

# MONITORIZAÇÃO DE FROTAS URBANAS COM GPS ESTUDO DO POSICIONAMENTO COM CONSTELAÇÃO MÍNIMA

Gonçalo Prates <sup>1</sup>, Carlos Antunes <sup>2</sup>, Luís Santos <sup>2</sup>, Paulo Sousa <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

<sup>3</sup> Direcção Geral de Transportes Terrestres

## Resumo

Com o objectivo de desenvolver um sistema de monitorização de frotas de transportes públicos urbanos, cujo posicionamento de veículos seja feito com precisão superior a 10 m, a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa juntamente com o Instituto das Ciências da Terra e do Espaço iniciaram o desenvolvimento de um protótipo, denominado SIMOV (Sistema de Monitorização de Veículos), com base na frota da CARRIS de Lisboa, usando o GPS (*Global Positioning System*) como único sistema de posicionamento.

O sistema em desenvolvimento é composto por três módulos: posicionamento, comunicação e monitorização. Deste estudo apenas serão apresentadas as soluções para o posicionamento e para a monitorização.

Relativamente ao posicionamento a apresentação centrar-se-á no estudo desenvolvido com vista ao uso de apenas dois satélites da constelação GPS em curtos períodos de tempo, frequente em circuitos urbanos, já que o posicionamento com três ou mais satélites é um dado adquirido, resultando fiável em termos da precisão pretendida.

Para a monitorização (visualização do posicionamento) serão projectadas duas soluções, usando dados GPS recolhidos na execução do percurso habitual da carreira 38 da CARRIS, a primeira sobre uma base de dados cartográfica de eixos de via da cidade com precisão aproximada do metro e a segunda sobre a representação do trajecto como uma linha recta.

## 1. Introdução

O sistema que se pretende desenvolver, com vista à monitorização de veículos, exige o cumprimento de um conjunto de características que se consideraram como fundamentais para o seu sucesso. Estas características são a capacidade de efectuar o posicionamento em tempo útil, de forma independente do trajecto e com precisão superior a 10 m. Além destas, é importante que o sistema tenha capacidade de sincronização no envio e recepção de informação, para permitir a rasterização de uma frota de algumas centenas de veículos em poucos minutos.

A solução que se considerou com maior potencial para satisfazer as características requeridas, resulta na utilização do GPS como único sistema de posicionamento.

## 2. Correção Diferencial

Para efectuar o posicionamento em tempo útil com GPS, a solução mais simples resulta no uso das pseudo-distâncias obtidas do código. No entanto, o posicionamento absoluto com código quase nunca permite precisões superiores a 10 m. Assim é porque no posicionamento absoluto os erros que enviam as pseudo-distâncias não são corrigidos, sendo aqueles que mais as influenciam o atraso atmosférico resultante da ionosfera e da troposfera, o erro devido ao multitrajecto, o efeito da utilização de efemérides radiodifundidas, os erros provocados pelas técnicas de acesso selectivo e anti-sabotagem e o erro imposto pelo não sincronismo dos relógios dos satélites relativamente ao tempo GPS. O resultado do não sincronismo do relógio do receptor relativamente ao tempo GPS é corrigido pela determinação deste erro em conjunto com as coordenadas da posição do receptor. A obtenção de precisões superiores a 10 m implica a eliminação ou pelo menos a atenuação destes erros.

A ideia subjacente à correção diferencial é de que certo tipo de erros que degradam o rigor do posicionamento têm idêntica influência em diferentes utilizadores que se encontrem numa determinada área. Todos os erros não corrigidos que se referiram, à excepção do multitrajecto, são deste tipo, pelo que se se determinar o efeito conjunto desses erros numa estação de coordenadas conhecidas, a correção do efeito em utilizadores não muito afastados da estação resulta, no mínimo, na atenuação dos erros e como consequência na obtenção de precisões superiores a 10 m. O resultado comparativo da aplicação ou não desta ideia pode ser visto na figura 1.

