

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Ciências
ULisboa

Avaliação da Qualidade do Posicionamento da Rede GNSS
SERVIR - CIGeoE

Mestrado em Engenharia Geográfica

Jorge Miguel Gonçalves Ferreira dos Santos

Dissertação orientada
pelo Professor Doutor Virgílio de Brito Mendes

2015

Página intencionalmente deixada em branco

Resumo

Em 2006 o atual Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE) começou a planear a instalação de uma rede de estações de referência GNSS (SERVIR). Inicialmente as estações estavam localizadas apenas na região de Lisboa, mas atualmente a cobertura integral de Portugal Continental está garantida. Desde a instalação da primeira estação de referência, nunca foi efetuado um controlo de qualidade a toda a rede. Para além deste aspeto, encontra-se em fase de testes, para posterior implementação, um novo programa de cálculo, denominado de Trimble® PIVOT™ (PIVOT), que substituirá o anterior, denominado de GPSNet™ (GPSNET). A realização desta dissertação, nesta fase, acaba por ser de grande importância devido à conjuntura atual já descrita.

Para a avaliação geral da qualidade da rede SERVIR, foi seguida uma metodologia que se dividiu em 5 fases fundamentais. Na primeira escolheram-se 49 pontos, dispersos pelo território nacional, materializados por vértices geodésicos (VG) da rede geodésica nacional. De seguida foram selecionados 4 métodos de posicionamento, Estático, Rápido Estático e RTK (em duas variantes) para obtenção das coordenadas tridimensionais dos VG anteriores selecionados. A terceira fase consistiu na determinação das coordenadas a utilizar como referência, para avaliação da exatidão posicional. Na quarta fase foram determinadas as coordenadas de todos os VG, sendo que depois na quinta fase se procedeu à comparação. Os resultados apresentados referem-se a coordenadas cartesianas e geodésicas.

Para ambos os tipos de coordenadas e utilizando qualquer dos programas, a rede SERVIR garante uma precisão melhor que 0.045 m, 0.024 m e 0.059 m para as coordenadas X, Y e Z respetivamente. O método RTK, nas suas duas variantes, garante uma exatidão melhor que 0.069 m, 0.062 m e 0.097 m para as coordenadas cartesianas X,Y e Z, ao passo que os resultados foram melhores que 0.055 m, 0.063 m e 0.106 m para a latitude, longitude e altitude, respetivamente.

Por fim, a exatidão obtida com o método rápido estático foi melhor que 0.045 m, 0.030 m e 0.037 m, no que diz respeito às coordenadas cartesianas, e foi melhor que 0.024 m, 0.038 m e 0.080 m, no que diz respeito às coordenadas geodésicas.

Palavras-chave: Qualidade, SERVIR, RTK, Exatidão, Precisão

Página intencionalmente deixada em branco

Abstract

In 2006 the current Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE) started the installation of a network of GNSS reference stations (SERVIR). Initially the stations were located only in the Lisbon region, but a full coverage of Portugal mainland is assured nowadays. Since the installation of the first reference station, a quality control for the whole network was never carried out. Moreover, a new software package - Trimble Pivot™ (PIVOT) - is being tested for further implementation, in replacement of an older one - GPSNet™ (GPSNET). For these reasons, an evaluation of the quality of SERVIR turns out to be of great importance.

For evaluating the overall quality of the SERVIR network, a methodology divided into five key phases was adopted. The first phase consisted in the selection of 49 points, scattered throughout the country and materialized by geodetic monuments (VG) of the national geodetic network. In the second phase, we selected 4 positioning methods, Static, rapid static and RTK (in two variants) to obtain the three-dimensional coordinates of those VG. The third phase consisted in the determination of the coordinates to be used as benchmark, for evaluation of positional accuracy. In the fourth phase, the coordinates of all VG were determined. In the fifth stage, the coordinates computed in the fourth phase were compared against the benchmark values, using both Cartesian coordinates and geodetic coordinates.

For both types of coordinates and using any of the software packages, the SERVIR network yields an accuracy better than 0.045 m, 0.024 m e 0.059 m, for the geodetic coordinates (latitude, longitude, altitude). The RTK method, both variants analyzed, yields an accuracy better than 0.069 m, 0.062 m e 0.097 m for the Cartesian coordinates (X, Y, Z), and better than 0.055 m, 0.063 m e 0.106 m, for latitude, longitude and altitude, respectively.

Finally the accuracy obtained with the rapid static method was better than 0.045 m, 0.030 m e 0.037 m, for the Cartesian coordinates, and better than 0.024 m, 0.038 m e 0.080 m, for the geodetic coordinates.

Keywords: Quality, SERVIR, RTK, Accuracy, Precision

Página intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Um enorme e sentido reconhecimento ao meu orientador, o Professor Doutor Virgílio de Brito Mendes, que sempre demonstrou profissionalismo e dedicação na preparação e condução das disciplinas que lecionou. Durante a realização da dissertação demonstrou e partilhou o seu vasto conhecimento e experiência nesta área, que garantiram um maior rigor científico e que acrescentaram valor ao trabalho final.

Um agradecimento ao Exército, em particular ao CIGeoE, pela possibilidade de poder frequentar o curso de Engenharia Geográfica e, posteriormente, a realização desta dissertação, de forma exclusiva, possibilitando a obtenção de melhores resultados académicos.

Gostaria igualmente de agradecer à Secção de Topografia, na pessoa do Major Nuno Mira que, numa primeira fase, se disponibilizou para prestar o apoio e esclarecimento iniciais, que permitiram uma melhor rentabilização do tempo disponível, no que se refere à operação dos equipamentos.

Um agradecimento especial ao Tenente Coronel Rui Teodoro e ao Tenente Coronel Rui Dias, os quais, desde o primeiro momento, se mostraram disponíveis, apesar das inúmeras tarefas inerentes aos cargos que desempenham, para esclarecer as minhas dúvidas e incertezas, comigo partilhando o seu vasto conhecimento na área. Saliento ainda a iniciativa do Tenente Coronel Rui Teodoro, por ter procedido à submissão de um artigo para a ISPRS *Geospatial Week 2015*, dando uma projeção internacional ao trabalho por mim realizado.

Aos meus camaradas de curso, Major Nuno Vicente e Major Pedro Costa, que durante estes 4 anos me acompanharam e ajudaram nesta nova etapa de vida que agora termina, deixo também o meu apreço.

Um profundo agradecimento à minha companheira na jornada da vida, pela paciência e apoio que sempre teve ao longo deste período, sobretudo nesta reta final do curso. Às minhas filhas, Sofia e Chloé, que também fizeram parte deste meu período de vida intenso, mostrando que ser pai é algo de realmente extraordinário.

E agradeço, por último, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram e estiveram envolvidos na realização deste trabalho.

Página intencionalmente deixada em branco

Índice

Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Índice de Anexos.....	xv
Acrónimos.....	xvii
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivo.....	8
1.2 Estrutura da Dissertação.....	9
2 Posicionamento GNSS.....	11
2.1 Sistema de Posicionamento Global (GPS).....	11
2.1.1 Erros associados.....	12
2.1.2 Efemérides transmitidas e precisas – GPS.....	14
2.1.3 Sistema de referência.....	15
2.2 Redes RTK.....	19
2.2.1 Redes na Finlândia.....	26
2.2.2 Redes SmartNet, VRS Now e TopNet da Irlanda.....	28
2.2.3 Rede nacional permanente GPS da Turquia (TNPGN).....	31
2.2.4 Redes REGAM, MERISTEMUM e ERVA de Espanha.....	32
2.2.5 Rede REPRAA – Açores.....	35
2.2.6 Rede SAPOS – Alemanha.....	36
2.2.7 Rede SWEPOS da Suécia.....	37
3 Metodologia do Trabalho desenvolvido.....	41
3.1 Recolha dos dados.....	43
3.2 Valor de referência.....	47
3.2.1 Programas utilizados.....	47
3.2.2 Serviços de Processamento <i>online</i>	50
3.2.3 Avaliação dos serviços/programa de processamento.....	57
4 Avaliação da rede SERVIR.....	61

4.1	Intervalo de dispersão.....	63
4.2	Precisão	65
4.3	Exatidão posicional	67
4.3.1	Modo Rápido Estático.....	68
4.3.2	Modo RTK – Variantes CTP e CMP do GPSNET.....	71
4.3.3	Modo RTK – Variantes CTP e CMP do PIVOT	74
4.4	Tempo de fixação das ambiguidades (TTFA).....	76
5	Conclusões	79
6	Trabalho futuro	83
	Referências Bibliográficas.....	85

Índice de Figuras

Figura 1 – Luiz Pinto de Sousa Coutinho (1735-1804) [Amaral, 2012]	2
Figura 2 – Triangulação fundamental do Reino [Carvalho, 1888].....	3
Figura 3 – Configuração atual da rede SERVIR com a sua densidade territorial.....	7
Figura 4 – Comprimento das linhas de base da rede SERVIR	7
Figura 5 – Erros e desvios associados ao posicionamento GPS (adaptado de El-Rabbany [2002])	13
Figura 6 – Elementos keplerianos de uma órbita de satélite [Antunes, 1995].....	14
Figura 7 – Rede de estações e técnicas usadas na definição do ITRF2008 [Altamimi <i>et al.</i> , 2011]	16
Figura 8 – Métodos e variantes de posicionamento [Ghilani <i>and</i> Wolf, 2007].....	17
Figura 9 – Esquema de posicionamento relativo [Antunes, 1995].....	18
Figura 10 – Processos principais de uma NRTK [Weston, 2014].....	20
Figura 11 – Princípio da transmissão de correções pelo método VRS [Leica, 2012]	21
Figura 12 – Princípio da transmissão de correções pelo método FKP [Leica, 2012]	22
Figura 13 – Princípio da transmissão de correções pelo método MAX [Leica, 2012]	23
Figura 14 – Princípio da transmissão de correções pelo método i-MAX [Leica, 2012]	24
Figura 15 – Disposição das estações utilizadas no estudo conduzido por Pesci <i>et al.</i> [2009]	25
Figura 16 – Estações da rede da região de Tampere [Hakli, 2004]	26
Figura 17 – Estações da rede da Geotrim Ltd [Hakli, 2004].....	27
Figura 18 – Estações referentes à rede SmartNet [SMARTNet, 2015]	29
Figura 19 – Estações referentes à rede VRSNow [Martin <i>and</i> McGovern, 2012] ...	29
Figura 20 – Estações referentes à rede TOPNet [TOPCON, 2009]	30
Figura 21 – Configuração dos recetores na recolha dos dados [Martin <i>and</i> McGovern, 2012]	30
Figura 22 – 146 estações da rede localizada na Turquia [Yildirim, 2011].....	32
Figura 23 – Estações das Redes REGAM, MERISTEMUM e ERVA [Garrido <i>et al.</i> , 2011]	33
Figura 24 – Redes REGAM e MERISTEMUM e os pontos [Gimenez <i>et al.</i> , 2011] .	35
Figura 25 – Estações da Rede REPRAA [Antunes e Santos, 2011]	35
Figura 26 – Rede SAPOS com as suas cerca de 270 CORS [Rosenthal, 2001]	37

Figura 27 – Rede SWEPOS com as suas cerca de 185 CORS [Jamtnas <i>et al.</i> , 2010]	38
Figura 28 – Configuração da rede SERVIR com a identificação dos pontos observados, e a sua densidade	42
Figura 29 – Fases do trabalho de campo e respetivos operadores	44
Figura 30 – Dispersão temporal da recolha dos dados (exceto PIVOT) (Ano 2014)	44
Figura 31 – Dispersão temporal da recolha dos dados PIVOT (Ano 2015).....	45
Figura 32 – Equipamento utilizado e configuração para recolha dos dados.....	46
Figura 33 – Pormenor da colocação recetor no VG.....	47
Figura 34 – Processamento modo estático do VG Seixo do Monte com TBC	50
Figura 35 – Estações constrangidas no cálculo das coordenadas do Vértice Geodésico Morraça [AUSPOS, 2015]	51
Figura 36 – Resultados obtidos com o serviço disponibilizado pelo JPL [JPL, 2015]	53
Figura 37 – Estações do serviço Trimble RTX [Doucet <i>et al.</i> , 2012]	54
Figura 38 – Desvio padrão obtido nos serviços PPP [Mulic, 2015]	57
Figura 39 – Estações utilizadas para avaliação da exatidão	58
Figura 40 – Gráfico de dispersão para deteção de valores extremos	63
Figura 41 – Gráfico de dispersão após remoção de todos os valores extremos	63
Figura 42 – RMS das diferenças relativas ao intervalo de dispersão do GPSNET .	65
Figura 43 – RMS das diferenças relativas ao intervalo de dispersão do PIVOT	65
Figura 44 –RMS das diferenças relativamente ao CTP – CMP GPSNET	67
Figura 45 - RMS das diferenças relativamente ao CTP – CMP PIVOT	67
Figura 46 – Análise espacial do RMS das diferenças referentes ao modo de posicionamento rápido estático	71
Figura 47 – RMS das diferenças relativamente à exatidão da variante CTP	73
Figura 48 – RMS das diferenças relativamente à exatidão da variante CMP	73
Figura 49 – RMS das diferenças relativamente à exatidão da variante CTP	75
Figura 50 – RMS das diferenças relativamente à exatidão da variante CMP	75

Índice de Tabelas

Tabela 1 – RMS obtido para os diversos modos de posicionamento [Berger et al., 2012]	24
Tabela 2 – Exatidão obtida para as redes REGAM, MERISTEMUM e ERVA [Garrido et al., 2011]	34
Tabela 3 – Média e desvio padrão relativos à comparação dos resultados dos serviços com as coordenadas oficiais NEIA [Abreu, 2007]	55
Tabela 4 – Valores de referência das estações (ITRF2008, à época 2015.37)	58
Tabela 5 – RMS relativo à exatidão obtida com os diversos serviços e programa ...	59
Tabela 6 – Dados estatísticos referentes ao intervalo de dispersão dos dois programas.....	64
Tabela 7 – Pontos que respeitam determinado intervalo de dispersão.....	64
Tabela 8 – Dados estatísticos referentes à precisão (CTP – CMP)	66
Tabela 9 – Pontos que respeitam determinado intervalo de precisão.....	66
Tabela 10 – Épocas disponíveis relativas à geração de VRS.....	68
Tabela 11 – Integridade de dados da rede SERVIR nos dias de observação	69
Tabela 12 – Dados estatísticos da exatidão do modo Rápido Estático, das coordenadas cartesianas	70
Tabela 13 – Dados estatísticos da exatidão do modo Rápido Estático, das coordenadas geodésicas	70
Tabela 14 – Dados estatísticos relativos à exatidão dos métodos CTP e CMP do GPSNET comparando coordenadas cartesianas	72
Tabela 15 – Dados estatísticos relativos à exatidão dos métodos CTP e CMP do GPSNET comparando coordenadas geodésicas	72
Tabela 16 – Identificação dos pontos que apresentam valores extremos relativamente ao GPSNET.....	73
Tabela 17 – Dados estatísticos relativos à exatidão dos métodos CTP e CMP do PIVOT, comparando coordenadas cartesianas	74
Tabela 18 – Dados estatísticos relativos à exatidão dos métodos CTP e CMP do PIVOT, comparando coordenadas geodésicas.....	74
Tabela 19 – Identificação dos pontos que apresentam valores extremos relativamente ao PIVOT	76
Tabela 20 – Dados relativos ao TPM obtidos com recurso ao GPSNET e PIVOT ...	77

Tabela 21 – Correspondência entre o nome verdadeiro do VG e os 4 caracteres (DOME) utilizados nos ficheiros RINEX de observação.....	93
Tabela 22 – Coordenadas oficiais das estações da rede SERVIR, relativamente ao programa de cálculo GPSNET	95
Tabela 23 – Coordenadas oficiais das estações da rede SERVIR, relativamente ao programa de cálculo PIVOT.....	97
Tabela 24 – Época de observação referente à sessão de observação de 3h em modo estático.....	99
Tabela 25 – Intervalo de dispersão relativo ao programa GPSNET.....	101
Tabela 26 – Intervalo de dispersão relativo ao programa PIVOT.....	102
Tabela 27 – Diferenças entre o valor médio das 180 observações do método CTP e o valor obtido com o método CMP, relativamente ao programa GPSNET	103
Tabela 28 – Diferenças entre o valor médio das 180 observações do método CTP e o valor obtido com o método CMP, relativamente ao programa PIVOT	104
Tabela 29 – Coordenadas geodésicas Oficiais, em ETRS89 PT-TM06, disponibilizadas pela DGT	105
Tabela 30 – Exatidão obtida com coordenadas cartesianas, com o modo de posicionamento rápido estático	107
Tabela 31 – Exatidão obtida com coordenadas geodésicas, com o modo de posicionamento rápido estático	108
Tabela 32 – Exatidão obtida para a média das 180 observações da variante CTP, relativamente ao programa GPSNET, utilizando as coordenadas cartesianas.....	109
Tabela 33 – Exatidão obtida para a variante CMP, relativamente ao programa GPSNET, utilizando as coordenadas cartesianas	110
Tabela 34 – Exatidão obtida para a média das 180 observações da variante CTP, relativamente ao programa GPSNET, utilizando as coordenadas geodésicas	111
Tabela 35 – Exatidão obtida para a variante CMP, relativamente ao programa GPSNET, utilizando as coordenadas geodésicas.....	112
Tabela 36 – Exatidão obtida para a média das 180 observações da variante CTP, relativamente ao programa PIVOT, utilizando as coordenadas cartesianas.....	113
Tabela 37 – Exatidão obtida para a variante CMP, relativamente ao programa PIVOT, utilizando as coordenadas cartesianas	114
Tabela 38 – Exatidão obtida para a média das 180 observações da variante CTP, relativamente ao programa PIVOT, utilizando as coordenadas geodésicas	115

Tabela 39 – Exatidão obtida para a variante CMP, relativamente ao programa PIVOT, utilizando as coordenadas geodésicas.....	116
Tabela 40 – Dados relativos ao TPM, respeitantes ao GPSNET e PIVOT	117

Página intencionalmente deixada em branco

Índice de Anexos

Anexo A – Correspondência criada para os nomes dos VG, respeitando a norma dos ficheiros de observação em formato RINEX	93
Anexo B – Coordenadas Oficiais das Estações da rede SERVIR, GPSNET	95
Anexo C – Coordenadas Oficiais das Estações da rede SERVIR, PIVOT	97
Anexo D – Época de observação dos dados referentes ao modo de posicionamento estático.....	99
Anexo E – Resultados numéricos relativos à precisão	101
Anexo F – Coordenadas geodésicas oficiais, em ETRS89, disponibilizadas pela DGT	105
Anexo G – Exatidão para o modo de posicionamento rápido estático.	107
Anexo H – Resultados numéricos, referentes à exatidão obtida com o programa GPSNET, para as variantes CTP e CMP, utilizando coordenadas cartesianas	109
Anexo I – Resultados numéricos, referentes à exatidão obtida com o programa GPSNET, para as variantes CTP e CMP, utilizando coordenadas geodésicas.....	111
Anexo J – Resultados numéricos, referentes à exatidão obtida com o programa PIVOT, para as variantes CTP e CMP, utilizando coordenadas cartesianas	113
Anexo K – Resultados numéricos, referentes à exatidão obtida com o programa PIVOT, para as variantes CTP e CMP, utilizando coordenadas geodésicas.....	115
Anexo L – Dados relativos ao Tempo para primeira medição (TPM).....	117

Página intencionalmente deixada em branco

Acrónimos

APPS	–	<i>Automatic Precise Positioning Service</i>
ARP	–	<i>Antenna reference point</i>
AUSPOS	–	<i>Australian Surveying and Land Information Group's Online Processing Service</i>
BeiDou	–	<i>BeiDou Navigation Satellite System</i>
CIGeoE	–	Centro de Informação Geoespacial do Exército
CMP	–	<i>Control Measured Point</i>
CMR	–	<i>Compact Measurement Record</i>
CORS	–	<i>Continuously Operating Reference Station</i>
CRS-PPP	–	<i>Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning</i>
CTP	–	<i>Continuous Topographic Point</i>
DGPS	–	GPS diferencial
DGT	–	Direção Geral do Território
DORIS	–	<i>Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite</i>
DR	–	Diário da República
ETRS	–	<i>European Terrestrial Reference System</i>
EUA	–	Estados Unidos da América
EUREF	–	<i>European Reference</i>
FKP	–	<i>Flächen Korrektur Parameter</i>
FTP	–	<i>File Transfer Protocol</i>
GLONASS	–	<i>Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
GNSS	–	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPRS	–	<i>General packet radio service</i>
GPS	–	<i>Global Positioning System</i>
GPSNET	–	Atual programa de cálculo da rede SERVIR
GRS80	–	<i>Geodetic Reference System 1980</i>
GSM	–	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IGP	–	Instituto geográfico Português – Atual DGT
IGS	–	<i>International GNSS Service</i>
i-MAX	–	<i>Individualized Master-Auxiliary Corrections</i>
IPQ	–	Instituto Português da Qualidade
ISPRS	–	<i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>

ITRF	–	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
JPL	–	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
LLR	–	<i>Lunar Laser Ranging</i>
MAX	–	<i>Master Auxiliary Concept</i>
MRS	–	<i>Modelled Reference Station</i>
NATO	–	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
NMEA	–	<i>National Marine Electronics Association</i>
NOAA	–	<i>Nacional Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NRCan	–	<i>Canadian Geodetic Service of Natural Resources Canada</i>
NRTK	–	Rede RTK
NTRIP	–	<i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i>
OPUS	–	<i>Online Positioning User Service</i>
PDF	–	<i>Portable Document Format</i>
PDOP	–	<i>Position Dilution of Precision</i>
PIVOT	–	Novo programa de cálculo da rede SERVIR
PPP	–	Precise Point Positioning
REPRAA	–	Rede de estações permanentes da região autónoma dos Açores
RINEX	–	<i>Receiver Independent Exchange Format</i>
RMS	–	Erro médio Quadrático
RTCM	–	<i>The Radio Technical Commission for Maritime Services</i>
RTK	–	<i>Real Time Kinematic</i>
RTX	–	<i>Trimble CenterPoint™ Real Time eXtended™ Post-Processing Service</i>
SA	–	Disponibilidade seletiva
SERVIR	–	Sistema de Estações de Referência Virtuais
SLR	–	<i>Satellite Laser Ranging</i>
TBC	–	Trimble® Business Center™
TEQC	–	<i>Translate, Edit and Quality Control</i>
TNPGN	–	Rede Nacional Permanente GPS da Turquia
TTFA	–	<i>Time to fix Ambiguities</i>
UNAVCO	–	<i>University NAVSTAR Consortium</i>
VASP	–	Vértices Auxiliares de Sinalização Permanente
VG	–	Vértice geodésico
VLBI	–	<i>Very Long Baseline Interferometry</i>
VRS	–	<i>Virtual Reference Station</i>

XML – *Extensible Markup Language*

Página intencionalmente deixada em branco

“Sendo de grande utilidade pública a existência de uma carta geográfica do reino, em que pelo menos sejam representados com exatidão o regime das águas e a posição relativa das povoações, o que não sucede nas cartas geográficas do país até hoje publicadas, as quais nenhum crédito merecem por sua manifesta inexatidão, e por lhes faltar o indispensável fundamento das triangulações; tornando-se além disto necessário este trabalho para satisfazer às condições essenciais de um reconhecimento geológico, para o qual a comissão dos trabalhos geológicos do reino já escolheu os factos precisos, como preliminar indispensável para trabalhos ulteriores...”

Portaria de 5 de Maio de 1859.

1 Introdução

Sempre que se inicia um determinado trabalho, a pergunta mais comum é: por onde começar? Neste caso também não foi exceção e a decisão recaiu na descrição da evolução histórica da cartografia e dos elementos e técnicas essenciais associadas a esta atividade. Embora só apareça legislado, na Portaria de 5 de maio de 1859, a necessidade de cartografar o nosso país com exatidão sempre foi, e sempre será, uma preocupação constante das entidades responsáveis por essa tarefa. Não se pretende que a retrospectiva histórica seja exaustiva, pelo que se abordarão, de forma sucinta alguns, dos marcos mais importantes, que foram ao longo do tempo alterando os procedimentos adotados para produzir informação cartográfica. Paralelamente a esta evolução, será feito um enquadramento das instituições públicas que foram sendo criadas e que tiveram um papel ativo nesta temática, sobretudo referindo as suas designações, que foram evoluindo até ao atual Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE), desde 1 de Agosto de 2015 [DR, 2015]. Um desses marcos foi, sem dúvida, a instalação da rede de estações GNSS de referência (SERVIR – Sistema de Estações de Referência Virtuais) [Afonso, 2006], que permitiu uma redução significativa nos recursos humanos e financeiros envolvidos para garantir o apoio necessário à cadeia de produção, mantendo-se o CIGeoE, à semelhança de outros países, “hoje, como ontem, na senda do progresso”.

A Cartografia pode ser caracterizada como a atividade que, através de um conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas apoiadas em resultados de observações diretas ou análise de documentação, permite a elaboração de mapas,

cartas e outras formas de expressão ou representação de objetos, elementos, fenómenos e ambientes físicos e socioeconómicos, bem como a sua utilização. Desde os tempos pré-históricos que o ser humano sentiu a necessidade de visualizar dados num determinado espaço, evoluindo das placas de argila e papiros para o atual suporte digital [Gregory *et al.*, 2011].

Embora se possa recuar até à pré-história, fiquemos pelo tempo dos descobrimentos, período em que a cartografia nacional estava entre as melhores do mundo, aproveitando ao máximo os conhecimentos técnicos que existiam nessa altura, produzindo cartas que eram uma junção harmoniosa de ciência, técnica e arte. Por incrível que possa parecer, a palavra “cartografia” foi usada pela primeira vez pelo 2º Visconde de Santarém, Manuel Francisco de Barros e Souza de Mesquita de Machado Leitão e Carvalhosa (1791 - 1856), numa carta escrita de Paris, em 8 de Dezembro de 1839 [Fernandes, 2002].

Como já foi dito, desde cedo se começaram a produzir cartas, mas a determinado momento começou a constatar-se que existia um problema que estava relacionado com a exatidão, que apenas poderia ser colmatado com a concretização de trabalhos geodésicos com vista à criação de uma rede de triangulação fundamental nacional, que depois permitiria o apoio à produção da carta geral do reino, tal como é possível ler na Portaria de 5 de maio de 1859 [Dias, 2006]. Portugal foi um dos primeiros países a tomar a iniciativa de executar esses trabalhos, poucos anos depois de Cassini o ter feito em França. Estes trabalhos foram mandados executar pelo então ministro de Estado Luiz Pinto de Sousa Coutinho (Figura 1), Visconde de Balsemão, em 1788 [Almeida, 1979].



Figura 1 – Luiz Pinto de Sousa Coutinho (1735-1804) [Amaral, 2012]

Francisco Ciera foi encarregue de formar a triangulação geral do reino, tendo em 1790 começado o reconhecimento geral do território Português, para efetuar a

escolha dos pontos que serviriam de vértices dos triângulos. Conseguiu constituir uma carta de triangulações de Portugal, que, em 1937, foi mandada litografar por Manuel Passos, e que se apresenta na Figura 2 [IGP, 2009].

Embora incompletos e insuficientes, os trabalhos foram suspensos por ordem do governo, devido não só à situação financeira, mas também pelo facto de D. Rodrigo de Sousa Coutinho ter abandonado funções, tendo esses trabalhos sido retomados em 1835, sob a direção de Pedro e Filipe Folque. Apesar desta situação, os trabalhos geodésicos dirigidos por Ciera marcaram o início de uma nova etapa na Cartografia portuguesa, vulgarmente apelidada de Cartografia moderna. A partir daqui torna-se possível construir mapas com maior exatidão no posicionamento, o que, aliado a outras inovações, nomeadamente rigor e expressividade na representação do relevo, modificarão por completo as imagens do país.

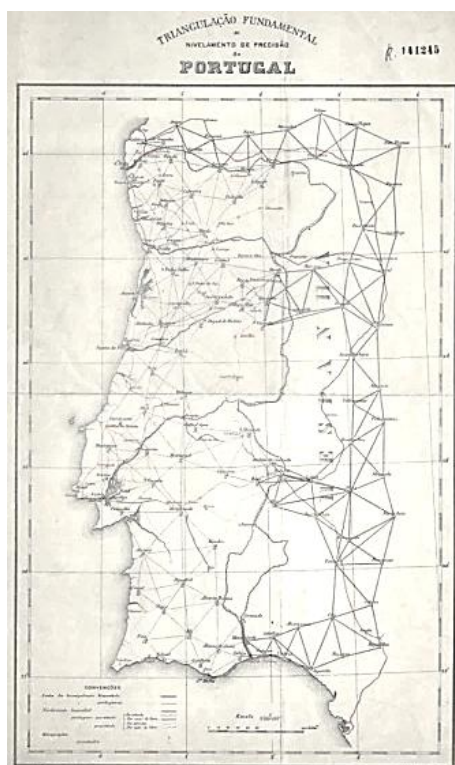


Figura 2 – Triangulação fundamental do Reino [Carvalho, 1888]

A portaria de 5 de Maio de 1859, já referida, determinou o levantamento da carta geral do País na escala de 1:500 000, tendo a tarefa sido remetida à Direcção-Geral dos Trabalhos Geodésicos, criada em 1852 sob a direção de Filipe Folque, que entretanto se iria transformar, enquanto a carta se preparava, no Instituto Geográfico (1864-1868). A Carta Geográfica de Portugal (1860 - 1865) foi a primeira imagem de Portugal Continental rigorosa a ter o relevo representado por curvas de

nível, constituindo-se como base para planear a reforma dos círculos eleitorais. Esta carta mostrou a importância de se ter uma representação credível para a administração pública do território, situação que até então não se verificava [Dias, 2006].

Até ao nascimento do atual CIGeoE, em 2015, muitos trabalhos foram feitos, muitas instituições foram criadas e outras tantas extintas, nomeadamente devido a sucessivas reestruturações, quer do Exército, quer da administração pública. Mas não nos detalhando em nomes, por não ser esse o objetivo desta dissertação, parece no entanto, importante referir algum do trabalho cartográfico que foi feito, durante mais de 100 anos, pelos diversos organismos que foram criados após 1868. Em 1881 foi dado início à publicação da carta itinerária militar 1:250000, após o que se seguiu, em 1891, a publicação da carta dos arredores de Lisboa. Em 1928 deu-se início à elaboração da carta 1:25000 Série M888, que ainda hoje é produzida, sendo a única com cobertura integral do país. Nesta data, foi apresentada uma folha a título experimental, tendo a publicação regular desta série começado em 1934 [IGeoE, 2013].

Foi, de resto, graças à carta Militar de Portugal na escala 1:25000 nas suas três séries, M888 Continente, M889 Açores e P821 Madeira, mas não só, que o CIGeoE ficou conhecido e reconhecido como um produtor de informação cartográfica. No entanto, existem outras responsabilidades no que à produção deste tipo de informação diz respeito. A nível do território são produzidas, no CIGeoE, as Séries M586 Continente a 8 folhas na escala 1:250000 e a Série M983 Lisboa a 4 folhas na escala 1:10000. Juntando a estas responsabilidades aquelas que foram assumidas junto da antiga *Defense Mapping Agency*, dos EUA, nomeadamente a produção por inteiro das séries M782 Continente, na escala 1:50000 com um total de 75 folhas, da série 1501 JOG *Ground*, na escala 1:250000 com um total de 11 folhas e da série 1501 JOG *Air*, na escala 1:250000 com um total de 11 folhas, tem-se um total de 900 folhas, cuja manutenção, como é óbvio, cria alguns problemas, quer sejam eles de nível financeiro como humano, aspetos de grande importância sobretudo nos tempos que correm. Associada a toda esta informação produzida existem uma série de normas, que têm de ser escrupulosamente respeitadas, nomeadamente prazos de manutenção assumidos pelo CIGeoE, no âmbito da NATO, no que diz respeito à Série M782, em que mais de metade das 175 folhas tem períodos de atualização inferiores a 7 anos. De facto, sempre foi uma preocupação, e continua a ser, aquela

que concerne o tempo necessário para a atualização da informação que é produzida e disponibilizada aos utilizadores.

Quanto a este fator podem-se referir 4 marcos que contribuíram para a diminuição do tempo necessário para a atualização dessa informação. Num primeiro momento deu-se a introdução dos métodos fotogramétricos, em 1937, que obrigaram a uma profunda alteração da cadeia de produção, permitindo, em 1940, o abandono total do método clássico de aquisição de informação. Em 1969 enveredou-se pela triangulação aérea, que permitiu a redução drástica do número de pontos fotogramétricos. Este ponto permitiu minimizar as fases que estão a montante daquela que diz respeito ao desenho, que são o apoio fotogramétrico e o reconhecimento de campo e completagem. Em 1974 deu-se início aos trabalhos para a introdução da cartografia automática, que veio permitir uma dinamização do processo de produção, passando a informação a ser guardada simultaneamente num formato físico e também digital [Malaquias, 1979].

Ora é neste apoio fotogramétrico e no reconhecimento de campo e completagem, entre outros, que se percebe a importância da instalação da rede SERVIR. Efetivamente, para apoiar a produção das diversas séries, até ao início da década de 1990, o apoio topográfico era feito com recurso a métodos clássicos que utilizavam teodolitos, taqueómetros e distanciómetros, entre outros instrumentos. Os trabalhos topográficos desenvolvidos estavam ligados a duas grandes áreas de atividade, uma ligada aos trabalhos geodésicos-topográficos e outra mais orientada para a cartografia, ou seja, para a aquisição e validação da informação geográfica e também para a recolha de informação complementar.

Até 1992 o apoio topográfico requeria, em primeiro lugar, o reconhecimento dos vértices geodésicos (VG) e, se necessário, a determinação de pontos auxiliares, para adensamento da rede, denominados Vértices Auxiliares de Sinalização Permanente (VASP). Era com base neste trabalho que eram levantados os pontos fotogramétricos, sendo que os VASP integravam a Trama de Artilharia, uma compilação de pontos com coordenadas conhecidas, que permitiam a realização de levantamentos em zonas onde a rede geodésica era de difícil observação.

