



# PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO DE UMA REDE GPS PERMANENTE

Gonçalo Prates

Licenciado em Engenharia Geográfica

Orientador: Prof. Doutor Virgílio Mendes

Dissertação submetida para a obtenção do grau de  
Mestre em Ciências e Engenharia da Terra

Setembro 2003



# AUTOMATED PROCESSING OF A PERMANENT GPS NETWORK

Gonçalo Prates

Diploma in Engenharia Geográfica

Supervisor: Prof. Doctor Virgílio Mendes

Dissertation submitted in partial fulfillment of the  
requirements for the degree of Master of Sciences  
in *Ciências e Engenharia da Terra*

September 2003

## Sumário

O principal objectivo do Sistema de Posicionamento Global (GPS) é providenciar navegação e tempo precisos, em qualquer local do globo e sob quaisquer condições atmosféricas, 24 horas por dia. Para além disso, com base no grande número de estações permanentes, os estudos da atmosfera, do campo gravitacional e das modificações da crosta terrestre surgem como algumas das mais interessantes aplicações do GPS.

Estas aplicações são apoiadas em redes de estações GPS, como as redes IGS (*International GPS Service*) e EPN (*European Reference Frame (EUREF) Permanent Network*), que facultam as suas bases de dados de observações GPS, contribuindo indirectamente para o aumento de redes regionais a nível global. O IGS providencia também órbitas precisas dos satélites GPS, mapas de conteúdo total de electrões na ionosfera e modelos cinemáticos globais para a tectónica.

Nos últimos anos, várias estações GPS permanentes foram também instaladas em Portugal, originando grandes bases de dados de observações GPS. São vários os produtos que podem ser potencialmente obtidos usando estas observações GPS, existindo no entanto necessidade de implementar sistemas automáticos que facilitem as morosas operações de processamento de observações GPS.

O principal objectivo deste estudo é implementar um sistema automático de processamento, com base no *Bernese GPS Software 4.2*, mais especificamente no *Bernese Processing Engine*, para processar as observações GPS recolhidas por uma rede de estações permanentes localizadas na região do Atlântico Nordeste, e que inclui estações mantidas pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL).

A rede é constituída por estações IGS (Madrid, Maspalomas, Ponta Delgada, San Fernando e Villa Franca del Campo), estações EUREF (Cascais, Vila Nova de Gaia e Lagos) e estações da FCUL (Flores, Graciosa, Santa Maria, Instituto de Meteorologia da Madeira, Observatório Astronómico de Lisboa Norte e Observatório Astronómico de Lisboa Sul). Esta rede abrange a Península Ibérica e os Arquipélagos dos Açores, Madeira e Canárias, o que possibilita uma análise geodinâmica da região, onde interagem três placas tectónicas.

O *Bernese GPS Software 4.2*, desenvolvido na Universidade de Berna, assenta em programas *Fortran* controlados por *shell scripts*. As opções de processamento são introduzidas através de painéis que podem ser preenchidos com o auxílio do sistema de menus do *software*.

A implementação do sistema automático foi iniciada com a construção de um *Process Control File* (PCF) que contém a sequência de operações de processamento pretendidas, controladas

por um conjunto de *shell scripts* incluídas no *Bernese GPS Software 4.2*, para além de algumas variáveis e parâmetros associados às operações definidas.

A construção do PCF é extremamente útil no preenchimento de todos os painéis necessários aos programas requeridos pelas operações de processamento listadas. Deste modo, os vários painéis foram facilmente preenchidos utilizando o *Panel Editing Tool* incluído no sistema de menus do *Bernese GPS Software* específico para o *Bernese Processing Engine*.

O *software* de processamento necessita ainda que alguma informação respeitante às estações seja definida *a priori*. Esta informação consta de quatro ficheiros, onde são indicados o nome das várias estações da rede, o conjunto receptor/antena de cada estação, a altura da antena e as coordenadas aproximadas de todas as estações. A referida informação tem de ser obtida e devidamente escrita, já que estes ficheiros têm formatação rígida.

Antes do processamento das observações GPS foi ainda necessário corrigir as informações de identificação incluídas nos ficheiros de observações adquiridas por estações FCUL. Para tal fez-se uso do programa TEQC de conversão/correção de ficheiros de observações elaborado pela UNAVCO. Como complemento à execução da correção dos ficheiros, foram preparados programas em *Fortran* para efectuar operações de simples leitura e escrita em ficheiros e/ou de escrita de sequências de linhas de comando, para facilitar a correção do grande número de ficheiros diários existentes.

De um modo geral, a informação disponível para a implementação do sistema automático, quer a existente no manual do *Bernese Software*, quer através dos *Bernese Software (BSW) Mails* acessíveis no ftp oferecido pela Universidade de Berna, é suficiente. Os *BSW Mails* foram de grande utilidade na correção de alguns erros encontrados no *software*, como os relacionados com o problema do ano 2000.

Uma das vantagens do *Bernese Processing Engine* é a sua capacidade de processar a mesma informação diária, usando diferentes estratégias, numa única sequência de processamento. Esta capacidade possibilitou a avaliação de um conjunto de 5 estratégias de processamento com o objectivo de encontrar aquela que proporciona as melhores soluções, tanto ao nível da sua precisão como da sua exactidão.