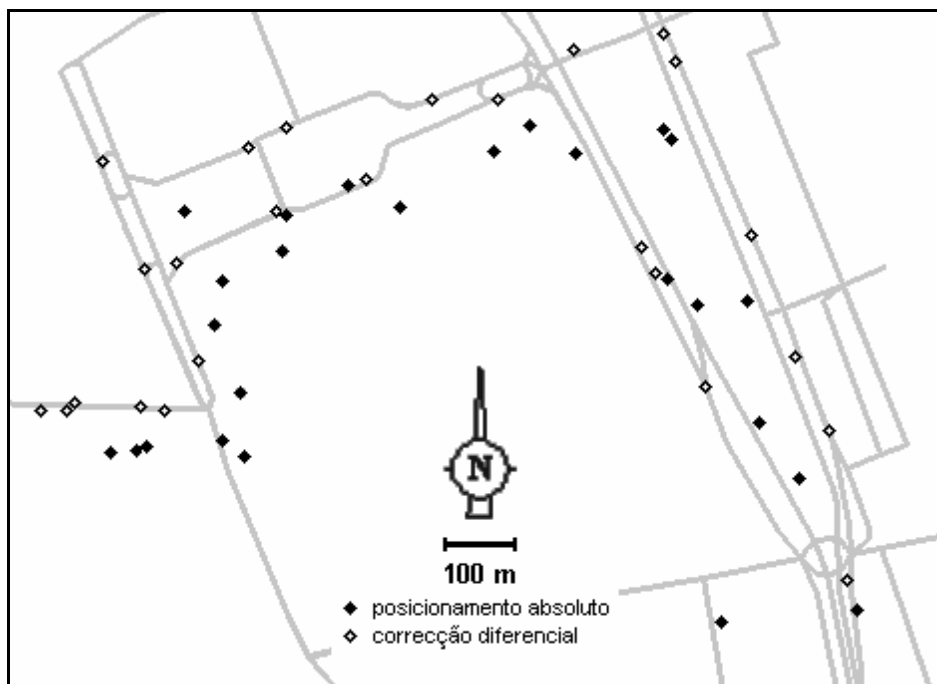


Fig. 1 – ABSOLUTO CONTRA DIFERENCIAL

### 3. Constelação Mínima

A posição do veículo em cada época é resultado da obtenção das suas coordenadas tridimensionais. Como já foi referido o erro devido ao não sincronismo do relógio do receptor, em cada época, é determinado em conjunto com as coordenadas da posição do receptor. É então necessário calcular quatro parâmetros, e para tal tem que existir, no mínimo quatro equações de observação ou de condição.

A cada satélite observado corresponde uma equação de observação, pelo que se forem observados quatro ou mais satélites a posição do veículo é obtida. No entanto, em circuitos urbanos é frequente observar menos de quatro satélites, durante breves períodos de tempo.

Se forem observados três satélites, basta ter em atenção que a distância geocêntrica de um veículo que se desloca na superfície terrestre, não é significativamente alterada entre duas épocas não muito afastadas no tempo. A equação de observação relativa ao quarto satélite pode assim ser substituída por uma equação de condição que fixa a distância geocêntrica nas posições obtidas com três satélites. No essencial apenas é afectada a altitude ou cota do veículo, que em geral se despreza nestes sistemas, resultando posições planimétricas com precisão superior à pretendida, como pode ser visto na figura 2.

