

GABRIEL DINIZ DE OLIVEIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE SERVIÇO ON-LINE PARA PROCESSAMENTO DE
DADOS GNSS COM SOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADES PELO MÉTODO
LAMBDA PARA APLICAÇÃO EM LINHAS DE BASE CURTAS NO
POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO RÁPIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: William Rodrigo Dal Poz

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Oliveira, Gabriel Diniz de, 1988-
O48i Implementação de serviço on-line para processamento de
2021 dados GNSS com solução das ambiguidades pelo método
lambda para aplicação em linhas de base curtas no
posicionamento relativo estático rápido / Gabriel Diniz de
Oliveira. – Viçosa, MG, 2021.
97 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: William Rodrigo Dal Poz.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 92-97.

1. Bernese GNSS (Software). 2. Sistema
de Posicionamento Global. 3. Satélites artificiais em navegação.
4. Processamento eletrônico de dados. 5. Geodésia.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
II. Título.

CDD 22. ed. 526.1

GABRIEL DINIZ DE OLIVEIRA

**IMPLEMENTAÇÃO DE SERVIÇO ON-LINE PARA PROCESSAMENTO DE
DADOS GNSS COM SOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADES PELO MÉTODO
LAMBDA PARA APLICAÇÃO EM LINHAS DE BASE CURTAS NO
POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO RÁPIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 02 de julho de 2021

Assentimento:



Gabriel Diniz de Oliveira
Autor



William Rodrigo Dal Poz
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida, força e saúde para concluir esta pesquisa.

A minha família pelo apoio a minha educação e conscientização da importância disso.

A minha querida esposa Marília por todo amor recebido, sendo o meu porto seguro nos momentos difíceis.

Aos meus amigos que diretamente e indiretamente me incentivaram e motivaram.

Ao INCRA pela licença concedida para cursar a pós-graduação.

A Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de fazer o curso.

Ao Departamento de Engenharia Civil que disponibilizou equipamentos, instalações e aplicativos computacionais.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todos os servidores e colaboradores que se dedicaram em disponibilizar meios para realização do curso.

A todos os professores que tive a oportunidade de aprender ensinamentos que levarei para toda a vida.

Aos professores Joel Gripp e Eder Marques, e toda a equipe dos projetos de extensão, como peças vitais para a aquisição da licença do software Bernese GNSS.

Ao professor orientador William Rodrigo Dal Poz, pela confiança, paciência, ensinamentos e todas as contribuições.

Aos membros da banca: Paulo de Oliveira Camargo, Edvaldo Simões da Fonseca Júnior, Eder Teixeira Marques e Dalto Domingos Rodrigues, pelas valiosas contribuições.

“Tudo deveria se tornar o mais simples possível, mas não simplificado.”

Albert Einstein

RESUMO

OLIVEIRA, Gabriel Diniz de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Implementação de serviço on-line para processamento de dados GNSS com solução das ambiguidades pelo método lambda para aplicação em linhas de base curtas no posicionamento relativo estático rápido.** Orientador: William Rodrigo Dal Poz.

O processamento de dados do sistema *Global Navigation Satellite System* (GNSS) realizado por softwares científicos é uma necessidade crescente nos estudos da Geodésia. Porém, o uso dessa ferramenta nem sempre é uma tarefa fácil, de forma que um sistema auxiliar ao processamento é importante para a eficiência das pesquisas de toda a comunidade de usuários dessas aplicações. No final de 2016, a Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Departamento de Engenharia Civil, adquiriu uma licença para pesquisa do software Bernese GNSS, versão 5.2. Esse programa dá suporte a diversas pesquisas relacionadas à Geodésia, no entanto, sua utilização requer conhecimentos técnicos específicos. Desse modo, esta pesquisa tem o objetivo de desenvolver um serviço on-line para processamento de dados GNSS, que possibilite o compartilhamento do uso do Bernese na UFRV. O sistema denominado GNSS-UFV está disponível no endereço <http://gnss.ufv.br>, estando preparado para receber, auxiliar e gerenciar as solicitações de processamento de dados GNSS nos métodos PPP e relativo do Bernese e posteriormente encaminhar ao usuário e armazenar os resultados dos processamentos. Este sistema foi desenvolvido em sua maior parte na linguagem Python, utilizando o banco de dados Postgres e está preparado para ser executado tanto em um servidor Linux quanto Windows. O processamento pelo GNSS-UFV foi testado e comparado com o do IBGE-PPP e AUSPOS utilizando dados de 24 horas de rastreamento. No método PPP, as acurácias médias em resultantes planimétricas foram de 0,014m tanto para o GNSS-UFV quanto para o IBGE-PPP. No método relativo do GNSS-UFV, que utiliza como referência as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), para uma seleção de múltiplas estações de referência em um raio de 500km da estação VICO, obteve-se as acurácias médias em resultantes planimétricas de 0,006m. Já para o AUSPOS a acurácia média foi de 0,009m. Ademais, foi implementada no GNSS-UFV nova rotina

para processamento de dados estático rápido. Apesar do Bernese ser focado no posicionamento de alta acurácia, a partir desta pesquisa conseguiu-se eficiência no processamento de rastreios de curta duração utilizando o método Lambda v3.0 para a solução das ambiguidades e uma reestruturação do controle de qualidade das observações do software Bernese. Os resultados dos processamentos de dados de 5 a 20 minutos de rastreio foram comparados com os resultados dos softwares *Magnet Office Tools* (Topcon), *Trimble Business Center* (TBC) e RTKLIB. Com o GNSS-UFV, obteve-se a menor média das discrepâncias tridimensionais, sendo 0,089m (GNSS-UFV), 0,120m (Magnet), 0,124m (RTKLIB) e 0,186m (TBC) para dados GPS L1. Espera-se que o desenvolvimento deste serviço proporcione novas oportunidades em diversas pesquisas, auxiliando na disseminação do conhecimento em processamento de dados GNSS utilizando softwares científicos.

Palavras-chave: Software Bernese GNSS. PPP-GNSS. Posicionamento Relativo Estático Rápido. Serviços on-line GNSS. Solução de ambiguidade GNSS.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Gabriel Diniz de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Implementation and evaluation of online service for processing GNSS data with lambda ambiguity resolution for application in short baselines with rapid-static relative positioning**. Adviser: William Rodrigo Dal Poz.

The processing of data from the Global Navigation Satellite System (GNSS) performed by scientific software is a growing need in studies of Space Geodesy. However, usage this tool is not always an easy task, so an auxiliary processing system is important for the efficiency of research by the entire community of users of these applications. In 2016, Federal University of Viçosa (UFV) acquired a license to research users of the the Bernese GNSS software, version 5.2. This program supports several researches related to Space Geodesy, however, its use requires specific technical knowledge. Thus, this research aims to develop an online service for processing GNSS data, which allows sharing the use of Bernese at UFV. The system called GNSS-UFV is available at <http://gnss.ufv.br>, and is prepared to receive, assist and manage requests for GNSS data processing, in PPP and Relative methods, forward the results to the user and store them. This system was developed mostly in Python language, using the Postgres database and is prepared to run on both a Linux and Windows server. Processing by GNSS-UFV was tested and compared with that of IBGE-PPP and AUSPOS using daily files. In the PPP method, the average accuracy in planimetric results was 0.014 m, both for GNSS-UFV and for IBGE-PPP. In the GNSS-UFV relative method, which uses as a reference stations of Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems (RBMC), for a selection of multiple reference stations within a radius of 500km from the VICO station, the average accuracies were obtained in resultant planimetrics of 0.006m. In AUSPOS, the average accuracy was 0.009m. In addition, a new routine for rapid static processing was implemented in the GNSS-UFV. Although the Bernese is focused on high accuracy positioning, from this research it was possible to efficiently process rapid static data using the Lambda v3.0 method to resolve ambiguities and restructure the quality control observations of the Bernese software. The results of 5 to 30 minutes Bernese data processing were compared to those obtained by the Magnet Office Tools (Topcon), Trimble Business Center (TBC) and RTKLIB software.

The processing by GNSS-UFV returned the lowest average of three-dimensional discrepancies, being 0.089m (GNSS-UFV), 0.120m (Magnet), 0.124m (RTKLIB) and 0.186m (TBC) for GPS L1 data. The development of this platform can provide new opportunities in several researches, helping the dissemination of knowledge in GNSS data processing using scientific software.

Keywords: Bernese GNSS software. PPP-GNSS. Rapid-Static Relative Position. GNSS online services. GNSS ambiguities resolution.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APPS – *Automatic Precise Positioning Service*

AIUB - *Astronomisches Institut Universität Bern*

API – *Application Programming Interface*

AUSPOS - *On-line GPS Processing Service*

BPE – *Bernese Processing Engine*

CODE - *Center for Orbit Determination in Europe*

CORS - *Continuously Operating Reference Station*

CSRS - *Canadian Spatial Reference System*

DEC – *Departamento de Engenharia Civil da UFV*

ECOM – *Empirical CODE Orbit Model*

EUREF - *Reference Frame Sub-Commission for Europe*

EPN – *EUREF Permanent GNSS Network*

FTP - *File Transfer Protocol*

GAMIT - *GNSS at MIT*

GAPS - *GPS Analysis and Positioning Software*

GPS - *Global Positioning System*

GIM - *Global Ionosphere Model*

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

GLONASS - *Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema*

GMF – *Global Map Function*

IBGE - *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*

IGL - *IGS Final Products for GLONASS*

IGS – *International GNSS Service*

IERS – *International Earth Rotation and Reference System Service*

ILS – *Integer Last Square*

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

ITRF – *International Terrestrial Reference Frame*

JPL - *Jet Propulsion Laboratory*

LEO - *Low Earth Orbit*

MVC – *Matriz Variância Covariância*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NGS - *National Geodetic Survey*

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

NRCan - *National Resources Canada*

NSRC - *National Spatial Reference System (USA)*

OPUS – *Online Positioning User Service*

PAGES - *Program for the Adjustment of GPS Ephemerides*

PCF - *Process Control File*

PPP - *Posicionamento por Ponto Preciso*

QIF – *Quasi-Ionosphere Free*

QZSS - *Quasi-Zenith Satellite System*

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS

RDP – *Remote Desktop Protocol*

RINEX - *Receiver Independent Exchange Format*

RMS – *Root Mean Square*

RSGPS - *Rapid Static GPS Software*

SCOUT - *Scripps Coordinate Update Tool*

SINEX - *Solution Independent Exchange*

SIRGAS - *Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas*

SOPAC - *Scripps Orbit and Permanent Array Center*

SPP - *Single Point Positioning*

SLR - *Satellite Laser Range*

TEC - *Total Electron Content*

UFV – *Universidade Federal de Viçosa*

UML – *Unified Modeling Language*

VMF – *Vienna Map Function*

VPN – *Virtual Protocol Network*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Interface web do CSRS-PPP.	25
Figura 2 — Interface web do IBGE-PPP.	27
Figura 3 — Interface web do APPS.	29
Figura 4 — Interface web do OPUS.	31
Figura 5 — Interface web do GAPS.	32
Figura 6 — Interface web do TRIMBLE RTX.	34
Figura 7 — Interface web do MagicGNSS Web.	35
Figura 8 — Interface web do RT_PPP.	36
Figura 9 — Interface web do SCOUT.	37
Figura 10 — Localização das estações da rede IGS.	38
Figura 11 — Interface web do AUPOS.	39
Figura 12 — Diagrama de caso de uso do sistema GNSS-UFV.	44
Figura 13 — Fluxograma principal do sistema GNSS-UFV.	45
Figura 14 — Diagrama de implementação do sistema GNSS-UFV.	47
Figura 15 — Página inicial do sistema GNSS-UFV.	49
Figura 16 — Interface de solicitação de processamento pelo método PPP.	50
Figura 17 — Interface de solicitação de processamento pelo método relativo.	51
Figura 18 — Submenu para acesso aos formulários de solicitação de processamento no método relativo.	52
Figura 19 — Interface de solicitação de processamento pelo método relativo para múltiplas linhas de base.	53
Figura 20 — Diagrama de Classes UML do sistema GNSS-UFV.	54
Figura 21 — Estratégias de seleção das linhas de base no software Bernese GNSS.	61
Figura 22 — Acurácias em resultantes planimétricas do IBGE-PPP e GNSS-UFV para o PPP.	66
Figura 23 — Acurácias em componentes altimétricas do IBGE-PPP e GNSS-UFV para o PPP.	66
Figura 24 — Linha de base MGBH x VICO.	69
Figura 25 — Acurácias em resultantes planimétricas do AUPOS e GNSS-UFV para o método relativo com linha de base única.	70

