

O PROJECTO SERVIR DO IGEOE E SUAS APLICAÇÕES

António Afonso⁽¹⁾; Francisco Martins⁽¹⁾; Rui Dias⁽¹⁾; Virgílio Brito Mendes⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto Geográfico do Exército – Av. Dr. Alfredo Bensaúde 1849-014 Lisboa

⁽²⁾ IDL, LATTEX, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – 1749-016 Lisboa

Afonso@igeoe.pt; fmartins@igeoe.pt; rdias@igeoe.pt; vmendes@fc.ul.pt

Resumo

Este projecto visa criar uma rede de estações de referência GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para RTK (*Real Time Kinematic*) em Portugal Continental, para fornecer em tempo quase real correcções diferenciais, que permitam a um utilizador a obtenção das coordenadas precisas de um ponto no terreno.

A forma de obtenção dos dados para a elaboração da Cartografia Militar tem de acompanhar a evolução dos tempos. No caso do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), sobrepõe-se ainda a necessidade da actualização da sua cartografia militar, uma vez que terminou em 2006 a aquisição em formato vectorial de todo o Território Nacional.

O método de posicionamento em modo de Base – RTK constitui a forma tradicional da Secção de Topografia do IGeoE para adquirir informação geo-referenciada, necessária aos diversos processos de produção da sua cartografia.

Para poder actualizar essa informação de forma mais rápida e precisa, o IGeoE tem em curso o desenvolvimento do Projecto **SERVIR** “Sistema de Estações de Referência GNSS **VIR**tuais”.

Palavras Chave: GNSS, RTK, Rede de Estações de Referência

1. Introdução

A ideia do projecto SERVIR (Sistema de Estações de Referência GNSS **VIR**tuais), surgiu devido ao esforço quer em meios humanos, materiais e logísticos quer nas dificuldades encontradas na realização do apoio topográfico e respectivo tempo consumido, por parte das equipas topográficas do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) com a tradicional metodologia RTK para apoio topográfico em WGS84 (*World Geodetic System 1984*) (Afonso *et al.*, 2002).

Este projecto, liderado pelo Instituto Geográfico do Exército visa implementar, em três fases distintas, uma rede de estações de referência GNSS cobrindo a maior parte possível de Portugal Continental, de forma a obter correcções diferenciais para RTK nessas áreas abrangidas. O objectivo é aumentar a produtividade de aquisição de informação geo-referenciada visando actualizar a Cartografia Militar de forma mais rápida e precisa.

A primeira fase do referido projecto está concluída e actualmente existem 7 estações de referência GPS a funcionar (ver Figura 1). A segunda fase implementada em 2006 e até Abril de 2007), visa ampliar a rede com mais 13 estações (GPS + GLONASS), enquanto que a terceira fase, a realizar a partir de 2007, visa adensar o existente e ampliar a rede no interior do País.

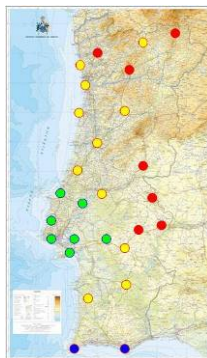


Figura 1 – Fases do Projecto SERVIR:

● A funcionar; ● Já instaladas, mas não ligadas à rede SERVIR; ● Até Abril de 2007; ● Planeado para 2007).

2. Conceito de Base-RTK e de Rede-RTK

A metodologia associada ao RTK baseia-se no princípio de que os erros que afectam o cálculo da posição absoluta no GPS são aproximadamente iguais numa determinada área geográfica em que se esteja a trabalhar. Esses erros resultam, por exemplo, dos efeitos da ionosfera, troposfera, órbitas dos satélites GPS, osciladores dos satélites e dos receptores. Sob estas condições, em Portugal Continental, as coordenadas obtidas pelos receptores GPS em modo absoluto, variam entre 1 a 10 metros, consoante a geometria dos satélites disponíveis no momento da aquisição dos dados GPS. Se colocarmos um receptor GPS (designado por Estação de Referência – ER), num ponto de coordenadas perfeitamente conhecidas (por exemplo um Vértice Geodésico – VG), este pode comparar as coordenadas calculadas através do GPS com as desse ponto (rigorosas). Obtém-se assim as correcções diferenciais, que são posteriormente radiodifundidas para outro receptor GPS, denominado “Móvel”, para correcção das coordenadas calculadas por este (ver Figura2).