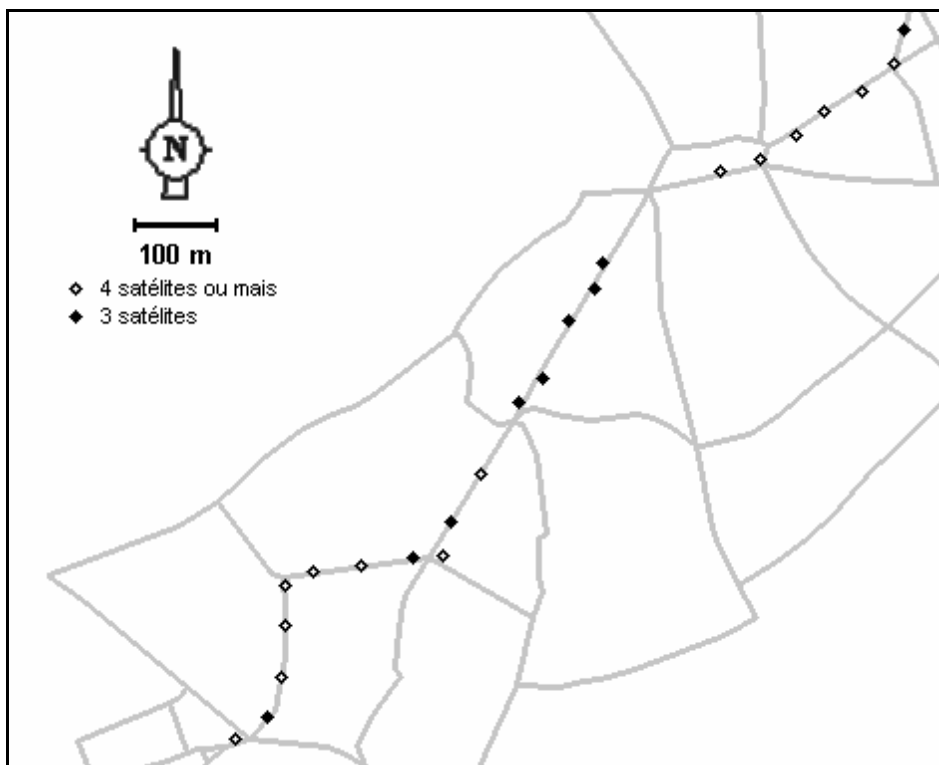


Fig. 2 – POSIÇÕES COM TRÊS OU MAIS SATÉLITES

E só com dois satélites observados, é possível?

Se for possível conhecer qual o erro do relógio do receptor numa determinada época, a partir do seu comportamento em épocas anteriores, deixa de ser necessário calculá-lo em função das pseudo-distâncias observadas.

Com uma forma alternativa de determinar uma das incógnitas, passa-se a ter apenas três parâmetros por calcular, logo só são necessárias três equações, uma de condição, que fixa a distância geocêntrica, e duas de observação, relativas aos dois satélites observados.

No entanto, há que prestar atenção ao facto de um erro de apenas 10 ns no cálculo do erro do relógio do receptor, resultar aproximadamente em 3 m de erro em cada uma das pseudo-distâncias observadas.

Na figura 3 pode ser observado um gráfico do comportamento do erro do relógio, do receptor que se utilizou, ao longo do tempo que decorreu para realizar o percurso teste.

É possível verificar que o erro do relógio se comporta como um polinómio de segundo grau, embora depois do receptor atingir a sua temperatura normal de funcionamento, tenha tendência para se identificar mais com uma recta, sendo apenas sensível à temperatura ambiente.