Foi em 1992, com a aquisição dos primeiros recetores do Sistema de Posicionamento Global (GPS - *Global Positioning System*), que se substituíram os teodolitos, que tanto serviço prestaram ao IGeoE, permitindo a aquisição das

coordenadas tridimensionais dos pontos de forma mais rápida. A partir daqui foi possível alterar o processo e as metodologias que eram utilizadas até então para efetuar o apoio fotogramétrico. Inicialmente eram feitas medições estáticas de cerca de uma hora, sendo depois necessário efetuar, em gabinete, o pós-processamento. Com a evolução da tecnologia e aquisição de novos equipamentos, foi possível adquirir as coordenadas tridimensionais em tempo real, com recurso ao método cinemático em tempo real (RTK - *Real Time Kinematic*). Esta transformação permitiu a redução de custos, humanos e financeiros, e também o abandono da rede de VASP, que era fundamental para os levantamentos clássicos [Rossa e Dias, 2007].

A evolução não iria ficar por aqui e, passados cerca de 13 anos, começou o IGeoE a planear, seguindo o exemplo de outros países, a implantação de uma rede de estações permanentes de referência (CORS – *Continuously Operating Reference Station*) [Afonso *et al.*, 2006], tornando mais célere a aquisição da informação georreferenciada e possibilitando o abandono do método até então utilizado, o Base – RTK, que obrigava a mais meios humanos e materiais, passando para o método Rede – RTK. A rede ficou disponível a partir de Abril de 2006, inicialmente apenas na região de Lisboa, tendo-se expandido até às atuais 27 estações que se encontram localizadas de forma precisa ao longo de todo o território continental, e estão identificadas na Figura 3, com a respetiva densidade territorial. No que diz respeito ao código de cores referentes à densidade, que aparecerá em diversas figuras, estes representam o número de estações/pontos dentro de um círculo de 100 km de raio, evoluindo do azul, que indica uma concentração de zero estações/pontos até ao vermelho, que representa o máximo atingido que é cerca de cinco estações/pontos.

A distância média entre estações é de 87 km, sendo que a mais curta é de 27 km (Mafra (MAFR) – Paço de Arcos (PARC)) e a mais longa é de 326 km (Trás-os-Montes e Alto Douro (TMAD) – Elvas (ELVA)), como é possível observar na Figura 4. A maior parte das estações encontra-se instalada em dependências pertencentes ao Exército, Marinha ou Força Aérea, garantindo assim a necessária segurança aos equipamentos, sendo que apenas 2, Covilhã (COVI) e Trás-os-Montes e Alto Douro (TMAD), não se encontram nestas condições, estando respetivamente na Universidade da Beira Interior e no Instituto Politécnico de Bragança.

Os dados recolhidos por cada estação são enviados para o centro de cálculo, fazendo

uso da rede interna de cada um dos ramos das Forças Armadas, sendo que estas são muito robustas, com redundância e com tempos de latência muito pequenos (valor médio de ~253 ms) que garantem as condições esperadas para este tipo de infraestrutura [Teodoro *et al.*, 2015].

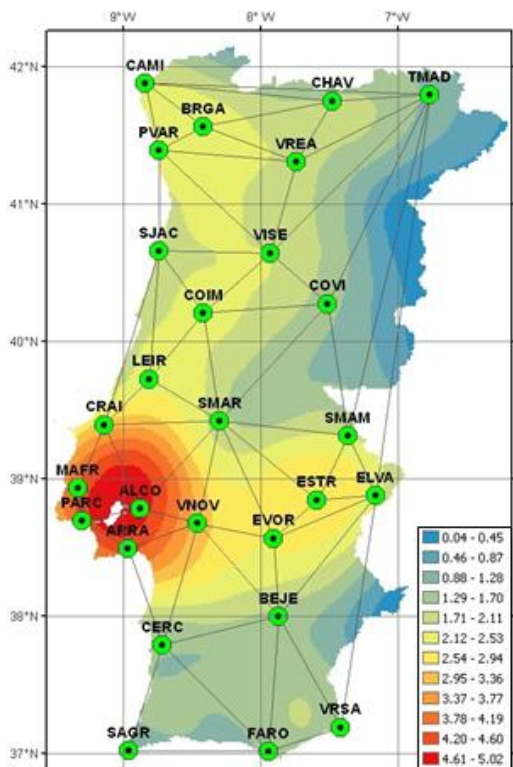


Figura 3 – Configuração atual da rede SERVIR com a sua densidade territorial

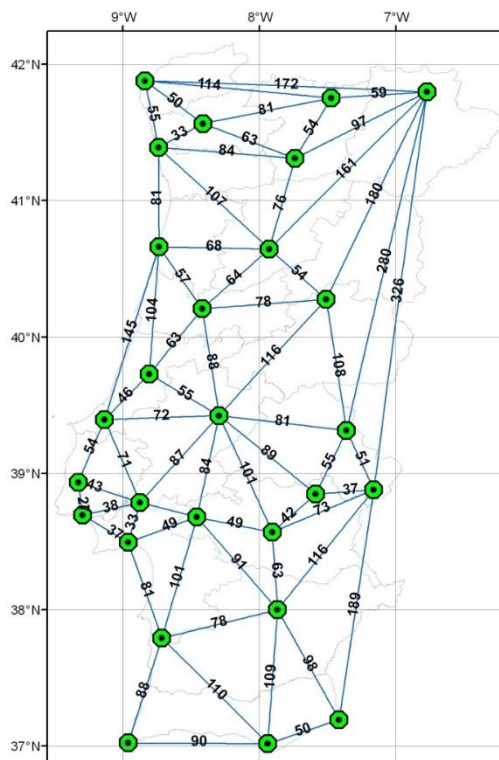


Figura 4 – Comprimento das linhas de base da rede SERVIR

O projeto SERVIR foi desenvolvido com o propósito de cumprir melhor a missão do CIGeoE sobretudo no que diz respeito à produção cartográfica. Para tal, a sua conceção, desenvolvimento, idealização e montagem foi realizada com recurso a elementos com formação na área da Engenharia Geográfica e Engenharia Informática. Estes mesmos elementos são atualmente responsáveis pelo centro de vigilância e cálculo do sistema e também pela configuração e gestão da rede SERVIR, permitindo poupar muitos recursos financeiros e humanos, que são sempre escassos.

Inicialmente esta rede era de acesso gratuito, mas desde 1 de junho de 2012, e por não ser possível a sustentação dos custos inerentes à manutenção e atualização da rede e pelo facto de a rede ter atingido uma certa maturidade, a mesma passou a ser de acesso pago. Este sistema permite que um utilizador estabeleça uma ligação com o centro de cálculo (via WEB, GSM ou GPRS), sendo que, após serem

processadas as observações GNSS, disponibiliza correções diferenciais aplicáveis à área onde se encontra a trabalhar, que são depois transmitidas ao utilizador utilizando o método denominado *Virtual Reference Station* (VRS), método que será explicado no capítulo 2. Durante o início do ano de 2015, foi instalado um novo programa de cálculo e gestão da rede, denominado de Trimble® PIVOT™, que passará a ser designado por PIVOT, que substituirá o antigo GPSNet™, que passará a ser designado de GPSNET. Os utilizadores que usam esta rede podem usufruir dos seguintes serviços:

- Posicionamento em modo RTK usando o método VRS, que é disponibilizado através dos seguintes formatos de mensagens: *Compact Measurement Record* (CMR), CMR+, CMRx, *The Radio Technical Commission for Maritime Services* (RTCM) 2.3 e RTCM 3.1.
- Posicionamento em modo diferencial GPS;
- Obtenção de dados para pós-processamento, em formato *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX), quer sejam de CORS ou de VRS criadas pelo utilizador.

Esta rede permite ao CIGeoE cumprir a sua missão de prover com informação geográfica o Exército, as Forças Armadas, as Forças de Segurança e a comunidade civil, assegurando a execução de atividades relacionadas com a técnica cartográfica, e promover o acompanhamento e o desenvolvimento de ações de investigação científica e tecnológica no âmbito das ciências geográficas.

Este trabalho permitirá aferir a qualidade do posicionamento disponibilizado pela rede SERVIR, para que o CIGeoE se afirme como referência nacional de excelência no fornecimento de informação geográfica, adequada à satisfação dos seus utilizadores, no respeito pela responsabilidade social e pela legislação em vigor, quando aplicável, numa perspetiva de continuidade e de sustentabilidade [IGeoE, 2013].

1.1 Objetivo

A rede SERVIR é amplamente utilizada por diversos utilizadores desde o ano de 2006, momento em que ficou disponível apenas na região de Lisboa. Desde aí, para além de haver uma constante expansão do número de estações, nunca foi feito um estudo global sobre a qualidade do posicionamento que é obtido pelos utilizadores,

nomeadamente no que diz respeito à exatidão, precisão e condições de utilização. Se adicionarmos o facto de recentemente o CIGeoE ter adquirido um novo programa de gestão e cálculo da rede, PIVOT, que se encontra em fase de testes para posterior substituição do programa anterior, o GPSNET, temos a justificação mais que suficiente para a realização deste estudo que foi desenvolvido em forma de dissertação do Mestrado de Engenharia Geográfica.

No sentido de dar segurança aos atuais utilizadores da rede SERVIR, e talvez cativar novos, constituem-se como principais objetivos desta dissertação os seguintes:

- Análise exploratória de algumas redes europeias, relativamente à qualidade posicional disponibilizada, por forma a comparar os resultados obtidos com a rede SERVIR;
- Avaliação de diversos serviços de processamento *online* e do programa Trimble® Business Center™ (TBC);
- Avaliação comparativa da precisão e da exatidão, no que diz respeito às duas variantes do posicionamento em modo RTK e o modo rápido estático;
- Análise das condições de utilização, nomeadamente no que diz respeito ao tempo necessário para fixar as ambiguidades de ciclo e integridade dos dados de observação das CORS;

1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação de mestrado compreende seis capítulos e doze anexos. No primeiro capítulo, para além de serem apresentados os objetivos do trabalho, é feita uma retrospectiva história para se perceber a evolução das técnicas e dos procedimentos utilizados na produção da cartografia. Com este enquadramento pretende mostrar-se a evolução até ao aparecimento das redes RTK e a razão da implementação da rede SERVIR para apoio dos trabalhos de campo e, conseqüentemente da cadeia de produção do CIGeoE.

No capítulo 2 são desenvolvidos alguns conceitos importantes, relacionados com o posicionamento GNSS, sendo depois caracterizadas algumas das redes que existem a nível mundial. Em paralelo, são apresentados estudos realizados sobre estas redes descritas, que serviram de referência para o trabalho desenvolvido.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia de trabalho seguida, de uma forma

pormenorizada, no que diz respeito à recolha dos dados de campo, equipamento utilizado e obtenção de valores de referência. Relativamente ao último ponto é também explicada a forma como foram avaliados os diversos serviços de processamento *online* e do programa TBC, bem como uma breve abordagem dos mesmos.

No capítulo 4 é descrito o fluxo de trabalho seguido, sendo apresentados os resultados obtidos no que diz respeito à exatidão, precisão e condições de utilização. Os resultados são apresentados tendo em conta os dois programas de gestão de rede utilizados, GPSNET e PIVOT.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões das diversas comparações que foram efetuadas, no que diz respeito à exatidão, precisão e condições de utilização.

Por fim no capítulo 6, são enumeradas algumas propostas de trabalho futuro que, por impossibilidade de tempo, não foi possível desenvolver.

2 Posicionamento GNSS

Neste capítulo será feita uma abordagem a alguns conceitos, considerados importantes, e que se encontram diretamente relacionados com o trabalho aqui desenvolvido, e sobretudo com o posicionamento com recurso ao GPS, nomeadamente os tipos de efemérides, métodos de posicionamento e as suas variantes, os erros presentes nas observações e os sistemas de referência.

Como a tecnologia está em constante evolução, sentiu-se a necessidade de fazer uma retrospectiva da evolução no posicionamento GPS, até ao momento em que se assistiu à introdução do conceito de rede RTK (NRTK). Neste ponto serão apresentadas algumas das redes que existem, bem como os estudos realizados, no sentido de estabelecer um padrão de comparação para os dados obtidos com a rede SERVIR, que é o propósito deste trabalho.

2.1 Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Durante a década de 1970, surgiu o GPS que foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos da América (EUA). Foi o sucessor do sistema TRANSIT, primeiro sistema de navegação por satélite também conhecido por *Navy Navigation Satellite System*, que foi amplamente utilizado pela marinha dos EUA, assim como pela comunidade civil, mas que se tornou obsoleto com a entrada em funcionamento do GPS a 17 de julho de 1995 [Danchik, 1998]. O GPS, inicialmente desenvolvido para responder às necessidades militares dos EUA, passou também a ser disponibilizado para os utilizadores civis. É um sistema que permite posicionamento global contínuo, sob quaisquer condições meteorológicas, e é constituído por três segmentos, espacial, de controlo e do utilizador. No que diz respeito ao segmento espacial, inicialmente estava previsto que a constelação fosse constituída por 24 satélites, distribuídos por 6 planos orbitais, garantindo entre 4 a 10 satélites visíveis em qualquer momento e em qualquer ponto do globo [El-Rabbany, 2002]. Atualmente esta constelação encontra-se, a 27 de Agosto de 2015, com 32 satélites, dos quais 31 estão totalmente operacionais enquanto um se encontra a fazer testes de voo [IACPNT, 2015]. O segmento do utilizador inclui todos os utilizadores, militares e civis, com os equipamentos para receção do sinal GPS. Por fim, o segmento de controlo é caracterizado por uma rede de estações de rastreio, com uma estação de controlo principal, localizada nos EUA em Colorado Springs, que efetua o cálculo dos dados referentes às órbitas e aos relógios dos

satélites. As órbitas dos satélites são também denominadas de efemérides, podendo ser, entre outras, radiodifundidos ou precisas. Informação adicional sobre este assunto poderá ser consultada em Hoffman-Wellenhof *et al.* [2001]; Leick [2004]; Misra *and* Enge [2006]; Ghilani *and* Wolf [2007].

Neste trabalho apenas foram usados dados referentes à constelação GPS, daí ter sido dada maior importância a este sistema. No entanto existem outros sistemas GNSS, tais como o *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (GLONASS) da Rússia, o *BeiDou Navigation Satellite System* (BeiDou) da China e o Galileo da União Europeia. O GLONASS, muito similar ao GPS, possui 28 satélites, no seu segmento espacial, dos quais, em 27 de agosto de 2015, 24 se encontravam operacionais, 2 estavam em avaliação e 2 estavam a efetuar voos de teste [IACPNT, 2015]. Existem alguns problemas de integração com o GPS, nomeadamente devido ao facto do referencial utilizado ser diferente (PZ-90) e também o tempo de referência [El-Rabbany, 2002]. Quanto aos sistemas BeiDou e Galileo, encontram-se ambos em desenvolvimento, estando prevista a sua total operacionalidade em 2020, perfazendo um total de 35 e 30 satélites respetivamente. De salientar que o BeiDou será constituído por 5 satélites geoestacionários e 30 não estacionários, ao passo que o sistema Galileo terá 27 satélites operacionais e 3 de reserva [BeiDou, 2015]. Espera-se que, em 2020, estas 4 constelações globais totalizem cerca de 100 satélites, sendo possível um recetor receber o sinal de 30 a 40 satélites em simultâneo [Mattos *and* Pisoni, 2015].

2.1.1 Erros associados

Apesar da existência de um número elevado de satélites, aumentando os graus de liberdade no cálculo da posição pretendida, as medições GPS efetuadas estão sempre afetadas de um certo número de erros e desvios, que são de difícil modelação e que em princípio estão relacionados com o satélite, com o recetor e com a atmosfera (Figura 5).

Os erros que não são corretamente eliminados conduzem a perdas de exatidão no posicionamento. Felizmente, os recetores que se encontram próximos partilham erros similares, permitindo a sua eliminação através da diferenciação de observações. Para tal utiliza-se a diferença simples entre dois recetores, para reduzir significativamente os erros associados à atmosfera e ao satélite, e a diferença simples entre satélites, relativas a um recetor, para reduzir os erros

relacionados com o relógio do recetor.

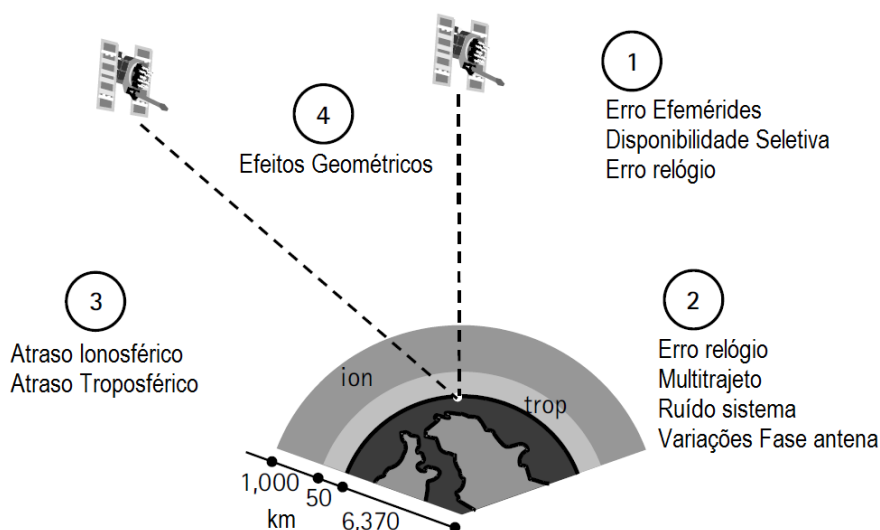


Figura 5 – Erros e desvios associados ao posicionamento GPS (adaptado de El-Rabbany [2002])

Existem ainda as chamadas diferenças duplas, quando se combinam observações de dois recetores que observam 2 satélite em simultâneo. Inicialmente formam-se 2 diferenças simples entre dois recetores, que depois são combinadas permitindo a remoção dos erros relacionados com os relógios dos satélites e dos recetores. Esta diferenciação de observações permite também a redução significativa dos outros erros e preserva a natureza inteira das ambiguidades de ciclo.

Por fim, relacionando duas diferenças duplas referentes a duas épocas diferentes, e devido ao facto da ambiguidade de ciclo se manter ao longo do tempo, desde que não existam saltos de ciclo, consegue-se eliminar as ambiguidades de ciclo. No entanto, se houver saltos de ciclo, apenas são afetados os dados referentes às diferenças triplas, aparecendo um pico nos dados, e é por esta razão que esta diferenciação de observações também é utilizada para a deteção desses saltos de ciclo.

Os dados diferenciados podem ser obtidos com recurso a dados de frequência simples, quer seja de fase ou de pseudo-distância. Caso existam dados de dupla frequência, podem ser formadas combinações de observações muito úteis. O atraso ionosférico é inversamente proporcional ao quadrado da frequência da fase; aproveitando esta característica, a combinação linear livre de ionosfera combina medições de L1 e L2 para eliminar o efeito da ionosfera. As medições de L1 e L2 também podem ser combinadas para formar a observável banda larga (“wide-

lane”), que é um sinal artificial com um comprimento de onda de 86 cm que ajuda na resolução das ambiguidades de ciclo [El-Rabbany, 2002].

São este tipo de combinações que são utilizadas para reduzir significativamente alguns dos erros presentes nas observáveis. Outro aspeto a ter em conta, relacionado com os erros dependentes do satélite, é o tipo de efemérides utilizadas no processamento dos dados.

2.1.2 Efemérides transmitidas e precisas – GPS

Sempre que se realiza um posicionamento, é necessário conhecer as coordenadas dos satélites (efemérides), que servem de referência para o cálculo das coordenadas dos pontos desconhecidos.

As efemérides transmitidas são constituídas pelos elementos de órbita kepleriana, representados na Figura 6, e as suas perturbações. Estes elementos são: ascensão reta do nodo ascendente - Ω ; argumento do perigeu - ω ; inclinação - i ; semieixo maior - a ; excentricidade - e ; anomalia verdadeira - f , sendo determinados na estação principal de controlo, com base nos dados de rastreio das estações monitoras e transmitidos na mensagem de navegação. Estes dados possibilitam o cálculo das posições geocêntricas (X,Y,Z) dos satélites no referencial WGS84 com uma exatidão, de cerca de 1 m [IGS, 2015], e estão imediatamente disponíveis para os utilizadores efetuarem o pós-processamento dos seus dados.

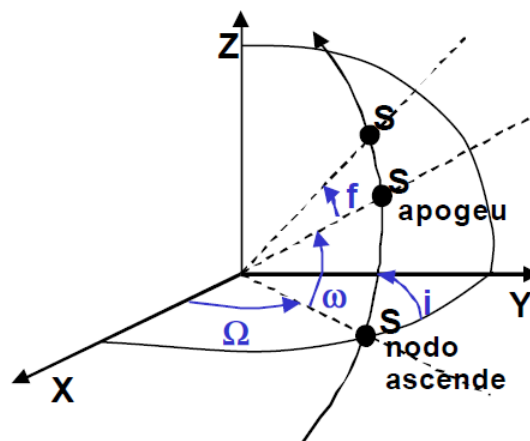


Figura 6 – Elementos keplerianos de uma órbita de satélite [Antunes, 1995]

As efemérides de precisão ou pós-processadas são calculadas *a posteriori*, corrigidas dos efeitos de perturbação da órbita após a passagem dos satélites. Estas correções são obtidas através das observações GPS de estações permanentes espalhadas pelo

mundo. Obtêm-se órbitas com uma exatidão de cerca de 0.025 m, no entanto têm um período de latência entre 12 a 18 dias [IGS, 2015]. A determinação de órbitas de alta precisão é feita, por exemplo, pelo International GNSS Service (IGS), sendo a informação disponibilizada, de forma gratuita, no seguinte endereço eletrônico: <https://igsb.jpl.nasa.gov>. Estas órbitas são apresentadas na forma de vetor posição e vetor de velocidade, a partir do qual é calculada a posição (X,Y,Z) do satélite por integração numérica [Abreu, 2007].

Todas as coordenadas apresentadas nesta tese foram obtidas recorrendo a órbitas finais (precisas), disponibilizadas pelo IGS.

2.1.3 Sistema de referência

Um sistema de referência caracteriza-se por ser um sistema de eixos ortogonais fixos à terra, cujo eixo principal é paralelo ao eixo médio de rotação, com origem próxima do centro de massa da terra e escala próxima da unidade. A sua concretização é feita com base na medição de grandezas físicas, na medição de grandezas geométricas e em algoritmos de cálculo. A posição de determinado ponto é expressa através de um determinado sistema de coordenadas, que é um conjunto de grandezas variáveis que definem a posição de um ponto no espaço relativamente ao sistema de referência definido (sistema de eixos). Os sistemas de coordenadas podem ser cartesianos (X,Y,Z) ou curvilíneos (elipsoidais geodésicos – latitude, longitude, altitude elipsoidal). Por fim, temos o referencial, que é materialização (rede de vértices geodésicos) que define no espaço terrestre o sistema de referência terrestre convencional. O referencial é uma concretização física do sistema de referência que permite definir a posição absoluta no espaço terrestre, enquanto um sistema de referência é fictício e resulta de uma definição matemática (conjunto de parâmetros). Na Figura 7 é possível ver a dispersão das estações utilizadas para a realização do referencial que será utilizado em todo este trabalho, o *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF2008) [Altamimi *et al.*, 2011], assim como as técnicas presentes em cada uma das estações fixas, que dele fazem parte, para a recolha dos dados das observações (VLBI - *Very Long Baseline Interferometry*, LLR - *Lunar Laser Ranging*, SLR - *Satellite Laser Ranging*, DORIS - *Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite* e GPS). O ITRF é constantemente monitorizado através de observações geodésicas, podendo ser considerada bem definido e estável a longo prazo [Schwieger *et al.*, 2009].

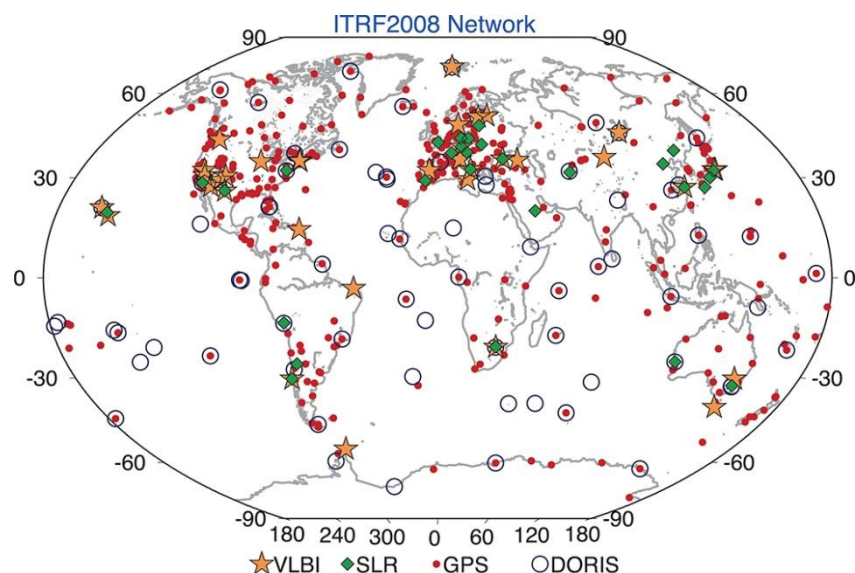


Figura 7 – Rede de estações e técnicas usadas na definição do ITRF2008 [Altamimi *et al.*, 2011]

O posicionamento caracteriza-se por ser a determinação da posição de um qualquer ponto num qualquer referencial, onde as respetivas coordenadas são obtidas por um dado método (matemático) que recorre a uma determinada técnica (instrumental). A posição obtida deverá ser independente da técnica utilizada, ao passo que a precisão de posicionamento é dependente do método e variantes utilizadas.

Para que os resultados pudessem ser comparados, foi necessário saber a que referencial estavam associadas as coordenadas obtidas com o GPSNET e com o PIVOT, assim como decidir qual seria o referencial de base para comparação. No Anexo B, Tabela 22, encontram-se identificadas as coordenadas oficiais das estações da rede SERVIR, relativas ao programa GPSNET, que se encontram no referencial ITRF2005, época 2008.5. Como a escolha do referencial recaiu sobre o ITRF2008, à época de observação, foi necessário efetuar uma transformação de coordenadas [Boucher *and* Altamimi, 2011] com recurso aos valores de velocidade referentes à estação de Cascais, por não serem conhecidas com rigor as velocidades de cada uma das estações envolvidas no estudo. Os valores de velocidade considerados, relativos ao ITRF2005, disponíveis em ITRF [2014], foram de -0.0069 m para a coordenada X, 0.0201 m para a coordenada Y e de 0.0141 m para a coordenada Z.

No Anexo C, Tabela 23, encontram-se igualmente identificadas as informações relativas ao referencial e época a que se referem as coordenadas oficiais de cada

uma das estações que fazem parte da rede, no que diz respeito ao programa PIVOT. Visto as coordenadas obtidas já se encontrarem referidas ao ITRF2008, época 2005.0, apenas foi necessário fazer uma atualização de épocas que, à semelhança do antecedente, também foi feita com recurso às velocidades da estação de Cascais, desta vez relativas ao ITRF2008, e disponíveis em ITRF [2014]. Neste caso os valores foram de -0.0075 m para a coordenada X, 0.0193 m para a coordenada Y e de 0.0131 m para a coordenada Z. No Anexo D encontram-se as épocas de observação, às quais virão referidas todas as coordenadas referentes ao modo estático, que constituirão o nosso valor de referência.

Como é possível ver na Figura 8, associado ao método de posicionamento, quer seja relativo ou absoluto, teremos sempre de levar em linha de conta a variante utilizada e também o sistema de referência associado às coordenadas obtidas [Antunes, 1995]. Na mesma figura, encontram-se realçados a verde os métodos utilizados neste trabalho. Apenas foi utilizado o método de posicionamento relativo, com as variantes associadas a pós-processamento de dados (estático e rápido estático) ou aquisição dos mesmos em tempo real (RTK).

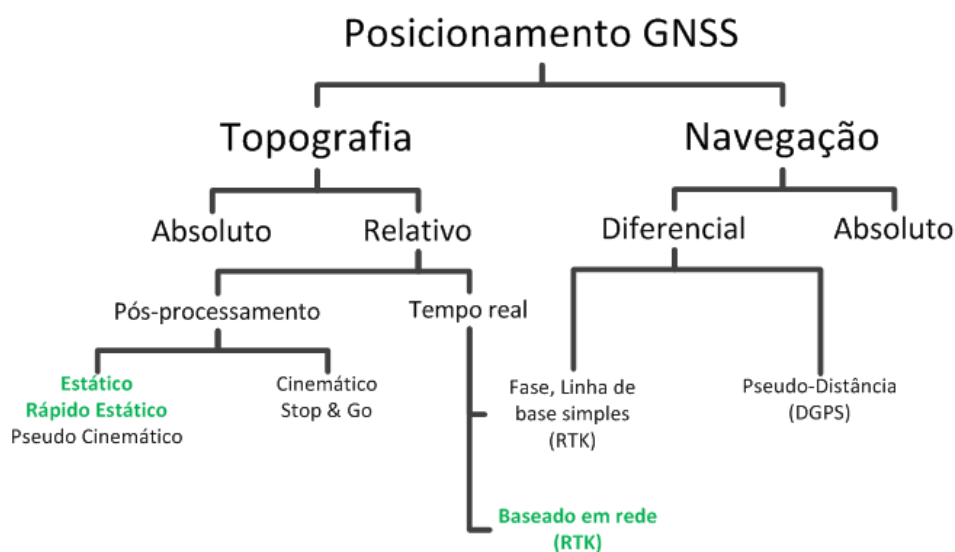


Figura 8 – Métodos e variantes de posicionamento [Ghilani *and* Wolf, 2007]

Este último método de posicionamento foi sofrendo algumas alterações na forma de ser feito, situação que esteve associada à constante evolução da tecnologia. Efetivamente o posicionamento relativo envolve a utilização de dois recetores que observam simultaneamente os mesmos satélites, sendo depois necessário conhecer o vetor diferença, entre a estação de referência e a estação da qual queremos conhecer as coordenadas, estações k e m, respetivamente, na Figura 9.

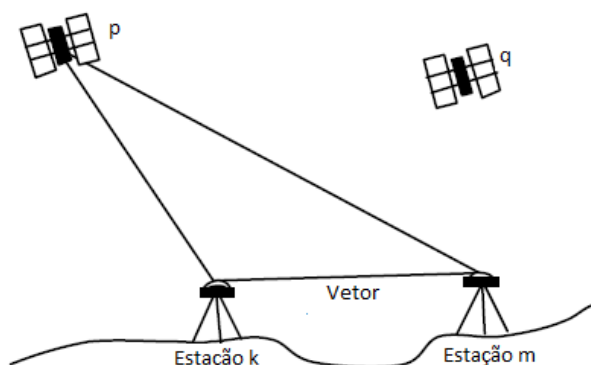


Figura 9 – Esquema de posicionamento relativo [Antunes, 1995]

Este tipo de posicionamento pode ser feito com recurso a correções às medições de pseudo-distância, sendo denominado de GPS diferencial (DGPS), mas também pode recorrer a medições de diferenças de fase, podendo estas diferenças ser simples, duplas ou triplas, permitindo a redução ou até mesmo a eliminação de alguns dos erros que estão inerentes às observáveis, como já foi anteriormente referido.

Como já foi referido associado ao método relativo de posicionamento, foram utilizados 3 modos de observação, que foram explorados para aferir a qualidade do posicionamento fornecido pela rede SERVIR. Esses modos foram o estático, rápido estático e cinemático.

Quando se pretende uma maior exatidão o modo estático é preferível, sendo necessário sempre recorrer a uma estação fixa de referência, para efetuar o pós processamento das observações recolhidas com o recetor. A Estação fixa é considerada como um recetor-base estando num local de coordenadas conhecidas, e o recetor ou recetores serão aqueles que irão fazer as observações nos locais de coordenadas desconhecidas. Segundo Ghilani *and* Wolf [2007] a exatidão obtida com este método é de cerca de 3 a 5 mm + 1 ppm, sendo que o tempo de observação deverá respeitar a razão de 20 min + 2 min/km, relativamente ao comprimento da linha de base entre a estação de referência e o ponto de coordenadas desconhecidas. Com a introdução da rede SERVIR, a partir de 2006, deixou de ser necessária esta duplicação de meios, quer humanos quer materiais, permitindo que a estação de referência passasse a ser uma estação fixa (CORS) da própria rede.

Outro modo de posicionamento utilizado foi o rápido estático, que é muito similar ao anterior, no entanto as sessões de observação são mais curtas. Este modo é utilizado para linhas de base de comprimento inferior a 20 km e quando existem boas condições de observação. A exatidão conseguida poderá chegar aos valores

referidos no método anterior; no entanto, para que esses valores sejam atingidos, deverá existir uma configuração ótima dos satélites, ou seja, um bom *Position Dilution of Precision* (PDOP) e condições ionosféricas favoráveis.

Por fim, foi utilizado o modo cinemático, que, tal como o seu nome indica, permite que o recetor esteja em contínuo movimento. Este é o modo mais produtivo, mas também o menos exato. A exatidão situa-se, segundo Ghilani *and* Wolf [2007], em 1 a 2 cm + 2 ppm. Como é um valor suficiente para muitos dos trabalhos topográficos, é o modo que é mais utilizado atualmente. Está limitado ao facto de que o comprimento da linha de base, entre a estação de referência e o recetor, deva ser a mais curta possível. Com a introdução das redes RTK (NRTK) atuais com as suas formas de envio de correções, tal como a rede SERVIR, consegue-se fazer face a esta problemática.

2.2 Redes RTK

O conceito de introdução de CORS, para transmissão de correções diferenciais, foi introduzido no final dos anos 1980 e permitiu dar resposta à degradação deliberada do sinal GPS, denominada de disponibilidade seletiva (SA). Para além da resolução deste problema, permitiu a criação de dois métodos alternativos aos métodos de posicionamento, denominados de base-RTK e de DGPS, que foram os antecessores da NRTK, em que a posição do recetor era calculada com recurso a um ponto de referência de coordenadas conhecidas, estando o resultado dependente da distância entre o recetor e esse mesmo ponto. A informação recolhida das CORS, em torno do recetor, que depois é transmitida para o centro de cálculo, permite uma modelação mais eficaz das componentes dispersivas e não dispersivas dos erros atmosféricos, garantindo assim uma exatidão centimétrica no posicionamento. Para além desta situação, possibilitou uma diminuição dos equipamentos e de operadores para cerca de metade, pois deixa de ser necessário a utilização de um equipamento como estação base [Lim *et al.*, 2008; Yildirim, 2011].