O posicionamento DGPS (*Differential GPS*) aplica esta técnica em tempo real para correcções da pseudo-distância com precisões de cerca de 1 m. O posicionamento RTK utiliza correcções de fase fazendo uma correlação temporal e espacial dos erros, obtendo precisões centimétricas ou melhor.



Figura 2 - Conceito Base-RTK

O método designado por Base – RTK (também conhecido na literatura por “estação-base simples”, da denominação em inglês *Single Base Station* (SBS)) tem a restrição da distância inter-receptores ser de 10 km ou inferior (Rizos, 2003). No entanto há outras limitações das quais se salientam, o facto de ser necessário pelo menos dois equipamentos GPS que são utilizados por duas equipas de topografia (uma para manusear a ER e a outra para manusear o receptor Móvel) e o raio de acção limitado pela distância (para coordenadas centimétricas), aumentado a degradação à medida que aumenta a distância ER - Móvel. Outra limitação que por vezes surge, para além da necessidade de se obter autorização para operar com determinadas frequências rádio, é o efeito de interferência de outras estações de referência com o equipamento que estamos a operar.

Sabendo que a principal limitação da metodologia base-RTK é a distância ER-Móvel, a metodologia rede-RTK utiliza uma rede de estações de referência GNSS com coordenadas conhecidas com precisão. Da análise de cada estação resulta um conjunto de resíduos que, no seu conjunto, permitirão modelar os erros sistemáticos numa dada região. Assim, as correcções diferenciais para os receptores a operarem nessa área terão uma influência reduzida desses mesmos erros, ao mesmo tempo que se aumenta a área de actuação de um receptor Móvel, e se reduzem os tempos de inicialização desses mesmos receptores.

3. Conceito VRS

O conceito VRS (*Virtual Reference Station*) é baseado numa rede de estações de referência permanentes, ligadas entre si através de uma infra-estrutura de comunicações com o Centro de Controlo.

O *software* existente neste Centro, ao receber os dados de todas as estações de referência, vai monitorizá-las, analisando permanentemente as portadoras L1 e L2 no que respeita a :

- Erros de Ionosfera e de Troposfera;
- Erros das efemérides;
- Ambiguidades para a L1 e L2.

Terminada esta tarefa, o *software* utiliza esta informação de forma a diminuir a influência dos erros sistemáticos (ionosféricos, troposféricos...) (Luttenberger e Amor, 2004). O conceito está ilustrado (ver Figura 3).

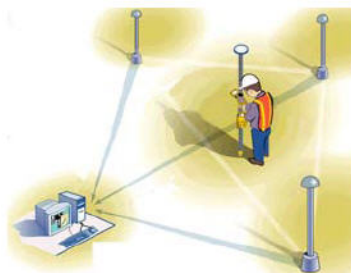


Figura 3 - Esquema da rede [Landau et al., 2002]

Por sua vez o Móvel, através de uma ligação bidireccional (ex. telemóvel) por GSM (*Global System for Mobile communications*) / GPRS (*General Packet Radio Service*), envia a sua posição aproximada para o Centro de Controlo, numa mensagem *standard* NMEA (*The National Marine Electronics Association*) com formato GGA (Registo NMEA – *Global Position System Fix Data*), uma vez que é um formato que se encontra disponível na maioria dos receptores GNSS Móvel (ver Figura 4).

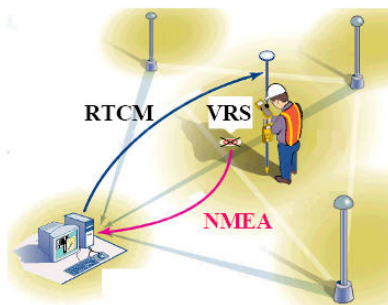


Figura 4 - Envio das correcções [Landau et al., 2002]

O Centro de Controlo aceita a posição e responde, enviando para o Móvel, correcções em formato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) ou em formato proprietário CMR (*Compact Measurement Record*), por exemplo (ver Figura 4).

Assim que o Móvel recebe esses dados, actualiza a sua posição para uma solução DGPS. A solução DGPS gerada tem uma precisão de ± 1 m, o que é suficientemente bom para assegurar que as distorções atmosféricas e das efemérides modeladas para a totalidade da rede sejam aplicadas correctamente. De seguida envia a sua nova posição para o Centro de Controlo.