Figura 26 — Acurácias em componentes altimétricas do AUPOS e GNSS-UFV e para o método relativo com linha de base única.	70
Figura 27 — Linhas de base múltiplas, com seleção manual.	72
Figura 28 — Acurácias em resultantes planimétricas obtidas pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base com seleção manual das estações de referência.	72
Figura 29 — Acurácias em componentes altimétricas obtidas pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base com seleção manual das estações de referência.	73
Figura 30 — Linhas de base múltiplas, com seleção automática.	74
Figura 31 — Acurácias em resultantes planimétricas obtidas pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base, com seleção automática das estações de referência.	75
Figura 32 — Acurácias em componentes altimétricas obtidas pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base, com seleção automática das estações de referência.	75
Figura 33 — Localização das estações utilizadas para processamento pelo AUSPOS.	77
Figura 34 — Localização das estações utilizadas no processamento estático rápido.	79
Figura 35 — Resultado do processamento manual relativo estático rápido no software Bernese GNSS.	81
Figura 36 — Resultado do processamento relativo estático rápido no RTKLIB.	82
Figura 37 — Resultado do processamento relativo estático rápido no Topcon Tools.	83
Figura 38 — Discrepâncias tridimensionais nas coordenadas estimadas para diferentes testes de validação das ambiguidades.	85
Figura 39 — Resultado do processamento relativo estático rápido no GNSS-UFV.	86
Figura 40 — Discrepância Tridimensional obtida nos processamentos de dados utilizando a portadora L1 em diferentes softwares.	87
Figura 41 — Discrepância Tridimensional obtida nos processamentos de dados utilizando as portadoras L1 e L2 em diferentes softwares.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre serviços de processamento de dados GNSS.	40
Tabela 2 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo método PPP no GNSS-UFV e no IBGE-PPP.	67
Tabela 3 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo AUPOS e GNSS-UFV para método relativo com linha de base única.	71
Tabela 4 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base com seleção manual das estações de referência.	73
Tabela 5 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base, com seleção automática das estações de referência.	76
Tabela 6 – Comprimento das linhas de base utilizadas para processamento pelo AUSPOS.	77
Tabela 7 – Comprimento das linhas de base formadas no processamento estático rápido.	79
Tabela 8 – Resultado do processamento relativo estático rápido no software Bernese GNSS agrupado pelo tempo de rastreamento.	81
Tabela 9 – Resultado do processamento relativo estático rápido no RTKLIB agrupado pelo tempo de rastreamento.	83
Tabela 10 – Resultado do processamento relativo estático rápido no TopconTools agrupado pelo tempo de rastreamento.	84
Tabela 11 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo GNSS-UFV para o método relativo estático rápido.	86
Tabela 12 – Resultado do processamento relativo estático rápido no GNSS-UFV agrupado pelo tempo de rastreamento.	87
Tabela 13 – Análise exploratória dos resultados obtidos com uso do método relativo estático rápido utilizando a portadora L1 em diferentes softwares.	88
Tabela 14 – Análise exploratória dos resultados obtidos com uso do método relativo estático rápido utilizando as portadoras L1 e L2 em diferentes softwares.	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	21
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.2 CONTRIBUIÇÕES DA TESE	22
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2 SERVIÇOS ON-LINE DE PROCESSAMENTO GNSS	24
2.1 CANADIAN SPATIAL REFERENCE SYSTEM PPP (CSRS-PPP)	25
2.2 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-PPP (IBGE-PPP)	26
2.3 AUTOMATIC PRECISE POSITIONING SERVICE (APPS)	28
2.4 ONLINE POSITIONING USER SERVICE (OPUS)	30
2.5 GPS ANALYSIS AND POSITIONING SOFTWARE (GAPS)	31
2.6 CENTERPOINT RTX POST-PROCESSING (TRIMBLE)	33
2.7 MAGICGNSS	34
2.8 REAL TIME PPP (RT_PPP)	36
2.9 SCRIPPS COORDINATE UPDATE TOOL (SCOUT)	37
2.10 AUSPOS	38
2.11 RESUMO COMPARATIVO DOS SERVIÇOS ON-LINE DE PROCESSAMENTO	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 MATERIAIS	42
3.2 SISTEMA GNSS-UFV	43
3.2.1 API PARA O SOFTWARE BERNESE GNSS	46
3.2.2 INTERFACE WEB	48
3.2.3 ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS	54
3.2.4 FILA DE PROCESSAMENTO	55
3.2.5 ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO DE DADOS GNSS	56
3.2.5.1 ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO PELO MÉTODO PPP	56
3.2.5.2 ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO PELO MÉTODO RELATIVO	58
3.2.5.2.1 LINHA DE BASE ÚNICA	58

3.2.5.2.2 LINHAS DE BASE MÚLTIPLAS	61
3.2.5.2.3 ESTÁTICO RÁPIDO	62
4 EXPERIMENTOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO	65
4.2 POSICIONAMENTO RELATIVO	68
4.2.1 LINHA DE BASE ÚNICA	68
4.2.2 LINHAS DE BASE MÚLTIPLAS	71
4.2.2.1 SELEÇÃO MANUAL DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA	71
4.2.2.2 SELEÇÃO AUTOMÁTICA DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA	74
4.2.3 ESTÁTICO RÁPIDO	78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

O número de usuários que necessitam de posicionamento pelo *Global Navigation Satellite System* (GNSS) de alta qualidade está crescendo cada vez mais. Entretanto, a disponibilidade de soluções tecnológicas para essa demanda, em sua maior parte, está restrita a produtos comerciais de alto custo, serviços on-line pouco flexíveis ou a softwares científicos de uso complexo.

O setor privado vem evoluindo no desenvolvimento de novas soluções, disponibilizando produtos com a capacidade de obter um posicionamento preciso com menor interferência do usuário. Todavia, a disputa comercial por mercado faz com que as empresas se preservem, não expondo detalhes das modelagens matemática e estocástica.

Os softwares para fins comerciais procuram realizar o processamento dos dados exigindo o mínimo de interferência do usuário, com a finalidade de simplificar seu uso. Com isso, informações importantes a respeito da estratégia de processamento podem ser omitidas, como por exemplo: métodos e critérios para resolução das ambiguidades, parâmetros de ajustamento, resíduos das observações, algoritmos para detecção de *outliers*, dentre outros.

A omissão de informações sobre o processamento traz insegurança ao usuário a respeito dos resultados obtidos, pois em alguns casos as coordenadas estimadas podem ser precisas, mas não acuradas. Essas omissões do processamento geram desconfianças a respeito dos resultados, tendendo à inviabilização de uso desses sistemas em pesquisas no meio acadêmico.

A escolha da estratégia ideal de processamento às vezes é subjetiva, pois existem diversos fatores que afetam as observações. Por exemplo, a escolha do método de solução das ambiguidades a partir da definição de linha de base curta ou média pode não ser o suficiente para obter o melhor resultado. Dal Poz e Camargo (2008) apresentaram a influência da variação do *Total Electron Content* (TEC) na definição do comprimento de linha de base, evidenciando que em períodos de atividade ionosférica intensa são necessárias linhas de base menores para a solução das ambiguidades, utilizando a combinação linear livre da ionosfera (*ion-free* - L_3 ou L_0).

Para finalidades científicas, como controle e estimativa de deformação da crosta terrestre, monitoramento de sismos, densificação de redes geodésicas e outras

atividades que exigem estimativas precisas de posicionamento e velocidades da área em estudo, o pós-processamento realizado por softwares científicos torna-se uma alternativa aos estudos da Geodésia (SCARAMBONI; CHAVES, 2013).

O uso de softwares científicos, no geral, nem sempre é uma tarefa fácil quando comparados com soluções comerciais que visam produtividade. Por isso, ter um sistema que auxilie no processamento dos dados é de fundamental importância para a eficiência das pesquisas de toda a comunidade que utiliza essas aplicações.

No final de 2016, a Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Departamento de Engenharia Civil (DEC), adquiriu uma licença do software Bernese GNSS, na versão 5.2, para pesquisa e ensino. Esse é um software científico para o processamento de dados GNSS, desenvolvido no Instituto Astronômico da Universidade de Berna (AIUB), na Suíça (DACH *et al.*, 2015). Haja visto que o código fonte do software é disponibilizado aos usuários que adquirem sua licença, tem-se a possibilidade de implementação e aprimoramento das suas funcionalidades.

O Bernese GNSS apoia diversas pesquisas na Geodésia e tem sido usado por mais de 700 instituições ao redor do mundo (FRIDEZ, 2021). Porém, seu uso não é uma tarefa simples. Os usuários iniciantes podem se deparar com dificuldades no uso desse software, tendo em vista que ele requer conhecimentos técnicos específicos e aprofundados.

Da data de aquisição do software pelo DEC até o domínio da ferramenta, foi despendido mais de um ano de treinamento não assistido por parte dos alunos do curso de pós-graduação na área de concentração em informações espaciais, haja visto que a Universidade de Berna (UNIBE) promove um curso semestral, porém no valor de CHF1.200,00 (Franco Suíço), que corresponde a aproximadamente R\$7.200,00 (FRIDEZ, 2021), além dos valores de passagem e hospedagem na Suíça.

Desta forma, o tempo de ambientação e treinamento para uso do software Bernese GNSS é relativamente grande para projetos de pesquisa de curta duração e o curso oneroso. Nesse sentido, uma aplicação web com uma interface intuitiva tenderia a minimizar essa dificuldade, conseqüentemente reduzindo o tempo necessário para a conclusão dos projetos de pesquisa.

Conforme detalhado por Dach *et al.* (2015), o Bernese é projetado para processamentos de dados GNSS de alta precisão, sendo muito utilizado no monitoramento e determinação de redes geodésicas de alta precisão. Desse modo, métodos que visam a produtividade em levantamentos com GNSS, como o caso do

método estático rápido, não são priorizados por esse software, fazendo com que esses tipos de processamentos sejam normalmente realizados com o uso de softwares comerciais.

Para a versão 4.0 do software Bernese GNSS, Rothacher e Mervart (1996) chegaram a apresentar uma solução para processamentos estáticos rápidos utilizando a estratégia SEARCH para a solução das ambiguidades. Entretanto Dach *et al.* (2015) sugerem aos usuários não se utilize dessa metodologia.

Tut *et al.* (2013) analisaram a eficiência de linhas de base únicas menores que 10 km, utilizando a estratégia SEARCH para a solução de ambiguidades em dados de rastreamento com menos de 30 minutos, no Bernese versão 5.0. Os autores concluíram que o software não é eficiente para o método estático rápido, devido às falhas na solução das ambiguidades, provenientes do alto número de *outliers* detectados na solução.

Sendo assim, implementar um método de solução das ambiguidades alternativo ao método SEARCH, como por exemplo o método Lambda (LI, VERHAGEN, TEUNISSEN, 2013), se faz necessário para viabilizar o processamento de dados GNSS no modo estático rápido com o software Bernese GNSS.

Li e Teunissen (2011) avaliaram o desempenho do método Lambda em comparação às demais abordagens de resolução das ambiguidades do Bernese. Utilizando dados de 24h de rastreamento em linhas de base de 380 km em média, concluíram que o método em estudo está em conformidade aos demais presentes no software e sugeriram sua incorporação no mesmo, devido ao fácil uso do método em cenários multiplataformas GNSS. Entretanto, os autores não avaliaram dados de curto período de rastreamento e não realizaram teste para validação das ambiguidades fixas, mas aconselharam para trabalhos futuros.

As rotinas de processamento para o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e Relativo da versão 5.2 dificilmente processam dados com menos de uma hora de rastreamento, pois durante a rotina de pré-processamento os algoritmos de controle de qualidade das observações acabam eliminando esses arquivos do processamento.

A acurácia no posicionamento GNSS, utilizando o método estático rápido, possui uma relação muito forte com a solução das ambiguidades (ROTHACHER; MERVART, 1996; HASTAOGLU; SANLI, 2011; TUT *et al.*, 2013), e a solução das ambiguidades é muito influenciada pelos *outliers* nas observações (TUT *et al.*, 2013).

Schaer *et al.* (2010) integraram um módulo escrito na linguagem Fortran para o método Lambda (JONGE; TIBERIUS, 1996) ao software Bernese GNSS versão 5.0. Após processarem dados de 5 minutos coletados com receptores de dupla frequência para uma única linha de base de 41 km, tiveram resultados com desvios padrões da ordem de poucos milímetros, entretanto não verificaram as discrepâncias dos resultados com relação a um referencial mais acurado.

Atualmente estão implementados no Bernese os seguintes métodos para solução das ambiguidades: ROUND (arredondamento), SEARCH (baseado no método *Fast Ambiguity Resolution Approach – FARA* –, conforme Frei e Beutler, 1990), SIGMA e *Quasi-Ionosphere Free* (QIF). O método LAMBDA, embora apareça em alguns painéis da interface gráfica do software, ainda não está disponível para uso devido à falta de implementação para um cenário multiplataforma GNSS (SCHAER *et al.*, 2010; DACH *et al.*, 2015).

A versão do Bernese, apesar de científico e para aplicações de pesquisa, possui licença paga. Todavia, uma das possíveis formas de realizar o processamento de dados GNSS utilizando o software gratuitamente é através do serviço on-line AUSPOS (JIA; DAWSON; MOORE, 2014). Nele é possível processar somente em rede, utilizando como referência estações do *International GNSS Service* (IGS).

A rede do IGS possui poucas estações da RBMC e a seleção das estações de referência como base é feita automaticamente pelo AUSPOS. Com isso, algumas linhas de base formadas podem atingir centenas de quilômetros, o que pode comprometer o resultado final, uma vez que o Brasil contempla uma das áreas mais complexas da ionosfera (MONICO, 2008).

Atualmente, algumas instituições internacionais oferecem serviços on-line para posicionamento com GNSS (apresentados na seção 2), porém ainda não foi encontrada uma aplicação web que possibilite utilizar como referência os dados das estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) para o método de posicionamento relativo.

Dentre as vantagens de se utilizar os serviços de processamento de dados GNSS on-line, destaca-se sua facilidade de uso, pois possuem interface amigável, além de serem apoiados por softwares científicos (ALBAYRAK *et al.*, 2020).

Esses serviços aceitam dados de entrada em formato RINEX e usam observações suplementares de estações da rede *Continuously Operating Reference Station* (CORS) ou IGS para produzir uma melhor solução em um determinado cenário

geodésico. Ademais, uma vez que esses serviços estão em constante evolução e utilizam dados de redes GNSS de atualização contínua, sempre que possível é melhor obter as informações mais atualizadas nos respectivos sites dos serviços (LEICK, 2015).

Aplicações para processamento de dados GNSS de maneira simples e gratuita promovem novas oportunidades para diversas pesquisas na Geodésia e podem servir de suporte para outras áreas que se utilizam desses serviços.

Portanto, espera-se que o desenvolvimento de um serviço on-line para processamento de dados GNSS dissemine, compartilhe e facilite o uso do software Bernese GNSS na UFV, contemplando usuários com necessidades básicas e avançadas, para fins acadêmicos e de pesquisa.