Diversas redes de CORS foram criadas um pouco por todo o mundo; no entanto, nem todas oferecem serviços em tempo real, tendo nesses casos sido criadas para outros propósitos tais como: estabelecimento de data, previsão do tempo, monitorização de deslocamentos após atividade sísmica, monitorização dos movimentos das placas tectónicas, apoio a atividades cadastrais, etc [Imakiire *and* Nakahori, 2001; Aktug *et al.*, 2007; Piras *et al.*, 2009; Khan, 2010; Haritonova *et*

al., 2013]. Apesar disso, apenas serão apresentadas aquelas que se assemelham à rede SERVIR, disponibilizando posicionamento em tempo real através do envio de correções aos utilizadores, e que são uma prática comum, não só em utilizações topográficas, mas também em controlo de frotas de veículos, agricultura de precisão, operações de cadastro, entre outras [Dabove *et al.*, 2012; Zinas, 2015].

Para além da instalação física das estações, e outros aspetos inerentes ao estabelecimento de uma NRTK, existem três processos principais a ter em conta (Figura 10): a geração de correções, a sua interpolação e a sua posterior transmissão.

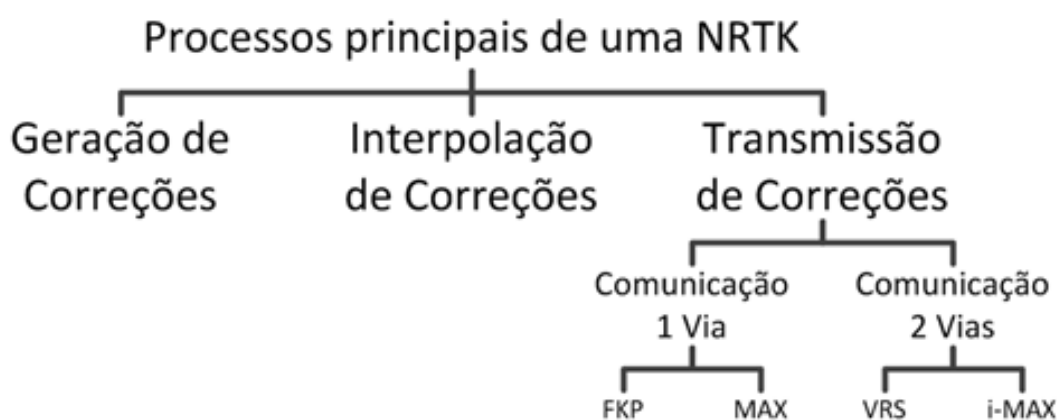


Figura 10 – Processos principais de uma NRTK [Weston, 2014]

As correções diferenciais são as diferenças entre os valores de referência e os valores que estão a ser medidos. Neste ponto existe um desafio, que é a resolução das ambiguidades de ciclo das CORS e a sua manutenção ao longo do tempo, permitindo o seu conhecimento permanente. Este aspeto é resolvido durante o período inicial de “vida” da NRTK. Na fase seguinte é escolhida a forma de interpolação das correções, que é muito importante, pois está diretamente ligada às correções que são transmitidas. Diversas técnicas são utilizadas no sentido de reduzir os efeitos dos erros que afetam a exatidão da fase da onda portadora e da pseudo-distância. Sobre estas duas fases poderão ser encontradas informações adicionais em Zinas [2015].

Assim depois das correções terem sido calculadas, há necessidade de as transmitir ao recetor, respeitando o formato normalizado RTCM, para transmissão de correções diferenciais. A entrega das correções ao recetor, neste formato, segue as normas definidas pelo *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP) [Mckessock, 2007]. Para efetuar esta transmissão foram desenvolvidas

várias técnicas, residindo a principal diferença entre elas na necessidade de uma ou duas vias de comunicação, disponíveis no recetor, tal como é possível ver na Figura 10 [Zinas, 2015].

O método conhecido como VRS é o mais utilizado, mais simples e mais antigo presente nas NRTK [Dabove *et al.*, 2012]. O seu nome deriva do facto do utilizador poder obter dados de uma estação que não existe fisicamente, que assume a designação de virtual. Os dados dessa estação virtual são gerados no centro de cálculo, em tempo real ou em pós-processamento, sendo que, neste último caso, é necessário a introdução das coordenadas aproximadas do local onde foram efetuadas as medições. Este método, que se encontra ilustrado na Figura 11, caracteriza-se pelo facto de utilizar duas vias para comunicação. Para utilizar este método o recetor necessita de se ligar ao centro de cálculo da NRTK, geralmente através de um telemóvel (GSM ou GPRS). Inicialmente o recetor envia uma posição aproximada através de uma mensagem em formato *National Marine Electronics Association* (NMEA). Posteriormente, e visto as ambiguidades de ciclo das CORS já estarem resolvidas, são geradas correções através do cálculo de diferenças duplas, para cada uma das linhas de base entre as CORS. De seguida são geradas, através de algoritmos, observações sintéticas de fase e de pseudo-distância, tendo em conta uma posição próxima do recetor, que depois são enviadas para o recetor, utilizando a norma RTCM. Depois é aplicado um algoritmo de base simples, entre a VRS e o local do recetor, beneficiando assim da curta distância entre estes [Zinas, 2015; Retscher, 2002].

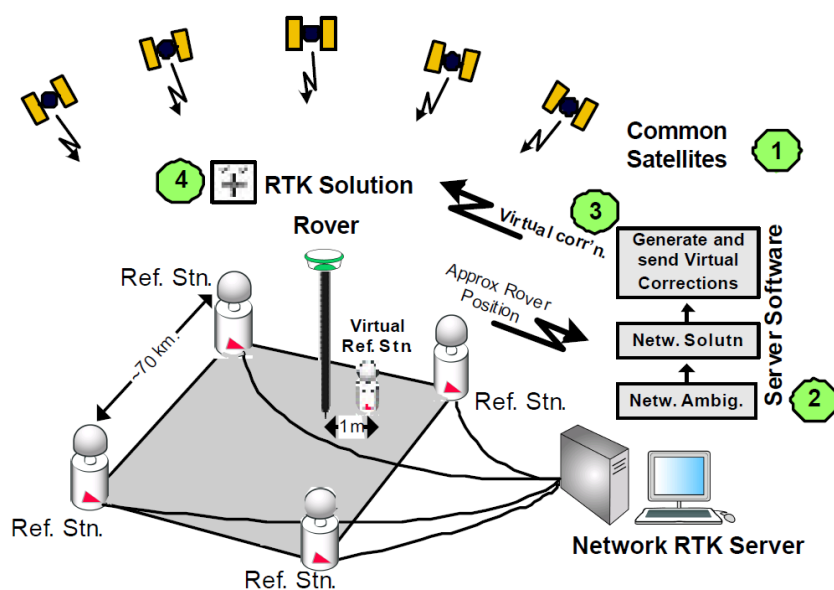


Figura 11 – Princípio da transmissão de correções pelo método VRS [Leica, 2012]

O método dos parâmetros de correção de área (FKP), em alemão *Flächen Korrektur Parameter*, foi um dos primeiros a ser desenvolvido. Genericamente é um método que utiliza informação das CORS para calcular parâmetros que descrevem o efeito da atmosfera e os erros associados às órbitas dos satélites. Estes parâmetros são disseminados pelos recetores como gradientes, sendo utilizados para a interpolação linear dos erros da rede para a sua posição. Na Figura 12 encontra-se ilustrado o funcionamento deste método, sendo que este assenta no cálculo de quatro planos de correção, referentes a cada uma das CORS, que são descritos pelos parâmetros calculados. Neste método é usada uma interpolação linear para calcular os parâmetros a e b, para cada uma das CORS, que representam a descorrelação linear nas direções Este-Oeste e Norte-Sul. A superfície de correção está definida como sendo paralela ao elipsoide WGS84. Sobre este processo informação adicional poderá ser encontrada em Wubben *and* Willgallis [2001], Dabov *et al.* [2012] e Zinas [2015].

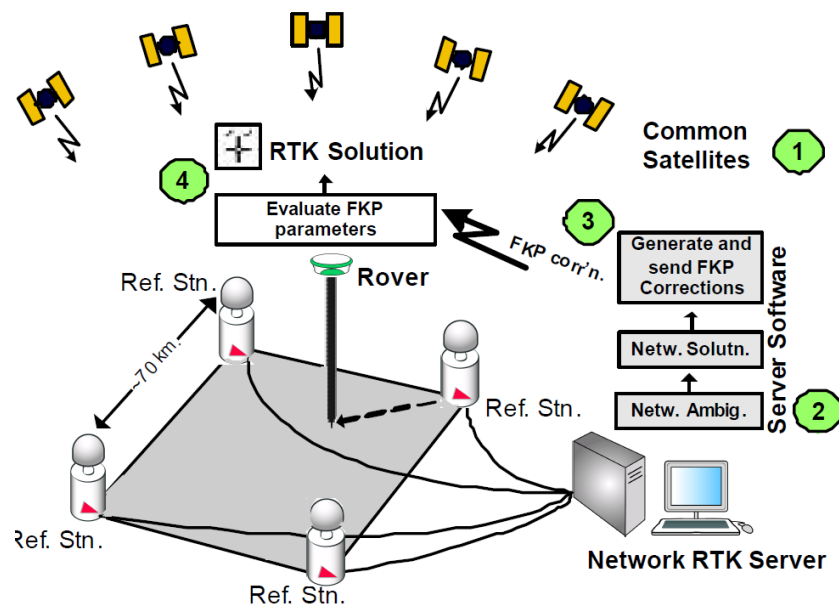


Figura 12 – Princípio da transmissão de correções pelo método FKP [Leica, 2012]

Por fim temos o método Master Auxiliary Concept (MAX), que foi proposto por Euler *et al.* [2001] para ser uma norma a adotar para transmissão de correções. Euler *and* Zebhauser [2002] efetuaram uma comparação entre os vários métodos, demonstrando que o método MAX é vantajoso, por ser mais flexível e por ter uma taxa de transferência e uma frequência de transmissão mais homogênea. A frequência de transmissão é particularmente importante quando a informação apresenta uma forte correlação temporal, como é o caso da atividade ionosférica da região de trabalho. Genericamente, e como pode ser visto na Figura 13, existe uma

estação Master, que é a que se encontra mais próxima do recetor, e diversas estações auxiliares, que são escolhidas até um raio de 70 km. As observações, da estação Master e das auxiliares, são combinadas para calcular as necessárias correções, que depois são transmitidas para o recetor. O recetor calcula posteriormente a influência da ionosfera, troposfera e efemérides no local onde se encontra, usando combinações lineares dos dados das CORS, que depois são interpoladas para o local onde se encontra. A utilização do método MAX foi adotada pelos principais fabricantes e é considerado um método normalizado, que utiliza apenas uma via de comunicação.

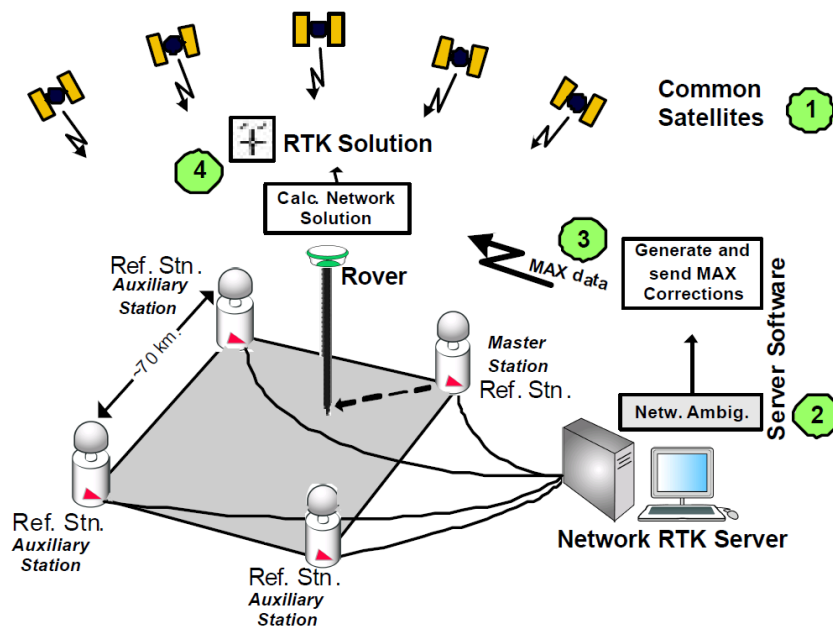


Figura 13 – Princípio da transmissão de correções pelo método MAX [Leica, 2012]

Paralelamente a este método, existe um denominado de *Individualized Master-Auxiliary Corrections* (i-MAX), Figura 14, que foi desenvolvido pela empresa Leica® Geosystems®, para permitir que recetores mais antigos pudessem interpretar a mensagem em formato normalizado RTCM 3.0. Esta técnica, ao contrário da anterior, necessita de uma comunicação com duas vias, pois o recetor necessita de enviar a sua posição inicial para o centro de cálculo. Após o envio da posição inicial, as CORS consideradas mais apropriadas são escolhidas, e a que se encontra mais próxima do recetor constitui-se como Master. É um método muito parecido com o VRS, diferindo apenas no facto de não ser gerada uma estação virtual próxima do recetor, sendo utilizada a posição da estação que se constituiu com Master [Weston, 2014; Zinas, 2015].

Tendo em mente os diversos métodos de envio de correções, serão apresentados

alguns estudos encontrados, feitos a algumas redes mundiais, tentando fazer a identificação do método utilizado para o envio das correções.

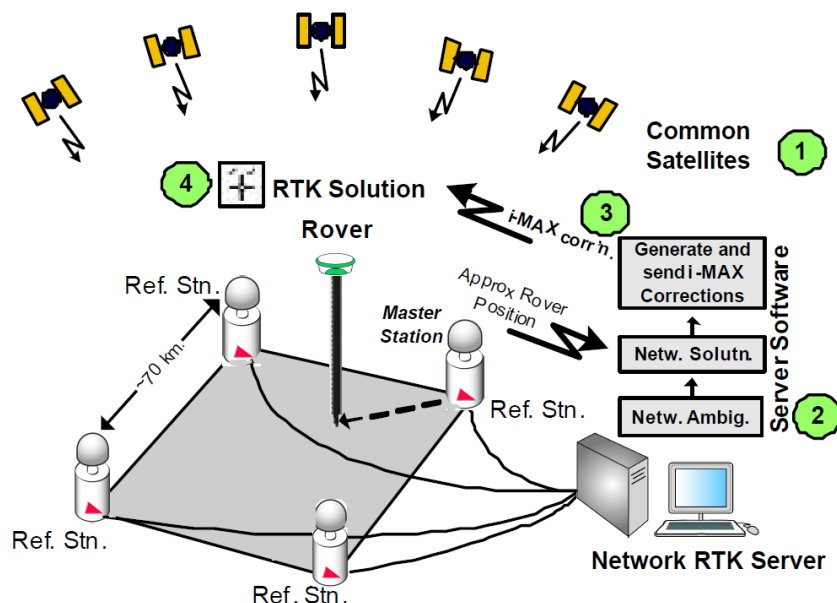


Figura 14 – Princípio da transmissão de correções pelo método i-MAX [Leica, 2012]

Berger *et al.* [2012] faz uma avaliação dos diversos modos de observação, nomeadamente rápido estático, pseudo-cinemático, cinemático e RTK. Este estudo não utilizou dados de uma NRTK, mas sim dados de um recetor que serviu de estação base, juntamente com observações de 7 pontos localizados ao longo da estrada 714, em Martin County, na Flórida. Embora não seja o procedimento seguido nesta tese, os resultados obtidos permitirão saber a diferença de exatidão que se poderá esperar para os vários modos de posicionamento relativo, sendo os mesmos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – RMS obtido para os diversos modos de posicionamento [Berger et al., 2012]

	Norte (m)	Este (m)	Vertical (m)
Rápido Estático	0.006	0.014	0.044
Cinemático	0.012	0.014	0.035
Pseudo-Cinemático	0.005	0.012	0.022
RTK	0.014	0.017	0.048

Os resultados obtidos mostram que o modo Pseudo-Cinemático é aquele que produz os resultados mais próximos do modo estático, que foi o que serviu de referência. No entanto, os modos RTK, cinemático e rápido estático também produzem resultados satisfatórios, pois as diferenças estão abaixo de 0.020 m, nas componentes Norte e Este, e abaixo de 0.050 m na componente vertical.

Pesci *et al.* [2009] efetuaram um estudo que teve por base quatro estações pertencentes à rede denominada de ASSOGEO (Itália), com linhas de base de cerca de 50 km de comprimento entre as CORS. Para a avaliação foram instaladas duas estações (STA1 e STA2) no telhado do Departamento de Física da Universidade de Bolonha, estando as mesmas identificadas na Figura 15.

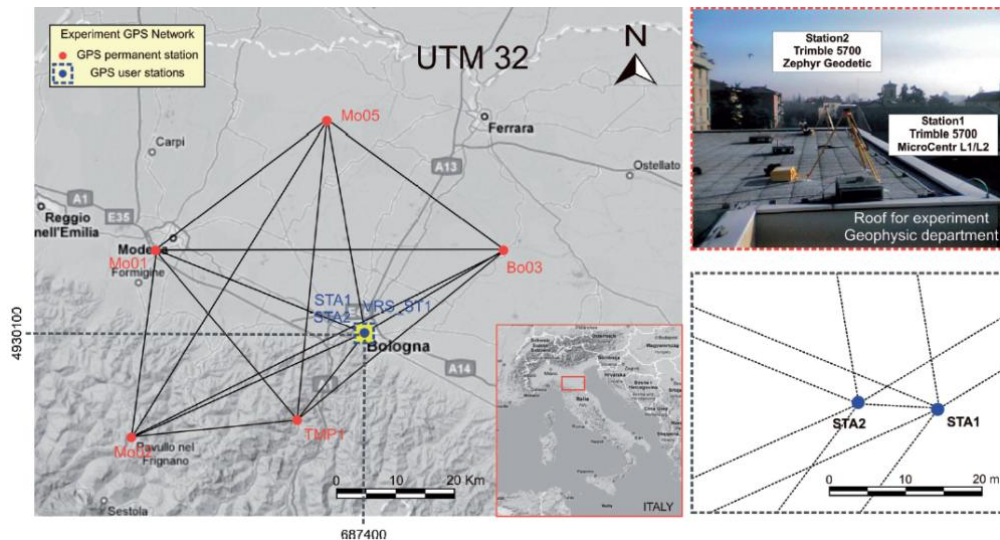


Figura 15 – Disposição das estações utilizadas no estudo conduzido por Pesci et al. [2009]

Os autores realçam que o facto de se conseguir gerar dados sintéticos referentes a uma VRS, permite ao utilizador efetuar pós-processamento que elimina o problema relacionado com a distância entre a estação de referência e o recetor. Por outro lado a existência de uma rede de CORS permite minimizar o uso de vários recetores, poupando recursos financeiros, de tempo e humanos, conseguindo no final do processamento uma exatidão que poderá chegar a 0.010-0.030 m.

Para ser possível ter uma visão global das redes existentes a nível mundial, assim como a sua configuração, número de estações e forma de envio de correções, serão descritas aquelas que foi possível obter estudos similares ao que aqui foi feito (exceção feita à rede Alemã, para a qual não foi possível obter qualquer estudo, sendo apenas apresentados os valores que são apresentados pela entidade responsável pela mesma). Pretendeu-se assim saber que tipo de avaliação é feita e os resultados obtidos, para que seja possível comparar os resultados obtidos com a rede SERVIR, para perceber se esta se encontra dentro dos mesmos parâmetros que as restantes redes.

2.2.1 Redes na Finlândia

O método VRS tem sido amplamente testado na Finlândia desde 2000, sobretudo devido ao facto das duas redes operacionais existentes utilizarem este método de envio de correções. Uma é da responsabilidade de uma companhia privada, Geotrim Ltd, e outra está localizada na região de Tampere, tendo sido um projeto-piloto que ficou operacional desde julho de 2000. Esta última rede é constituída por 4 estações, definindo bases com comprimentos que variam entre os 20 km e os 61 km (Figura 16).

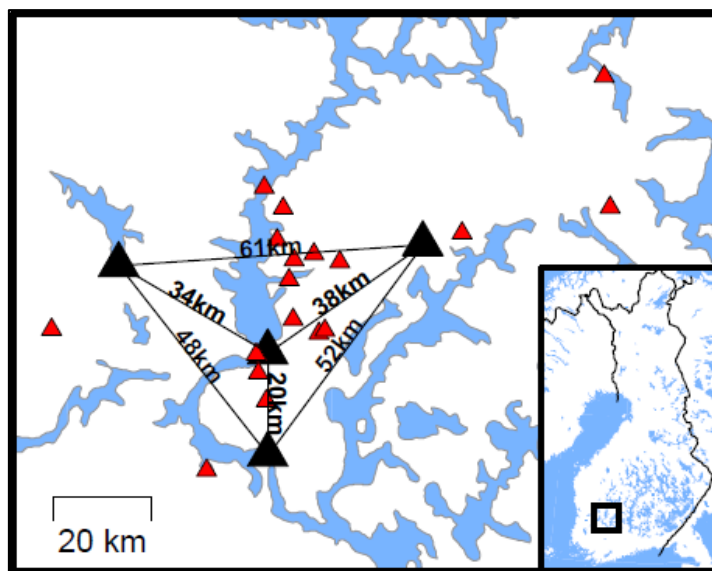


Figura 16 – Estações da rede da região de Tampere [Hakli, 2004]

A rede da responsabilidade da Geotrim Ltd. (Figura 17) está localizada na parte sul da Finlândia e a distância entre as suas 16 estações varia entre os 37 km e os 111 km.

Foi conduzido um estudo por Hakli [2004], que planeou a medição de 18 pontos na rede Tampere (Figura 16) e 15 na rede da Geotrim Ltd (Figura 17), identificados por triângulos vermelhos em ambas as figuras, tendo os mesmos sido observados durante o Verão. O objetivo principal era saber o comportamento das correções emanadas com o método VRS em função da densidade da rede de CORS que os produzia. Por outro lado, pretendia-se estudar a exatidão e os tempos de inicialização e como estes são influenciados por fatores como o tamanho da linha de base, o número e geometria dos satélites e o equipamento utilizado, por exemplo. Para a escolha dos pontos foi tida em atenção a inexistência de obstáculos em seu redor, a estabilidade do local onde seria colocado o recetor e locais com coordenadas

conhecidas com exatidão.

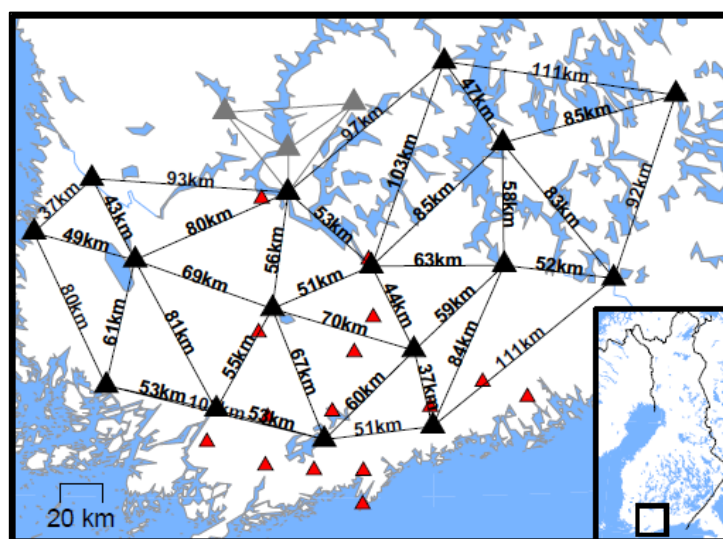


Figura 17 – Estações da rede da Geotrim Ltd [Hakli, 2004]

A rede de Tampere foi escolhida por Hakli [2004] por ter diversos pontos de referência que pertencem à *European Reference – Finland* (EUREF-FIN), ao passo que a rede da Geotrim Ltd. foi escolhida por forma a testar as soluções em linhas de base que têm um comprimento superior ao recomendado pela Trimble®, 50 km a 70 km. Neste último caso foram estabelecidas novas configurações, por forma a aumentar o comprimento das linhas de base.

Os resultados obtidos mostram que a exatidão obtida para as componentes Norte e Este se situa entre -0.050 m e 0.050 m, enquanto para a componente vertical, o valor varia entre -0.075 m e 0.075 m. O tempo necessário para resolução das ambiguidades de ciclo é quase sempre inferior a 1 min, sendo a média 29 s; 90% das 2192 observações tiveram valores de inicialização inferiores a 32 s. De salientar ainda que 40 observações falharam inicialização, por não ter sido possível o cálculo das ambiguidades. Os resultados obtidos mostraram que o comprimento das linhas, assim como o facto do recetor se encontrar dentro ou fora da rede, não tem qualquer influência na exatidão da solução, apesar de neste último caso ser necessário fazer uma extrapolação das correções. Ainda em relação ao aspeto de estar fora da rede, os autores constataram que existe um aumento do tempo de inicialização.

Foram ainda comparados os resultados tendo em consideração o número de satélites visíveis, dado que, em princípio, o seu aumento levará a uma melhoria na geometria e consequentemente na solução final. Os resultados mostram uma diminuição do RMS das coordenadas tridimensionais e também uma diminuição do

tempo de inicialização.

Foi feito um outro teste utilizando 13 pontos, distribuídos por locais com características de terreno aberto, com algumas obstruções e de floresta. Uma das conclusões foi que existe um ligeiro aumento do valor de RMS, em cerca de 0.005 m, nas componentes Norte e Este, quando estamos em floresta. No entanto, a diferença na componente vertical passa de cerca de 0.025 m, em terreno aberto, para 0.045 m nos outros dois tipos de terreno. O tempo de inicialização também aumenta, apresentando valores de 10 s, 25 s e 45 s, para terreno aberto, com algumas obstruções e de floresta respetivamente. Este facto pode ser explicado pelo bloqueio do sinal dos satélites feito pelos obstáculos presentes, pois sempre que o sinal é bloqueado é necessário resolver de novo as ambiguidades, prolongando assim o tempo de inicialização. Por fim, relativamente ao espaçamento entre CORS, a conclusão a que chegaram foi de que distâncias até 90 km não influenciam a exatidão, sendo que o valor de 80 km é o mais seguro.

2.2.2 Redes SmartNet, VRS Now e TopNet da Irlanda

Existem atualmente na Irlanda três NRTK. A primeira, apresentada na Figura 18, é da responsabilidade da *Ordnance Survey Ireland* e é constituída por 23 estações, 17 das quais localizadas na Irlanda e 6 localizadas na Irlanda do Norte (nota: na Figura 18 aparecem mais estações do que o valor referido, situação que se deve possivelmente a uma expansão da rede, que deve ter acontecido entre os anos de 2012 e a atualidade). O método utilizado para a transmissão das correções é o MAX e a exatidão que é apontada pela entidade responsável varia entre 0.010 m e 0.015 m, para as componentes horizontais, e entre 0.010 m e 0.030 m, para a componente vertical [Martin *and* McGovern, 2012].



Figura 18 – Estações referentes à rede SmartNet [SMARTNet, 2015]

Em 2008 a Trimble® instalou uma NRTK, denominada *VRS Now Ireland*, que não é mais do que uma extensão da rede *VRS Now international*, constituída por 150 estações. Esta rede é constituída por 22 estações (Figura 19) e, tal como o seu nome indica, a transmissão das correções é feita através do método VRS. A exatidão que é apontada pela entidade responsável varia entre 0.010 m e 0.015 m, para as componentes horizontais, e entre 0.020 m e 0.030 m, para a componente vertical.



Figura 19 – Estações referentes à rede VRSNow [Martin and McGovern, 2012]

Em 2010 foi estabelecida pela empresa Topcon® uma terceira NRTK, denominada de TopNet+. A rede é constituída por 35 estações (Figura 20) e a transmissão das correções utiliza um método similar ao VRS, que se designa de *Modelled Reference Station* (MRS).

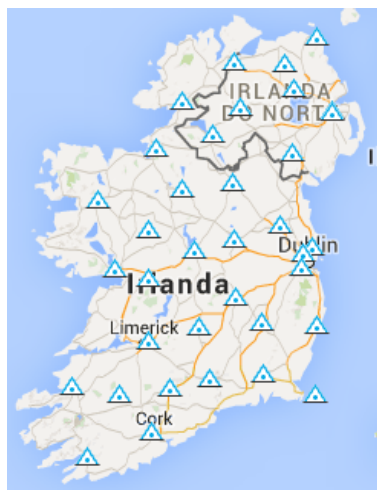


Figura 20 – Estações referentes à rede TOPNet [TOPCON, 2009]

Sobre estas 3 redes foi feito um estudo, realizado por Martin *and* McGovern [2012]. Este iniciou-se com a escolha de pontos com as seguintes características: dentro das 3 redes, nos limites das redes e fora das redes. Em cada ponto foi colocado um tripé com 3 recetores, espaçados de 0.250 m, tal como é possível ver na Figura 21. Os recetores utilizados foram um Leica Viva NetRover, um Topcon GRS-1 e um Trimble R8, sendo que todos permitem a recolha de dados GPS e GLONASS.



Figura 21 – Configuração dos recetores na recolha dos dados [Martin *and* McGovern, 2012]

Os resultados que são apresentados, para além de terem em conta os três tipos de recetores utilizados, também têm em atenção os tipos de observações utilizadas relativamente ao facto de se manter ou retirar os dados GLONASS. Por fim foi dada também alguma atenção ao tempo de inicialização para obtenção da solução, assim como ao comportamento das observações instantâneas na janela de tempo observada.

Neste estudo foram usados 45 minutos de dados referentes a 9 estações. No que diz

respeito ao RMS das coordenadas 2D obtido com os 3 recetores, constatou-se que não há uma diferença significativa entre eles e que a inclusão dos dados GLONASS não produz grande impacto nos resultados. No que diz respeito à componente vertical, constatou-se que os resultados obtidos com o recetor Topcon GRS-1 apresentam uma melhoria quando são incluídos dados GLONASS, sendo que para os outros dois recetores não há diferenças significativas.

Martin *and* McGovern [2012] concluíram que todas as redes fornecem exatidão semelhante nas 3 componentes e que, comparando com as coordenadas oficiais dos VG, obteve-se um RMS médio de 0.022 m com um desvio padrão de 0.014 m.

2.2.3 Rede nacional permanente GPS da Turquia (TNPGN)

Na Turquia existem diversas redes (informação adicional sobre todas as redes Turcas poderá ser encontrada em GCM [2015]; no entanto apenas será abordada a Rede Nacional Permanente GPS da Turquia (TNPGN)). É uma rede comparável com a rede SERVIR, pois faculta correções para posicionamento diferencial (DGPS) e RTK aos seus utilizadores. Para além disso permite o cálculo de parâmetros exatos e precisos de transformação de *datum* para todo território turco, assim como controlo geodésico para a realização do sistema de referência ETRS89, sobretudo após atividade sísmica [Aktug *et al.*, 2007].

A TNPGN é constituída por 146 estações fixas permanentes (Figura 22), sendo que 142 estações estão instaladas no território da Turquia e 4 estações estão no norte do Chipre. As estações foram implantadas com intervalos de distância que se situam entre 80 km e os 100 km.

Yildirim [2011] publicou um estudo que foi feito relativamente a esta rede, tendo sido observados 48 pontos, espalhados por todo o território de forma uniforme, em modo estático. Para eliminar erros relativos à altura da antena foram escolhidos pontos em que a estrutura era similar a um pilar de betão. O processamento destes dados foi feito com recurso às efemérides precisas, utilizando o programa LEICA LGO 7.0, sendo que os valores obtidos servirão como valor de referência para comparação. No sentido de avaliar as correções fornecidas pela rede TNPGN, foram realizadas medições, nos mesmos pontos das observações em modo estático, mas desta vez em modo RTK. Os valores de RMS obtidos, com recurso à VRS, foram de 0.018 m, 0.016 m e 0.087 m para as coordenadas Este, Norte e Vertical (ou

altitude). Estes resultados são melhores, segundo o autor, do que a média mundial relativamente ao posicionamento RTK instantâneo [Yildirim, 2011].

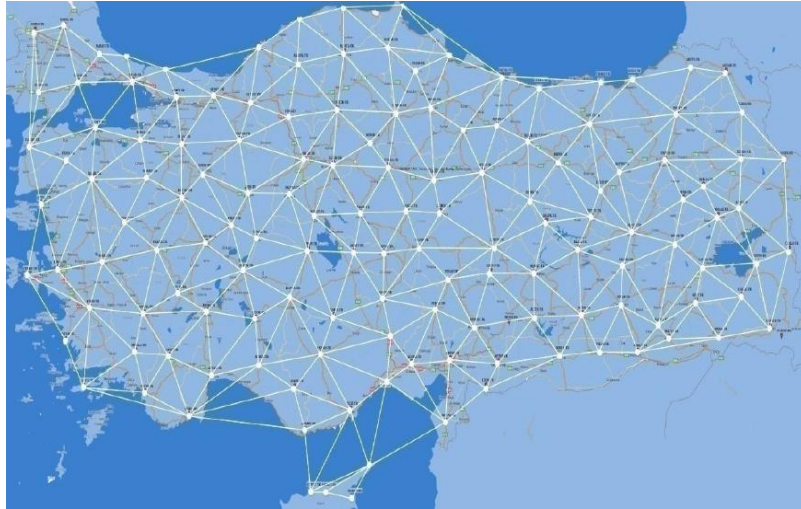


Figura 22 – 146 estações da rede localizada na Turquia [Yildirim, 2011]

2.2.4 Redes REGAM, MERISTEMUM e ERVA de Espanha

Em Espanha existem diversas redes locais, sendo que cerca de dois terços das comunidades autónomas têm pelo menos uma NRTK [Garrido *et al.*, 2011]. Embora existas muitas NRTK, serão apenas descritas as redes existentes na região de Múrcia, Sul de Espanha, sobretudo pelo facto de terem sido alvo de dois estudos sobre a qualidade do seu posicionamento.

