 1:1.000 com exigências cartográficas e até na escala 1:500, com menores exigências.

Ou seja, serviria para locar equipamentos urbanos (postes, transformadores, bocas de lobo, etc.) e seria uma solução para muitos usuários. De fato, nota-se que essa é a intenção dos fabricantes já que há muita facilidade para a elaboração de menus oferecendo as opções de feições que o usuário encontrará em campo. Conjuntos de programas que acompanham o equipamento permitem a criação fácil dessas opções e a transferência do menu para o receptor GPS. Observemos, no entanto, que a interface de desenho das feições coletadas, embora existente, ainda se ressente de um melhor desenvolvimento, principalmente na edição do produto final e exportação de arquivos.

Nesse momento, em que o problema da precisão vai sendo resolvido, três pontos tornam-se importantes.

a) Em primeiro lugar o fator rendimento na coleta de dados. A exigência de ficar pelo menos 10 minutos sobre um ponto para obter precisão submética pode inviabilizar a produção e a agilidade nas tarefas de campo. Mesmo a recomendação de ficar uns 3 minutos sobre determinado ponto para obter precisão de 2 a 5 m, não é tão simples. Corresponde, na realidade, a 180 medições a uma taxa de 1 segundo. Na prática isso costuma significar mais tempo já que uma série de filtros recomendados para obter maior precisão implicam numa maior demora. Os filtros típicos são: número mínimo de satélites, ângulo mínimo de elevação dos satélites acima do horizonte (15°), valor de corte para a relação sinal ruído (4 ou 5) e valor máximo para PDOP(6). Em uma experiência de 20 pontos e utilizando as recomendações do fabricante, o tempo médio por ponto situou-se na casa dos 6 minutos e meio. Nessa experiência ressentimo-nos também de uma maior capacidade de memória já que trabalhando na taxas especificadas só seria possível coletar cerca de uma centena de pontos. Depois disso é necessário descarregar os dados para o computador, coisa que nem sempre é possível em campo e certamente diminui o rendimento dos trabalhos.

b) O segundo ponto importante refere-se à visibilidade dos satélites. Esta de fato não é favorável em aplicações florestais e em aplicações urbanas em que a altura dos

edifícios impede a recepção dos sinais. A própria captação de dados exatamente sobre a feição de interesse (uma árvore, um poste, um pilar externo de um edifício e outros desse gênero) pode impedir a boa visibilidade dos satélites. E o natural deslocamento pode afetar a precisão das coordenadas, principalmente quando se pensa atingir o nível submético. Sugerimos um tratamento, para redução das coordenadas, como se fazia para os casos clássicos de estação excêntrica.

c) O terceiro ponto refere-se à possibilidade do DGPS em tempo real, em que o equipamento base fica estacionado em um ponto de coordenadas conhecidas. Este vai calculando continuamente o valor da correção a ser aplicada a fim de reduzir o valor observado para o valor real. Essa correção é então transmitida, por rádio-frequência, para outro ou outros receptores móveis que poderão assim obter a coordenada corrigida do ponto que está sendo observado. Isso poupa bastante memória, aumenta o rendimento de campo e facilita muitíssimo o processamento dos dados. Acreditamos que quando isso se tornar uma prática difundida e habitual, então a topografia poderá auferir, de fato, maiores benefícios da tecnologia GPS. Atualmente, os equipamentos completos que permitem uma precisão topográfica custam em torno de R\$ 80.000,00, o que é um tanto elevando para um usuário típico como pode ser uma empresa de topografia.

6. INTEGRAÇÃO GEOMÉTRICA

Outro ponto de interesse a ser examinado é a técnica de integração geométrica de dados de levantamentos diferentes e a quantificação das discrepâncias. Estamos pensando agora, não mais na integração de alguns pontos isolados obtidos por GPS a um mapa, mas na integração de um mapa existente a um levantamento sistemático feito com o GPS. Pode tratar-se de um levantamento topográfico de um terreno ou mesmo da coleta de seqüências de pontos ao longo de trajetórias, o que equivale ao caso da integração de dados de navegação com uma carta.