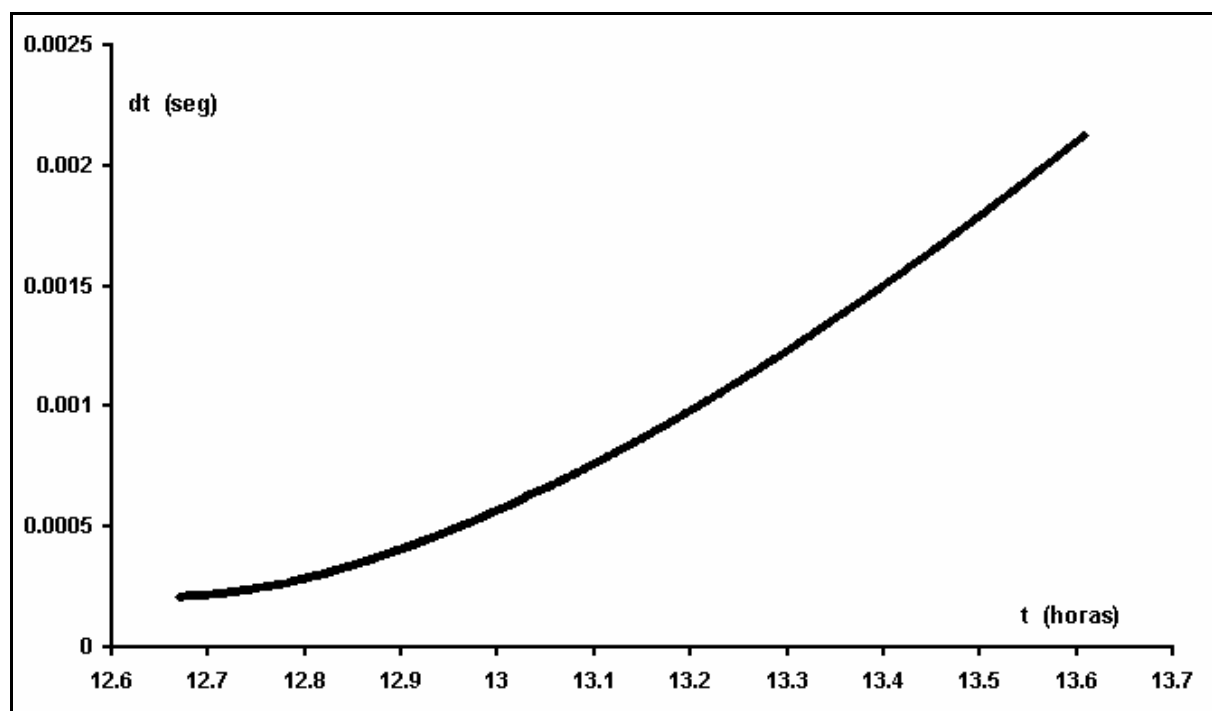


Fig. 3 – ERRO DO RELÓGIO EM FUNÇÃO DO TEMPO

Como consequência do estudo deste gráfico foram testadas três equações para o erro do relógio ( $cdt$ ) em função do tempo ( $t$ ):

$$cdt = a_1 \cdot t^2 + a_2 \cdot t + a_3 \quad (1)$$

$$cdt = a_1 \cdot t + a_2 \quad (2)$$

$$cdt = a_1 \cdot t^2 + a_2 \cdot t + a_3 + a_4 \cdot \sin(a_5 \cdot t) \quad (3)$$

Na equação (3), o objectivo da introdução de uma correcção em função do seno é o de ter em consideração pequenas oscilações, não visíveis no gráfico anterior, que poderiam influenciar a determinação dos parâmetros da equação do segundo grau.

Os coeficientes  $a_i$  foram determinados, em cada época com dois satélites, pelo método dos mínimos quadrados, a partir dos erros do relógio calculados nas trinta épocas anteriores, espaçadas de 30 s.

A equação que melhores resultados deu foi o polinómio de segundo grau (1).

Na figura 4 podem ver-se épocas em que o posicionamento é feito de forma correcta, outras em que é possível pelo menos perceber em que posição deveriam de estar, e ainda outras, que acontecem várias vezes, não nesta figura mas no total do percurso, com um comportamento quase aleatório. Pode concluir-se então que esta forma de determinação da posição do veículo com apenas dois satélites não satisfaz, pelo que o erro do relógio se deve manter como um quarto parâmetro a determinar em função das duas pseudo-distâncias.