A rede REGAM é constituída por 9 CORS (círculos vermelhos na Figura 23), com uma distância média de cerca de 50 km, e fornece serviços de posicionamento em tempo real e dados para pós-processamento. Esta rede utiliza o método MAX para envio das correções.

A rede MERISTEMUM é constituída por 5 CORS (círculos azuis na Figura 23), com uma distância média de 70 km, e fornece igualmente o mesmo tipo de serviços que a anterior. Embora forneça o mesmo tipo de serviços, o método utilizado para envio das correções é o VRS.

A rede ERVA é constituída por 8 CORS (círculos verdes na Figura 23) localizadas na região de Valência e, contrariamente às anteriores, as suas estações não têm o mesmo tipo de equipamento, existindo neste caso 4 tipos de recetores, 3 da Trimble® e 1 da Leica®. Os serviços fornecidos são semelhantes às redes anteriores e o método para envio de correções é o VRS. Na Figura 23, para além da

implantação das CORS das 3 redes descritas, encontram-se os pontos utilizados no estudo desenvolvido por Garrido *et al.* [2011] (círculos pretos com triângulo).

Relativamente a estas redes foram selecionados dois estudos, Garrido *et al.* [2011], que é um estudo que abrange as três redes, e Gimenez *et al.* [2011] que apenas contemplou as redes localizadas na região de Múrcia (REGAM e MERISTEMUM).

Os pontos escolhidos por Garrido *et al.* [2011], para fazer a avaliação do comportamento destas 3 redes nas suas fronteiras, que se encontram identificados através de triângulos pretos na Figura 23, apoiaram-se na rede geodésica nacional de Espanha, denominada de REGENTE. Foram utilizados 6 pontos, 3 na região de Múrcia e 3 na região de Valência.

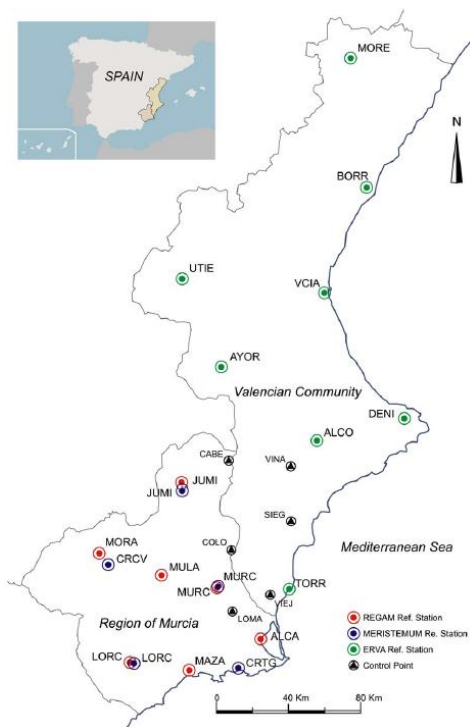


Figura 23 – Estações das Redes REGAM, MERISTEMUM e ERVA [Garrido *et al.*, 2011]

Os autores optaram inicialmente por fazer uma comparação entre as coordenadas, ditas “oficiais”, dos VG utilizados para o teste, e os dados obtidos com recurso aos serviços das três redes. Como as diferenças entre as coordenadas obtidas com recurso às 3 redes, e as coordenadas oficiais eram demasiado elevadas, em alguns casos superiores a 0.050 m, decidiram fazer uma comparação entre as soluções de todas as redes e uma solução obtida por pós-processamento, relativa a uma seção de observação de 3 horas em modo estático. Os resultados de exatidão obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Exatidão obtida para as redes REGAM, MERISTEMUM e ERVA [Garrido et al., 2011]

	Componente horizontal (m)	Componente vertical (m)
Rede REGAM	0.009 – 0.017	0.011 – 0.035
Rede MERISTEMUM	0.012 – 0.047	0.014 – 0.039
Rede ERVA	0.017 – 0.027	0.011 – 0.048

Relativamente à precisão, e consequentemente à repetibilidade das medições, são apresentadas grandes similaridades entre as três redes no que diz respeito às componentes horizontais, pois as variações nunca são superiores a 0.010 m. Quanto à componente vertical, as variações já atingem, em alguns casos, os 0.020 m. Concluíram com este estudo que a precisão é melhor que 0.020 m nas componentes horizontais e melhor que 0.040 m na componente vertical. Ainda foi possível avaliar a tempo necessário para fixar as ambiguidades, que foi na maior parte das vezes inferior a 90 s, sendo muito similar nas 3 redes testadas.

No estudo de Gimenez *et al.* (2011) relativamente às redes REGAM e MERISTEMUM foram utilizados 5 pontos (círculos vermelhos na Figura 24), localizados na região de Múrcia. Foi feita uma avaliação à precisão, exatidão do posicionamento e à cobertura do serviço versus o tempo para fixar as ambiguidades (TTFA). Para fazer esta avaliação foram feitos quatro testes que conduziram a três soluções diferentes, nomeadamente: solução i-MAX, solução da base única mais próxima e solução rede VRS, para a rede MERISTEMUM e REGAM. Os resultados de exatidão, relativamente às componentes horizontais, foram idênticos; no entanto, a melhor exatidão para a componente vertical foi obtida com a rede REGAM (i-MAX).

Relativamente à exatidão, comparando com as coordenadas oficiais dos VG utilizados, foram encontradas algumas diferenças, que o autor justifica com o facto de existirem diversas realizações do ETRS89. O comportamento das duas redes foi bastante similar, mesmo com uma densidade diferente de CORS. O erro posicional obtido para os pontos no interior das NRTK foi inferior a 0.015 m nas componentes horizontais e de 0.035 cm em altimetria. Contudo houve um comportamento diferente para os pontos que estavam nas fronteiras, em que o ponto “TORR” obteve resultados similares aos pontos do interior e o ponto “JERE” obteve resultados menos exatos do que os obtidos para os pontos do interior.

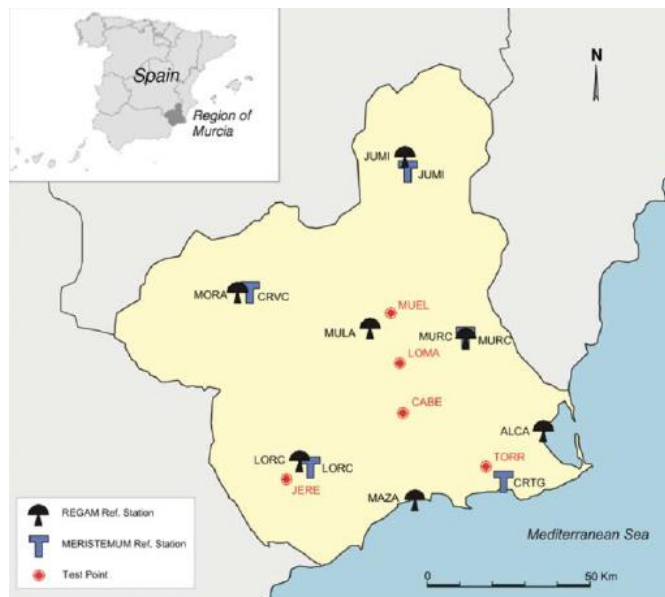


Figura 24 – Redes REGAM e MERISTEMUM e os pontos [Gimenez *et al.*, 2011]

2.2.5 Rede REPRAA – Açores

Esta rede, implantada em todo o arquipélago dos Açores, permitiu a criação de uma infraestrutura de suporte geodésico de âmbito regional, garantindo a utilização de sistemas de referência únicos e homogêneos. A rede é atualmente constituída por 10 CORS, estando planeada a instalação de mais 3, tal como é possível ver na Figura 25 (pontos verdes e laranja, respetivamente). São disponibilizados serviços de pós-processamento e RTK, ambos gratuitos, sendo apenas necessário um registo inicial.

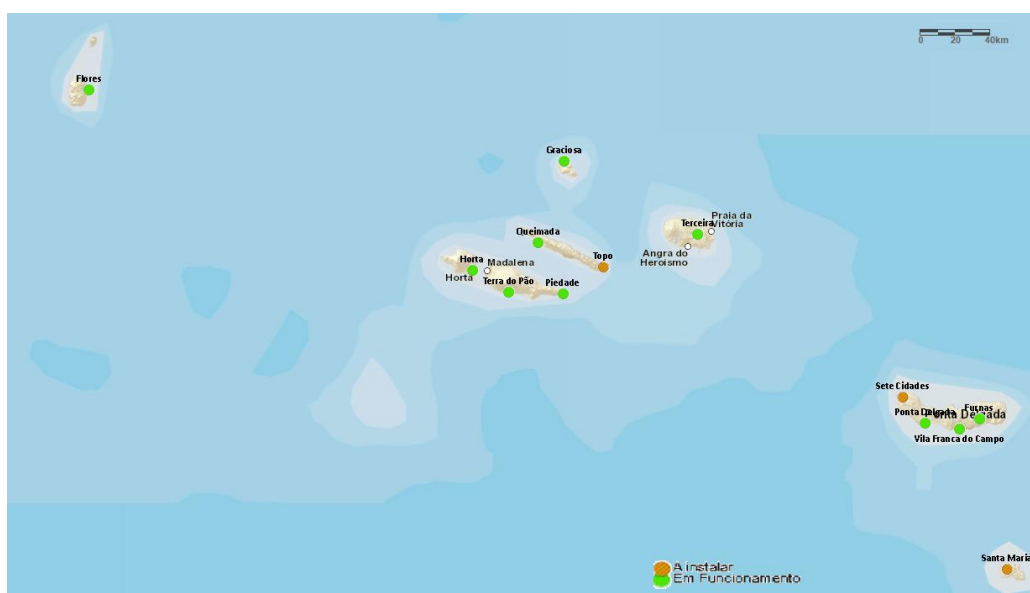


Figura 25 – Estações da Rede REPRAA [Antunes e Santos, 2011]

Foi feito um estudo às correções disponibilizadas por esta rede [Antunes e Santos, 2011] tendo para tal sido utilizados 6 VG na ilha de S. Miguel. Os métodos de envio de correções utilizados foram o MAX e i-MAX para o posicionamento em modo RTK e para o pós-processamento recorreu-se ao método base-RTK. Para este método, de uma forma geral, foram obtidos valores de exatidão melhores que 0.050 m, comparando com as coordenadas oficiais de cada ponto utilizado. No entanto, houve um ponto que teve valores superiores a 0.050 m para as componentes tridimensionais, tendo mesmo chegado aos 0.200 m para a componente vertical. Quanto aos valores obtidos para o posicionamento em modo RTK, os resultados foram melhores no caso do MAX, com resíduos inferiores a 0.050 m para todas as componentes e todos os pontos.

2.2.6 Rede SAPOS – Alemanha

A rede SAPOS®, situada na Alemanha, é constituída por cerca de 270 estações (Figura 26). É utilizada em substituição do conceito de rede geodésica, disponibilizando serviços de posicionamento em RTK e também pós-processamento. Existem quatro tipos de serviços, que possibilitam diferentes classes de exatidão, adaptadas ao tipo de trabalho pretendido. Esta rede disponibiliza o serviço denominado de SAPOS® - HEPS, que é um serviço de posicionamento RTK de alta precisão que permite exatidão de 0.010 m a 0.020 m nas componentes horizontais e 0.020 m a 0.030 m na componente vertical. Disponibiliza ainda o serviço denominado de SAPOS® - EPS, que é similar ao anterior mas a exatidão obtida situa-se nos 0.500 m a 3 m nas componentes horizontais e 1 m a 5 m na componente vertical. Por fim, os serviços de pós-processamento denominados de SAPOS® - GPPS e GHPS, proporcionam valores de exatidão inferiores a 0.010 m para as componentes horizontais e 0.010 m a 0.020 m para a componente vertical [Rosenthal, 2001].



Figura 26 – Rede SAPOS com as suas cerca de 270 CORS [Rosenthal, 2001]

O método utilizado para envio das correções é o FKP e qualquer um destes serviços tem custos para o utilizador. Infelizmente não foi encontrado qualquer estudo prático sobre a qualidade das correções, que seria interessante, por ser uma rede que utiliza o FKP para envio de correções.

2.2.7 Rede SWEPOS da Suécia

Esta rede começou a operar na década de 1990, sendo na altura constituída por 21 CORS. Em janeiro 2010, o número de estações já se elevava a 185, tal como é possível observar na Figura 27. Todas as CORS recolhem e armazenam dados a uma taxa de 1 s e a média de distâncias entre cada estação situa-se nos 70 km, respeitando as recomendações de anteriores estudos. É uma rede que tem custos para os utilizadores; no entanto, por ser uma componente importante na estrutura geodésica nacional da Suécia, espera-se que os custos futuros com a sua expansão e manutenção sejam suportados por fundos governamentais.



Figura 27 – Rede SWEPOS com as suas cerca de 185 CORS [Jamtnas *et al.*, 2010]

Esta rede utiliza o mesmo método de transmissão de correções que a rede SERVIR, o VRS, e fornece similares serviços de posicionamento. Jamtnas *et al.* [2010] faz referência a diversos estudos de campo que foram feitos a esta rede, relativamente à qualidade de posicionamento obtido, entre os anos de 2001 e 2008. É possível constatar uma melhoria de cerca de 0.014 m na componente horizontal e de cerca de 0.051 m na componente vertical, em 95% das medições efetuadas, relativamente à incerteza do posicionamento obtida em 2001 e 2008. Esta melhoria é explicada pelos autores como estando associada à modernização dos equipamentos, do serviço e dos utilizadores, e a uma melhor modelação por parte do programa de cálculo da rede dos erros associados à atmosfera.

Neste estudo também é apresentado o erro posicional esperado, para um cenário hipotético de densificação dos satélites disponíveis, relacionada com o aumento do número de constelações, que se espera acontecer em 2020. Este aspeto resultaria numa melhoria de cerca de 0.010 m e 0.015 m, para as componentes horizontal e vertical respetivamente. No entanto com o atual cenário esta rede fornece um erro de posicionamento de cerca de 0.013 m nas componentes horizontais e de 0.027 m para a componente vertical.

De todos os estudos aqui apresentados merece ser feito um pequeno resumo dos resultados que foram obtidos, servindo para enquadramento e comparação daqueles que se obtiveram no âmbito desta dissertação.

Relativamente aos modos de posicionamento a exatidão apresentada situa-se entre os 0.006 m e os 0.017 m para as componentes Norte e Este, e entre 0.044 m e 0.048 m para a componente vertical. Estes valores referem-se ao RMS relativo aos modos RTK e Rápido.

No que diz respeito às redes apresentadas, e tentando utilizar sempre a mesmo valor de comparação, neste caso o RMS, podemos ver que temos valores de exatidão para as componentes horizontais que oscilam entre os 0.009 m da rede REGAM (Espanha) e os 0.050 m da rede da Finlândia e da REPRAA (Açores), ao passo que relativamente à componente vertical temos valores a variar entre os 0.011 m da rede REGAM (Espanha) e os 0.087 m da rede TNPGN (Turquia). Nem todos estes estudos avaliaram o tempo necessário para resolução das ambiguidades, no entanto foi possível retirar um valor médio de 29 s e máximo de 60 s, para o caso da rede da Finlândia. Nas redes de Espanha este valor sobe para os 90 s, para a maior parte das observações efetuadas. Para perceber estas variações o estudo realizado nas redes da Finlândia, mostrou que as obstruções em volta do ponto influenciam a exatidão obtida assim como aumentam o tempo necessário para fixar as ambiguidades, podendo chegar a diferenças de 35 s entre terreno aberto e floresta. Portanto são aspetos a ter em conta aquando do planeamento e aquisição dos dados.

Página intencionalmente deixada em branco

3 Metodologia do Trabalho desenvolvido

No sentido de efetuar um estudo global sobre a qualidade do posicionamento disponibilizado através dos diversos serviços da rede SERVIR, nomeadamente no que diz respeito à exatidão, precisão e condições de utilização, o trabalho aqui desenvolvido foi dividido em 5 fases fundamentais, baseadas nos diversos estudos já apresentados e na metodologia proposta por Teodoro *et al.* [2015], sendo elas as seguintes:

- Planeamento e escolha dos pontos a serem observados;
- Escolha dos modos de posicionamento para observação dos pontos anteriormente escolhidos;
- Avaliação dos vários serviços/programa de pós processamento, para permitir a escolha daquele que oferecia melhores garantias de exatidão;
- Determinação do valor de referência de cada um dos pontos, com recurso ao programa/serviço anteriormente escolhido;
- Comparação das coordenadas obtidas com os diversos métodos de posicionamento e o valor de referência, permitindo uma avaliação dos resultados. Esta comparação também foi feita com as coordenadas geodésicas oficiais dos VG.

A primeira fase consistiu no planeamento e escolha dos pontos que seriam observados, tendo sido identificados 49 pontos dispersos pelo território de Portugal continental. Estes resultaram da interceção das bissetrizes de cada triângulo formado pelas CORS da rede SERVIR. Depois de identificada a intersecção foi escolhido um vértice geodésico (VG) da rede geodésica nacional, que tivesse boas condições de acesso, permitindo assim boas condições de reobservação em trabalhos semelhantes a realizar no futuro. Adicionalmente foram ainda escolhidos pontos ao longo das duas linhas de base mais longas (TMAD – SMAM e TMAD – ELVAS) e pontos fora das linhas de base, distanciados de 5 km, 10 km e 15 km das mesmas. Na Figura 28 são apresentados os pontos que foram escolhidos e a sua densidade. A densidade representa a concentração de pontos dentro de um círculo com um raio de 100 km, sendo que o azul significa uma concentração menor e o vermelho uma concentração maior, atingindo em alguns casos os 5 pontos por 100 km.

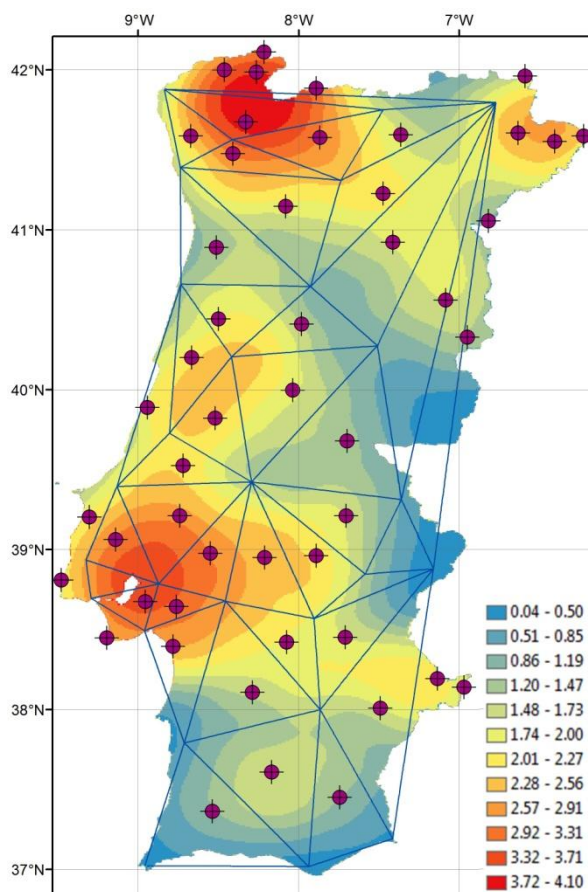


Figura 28 – Configuração da rede SERVIR com a identificação dos pontos observados, e a sua densidade

Na segunda fase foi necessário decidir que modos seriam utilizados para recolha do conjunto de coordenadas tridimensionais de cada VG. A escolha recaiu nos modos que são diariamente utilizados pelos operadores, tendo sido escolhidos os quatro que são descritos de forma sucinta de seguida:

- Sessão de observação de 3 h, em modo estático, que servirá para calcular o valor de referência das coordenadas tridimensionais de cada VG, sendo o pós-processamento efetuado através dos diversos serviços/programas que serão descritos posteriormente;
- Sessão de observação de 12 min em modo rápido estático, que permitirá realizar um pós-processamento, utilizando apenas o programa TBC, com recurso a uma VRS;
- Sessão de observação em modo RTK de 180 épocas a uma frequência de 1 Hz, obtendo-se no final um conjunto de coordenadas tridimensionais. Esta variante do modo RTK passará a designar-se por *Control Measured Point* (CMP);

- Sessão de observação em modo RTK com cerca de 3 min, resultando num conjunto de 180 coordenadas tridimensionais. Esta variante do modo RTK passará a designar-se por *Continuous Topographic Point* (CTP).

As variantes CMP e CTP também foram realizadas para avaliar a diferença entre os programas de cálculo GPSNET e PIVOT, pelo que os resultados obtidos serão identificados com o método e programa associado (CMP-GPSNET, CTP-GPSNET, CMP-PIVOT, CTP-PIVOT).

A terceira fase consistiu na determinação das coordenadas a utilizar como referência, para análise comparativa. Assim foram escolhidas 5 CORS, localizadas no Norte, Centro e Sul do território, das quais foram recolhidos os dados de observação referentes a 24 h. Estes dados foram de seguida processados, utilizando efemérides precisas, com recurso a alguns dos serviços de processamento *online* disponíveis e ao programa TBC. Foram submetidos 3 ficheiros de observação diferentes, referentes a 24 h, 3 h e 2 h de observação, sendo depois os resultados comparados com as coordenadas oficiais das estações CORS da rede SERVIR.

A quarta fase consistiu na determinação das coordenadas de cada um dos VG, utilizando o serviço ou programa que apresentou melhores resultados na análise anterior. Estes resultados foram usados como referência na última fase.

Finalmente, na quinta fase, foram determinadas as diferenças entre os valores de referência de cada um dos VG e os valores obtidos com o modo rápido estático e o modo RTK, nas suas duas variantes CMP e CTP. Também foram comparados os resultados obtidos com o programa GPSNET e com o PIVOT e foi adicionalmente feita uma avaliação das diferenças para as coordenadas oficiais dos VG, em coordenadas geodésicas. Foi possível no final desta fase, analisar os resultados obtidos no que diz respeito à exatidão e precisão conseguidas, assim como apresentar algumas conclusões referentes a outras análises efetuadas.

3.1 Recolha dos dados

Como já foi referido, e após ter sido feito o planeamento dos VG que seriam observados através dos métodos já referidos, foi necessário fazer o trabalho de campo para observação dos mesmos. Este trabalho foi feito em 4 fases, sendo cada uma delas feita por um operador diferente (Figura 29).

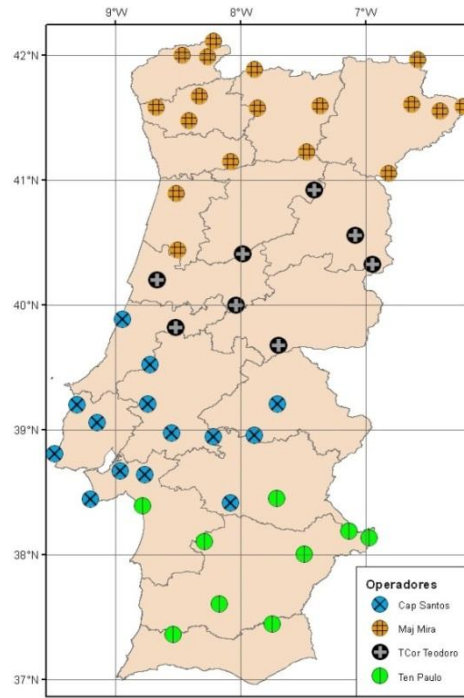


Figura 29 – Fases do trabalho de campo e respetivos operadores

Os dados referentes aos métodos Estático, Rápido Estático, CMP-GPSNET e CTP-GPSNET foram recolhidos entre o dia 31 de março de 2014 e o dia 18 de Novembro de 2014, no período horário que varia entre as 06:00 horas e as 18:00 horas, sendo que os dados referentes à época de observação se encontram no Anexo D na Tabela 24. Como se pode constatar, da análise da Figura 30, a recolha concentrou-se nos meses de julho, setembro, outubro e novembro.

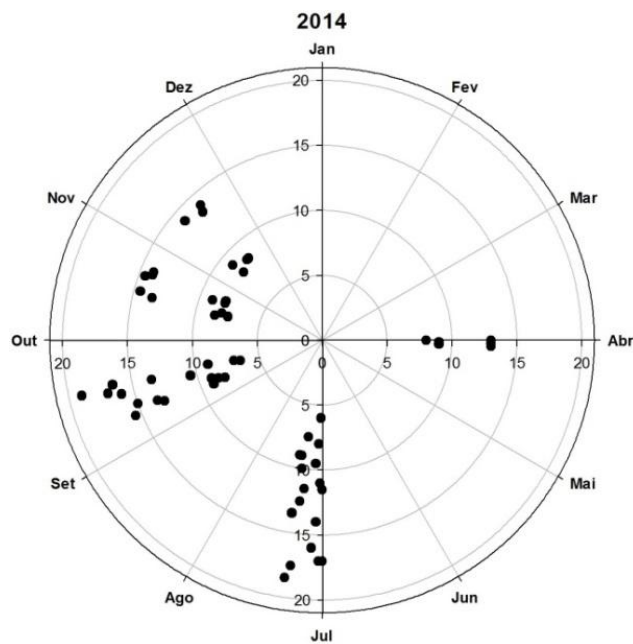


Figura 30 – Dispersão temporal da recolha dos dados (exceto PIVOT) (Ano 2014)

No que diz respeito aos dados referentes ao CMP-PIVOT e CTP-PIVOT, foram obtidos entre o dia 23 de fevereiro de 2015 e o dia 26 de março de 2015, num período horário semelhante à recolha dos dados referidos anteriormente, tal como é possível ver na Figura 31.

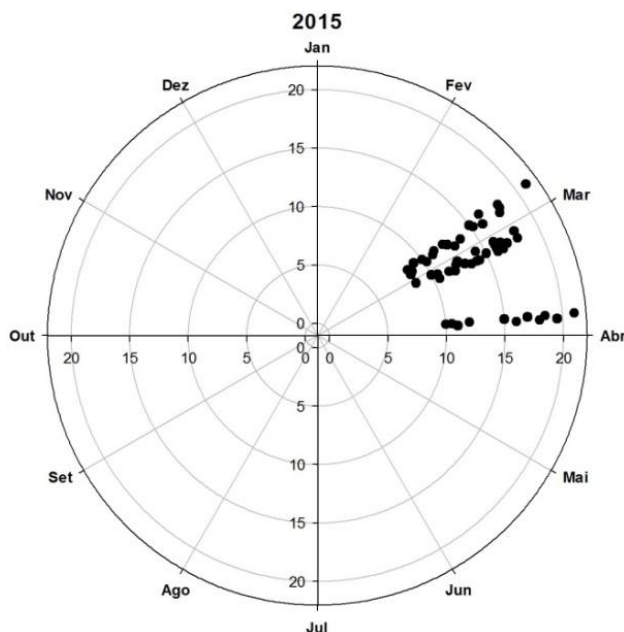


Figura 31 – Dispersão temporal da recolha dos dados PIVOT (Ano 2015)

Comparando as duas figuras podemos ver que a recolha dos dados referentes ao PIVOT demorou apenas um mês, comparativamente com os cerca de 4 meses que demorou a recolha dos dados referentes ao GPSNET. Esta diferença deve-se sobretudo à recolha das 3 horas de observação em modo estático, que apenas permitia recolher dois pontos por dia. Este aspeto apenas foi realizado aquando da recolha dos dados referentes ao GPSNET, possibilitando um ritmo de trabalho superior na observação dos pontos relativos ao PIVOT. Neste último caso foi possível recolher entre 2 a 7 pontos diários, ao contrário dos 2 conseguidos na primeira fase, sendo que a variação se devia à maior ou menor distância entre pontos e às condições de acesso aos mesmos. Foi um encargo grande, quer em combustível quer em quilómetros percorridos, mas no final o CIGeoE acredita que se tratou de um investimento para permitir a aferição da qualidade desta rede.

No que diz respeito ao equipamento de recolha das observações, de referir que foi utilizado um recetor *Trimble® R8 GNSS System* com a sua caderneta de registo modelo TSC2 (Figura 32). Este foi previamente programado com 4 tipos de trabalho, denominados de Estático, rápido estático, RTK e Topocontínuo, para que

a exportação dos dados fosse mais célere e sobretudo sem enganos. Para além da configuração dos trabalhos, foi também necessário configurar a ligação à rede SERVIR, através da definição do IP, dados de acesso à rede, utilizador e palavra passe, assim como emparelhar o telemóvel com o controlador, através de Bluetooth, para que fosse possível a receção das correções enviadas pelo programa de cálculo. Após todas as configurações estarem feitas foi feito um pequeno teste para verificar se tudo estava a funcionar.

Para evitar erros grosseiros relacionados com a altura da antena, adotou-se a configuração do recetor que está apresentada na Figura 32, sendo que a altura considerada foi de 0.275 m. Esta altura diz respeito à base de centragem forçada, que tem 0.049 m de altura e 0.020 m de diâmetro, e também à altura do extensor da Trimble® com 0.226 m de altura, perfazendo um total de 0.275 m até ao ponto de referência da antena (ARP).



Figura 32 – Equipamento utilizado e configuração para recolha dos dados

Outro pormenor importante é a forma de colocação do equipamento no VG para a aquisição dos dados. Idealmente deveria existir uma base roscada acoplada ao próprio VG, permitindo assim condições de reobservação ideais, garantindo que não haveria qualquer desvio relativamente à colocação da base de centragem forçada. Esta situação apenas se verificou no Morraça. Por isso, em trabalhos futuros, deverá ser considerado que poderá haver desvios inerentes à colocação da base no topo do VG, que deverão ser tidos em conta na análise dos dados. Estes desvios, com algum cuidado dos utilizadores, não irão além de 1 a 2 centímetros. Tal como se apresenta na Figura 33, o utilizador deverá garantir que o espaço envolvente à base de centragem forçada, relativamente ao VG, esteja uniformemente distribuído.



Figura 33 – Pormenor da colocação recetor no VG

3.2 Valor de referência

Como é sabido o valor verdadeiro duma grandeza é considerado único e, na prática, impossível de ser conhecido, sendo a abordagem de incerteza o reconhecimento de que, devido à quantidade intrinsecamente incompleta de detalhes na definição duma grandeza, não existe um valor verdadeiro único, mas sim um conjunto de valores verdadeiros consistentes com a definição [IPQ, 2012].

Ora com esta problemática presente foi necessário definir qual seria o valor de referência e, sobretudo, como seria obtido. Para atingir este objetivo foram testados alguns serviços de processamento *online*, assim como o programa TBC. Neste capítulo são descritos todos os serviços e programas utilizados, assim como são apresentados alguns estudos sobre os mesmos, no que diz respeito à qualidade dos serviços prestados. No final são apresentados os resultados obtidos e a justificação da escolha.

3.2.1 Programas utilizados

Inicialmente foi necessário manipular os ficheiros de observação, que tinham sido previamente exportados da caderneta de registo. Como estes dados estavam em formato proprietário da Trimble® e também porque tinham sido obtidos por diferentes operadores, serão seguidamente descritas por ordem cronológica, as

várias operações realizadas fazendo referência às ferramentas utilizadas, para uniformização dos ficheiros de observação.

Para transformação dos dados de observação, num formato normalizado de intercâmbio de dados referentes ao sistema de navegação satélite, denominado de RINEX, foi utilizada a aplicação *ConvertToRINEX*, que é disponibilizada pela própria Trimble®. A versão utilizada foi a 2.2.5.0, tendo sido obtida em Trimble [2015]. Os dados oriundos da caderneta TSC02 da Trimble®, encontravam-se originalmente com a extensão .T01, e foram convertidos para RINEX versão 2.11.

Para resolução de alguns dos problemas de pré-processamento, relativos aos dados GPS e não só, foi utilizada a aplicação TEQC que é disponibilizada pela *University NAVSTAR Consortium* (UNAVCO) [UNAVCO, 2014]. Para além da aplicação está disponível também toda a documentação necessária para uma exploração de todas as suas capacidades. Nesta tese foi utilizada a versão para DOS/WINDOWS de 32 e 64 bits, devido a terem sido utilizados diversos computadores durante a fase de processamento dos dados.

Nesta tese apenas utilizámos uma das três funções desta aplicação, que foi a edição dos ficheiros RINEX referentes às observações. No sentido de uniformizar os ficheiros RINEX referentes às observações realizadas durante 3 h, em modo estático, foram efetuadas as seguintes operações nos 49 ficheiros relativos às observações de todos os pontos:

- Alteração do nome do VG, que por omissão era 1940, para um conjunto de quatro caracteres, por forma a respeitar a norma dos ficheiros RINEX de observação. Adicionalmente foi tido em conta a listagem de estações já existentes do IGS, de maneira a não repetir conjuntos de caracteres já existentes. No Anexo A, na Tabela 21, encontram-se as correspondências que foram criadas
- Alteração da taxa de amostragem de 1 s para 30 s, permitindo uma redução significativa no tempo de processamento e no tamanho dos ficheiros;
- Uniformização da altura da antena para 0.275 m, visto este valor ser diferente no cabeçalho dos ficheiros RINEX;
- Remoção dos dados GLONASS, dado que apenas foram processados dados GPS, o que permite reduzir ainda mais o tamanho dos ficheiros de observação;

- Por último foi necessário fracionar os ficheiros de observação em ficheiros de 2 h e 3 h.

O TBC é um programa que permite processar diversos tipos de dados, permitindo que os seus utilizadores, após chegarem do campo, consigam exportar os dados recolhidos, através de criação de projetos, de uma forma simples e intuitiva. Nesta tese de mestrado foi utilizada a versão 2.81 deste programa. O seu uso permitiu a importação dos dados de campo, referentes ao modo de posicionamento RTK nas suas duas variantes CMP e CTP, referentes ao GPSNET e ao PIVOT, e posterior exportação para um ficheiro no formato *comma-separated values* (.csv), não sendo necessário qualquer processamento. Relativamente aos dados do modo estático e rápido estático será feita uma breve explicação do procedimento efetuado.