1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo principal desenvolver e avaliar um serviço on-line (GNSS-UFV) para processamento de dados GNSS utilizando o método relativo estático rápido, com a implementação do método Lambda para solução das ambiguidades no software Bernese GNSS.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os seguintes objetivos específicos foram propostos:

1. Disponibilizar serviço para processamento de dados GNSS nos métodos PPP e relativo para rastreios estáticos com linha de base única ou múltiplas.
2. Utilizar dados de observação RINEX dos satélites *Global Positioning System* (GPS) e *Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema* (GLONASS) para o processamento pelos métodos relativo e PPP;
3. Implementar rotinas computacionais para automatizar o processamento de dados no Bernese, realizando o download dos arquivos de referência necessários, e disponibilizar aos usuários os principais resultados do processamento por e-mail;
4. Armazenar em um banco de dados as informações sobre processamentos realizados no sistema (estratégias e resultados), o que possibilitará verificar a

- eficácia de diferentes estratégias de processamento em cenários distintos de levantamento GNSS;
5. Avaliar os algoritmos de processamento PPP e relativo já disponibilizados no Bernese;
 6. Desenvolver uma metodologia para o processamento de dados GNSS com o método relativo estático rápido utilizando o Bernese, associado ao método LAMBDA para a solução das ambiguidades, acompanhado de teste para a validação das ambiguidades fixas;
 7. Automatizar a seleção das estações de referência baseada em um raio especificado pelo usuário;
 8. Automatizar a obtenção de dados GNSS das estações de referência da rede RBMC;
 9. Comparar e avaliar os resultados dos processamentos do GNSS-UFV com os serviços IBGE-PPP, AUSPOS e softwares comerciais.

1.2 CONTRIBUIÇÕES DA TESE

Dentre as principais contribuições desta pesquisa, ressalta-se a implementação de serviço on-line (GNSS-UFV) para processamento de dados GNSS, que dissemina, compartilha e facilita o uso do software Bernese GNSS na UFV, automatizando e gerenciando múltiplas solicitações de processamento paralelamente, contemplando usuários com necessidades básicas e avançadas, para fins acadêmicos e de pesquisa.

Além disso, esta pesquisa possibilitará a apresentação de serviço on-line com resultados compatíveis a de outros sistemas que possuem mais tempo de operação, como IBGE-PPP e AUSPOS, acrescido de novas possibilidades de processamento, como a aplicação do método relativo estático rápido e o uso de estações de referência da RBMC.

Ainda, o estudo apresentará à comunidade científica nova metodologia de processamento estático rápido no software Bernese GNSS, incorporando o método de solução das ambiguidades LAMBDA, seguindo a sugestão de Li e Teunissen (2011), acompanhado do *Ratio-test* para validação das ambiguidades fixas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis seções para melhor apresentação do assunto abordado, sendo descritos:

- Seção 1 – INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO: contextualização, motivação e objetivos;
- Seção 2 – SERVIÇOS ON-LINE DE PROCESSAMENTO GNSS: Apresentação dos principais serviços on-line de posicionamento GNSS gratuitos, com uma breve descrição de cada serviço;
- Seção 3 – MATERIAIS E MÉTODOS: Apresentação do sistema GNSS-UFV, suas características e estrutura do sistema, com descrição do seu projeto lógico;
- Seção 4 – EXPERIMENTOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES: Resultados encontrados com o sistema GNSS-UFV com os métodos PPP, relativo e estático rápido. Comparação dos resultados com os serviços IBGE-PPP e AUSPOS;
- Seção 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES: Conclusões e considerações finais sobre o trabalho apresentado.

2 SERVIÇOS ON-LINE DE PROCESSAMENTO GNSS

No final da primeira década do século XXI, surgiram esforços para a avaliação da trajetória percorrida pelas tecnologias da informação e comunicação, em especial da internet e do computador. Dentro desse cenário, despontou-se um movimento chamado de Web 2.0 ou *Webware* (DEMO, 2012).

Web 2.0 é um termo popularizado pela empresa americana *O'Reilly Media* (O'REILLY, 2006), para designar uma segunda geração de comunidades e serviços, tendo como conceito a "Web como plataforma".

Dentro desse cenário de aplicativos para a web, surgiu também o conceito de "Computação em Nuvem", cujo termo refere-se a um conjunto de recursos como: capacidade de processamento, armazenamento, conectividade, plataformas, aplicações e serviços disponibilizados na internet. Ou seja, um ambiente de computação baseado em uma rede de servidores, sejam eles virtuais ou físicos (TAURION, 2009).

Com essa interação entre dispositivos usuário-servidor surgiu também o conceito de *Application Programming Interface* (API), que é uma estrutura formal de regras e protocolos para proporcionar a interoperabilidade de conjunto de dados, por dois ou mais sistemas de informação, independentes de plataforma (RODRIGUES, 2017). Dessa forma, tem-se um conjunto de rotinas para utilização das funcionalidades do software por aplicações que não pretendem envolver-se e modificar detalhes da implementação, apenas utilizar seus serviços.

Essas inovações na programação web resultaram em softwares multiplataformas, por meio dos quais uma mesma aplicação pode ser utilizada por *notebooks*, *smartphones* e *tablets* sem obrigatoriedade de instalação do software no dispositivo, tornando-se necessário apenas o uso de um navegador e comunicação com a internet.

Na área da Geodésia, os *webwares* para o processamento de dados GNSS são comumente chamados de serviços on-line para processamento de dados GNSS. Nesta seção serão descritos os serviços mais populares na literatura.

2.1 CANADIAN SPATIAL REFERENCE SYSTEM PPP (CSRS-PPP)

O CSRS-PPP é um serviço on-line disponibilizado pelo *Natural Resources Canada* (NRCAN) para o pós-processamento de dados GNSS. Esse serviço está disponível gratuitamente através do endereço eletrônico: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>. A Figura 1 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço CSRS-PPP.

Figura 1 — Interface web do CSRS-PPP.

The screenshot shows the web interface for Precise Point Positioning (PPP) on the Natural Resources Canada website. The page is in French, as indicated by the 'Français' link in the top right. The header includes the Government of Canada logo and a search bar. A breadcrumb trail shows the path: Canada.ca > Natural Resources Canada > Maps, Tools and Publications > Tools > Geodetic Reference Systems > Tools and Applications > Precise Point Positioning. The main heading is 'Precise Point Positioning', with 'Profile' and 'Sign out' buttons. The form includes an 'Email for results (required)' field with the value 'engenheirogabrieloliveira@gr'. Under 'Processing mode', 'Static' is selected, and 'NAD83' is chosen for the datum, with an 'Epoch (Adopted)' dropdown menu. The 'Vertical datum' is set to 'CGVD28(HT2_0)'. There is a checkbox for 'Contribute to passive control maintenance?' and a field for 'Official marker station name'. A 'More options' link is also present. At the bottom, there is a 'RINEX observation file(s), 300 MB max (.zip, .gzip, .gz, .Z, .tar, .??O)' section with a note and an 'Escolher arquivo' button. A 'Submit to PPP' button is at the very bottom. The footer contains a disclaimer about the use of Canadian Geodetic Survey products and data, a link to 'Open Government Licence - Canada', and a link to 'Geodetic Reference Systems Information'. The date modified is 2020-10-21.

Fonte: NRCAN (2021).

Com dados precisos sobre órbitas e erros dos relógios dos satélites, essa aplicação disponibiliza ao usuário posições precisas com referência ao *North American Datum – 1983 (NAD83)* e/ou *International Terrestrial Reference Frame (ITRF)* (NRCAN, 2021).

O CSRS-PPP encontra-se atualmente na versão 3 (BANVILLE *et al.*, 2021). O processamento pode ser feito pelo modo estático ou cinemático, utilizando dados GPS e GLONASS. As efemérides final, rápida ou ultrarrápida, estimadas pelo próprio NRCAN, é escolhida de forma automática, sendo utilizada a melhor opção disponível no momento.

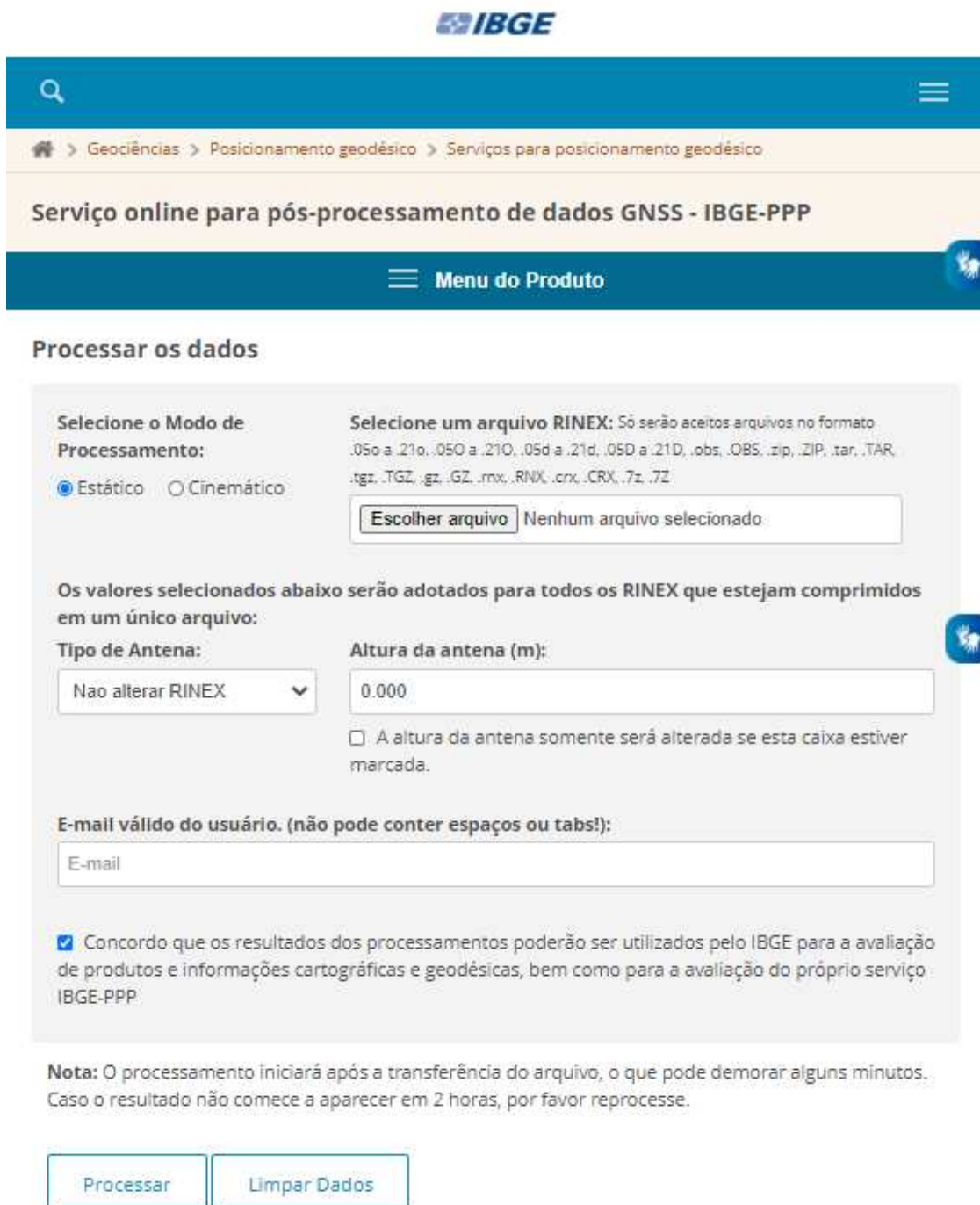
2.2 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-PPP (IBGE-PPP)

O IBGE-PPP é um serviço on-line gratuito para o pós-processamento de dados GNSS, que faz uso do mesmo programa do CSRS-PPP. Nesse serviço é permitido aos usuários a obtenção de coordenadas referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e ao ITRF, utilizando dados de observações GNSS nos formatos RINEX ou HATANAKA (IBGE, 2017a). Esse serviço está disponível no endereço eletrônico: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html>. A Figura 2 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço IBGE-PPP.

No IBGE-PPP, o modelo de correção de carga oceânica FES2014b somente é usado se o rastreamento for realizado a menos de 10 km de uma estação da RBMC, pois assim se utiliza dos mesmos coeficientes de correção calculados para as estações da RBMC.

As coordenadas estimadas pelo processamento são atualizadas pelo modelo de velocidade VEMOS2009 e a transformação entre referências originais das órbitas (ITRF) para o referencial oficial brasileiro (SIRGAS2000) é feita com o uso de parâmetros estimados pelo próprio IBGE. Já as altitudes ortométricas são estimadas utilizando o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015 (IBGE, 2020).

Figura 2 — Interface web do IBGE-PPP.



IBGE

Geociências > Posicionamento geodésico > Serviços para posicionamento geodésico

Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP

Menu do Produto

Processar os dados

Selecione o Modo de Processamento:

Estático Cinemático

Selecione um arquivo RINEX: Só serão aceitos arquivos no formato: .05o a .21o, .05O a .21O, .05d a .21d, .05D a .21D, .obs, .OBS, .zip, .ZIP, .tar, .TAR, .tgz, .TGZ, .gz, .GZ, .rx, .RNX, .crx, .CRX, .7z, .7Z

Nenhum arquivo selecionado

Os valores seleccionados abaixo serão adotados para todos os RINEX que estejam comprimidos em um único arquivo:

Tipo de Antena:

Altura da antena (m):

A altura da antena somente será alterada se esta caixa estiver marcada.

E-mail válido do usuário. (não pode conter espaços ou tabs!):

Concordo que os resultados dos processamentos poderão ser utilizados pelo IBGE para a avaliação de produtos e informações cartográficas e geodésicas, bem como para a avaliação do próprio serviço IBGE-PPP.