Inspiramo-nos, para exemplificar, no levantamento agrícola realizado no município de Taquarituba, zona oeste do Estado de São Paulo, na escala 1:5.000 (Bacchi, 1996). O primeiro mapa foi obtido através de um levantamento topográfico que foi georreferenciado ao sistema UTM (Córrego Alegre) através da identificação das coordenadas de pontos notáveis do levantamento no mapa do IGC na escala 1:10.000 da mesma região. Posteriormente foi transferido para meio digital utilizando uma mesa Calcomp e o programa AutoCAD.

A segunda fonte de dados proveio de um levantamento DGPS realizado com um par de receptores

Trimble, modelo Pathfinder PRO-XL conforme a técnica de manter um deles fixo em ponto de coordenadas conhecidas e outro movendo-se pelos pontos a serem levantados. Descarregando-se os dados e realizando-se o processamento dos mesmos obteve-se uma série de pontos, constituindo um segundo mapa que, em princípio, possui a precisão submética. Esse mapa, por circunstâncias do momento, foi levantado no sistema SAD-69. Poderia ter sido levantado, por uma simples mudança de opção nos receptores, no sistema Córrego Alegre, facilitando a integração. No entanto, isso servirá para ilustrar a integração dos dados.

Através da conversão dos dados GPS para o formato DWG do AutoCAD, tornou-se possível a comparação e integração das duas fontes. Para análise e estabelecimento de metodologias, o primeiro passo foi desenhar os dois mapas no mesmo sistema e o resultado encontra-se na figura 1 e 2 (ampliação).

Nota-se claramente um deslocamento sistemático entre os dois, de uns 50 m na direção Norte e uns 20 m na direção Este. Isso se explica por fatores como a utilização de diferentes sistemas de referência (SAD-69 x Córrego Alegre) que acarreta diferenças de dezenas de metros, em função da região; por um erro ou imprecisão nas coordenadas do vértice de partida do levantamento aerofotogramétrico do IGC (triangulação antiga do IBGE) e por um erro natural e inerente ao processo de transporte de coordenadas por aerotriangulação, o que pode levar também a duas dezenas de metros. Pode haver também um erro devido aos parâmetros de transformação do sistema WGS-84 para o Córrego Alegre ou SAD-69: os valores introduzidos internamente nos receptores pelos fabricantes baseiam-se nos dados oficiais fornecidos e calculados pelo IBGE; e, como se sabe, são parâmetros médios para todo o Brasil e que, portanto, podem não adaptar-se perfeitamente para uma região em particular. Ao que tudo indica existe uma certa discrepância no Estado de São Paulo.

De qualquer maneira, o problema que se coloca é o de ajustar esses dois conjuntos de dados. A solução é adotar um deles como padrão e aplicar uma transformação ao outro, de maneira a compatibilizar, ao máximo, as bases cartográficas. Em nosso caso, o mapa base é o do levantamento topográfico/IGC e os dados a serem transformados são os fornecidos pelo GPS. No caso da navegação aconteceria o mesmo: tomamos como base uma mapa existente e ajustamos os provenientes do GPS.

Deve-se portanto pensar no tipo de transformação a ser aplicada e, sempre que possível, com base em razões fundamentadas. No caso de haver diferença de sistemas de referência (SAD-69 e Córrego Alegre), poderia ser aplicada inicialmente a conhecida

transformação através da fórmula de Molodenski, com o que eliminariamos uma parte dos erros sistemáticos. A seguir vem a escolha de uma função de transformação e, pensando num esquema simples podemos adotar a transformação afim, linear conforme ou de quatro parâmetros que corresponde a uma rotação, uma translação e uma mudança de escala. A rotação seria função da convergência de meridiano existente na projeção UTM. E a mudança de escala, a mesma para x e y devido à própria definição do sistema UTM, explicase em função do fator escala. Esses parâmetros devem fornecer valores que são perfeitamente previsíveis. Os dados menos previsíveis seriam então as duas translações.

O esquema de ajuste segue então um roteiro bastante conhecido: identificam-se pontos comuns aos dois mapas, com um mínimo de 3 para que haja superabundância de equações e se possa aplicar o método dos mínimos quadrados. Com as coordenadas desses pontos nos dois sistemas montam-se as equações (1 e 2) e determinam-se os 4 parâmetros de transformação (a,b,c,d).

$$x_2 = a \cdot x_1 + b \cdot y_1 + c \quad (1)$$

$$y_2 = -b \cdot x_1 + a \cdot y_1 + d \quad (2)$$

x_1, y_1 : coordenadas GPS originais

x_2, y_2 : coordenadas no mapa

Os esquema de mínimos quadrados permite avaliar a qualidade do ajustamento mediante os resíduos e outras variáveis estatísticas. E, uma vez determinados os coeficientes, pode-se calcular as coordenadas transformadas de um segundo conjunto de pontos preparados para servirem de controle, o que é feito mediante o cálculo da diferença entre as coordenadas calculadas e as conhecidas. A avaliação da magnitude desses resíduos permite avaliar se a transformação satisfaz ou não as exigências em termos de precisão.