Para se proceder ao posicionamento em modo rápido foi necessário gerar uma VRS, sendo para tal utilizada a página que serve de interface entre os utilizadores e o centro de cálculo da rede SERVIR, que passará a ser designada de loja RINEX. Aqui é possível efetuar pedidos de dados de observação em formato RINEX referentes a VRS ou CORS. Para o caso do posicionamento em modo rápido estático é necessário introduzir as coordenadas aproximadas do local de observação do ponto pretendido, assim como o período de observação, sendo que após alguns minutos de espera os dados ficam disponíveis para descarregamento. Há que ter em atenção que apenas é possível gerar VRS com uma antiguidade até 6 meses, pois passado esse tempo os sistemas GPSNET e PIVOT procedem à eliminação dos ficheiros de resíduos, que são necessários à geração destas VRS. O processamento é relativo e é feito com base na linha de base existente entre a VRS e o ponto desconhecido, sendo por vezes necessário editar a sessão de observação, nomeadamente se existirem falhas na sessão de observação de cada satélite.

No que diz respeito aos dados referentes ao modo estático, o procedimento seguido é um pouco diferente. Numa primeira fase é efetuado um pedido, na loja RINEX, de 4 CORS próximas do ponto de coordenadas desconhecidas. Para a geração destes dados é necessário selecionar as CORS no mapa da rede e, posteriormente, escolher o período de observação, que deverá conter o tempo de observação do ponto de coordenadas desconhecidas. Tal como no procedimento anterior, os dados ficam disponíveis para descarregamento após alguns minutos. Com todos estes dados é criado um projeto e são importados os dados referentes às CORS, ao ponto de coordenadas desconhecidas e às efemérides precisas, que podem ser obtidas

diretamente através do programa TBC. O processamento é feito definindo três estações de controlo (fixas) e uma de coordenadas desconhecidas (flutuante). Esta última servirá para avaliar a exatidão do ajustamento, pois as coordenadas desta CORS serão comparadas com as coordenadas oficiais da mesma. Na Figura 34 podemos ver um dos exemplos, para o VG Seixo do Monte, em que o cálculo foi feito com recurso às CORS TMAD, VISE e COVI. A CORS que oferecia menor incerteza foi a TMAD, tendo sido assim escolhida para a obtenção das coordenadas finais do ponto pretendido. A CORS VREA foi a que se constitui como estação flutuante e servirá para avaliar a exatidão do ajustamento.

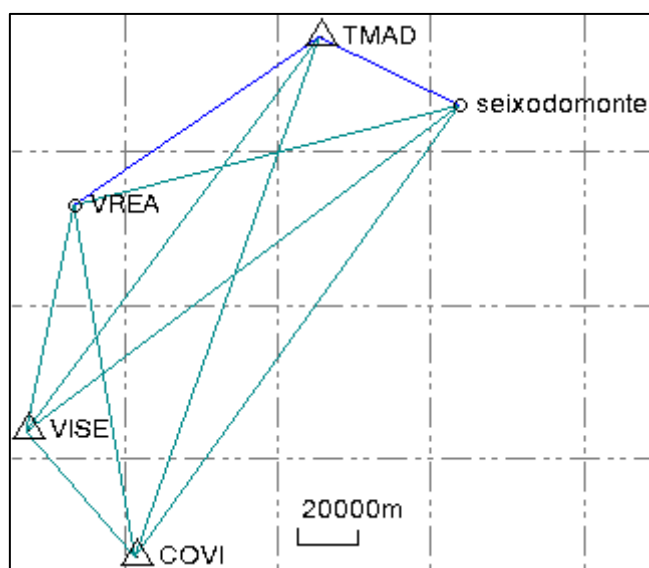


Figura 34 – Processamento modo estático do VG Seixo do Monte com TBC

Apesar de ter sido utilizado este programa, sentiu-se uma necessidade de fazer uma avaliação de alguns serviços, gratuitos, que estão disponíveis *online*. Esta avaliação para além de servir para a obtenção do valor de referência, servirá também para saber se estes serviços são uma opção válida quando se pretende efetuar pós processamento de dados GNSS.

3.2.2 Serviços de Processamento *online*

O processamento *online* é disponibilizado por diversos organismos, de forma gratuita, e permite de uma forma simples e cómoda, fazer o *upload* de um ficheiro RINEX de observações GNSS e receber o resultado via correio eletrónico indicado aquando da submissão. A submissão terá de ser feita de forma consciente, porque as opções disponibilizadas no formulário de cada serviço variam e devem ser analisadas com algum cuidado. A título de exemplo, existem alguns serviços que

retiram automaticamente, do ficheiro RINEX submetido, o modelo da antena utilizado, ao passo que noutros serviços, esse dado tem que ser introduzido pelo utilizador. Esta informação, caso seja mal introduzida, poderá originar erros que poderão ser de vários centímetros. Os dados submetidos tiveram dois tipos de antena, sendo que a antena modelo TRMR8 GNSS NONE/TRM60158.00 diz respeito aos dados dos 49 pontos, para avaliação da qualidade dos dados da rede SERVIR, enquanto a antena modelo TRM55971.00 NONE diz respeito ao teste de valor de referência, que será explicado posteriormente.

O primeiro serviço testado foi o disponibilizado pela *Australian Surveying and Land Information Group's Online Processing Service* (AUSPOS), que realiza um posicionamento em modo diferencial utilizando, neste caso, 15 estações do IGS, que são escolhidas automaticamente e que se encontram nas imediações do ponto que queremos calcular. Estas 15 estações, para os 49 pontos pretendidos tiveram pequenas variações sendo possível ver na Figura 35 o exemplo do VG Morraça.

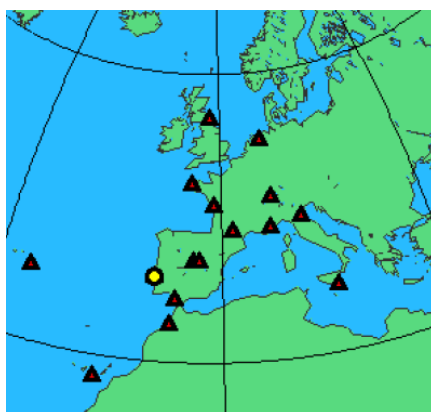


Figura 35 – Estações constrangidas no cálculo das coordenadas do Vértice Geodésico Morraça [AUSPOS, 2015]

Podem ser submetidos dados de observação em formato RINEX de qualquer parte do globo, em modo estático, através do formulário de submissão ou através de FTP, podendo ser submetidos até 7 ficheiros de cada vez, desde que os pontos tenham nomes diferentes. O processamento dos dados é feito com recurso a efemérides precisas e utilizando apenas dados GPS, sendo os dados GLONASS ignorados. No entanto, se o utilizador submeter os dados antes do tempo necessário para utilização de efemérides precisas, o serviço faz o cálculo com as mais precisas que estejam disponíveis, rápidas ou ultrarrápidas. Neste serviço apenas existem três opções no formulário de submissão: a escolha do ficheiro, a escolha do tipo de

antena e o endereço eletrônico para onde serão enviados os resultados do processamento. Os responsáveis por este serviço informam que o processamento demora menos de 5 minutos, mas existe uma grande diferença no tempo de processamento se forem submetidos dados com taxas de observação de 1 s ou de 30 s (3 vezes superior para dados a 1 Hz). No final do processamento é enviado um ficheiro em *Portable Document Format* (PDF) com os resultados do mesmo, bem como alguma informação, bastante completa, sobre a forma como o mesmo foi efetuado. O relatório tem cerca de 7 páginas e os resultados são apresentados em coordenadas cartesianas ITRF2008, à época de observação, e em coordenadas geodésicas, também em ITRF2008, à época de observação, referentes ao elipsoide GRS80 [AUSPOS, 2015].

O serviço, da responsabilidade do *Canadian Geodetic Service of Natural Resources Canada* e denominado de *Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning* (CSRS-PPP), é um serviço gratuito que apenas exige um registo inicial para que seja possível submeter dados em modo RTK e estático. A forma de submissão pode ser feita de duas formas, através de um formulário *online* ou fazendo o descarregamento de uma aplicação, que após a definição das opções, permite, com um simples arrastar dos ficheiros de observação para cima do ícone da aplicação, que o processamento seja feito. O processamento é realizado em modo absoluto (PPP) e, no caso deste trabalho, apenas foi utilizada a opção de processamento em modo estático. Tal como no serviço anterior, as efemérides utilizadas são as precisas, tendo mais uma vez a atenção de submeter os dados numa data em que as mesmas já estejam disponíveis. O formulário permite escolher diferentes opções, para além do modo de posicionamento, permite escolher o referencial (opção entre o *North American Datum 1983* (NAD83) ou o ITRF2008 à época de observação) e o *datum* vertical (opção entre o CGDV28 (HT2_0) e o CGVD2013. Quando o processamento está concluído é enviada uma mensagem para o correio eletrônico, colocado aquando da submissão, disponibilizando as coordenadas no próprio corpo da mensagem, juntamente com uma ligação para que possa ser feito o descarregamento de toda a informação relativa ao processamento realizado. O ficheiro que foi utilizado, de entre todos os disponibilizados pelo serviço, foi o que apresenta a extensão .SUM, no qual podem ser retiradas as coordenadas cartesianas em ITRF2008, à época de observação [NRCan, 2015].

O serviço disponibilizado pelo *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), denominado de *Automatic Precise Positioning Service* (APPS), foi de todos aqueles que foram testados, o que permite menor flexibilidade, para utilizadores não registados. Em termos de opções, todos os campos apresentam-se com opções pré-definidas, sendo que o processamento é realizado em modo estático, embora seja possível submeter dados para processamento em modo cinemático. Para além destas opções, há um limite na dimensão dos ficheiros, que não podem ultrapassar os 5 Mb. Após a submissão do ficheiro de observação, em formato RINEX, fica disponibilizado na própria página do serviço, uma ligação para descarregamento de um conjunto de ficheiros relativos ao processamento, como é possível ver na Figura 36 [JPL, 2015].



Figura 36 – Resultados obtidos com o serviço disponibilizado pelo JPL [JPL, 2015]

As coordenadas pretendidas, em ITRF2008 à época de observação, encontram-se num ficheiro identificado com a data de observação e o nome do ponto observado e de extensão .SUM.

O serviço disponibilizado pela Trimble®, denominado de *Trimble CenterPoint™ Real Time eXtended™ Post-Processing Service* (RTX), é gratuito e sem necessidade de registo. A tecnologia RTX permite efetuar correções globais de dados GNSS, combinando informação em tempo real com algoritmos inovadores de posicionamento e de compressão, para permitir exatidões de posicionamento na ordem do centímetro. Utiliza uma infraestrutura global de estações, que permite efetuar o pós processamento com dados de qualquer parte do mundo. Este serviço, ao contrário dos anteriores, utiliza dados GPS, GLONASS, QZSS e BeiDou, este último desde 4 de junho de 2014. Aquando da submissão dos dados, em formato RINEX ou em formatos proprietários da Trimble® (DAT, T01 e T02), deve-se

consultar a lista de antenas não suportadas por este serviço e garantir que os dados são posteriores a 14 de Maio de 2011. Os ficheiros submetidos deverão ter no mínimo uma hora de observação e não podem exceder um dia, sendo que a taxa de observação pode ir até 1 s. No final do processamento é enviado um relatório de apenas uma página em formato PDF e *Extensible Markup Language* (XML), para o correio eletrónico indicado aquando da submissão. As coordenadas do ponto pretendido são apresentadas em ITRF2008, à época 2005.0, e ITRF2008, à época de observação. No entanto, aquando da submissão, podem ser escolhidos outros tipos de sistemas de coordenadas, pois existem 25 disponíveis. Este serviço produz as suas próprias efemérides precisas e informação dos relógios dos satélites, que derivam dos dados recolhidos pelas mais de 100 estações, que se encontram representadas na Figura 37 [Leandro *et al.*, 2011; Doucet *et al.*, 2012; Trimble, 2015].



Figura 37 – Estações do serviço Trimble RTX [Doucet *et al.*, 2012]

Por fim foi utilizado o serviço da *Nacional Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), que é da responsabilidade do *National Geodetic Survey* (NGS) e denominado de *Online Positioning User Service* (OPUS). Permite a submissão de dados GNSS para processamento em modo estático (dados entre 2 h e 48 h) ou rápido estático (dados entre 15 min e 2 h). As opções no formulário também são limitadas ao endereço eletrónico, tipo de antena, altura da antena e escolha de 3 tipos de relatório de processamento. O processamento em modo estático, que foi aquele que foi utilizado, é feito com recurso a uma média das 3 soluções independentes de base referentes a 3 CORS próximas.

O relatório é bastante simples e enviado no corpo da mensagem que é enviada para o endereço eletrônico que foi facultado. Existem algumas chamadas de atenção enumerados na página do serviço, que permitem melhorar a exatidão dos resultados. Assim os utilizadores deverão verificar se os resultados do processamento apresentam os seguintes valores ou informações:

- Verificação das efemérides que foram utilizadas: precisas ou rápidas;
- Valor de observações usadas superior a 90%;
- Valor de ambiguidades resolvidas superior a 50%;
- Confirmar que os valores ARP da antena e de altura para a marca foram os corretos;
- Ausência de mensagens de aviso;

Caso os dados enviados após o processamento respeitem os referidos anteriormente, então as coordenadas obtidas terão resultados satisfatórios [OPUS, 2015].

Em termos dos serviços de processamento *online*, que foram aqui apresentados, existem alguns estudos sobre a qualidade dos dados fornecidos, nomeadamente o conduzido por Abreu [2007], onde são apresentados resultados obtidos com recurso a quatro serviços de processamento *online*: NRCan, AUSPOS e JPL. Os resultados apresentados, indicam uma grande similaridade entre os serviços NRCan e AUSPOS. Quanto ao serviço JPL foi o que apresentou maiores diferenças. Os resultados apresentados na Tabela 3 foram obtidos comparando as coordenadas oficiais da estação de Cananéia (NEIA) com aquelas que foram obtidas pelos serviços, acima referidos.

Tabela 3 – Média e desvio padrão relativos à comparação dos resultados dos serviços com as coordenadas oficiais NEIA [Abreu, 2007]

	Δ latitude (m)	Δ longitude (m)	Δ altitude (m)
	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$
AUSPOS	-0.023 ± 0.004	-0.009 ± 0.007	-0.019 ± 0.020
NRCan	-0.025 ± 0.004	-0.007 ± 0.006	-0.027 ± 0.009
JPL	-0.043 ± 0.039	0.028 ± 0.086	-0.163 ± 0.182

Com estes resultados o autor decidiu utilizar o serviço AUSPOS para processar os dados anuais da estação e compará-los com os processados com o programa BERNESE, no sentido de avaliar a tendência anual de deslocamento da estação NEIA. As diferenças que obteve, para estes dois tipos de processamento, estiveram

sempre abaixo de 0.010 m para o conjunto das três coordenadas da estação. Num outro estudo referente ao serviço AUSPOS, Dawson *et al.* [2001] indicam que, para uma sessão de observação de 6 h, o serviço demora cerca de 3 min a processar os dados de observação, e a exatidão obtida é de 0.020 m e 0.050 m para a componente horizontal e vertical, respetivamente. Se for submetida uma sessão de 24 h, o tempo de processamento sobe para os 15 min e a exatidão obtida é inferior a 0.010 m, para a componente horizontal, e entre 0.010 m e 0.020 m e para a componente vertical.

Relativamente ao serviço OPUS, Soler *et al.* [2006] apresentam um estudo sobre a exatidão obtida com sessões entre 1 h e 4 h de observação. Para tal foram processados 30 dias consecutivos de dados GPS referentes ao mês de junho. As coordenadas tridimensionais, que serviram de valor de referência, foram as resultantes de uma solução com recurso a dados de vários anos, nomeadamente entre 1994 e 2003. O procedimento foi submeter ficheiros de 1 h, 2 h, 3 h e 4 h de dados por cada dia ao serviço OPUS e de seguida avaliar o erro médio quadrático obtido, relativamente às coordenadas tridimensionais de referência. Os resultados obtidos mostraram que este serviço, quando utiliza sessões de 2 h, consegue fornecer coordenadas tridimensionais com um RMS de 0.080 m, 0.021 m e 0.034 m, respetivamente para as componentes Norte, Este e Vertical. Por outro lado, diminuindo o tempo de sessão para valores inferiores a 2 h, faz com que a incerteza aumente consideravelmente devido à dificuldade em fixar a parte inteira das ambiguidades. Submetendo sessões de 3 h, os resultados obtidos são significativamente melhores.

Um outro estudo feito por elementos responsáveis pela manutenção do serviço OPUS, apresentado por Stone [2006], envolveu a utilização de cerca de 200 conjuntos de sessões de 2 h, recolhidas em CORS. Este estudo serviu para verificar a exatidão conseguida com o tempo de sessão recomendado pelo serviço. Os resultados de RMS obtidos foram de 0.008 m, 0.014 m e 0.019 m para as componentes Norte, Este e Vertical respetivamente. Comparativamente com o estudo de Soler *et al.* [2006], são um pouco melhores na componente Este e Vertical, sendo similar na componente Norte.

Finalmente Mulic [2015] apresenta resultados referentes ao processamento *online* feito nos serviços de PPP, tendo sido utilizados dados referentes a sessões de 3 h, 6 h, 12 h e 24 h de observação, para 25 CORS da rede da Bósnia e Herzegovina

(BIHPOS). Na Figura 38 é apresentado apenas o desvio padrão, resultante da comparação das coordenadas das CORS obtidas junto dos serviços de processamento *online* utilizados, para cada sessão, com as coordenadas oficiais. Conclui-se que não existem valores superiores a 0.020 m e que os resultados são, de uma maneira geral, bastante similares entre serviços e duração da sessão.

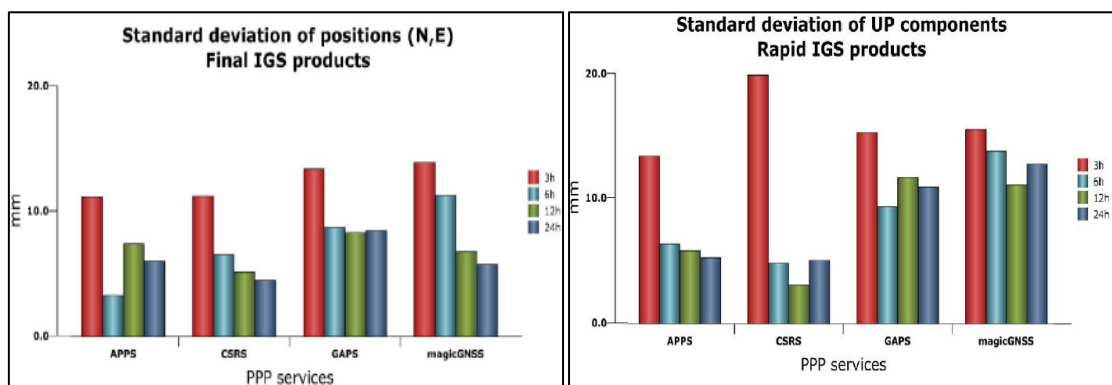


Figura 38 – Desvio padrão obtido nos serviços PPP [Mulic, 2015]

Com todos estes estudos apresentados, poder-se-ia ter optado pela utilização dos mesmos para escolha do serviço, que forneceria o valor de referência. No entanto, pelo facto de não haver nenhum estudo sobre o programa TBC, que é aquele que é utilizado atualmente pelo CIGeoE no processamento dos seus dados de campo, optou-se por realizar uma avaliação similar aos estudos que foram apresentados.

3.2.3 Avaliação dos serviços/programa de processamento

A metodologia desta avaliação foi dividida em 6 fases, sendo elas:

- Escolha de 5 CORS dispersas espacialmente pelo território (Figura 39);
- Descarregamento, na página da responsabilidade do CIGeoE, dos dados de cada estação escolhida em 1 referentes a 24 h de observação. As 24 h dizem respeito ao limite imposto para o serviço RTX;
- Partição do ficheiro anterior, com recurso à ferramenta TEQC da UNAVCO, em dois ficheiros de 2 h e 3 h de observação. O valor de 2 h refere-se ao mínimo necessário para efetuar um pós-processamento em modo estático, e as 3 h dizem respeito ao tempo de observação utilizado na recolha dos dados de cada um dos 49 VG, para avaliação da qualidade da rede SERVIR;
- Realização do pós-processamento junto dos serviços/programas escolhidos, recorrendo aos três ficheiros de observação disponíveis: 2 h, 3 h e 24 h;

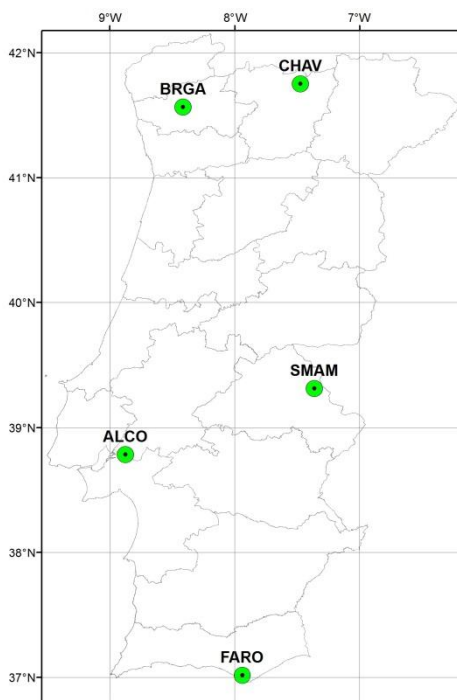


Figura 39 – Estações utilizadas para avaliação da exatidão

- Comparação das coordenadas obtidas com as coordenadas de referência de cada uma das estações escolhidas em 1. (Tabela 4)

Tabela 4 – Valores de referência das estações (ITRF2008, à época 2015.37)

	X (m)	Y (m)	Z (m)
ALCO	4918780.978	-767879.958	3973821.652
BRGA	4727999.866	-699250.139	4209732.931
CHAV	4725265.262	-619800.169	4225375.685
FARO	5050100.255	-704128.823	3818888.355
SMAM	4901490.309	-633074.858	4019968.428

O dia escolhido foi o dia 15 de Maio de 2015 e o período de observação estava compreendido entre as 08:00 horas de dia 15 e as 08:00 horas de dia 16.

Após o processamento efetuado junto dos serviços e através do programa, foi feito um cálculo com recurso à Fórmula (1), com os dados de cada uma das sessões de 2 h, 3 h e 24 h, obtendo o valor de RMS das diferenças para cada uma delas.

$$RMS \text{ das diferenças} = \sqrt{(X_S^h - X_R)^2 + (Y_S^h - Y_R)^2 + (Z_S^h - Z_R)^2} \quad (1)$$

Onde:

X, Y e Z – Coordenadas cartesianas

h – sessão de observação (24 h, 3 h ou 2 h)

S – serviço *online*

R – Valor de referência

Para evitar a apresentação de 3 tabelas, e pelo facto dos resultados serem bastante semelhantes, foi feita uma média dos 3 resultados obtidos, referentes aos 3 períodos de observação, tendo-se obtido os valores que se encontram na Tabela 5.

Tabela 5 – RMS relativo à exatidão obtida com os diversos serviços e programa

	TBC	RTX	AUSPOS	OPUS	JPL	NRCan
Média (m)	0.015	0.007	0.017	0.025	0.016	0.022
Desvio Padrão (m)	0.002	0.001	0.007	0.009	0.008	0.012
Mínimo (m)	0.013	0.006	0.008	0.017	0.006	0.007
Máximo (m)	0.017	0.009	0.024	0.037	0.026	0.037

Analisando os resultados obtidos conclui-se que, independentemente do tempo, a solução fornecida pelo serviço RTX é a mais estável e exata, fornecendo sempre resultados em que as diferenças, para as coordenadas oficiais, são sempre inferiores a 0.010 m.

A partir daqui, e tendo em conta estes resultados, o valor de referência que será utilizado para cada um dos VG, serão as coordenadas tridimensionais referidas ao ITRF2008, à época de observação, obtidas após a submissão dos dados referentes à sessão de 3 h em modo estático, junto do serviço RTX, da responsabilidade da Trimble®. Os dados relativos à época de observação encontram-se no Anexo D na Tabela 24.

Página intencionalmente deixada em branco

4 Avaliação da rede SERVIR

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a rede SERVIR. A análise centrar-se-á na avaliação da precisão, exatidão posicional e condições de utilização, referentes ao GPSNET e PIVOT. No que diz respeito à precisão será feita uma avaliação do intervalo de dispersão das 180 épocas referentes ao modo de posicionamento RTK, variante CTP, e uma avaliação da diferença entre a variante CTP, média das 180 épocas, e a variante CMP, relativamente ao modo RTK. Para visualização destes resultados foi calculado o RMS das diferenças, tendo sido utilizada a fórmula (2).

$$RMS \text{ das diferenças} = \sqrt{(Diferença_x)^2 + (Diferença_y)^2 + (Diferença_z)^2} \quad (2)$$

É este parâmetro que será utilizado para visualização da localização geográfica dos pontos observados. A avaliação da precisão foi realizada com recurso a coordenadas cartesianas; no entanto, a variação mantém-se caso sejam utilizadas coordenadas geodésicas.

A exatidão posicional foi efetuada através da comparação das observações efetuadas em modo rápido estático e nas duas variantes do modo RTK, com o valor de referência obtido para uma sessão de observação de 3 h em modo estático, calculado pelo serviço RTX, da responsabilidade da Trimble®. Esta primeira avaliação foi feita utilizando coordenadas cartesianas, sendo que posteriormente também foi feita uma comparação com as coordenadas oficiais dos VG, em ETRS89 PT-TM06, disponibilizadas pela Direção Geral do Território (DGT). Os resultados desta comparação serão sempre apresentados em metros, tendo para tal sido utilizada a fórmula (3) para cálculo do comprimento de 1° de latitude, e a fórmula (4) para o cálculo do comprimento de 1° de longitude, ambos os resultados em metros.

$$1^\circ \text{ latitude} = 111132.92 - 559.82 * \cos(2 * Lat_rad) + 1.175 * \cos(4 * Lat_rad) \quad (3)$$

$$1^\circ \text{ longitude} = 111412.84 * \cos(Long_rad) - 93.5 * \cos(3 * Long_rad) \quad (4)$$

Era objetivo comparar também com as coordenadas fornecidas pelo serviço RTX da Trimble, em ETRS89; no entanto, após submissão dos ficheiros de observação, foi detetado um enviesamento da solução. Foi enviado um pedido de esclarecimento

para o gestor do serviço, mas após algumas trocas de mensagens, não foi possível saber a razão desta situação, pelo que a comparação com este serviço não será feita.

Como neste tipo de dados, podem existir observações discrepantes, houve necessidade de estabelecer uma regra para identificação desses valores (*outliers*), para possibilitar a sua posterior remoção. Para atingir este objetivo foi efetuado o seguinte procedimento, apresentado em NIST *and* SEMATECH [2013]:

- Análise visual do gráfico de dispersão dos valores relativos às diferenças entre o valor calculado e o valor de referência. Caso existam valores extremos, caso do pico apresentado na Figura 40, procede-se à sua remoção. A Figura 41 é o resultado gráfico sem a presença do valor extremo anterior. Quando se obtém um resultado relativamente homogêneo passamos à fase seguinte;
- Nesta fase calculam-se os quartis 25% e 75%, Q1 e Q3, respetivamente. Calcula-se de seguida a diferença (Q3 – Q1), sendo que este valor representa o intervalo entre quartis (IQ) ou se quisermos, o desvio padrão da amostra. Depois calculam-se, utilizando as fórmulas (5) e (6), os valores referentes ao limite superior e inferior.

$$\text{Limite superior} = Q3 + 3 * IQ \quad (5)$$

$$\text{Limite inferior} = Q1 - 3 * IQ \quad (6)$$

O intervalo obtido pela diferença dos dois limites, definirá os valores que se consideram aceitáveis, tendo-se assumido três vezes o valor do desvio padrão ou IQ;

- Verificação dos pontos que apresentem valores fora do intervalo definido anteriormente. Caso existam são removidos;
- Cálculo dos parâmetros estatísticos média, desvio padrão, máximo e mínimo da amostra, após remoção de todos os valores detetados nos dois passos anteriores.

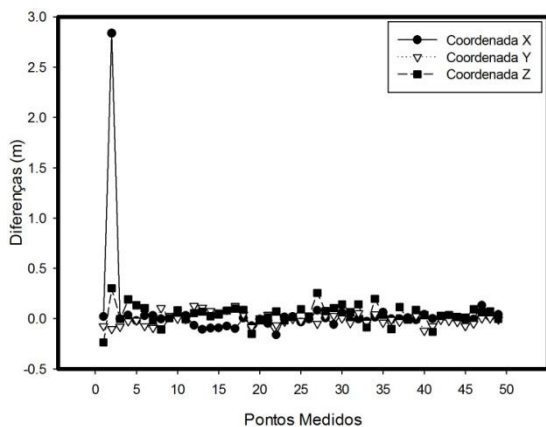


Figura 40 – Gráfico de dispersão para detecção de valores extremos

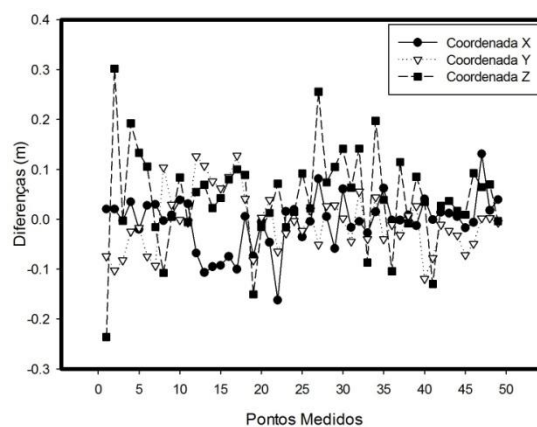


Figura 41 – Gráfico de dispersão após remoção de todos os valores extremos

Todas as tabelas referentes aos dados estatísticos foram obtidas após remoção dos valores extremos identificados, quer visualmente quer através das fórmulas atrás descritas. Nas tabelas que são apresentadas em todos os anexos, não houve remoção de qualquer valor, sendo que os valores extremos se encontram apenas identificados a vermelho.

4.1 Intervalo de dispersão

O primeiro parâmetro que foi avaliado foi o intervalo de dispersão das observações. Esta avaliação foi conduzida relativamente ao modo de posicionamento RTK, apenas relativamente à variante CTP, pois é a única que apresenta 180 conjuntos de coordenadas referentes ao mesmo ponto. Para se obter este intervalo de dispersão foram identificados o máximo e mínimo de cada conjunto de 180 observações para se proceder de seguida ao cálculo da diferença. As diferenças entre estes dois valores, no que diz respeito a cada uma das coordenadas X, Y e Z, dão-nos os intervalos de dispersão das observações, que se encontram no Anexo E e Anexo F referentes aos programas de cálculo GPSNET e PIVOT, respetivamente.

Analisando a Tabela 6, podemos ver que os resultados obtidos com os dois programas são bastante similares, sendo que as diferenças não vão além de 0,016 m (valor do máximo na coordenada Y). Também é possível constatar que a coordenada Y apresenta um valor médio para o intervalo de dispersão inferior ao apresentado pelas coordenadas X e Z, que é cerca do dobro do valor da coordenada Y.

Tabela 6 – Dados estatísticos referentes ao intervalo de dispersão dos dois programas

	GPSNET			PIVOT		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Média (m)	0.060	0.030	0.053	0.055	0.026	0.049
Desvio Padrão (m)	0.021	0.010	0.021	0.021	0.008	0.022
Máximo (m)	0.105	0.064	0.107	0.117	0.048	0.118
Mínimo (m)	0.032	0.014	0.023	0.020	0.012	0.015

Para se perceber o quantitativo de pontos que respeitem determinado intervalo de dispersão, foi feita uma contabilização daqueles que apresentam, para as suas três coordenadas em simultâneo, valores inferiores aos identificados na Tabela 6. Neste caso foram avaliados os intervalos 0.050 m, 0.075 m e 0.100 m, estando os resultados apresentados Tabela 7.

Tabela 7 – Pontos que respeitam determinado intervalo de dispersão

Intervalo (m)	CTP - GPSNET		CTP - PIVOT	
	Nº Pontos	%	Nº Pontos	%
< 0.050	12	24.5%	20	40.8%
< 0.075	33	68.8%	37	75.5%
< 0.100	41	83.7%	45	91.8%

Concluiu-se que o programa PIVOT garante menores intervalos de dispersão em todos os intervalos aqui avaliados. A melhoria é mais notória nos intervalos inferiores a 0.050 m e 0.100 m, em que a melhoria é perceptível com a inclusão de 8 e 4 pontos respetivamente. De salientar que apenas 4 pontos, no caso do PIVOT, apresentam valores superiores a 0.100 o que representa cerca de 8% da amostra total.

Como a rede SERVIR não apresenta uma concentração uniforme de estações, diminuindo junto às fronteiras, foi feita uma análise espacial dos dados obtidos para tentar saber se existe alguma ligação com este aspeto e também com o facto de estarmos dentro ou fora da rede.

Os dados utilizados para o cálculo, relativos ao programas GPSNET e PIVOT, encontram-se no Anexo E na Tabela 25 e na Tabela 26 respetivamente. A dispersão geográfica, do RMS das diferenças, encontra-se apresentada na Figura 42 e Figura 43, tendo sido criada uma escala, em que o tamanho do círculo é proporcional ao maior ou menor RMS relativo ao intervalo de dispersão.