Para estudar a influência de diferentes métodos de processamento, foram consideradas 5 estratégias diferentes para processar 4 anos de observações GPS. A estratégia-base segue o procedimento padrão dos centros de análise do IGS, fazendo uso de órbitas pós-processadas e corrigindo o efeito da variação do centro de fase das antenas. As soluções finais resultaram do uso da combinação livre de ionosfera e da inclusão de 12 parâmetros troposféricos por sessão, relativos a períodos de 2 horas cada.

As 5 estratégias de processamento originaram 5 soluções distintas para a mesma informação GPS diária, que diferem em (1) ambiguidades não resolvidas, (2) ambiguidades resolvidas, (3) ângulo de máscara diferente, (4) estimação de gradientes troposféricos e (5) modelação da carga oceânica em cada estação.

O tratamento estatístico que se efectuou em todas as bases assentou na análise dos resíduos das soluções diárias em relação à tendência de cada base obtida pela sua regressão linear. As soluções cujos resíduos se encontram fora do intervalo de confiança a 99% foram tidas como soluções aberrantes e retiradas das respectivas séries temporais de soluções. A repetibilidade de cada estratégia foi avaliada pelo erro médio quadrático dos resíduos, antes e depois da eliminação de soluções aberrantes em cada base.

Deste estudo conclui-se que a repetibilidade das soluções diárias é idêntica nas estratégias de processamento estudadas, se não existirem soluções aberrantes, embora algumas estratégias tendam a gerar mais soluções aberrantes que outras. Deste ponto de vista, a estratégia menos vulnerável a soluções aberrantes usa ambiguidades fixas, um ângulo de máscara de 10° e não estima gradientes troposféricos. A modelação da carga oceânica não mostrou implicações na repetibilidade das bases, ainda que possa ter influência na exactidão.

Como subproduto do estudo, são apresentadas e discutidas várias séries temporais de bases. As séries temporais obtidas mostram que séries longas e contínuas registam incertezas nas velocidades estimadas da ordem do 0.1 mm/ano ou melhor, testemunhando o mérito do GPS na estimação de deslocamentos tectónicos.

Para além disso, verificou-se que as velocidades estimadas para as diferentes soluções, dadas pelas 5 diferentes estratégias em cada base, registam um desvio em relação ao valor médio para as várias estratégias da ordem dos 0.05 mm/ano, quando se avaliam séries temporais mais longas, indicando pouca influência da escolha da estratégia nestes casos.

Ressalva-se que as velocidades apresentadas neste estudo devem ser confirmadas por séries mais longas, em especial aquelas envolvendo as estações açoreanas, onde se têm verificado alguns problemas de *hardware* que têm resultado numa pequena quantidade de observações registadas nestas estações.

Finalmente, pode concluir-se que o sistema automático de processamento implementado se tornou uma ferramenta robusta capaz de alcançar resultados que recompensem os esforços feitos na instalação de estações GPS permanentes, em especial para a detecção de movimento entre placas tectónicas ou no interior de uma mesma placa.

**Palavras chave:** GPS; Processamento automático; Açores; Geodinâmica.

## Abstract

The Global Positioning System (GPS) primary goal is to provide precise time and navigation, anywhere in the world and under any atmospheric conditions, 24 hours a day. Nevertheless, based on the raise of permanent GPS stations worldwide the study of the Earth's atmosphere, gravitational field and crustal changes became some of the most remarkable outcomes.

In the last years, many permanent GPS stations were also established in Portugal, originating large databases of GPS observations. Various products can potentially be attained using this large GPS observations databases, although this requires the implementation of automated systems to ease the time-consuming standard GPS data processing tasks.

The main objective of this study is the implementation of an automated processing system based on the Bernese GPS Software 4.2, particularly the Bernese Processing Engine, for the computation of the GPS observations retrieved by a network of permanent stations situated in the Northeast Atlantic region.

To test the implemented automated system, a total of 4 years of GPS data pertaining to 14 stations positioned in the Iberian Peninsula and in the Archipelagos of the Azores, Madeira and Canaries were processed. The automated system was implemented in such a way that 5 processing strategies were considered to study the influence of diverse approaches in GPS data processing. As a by-product of the processing, a geodynamic revision of the Northeast Atlantic region, where three tectonic plates interact, can be made.

The 5 processing strategies give 5 different daily solutions for the same gathered GPS data, which are different in (1) fixing or (2) not fixing the ambiguities, (3) utilizing distinct cut-off angles, (4) estimating tropospheric gradients and (5) modeling the ocean loading effect.

It is shown that the repeatability of the daily solutions is similar for the studied processing strategies, if no outliers were present, but some strategies tend to generate more outliers than others. From that viewpoint, the strategy less vulnerable to outliers used fixed ambiguities, a 10° cut-off angle and no tropospheric gradients estimation. The ocean loading modeling can be used without implications in baseline repeatability.

As a by-product, several time series of baselines will be presented and discussed. It is shown that longer time series offer a better degree of certainty about authentic motion. In fact, the attained time series show that longer and continuous series may provide uncertainties for the estimated velocities in the order of 0.1 mm/year or better, testifying to the merit of GPS in estimating tectonic displacements.

**Keywords:** GPS; Automated processing; Azores; Geodynamics.