Nota: O processamento iniciará após a transferência do arquivo, o que pode demorar alguns minutos. Caso o resultado não comece a aparecer em 2 horas, por favor reprocesse.

Fonte: IBGE (2021).

Com base na Norma de Execução 96/2010, do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), para as análises dos georreferenciamentos de imóveis rurais, todo transporte de coordenadas de um ponto de apoio deve ser verificado com o uso do serviço IBGE-PPP (INCRA, 2010).

O IBGE-PPP utiliza arquivos de órbitas e de correções dos relógios dos satélites disponibilizados pelo IGS ou NRCAn. Assim como o CSRS-PPP, o IBGE-PPP utiliza a órbita mais precisa disponível no momento do processamento, entretanto esse serviço leva em consideração se o rastreamento das observações foi realizado dentro ou fora do território brasileiro. Caso o rastreamento seja dentro do território utiliza-se as efemérides disponibilizadas pelo NRCAn, sendo o rastreamento fora do território utiliza-se as efemérides disponibilizadas pelo IGS (IBGE, 2020).

2.3 AUTOMATIC PRECISE POSITIONING SERVICE (APPS)

O APPS é um serviço on-line que processa dados GPS utilizando o software GIPSY-OASIS, do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), para estimar a posição do receptor tanto no modo estático como no cinemático, utilizando órbitas e erros dos relógios dos satélites fornecidos pela própria JPL (JPL, 2020). Esse serviço está disponível no endereço eletrônico <https://apps.gdgps.net/>. A Figura 3 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço APPS.

Figura 3 — Interface web do APPS.

The screenshot shows the web interface for the Automatic Precise Positioning Service (APPS). At the top, there is a header with the NASA logo, 'Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology', and the GDGPS logo. A navigation bar below the header contains links for 'JPL HOME', 'EARTH', 'SOLAR SYSTEM', 'STARS & GALAXIES', and 'TECHNOLOGY'. The main banner features a man on a phone, an airplane, and a rover on Mars, with the text 'The Automatic Precise Positioning Service of the Global Differential GPS System'. A left sidebar contains a menu with items like 'Home', 'Unique Features', 'About GDGPS', 'How to use APPS', 'Under The Hood', 'Instant Positioning', 'Registered Users', and 'Register'. The main content area is titled 'Instant Positioning' and contains a table of 'APPS Options'.

APPS Options	
Processing Mode	<input checked="" type="radio"/> Static <input type="radio"/> Kinematic
Measurement Type	<input type="radio"/> Single Frequency <input checked="" type="radio"/> Dual Frequency
Orbits/Clocks used	JPL Final: Data prior to 2021-02-27 JPL Rapid: Data from 2021-02-27 to 2021-03-04 JPL Ultra R/T: Data from 2021-03-04 to present
L1 Code	<input type="radio"/> CA Code <input checked="" type="radio"/> P Code
Model Pressure Data?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
Elevation Dependent Data Weighting	<input checked="" type="radio"/> Flat <input type="radio"/> Sin <input type="radio"/> Sqrt(sin)
Advanced Options	<input type="text" value="7.5"/> Elevation Angle Cutoff <input type="text" value="300"/> Solution Output Rate (seconds)

Below the table, there is a file upload section with a button 'Escolher arquivo', the text 'Nenhum arquivo selecionado', and 'Reset' and 'Upload' buttons. At the bottom, there is a note: '*A maximum of 5MB is allowed for unregistered users. *Please register to unlock features!'.

Fonte: JPL (2020).

Para usuários não registrados, o processamento no APPS só é permitido no modo estático. Após o registro, são desbloqueadas as seguintes opções de processamento: modo cinemático, utilizando código C/A e ponderando as observações com as elevações dos satélites, correção com modelo de pressão e seleção da máscara de elevação.

Por padrão, a máscara de elevação do APPS é definida em 7,5 graus e o modelo para correção da troposfera utilizado é o *Global Mapping Function* (GMF). O atraso

ionosférico de segunda ordem é corrigido seguindo a metodologia apresentada por Kedar *et al.* (2003).

2.4 ONLINE POSITIONING USER SERVICE (OPUS)

Nos Estados Unidos, a *National Geodetic Survey* (NGS) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) fornece o serviço on-line denominado OPUS. Nesse serviço, os usuários podem obter coordenadas precisas de estações rastreadas no *National Spatial Reference System* (NSRC). Esse serviço está disponível gratuitamente no endereço eletrônico <https://geodesy.noaa.gov/OPUS/>. A Figura 4 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço OPUS.

Nesse serviço, as coordenadas da estação de rastreamento são estimadas utilizando o método de posicionamento relativo, sendo utilizadas as estações de referência (Base) da Rede CORS. O processamento é realizado somente com dados de observação de satélites GPS com o intervalo de gravação de 30 segundos.

O serviço OPUS utiliza dois algoritmos para processamento dos dados, dependendo da duração do rastreamento. Para rastreios de 15 minutos a 2 horas, o software é o *Rapid Static GPS* (RSGPS), para rastreios superiores a 2 horas, utiliza-se o software *Program for the Adjustment of GPS Ephemerides* (PAGES).

Figura 4 — Interface web do OPUS.

OPUS: Online Positioning User Service
National Geodetic Survey

NGS Home | About NGS | Data & Imagery | Tools | Surveys | Science & Education | Search

Upload your data file.
Solve your GPS position & tie it to the National Spatial Reference System.
[What is OPUS?](#) [FAQs](#)

Escolher arquivo Nenhum arquivo selecionado
* data file of dual-frequency GPS observations. [sample](#)

NONE

antenna - choosing wrong may degrade your accuracy.

0.000 meters above your mark
antenna height of your antenna's reference point.

* email address - your solution will be sent here. [Privacy Act Statement](#)

Options to customize your solution.

Upload to Rapid-Static for data 15 min. - 2 hrs. | Upload to Static for data 2 hrs. - 48 hrs.

* required fields
We may use your data for internal evaluations of OPUS use, accuracy, or related research.

Website Owner: National Geodetic Survey / Last modified by NGS.OPUS V 2.6 Dec 15 2020

Fonte: NGS (2021).

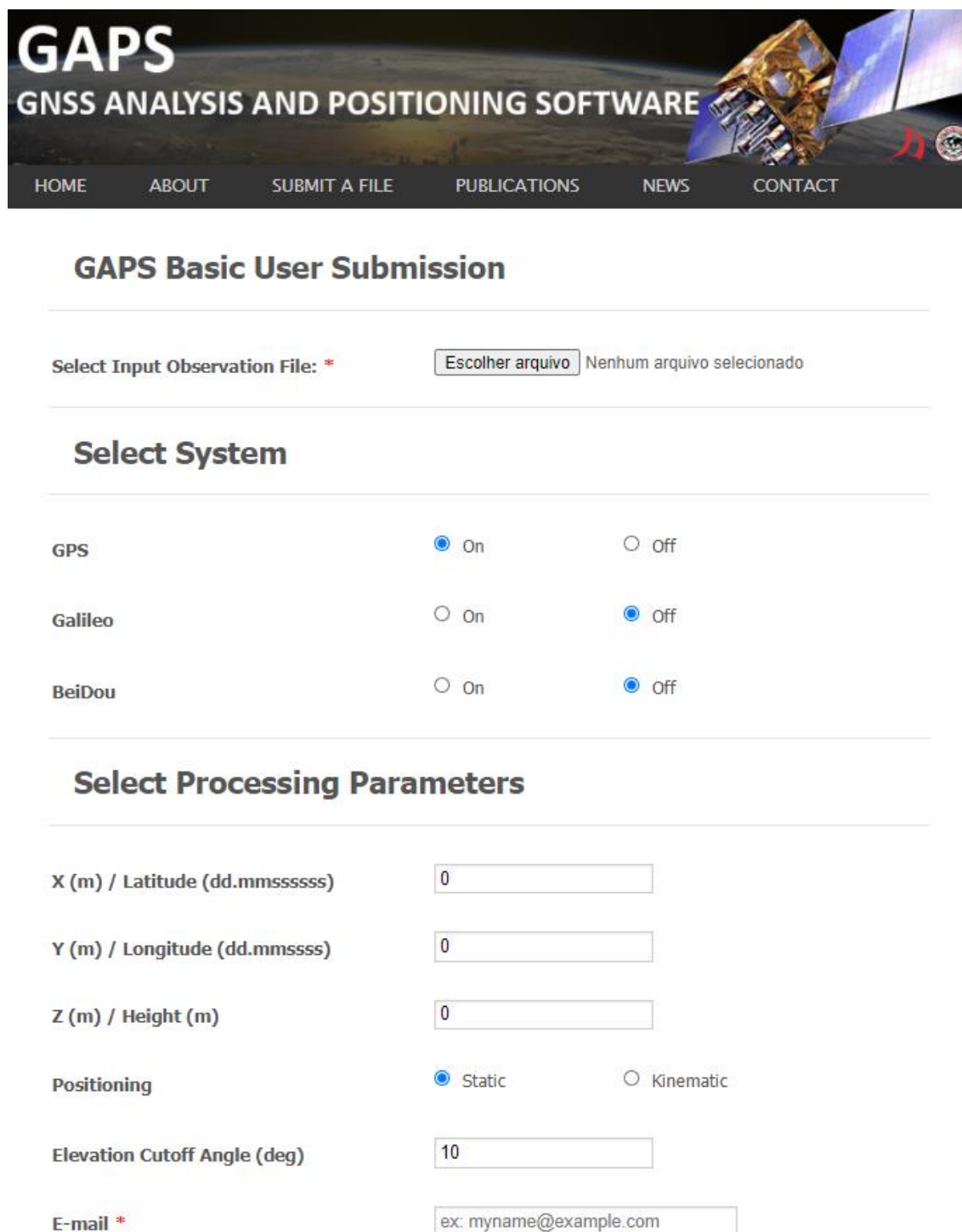
Os arquivos de observação inseridos no OPUS devem estar no formato RINEX 2.x ou HATANAKA e podem ser compactados no formato ZIP. No caso de arquivos compactados, mais de um arquivo de observação é aceito por submissão, entretanto devem ser de um mesmo tipo de antena e com a mesma altura.

2.5 GPS ANALYSIS AND POSITIONING SOFTWARE (GAPS)

Em 2007, foi desenvolvido pela Universidade de New Brunswick, Canadá, o serviço on-line denominado GAPS, a fim de fornecer aos usuários uma ferramenta on-line gratuita capaz de estimar coordenadas e outros parâmetros pelo PPP. Embora o GAPS seja usado principalmente para posicionamento, esse serviço disponibiliza ao usuário as estimativas dos atrasos atmosféricos, erros de relógio (receptor e satélite) e multicaminhamento (LEANDRO; SANTOS; LANGLEY, 2007). Esse serviço está

disponível no endereço eletrônico <http://gaps.gge.unb.ca/>. A Figura 5 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço GAPS.

Figura 5 — Interface web do GAPS.



The image shows the web interface for GAPS (GNSS Analysis and Positioning Software). At the top, there is a header with the GAPS logo and the text "GNSS ANALYSIS AND POSITIONING SOFTWARE". Below the header is a navigation menu with links: HOME, ABOUT, SUBMIT A FILE, PUBLICATIONS, NEWS, and CONTACT. The main content area is titled "GAPS Basic User Submission" and is divided into three sections:

- Select Input Observation File:** A text input field with a red asterisk, a button labeled "Escolher arquivo", and the text "Nenhum arquivo selecionado".
- Select System:** A section with three rows of radio buttons for selecting systems and their status (On/Off):
 - GPS: On (selected), Off
 - Galileo: On, Off (selected)
 - BeiDou: On, Off (selected)
- Select Processing Parameters:** A section with several input fields and radio buttons:
 - X (m) / Latitude (dd.mmsssss): Input field with value 0
 - Y (m) / Longitude (dd.mmsssss): Input field with value 0
 - Z (m) / Height (m): Input field with value 0
 - Positioning: Radio buttons for Static (selected) and Kinematic
 - Elevation Cutoff Angle (deg): Input field with value 10
 - E-mail *: Input field with placeholder text "ex: myname@example.com"

Fonte: UNB (2021).

O GAPS é dividido em dois módulos, um para usuários básicos e outro para usuários avançados. No módulo básico, o usuário submete os arquivos de observação e tem a opção de selecionar poucos parâmetros de processamento. Já no módulo avançado, o usuário tem a possibilidade de modificar a estratégia de processamento alterando parâmetros como: observáveis a serem processadas, produtos das órbitas e relógios dos satélites, modelos para correção de erros atmosféricos, correção de carga oceânica e maré terrestre, dentre outros.

Em 2015 foi anunciada uma reformulação do GAPS para o processamento de observações Galileo e Beidou. A integração entre GPS x Galileo pode ser vista em White e Langley (2015) e Mendonça *et al.* (2015). As estimativas com observações do Beidou são descritas por Dilssner *et al.* (2014) e Guo *et al.* (2016).

2.6 CENTERPOINT RTX POST-PROCESSING (TRIMBLE)

A empresa Trimble disponibiliza um serviço on-line gratuito para testes por um ano chamado de CenterPoint RTX Post-Processing. Os dados de correção são gerados a partir das informações de órbitas precisas e erros dos relógios, estimados pela rede de monitoramento mundial da Trimble. Atualmente o sistema suporta dados de satélites GPS, GLONASS, Galileo, Beidou e QZSS. Para dados de observação com mais de uma hora de rastreamento, é esperada uma acurácia horizontal menor que 2 cm (DOUCET *et al.*, 2012). Esse serviço está disponível no endereço eletrônico <https://www.trimblertx.com/>. A Figura 6 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço TRIMBLE RTX.

Figura 6 — Interface web do TRIMBLE RTX.