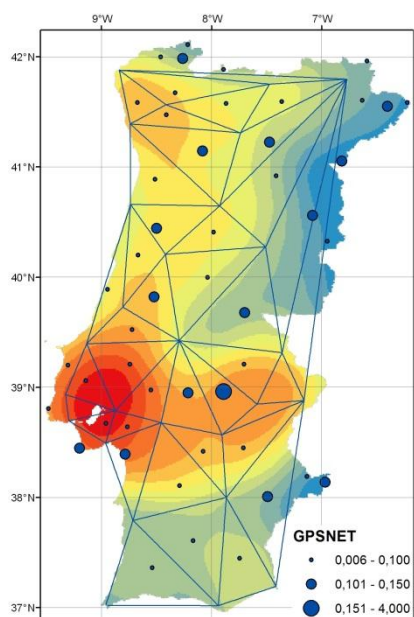


Figura 42 – RMS das diferenças relativas ao intervalo de dispersão do GPSNET

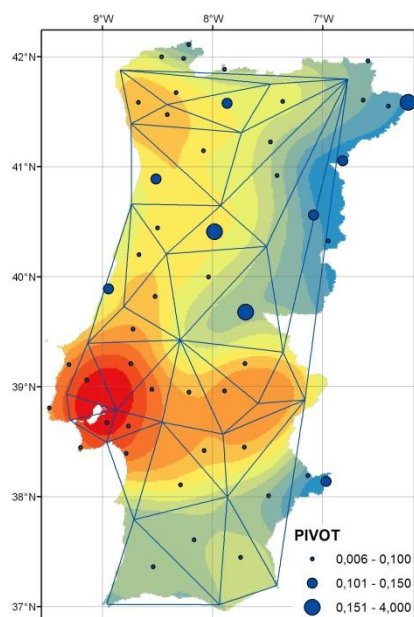


Figura 43 – RMS das diferenças relativas ao intervalo de dispersão do PIVOT

Como é possível observar na Figura 42 e Figura 43, a precisão não é influenciada pela maior ou menor concentração das CORS, nem pelo facto de estarmos dentro ou fora da rede. Outro aspeto importante, que parece não influenciar o intervalo de dispersão é o facto de estarmos junto a linhas de base mais longas, no Nordeste do país, pois consegue-se obter valores similares aos obtidos no interior da rede.

Os dados apresentados anteriormente, com a exceção da análise espacial, foram obtidos após a remoção dos seguintes valores extremos: Retorta relativamente às suas 3 coordenadas no caso do GPSNET, Medonho relativamente à coordenada Y e Penedo Gordo relativamente à coordenada Z, ambos no caso do PIVOT.

4.2 Precisão

Relativamente à precisão, o que foi avaliado foi a diferença entre a média das 180 observações, relativas ao modo RTK variante CTP, e o valor obtido no modo de posicionamento RTK, variante CMP. Os resultados obtidos estão apresentados no Anexo E, na Tabela 27, no que diz respeito ao GPSNET, e na Tabela 28, no que diz respeito ao PIVOT. No entanto, para que se possa ter uma ideia mais global dos resultados obtidos, estes são apresentados na Tabela 8.

Pode-se ver que a média das diferenças se encontra muito próxima de 0, com desvios padrão que não vão além dos 0.048 m, sendo que a coordenada Y apresenta

valores que não ultrapassam os 0.021 m. Também se pode ver uma ligeira melhoria no programa PIVOT comparativamente com o GPSNET.

Tabela 8 – Dados estatísticos referentes à precisão (CTP – CMP)

	(CTP - CMP) GPSNET			(CTP – CMP) PIVOT		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Média (m)	-0.001	0.003	-0.011	-0.010	0.003	-0.001
Desvio Padrão (m)	0.044	0.021	0.048	0.031	0.016	0.038
Máximo (m)	0.109	0.062	0.107	0.038	0.069	0.144
Mínimo (m)	-0.112	-0.053	-0.144	-0.117	-0.047	-0.091

Fazendo uma análise semelhante à que foi feita relativamente ao intervalo de dispersão, através da contabilização dos pontos que respeitam cada um dos intervalos definidos, obtiveram-se os resultados que se apresentam na Tabela 9. Comparando os dois programas é possível constatar uma melhoria entre os 6% e os 10%, no que diz respeito aos dados obtidos com recurso ao programa PIVOT.

Tabela 9 – Pontos que respeitam determinado intervalo de precisão

Precisão (m)	(CTP – CMP) GPSNET		(CTP – CMP) PIVOT	
	Nº Pontos	%	Nº Pontos	%
< 0.050	34	69.4%	39	79.6%
< 0.075	37	75.5%	40	81.6%
< 0.100	37	75.5%	42	85.7%

Os dados que foram apresentados na Tabela 6 e Tabela 8 tiveram em atenção, mais uma vez, o facto de existirem valores extremos que foram removidos. Relativamente ao programa GPSNET foram removidos os seguintes dados de cada ponto identificado: Durão (coordenadas X e Y), Seixo do Monte (3 coordenadas), Antas (coordenadas X e Z), Penedo Gordo (coordenada Z), Portela Alta 2 (coordenada X) e Colorada (coordenada Z). Relativamente ao programa PIVOT foram retiradas as coordenadas dos seguintes pontos: Seixo do Monte (3 coordenadas), Areais (3 coordenadas), Malhada Alta (3 coordenadas), Bandeira (coordenada Y), Facho (coordenada X), Penedo Gordo (coordenadas X e Z), Portela Alta 2 (coordenada Z), Eirozes (coordenadas X e Z), Colorada (coordenadas X e Z) e Frágua Castelo (coordenadas Y e Z). Uma pequena ressalva, relativamente a estes dados, que embora pareçam menos bons que os relativos ao GPSNET, 7 das 20 coordenadas identificadas são valores inferiores 0.091 m.

Visto que estas duas variantes do modo de posicionamento RTK foram obtidas de forma sequencial, havendo lugar apenas a uma inicialização do cálculo da VRS, a presença destes valores extremos leva-nos a concluir que pelo menos um dos posicionamentos se encontra enviesado em relação ao valor de referência. Este aspeto será tido em conta quando se proceder à avaliação da exatidão posicional. Para já, e visto estarmos apenas a avaliar a precisão, foi-se novamente fazer uma análise espacial do RMS das diferenças, calculado com recurso aos valores das diferenças entre a variante CTP e CMP, para as 3 coordenadas.

As diferenças que foram utilizadas neste cálculo encontram-se na Tabela 27 e na Tabela 28. Da análise da Figura 44 e da Figura 45 podemos ver a manutenção de um valor extremo no interior da rede, que diz respeito ao ponto Penedo Gordo (Círculo a vermelho). Por outro lado também se percebe a manutenção, como pontos com valores extremos, dos pontos localizados fora da rede, às mais longas distâncias e junto à linha de base mais longa (Círculos pretos). Embora se consiga detetar este padrão, não é possível desenvolver mais sobre este assunto, por não termos mais pontos em situações semelhantes.

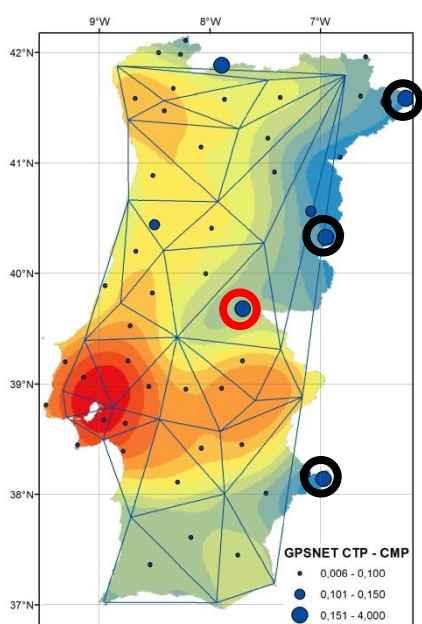


Figura 44 –RMS das diferenças relativamente ao CTP – CMP GPSNET

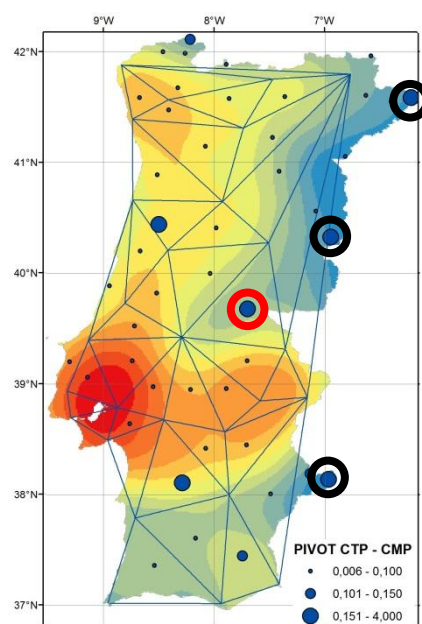


Figura 45 - RMS das diferenças relativamente ao CTP – CMP PIVOT

4.3 Exatidão posicional

Relativamente à avaliação da exatidão posicional, para além dos dados referentes à variante CTP, média das 180 observações, e a variante CMP, foram avaliados os

dados referentes ao modo de posicionamento rápido estático. Para os resultados poderem ser comparados com os estudos já apresentados, foi calculado o valor da exatidão absoluta, tendo sido utilizada a fórmula (7).

$$exatidão\ absoluta = \sqrt{[(Média)^2 + (Desvio\ Padrão)^2]} \quad (7)$$

4.3.1 Modo Rápido Estático

Este modo de posicionamento é uma excelente alternativa para aplicações topográficas, quando a rede SERVIR não se encontra disponível. Dos 49 pontos utilizados neste estudo apenas foi possível processar observações relativas a 31 pontos, pois o intervalo de tempo decorrido entre a observação dos pontos e a geração das VRS foi superior a seis meses, que é o tempo máximo definido na plataforma do GPSNET e PIVOT, para geração destes dados. Se o utilizador esperar mais de seis meses, deixam de estar disponíveis os ficheiros de resíduos, necessários à geração da VRS. Para além deste aspeto apenas 21 pontos foram processados com sucesso, devido sobretudo a lacunas na geração das VRS, como é possível observar na Tabela 10. Encontram-se identificados a vermelho os pontos que não foi possível obter uma solução fixa.

Tabela 10 – Épocas disponíveis relativas à geração de VRS

VG	Épocas	DIA	VG	Épocas	DIA
Medonho	7315	08-09-2014	Cambado	11040	18-09-2014
Vale Tamão	5378	08-09-2014	Isenta	10910	13-10-2014
Seixo Pedrão	7315	09-09-2014	Porto Covo	10500	14-10-2014
Malhada Alta	10300	09-09-2014	Barreira	9109	14-10-2014
Penedo Gordo	7610	10-09-2014	Mariano	10140	15-10-2014
Murado	8878	10-09-2014	Calhau do Corvo	0	15-10-2014
Cavalinha	9660	11-09-2014	Vale da Pia	8573	20-10-2014
Fárrio	8903	11-09-2014	Retorta	7187	20-10-2014
Cimalhadas	10800	15-09-2014	Altura do Catalão	9720	21-10-2014
Misericórdia	12143	15-09-2014	Alto do Pina	10200	21-10-2014
Portela Alta 2	12600	16-09-2014	Castelhana	10065	22-10-2014
Eirozes	11385	16-09-2014	Mendonça	11797	22-10-2014
Barreiras Brancas	0	17-09-2014	Carmões	12600	10-11-2014
Colorada	0	17-09-2014	Foz	12600	11-11-2014
Frágua Castelo	12060	17-09-2014	Malpique	12600	11-11-2014
Palanque	10200	18-09-2014			

Para além dos exemplos de VRS que não têm qualquer época gerada, temos casos em que foram geradas 10800 épocas, das 12600 pedidas, e apesar disso não foi possível obter uma posição. Não foi possível determinar qual a razão desta situação, pois no caso, por exemplo, do dia 15 de setembro, existe uma VRS, relativa a Misericórdia, que permitiu o posicionamento e a VRS relativa a Cimalhadas não. No sentido de perceber se o facto de haver CORS desligadas teria uma implicação na geração destes dados, foram analisados os dias a que estes dados diziam respeito, que se encontram na Tabela 11. A título de exemplo no dia 17-09-2014 não foi possível gerar duas VRS (Barreiras Brancas e Colorada), mas a terceira já foi possível (Frágua Castelo), num dia em que não existe qualquer CORS desligada, e a média dos dados armazenados é de 97.17%, um dos valores mais alto.

Tabela 11 – Integridade de dados da rede SERVIR nos dias de observação

Data	Média dados CORS	Estações desligadas
15-09-2014	99.01%	Nenhuma
16-09-2014	93.89%	Nenhuma
17-09-2014	97.17%	Nenhuma
18-09-2014	98.10%	ALCO
13-10-2014	95.41%	MAFR
14-10-2014	94.98%	MAFR
15-10-2014	91.38%	MAFR
20-10-2014	92.09%	MAFR e PVAR
21-10-2014	95.68%	MAFR
22-10-2014	96.00%	MAFR
10-11-2014	96.15%	MAFR
11-11-2014	96.15%	MAFR

Assim, os dados apresentados referentes a este modo de posicionamento, dizem respeito apenas a 21 pontos dos 31 possíveis, o que representa cerca de 43% da amostra total.

A Tabela 12 diz respeito aos parâmetros estatísticos calculados a partir dos dados que se encontram no Anexo G na Tabela 30, que resultaram da comparação das coordenadas cartesianas do modo rápido estático com as coordenadas cartesianas obtidas junto do serviço RTX. Mais uma vez as coordenadas X e Z apresentam valores muito semelhantes e a coordenada Y apresenta valores um pouco melhores que estas duas. Pode-se dizer que a exatidão absoluta obtida com este método é melhor que 0.045 m, 0.030 m e 0.037 m para as coordenadas X, Y e Z respetivamente.

Tabela 12 – Dados estatísticos da exatidão do modo Rápido Estático, das coordenadas cartesianas

	X	Y	Z
Média (m)	0.017	0.007	0.032
Desvio Padrão (m)	0.042	0.029	0.019
Mínimo (m)	0.121	0.066	0.066
Máximo (m)	-0.050	-0.033	0.004

Para saber como seriam distribuídos os enviesamentos detetados nas coordenadas cartesianas, foi feita uma comparação entre coordenadas geodésicas. Os valores de referência utilizados, como já foi referido, foram as coordenadas oficiais disponibilizadas pela DGT, que se encontram no Anexo F na Tabela 29. Podemos ver da análise da Tabela 13 que o enviesamento da longitude mantém-se muito semelhante, ao passo que a latitude passa para cerca de metade e a altitude passa para o dobro, dos valores encontrados com recurso às coordenadas cartesianas. Ou seja comparando coordenadas geodésicas consegue-se obter uma exatidão absoluta melhor do que 0.024 m, 0.038 m e 0.080 m para latitude, longitude e altitude respetivamente.

Tabela 13 – Dados estatísticos da exatidão do modo Rápido Estático, das coordenadas geodésicas

	latitude	longitude	altitude
Média (m)	0.003	-0.008	0.036
Desvio Padrão (m)	0.024	0.037	0.071
Mínimo (m)	0.067	0.065	0.185
Máximo (m)	-0.041	-0.079	-0.142

Os resultados apresentados na Tabela 12 e Tabela 13 não incluem as coordenadas dos seguintes pontos: Portela Alta 2 (coordenadas X e Y) e Frágua Castelo (coordenada X). Relativamente às coordenadas geodésicas foram retiradas as seguintes: Penedo Gordo (3 coordenadas), Portela Alta 2 (latitude) e Carmões (latitude).

Para avaliar a localização dos pontos com menor exatidão, foi calculado o RMS das diferenças relativamente aos dados da Tabela 30, sendo que a disposição geográfica desses dados se encontra na Figura 46.

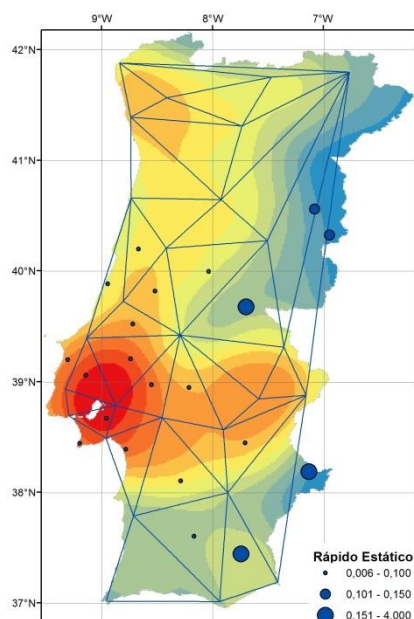


Figura 46 – Análise espacial do RMS das diferenças referentes ao modo de posicionamento rápido estático

É possível afirmar, depois de analisar todos estes resultados, que este modo de posicionamento é uma alternativa válida, quando as condições não são as mais favoráveis para o posicionamento em modo RTK, devido aos resultados obtidos já apresentados. No entanto, a exatidão junto aos limites e fora da rede teria de ser reavaliada, pois os resultados obtidos para os pontos disponíveis foram piores do que aqueles obtidos dentro da rede.

4.3.2 Modo RTK – Variantes CTP e CMP do GPSNET

Fazendo agora a análise relativa às variantes CTP e CMP, com o programa GPSNET, obtiveram-se os resultados que se encontram no Anexo H. Da observação da Tabela 14 é possível constatar que os valores são bastantes similares para as duas variantes em análise, sobretudo no que diz respeito à média e desvio padrão. Com estes dados pode-se dizer que a rede SERVIR, com base no programa GPSNET garante uma exatidão absoluta, utilizando coordenadas cartesianas, melhor que 0.058 m, 0.050 m e 0.061 m para as coordenadas X, Y e Z respetivamente, para a variante CTP. No que diz respeito à variante CMP a exatidão absoluta é melhor que 0.059 m, 0.043 m e 0.064 m para as coordenadas X, Y e Z respetivamente.

Tabela 14 – Dados estatísticos relativos à exatidão dos métodos CTP e CMP do GPSNET comparando coordenadas cartesianas

	CTP - GPSNET			CMP - GPSNET		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Média (m)	0.010	0.023	0.037	0.019	0.021	0.045
Desvio Padrão (m)	0.057	0.044	0.049	0.056	0.037	0.046
Máximo (m)	0.157	0.143	0.147	0.178	0.130	0.167
Mínimo (m)	-0.108	-0.093	-0.070	-0.115	-0.042	-0.057

Estes resultados foram obtidos removendo os valores extremos seguintes: relativamente à variante CTP, foram removidas as coordenadas X e Y do ponto Seixo do Monte e a coordenada Z do ponto Colorada; no que diz respeito à variante CMP, foram removidas as coordenadas X e Z dos pontos Durão e Seixo do Monte e a coordenada Z do ponto Medonho.

Fazendo agora uma análise, utilizando as coordenadas oficiais da DGT, obtiveram-se os resultados que se apresentam na Tabela 15. Mantém-se o facto dos resultados obtidos relativamente às duas variantes ser muito similar. A exatidão absoluta obtida, comparando coordenadas geodésicas, é melhor que 0.047 m, 0.059 m e 0.106 m para a latitude, longitude e altitude da variante CTP, respetivamente. Relativamente à exatidão absoluta da variante CMP, utilizando coordenadas geodésicas, é melhor que 0.055 m, 0.063 m e 0.101 m para a latitude, longitude e altitude respetivamente.

Tabela 15 – Dados estatísticos relativos à exatidão dos métodos CTP e CMP do GPSNET comparando coordenadas geodésicas

	CTP - GPSNET			CMP - GPSNET		
	Lat	Lon	alt	Lat	Lon	alt
Média (m)	-0.003	-0.006	0.044	-0.008	-0.008	0.035
Desvio Padrão (m)	0.047	0.059	0.096	0.054	0.062	0.095
Máximo (m)	0.131	0.128	0.302	0.160	0.128	0.302
Mínimo (m)	-0.107	-0.119	-0.236	-0.162	-0.143	-0.236

Estes dados foram obtidos removendo os valores extremos seguintes: relativamente à variante CTP foi removida a latitude dos pontos Seixo do Monte e Malhada Alta; no que diz respeito à variante CMP não foram removidas quaisquer pontos.

Para perceber a distribuição geográfica destes resultados, foi calculado o RMS das diferenças relativamente às variantes CTP e CMP, do programa GPSNET (Figura 47 e Figura 48 respetivamente). É possível constatar concentrações de valores de

RMS superior a 0.100 m, nas regiões Noroeste e fora da rede, a norte e sul. É difícil extrair algum padrão destes dados, pois a concentração de CORS é variável e existem pontos dentro e fora da rede.

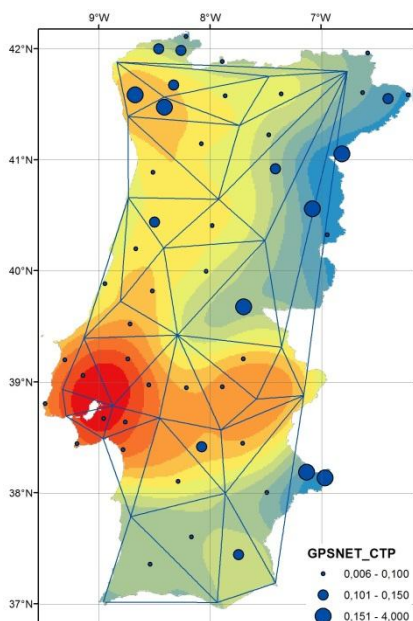


Figura 47 – RMS das diferenças relativamente à exatidão da variante CTP

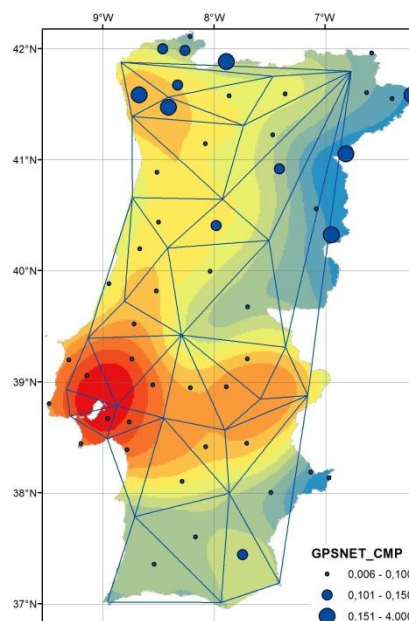


Figura 48 – RMS das diferenças relativamente à exatidão da variante CMP

Para tentar ter uma visão mais global dos resultados que foram aqui apresentados, relativamente ao programa GPSNET, apresenta-se a Tabela 16, que representa uma contabilização dos pontos com valores extremos nos diversos tipos de avaliações que foram até agora efetuados. Parece óbvio que o ponto Seixo do Monte é um ponto problemático, pois só não apresentou valores extremos na variante CMP, relativamente às coordenadas geodésicas.

Tabela 16 – Identificação dos pontos que apresentam valores extremos relativamente ao GPSNET

VG	Exatidão Geodésicas		Exatidão Cartesianas		Precisão
	CTP	CMP	CTP	CMP	
Durão				X	X
Seixo do Monte	X		X	X	X
Antas					X
Medonho				X	
Malhada Alta	X				
Penedo Gordo					X
Portela Alta 2					X
Colorada			X		X

4.3.3 Modo RTK – Variantes CTP e CMP do PIVOT

Relativamente aos dados do PIVOT, relacionados com as variantes CTP e CMP, obtiveram-se os resultados que se apresentam no Anexo J. Da observação da Tabela 17, constata-se que os resultados são bastante similares entre as duas variantes, como seria de esperar. Utilizando o programa PIVOT obtém-se uma exatidão absoluta, melhor que 0.060 m, 0.062 m e 0.097 m para as coordenadas X, Y e Z respetivamente, relativamente à variante CTP. Utilizando a variante CMP consegue-se uma exatidão melhor que 0.069 m, 0.038 m e 0.055 m para as coordenadas X, Y e Z respetivamente.

Tabela 17 – Dados estatísticos relativos à exatidão dos métodos CTP e CMP do PIVOT, comparando coordenadas cartesianas

	CTP - PIVOT			CMP - PIVOT		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Média (m)	-0.027	0.000	-0.019	-0.037	0.003	-0.031
Desvio Padrão (m)	0.046	0.039	0.047	0.058	0.038	0.045
Mínimo (m)	0.070	0.094	0.110	0.075	0.096	0.050
Máximo (m)	-0.147	-0.086	-0.123	-0.177	-0.094	-0.214

Estes resultados, no que diz respeito à variante CTP, foram obtidos removendo as coordenadas X e Y do Seixo do Monte e coordenada Z do Malhada Alta e do Colorada. Na variante CMP foi necessário remover as coordenadas X e Y do ponto Areais e as coordenadas X e Z do ponto Penedo Gordo.

Fazendo agora uma análise relativamente às coordenadas geodésicas, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 18. Os resultados são bastante similares entre variantes, sendo possível concluir que, utilizando o programa PIVOT, se obtém uma exatidão absoluta, utilizando coordenadas geodésicas, melhor que 0.029 m, 0.050 m e 0.077 m, para a variante CTP, e melhor que 0.025 m, 0.045 m e 0.074 m, para a variante CMP, em latitude, longitude e altitude respetivamente.

Tabela 18 – Dados estatísticos relativos à exatidão dos métodos CTP e CMP do PIVOT, comparando coordenadas geodésicas

	CTP - PIVOT			CMP - PIVOT		
	lat	lon	alt	lat	lon	alt
Média (m)	0.004	-0.006	0.028	0.001	-0.007	0.004
Desvio Padrão (m)	0.029	0.050	0.072	0.025	0.044	0.074
Mínimo (m)	0.097	0.087	0.231	0.050	0.074	0.138
Máximo (m)	-0.061	-0.141	-0.222	-0.069	-0.125	-0.209

Estes resultados foram obtidos removendo a latitude e longitude dos pontos Malhada Alta e Colorada e a latitude do ponto Carmões, no que diz respeito à variante CTP. Relativamente à variante CMP foi removida a latitude, longitude e altitude do ponto Areais, a latitude e altitude do ponto Penedo Gordo e a latitude dos pontos Eirozes e Carmões.

Mais uma vez comparando os dois tipos de coordenadas é possível constatar uma melhoria de cerca de 0.040 m em latitude, cerca de 0.010 m em longitude e a Altitude piora em cerca de 0.020 cm, relativamente às coordenadas cartesianas.

À semelhança dos dados referentes aos GPSNET, também se calculou o RMS das diferenças relativamente aos dados do PIVOT, para que fosse analisada a sua localização geográfica, estando os mesmos apresentados na Figura 49 e na Figura 50. Analisando as duas imagens, não é possível extrair um padrão para os valores de RMS superior a 0.100 m, apenas que na variante CMP se concentram mais a norte.

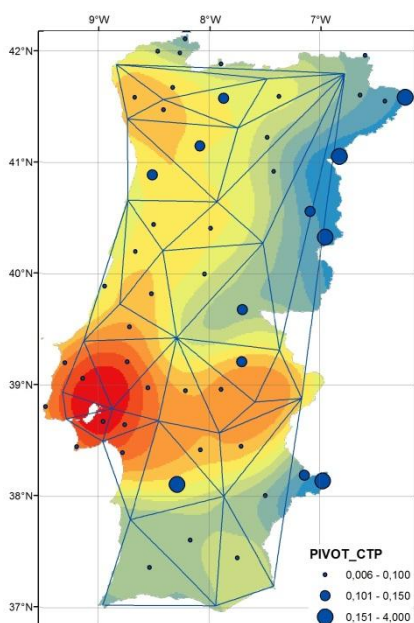


Figura 49 – RMS das diferenças relativamente à exatidão da variante CTP

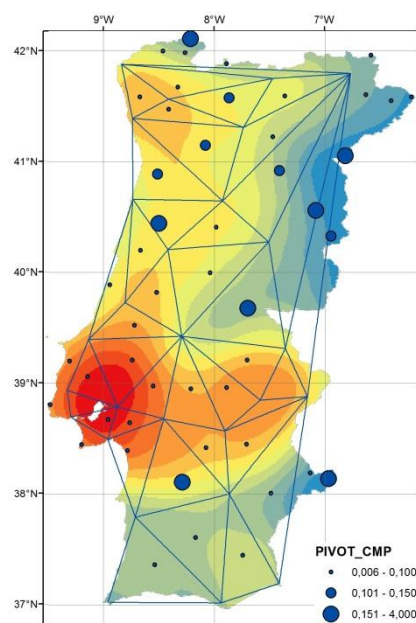


Figura 50 – RMS das diferenças relativamente à exatidão da variante CMP

Avaliou-se, também, que pontos eram enviesados excessivamente relativamente à amostra, em ambos os métodos, e que já tinham sido detetados na avaliação da precisão. Na Tabela 19 são apresentados os pontos identificados, tendo-se detetado 4 pontos que apresentam resultados enviesados em 3 das cinco situações possíveis. Estes são o Areais, Malhada Alta, Penedo Gordo e o Colorada.

Tabela 19 – Identificação dos pontos que apresentam valores extremos relativamente ao PIVOT

VG	Exatidão Geodésicas		Exatidão Cartesianas		Precisão
	CTP	CMP	CTP	CMP	
Seixo do Monte			X		X
Bandeira					X
Areais		X		X	X
Facho					X
Malhada Alta	X		X		X
Penedo Gordo		X		X	X
Portela Alta 2					X
Eirozes		X			X
Colorada	X		X		X
Frágua Castelo					X
Carmões	X	X			

Analisando a Tabela 16 e Tabela 19 confirma-se o que foi detetado na avaliação da precisão. Com a exceção do Seixo do Monte, que apresenta as duas variantes, CTP e CMP, enviesadas do valor de referência, todos os outros pontos apenas têm uma das variantes enviesadas. Esta situação é estranha, e não foi possível saber a razão de acontecer, pois não podemos esquecer que estas duas variantes eram observadas sequencialmente havendo apenas lugar a uma reinicialização da VRS.

4.4 Tempo de fixação das ambiguidades (TTFA)

O tempo de inicialização diz respeito ao tempo que o recetor necessita para resolver a ambiguidade de ciclo. Idealmente este tempo deveria ser medido com recurso a um cronómetro, aquando da observação dos pontos, situação que não aconteceu neste estudo. Por ser impossível a medição exata deste tempo, efetuou-se uma recolha do tempo que foi necessário até ao início da primeira medição, que passará a ser designado de tempo para primeira medição (TPM). Para o cálculo deste tempo foram utilizados os relatórios dos programas de cálculo GPSNET e PIVOT, e os dados de cada uma das observações que foram feitas; estes últimos são retirados aquando da exportação das coordenadas de cada um dos pontos, bastando para tal definir esses campos no formato de exportação. A fórmula (8) é o modelo que foi utilizado para cálculo dos dados que serão apresentados.

$$TTL - (TTOE + TD) = TTFA + TDN + TDAA \quad (8)$$

Onde:

TTL – Tempo total da ligação (relatório programa de cálculo)

TTOE – Tempo total para obtenção das épocas pretendidas

TD – Tempo gasto para desligar da rede (depende do operador)

TTFA – Tempo para fixar as ambiguidades de ciclo

TDN – Tempo para definição do nome do ponto observado (depende do operador)

TDAA – Tempo para definição da altura da antena (depende do operador)

TPM – TTFA + TDN + TDAA

O parâmetro TPM, como é possível constatar, das suas 3 variáveis, 2 dependem do operador. Apesar deste constrangimento, fez-se uma análise deste parâmetro. A Tabela 20 encontram-se apresentados os resultados referentes ao GPSNET e PIVOT. Em termos de valores médios, existe uma grande similaridade de valores, pois situam-se em cerca de 1 min e 30 s, com exceção da variante CTP do GPSNET, que apresenta valores superiores a 2 min.

Tabela 20 – Dados relativos ao TPM obtidos com recurso ao GPSNET e PIVOT

	GPSNET		PIVOT	
	TPM - CTP	TPM - CTP	TPM - CTP	TPM - CTP
Média (s)	94	140	99	93
Desvio Padrão (s)	60	93	53	53
Mínimo (s)	48	46	16	39
Máximo (s)	277	345	311	252

Página intencionalmente deixada em branco

5 Conclusões

A rede SERVIR é uma importante componente na cadeia de produção do CIGeoE, garantindo maior rapidez e eficácia na aquisição de coordenadas tridimensionais dos pontos, necessários para garantir a qualidade da informação que é produzida. Para avaliar a qualidade na aquisição foi desenvolvido este estudo, que permitiu, de uma forma global, saber qual a exatidão, precisão e outros aspetos importantes, que deverão ser do conhecimento dos elementos do CIGeoE, mas também dos profissionais que têm vindo a utilizar os serviços disponibilizados por esta rede.

Numa primeira fase foi feita uma análise exploratória de diversos estudos que foram feitos relativamente a algumas redes, similares à rede SERVIR. Esta pesquisa permitiu obter alguns dados importantes, que permitiram saber com algum rigor se a rede SERVIR presta um serviço semelhante a outras redes. Em termos de exatidão, os resultados apresentados nos estudos garantem posicionamento melhor que 0.050 m para as componentes horizontais e 0.087 m para a componente vertical. Um dos aspetos também abordado foi o tempo necessário para fixação das ambiguidades, sendo que os tempos apresentados oscilam entre os 60 s e os 90 s, com exceção da rede da Finlândia, que apresenta um valor médio de cerca de 30 s.

Numa fase posterior foi possível obter uma comparação dos resultados obtidos recorrendo a um programa comercial de pós-processamento (TBC) e serviços *online* disponibilizados por diversos organismos, de forma gratuita. A comparação permitiu escolher a melhor solução que serviria de valor de referência para avaliação da exatidão de posicionamento. Concluiu-se que o programa TBC e todos os serviços apresentam resultados bastantes similares, que servem as necessidades dos utilizadores e, sobretudo, garantem posicionamento com precisão suficiente para aplicações topográficas. Apesar disso foi escolhido o serviço RTX, da Trimble®, que foi o que apresentou os melhores resultados.

Recentemente o CIGeoE realizou um investimento na aquisição do novo programa de cálculo (PIVOT), que deverá estar disponível em breve. O facto de se ter feito este estudo permitiu também saber se, com a introdução do programa PIVOT, o serviço iria ou não melhorar, quer em termos de qualidade do posicionamento, quer em termos das condições de utilização. O que se verificou foi que, de uma maneira

geral, este programa oferece um melhor serviço em termos de precisão, exatidão e condições de utilização.