Por sua vez, o Centro de Controlo efectua um novo cálculo de correcções, que envia para o Móvel. Estas correcções aparecem como se de uma estação de referência junto ao Móvel

existisse (estação virtual), sendo este o motivo do nome atribuído a esta metodologia (ver Figura 4).

Como o Móvel pode estar em qualquer ponto da rede, o software de cálculo utiliza toda a informação disponível, no sentido de interpolar a posição do Móvel (ver Figura 5).

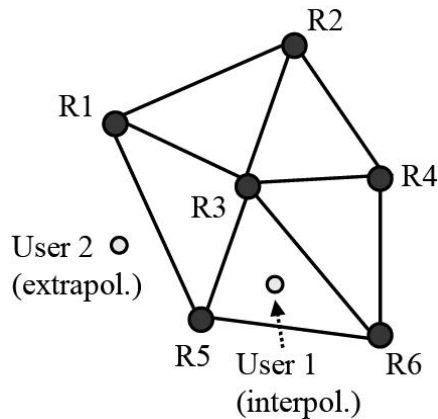


Figura 5 - Interpolação/Extrapolação [Landau et al., 2002]

Quando é feita a interpolação pelo *software* de cálculo, é utilizada uma técnica especial de interpolação, utilizando uma aproximação linear pesada e ajustamento por mínimos quadrados, com base na parte residual dos erros das estações de referência.

Esta técnica de interpolação tanto permite interpolar para um utilizador no interior da rede como extrapolar para outro utilizador que esteja fora dessa mesma rede (ver Figura 5).

4. Arquitectura da rede SERVIR

A arquitectura da rede deste projecto foi concebida de forma a garantir a maior segurança possível, fiabilidade e rapidez de funcionamento, através da redundância de cálculo (dois computadores em simultâneo); assim, em caso de alguma ocorrência inoportuna com um deles, o outro assegura automaticamente o fornecimento das correcções da rede aos utilizadores. Pode assegurar até 50 utilizadores em simultâneo (ver Figura 6).

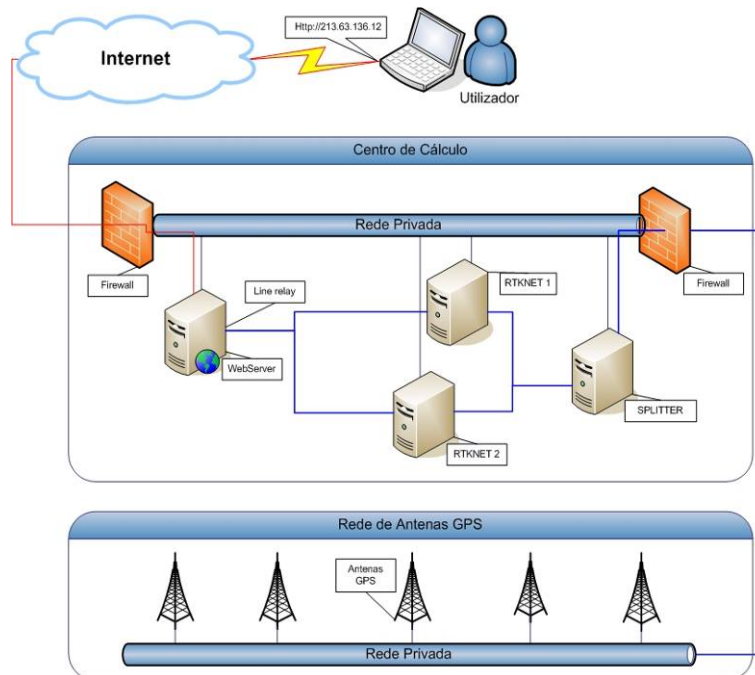


Figura 6 - Arquitectura rede SERVIR

Cada estação de referência da 1ª fase está equipada com um receptor Trimble NetRS e antena geodésica *Choke Ring* (as da 2ª fase têm um receptor Trimble NetR5 e antena geodésica *Zephyr Geodetic 2*) fonte de alimentação principal e alternativa e com uma linha de comunicações dedicada ao Centro de Controlo, via TCP / IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*).