Finalmente, disposta dos coeficientes a, b, c e d, pode-se transformar todos os pontos para o sistema 2, obtendo-se o mapa transformado ou, o que é o mesmo, a integração dos dados do sistema 1 (GPS) com o sistema 2, minimizando as discrepâncias.

Neste caso concreto optamos por utilizar o comando ou função Rubber Sheet disponível no AutoCAD que consiste exatamente no ajuste de duas figuras precisamente através da aplicação de uma translação, uma rotação e um escalamento. O resultado é o representado na figura 3.

Por outro lado, a quantificação dos erros, pelo processo matemático levou a um erro médio de 13,6 m na distância entre os pontos transformados e sua

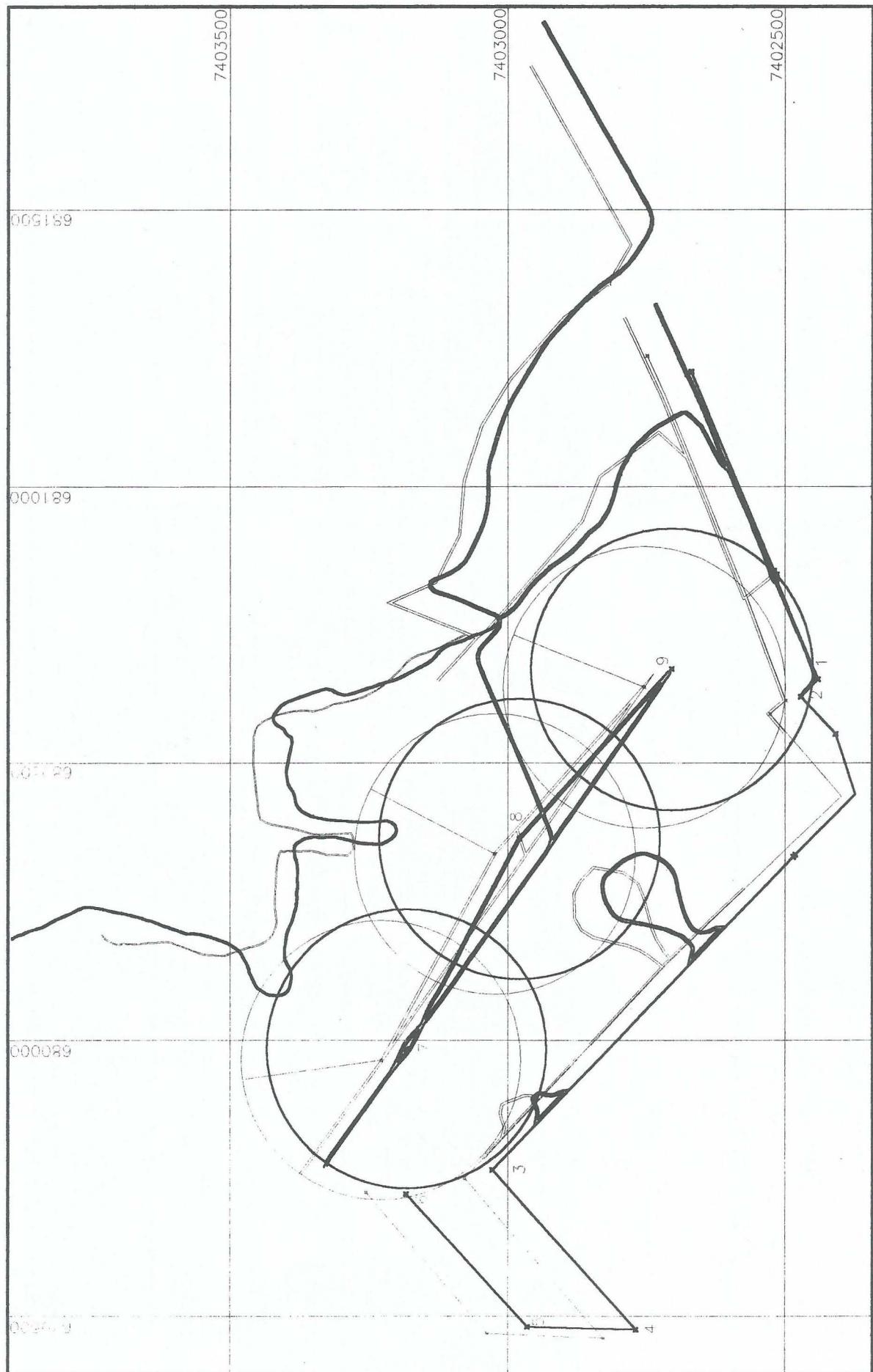
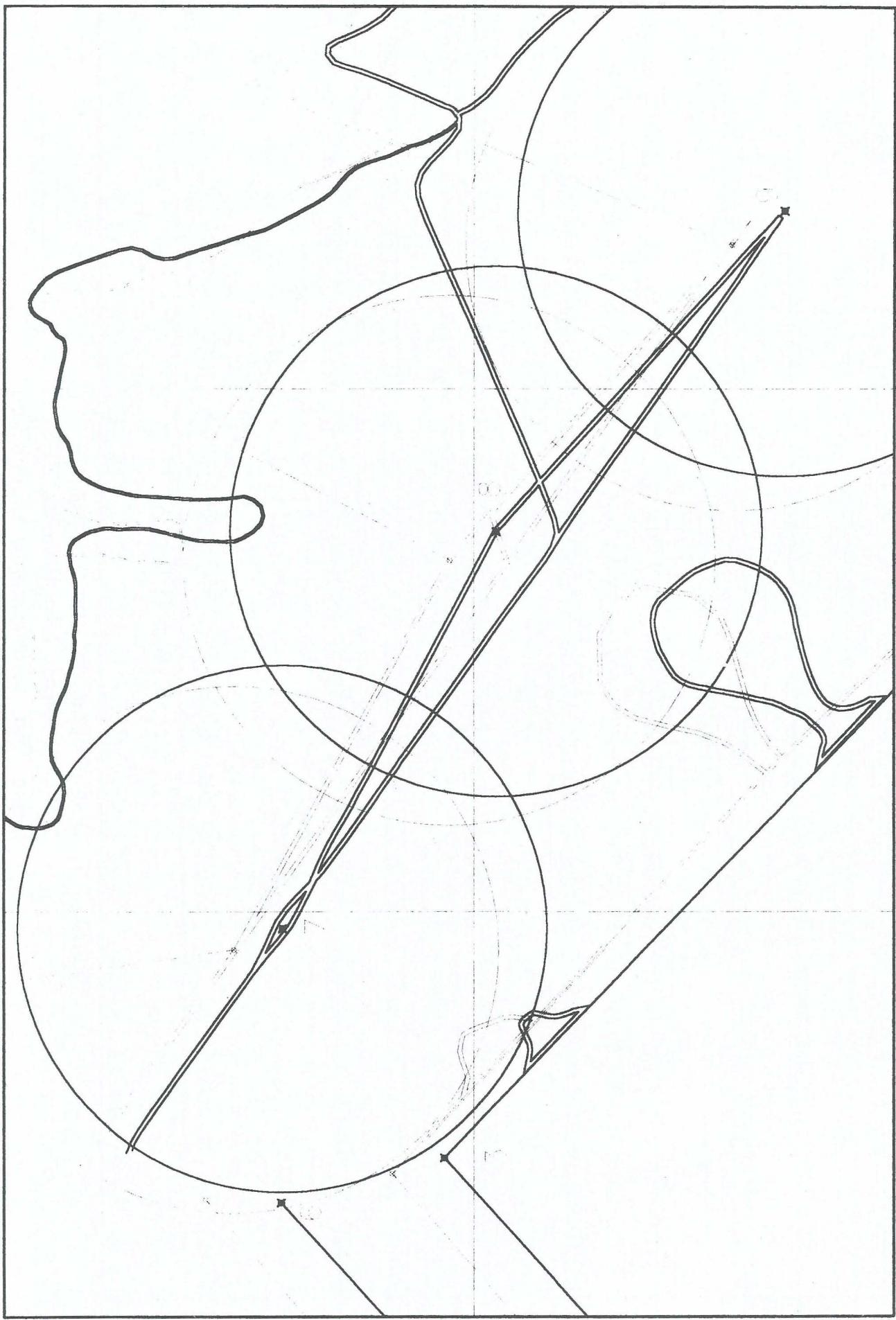


Figura 1 – Dois mapas da mesma região.
Linha espessa: levantamento GPS.
Linha fina: levantamento topográfico.