A análise dos resultados obtidos permite tecer algumas conclusões. Em termos de precisão, e analisando em primeiro lugar o intervalo de dispersão das 180 observações da variante CTP do modo de posicionamento RTK, foi possível constatar que a variação de cada uma das medições efetuadas, comparando com a média das mesmas, não ultrapassa os 0.081 m, 0.040 m e 0.074 m, para as coordenadas X, Y e Z, respetivamente. Estes resultados referem-se ao programa GPSNET. Para o programa PIVOT, e fazendo uma análise semelhante, obtiveram-se variações que não ultrapassaram os 0.076 m, 0.034 m e 0.071 m, para as coordenadas X, Y e Z, respetivamente. Avaliando estes resultados, parece não haver uma melhoria significativa. No entanto, foram analisados os pontos que apresentavam valores de dispersão inferiores a 0.050 m, 0.075 m e 0.100 m, tendo-se verificado que, com a inclusão deste novo programa, existe um maior número de pontos que respeitam estes intervalos, sendo que a melhoria se situa entre os 6% e os 16%. Analisando ainda a precisão, mas agora calculando a diferença entre o valor médio das 180 observações da variante CTP e o valor da variante CMP, obteve-se uma precisão, para o GPSNET, com valores melhores do que 0.045 m, 0.024 m e 0.059 m, para as coordenadas X, Y e Z, respetivamente. Quanto ao programa PIVOT, os valores de precisão obtidos foram melhores que 0.041 m, 0.019 m e 0.039 m, para as coordenadas X, Y e Z, respetivamente. Comparando mais uma vez os dois programas, é possível ver que as melhorias na precisão, com a introdução do novo programa PIVOT, variam entre os 0.004 m e os 0.020 m. Fazendo novamente uma análise dos pontos que apresentam diferenças inferiores aos 3 intervalos identificados anteriormente, foi possível ver também uma melhoria, que variou entre os 6% e os 10%, com a utilização do PIVOT.

A avaliação da exatidão posicional era inicialmente para ser feita comparando com as coordenadas oficiais da DGT e com as coordenadas obtidas junto do serviço RTX, fazendo uma avaliação dos enviesamentos relativamente a coordenadas cartesianas e geodésicas. No entanto, pelo facto do serviço RTX apresentar um desvio, de cerca de 0.065 m nas coordenadas geodésicas, não tendo sido possível descobrir a origem, decidiu-se não efetuar esta comparação. Assim, foi feita uma comparação, utilizando coordenadas cartesianas, obtidas com recurso ao serviço RTX e, posteriormente, foi feita uma comparação, utilizando coordenadas geodésicas,

recorrendo às coordenadas oficiais dos VG, disponibilizadas pela DGT. Os resultados de exatidão absoluta, relativamente às coordenadas cartesianas foram melhores que 0.069 m, 0.062 m e 0.097 m respetivamente para as coordenadas X, Y e Z respetivamente. Relativamente às coordenadas geodésicas a exatidão absoluta obtida foi melhor que 0.055 m, 0.063 m e 0.106 m relativamente à latitude, longitude e altitude respetivamente.

Podemos constatar que a conversão das coordenadas cartesianas para as coordenadas geodésicas leva a que o enviesamento detetado na componente X se reflita na altitude. Para além deste aspeto, é possível verificar, como seria de esperar, que a exatidão horizontal é melhor que a altimétrica. Comparando estes resultados, e visto que os estudos que foram apresentados relativamente a outras redes dizem respeito a coordenadas num sistema local (Este, Norte e Altitude), pode-se dizer que o programa GPSNET apresenta valores um pouco superiores aos apresentados pelas várias redes, sendo que esta diferença atinge o máximo de 0.053 m na diferença de altitude obtida com a variante CTP. Já relativamente ao programa PIVOT, estes valores aproximam-se bastante dos registados nas outras redes, sendo que apenas ultrapassa 0.006 m na longitude e cerca 0.013 m na altitude.

Por fim, relativamente às condições de utilização que foram avaliadas com recurso ao parâmetro TPM, podemos ver que, à semelhança do que foi detetado na avaliação da exatidão, o programa PIVOT apresenta tempos para fixar as ambiguidades inferiores aos obtidos com o GPSNET, que se aproximam bastante dos valores apresentados nas outras redes, de cerca de 90 s. No entanto, convém lembrar que os valores apresentados relativamente à rede SERVIR incluem dois valores de tempo que dependem do operador, pelo que o valor real para fixar ambiguidades será inferior.

Conclui-se que a rede SERVIR com o atual programa de cálculo PIVOT, garante a continuidade do serviço que já vinha sendo prestado, melhorando em alguns aspetos, já identificados. É uma rede que apresenta valores semelhantes, no que diz respeito à exatidão e tempo para fixar as ambiguidades, comparativamente com as suas congéneres que foram previamente apresentadas.

Página intencionalmente deixada em branco

6 Trabalho futuro

Um conceito de grande interesse para os utilizadores, visto ter implicações diretas no ritmo de trabalho, é o TTFA. Por terem sido encontrados alguns problemas, nomeadamente nos relatórios produzidos pelos programas de cálculo, GPSNET e PIVOT, não foi possível fazer uma avaliação rigorosa. Em trabalhos futuros propõe-se que seja utilizado um cronómetro, para medição do tempo que decorre entre a ligação à rede SERVIR e a resolução das ambiguidades. Para além deste aspeto, e visto que por vezes é necessário reinicializar a geração da VRS, propõe-se que este dado também seja avaliado, permitindo assim fazer uma avaliação mais completa e abrangente relativamente a possíveis razões que afetam este tempo, permitindo que os utilizadores saibam o comportamento geral da rede.

Foram detetados alguns pontos que apresentavam valores de exatidão não concordantes com a generalidade dos pontos observados, sobretudo fora da rede e junto a linhas de base mais longas. Seria interessante, seguindo o exemplo de outros países, incluir um a duas estações da vizinha Espanha na rede SERVIR, garantindo certamente um melhor serviço nos limites da nossa fronteira, sem aumentar significativamente as despesas já suportadas. Sabe-se que já houve contactos neste sentido, no entanto este aspeto ainda não foi concretizado. Caso se venha a verificar seria interessante saber de que forma o serviço melhora.

Foi detetada uma falta de consistência das variantes CTP e CMP, tendo-se manifestado através do enviesamento da solução, relativamente à referência, de apenas um dos métodos. Esta situação é estranha porque as variantes foram observadas de forma sequencial. Foram avaliados diversos parâmetros, nomeadamente geometria dos satélites, número de satélites visíveis, atividade inosférica e obstáculos em volta do ponto. De todos estes parâmetros nenhum se manifestou como sendo a causa para este efeito, por isso seria interessante investigar um pouco sobre este comportamento.

Para além dos serviços, programas e aplicações utilizados, seria interessante utilizar outras ferramentas científicas e programas gratuitos de processamento de dados GPS, como o RTKLib e o GLab, entre outros. A avaliação destas alternativas permite diversificar as opções disponíveis para pós-processamento e, sobretudo, saber o nível de fiabilidade dessas mesmas opções, como alternativa aos dispendiosos programas comerciais. Para além de avaliar os diversos programas e

serviços, também seria importante aferir a exatidão dos serviços que permitem outro tipo de pós-processamento, nomeadamente o rápido estático, que aqui não foi avaliado, e que utiliza tempos de observação mais curtos.

Referências Bibliográficas

Abreu, M. 2007. Análise da qualidade dos dados GPS: Estudo de caso da estação de Cananéia. Tese de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, Brasil, Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08012008-144750/pt-br.php>

Afonso, A. 2006. Implementação de uma rede de estações de referência GPS para posicionamento em tempo real, Tese de Mestrado em Engenharia Geográfica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Afonso, A., Martins, F., e Mendes, V. 2006. IGeoE e o Projecto SERVIR - "Sistema de Estações de Referência GNSS Virtuais" para RTK. Boletim do Instituto Geográfico do Exército, Vol. 68, pp. 56-62.

Aktug, B., Ozdemir, S., Cing, A., Aysezen, S. and Erkan, Y. 2007. A multi-purpose continuous GPS network within the boundary zones of the Eurasian, African, and Arabian plates. Geodesy Department, General Command of Mapping, Ankara, Turkey.

Almeida, S. 1979. Alguns dados históricos sobre topografia e cartografia. Boletim do Serviço Cartográfico do Exército, Vol. 48, pp. 37-44.

Altamimi, Z., Collilieux, X. and Métivier, L. 2011. ITRF2008: an improved solution of the International Terrestrial Reference Frame. Journal of Geodesy, 85(8)(doi:10.1007/s00190-011-0444-4), pp. 457-473.

Amaral, M. 2012. Portugal Dicionário Histórico. [Online] Disponível em: <http://www.arqnet.pt/dicionario/balsemao1visc.html> [Acedido em 12 junho 2015].

Antunes, C. 1995. Levantamentos Topográficos - Apontamentos de topografia. 1ª ed. Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Antunes, M. e Santos, L. 2011. Rede de estações permanentes da região autónoma dos Açores. Ponta Delgada, 2011, VII Conferência Nacional de Geodesia e Cartografia.

AUSPOS. 2015. Australian Positioning Online GPS Processing Service. [Online]

Disponível em: <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos> [Acedido em 15 Março 2015].

BEIDOU. 2015. BeiDou Navigation Satellite System. [Online] Disponível em: <http://en.beidou.gov.cn/index.html> [Acedido em 27 Agosto 2015].

Berger, M., Ustun, A. and Yetkin, M. 2012. Comparison of accuracy of GPS techniques. ELSEVIER, Vol. 45, pp. 1742-1746.

Carvalho, L. 1888. Biblioteca Nacional de Portugal - Triangulação fundamental e nivelamento de precisão de Portugal. [Online] Disponível em: <http://purl.pt/3385> [Acedido em 23 Maio 2015].

Dabove, P., Agostino, M., and Manzano, A. 2012. Achievable positioning accuracies in network of GNSS reference stations. Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications, Vol. 1, pp. 189-214.

Danchik, R. 1998. An overview of Transit development. Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol. 19, pp. 18-26.

Dawson, J., Goving, R. and Manning, J. 2001. Application of the AUSLIG online GPS processing system (AUSPOS) to Antarctica, Belconnen, Australia.

Dias, M. 2006. Portugalliae Descriptio - Do 1º Mapa conhecido (1561) ao 1º Mapa moderno (1865). Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, Portugal.

Dias, M. 2006. Instituto Camões. [Online] Disponível em: <http://cvc.instituto-camoes.pt/ciencia/p48.html> [Acedido em 12 janeiro 2015].

Doucet, K. Herwig, M., Kipka, A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., Moessmer, M. and Pagels, C. 2012. Introducing ambiguity resolution in web-hosted global multi-GNSS precise positioning with Trimble RTX-PP, Trimble Terrasat GmbH, Alemanha.

DR. 2015. Decreto Regulamentar nº11/2015. Diário da República Nº 148 de 31 de julho, Vol. 1 1ª Série, pp. 5237-5254.

El-Rabbany, A. 2002. *Introduction to GPS - The global positioning system*, Vol. 1, Artech House, London, England.

Euler, H.-J. and Zebhauser B. 2002. Comparison of different proposals for reference

station network information distribution formats. ION-GPS 2002, September 2002, Leica Geosystems, Portland,

Euler, H.-J., Keenan, C. and Zebhauser B. 2001. Study of a Simplified approach in utilizing information from Permanent Reference Station Arrays. ION GPS 2001, September 2001, Leica Geosystems, Salt Lake City.

Fernandes, E., 2002. Uma estória da Carta Militar de Portugal 1:25000. Boletim do Instituto Geográfico do Exército, Vol. 64, pp. 56-70.

Garrido, S., Giménez, E., Lacy, C. and Gil, A. 2011. Surveying at the limits of local RTK networks: Test results from the perspective of high accuracy users. International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 13, pp. 256-264.

GCM, 2015. Página do General Command of Mapping - Turkey. [Online] Disponível em: <http://www.hgk.msb.gov.tr/english/u-10-turkish-national-fundamental-gps-network.html> [Acedido em 12 Março 2015].

Ghilani, C. and Wolf, P. 2007. *Elementary Surveying - An introduction to Geomatics*. 12^a edition, Pearson Prentiss Hall, New Jersey, USA.

Gimenez, E., Garrido, M., Lacy, M. and Gil, A. 2011. Comparing RTK positioning from updated REGAM and MERISTEMUM CORS networks in Southeast Spain. Journal of Applied Geodesy, Vol. 5, pp. 23-35.

Gregory, D. Johnston, R., Pratt, G., Watts, M. and Whatmore, S. 2011. *The Dictionary of Human Geography*. 5^a edição, WILEY-BLACKWELL, Pondicherry, India.

Hakli, P. 2004. Practical test on accuracy and usability of virtual reference station method in Finland. FIG working week 2004, Athens, May 2004, Greece.

Haritonova, D., Balodis, J., Janpaule, I. and Normand, M. 2013. Displacements at the GNSS stations, 4th International Conference, Riga, Latvia.

Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J. 2001. *GPS: Theory and Practice*. 5^a ed. Springer Verlag Wien, New York.

IACPNT. 2015. Information and analysis center for positioning, navigation and timing. [Online] Disponível em: <https://www.glonass-iac.ru/en/index.php> [Acedido

em 27 Agosto 2015].

IGeoE. 2013. Página do Instituto Geográfico do Exército. [*Online*] Disponível em: <http://www.igeoe.pt> [Acedido em 21 janeiro 2015].

IGP. 2009. Direção Geral do Território. [*Online*] Disponível em: <http://www.dgterritorio.pt> [Acedido em 21 janeiro 2015].

IGS, 2015. Página do International GNSS Service. [*Online*] Disponível em: <https://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> [Acedido em 12 Julho 2015].

Imakiire, T. and Nakahori, Y. 2001. GPS earth observation network (GEONET) of Japan. FIG Congress 2014, Kuala Lumpur, June 2014, Malaysia.

ITRF. 2014. International Terrestrial Reference Frame. [*Online*] Disponível em: http://itrf.ensg.fr/ITRF_solutions/2005/more_ITRF2005.php [Acedido em 15 Agosto 2015].

ITRF, 2014. International Terrestrial Reference Frame. [*Online*] Disponível em: http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/more_ITRF2008.php [Acedido em 21 Agosto 2015].

Jamtnas, L., Sunna, J., Emardson, R. and Jonsson, B. 2010. Quality assessment of network-RTK in the SWEPOS™ network of permanent GNSS Stations, FIG Congress 2010, Sydney, April 2010, Australia.

JPL. 2015. Jet Propulsion Laboratory. [*Online*] Disponível em: http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php [Acedido em 9 Março 2015].

Khan, S. 2010. EPOS GNSS stations in Greenland and their capability. DTU Space - National Space Institute, Copenhagen, Denmark.

Leandro, R., Landau, H., Nitschke, M. and Glocker, M. 2011. RTX positioning: the next generation of cm-accurate real-time GNSS positioning. Trimble Terrasat GmbH. Germany.

Leica. 2012. RTK Networks - different methods. System 1200 Newsletter - 53 Leica Geosystems.

Leick, A. 2004. *GPS satellite surveying*. 3^a ed. John Wiley & Sons Inc, New Jersey.

Lim, S., Heo, Y. and Rizos, C. 2008. A web-based real-time monitoring system for

- GNSS data quality and integrity. University of New South Wales, Australia.
- Malaquias, G. 1979. O Serviço Cartográfico do Exército e a cartografia. Boletim do SCE, pp. 23-35.
- Martin, A. and Mcgovern, E. 2012. An Evaluation of the performance of network RTK GNSS services in Ireland. FIG Working Week 2012, Roma.
- Mattos, P. and Pisoni, F. 2015. GPS World - The Business & Technology of GNSS. [Online] Disponível em: <http://gpsworld.com/quad-constellation-receiver-gps-glonass-galileo-beidou/> [Acedido em 25 Agosto 2015].
- Mckessock, G. 2007. *A comparison of local and wide area GNSS differential corrections disseminated using the network transport of RTCM via internet portocol (NTRIP)*. 1ª ed. University of New Brunswick, Fredericton.
- Misra, P. and Enge, P. 2006. *Global positioning system: signals, measurements and performance*. 2ª ed. Ganga-Jamuna Press, Massachusetts.
- Mulic, M. 2015. United Nations - Office for outer space affairs. [Online] Disponível em: <http://www.unoosa.org/pdf/sap/2013/croatia/1.5.pdf> [Acedido em 09 Julho 2015].
- NIST and SEMATECH. 2013. e-Handbook of statistical methods. [Online] Disponível em: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> [Acedido em 15 Agosto 2015].
- NRCan. 2015. Canadian spatial reference system - Precise Point Positioning. [Online] Disponível em: <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en> [Acedido em 12 Março 2015].
- OPUS. 2015. Online positioning user service. [Online] Disponível em: <http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/index.jsp> [Acedido em 12 Março 2015].
- Pesci, A., Loddo, F., Cenni, N., Teza G., and Casula, G. 2009. Analysing virtual reference station for GPS surveying: experiments and applications in a test site of the northern Apennines (Italy), Bolonha, Italy.
- Piras, M., Roggero, M. and Fantino, M. 2009. Monitoring of deformation using GNSS. Advances in Geosciences, Vol. 13, Torino.

Retscher, G. 2002. Accuracy performance of virtual reference station (VRS) Networks. *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 1, pp. 40-47.

Rosenthal, G. 2001. SAPOS The German national satellite positioning service. 1st Common Baltic Symposium, Riga.

Rossa, J. e Dias, M. 2007. A revolução digital: abrindo as portas para o século XXI. *dos Serviços Cartográficos ao Instituto Geográfico do Exército: 75 anos de atividade a servir Portugal (1932-2007)*, Vol. 1º, pp. 44-60.

SMARTNet, 2015. Página do SmarNet. [Online] Disponível em: http://uk.smartnet.eu.com/coverage-map_19.htm [Acedido em 24 julho 2015].

Soler, T. Michalak, P., Weston, N., Snay, R. and Foote R. 2006. Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions, Springer-Verlag, Silver Spring.

Soler, T., Weston, N., Snay, R., Mader, G. and Foote, R. 2006. Precise georeferencing using online positioning user service (OPUS), *GNSS Processing & Applications*. Munich.

Stone, W. 2006. The evolution of the national geodetic survey's continuously operating reference station network and online positioning user service, NOAA - National Geodetic Survey, Albuquerque.

Teodoro, R., Mira, N. e Paulo, F. 2015. Controlo de qualidade da rede SERVIR. *Boletim do Instituto Geográfico do Exército*, pp. 22-29.

TOPCON, 2009. Página da TOPCON. [Online] Disponível em: https://global.topnetlive.com/Ireland/Networks/TopNET_live_Ireland/11 [Acedido em 24 julho 2015].

Trimble. 2015. Trimble® CenterPointRTX™ - Post-Processing. [Online] Disponível em: <http://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx> [Acedido em 10 Março 2015].

UNAVCO. 2014. Teqc tutorial - Basics of teqc use and teqc Products. [Online] Disponível em: http://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/doc/UNAVCO_Teqc_Tutorial.pdf [Acedido em 21 Setembro 2014].

Weston, N. 2014. National Geodetic Survey. [Online] Disponível em: http://www.ngs.noaa.gov/corbin/class_description/RTN_Administration.shtml [Acedido em 15 julho 2015].

Wubben, G. and Willgallis, S. 2001. State space approach for precise real time positioning in GPS reference networks. [*Online*] Disponível em: <http://www.geopp.de/pdf/kis2001.pdf> [Acedido em 10 Julho 2015].

Yildirim, O. 2011. *A comparative analysis of the virtual reference stations (VRS)*. Scientific Research and Essays, Vol. 6, pp. 5726-5733.

Zinas, N., 2015. Tekmon geomatics. [*Online*] Disponível em: <http://www.tekmon.eu/gps-network-rtk-tutorial/> [Acedido em 15 Julho 2015]

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo A – Correspondência criada para os nomes dos VG, respeitando a norma dos ficheiros de observação em formato RINEX

Na Tabela 21 encontram-se apresentadas as correspondências entre o nome real do VG e o código de 4 caracteres, foi criado respeitando a norma dos ficheiros RINEX e tendo a preocupação de não repetir códigos já existentes, no que diz respeito a estações IGS.

Tabela 21 – Correspondência entre o nome verdadeiro do VG e os 4 caracteres (DOME) utilizados nos ficheiros RINEX de observação

VG	DOME	VG	DOME
Durão	DURA	Fárrio	FARR
Seixo do Monte	SMON	Cimalhadas	CIMA
Castelinho	CLIN	Misericórdia	MISE
Paregos	PARG	Portela Alta 2	PALT
Três Senhoras	TSEN	Eirozes	EIRO
Vale de Carrinhos	VCAR	Barreiras Brancas	BBRA
Pena Cereja	PCER	Colorada	COLO
Antas	SATN	Frágua Castelo	FCAS
Bandeira	BAND	Palanque	PALN
Areais	AREI	Cambado	CAMA
Santo Estevão	SEST	Isenta	ISEN
Penedice	PENE	Porto Covo	PCOV
Gonçalo	GONC	Barreira	BARE
Santa Cruz	SCRU	Mariano	MARI
Couto Trute	CTRTR	Calhau do Corvo	CCOR
Facho	FACH	Vale da Pia	VPIA
Cesta	CEST	Retorta	RETO
Salgueiro	SALE	Altura do Catalão	ACAT
Medonho	MEDO	Alto do Pina	APIN
Vale Tamão	VTAM	Castelhana	CASN
Seixo Pedrão	SPER	Mendonça	MEND
Malhada Alta	MALT	Carmões	CARO
Penedo Gordo	PGOR	Foz	FOZZ
Murado	MURA	Malpique	MALP
Cavalinha	CAVA		

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo B – Coordenadas Oficiais das Estações da rede SERVIR, GPSNET

Na Tabela 22 encontram-se as coordenadas oficiais das estações da rede SERVIR, que servem de base aos cálculos efetuados pelo programa GPSNET. Estas coordenadas, e todo o sistema de cálculo GPSNET tem como referencial associado o ITRF2005 à época 2008.5.

Tabela 22 – Coordenadas oficiais das estações da rede SERVIR, relativamente ao programa de cálculo GPSNET

Estação	ITRF 2005 época 2008.5		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
ALCO	4918781.041	-767880.096	3973821.569
ARRA	4937875.255	-778646.029	3948655.612
BEJE	4985448.360	-688719.846	3905482.676
BRGA	4728045.156	-699243.186	4209670.612
CAMI	4699600.242	-730704.766	4235615.195
CERC	4988819.004	-764570.600	3887268.074
CHAV	4725265.334	-619800.302	4225375.601
COIM	4825559.407	-714122.578	4095579.239
COVI	4831821.050	-636908.193	4101813.289
CRAI	4873186.925	-783461.678	4026308.521
ELVA	4933266.621	-619666.006	3982133.118
ESTR	4930870.191	-656639.456	3979369.623
EVOR	4946192.648	-686723.980	3955163.435
FARO	5050100.326	-704128.954	3818888.268
LEIR	4854355.885	-751956.437	4054854.791
MAFR	4902470.508	-805103.780	3986854.926
PACO	4919221.751	-805104.311	3965937.533
PVAR	4736481.228	-728019.706	4195116.139
SAGR	5036384.347	-794048.367	3819399.347
SJAC	4789119.842	-735815.464	4133914.637
SMAM	4901490.376	-633074.996	4019968.339
SMAR	4882219.763	-711686.685	4028819.261
TMAD	4729430.044	-561399.026	4229298.192
WISE	4800483.962	-668347.572	4132957.318
VNOV	4931659.556	-733259.306	3964665.532
VREA	4754659.677	-646016.289	4188668.219
VRSA	5044677.347	-656431.122	3834411.183

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo C – Coordenadas Oficiais das Estações da rede SERVIR, PIVOT

Na Tabela 23 encontram-se as coordenadas oficiais das estações da rede SERVIR, que servem de base aos cálculos efetuados pelo programa PIVOT. Estas coordenadas, e todo o sistema de cálculo PIVOT tem como referencial associado o ITRF2008 à época 2005.0.

Tabela 23 – Coordenadas oficiais das estações da rede SERVIR, relativamente ao programa de cálculo PIVOT

Estação	ITRF 2008 época 2005.0		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
ALCO	4918781.056	-767880.153	3973821.514
ARRA	4937875.276	-778646.094	3948655.566
BEJE	4985448.384	-688719.912	3905482.631
BRGA	4727999.967	-699250.342	4209732.813
CAMI	4699600.259	-730704.820	4235615.131
CERC	4988819.030	-764570.665	3887268.029
CHAV	4725265.362	-619800.367	4225375.558
COIM	4825559.432	-714122.644	4095579.194
COVI	4831821.076	-636908.257	4101813.246
CRAI	4873186.939	-783461.745	4026308.426
ELVA	4933266.643	-619666.074	3982133.072
ESTR	4930870.216	-656639.516	3979369.576
EVOR	4946192.672	-686724.047	3955163.390
FARO	5050100.347	-704129.018	3818888.222
IGEO	4916030.452	-788614.207	3973244.237
LEIR	4854355.908	-751956.500	4054854.748
MAFR	4902470.520	-805103.844	3986854.878
PACO	4919221.764	-805104.375	3965937.482
PVAR	4736481.252	-728019.771	4195116.096
SAGR	5036384.374	-794048.431	3819399.301
SJAC	4789119.862	-735815.521	4133914.594
SMAM	4901490.399	-633075.060	4019968.293
SMGR	4882219.787	-711686.750	4028819.217
TMAD	4729430.072	-561399.093	4229298.136
WISE	4800483.987	-668347.638	4132957.274
VNOV	4931659.577	-733259.371	3964665.485
VREA	4754659.716	-646016.346	4188668.186
VRSA	5044677.433	-656431.296	3834411.078

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo D – Época de observação dos dados referentes ao modo de posicionamento estático

Na Tabela 24 encontra-se identificada a época de observação referente ao momento de observações dos dados relativos ao modo de posicionamento estático.

Tabela 24 – Época de observação referente à sessão de observação de 3h em modo estático

VG	Época	VG	Época
Durão	2014.495	Fárrio	2014.695
Seixo do Monte	2014.495	Cimalhadas	2014.706
Castelinho	2014.497	Misericórdia	2014.706
Paregos	2014.497	Portela Alta 2	2014.708
Três Senhoras	2014.498	Eirozes	2014.709
Vale de Carrinhos	2014.500	Barreiras Brancas	2014.711
Pena Cereja	2014.500	Colorada	2014.711
Antas	2014.503	Frágua Castelo	2014.712
Bandeira	2014.503	Palanque	2014.714
Areais	2014.514	Cambado	2014.714
Santo Estevão	2014.516	Isenta	2014.782
Penedice	2014.517	Porto Covo	2014.785
Gonçalo	2014.517	Barreira	2014.785
Santa Cruz	2014.519	Mariano	2014.787
Couto Trute	2014.520	Calhau do Corvo	2014.788
Facho	2014.522	Vale da Pia	2014.801
Cesta	2014.522	Retorta	2014.802
Salgueiro	2014.525	Altura do Catalão	2014.804
Medonho	2014.686	Alto do Pina	2014.805
Vale Tamão	2014.687	Castelhana	2014.807
Seixo Pedrão	2014.689	Mendonça	2014.807
Malhada Alta	2014.689	Carmões	2014.859
Penedo Gordo	2014.692	Foz	2014.861
Murado	2014.692	Malpique	2014.862
Cavalinha	2014.694		

Página intencionalmente deixada em branco

Anexo E – Resultados numéricos relativos à precisão

Na Tabela 25 e na Tabela 26 são apresentados os resultados relativos à diferença entre o máximo e mínimo das 180 observações, referentes a cada um dos pontos observados, para os programas GPSNET e PIVOT respetivamente. A este parâmetro, que foi que foi um dos utilizados para avaliação da precisão, atribuiu-se o nome de intervalo de dispersão.

Tabela 25 – Intervalo de dispersão relativo ao programa GPSNET

VG	INTERVALO			VG	INTERVALO		
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
Durão	0.087	0.064	0.107	Fárrio	0.080	0.037	0.073
Seixo do Monte	0.101	0.045	0.075	Cimalhadas	0.045	0.021	0.041
Castelinho	0.057	0.022	0.054	Misericórdia	0.042	0.025	0.045
Paregos	0.104	0.051	0.085	Portela Alta 2	0.034	0.028	0.047
Três Senhoras	0.052	0.014	0.023	Eirozes	0.059	0.019	0.030
Vale de Carrinhos	0.042	0.027	0.031	Barreiras Brancas	0.067	0.029	0.081
Pena Cereja	0.051	0.024	0.059	Colorada	0.082	0.046	0.069
Antas	0.083	0.047	0.105	Frágua Castelo	0.076	0.036	0.048
Bandeira	0.081	0.024	0.099	Palanque	0.049	0.042	0.054
Areaais	0.058	0.026	0.047	Cambado	0.058	0.051	0.106
Santo Estevão	0.041	0.037	0.057	Isenta	0.070	0.031	0.050
Penedice	0.045	0.024	0.040	Porto Covo	0.067	0.029	0.052
Gonçalo	0.055	0.026	0.046	Barreira	0.032	0.029	0.035
Santa Cruz	0.035	0.015	0.025	Mariano	0.034	0.022	0.055
Couto Trute	0.032	0.021	0.061	Calhau do Corvo	0.036	0.017	0.031
Facho	0.052	0.029	0.050	Vale da Pia	0.050	0.020	0.045
Cesta	0.069	0.025	0.045	Retorta	0.837	0.111	0.324
Salgueiro	0.086	0.022	0.058	Altura do Catalão	0.036	0.018	0.048
Medonho	0.052	0.033	0.068	Alto do Pina	0.043	0.019	0.032
Vale Tamão	0.061	0.026	0.024	Castelhana	0.081	0.042	0.061
Seixo Pedrão	0.101	0.036	0.070	Mendonça	0.061	0.026	0.038
Malhada Alta	0.048	0.026	0.060	Carmões	0.052	0.035	0.044
Penedo Gordo	0.105	0.034	0.052	Foz	0.091	0.025	0.040
Murado	0.056	0.032	0.041	Malpique	0.043	0.022	0.024
Cavalinha	0.043	0.025	0.037				

Tabela 26 – Intervalo de dispersão relativo ao programa PIVOT

VG	INTERVALO			VG	INTERVALO (m)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
Durão	0.082	0.046	0.091	Fárrio	0.030	0.019	0.024
Seixo do Monte	0.109	0.023	0.053	Cimalhadas	0.036	0.015	0.043
Castelinho	0.036	0.016	0.037	Misericórdia	0.039	0.021	0.035
Paregos	0.051	0.023	0.047	Portela Alta 2	0.041	0.019	0.061
Três Senhoras	0.052	0.023	0.048	Eirozes	0.048	0.027	0.036
Vale de Carrinhos	0.042	0.012	0.035	Barreiras Brancas	0.055	0.019	0.038
Pena Cereja	0.049	0.015	0.053	Colorada	0.076	0.036	0.090
Antas	0.031	0.022	0.026	Frágua Castelo	0.062	0.048	0.050
Bandeira	0.046	0.046	0.065	Palanque	0.046	0.033	0.034
Areais	0.069	0.023	0.062	Cambado	0.041	0.023	0.042
Santo Estevão	0.061	0.027	0.081	Isenta	0.077	0.028	0.025
Penedice	0.020	0.015	0.015	Porto Covo	0.084	0.021	0.091
Gonçalo	0.058	0.022	0.036	Barreira	0.032	0.019	0.031
Santa Cruz	0.070	0.024	0.045	Mariano	0.053	0.024	0.047
Couto Trute	0.053	0.028	0.067	Calhau do Corvo	0.036	0.017	0.033
Facho	0.057	0.025	0.074	Vale da Pia	0.079	0.038	0.045
Cesta	0.048	0.024	0.037	Retorta	0.047	0.027	0.034
Salgueiro	0.055	0.036	0.067	Altura do Catalão	0.037	0.022	0.032
Medonho	0.056	0.052	0.064	Alto do Pina	0.069	0.036	0.044
Vale Tamão	0.117	0.026	0.097	Castelhana	0.074	0.023	0.044
Seixo Pedrão	0.040	0.040	0.118	Mendonça	0.080	0.035	0.037
Malhada Alta	0.081	0.021	0.040	Carmões	0.043	0.022	0.025
Penedo Gordo	0.106	0.040	0.150	Foz	0.039	0.023	0.042
Murado	0.043	0.025	0.047	Malpique	0.030	0.020	0.033
Cavalinha	0.027	0.025	0.033				

Na Tabela 27 e Tabela 28 encontram-se os dados numéricos referentes à diferença entre o valor médio das 180 observações da variante CTP e o valor obtido com a variante CMP, no que diz respeito ao programa GPSNET e PIVOT. Este foi o segundo parâmetro utilizado para avaliação da precisão.