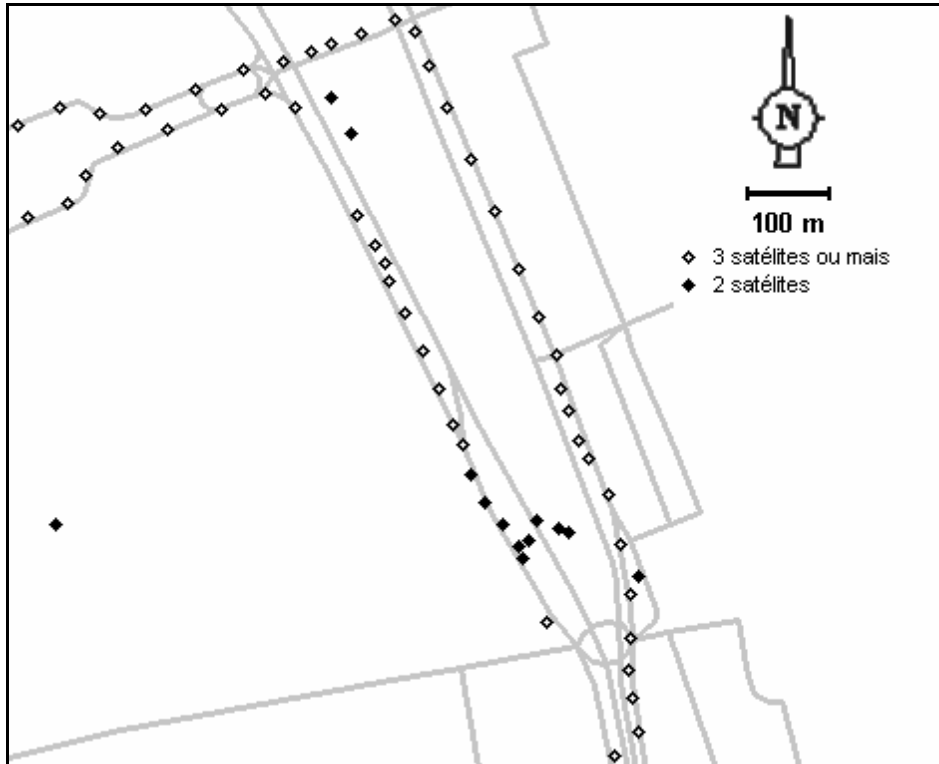


Fig. 4 – DETERMINANDO O ERRO DO RELÓGIO EM SEPARADO

A solução volta a passar por substituir a equação de observação relativa ao terceiro satélite por uma nova equação de condição.

É um facto que um veículo à velocidade de 50 km/h se desloca em 5 s aproximadamente 70 m. Assim, as distâncias entre uma posição fixa no espaço e as posições de um veículo em duas épocas separadas de 5 s diferem no máximo 70 m.

No entanto, se a posição fixa no espaço, colocada a 21000 km do veículo, estiver na direcção perpendicular ao deslocamento do veículo, aos 70 m percorridos corresponde uma diferença de 0,1 mm entre as distâncias da posição fixa às posições do veículo.

Para testar esta ideia, até ao momento, foram estudadas duas situações. A primeira consistiu em usar uma posição elevada, perto do zénite, pois qualquer que fosse a direcção do deslocamento do veículo a posição fixa iria ser-lhe praticamente perpendicular. O maior problema resulta da direcção zenital ser quase coincidente com a direcção da distância geocêntrica, fazendo com que as equações de condição não sejam totalmente independentes.

A segunda correspondeu a utilizar uma posição, afastada do zénite, perpendicular à direcção do movimento do veículo da penúltima para a última épocas calculadas. O problema passou a ser uma possível mudança de direcção do veículo, pois um desvio em relação à perpendicular de 5° implica uma diferença entre as distâncias da posição fixa às posições do veículo de aproximadamente 6 m, o suficiente para que o posicionamento resulte de forma incorrecta.

Os resultados que obtivemos podem ser apreciados, para cada situação testada, nas figuras 5 e 6 respectivamente, onde se pode verificar a dependência das posições calculadas com dois satélites relativamente à direcção que o veículo tinha da penúltima para a última época.