O computador **SPLITTER** tem a função de permitir uma comunicação sincronizada com cada estação de referência GNSS, de forma a que as suas observações GNSS cheguem aos dois computadores de cálculo (RTKNet1 e RTKNet2) de forma correcta. Permite também estabelecer comunicação remota com cada estação de referência de forma a evitar deslocações ao local.

Os 2 computadores de cálculo (**RTKNet1** e **RTKNet2**) executam várias tarefas das quais se destacam:

- Verificação da qualidade dos dados GNSS observados e importados de cada estação de referência;
- Verificação e validação dos ficheiros RINEX armazenados e posteriormente disponibilizados aos utilizadores;
- Correção do centro de fase das antenas geodésicas GNSS;
- Estimção e modelação dos erros ionosféricos, troposféricos e efemérides;
- Geração das respectivas mensagens de correcção VRS (*Virtual Reference Station*) para cada utilizador no terreno, quer em formato proprietário CMR e CMR+, quer em formato padrão RTCM 2.3 e RTCM 3.0.

A comunicação com os utilizadores é assegurada através de um quarto computador (**WebServer**) onde se encontra uma página Web que fornece informação aos utilizadores, assim como uma base de dados de permissão de acessos ao sistema.

Para estabelecer a comunicação com o SERVIR, os meios a utilizar podem ser via:

- **Rádio** para as unidades militares, cujas correcções diferenciais são enviadas através de um rádio modem com frequências próprias. O rádio modem é ligado ao receptor da estação de referência. O modo de posicionamento neste caso é base-RTK;
- **GSM** para receber as correcções diferenciais em modo rede-RTK, mas apenas para situações de emergência, no caso do computador WebServer não funcionar. Os oito modem GSM estão ligados directamente aos computadores de cálculo. No entanto este meio de comunicação tem mais custos de utilização do que o GPRS e não permite de forma directa saber quem está a utilizar o SERVIR. Apenas se sabe qual o número telefónico que está a ser utilizado. Para efeitos comerciais a gestão é muito mais complexa.
- **GPRS** através de protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*). Dado o IGeoE já dispor de um IP para a sua Internet, é a forma mais adequada para controlar acessos ao SERVIR, além de ser mais económico que o GSM;
- **Http** (*Hypertext Transfer Protocol*) permite que os utilizadores efectuem transferência de dados RINEX através da página Web do SERVIR, utilizando a Internet do IGeoE. Os acessos estão controlados pelo registo efectuado pelo utilizador e respectiva senha (*password*) atribuída;
- **Ftp** (*file transport protocol*) apenas para transferência de grande quantidade de dados. Como existem problemas de segurança, nomeadamente a abertura de portas através da firewall, optou-se por ser o SERVIR a colocar via ftp noutra computador.

5. Serviços disponibilizados pelo SERVIR

Para aceder aos serviços disponibilizados é preciso ter permissão de acesso, pelo que o IGeoE deverá ser contactado através de <mailto:igeoe@igeoe.pt?subject=ProjectoSERVIR> ou do endereço electrónico geral (igeoe@igeoe.pt), disponibilizado na página Web do IGeoE www.igeoe.pt, ou fazer a inscrição através da página Web das Estações de Referência (<http://213.63.136.12>). Os serviços disponibilizados são:

- **DGPS**, até um máximo de 5 utilizadores em simultâneo. As correcções diferenciais são disponibilizadas no formato de mensagem RTCM 2.3 (ver Figura 7).

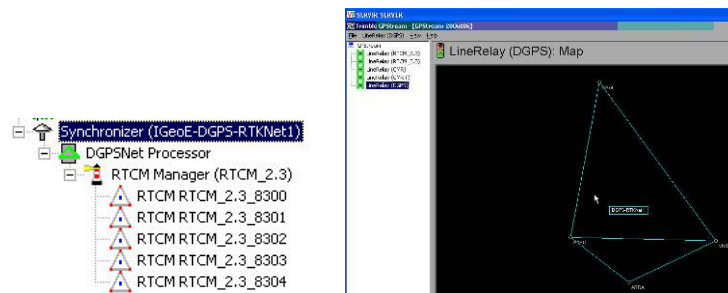


Figura 7 – Rede SERVIR - DGPS

- **RTK**, até um máximo de 45 utilizadores em simultâneo. As correcções diferenciais são disponibilizadas nos formatos de mensagens CMR, CMR+, cujos formatos são proprietários, ou RTCM 2.3 cujo formato é padrão, e RTCM 3.0 (em definição final de formato) (ver Figura 8).