Tabela 27 – Diferenças entre o valor médio das 180 observações do método CTP e o valor obtido com o método CMP, relativamente ao programa GPSNET

VG	CTP - CMP			VG	CTP - CMP		
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
Durão	-0.154	-0.070	-0.134	Fárrio	0.046	0.003	0.017
Seixo do Monte	-1.635	0.219	0.157	Cimalhadas	0.007	-0.001	-0.013
Castelinho	0.068	-0.009	0.037	Misericórdia	0.001	0.009	-0.023
Paregos	0.067	-0.040	0.107	Portela Alta 2	-0.190	0.031	-0.114
Três Senhoras	-0.001	0.007	0.010	Eirozes	0.014	0.022	0.006
Vale de Carrinhos	0.024	0.001	0.010	Barreiras Brancas	-0.043	0.024	-0.048
Pena Cereja	-0.102	0.005	-0.024	Colorada	-0.112	0.047	-0.169
Antas	-0.237	0.005	-0.208	Frágua Castelo	0.066	-0.003	0.107
Bandeira	-0.038	0.003	-0.048	Palanque	-0.015	-0.012	-0.035
Areais	-0.011	0.000	-0.013	Cambado	0.024	-0.021	0.023
Santo Estevão	-0.028	0.005	-0.002	Isenta	-0.008	-0.008	-0.002
Penedice	0.000	-0.006	0.005	Porto Covo	-0.065	-0.030	-0.040
Gonçalo	-0.013	-0.006	0.004	Barreira	-0.014	0.024	-0.008
Santa Cruz	-0.017	-0.001	-0.003	Mariano	-0.005	0.002	0.006
Couto Trute	-0.016	0.014	0.006	Calhau do Corvo	0.039	0.012	-0.016
Facho	-0.005	0.008	0.000	Vale da Pia	0.001	-0.004	-0.010
Cesta	-0.022	0.014	0.056	Retorta	0.036	0.016	0.018
Salgueiro	0.005	0.000	0.005	Altura do Catalão	0.010	-0.002	0.005
Medonho	-0.088	0.014	-0.109	Alto do Pina	0.011	-0.003	0.008
Vale Tamão	-0.045	-0.034	-0.029	Castelhana	-0.024	0.050	-0.010
Seixo Pedrão	0.109	-0.053	-0.005	Mendonça	-0.002	-0.015	-0.056
Malhada Alta	0.050	0.010	-0.144	Carmões	-0.015	0.009	0.024
Penedo Gordo	0.081	0.062	0.135	Foz	-0.021	-0.003	-0.052
Murado	-0.021	-0.005	-0.029	Malpique	0.037	-0.019	0.021
Cavalinha	-0.011	0.003	0.015				

Tabela 28 – Diferenças entre o valor médio das 180 observações do método CTP e o valor obtido com o método CMP, relativamente ao programa PIVOT

VG	CTP - CMP			VG	CTP - CMP		
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
Durão	-0.002	0.025	0.009	Fárrio	0.002	0.004	0.004
Seixo do Monte	-0.243	-0.063	-0.209	Cimalhadas	0.028	-0.003	0.017
Castelinho	-0.007	0.001	0.002	Misericórdia	-0.010	-0.011	-0.001
Paregos	-0.011	0.001	-0.011	Portela Alta 2	-0.069	0.015	-0.087
Três Senhoras	0.020	0.003	-0.001	Eirozes	-0.083	0.030	0.144
Vale de Carrinhos	0.010	0.004	0.013	Barreiras Brancas	-0.009	-0.006	0.010
Pena Cereja	-0.007	0.002	0.012	Colorada	-0.079	-0.002	0.128
Antas	-0.012	-0.008	-0.013	Frágua Castelo	-0.017	0.069	-0.091
Bandeira	-0.042	-0.047	-0.017	Palanque	0.005	-0.002	0.005
Areais	1.946	0.708	-0.194	Cambado	0.003	0.002	0.000
Santo Estevão	0.009	-0.005	0.029	Isenta	-0.008	0.004	-0.005
Penedice	-0.005	0.008	0.007	Porto Covo	0.024	0.002	-0.014
Gonçalo	-0.022	-0.002	-0.028	Barreira	-0.007	0.002	0.001
Santa Cruz	0.020	-0.008	0.006	Mariano	0.004	0.008	0.003
Couto Trute	0.005	0.001	0.005	Calhau do Corvo	-0.001	-0.003	-0.004
Facho	-0.117	0.028	-0.073	Vale da Pia	0.038	0.018	0.020
Cesta	-0.001	0.016	0.008	Retorta	0.013	-0.008	0.006
Salgueiro	0.001	0.011	-0.006	Altura do Catalão	-0.010	0.002	-0.008
Medonho	-0.056	-0.021	-0.023	Alto do Pina	0.008	-0.010	0.002
Vale Tamão	-0.006	-0.008	-0.015	Castelhana	-0.043	0.007	-0.020
Seixo Pedrão	-0.049	0.027	-0.036	Mendonça	0.010	0.003	-0.002
Malhada Alta	-0.144	0.049	-0.263	Carmões	0.005	0.002	-0.006
Penedo Gordo	0.270	-0.002	0.397	Foz	-0.001	0.000	-0.004
Murado	0.003	-0.008	0.009	Malpique	0.004	-0.003	-0.002
Cavalinha	0.010	-0.002	-0.006				

Anexo F – Coordenadas geodésicas oficiais, em ETRS89, disponibilizadas pela DGT

Na Tabela 29 encontram-se identificadas as coordenadas geodésicas oficiais, em ETRS89 PT-TM06, disponibilizadas pela DGT.

Tabela 29 – Coordenadas geodésicas Oficiais, em ETRS89 PT-TM06, disponibilizadas pela DGT

VG	Coordenadas oficiais ETRS89 PT-TM06		
	latitude	longitude	altitude
Durão	41°03'24.8178"N	06°49'08.4703"W	788.18
Seixo do Monte	41°35'17.0928"N	06°13'26.5563"W	871.56
Castelinho	41°36'26.2976"N	06°37'58.9267"W	766.86
Paregos	41°33'10.7018"N	06°24'19.2894"W	865.22
Três Senhoras	41°57'46.3201"N	06°35'20.8901"W	1103.21
Vale de Carrinhos	41°35'45.2152"N	07°21'53.3286"W	610.14
Pena Cereja	41°53'10.5565"N	07°53'31.9766"W	1186.57
Antas	41°34'41.4710"N	07°52'06.4656"W	1095.84
Bandeira	41°13'37.4965"N	07°28'29.6573"W	732.79
Areais	40°26'35.7749"N	08°30'03.5424"W	146.28
Santo Estevão	40°53'26.9553"N	08°30'51.1443"W	331.67
Penedice	41°28'35.8161"N	08°24'44.6290"W	521.74
Gonçalo	41°35'12.7696"N	08°40'28.8431"W	546.05
Santa Cruz	41°40'27.8588"N	08°19'52.4369"W	628.95
Couto Trute	41°59'55.2411"N	08°27'47.7638"W	483.11
Facho	42°06'46.6504"N	08°13'02.0256"W	821.49
Cesta	41°59'13.4820"N	08°15'52.4338"W	1190.82
Salgueiro	41°08'54.1421"N	08°04'57.0939"W	708.78
Medonho	40°55'19.6832"N	07°24'52.5563"W	988.26
Vale Tamão	40°24'36.5389"N	07°59'02.6524"W	363.45
Seixo Pedrão	40°33'40.0586"N	07°05'05.9364"W	896.26
Malhada Alta	40°19'43.5383"N	06°56'57.0195"W	1060.83
Penedo Gordo	39°40'45.3743"N	07°42'01.6282"W	627.94
Murado	39°59'52.8621"N	08°02'17.0206"W	800.79
Cavalinha	40°12'08.0448"N	08°40'07.0338"W	176.47
Fárrio	39°49'22.6811"N	08°31'18.5914"W	387.44
Cimalhadas	37°19'49.0404"N	08°35'45.9820"W	847.83
Misericórdia	37°36'28.6585"N	08°10'12.6916"W	327.63
Portela Alta 2	37°26'58.1823"N	07°44'46.4383"W	359.40
Eirozes	38°06'27.1065"N	08°17'27.6865"W	139.51
Barreiras Brancas	38°00'28.7122"N	07°29'31.0131"W	289.56
Colorada	38°08'22.8408"N	06°58'13.7274"W	451.61
Frágua Castelo	38°11'27.5557"N	07°08'06.7889"W	309.79

Palanque	38°27'05.4370"N	07°42'39.1097"W	281.63
Cambado	38°23'37.3134"N	08°47'00.3898"W	79.59
Isenta	39°12'37.3041"N	08°44'32.5941"W	161.98
Porto Covo	39°53'21.3073"N	08°56'43.5477"W	87.27
Barreira	39°31'33.8513"N	08°43'20.4893"W	572.92
Mariano	39°12'11.9333"N	09°18'23.7901"W	214.17
Calhau do Corvo	38°48'31.2311"N	09°28'56.7209"W	127.72
Vale da Pia	39°12'38.3145"N	07°42'19.6313"W	303.34
Retorta	38°57'39.9924"N	07°53'29.7856"W	270.10
Altura do Catalão	38°25'14.6887"N	08°04'38.5443"W	283.61
Alto do Pina	38°38'37.9451"N	08°45'54.6370"W	96.64
Castelhana	38°56'59.2585"N	08°12'52.2672"W	217.54
Mendonça	38°58'38.9037"N	08°33'10.0047"W	146.68
Carmões	39°03'37.1183"N	09°08'33.5225"W	278.79
Foz	38°26'51.2431"N	09°11'57.3582"W	126.87
Malpique	38°40'27.6522"N	08°57'32.8928"W	76.97

Anexo G – Exatidão para o modo de posicionamento rápido estático.

Na Tabela 30 e na Tabela 31 encontram-se apresentados os resultados relativos à exatidão obtida com o modo de posicionamento rápido estático, com recurso a coordenadas cartesianas e a coordenadas geodésicas respetivamente.

Tabela 30 – Exatidão obtida com coordenadas cartesianas, com o modo de posicionamento rápido estático

VG	Exatidão cartesianas		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Seixo Pedrão	0.085	-0.018	0.052
Malhada Alta	0.121	0.009	0.053
Penedo Gordo	-0.027	0.000	0.017
Murado	-0.015	0.008	0.011
Cavalinha	0.045	0.030	0.004
Fárrio	-0.031	0.006	0.029
Misericórdia	-0.050	0.050	0.056
Portela Alta 2	-0.211	0.176	-0.017
Eirozes	0.031	0.066	0.042
Frágua Castelo	0.193	-0.012	0.118
Palanque	-0.006	-0.026	0.019
Cambado	0.027	0.000	0.019
Isenta	-0.046	-0.033	0.006
Porto Covo	0.013	0.042	0.031
Barreira	-0.007	0.035	0.035
Mariano	0.016	0.022	0.014
Castelhana	0.029	0.001	0.014
Mendonça	0.025	0.024	0.066
Carmões	0.027	-0.030	0.037
Foz	0.036	-0.025	0.033
Malpique	0.053	-0.027	0.065

Tabela 31 – Exatidão obtida com coordenadas geodésicas, com o modo de posicionamento rápido estático

VG	Exatidão geodésicas		
	lat (m)	long (m)	alt (m)
Seixo Pedrão	-0.002	0.020	-0.007
Malhada Alta	0.010	-0.028	0.040
Penedo Gordo	0.428	0.518	0.539
Murado	-0.012	-0.010	0.040
Cavalinha	-0.011	-0.002	0.078
Fárrio	-0.008	0.013	0.030
Misericórdia	-0.041	0.027	0.097
Portela Alta 2	-0.127	0.063	0.310
Eirozes	0.035	0.065	0.185
Frágua Castelo	0.036	-0.025	-0.142
Palanque	-0.001	0.036	0.161
Cambado	0.067	-0.045	0.017
Isenta	-0.018	-0.067	-0.019
Porto Covo	-0.001	0.004	0.063
Barreira	-0.003	-0.010	-0.002
Mariano	0.000	0.041	0.077
Castelhana	0.004	-0.079	-0.010
Mendonça	-0.030	-0.031	0.063
Carmões	0.163	-0.064	0.028
Foz	0.017	-0.008	0.036
Malpique	0.015	0.003	-0.061

Anexo H – Resultados numéricos, referentes à exatidão obtida com o programa GPSNET, para as variantes CTP e CMP, utilizando coordenadas cartesianas

Na Tabela 32 e na Tabela 33 encontram-se apresentados os resultados relativos à exatidão obtida com o modo de posicionamento RTK, com as suas duas variantes CTP e CMP, com recurso a coordenadas cartesianas.

Tabela 32 – Exatidão obtida para a média das 180 observações da variante CTP, relativamente ao programa GPSNET, utilizando as coordenadas cartesianas

VG	Referência - CTP			VG	Referência - CTP		
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
Durão	0.086	-0.093	0.045	Fárrio	0.024	0.011	0.048
Seixo do Monte	-1.835	0.177	-0.069	Cimalhadas	-0.108	0.027	-0.070
Castelinho	0.113	0.002	0.121	Misericórdia	-0.004	0.043	0.033
Paregos	-0.001	-0.034	0.110	Portela Alta 2	-0.012	0.121	0.053
Três Senhoras	-0.044	0.015	0.011	Eirozes	0.074	0.009	0.049
Vale de Carrinhos	-0.006	0.015	0.016	Barreiras Brancas	0.023	0.021	-0.003
Pena Cereja	0.003	0.017	0.032	Colorada	-0.064	0.087	-0.119
Antas	-0.091	0.055	-0.063	Frágua Castelo	0.109	-0.013	0.134
Bandeira	-0.034	0.012	-0.029	Palanque	-0.023	-0.017	-0.016
Areais	0.055	0.016	0.051	Cambado	0.007	0.008	0.009
Santo Estevão	-0.055	0.017	0.017	Isenta	0.036	-0.002	0.047
Penedice	-0.047	0.103	0.139	Porto Covo	-0.031	0.021	-0.001
Gonçalo	-0.100	0.124	0.072	Barreira	0.007	0.046	0.030
Santa Cruz	-0.014	0.087	0.099	Mariano	0.000	0.013	0.019
Couto Trute	-0.020	0.067	0.107	Calhau do Corvo	0.028	-0.003	0.049
Facho	-0.027	0.063	0.052	Vale da Pia	0.051	-0.025	-0.021
Cesta	-0.060	0.143	0.097	Retorta	0.032	0.031	0.031
Salgueiro	0.008	0.023	0.028	Altura do Catalão	0.089	-0.021	0.041
Medonho	0.060	0.044	0.080	Alto do Pina	0.018	0.018	0.052
Vale Tamão	0.013	0.010	0.047	Castelhana	0.002	0.011	0.019
Seixo Pedrão	0.152	-0.051	0.069	Mendonça	0.015	0.011	0.029
Malhada Alta	0.032	0.007	0.021	Carmões	-0.013	0.029	0.039
Penedo Gordo	0.157	0.065	0.147	Foz	0.012	-0.014	0.011
Murado	0.004	0.003	-0.026	Malpique	0.023	-0.030	0.011
Cavalinha	0.005	0.021	0.029				

Tabela 33 – Exatidão obtida para a variante CMP, relativamente ao programa GPSNET, utilizando as coordenadas cartesianas

VG	Referência - CMP (m)			VG	Referência - CMP (m)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
Durão	0.240	-0.023	0.179	Fárrio	-0.022	0.008	0.031
Seixo do Monte	-0.200	-0.042	-0.226	Cimalhadas	-0.115	0.028	-0.057
Castelinho	0.045	0.011	0.084	Misericórdia	-0.005	0.034	0.056
Paregos	-0.068	0.006	0.003	Portela Alta 2	0.178	0.090	0.167
Três Senhoras	-0.043	0.008	0.001	Eirozes	0.060	-0.013	0.043
Vale de Carrinhos	-0.030	0.014	0.006	Barreiras Brancas	0.066	-0.003	0.045
Pena Cereja	0.105	0.012	0.056	Colorada	0.048	0.040	0.050
Antas	0.146	0.050	0.145	Frágua Castelo	0.043	-0.010	0.027
Bandeira	0.004	0.009	0.019	Palanque	-0.008	-0.005	0.019
Areaais	0.066	0.016	0.064	Cambado	-0.017	0.029	-0.014
Santo Estevão	-0.027	0.012	0.019	Isenta	0.044	0.006	0.049
Penedice	-0.047	0.108	0.134	Porto Covo	0.034	0.051	0.039
Gonçalo	-0.087	0.130	0.068	Barreira	0.021	0.022	0.038
Santa Cruz	0.003	0.088	0.102	Mariano	0.005	0.011	0.013
Couto Trute	-0.004	0.053	0.101	Calhau do Corvo	-0.011	-0.015	0.065
Facho	-0.022	0.055	0.052	Vale da Pia	0.050	-0.021	-0.011
Cesta	-0.038	0.129	0.041	Retorta	-0.004	0.015	0.013
Salgueiro	0.003	0.023	0.023	Altura do Catalão	0.079	-0.019	0.036
Medonho	0.148	0.030	0.189	Alto do Pina	0.007	0.021	0.044
Vale Tamão	0.058	0.044	0.076	Castelhana	0.026	-0.039	0.029
Seixo Pedrão	0.043	0.002	0.074	Mendonça	0.017	0.026	0.085
Malhada Alta	-0.018	-0.003	0.165	Carmões	0.002	0.020	0.015
Penedo Gordo	0.076	0.003	0.012	Foz	0.033	-0.010	0.063
Murado	0.025	0.008	0.003	Malpique	-0.014	-0.011	-0.010
Cavalinha	0.016	0.018	0.014				

Anexo I – Resultados numéricos, referentes à exatidão obtida com o programa GPSNET, para as variantes CTP e CMP, utilizando coordenadas geodésicas

Na Tabela 34 e na Tabela 35 encontram-se apresentados os resultados relativos à exatidão obtida com o modo de posicionamento RTK, com as suas duas variantes CTP e CMP, com recurso a coordenadas geodésicas.

Tabela 34 – Exatidão obtida para a média das 180 observações da variante CTP, relativamente ao programa GPSNET, utilizando as coordenadas geodésicas

VG	Referência - CTP			VG	Referência - CTP		
	lat (m)	lon (m)	alt (m)		lat (m)	lon (m)	alt (m)
Durão	0.020	-0.074	-0.236	Fárrio	-0.004	0.018	0.022
Seixo do Monte	2.836	-0.102	0.302	Cimalhadas	0.081	-0.051	0.255
Castelinho	-0.003	-0.082	-0.003	Misericórdia	0.005	0.027	0.074
Paregos	0.035	-0.025	0.192	Portela Alta 2	-0.059	0.028	0.105
Três Senhoras	-0.020	-0.017	0.133	Eirozes	0.061	0.002	0.141
Vale de Carrinhos	0.028	-0.074	0.106	Barreiras Brancas	-0.017	-0.045	0.063
Pena Cereja	0.030	-0.093	-0.016	Colorada	-0.005	0.056	0.142
Antas	-0.003	0.104	-0.107	Frágua Castelo	-0.028	-0.039	-0.087
Bandeira	0.008	0.029	0.004	Palanque	0.015	0.044	0.197
Areais	0.038	-0.001	0.084	Cambado	0.062	-0.040	0.039
Santo Estevão	0.031	-0.006	-0.006	Isenta	-0.002	-0.012	-0.104
Penedice	-0.068	0.126	0.055	Porto Covo	-0.002	-0.032	0.115
Gonçalo	-0.107	0.108	0.069	Barreira	0.008	0.007	-0.008
Santa Cruz	-0.095	0.076	0.023	Mariano	-0.013	0.027	0.085
Couto Trute	-0.093	0.062	0.043	Calhau do Corvo	0.041	-0.119	0.035
Facho	-0.075	0.085	0.080	Vale da Pia	-0.001	-0.078	-0.130
Cesta	-0.100	0.128	0.100	Retorta	0.014	-0.011	0.027
Salgueiro	0.006	0.041	0.089	Altura do Catalão	0.012	-0.023	0.037
Medonho	-0.074	-0.082	-0.150	Alto do Pina	0.005	-0.032	0.017
Vale Tamão	-0.005	0.003	-0.016	Castelhana	-0.017	-0.071	0.009
Seixo Pedrão	-0.047	0.039	0.012	Mendonça	-0.007	-0.049	0.093
Malhada Alta	-0.162	-0.065	0.072	Carmões	0.131	0.002	0.065
Penedo Gordo	0.016	-0.028	-0.016	Foz	0.018	0.002	0.070
Murado	0.020	-0.003	0.015	Malpique	0.039	-0.007	-0.004
Cavalinha	-0.036	-0.023	0.092				

Tabela 35 – Exatidão obtida para a variante CMP, relativamente ao programa GPSNET, utilizando as coordenadas geodésicas

VG	Referência - CMP			VG	Referência - CMP		
	lat (m)	lon (m)	alt (m)		lat (m)	lon (m)	alt (m)
Durão	0.020	-0.074	-0.236	Fárrio	-0.004	0.018	0.022
Seixo do Monte	0.053	-0.102	0.302	Cimalhadas	0.081	-0.051	0.255
Castelinho	-0.003	-0.082	-0.003	Misericórdia	-0.013	0.016	0.060
Paregos	0.035	-0.025	0.192	Portela Alta 2	-0.033	0.022	-0.117
Três Senhoras	-0.020	-0.017	0.133	Eirozes	0.059	-0.028	0.153
Vale de Carrinhos	0.028	-0.074	0.106	Barreiras Brancas	-0.026	-0.067	-0.002
Pena Cereja	0.030	-0.093	-0.016	Colorada	-0.065	0.014	-0.055
Antas	-0.003	0.104	-0.107	Frágua Castelo	0.015	-0.046	0.031
Bandeira	0.008	0.029	0.004	Palanque	-0.004	0.062	0.165
Areais	0.038	-0.001	0.084	Cambado	0.063	-0.019	0.074
Santo Estevão	0.031	-0.006	-0.006	Isenta	0.001	0.000	-0.111
Penedice	-0.068	0.126	0.055	Porto Covo	0.005	0.019	0.043
Gonçalo	-0.107	0.108	0.069	Barreira	0.013	-0.021	-0.027
Santa Cruz	-0.095	0.076	0.023	Mariano	-0.005	0.025	0.085
Couto Trute	-0.093	0.062	0.043	Calhau do Corvo	0.006	-0.143	0.053
Facho	-0.075	0.085	0.080	Vale da Pia	-0.010	-0.073	-0.135
Cesta	-0.100	0.128	0.100	Retorta	0.007	-0.037	0.064
Salgueiro	0.006	0.041	0.089	Altura do Catalão	0.009	-0.023	0.048
Medonho	-0.074	-0.082	-0.150	Alto do Pina	0.005	-0.031	0.031
Vale Tamão	-0.005	0.003	-0.016	Castelhana	-0.006	-0.130	-0.021
Seixo Pedrão	-0.047	0.039	0.012	Mendonça	-0.050	-0.030	0.058
Malhada Alta	-0.162	-0.065	0.072	Carmões	0.160	-0.006	0.067
Penedo Gordo	0.016	-0.028	-0.016	Foz	-0.010	0.010	0.022
Murado	0.020	-0.003	0.015	Malpique	0.031	0.010	0.040
Cavalinha	-0.036	-0.023	0.092				

Anexo J – Resultados numéricos, referentes à exatidão obtida com o programa PIVOT, para as variantes CTP e CMP, utilizando coordenadas cartesianas

Na Tabela 36 e na Tabela 37 encontram-se apresentados os resultados relativos à exatidão obtida com o modo de posicionamento RTK, com as suas duas variantes CTP e CMP, com recurso a coordenadas cartesianas.

Tabela 36 – Exatidão obtida para a média das 180 observações da variante CTP, relativamente ao programa PIVOT, utilizando as coordenadas cartesianas

VG	Referência - CTP (m)			VG	Referência - CTP (m)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
Durão	-0.147	-0.057	-0.079	Fárrio	0.070	-0.013	-0.026
Seixo do Monte	0.194	0.094	0.167	Cimalhadas	0.000	-0.027	-0.063
Castelinho	-0.031	-0.016	-0.070	Misericórdia	0.010	0.030	-0.036
Paregos	-0.005	-0.014	-0.072	Portela Alta 2	-0.009	-0.031	0.079
Três Senhoras	0.055	-0.013	0.003	Eirozes	-0.122	0.017	-0.099
Vale de Carrinhos	0.021	0.014	-0.068	Barreiras Brancas	-0.013	-0.025	0.032
Pena Cereja	-0.037	-0.026	0.005	Colorada	-0.098	0.093	-0.209
Antas	-0.093	0.036	-0.064	Frágua Castelo	-0.053	-0.032	0.094
Bandeira	-0.029	0.069	-0.011	Palanque	-0.035	0.033	0.006
Areais	-0.058	-0.007	-0.019	Cambado	-0.019	0.006	-0.013
Santo Estevão	-0.001	-0.044	-0.123	Isenta	0.019	0.049	0.028
Penedice	-0.017	0.022	-0.088	Porto Covo	-0.048	-0.049	-0.027
Gonçalo	0.027	-0.011	-0.006	Barreira	-0.009	-0.044	-0.032
Santa Cruz	-0.039	0.003	-0.015	Mariano	-0.043	-0.018	-0.007
Couto Trute	-0.052	-0.023	-0.016	Calhau do Corvo	0.035	0.022	-0.035
Facho	-0.055	0.031	0.013	Vale da Pia	-0.110	0.004	-0.021
Cesta	-0.007	-0.010	0.012	Retorta	-0.031	-0.026	-0.022
Salgueiro	-0.071	0.022	-0.071	Altura do Catalão	-0.079	0.029	-0.012
Medonho	-0.046	-0.073	-0.029	Alto do Pina	-0.017	-0.015	-0.040
Vale Tamão	-0.040	-0.026	-0.036	Castelhana	-0.013	0.042	-0.011
Seixo Pedrão	-0.122	0.069	-0.046	Mendonça	-0.001	-0.020	-0.067
Malhada Alta	0.024	-0.059	0.233	Carmões	0.013	-0.002	0.006
Penedo Gordo	0.030	-0.086	0.110	Foz	0.006	0.043	-0.002
Murado	0.018	0.011	0.041	Malpique	-0.016	0.021	0.002
Cavalinha	-0.040	0.004	0.024				

Tabela 37 – Exatidão obtida para a variante CMP, relativamente ao programa PIVOT, utilizando as coordenadas cartesianas

VG	Referência - CMP (m)			VG	Referência - CMP (m)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)		X (m)	Y (m)	Z (m)
Durão	-0.149	-0.032	-0.069	Fárrio	0.072	-0.009	-0.022
Seixo do Monte	-0.049	0.031	-0.042	Cimalhadas	0.028	-0.030	-0.046
Castelinho	-0.038	-0.015	-0.068	Misericórdia	0.000	0.020	-0.037
Paregos	-0.016	-0.013	-0.083	Portela Alta 2	-0.078	-0.015	-0.008
Três Senhoras	0.075	-0.010	0.003	Eirozes	-0.205	0.047	0.045
Vale de Carrinhos	0.031	0.019	-0.054	Barreiras Brancas	-0.022	-0.031	0.042
Pena Cereja	-0.044	-0.024	0.018	Colorada	-0.177	0.092	-0.080
Antas	-0.106	0.029	-0.076	Frágua Castelo	-0.070	0.037	0.003
Bandeira	-0.071	0.022	-0.028	Palanque	-0.030	0.032	0.011
Areais	1.888	0.700	-0.214	Cambado	-0.016	0.009	-0.013
Santo Estevão	0.008	-0.049	-0.094	Isenta	0.010	0.053	0.023
Penedice	-0.022	0.030	-0.081	Porto Covo	-0.024	-0.048	-0.041
Gonçalo	0.005	-0.013	-0.034	Barreira	-0.016	-0.043	-0.031
Santa Cruz	-0.020	-0.005	-0.009	Mariano	-0.040	-0.010	-0.004
Couto Trute	-0.047	-0.023	-0.011	Calhau do Corvo	0.034	0.019	-0.039
Facho	-0.172	0.059	-0.060	Vale da Pia	-0.072	0.022	0.000
Cesta	-0.008	0.006	0.019	Retorta	-0.017	-0.034	-0.015
Salgueiro	-0.071	0.033	-0.077	Altura do Catalão	-0.088	0.031	-0.020
Medonho	-0.101	-0.094	-0.052	Alto do Pina	-0.008	-0.024	-0.037
Vale Tamão	-0.045	-0.034	-0.051	Castelhana	-0.056	0.049	-0.031
Seixo Pedrão	-0.170	0.096	-0.082	Mendonça	0.010	-0.017	-0.069
Malhada Alta	-0.120	-0.010	-0.030	Carmões	0.018	0.001	0.000
Penedo Gordo	0.300	-0.088	0.507	Foz	0.005	0.043	-0.006
Murado	0.022	0.003	0.050	Malpique	-0.012	0.019	0.000
Cavalinha	-0.030	0.002	0.018				

Anexo K – Resultados numéricos, referentes à exatidão obtida com o programa PIVOT, para as variantes CTP e CMP, utilizando coordenadas geodésicas

Na Tabela 38 e na Tabela 39 encontram-se apresentados os resultados relativos à exatidão obtida com o modo de posicionamento RTK, com as suas duas variantes CTP e CMP, com recurso a coordenadas geodésicas.

Tabela 38 – Exatidão obtida para a média das 180 observações da variante CTP, relativamente ao programa PIVOT, utilizando as coordenadas geodésicas

VG	Referência - CTP (m)			VG	Referência - CTP (m)		
	lat (m)	lon (m)	alt (m)		lat (m)	lon (m)	alt (m)
Durão	0.015	0.044	-0.115	Fárrio	-0.046	0.043	0.040
Seixo do Monte	0.003	-0.141	0.231	Cimalhadas	0.039	-0.003	0.070
Castelinho	-0.016	-0.049	-0.005	Misericórdia	-0.010	-0.038	0.046
Paregos	0.016	0.025	0.071	Portela Alta 2	0.049	-0.053	0.137
Três Senhoras	-0.039	0.016	0.124	Eirozes	0.037	0.006	0.048
Vale de Carrinhos	-0.024	-0.082	0.034	Barreiras Brancas	-0.016	-0.014	0.067
Pena Cereja	0.015	-0.058	0.055	Colorada	-0.163	-0.118	-0.227
Antas	0.017	0.010	-0.045	Frágua Castelo	0.097	0.035	0.080
Bandeira	0.022	-0.039	-0.039	Palanque	0.028	0.061	0.122
Areais	0.052	0.015	0.096	Cambado	0.052	-0.028	0.003
Santo Estevão	-0.047	0.069	-0.113	Isenta	0.010	-0.054	-0.043
Penedice	0.006	-0.004	0.001	Porto Covo	0.007	0.049	0.018
Gonçalo	-0.025	-0.008	0.031	Barreira	-0.008	0.034	-0.033
Santa Cruz	-0.013	-0.008	0.021	Mariano	0.007	0.070	0.038
Couto Trute	-0.005	0.064	0.033	Calhau do Corvo	-0.001	-0.129	0.068
Facho	0.017	0.015	0.036	Vale da Pia	-0.013	-0.013	-0.222
Cesta	-0.036	0.009	0.067	Retorta	0.005	0.010	0.011
Salgueiro	0.004	0.024	-0.021	Altura do Catalão	0.013	-0.008	0.040
Medonho	-0.038	-0.016	0.013	Alto do Pina	-0.001	-0.010	0.004
Vale Tamão	0.000	0.005	0.000	Castelhana	-0.015	-0.108	-0.023
Seixo Pedrão	0.016	-0.012	-0.058	Mendonça	-0.061	-0.013	0.059
Malhada Alta	0.115	0.042	0.317	Carmões	0.152	-0.004	0.067
Penedo Gordo	0.021	0.087	0.129	Foz	0.001	-0.010	0.064
Murado	0.013	-0.007	0.052	Malpique	0.028	0.031	-0.012
Cavalinha	-0.004	-0.018	0.074				

Tabela 39 – Exatidão obtida para a variante CMP, relativamente ao programa PIVOT, utilizando as coordenadas geodésicas

VG	Referência - CMP (m)			VG	Referência - CMP (m)		
	lat (m)	lon (m)	alt (m)		lat (m)	lon (m)	alt (m)
Durão	0.025	0.011	-0.113	Fárrio	-0.044	0.037	0.044
Seixo do Monte	0.002	-0.024	-0.083	Cimalhadas	0.035	-0.005	0.103
Castelinho	-0.010	-0.049	-0.009	Misericórdia	-0.006	-0.023	0.039
Paregos	0.016	0.025	0.055	Portela Alta 2	0.023	-0.060	0.028
Três Senhoras	-0.053	0.009	0.138	Eirozes	0.202	-0.016	0.068
Vale de Carrinhos	-0.020	-0.089	0.049	Barreiras Brancas	-0.003	-0.005	0.067
Pena Cereja	0.029	-0.059	0.058	Colorada	-0.016	-0.103	-0.209
Antas	0.014	0.022	-0.062	Frágua Castelo	0.042	-0.048	0.003
Bandeira	0.033	0.029	-0.076	Palanque	0.029	0.062	0.129
Areais	-1.264	-1.266	1.355	Cambado	0.050	-0.031	0.005
Santo Estevão	-0.032	0.074	-0.087	Isenta	0.012	-0.057	-0.053
Penedice	0.015	-0.013	0.002	Porto Covo	-0.018	0.042	0.027
Gonçalo	-0.031	-0.001	-0.004	Barreira	-0.003	0.033	-0.038
Santa Cruz	-0.022	-0.002	0.041	Mariano	0.007	0.059	0.042
Couto Trute	-0.005	0.062	0.040	Calhau do Corvo	-0.004	-0.125	0.065
Facho	0.043	0.001	-0.102	Vale da Pia	-0.020	-0.042	-0.182
Cesta	-0.028	-0.012	0.070	Retorta	0.001	0.018	0.026
Salgueiro	0.000	0.009	-0.025	Altura do Catalão	0.013	-0.008	0.027
Medonho	-0.021	0.021	-0.042	Alto do Pina	-0.005	0.001	0.012
Vale Tamão	-0.008	0.017	-0.013	Castelhana	-0.003	-0.109	-0.069
Seixo Pedrão	0.022	-0.039	-0.121	Mendonça	-0.069	-0.018	0.065
Malhada Alta	0.012	0.002	0.033	Carmões	0.145	-0.008	0.067
Penedo Gordo	0.154	0.043	0.589	Foz	-0.002	-0.010	0.061
Murado	0.017	0.002	0.061	Malpique	0.024	0.034	-0.010
Cavalinha	-0.015	-0.017	0.077				

Anexo L – Dados relativos ao Tempo para primeira medição (TPM)

Na **Tabela 40** encontram-se apresentados tempos que foram gastos para efetuar a primeira medição (TPM), relativamente às variantes CTP e CMP do programa GPSNET e PIVOT.

Tabela 40 – Dados relativos ao TPM, respeitantes ao GPSNET e PIVOT

VG	GPSNET		PIVOT	
	CTP (s)	CMP (s)	CTP (s)	CMP (s)
Durão			91	85
Seixo do Monte			212	108
Castelinho			54	57
Paregos			194	200
Três Senhoras			60	81
Vale de Carrinhos			58	55
Penha Cereja				252
Antas			148	151
Bandeira	277	95	112	56
Areaais	63	184	101	42
Santo Estevão	119	314	159	137
Penedice	48	49	70	51
Gonçalo	49	46		90
Santa Cruz	62	71		41
Couto Trute		69	75	52
Facho			64	101
Cesta			152	56
Salgueiro			110	50
Medonho			49	79
Vale Tamão	72	117	93	93
Seixo Pedrão	87	345	32	114
Malhada Alta			90	93
Penedo Gordo	112	252	311	64
Murado	56	153	54	48
Cavalinha			98	83
Fárrio			63	72
Cimalhadas			129	60
Misericórdia			101	157
Portela Alta 2	142	107	139	248
Eirozes			77	90
Barreiras Brancas		96	118	58
Colorada			19	248
Frágua Castelo			48	39

Palanque			87	57
Cambado			83	73
Isenta			72	81
Porto Covo			120	129
Barreira				43
Mariano			90	93
Calhau do Corvo			94	75
Vale da Pia	165	85	202	152
Retorta			16	104
Altura do Catalão	50	264	76	57
Alto do Pina	61	65	111	48
Castelhana			63	106
Mendonça			104	53
Carmões			97	88
Foz			74	142
Malpique	54	71	93	60