Figura 2 — Idem, detalhe.



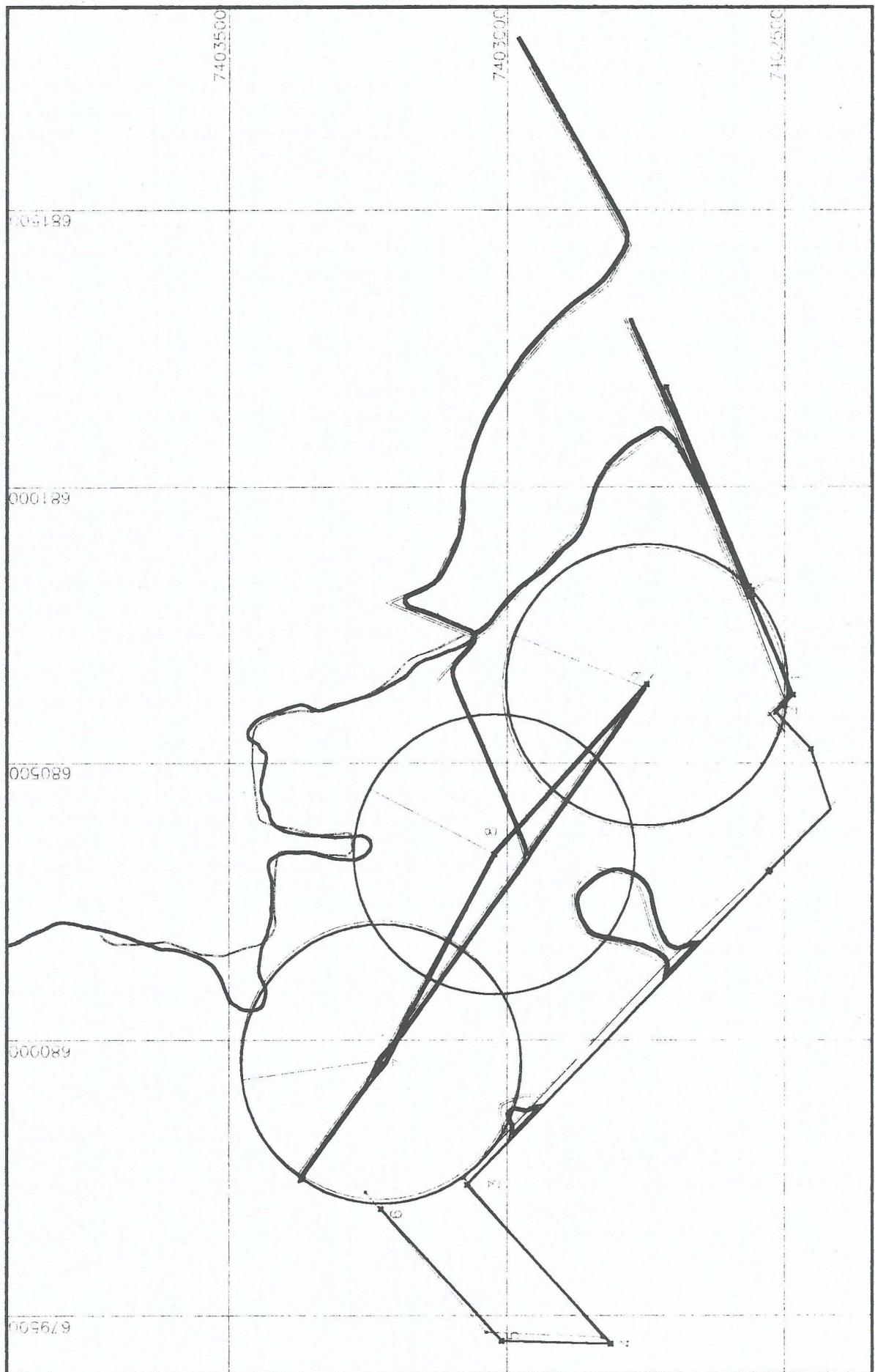


Figura 3 – Superposição dos dois mapas da figura 1 através da função Rubber Sheet do AutoCAD.

posição considerada verdadeira, o que ainda é bastante grande considerando a escala de trabalho (1:5.000), a precisão desejada (tabela 1) e as potencialidades do DGPS.