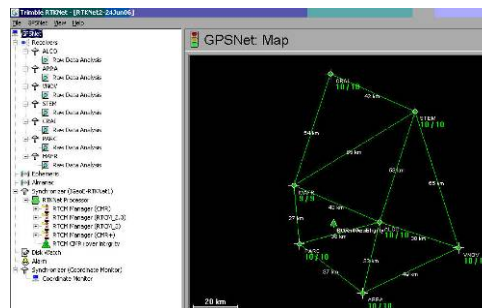


Figura 8 – Rede SERVIR - RTK

- A análise de dados em **pós-processamento** é possível com o *download* dos ficheiros RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) directamente da respectiva página Web (<http://213.63.136.12>) (ver Figura 9).



Figura 9 – Rede SERVIR – Loja RINEX

6. Aplicações da rede SERVIR

Desde que a rede ficou disponível, em Abril de 2006, que as coordenadas colocadas nas estações de referência SERVIR se encontram referidas ao referencial ITRF2000, época 2006,16. De modo a que o processo de controlo de qualidade posicional fosse totalmente independente, a metodologia adoptada consistiu em:

- escolher a base de maior dimensão, de entre as estações de referência da rede SERVIR, por ser considerada a situação mais desfavorável. Essa base é formada pelas estações de referência de Santarém e Vendas Novas, correspondendo a uma distância de 68 km;
- a meio dessa base, identificaram-se no terreno um conjunto de vértices geodésicos, que se encontram perpendiculares à base referida e igualmente (dentro do possível) espaçados

entre si, quer para o interior da rede quer para o exterior da mesma. Foram identificados os vértices geodésicos constantes no Quadro 1, que apresentam a distribuição espacial representada na Figura 10;

- foram efectuadas sessões de observação GPS de 3 h para cada VG referido, seguido de pós-processamento em ITRF2000, época 2006,16, de modo a ser uniforme com a mesma época de pós-processamento para a rede SERVIR, cujas coordenadas se encontram no Quadro 2;
- a recolha das coordenadas terreno (Quadro 3) foi feita com um equipamento GNSS Móvel Trimble R8, utilizando as correcções diferenciais difundidas pela rede SERVIR.

Quadro 1 - vértices geodésicos e a distância à base de referência.

Vértices Geodésicos	Número	Distância para o interior (km)	Distância para o exterior (km)	Folha 1:25000
ASNO	1	9.5		406
CHÃO BARROSO	2	0	0	392
CONCELHOS	3		14	393
CASCALHO	4	17		405
ESCUSA	5		21	393
LAGOA DA PEDRA	7		4.5	392
RAPOSEIRA	8	6		406
VALE GRANDE	9	13		405
VÁRZEA DE ÁGUA	10		9	393

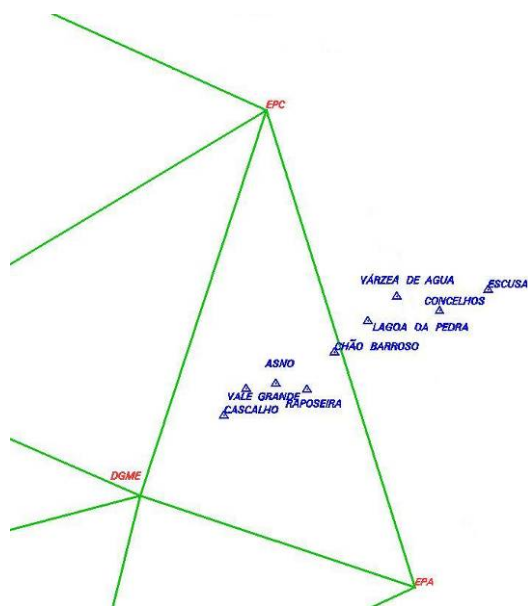


Figura 10 - Distribuição espacial dos vértices geodésicos.

Quadro 2 - Coordenadas dos vértices geodésicos em ITRF 2000 época 2006,16.