Trimble
CenterPoint RTX Post-Processing

Post-Processing Register Support Contact Us

WELCOME TO TRIMBLE CENTERPOINT® RTX POST-PROCESSING SERVICE

Trimble RTX® is a global GNSS technology that provides centimeter-level positioning, worldwide, at any time.

This application allows you to upload GNSS observation data to the CenterPoint RTX post-processing service and receive positioning calculations. The positioning calculations are performed in the observation epoch (current epoch) of ITRF2008 for data sets that were collected prior to March 23rd 2017, and ITRF2014 for data sets that were collected on or after March 23rd 2017. Transformation can be performed by selecting a different coordinate system and tectonic plate. Complete the form below to receive your calculations via email.

1. Select a coordinate system and tectonic plate:

Coordinate System: ITRF2014

Tectonic Plate: (Autodetect)

2. Select a file to upload:

Escolher arquivo Nenhum arquivo selecionado

New Enhancements

The CenterPoint RTX post-processing service now supports all dual frequency GNSS receivers.

Antennas must be on the Supported Antennas list. The post-processing service will not process unsupported antennas. See also: [Supported Antennas](#)

Observation files must meet the following requirements:

- Data formats accepted include Trimble proprietary data formats (e.g. DAT, T01, T02, T04, Quark) and the standard RINEX 2 and RINEX 3 data formats
- For optimal processing results, it is recommended to provide at least 60 minutes of observations.
- Data files cannot exceed 24 hours in length
- Data files must be static only
- Data files must contain dual frequency pseudorange and carrier phase observations (L1 and L2)
- Data must have been collected after 14 May 2011
- BeiDou data is included since 04 Jun 2014
- Galileo data is included since 01 Jan 2017
- If your observation data consists of several files, please compress them to a ZIP archive and upload the zipped file. All files in the ZIP archive must belong to the same station.

3. Provide your email address:

Email:

I accept the terms of use listed in the Disclaimer section below.

Process The Report will be sent to the email address provided above.

Fonte: TRIMBLE (2021).

2.7 MAGICGNSS

O MagicGNSS é um serviço on-line de processamento de dados GNSS desenvolvido pela GMV®, um grupo empresarial tecnológico de capital privado com atuação internacional, que oferece soluções, serviços e produtos para a administração pública e grandes empresas.

A plataforma do MagicGNSS oferece um conjunto de ferramentas e serviços para auxílio do usuário no processamento de dados GNSS, como parâmetros de

órbita e do relógio de satélites GNSS, predição de efemérides, monitoramento de estações e PPP. Apesar da origem no setor privado esse serviço é aberto ao público mediante cadastro obrigatório.

A Figura 7 ilustra a interface web referente à plataforma de processamento do serviço MagicGNSS para o PPP, disponibilizada no endereço eletrônico <https://magicgnss.gmv.com/>.

Figura 7 — Interface web do MagicGNSS Web.

The screenshot shows the MagicGNSS Web interface. The header is red and contains the logo 'magic GNSS Web', user information 'Become a PRO user', 'Role: Free user', 'Disk quota: 4%', 'My Stations', and the user name 'gabriel.oliveira'. The left sidebar has a 'PPP' menu item and a list of options: 'ODTS', 'ANALYSIS', 'MONITOR', and 'EPHEM'. The main content area is titled 'PPP Scenario Summary' and features a table with the following data:

▼ Definition	
Name	14/06/2017 13:23:20
Description	(No description)
Status	(No status)
Start Date and Time	01/02/2017 00:00:00
Duration	1 day
PPP Mode	Static
Constellations	GPS + GLONASS
Products	From product source: "IGS Final"

Below the table are three expandable sections: 'Stations', 'Settings', and 'Results', each with a right-pointing arrow. A 'Return' button is located at the bottom left of the main content area. The footer contains the text '© 2017 GMV — Terms of use'.

Fonte: GMV (2017).

Como pode ser visto no menu superior da página ilustrada na Figura 7, o acesso gratuito ao sistema é limitado por uma cota de dados armazenados; o processamento de um arquivo de 24 horas de rastreamento corresponde a 4% da cota total.

2.8 REAL TIME PPP (RT_PPP)

O RT_PPP é um sistema implementado na Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual Paulista - SP (FCT/UNESP), como contribuição da tese de doutorado desenvolvida por Marques (2012). Apesar de ter sido desenvolvido para aplicações em tempo real, a versão atual disponibiliza para a comunidade apenas o modo de pós-processamento. O serviço está disponível gratuitamente para a comunidade acadêmica e científica no endereço eletrônico <https://ismrquerytool.fct.unesp.br/ppp>. A Figura 8 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço RT_PPP.

Figura 8 — Interface web do RT_PPP.

The screenshot shows the web interface for RT_PPP Online. The title is "RT_PPP Online - Posicionamento por Ponto Preciso com dados GPS". There are links for "--Manual" and "--Changelog".

1. RINEX

Upload do RINEX: [dropdown menu]

Upload: [Escolher arquivo] Nenhum arquivo selecionado

Observáveis e Precisão

Utilizar observáveis: [C/A, P2, L1 e L2]

Precisão das Observáveis (metros)

C/A [0.8] P2 [1] L1 [0.008] L2 [0.01]

Órbitas e Relógios dos Satélites

[Precisas (sp3)] Utilizar correções precisas para os relógios dos satélites

Ionosfera

[Combinação Ion-Free]

Troposfera

[Estimar (Random Walk)] Precisão (m/hora) [0.005]

Delimitação de épocas (opcional)

Época inicial [] Época Final []

Opções da Antena, Correções e Configurações Adicionais

Corrigir variação de Centro de Fase Distância do Centro de Fase ao ARP (m) [0]

Tipo de Antena [Tentar obter do RINEX]

Máscara de Elevação [10] Modelo de carga oceânica DCB

Coordenadas de Referência [Tentar obter do RINEX]

Velocidades (m/ano) Vx [0] Vy [0] Vz [0]

Época de Referência [Ex: 2000.4]

Modo

[Estático]

Dados de Contato

E-mail: []

[Processar]

Grupo de Estudos em Geodésia Espacial - FCT/Unesp

Fonte: FCT (2021).

Esse serviço on-line da UNESP é capaz de processar observações GPS do tipo C/A, P₂, L₁ e L₂, utilizando efemérides precisas ou transmitidas. Para correção dos efeitos da ionosfera, podem ser utilizados os métodos de combinação linear *ion-free*, modelo de Klobuchar ou *Global Ionosphere Model* (GIM). Para correção dos efeitos da troposfera, pode-se utilizar o modelo de Hopfield, a função de mapeamento de Viena (*Vienna Map Function – VMF*) ou os parâmetros podem ser estimados pelo processo estocástico *random walk* (MARQUES *et al.*, 2015).

2.9 SCRIPPS COORDINATE UPDATE TOOL (SCOUT)

O SCOUT é um serviço on-line para processamento de dados GNSS pelo método relativo, desenvolvido pela *Scripps Orbit and Permanent Array Center* (SOPAC), que pertence à Universidade da Califórnia em San Diego/EUA. Esse serviço está disponível gratuitamente no endereço eletrônico <http://sopac-old.ucsd.edu/scout.shtml>. A Figura 9 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço SCOUT.

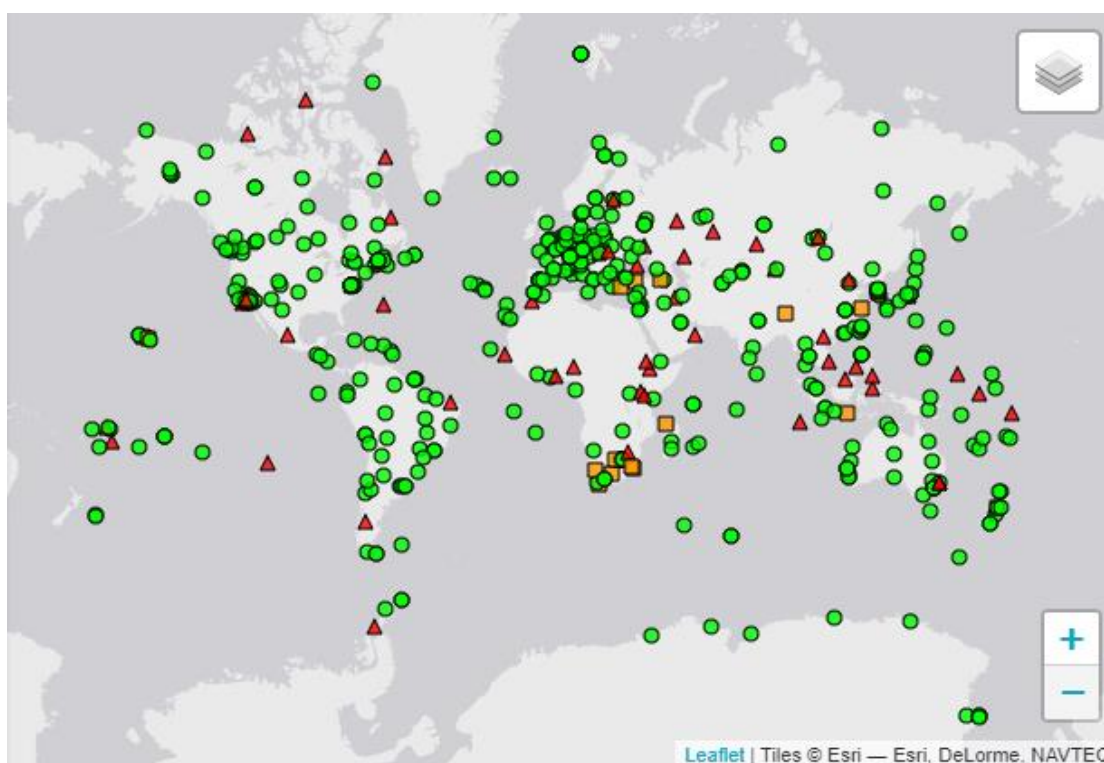
Figura 9 — Interface web do SCOUT.

The screenshot displays the SCOUT web interface. At the top, it identifies the organization as Scripps Orbit and Permanent Array Center / California Spatial Reference Center. Navigation links for SOPAC and CSRC are provided. A central banner image depicts a field with GPS receivers and vehicles. Below this, logos for CRTN and GPS Explorer are visible. The main content area features a list of instructions for using SCOUT, RINEX file notes, and a form for input parameters. The instructions include details about the tool's purpose, supported GPS models, user limitations, and file naming conventions. The RINEX file notes specify supported formats, file size limits, and naming standards. The input form includes fields for email address, RINEX file path, and reference site codes, along with a 'Confirm Input' button.

Fonte: SOPAC (2021).

O SCOUT utiliza o software GAMIT para o processamento dos dados carregados por *File Transfer Protocol* (FTP). O usuário tem a possibilidade de indicar até quatro estações de referência ou então deixar que o sistema escolha as três mais próximas. Esse serviço utiliza as estações de referência do IGS (SOPAC, 2021). A espacialização das estações do IGS está ilustrada na Figura 10.

Figura 10 — Localização das estações da rede IGS.



Fonte: IGS (2021).

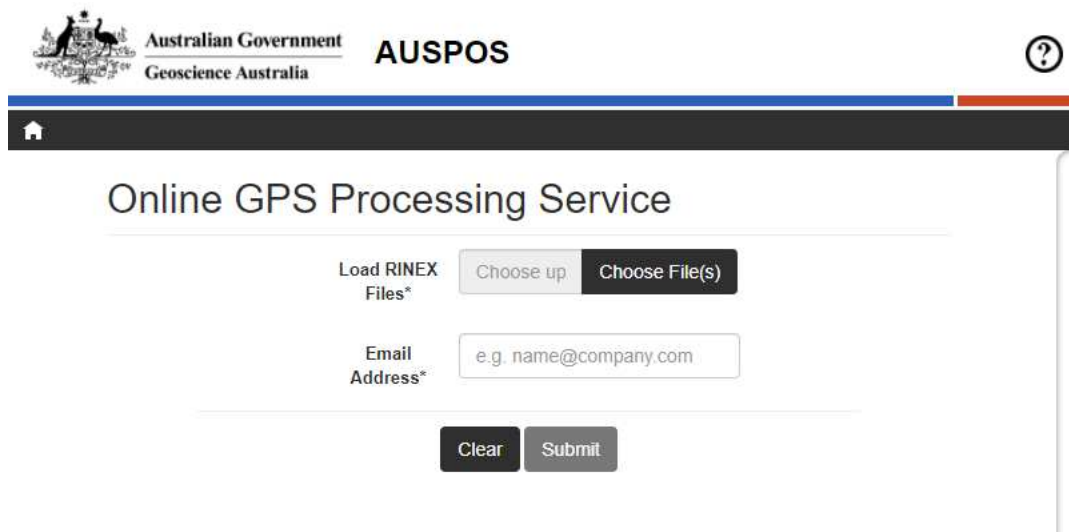
Conforme ilustrado na Figura 10, no Brasil cerca de treze estações da RBMC são utilizadas pela rede do IGS. Dessa maneira, dados coletados no Brasil podem resultar em linhas de base muito longas.

2.10 AUSPOS

O AUSPOS é um serviço on-line para processamento de dados GPS disponibilizado pelo Governo da Austrália através da *Geoscience Australia*. O AUSPOS utilizava o software Bernese GNSS na versão 5.0, atualmente já utiliza a versão 5.2. Nesse serviço é realizado o processamento dos dados pelo método relativo, utilizando, assim como o SCOUT, estações de referência do IGS. Entretanto,

o AUSPOS seleciona mais de quatro estações de referência para montar a rede de processamento (JIA; DAWSON; MOORE, 2014). Esse serviço está disponível gratuitamente no endereço eletrônico <https://gnss.ga.gov.au/auspos>. A Figura 11 ilustra a interface web para submissão dos dados no serviço AUSPOS.

Figura 11 — Interface web do AUPOS.