Vale a pena comentar alguns detalhes da figura 3. Apesar de todos os ajustes, ainda há discordâncias remanescentes. Em alguns casos vê-se que as discrepâncias se devem a erros pontuais do GPS, em outros, como em trechos curvos, provavelmente o resultado GPS descreve melhor a realidade ao se terem tomados diversos pontos sobre essa feição, enquanto que o levantamento topográfico tomou somente um ponto, acarretando um aspecto anguloso e não suave como deveria ser.

Outro ponto refere-se à existência de um erro aleatório remanescente. Sua quantificação pode ser feita através dos resultados do ajuste matemático tal como descrito acima. Mas uma análise mais ampla fica prejudicada em função de não se conseguir uma correlação ponto a ponto entre os dois mapas. Isso porque, por exemplo, uma mesma feição reta pode não ter sido levantada através dos mesmos pontos. Então, impõem-se a aplicação de uma método adequado de análise. Isso foi objeto de um trabalho neste mesmo evento (Cintra e Ferreira, 1997), em que propusemos a técnica de um retângulo equivalente para quantificar as discrepâncias, e ao qual remetemos os interessados.

Vale a pena uma observação final referente às técnicas de ajuste em navegação, em particular a terrestre. Nestas existem algumas formas de tentar um ajuste melhor. Dada uma posição qualquer calculada pelo GPS, sabe-se que esta deve pertencer a uma determinada via por onde o veículo trafegou. Então, pode-se *forçar* a pertinência de um ponto a uma linha; por exemplo através do traçado da perpendicular do ponto GPS até a via. Ou pode-se contar com pontos de sincronismo e ajuste, quando se sabe que o veículo está passando exatamente sobre um ponto bem definido no mapa: cruzamento de duas vias ou de duas feições (estrada, rio, ferrovia, etc.). Isso permite não só ajustar as coordenadas desse ponto mas também as de seus vizinhos mais próximos.

7. CONCLUSÃO

Foram apontadas diversas situações típicas de integração de dados de um mapa digital existente e de pontos levantados através de GPS. Procuramos apontar algumas diretrizes de integração que esperamos serem úteis para os que pesquisam na área.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bacchi, G. S. Tratamento digital de duas fontes distintas de dados geográficos: DGPS e digitalização manual. Trabalho apresentado como seminário da disciplina Computação gráfica (PTR-756), dezembro de 1996.

Cintra, J.P. Precisão e exatidão de um equipamento GPS de bolso, In **Anais do VII CONEA - Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura**, Salvador, 28 a 31 de julho de 1996, pp. 229-238

Cintra, J.P. e Ferreira, L.F.C. Quantificação de discrepâncias entre feições lineares por retângulos equivalentes, in **Anais do XVII CBC - Congresso Brasileiro de Cartografia**, Rio de Janeiro, 3 a 9 de setembro de 1997 (presentes anais).

Cintra, J.P. e Ribeiro, S.C.L. Integração GPS & GIS. In **GeoDigital' 96 - Simpósio Internacional sobre Novas Tecnologias em Geografia e Cartografia**. Departamento de Geografia, FFLCH/USP, 25 a 28 de novembro de 1996. Cadernos de resumos, p. 18 e Anais (no prelo). Veja também possível artigo dos mesmos autores nos anais do presente evento.

Trimble Navigation Limited Manuais do GeoExplorer II: **General Reference e Operation Manual**, Sunnyvale, CA, EUA, 1996

Viadana, M.I.C.F. e Cintra, J.P. The GIS technology to update topographic maps. In **International Cartographic Conference, 17./ General Assembly of ICA, 10, Barcelona, 1995. Proceedings**. Barcelona Institut Cartographic de Catalunya, 1995, v.2 pp. 2143-8.

28 de Outubro de 1958

Dia em que foi fundada a nossa Sociedade Brasileira de Cartografia.
Estamos neste ano comemorando o 40º aniversário da fundação da SBC.