Vértices Geodésicos	X (m)	Y (m)	Z (m)
ASNO	4912349.766	-748899.410	3985377.677
CHÃO BARROSO	4910930.605	-740924.947	3988601.923
CONCELHOS	4909575.591	-726829.573	3992875.665
CASCALHO	4913959.036	-756015.558	3982057.015
ESCUSA	4908815.901	-720278.898	3995043.222
LAGOA DA PEDRA	4909057.944	-736250.759	3991787.717
RAPOSEIRA	4913432.854	-744974.622	3984793.930
VALE GRANDE	4912227.024	-752813.669	3984784.661
VÁRZEA DE ÁGUA	4907595.807	-732238.349	3994322.941

Quadro 3 - Coordenadas obtidas através da rede SERVIR.

Vértices Geodésicos	X (m)	Y (m)	Z (m)
ASNO	4912349.832	-748899.461	3985377.711
CHÃO BARROSO	4910930.577	-740924.957	3988601.890
CONCELHOS	4909575.601	-726829.569	3992875.641
CASCALHO	4913959.043	-756015.555	3982057.027
ESCUSA	4908815.930	-720278.867	3995043.096
LAGOA DA PEDRA	4909057.965	-736250.766	3991787.689
RAPOSEIRA	4913432.872	-744974.612	3984793.905
VALE GRANDE	4912227.049	-752813.681	3984784.676
VÁRZEA DE ÁGUA	4907595.814	-732238.390	3994322.930

A análise dos resultados obtidos permite concluir que, apesar da necessidade da realização de mais testes de controlo de qualidade posicional e atendendo aos valores apresentados, conclui-se que, no interior da rede SERVIR, se obtêm valores melhores que 6,6 cm e que, no exterior e até 14 km da base, se obtêm valores melhor que 4,1 cm (Quadro 4). Não sendo plausível que fora da rede se obtenha melhores resultados que no seu interior, há que averiguar o que se passa no vértice geodésico ASNO, pelo que, de uma forma mais genérica e até confirmação posterior, se pode inferir que a rede SERVIR, quer no seu interior quer até uma distância para fora da rede de cerca 14 km, proporciona exactidões melhores do que 5 cm.

Quadro 4 - Diferença de coordenadas entre a rede SERVIR e os vértices geodésicos

Vértices Geodésicos	Distância para o interior (km)	Distância para o exterior (km)	DIFERENÇAS		
			dX (m)	dY (m)	dZ (m)
CASCALHO	17		-0.007	-0.003	-0.012
VALE GRANDE	13		-0.026	0.012	-0.015
ASNO	9.5		-0.066	0.051	-0.034
RAPOSEIRA	6		-0.018	-0.010	0.025
CHÃO BARROSO	0	0	0.028	0.010	0.033
LAGOA DA PEDRA		4.5	-0.021	0.007	0.028
VÁRZEA DE ÁGUA		9	-0.007	0.041	0.011
CONCELHOS		14	-0.010	-0.003	0.024
ESCUSA		21	-0.030	-0.031	0.126

Assim, propõe-se uma área útil de trabalho (ver Figura 11) delimitada pela linha a tracejado.

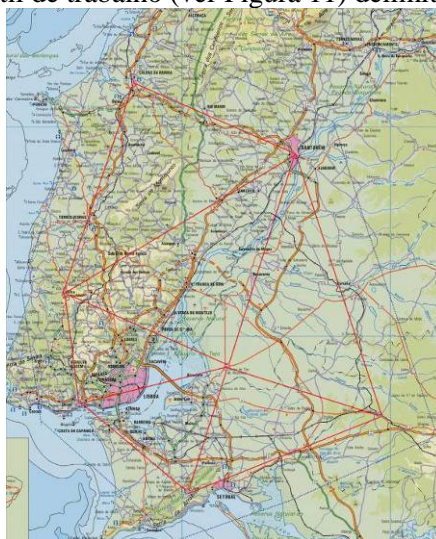


Figura 11 – Área útil de trabalho

Efectuado o controlo de qualidade posicional, elaborou-se outro teste de campo independente do anterior, que visa determinar em média quanto tempo um utilizador leva a obter as coordenadas de um ponto pretendido e qual a exactidão obtida.

No IGeoE existe um ponto de centragem forçada, com coordenadas conhecidas em ITRF2000, época 2006,16. Utilizou-se para o efeito um receptor Trimble GNSS R8 e um cronómetro. Fizeram-se em 2 dias (manhã e tarde) 100 medições espaçadas em séries de 20, cujas médias dos resultados se apresentam no Quadro 5.