The screenshot shows the AUSPOS web interface. At the top left is the Australian Government Geoscience Australia logo. The title 'AUSPOS' is prominently displayed. A navigation bar contains a home icon and a help icon. The main heading is 'Online GPS Processing Service'. Below this, there is a form with two main sections: 'Load RINEX Files*' and 'Email Address*'. The 'Load RINEX Files*' section includes a 'Choose up' button and a 'Choose File(s)' button. The 'Email Address*' section has a text input field with the placeholder 'e.g. name@company.com'. At the bottom of the form are 'Clear' and 'Submit' buttons.

Fonte: AUSTRALIA (2021).

O AUSPOS utiliza efemérides do IGS rápida, ultrarrápida e final, dependendo da disponibilidade. Emprega o modelo GMF para tratar o atraso troposférico e para o efeito ionosférico usa a combinação linear *ion-free*, juntamente com o tratamento dos efeitos de ordem superior feito pelo Bernese.

As observáveis utilizadas nesse serviço são somente da constelação GPS, e os efeitos de carga oceânica não são tratados.

Mesmo utilizando linhas de base muito longas para dados coletados no Brasil, o AUSPOS retorna resultados compatíveis com outros serviços de processamento como o IBGE-PPP e também possui resultados compatíveis com processamentos em linhas de base média e/ou longa realizados pelo software Leica Geo Office (ALMEIDA; DAL POZ, 2016).

2.11 RESUMO COMPARATIVO DOS SERVIÇOS ON-LINE DE PROCESSAMENTO

A Tabela 1 ilustra de forma resumida as principais características dos serviços descritos nesta seção.

Tabela 1 – Comparativo entre serviços de processamento de dados GNSS.

Serviço	Gratuito	Restrito	PPP	Relativo	Cinemático	Rastreamento de curta duração
CSRS-PPP	X		X		X	X
IBGE-PPP	X		X		X	X
APPS	X	X	X		X	X
OPUS	X			X		X
GAPS	X		X		X	X
TRIMBLE RTX	X	X	X			X
MagicGNSS	X	X	X		X	X
RT_PPP	X		X		X	X
SCOUT	X			X		
AUSPOS	X			X		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos os serviços apresentados nesta pesquisa têm pelo menos uma funcionalidade gratuita, entretanto o APPS, MagicGNSS e TRIMBLE RTX possuem opções restritas. Para liberação dessas opções o APPS demanda registro autorizado, já o MagicGNSS e TRIMBLE RTX oferece ferramentas pagas.

Os serviços SCOUT e AUSPOS alertam os usuários para falhas no processamento de arquivos de curta duração (com menos de uma hora de rastreamento). Tendo em vista, que o PPP com rastreios de curta duração tendem a resultar em coordenadas menos acuradas que os realizados com rastreios de longa duração (KILISZEK, 2018). De maneira oposta, tem-se o OPUS, que possui um módulo específico para processamento de dados de curta duração.

Almeida e Dal Poz (2016) utilizaram os serviços IBGE-PPP e AUSPOS para avaliar a acurácia dos levantamentos pelo método PPP e relativo, concluindo que o método relativo proporciona resultados mais acurados. Destacam como vantagens de se utilizar esses serviços a facilidade de uso e a gratuidade.

Jamieson e Gillins (2018) avaliaram a precisão dos serviços OPUS, AUSPOS, CSRS-PPP, GAPS e Trimble RTX. Todos os cinco serviços produziram resultados semelhantes ao processar sessões com duração de 5 horas ou mais, variando em menos de 1 cm.

Ocalan *et al.* (2013) processaram dados GPS de 24 horas de rastreamento, coletados em oito estações ativas em Istambul e Turquia, nos serviços OPUS, AUSPOS, CSRS-PPP, SCOUT, GAPS, APPS e MagicGNSS. Verificaram que todas as soluções de posicionamento relativo tiveram discrepâncias menores que 1 cm e as soluções PPP foram menores que 2 cm quando comparadas com uma solução em rede computada no software Bernese GNSS.

Albayrak *et al.* (2020) utilizaram as coordenadas estimadas pelo Bernese versão 5.0 como referência para avaliar a eficácia dos serviços AUSPOS, OPUS, CSRS-PPP, MagicGNSS e GAPS. Todos os serviços tiveram resultados muito próximos (poucos centímetros) das referências, sendo que os serviços que utilizam método relativo tiveram os resultados mais próximos. Dessa forma, concluíram que serviços de processamento de dados GNSS on-line fornecem soluções fáceis e eficazes.

Seguindo estes exemplos, será descrito na próxima seção a metodologia de desenvolvimento do sistema GNSS-UFV, que utiliza do software Bernese GNSS versão 5.2 para disponibilizar um serviço on-line de processamento de dados GNSS. Também serão apresentadas particularidades e modificações implementadas no Bernese para viabilização do sistema GNSS-UFV.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Essa seção aborda a modelagem do sistema GNSS-UFV e as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa. Também são descritas particularidades da concepção dos scripts de processamento do software Bernese GNSS, que foram modificadas e adaptadas.

3.1 MATERIAIS

Para a realização desta pesquisa, foram utilizados os seguintes recursos computacionais:

- Softwares para processamento de dados GNSS:
 - Bernese GNSS, versão 5.2:
 - Componente principal do sistema GNSS-UFV.
 - Licença do Departamento de Eng. Civil da UFV (DEC/UFV).
 - Topcon Tools, versão 8.2:
 - Utilizado para comparar os resultados.
 - Licença do INCRA.
 - Magnet Office Tools, versão 2.5:
 - Utilizado para comparar os resultados.
 - Licença do INCRA.
 - RTKLIB, versão 2.4.3:
 - Utilizado para comparar os resultados.
 - Software Livre.
 - Trimble Business Center (TBC), versão 5.0:
 - Utilizado para comparar os resultados.
 - Licença do DEC/UFV.
- Softwares utilizados para gerar mapas:
 - QGIS, versão 3.14:
 - Software livre.
- Linguagens utilizadas para análises estatísticas:
 - R, versão 3.4.3:
 - Software livre.

- Para o desenvolvimento do sistema GNSS-UFV:
 - Linguagem Python, versão 3.6;
 - Linguagem Perl, versão 5.24;
 - Framework Django, versão 2.2;
 - Banco de dados PostgreSQL, versão 10;
 - Extensão PostGIS, versão 2.5; e
 - Plataforma de virtualização Docker, versão 19.03.

Para a validação do sistema proposto nesta pesquisa, utilizaram-se arquivos de observação GNSS de estações pertencentes à RBMC, disponibilizados gratuitamente pelo IBGE. As estações utilizadas para cada método de processamento (PPP e relativo) serão apresentadas nos tópicos da seção 4 (Resultados e Discussões).

3.2 SISTEMA GNSS-UFV

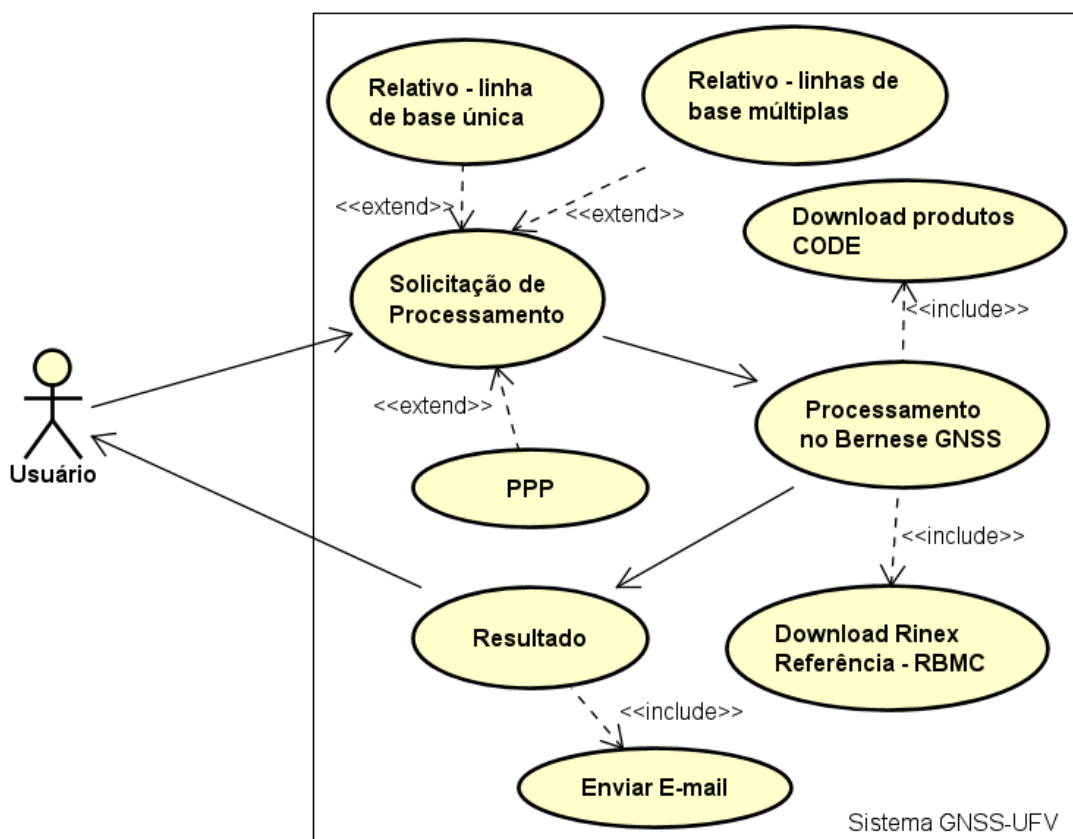
O sistema GNSS-UFV está preparado para receber, auxiliar e gerenciar as solicitações de processamento de dados GNSS no software Bernese GNSS, utilizando os métodos PPP e relativo, e posteriormente armazenar e encaminhar os resultados dos processamentos aos usuários.

A Figura 12 ilustra o diagrama de caso de uso do sistema GNSS-UFV na linguagem *Unified Modeling Language* (UML), demonstrando a interação do usuário com o sistema. O fluxo do sistema se inicia com a requisição do usuário e finaliza com o envio do resultado do processamento para o e-mail fornecido pelo usuário.

O fluxo principal do sistema passa pelos seguintes processos:

- 1.O usuário preenche formulário com dados sobre o processamento;
- 2.O sistema valida o formulário;
- 3.As informações do formulário são armazenadas em um banco de dados;
- 4.O sistema busca arquivos em servidores externos;
- 5.Os dados são processados no Bernese;
- 6.Os resultados são armazenados no banco de dados; e
- 7.Os resultados são enviados para e-mail fornecido pelo usuário.

Figura 12 — Diagrama de caso de uso do sistema GNSS-UFV.



Fonte: Elaborado pelo autor.

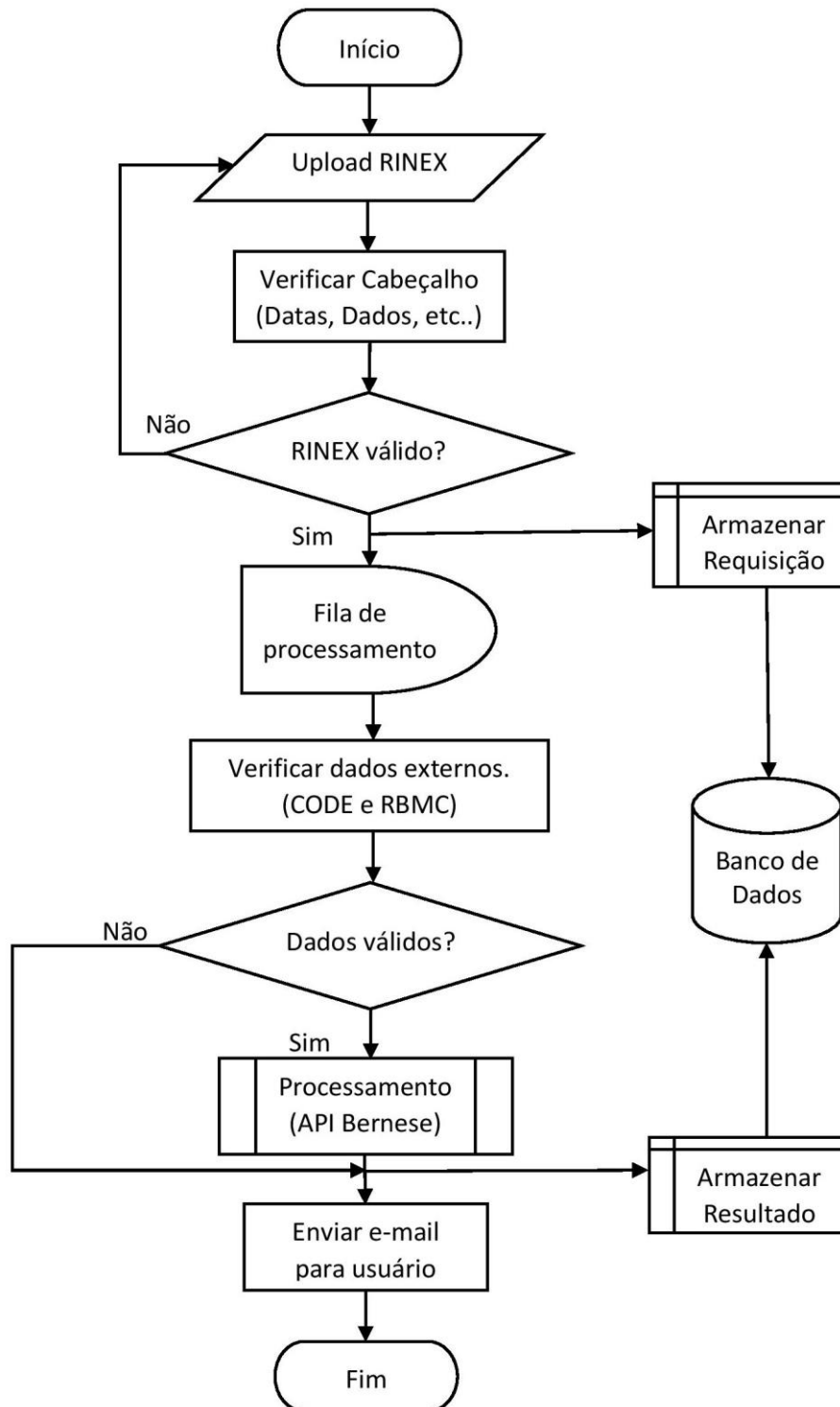
Um fluxo alternativo pode ocorrer em caso de falha na aquisição de arquivos externos, com a seguinte alteração do fluxo:

- 4.O sistema busca arquivos em servidores externos;
- 5.Os arquivos externos não estão disponíveis; e
- 6.Um e-mail é enviado ao usuário informando o erro.