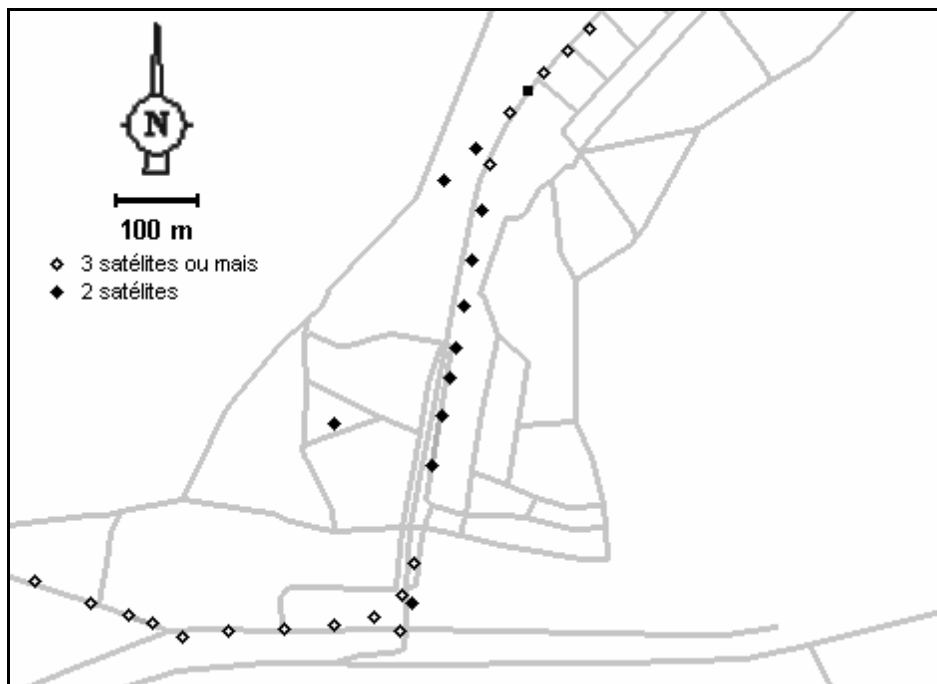


Fig. 5 – POSIÇÕES FIXAS PERTO DO ZÉNITE

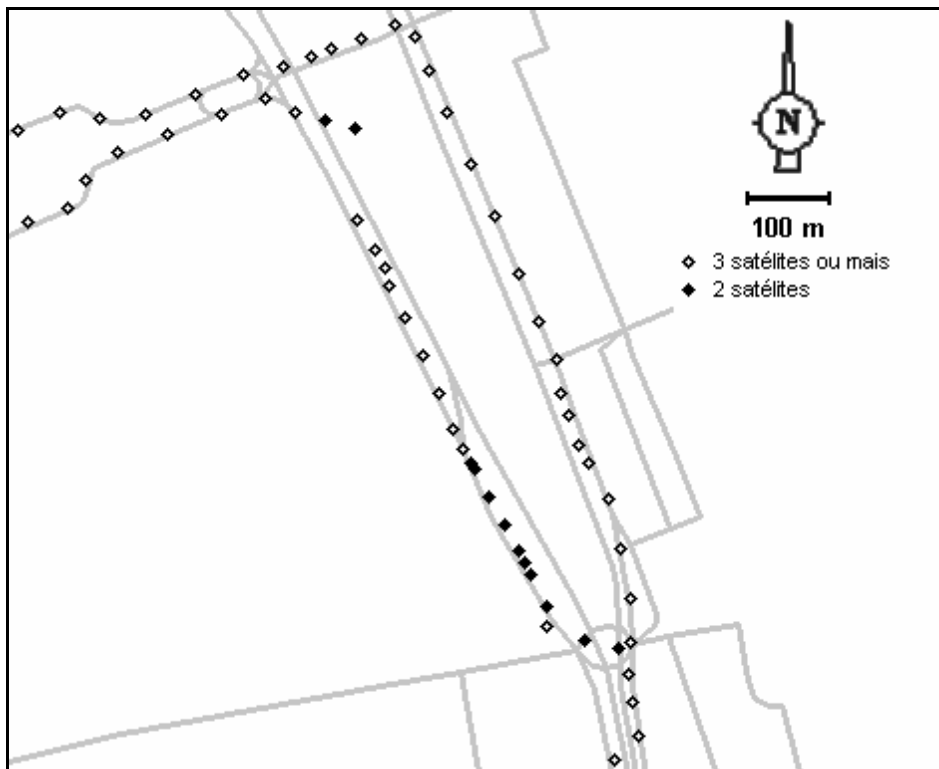


Fig. 6 – POSIÇÕES FIXAS PERPENDICULARES AO MOVIMENTO

#### 4. Conclusões

Dos resultados obtidos conclui-se que existe pelo menos uma posição fixa no espaço tal que a sua distância ao veículo na época anterior pode ser usada como condição, obtendo-se posições fiáveis. Essa posição fixa no espaço talvez possa ser procurada, fazendo variar o seu azimute, através de testes *a posteriori*, eliminando os resultados em que o erro do relógio não verifique o comportamento esperado e em que a posição resulte a mais de 70 m da posição anterior, para além de se procurar a posição fixa que dê a solução em que os resíduos sejam os mínimos.

## **Bibliografia**

- Briquet, P., É. Blanché, J.-P. Godefroy (1996) “Métrologie des Déplacements par GPS en milieu urbain dense”. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, No.206, pp. 5-15.
- Denaro, R.P. and R.M. Kalafus (1988) “Differential Operation of NAVSTAR GPS for Enhanced Accuracy.” AGARD Lecture Series No.161 – The NAVSTAR GPS System, Loughton USA, pp. 10.1-10.18.
- Leick, A. (1989) *GPS Satellite Survey*. John Willey & Sons, USA.
- Mendes, V.B. (1995) *Tópicos de Geodesia Espacial*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Mendes, V.B. (1996) *Tratamento e Análise de Dados*. Texto não publicado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.