Quadro 5 – Tempo e diferença de coordenadas adquiridas através da rede SERVIR, no IGeoE

Ponto	T1 (s)	T2 (s)	DIFERENÇAS			
			dX (m)	dY (m)	dZ (m)	2D (m)
IGeoE	25.5	32.5	0.038	0.001	0.052	0.040

NOTA:

T1 - Tempo de ligação à rede SERVIR

T2 - Tempo após ligação até estar pronto a registar as coordenadas do ponto

Quanto ao tempo que o receptor móvel GNSS leva em média a inicializar e a ficar pronto para efectuar a determinação das coordenadas dos pontos pretendidos, os resultados indicam ser melhor que 1 minuto, com uma exactidão melhor que 4 cm em planimetria e 5,2 cm em altimetria.

São várias as aplicações a realizar a partir da rede SERVIR. Isto é, quer seja em DGPS ou RTK, quer em pós-processamento, permitindo utilizar equipamentos GNSS independentemente das marcas existentes no mercado Nacional.

Nas unidades militares, os receptores da rede SERVIR estão configurados de modo a permitir a ligação dos rádio modem dos equipamentos GNSS aí existentes facilitando o uso do equipamento GNSS e permitindo desta forma que as unidades possam efectuar os seus trabalhos de topografia, treinar e dar formação ao seu pessoal de forma mais económica e com menos recursos humanos.

Para equipamentos de geração menos recente, também estes podem utilizar os dados disponibilizados pela rede SERVIR. Isto é, aqueles que não tenham capacidade de receber as correcções diferenciais por GPRS, dispensando assim a montagem de um receptor base num VG a emitir correcções diferenciais, eliminando não só os problemas associados à distância Base-Móvel e comunicações rádio. Para compatibilizar esses equipamentos com o SERVIR é necessário um computador com acesso à Internet (utilizando por exemplo uma placa de comunicações 3G), um rádio modem ligado a uma porta COM do computador para emitir as correcções diferenciais recebidas no computador e o software *GNSS Internet Radio* para se ligar ao projecto SERVIR, receber as correcções diferenciais para a posição definida pelo utilizador e enviar essas correcções para uma porta COM do computador que via rádio as envia ao Móvel. É também possível ao receptor GPS receber as correcções diferenciais directamente da porta COM do computador.

7. Conclusões

Os testes efectuados até ao momento asseguram que no interior da rede e em condições atmosféricas normais, a **exactidão** obtida é **melhor do que 5 cm**. No exterior da rede e até uma distância de 15 km obtém-se os mesmos valores de exactidão que no seu interior. Como os utilizadores têm de efectuar uma calibração local no sistema de coordenadas pretendido, significa que o SERVIR permite obter valores dentro dos padrões da rede geodésica nacional, isto é melhor que 10 cm. No entanto mais testes vão ser feitos em diversas condições de utilização com o objectivo de testar o comportamento desta rede, nomeadamente em condições adversas.

O Projecto SERVIR que se encontra disponível desde Abril de 2006, permitiu ao IGeoE efectuar os seus trabalhos de topografia de forma mais rápida, económica e com menos recursos humanos, aumentando assim a sua produtividade. Para as unidades militares é uma mais valia porque permite formar e treinar as suas equipas de topografia, ao mesmo tempo que as habilita com o que de mais moderno existe nos países mais avançados.

Referências Bibliográficas

Afonso, A. J. G.; Alhandra, M. S.; Rossa, J. M. R.; Simão, F. J. M. (2002): “Metodologia Para Apoio Topográfico em WGS84”. Actas da III Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Págs.299-307. Lidel – edições técnicas, lda .

Landau, H., U. Vollath, X. Chen (2002): “Virtual Reference Station Systems”, Journal of Global Positioning Systems, Vol.1 N.º.2, pp137-143.

Luttenberger, C., M. Amor (2004): “Introducción al concepto de redes VRS (Virtual Reference Stations)”, VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, 19-22 Out 2004, Madrid, Espanha.

Rizos, C. (2003): “Network RTK Research and implementation – A Geodetic Perspective”, disponível em http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/rizos_2003a.pdf, consultado em 14 de Agosto de 2006.