Também existe o caso em que o software Bernese GNSS finaliza o processamento com erro. Nessa circunstância, os detalhes sobre o erro podem ser enviados ao e-mail do usuário, se for detalhado no arquivo de registro de atividades do software. Infelizmente, nem todos os erros ocorridos no software são explicitados.

O fluxograma dos processos realizados no sistema GNSS-UFV é ilustrado na Figura 13.

Figura 13 — Fluxograma principal do sistema GNSS-UFV.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme ilustrado na Figura 13, o sistema GNSS-UFV armazena as requisições de processamento em um banco de dados, bem como seus resultados. Sendo os dados validados e processados, o arquivo contendo um resumo do processamento é encaminhado para o usuário e armazenado no banco de dados. No caso dos dados não serem validados, o erro também é encaminhado ao usuário e armazenado para futuras verificações.

Detalhes sobre o código fonte da implementação do sistema podem ser acompanhados no repositório *gnss-ufv* do GitHub (disponível em: <https://github.com/gabriel-oliveira/gnss-ufv>).

3.2.1 API PARA O SOFTWARE BERNESE GNSS

O Bernese possui uma interface gráfica para auxiliar o usuário nas solicitações de processamento. Essa interface foi escrita na linguagem C++ e está disponível para os sistemas operacionais Windows e Linux. Entretanto, também é possível realizar solicitações de processamento diretamente por um terminal de comando, utilizando rotinas escritas na linguagem Perl que acompanham o software. Essa possibilidade de solicitação viabiliza a automação dos processamentos por sistemas de terceiros.

A API criada para o Bernese realiza uma interface para o uso das rotinas escritas em Perl, que executam os módulos do *Bernese Process Engine* (BPE). A execução dessas rotinas presume que os arquivos necessários para o processamento estejam em seus respectivos diretórios predefinidos. Sendo assim, essa API recebe, busca, verifica e armazena os arquivos necessários para os processamentos, antes de realizar as solicitações.

Os arquivos necessários para o processamento de dados GNSS no software Bernese GNSS são:

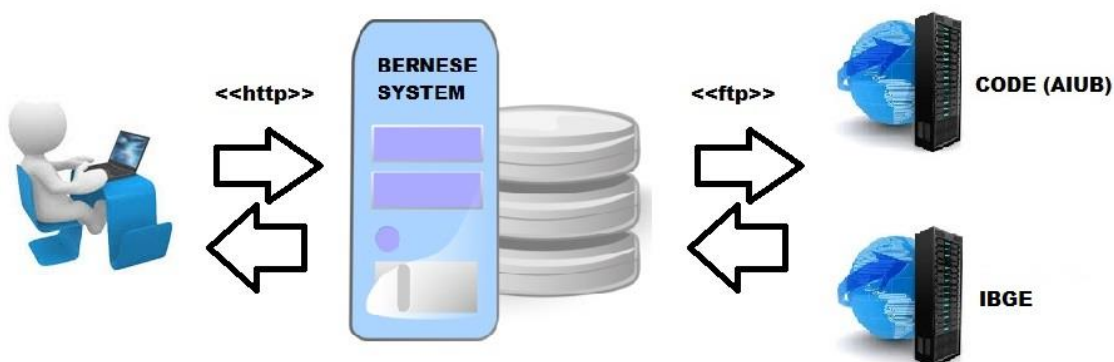
- Dados de órbita e relógio dos satélites:
A principal fonte desses dados é o IGS, que fornece três tipos de solução: ultrarrápida, rápida e final. Entretanto, Dach *et al.* (2015) recomendam as soluções do CODE, que fornece os arquivos “.EPH” e “.CLK”.
- Parâmetros de orientação da Terra:
Também são fornecidos pelo CODE, no formato “.ERP”.
- Dados atmosféricos:

Podem ser usados modelos locais, regionais ou globais da ionosfera. O CODE disponibiliza um modelo global em arquivos diários no formato “.ION”.

- *Differential Code Bias (DCB)*:
Esses arquivos, com as diferenças em nanossegundos entre os códigos P1-C1 e P1-P2, também são disponibilizados pelo CODE.
- Arquivos de observação GNSS:
São dados fornecidos pelo usuário, mas que também podem ser adquiridos diretamente da base de dados da RBMC/IBGE.

Tendo em vista a interação entre usuário/sistema e sistema/serviços externos, a implantação do sistema segue conforme ilustrado no diagrama de implementação da Figura 14.

Figura 14 — Diagrama de implementação do sistema GNSS-UFV.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme ilustrado na Figura 14, o usuário interage com o sistema pelo protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), por meio de uma interface web, e o sistema obtém os arquivos externos necessários utilizando o protocolo *File Transfer Protocol* (FTP).

Outra função fundamental dessa API é a criação dos arquivos contendo informações das estações de rastreamento, necessários para o processamento de dados GNSS no Bernese. Os arquivos são do tipo:

- “.CRD”: arquivo com as coordenadas a priori das estações;
- “.VEL”: arquivo com as velocidades das estações;
- “.PLD”: arquivo com a placa tectônica de cada estação;
- “.ABB”: arquivo com o nome de cada estação, uma abreviatura de quatro dígitos e uma abreviatura de dois dígitos;
- “.STA”: arquivo descritivo contendo o nome das estações, o tipo do receptor, o tipo da antena e sua altura;
- “.ATL”: arquivo contendo os parâmetros de correção de carga atmosférica.

A criação dos arquivos de velocidade e com correção de carga atmosférica (.VEL e .ATL) foi incorporada aos scripts de processamento do Bernese, sendo esses arquivos gerados pelos módulos NUVELO e GRDS1S2 respectivamente.

Os demais arquivos são gerados com base nas informações contidas no cabeçalho dos arquivos RINEX enviados pelos usuários. Com isso, uma validação desses arquivos é feita durante o envio deles pela interface web do sistema.

3.2.2 INTERFACE WEB

A API e a interface web desse sistema foram desenvolvidas na linguagem de programação Python, com o auxílio do *framework* Django (Disponível em: <https://www.djangoproject.com>). O uso desse *framework* facilita a criação de formulários, a comunicação com banco de dados e a administração de usuários.

A Figura 15 ilustra a página inicial do sistema GNSS-UFV, que pode ser acessada pelo endereço <http://gnss.ufv.br>.

Figura 15 — Página inicial do sistema GNSS-UFV.



Fonte:

Elaborada pelo autor.

A interface ilustrada na Figura 15 possui seu layout preparado para ser visualizado em telas pequenas (*smartphones*) e telas grandes (*desktops*). Para isso, foi utilizado o *framework* Bootstrap (disponível em <https://getbootstrap.com>), que auxilia no desenvolvimento *front-end* de aplicações web.

As interfaces para a solicitação de processamentos PPP e relativo são separadas e estão ilustradas nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

Na interface de solicitação de processamentos PPP, ilustrada na Figura 16, os campos para preenchimento de “*e-mail*”, “arquivo RINEX” e “placa tectônica” são obrigatórios. O campo de “placa tectônica” já vem preenchido com a Placa Sul-Americana, porém pode ser alterado de acordo com a localização das estações submetidas, para as seguintes opções:

- SOAM - Sul-Americana;
- AFRC – África;
- ANTA – Antártica;
- ARAB – Arábia;
- AUST – Austrália;
- CARB – Caribe;
- COCO - Cocos (Norte de NAZC, Sul de NOAM, Leste de CARB);

- EURA – Eurásia;
- INDI – Índia;
- JUFU - Juan de Fuca (entre o norte de NOAM e PCFC);
- NAZC - Nazca (Este de SOAM e Leste de PCFC);
- NOAM – América do Norte;
- PCFC – Pacífico;
- PHIL – Filipinas.

Figura 16 — Interface de solicitação de processamento pelo método PPP.

GNSS-UFV Início **PPP** Relativo Status Ferramentas Sobre Contato Bem-vindo, Gabriel! Sair

Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Descrição?

E-mail:

Arquivo Rinex de Observação: ?

Browse... No file selected.

Selecione a placa tectônica da estação: ?

SOAM - Sul-Americana

Arquivo BLQ (Ocean Tide Loading): ?

Browse... No file selected.

Correção dos efeitos ionosféricos de ordem superior: ?

Enviar

DEC UFV

Desenvolvimento: Gabriel Diniz de Oliveira / Coordenação: William Rodrigo Dal Poz

Fonte:

Elaborada pelo autor.

A inserção do arquivo de correção da carga oceânica é opcional. O link de ajuda localizado próximo a esse campo apresenta o endereço de onde o arquivo pode ser gerado (<http://holt.oso.chalmers.se/loading/>) e o endereço de um arquivo de exemplo (<http://gnss.ufv.br/static/exemplo.blq>).

Figura 17 — Interface de solicitação de processamento pelo método relativo.

GNSS-UFV Início PPP **Relativo** Status Ferramentas Sobre Contato Bem-vindo, Gabriell! Sair

Posicionamento Relativo

Descrição

E-mail:

Arquivo Rinex de Observação da BASE: No file selected.

Arquivo Rinex de Observação do ROVER: No file selected.

Selecione a placa tectônica da estação BASE:

Selecione a placa tectônica da estação ROVER:

Arquivo BLQ (Ocean Tide Loading): No file selected.

Correção dos efeitos ionosféricos de ordem superior:

Coordenadas de referência (BASE): No cabeçalho do arquivo rinex Inserir manualmente

Sistema de Referência:

Época da Coordenada:

X (m):	<input type="text"/>	Desvio X (m):	<input type="text"/>
Y (m):	<input type="text"/>	Desvio Y (m):	<input type="text"/>
Z (m):	<input type="text"/>	Desvio Z (m):	<input type="text"/>

Desenvolvimento: Gabriel Diniz de Oliveira / Coordenação: William Rodrigo Dal Poz

DEC UFV

Fonte: Elaborada pelo autor.

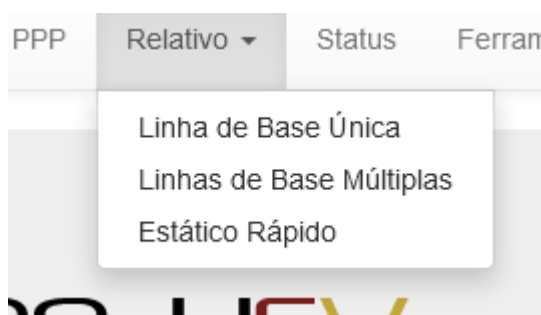
De maneira análoga ao método PPP, no método relativo os campos “e-mail”, “arquivo RINEX (Base e Rover)” e “placa tectônica” são obrigatórios. Caso o usuário opte por inserir as correções de carga oceânica, os parâmetros para todas as estações devem constar no mesmo arquivo.

Na interface do método relativo, estão presentes os campos para a definição das coordenadas de referência da estação base. Caso seja marcada a opção para inserir

manualmente as coordenadas cartesianas de referência, os campos para essa opção (ilustrados na parte inferior da Figura 17) são habilitados para edição.

Os formulários para solicitação de processamento no método relativo para linhas de base única de longa duração e de curta duração (Estático Rápido) possuem as mesmas características ilustradas na Figura 17, porém estão dispostos em links diferentes, no submenu “Relativo” (na parte superior da interface web), conforme ilustrado na Figura 18

Figura 18 — Submenu para acesso aos formulários de solicitação de processamento no método relativo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 19 está ilustrada a interface de solicitação de processamento no método relativo para o caso de várias estações de referência (base), com a formação de múltiplas linhas de base para estimar as coordenadas de uma única estação *rover*. Esse método de processamento será detalhado na seção 3.2.5.2.2 (Múltiplas Linhas de Base).

Figura 19 — Interface de solicitação de processamento pelo método relativo para múltiplas linhas de base.

The screenshot shows a web application interface for GNSS processing. At the top, there is a navigation bar with the logo 'GNSS-UFV' and several menu items: 'Início', 'PPP', 'Relativo' (which is highlighted), 'Status', 'Ferramentas', 'Sobre', and 'Contato'. On the right side of the navigation bar, it says 'Bem-vindo, Gabriel!' and 'Sair'. Below the navigation bar, the main heading is 'Posicionamento Relativo- Linhas de Base Múltiplas'. To the right of this heading is a button labeled 'Descrição'. The main content area contains several form fields:

- 'E-mail:' followed by an empty text input field.
- 'Arquivo Rinex de Observação do ROVER:' followed by a search button labeled 'Procurar...' and the text 'Nenhum arquivo selecionado.'.
- 'Seleção das estações de referência (BASE):' followed by two radio button options: 'Automática (RBMC)' (which is selected) and 'Manual'.
- 'Raio máximo de distância para seleção das BASES (KM):' followed by a text input field containing the number '200' and a small icon on the right.
- 'Selecione as estações de referência da RBMC:' followed by a search button labeled 'Buscar Estação'.
- 'Selecione a placa tectônica das estações BASE:' followed by a dropdown menu showing 'SOM - Sul Americana'.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para as solicitações de processamento no método relativo para múltiplas linhas de base, os campos para seleção da placa tectônica, arquivo com parâmetros para correção da carga oceânica, sistema de referência e época são similares ao método descrito para linha de base única. Ademais, nessa opção de processamento está acrescida a possibilidade de seleção manual e automática das estações de referência.

A seleção manual consiste na inserção dos nomes das estações no campo “Selecione as estações de referência da RBMC”, onde o próprio sistema irá realizar o download dos arquivos de observações no servidor do IBGE antes de iniciar o processamento.

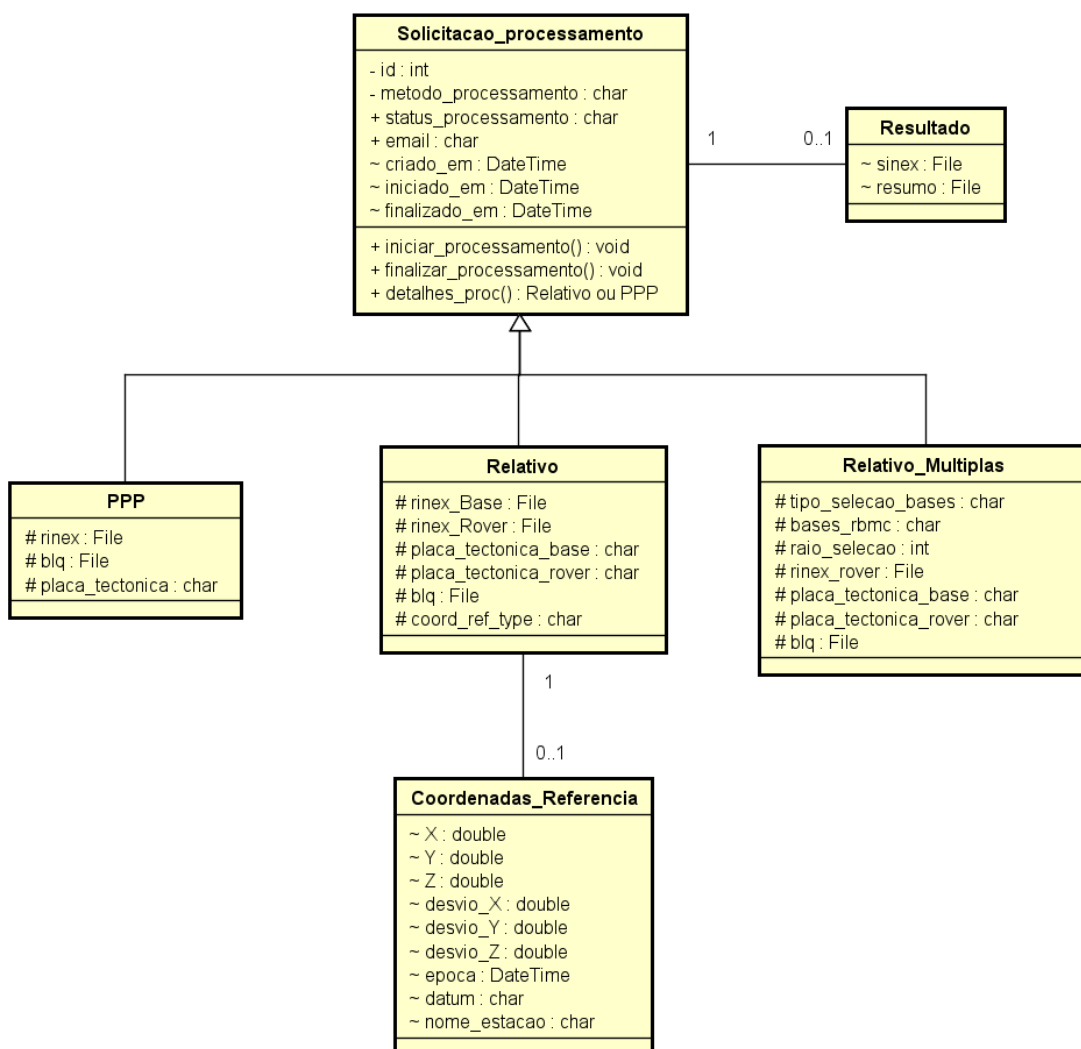
Para a seleção automática das estações de referência, implementou-se uma rotina no sistema que seleciona as estações da RBMC a partir de um raio definido pelo usuário. Esta consulta é realizada com o uso da função *ST_Dwithin*, presente na extensão *Postgis* do banco de dados *Postgresql*. Os dados de todas as estações da RBMC estão armazenados na base de dados do sistema com seus respectivos nomes e coordenadas de localização.

3.2.3 ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS

O banco de dados do sistema GNSS-UFV é estruturado com o sistema PostgreSQL, adicionado à extensão PostGIS para tratar dados geográficos.

A Figura 20 ilustra o modelo de classes UML da estrutura que compõe o banco de dados do sistema GNSS-UFV.

Figura 20 — Diagrama de Classes UML do sistema GNSS-UFV.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Devido às solicitações de processamento PPP e relativo possuírem diversos atributos em comum, fez-se necessário criar uma superclasse com esses atributos, a qual possui um método para recuperar os detalhes de cada solicitação.

Uma classe com as coordenadas das estações de referência (Base) está relacionada somente à classe das solicitações de processamento relativo. As instâncias dessa classe podem estar relacionadas a uma instância da classe de coordenadas, caso as coordenadas de referência sejam inseridas de forma manual, ou podem não estar relacionadas a nenhuma instância dessa classe de coordenadas, caso sejam informadas no cabeçalho do arquivo RINEX.

Os processamentos realizados no software Bernese GNSS podem ter sucesso ou não, de modo que as solicitações de processamento podem estar relacionadas a um resultado ou não. No entanto, toda instância de resultado deve estar relacionada a uma instância de solicitação.

Esse modelo de armazenamento das solicitações de processamento viabiliza o processo de solicitações em paralelo, pois enquanto uma solicitação está sendo processada, outras podem ser recebidas pelo sistema.

3.2.4 FILA DE PROCESSAMENTO

O Bernese faz a integração dos seus módulos através de leituras e escritas em arquivos no disco de cada etapa do processamento. Essa estrutura inviabiliza a realização de processamentos em paralelo pelo mesmo usuário, tendo em vista que pode ocorrer a sobrescrita de arquivos durante os processamentos.

Uma opção de processamento paralelo em uma mesma máquina é com o encapsulamento da instalação em um ambiente virtualizado, como por exemplo as máquinas virtuais. Para o sistema GNSS-UFV, utilizou-se a tecnologia Docker (<https://www.docker.com>) para virtualizar o ambiente de instalação do Bernese, bem como de todos os demais componentes do sistema.

Com o uso do Docker, o próprio sistema automaticamente inicializa uma nova instância do ambiente virtualizado, que é chamado de contêiner, onde são executados os processamentos dos dados. Ao final, após os resultados serem persistidos na base de dados, o contêiner é finalizado automaticamente. Nesse modelo de processamento utilizando Docker, o número de instâncias em paralelo é limitado somente pela capacidade de processamento da máquina.

O sistema GNSS-UFV atualmente está apto a utilizar somente duas instâncias de processamento ativos, devido à limitação de recursos da máquina disponível para

esse fim. Desse modo, faz-se necessário gerenciar uma fila de processamentos das requisições feitas pelos usuários.

A classe de solicitação de processamento possui dois métodos de controle, sendo um para marcar o início e outro o término de cada processamento. Também há um atributo para indicar seu status. Dessa forma, um novo processamento só é iniciado após o término do seu antecessor, e eles são organizados pela ordem de chegada (solicitações mais antigas são processadas primeiro).

Atualmente, a fila de processamentos é gerida pelo *framework* Celery (<https://docs.celeryproject.org/>). Uma verificação adicional de *threadings* ativas é feita antes de iniciar cada processamento.

Os processamentos pelo método PPP e relativo para linha de base única realizados no sistema GNSS-UFV possuem duração média de 2 minutos, entretanto, processamentos no método relativo com mais de uma estação de referência podem demorar mais de 30 minutos, caso tenham um número elevado de estações (acima de 50). Não é esperado que processamentos fiquem ativos por mais de 60 minutos, pois esse longo tempo de espera é uma forte evidência de erro no processo.

3.2.5 ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO DE DADOS GNSS

Foram implementadas no GNSS-UFV rotinas para processamentos nos métodos PPP e relativo, sendo que no método relativo tem-se as opções de estimar as coordenadas de uma estação a partir de uma estação de referência (linha de base única) ou por mais de uma estação de referência (múltiplas linhas de base). Também foi desenvolvida separadamente uma rotina para processamento de dados com o método relativo estático rápido, para linha de base única. O tópico a seguir trata da rotina de processamento pelo PPP.

3.2.5.1 ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO PELO MÉTODO PPP

A rotina de processamento pelo método PPP no GNSS-UFV utiliza o script PPPDEMO.PCF do software Bernese GNSS. Esse pode ser dividido em seis etapas:

- Checagem e transferência dos arquivos necessários;
- Preparo das informações sobre órbitas dos satélites, erro do relógio e parâmetros de orientação da Terra;

- Pré-processamento dos dados (conversão e sincronização das observações);
- Estimativa da solução por PPP;
- Estimativa de parâmetros especiais (Ionosfera, troposfera, geocentro e solução época a época);
- Relatório dos resultados.

Na primeira etapa do script, os arquivos exigidos para o processamento são verificados. Conforme descrito na seção 3.2.1, a API implementada é que gera esses arquivos a partir das informações contidas no cabeçalho do arquivo RINEX submetido pelo usuário. Caso algum arquivo obrigatório esteja faltando, o processamento é finalizado com erro pelo Bernese. Até o momento não se tem registro desse tipo de erro pelo sistema GNSS-UFV.

A segunda etapa do script é responsável pelo preparo das informações sobre órbita dos satélites, erro do relógio e parâmetros de rotação e orientação da Terra. Os módulos relacionados à manipulação das órbitas podem ser considerados a espinha dorsal do software Bernese GNSS (DACH *et al.*, 2015).

Na terceira etapa do script, é feita também a filtragem das observações. Sendo as coordenadas finais estimadas na quarta etapa.

Ao final é apresentado um arquivo com a extensão “.PRC”, que descreve o resumo dos principais processamentos, arquivos de entrada, arquivos de saída e estatísticas relevantes sobre todos os parâmetros estimados e seus resíduos.

Em resumo, tem-se como características da estratégia de processamento pelo PPP os seguintes argumentos:

- Máscara de elevação: 10º para estimativa das coordenadas, 3º para detecção de *outliers*;
- Dados de Observação: GPS e GLONASS;
- Intervalo de observações: 300 segundos para a estimativa das coordenadas;
- Modelo troposférico: GMF;
- Modelo ionosférico: Modelo Global da Ionosfera (GIM);
- Sistema de referência: vinculado às coordenadas do satélite (IGS00, IGS08, IGB08, IGS14);

- Época de referência: época do rastreamento;
- Coordenadas a priori: a partir das coordenadas apresentadas no cabeçalho do arquivo RINEX;
- Calibração de antenas: arquivo disponibilizado pelo CODE;
- Efemérides: arquivo disponibilizado pelo CODE;
- Erro do relógio do satélite: arquivo disponibilizado pelo CODE;
- Parâmetros de rotação da Terra: de acordo com as convenções IERS2010 (PETIT; LUZUM, 2010);
- Maré terrestre: Convenções IERS2010, que sugerem o modelo TIDE2000;
- Carga oceânica: Convenções IERS2010, que sugerem o modelo FES2004;
- Carga atmosférica: Convenções IERS2010, que sugerem o modelo RAY AND PONTE.

O tópico seguinte trata da estratégia de processamento utilizando o método relativo.

3.2.5.2 ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO PELO MÉTODO RELATIVO

Para as rotinas de processamento no método relativo, foram implementados dois novos scripts de processamento no software Bernese GNSS: o RLTUFV.PCF, para uma estimativa das coordenadas mais acurada, com uma ou mais estações de referência (com linha de base única ou múltiplas), e o RAPSTA.PCF, para uma estimativa a partir de rastreios de curta duração (método estático rápido).

3.2.5.2.1 LINHA DE BASE ÚNICA

O processamento de dados no método relativo para linha de base única utiliza o script RLTUFV.PCF, que foi criado a partir do script RNX2SNX.PCF. Nesse novo script foi preservada toda a rotina de preparo das informações sobre órbitas dos satélites, estimativa do erro do relógio e parâmetros de orientação da Terra e pré-processamento dos dados (conversão e sincronização das observações).

A metodologia de solução das ambiguidades do vetor de número de ciclos também foi preservada. A versão 5.2 do Bernese possui implementadas quatro estratégias para resolução das ambiguidades: ROUND, SIGMA, SEARCH e QIF (DACH *et al.*, 2015).

Na estratégia ROUND os valores estimados são simplesmente arredondados para o inteiro mais próximo. Ela não é utilizada por nenhum script de processamento e seu uso não é recomendado.

A estratégia SEARCH é baseada na estratégia *Fast Ambiguity Resolution Approach* (FARA) (FREI; BEUTLER, 1990). A desvantagem da estratégia SEARCH é que ou todas as ambiguidades são aceitas ou todas são rejeitadas. Dach *et al.* (2015) não aconselham seu uso em linhas de base longas.

A estratégia SIGMA pode ser usada com observações de uma frequência ou com combinações lineares das observações. Dach *et al.* (2015) recomendam o uso dessa estratégia em linhas de base muito longas, utilizando-se da combinação linear *Melbourne-Wubben* (L_6).

A estratégia *Quasi Ionosphere Free* (QIF) somente pode ser aplicada com observações de dupla frequência, pois utiliza a combinação linear *Ionosphere-Free*.

O método LAMBDA não está disponível na versão 5.2 do software Bernese GNSS. De acordo com SCHAER *et al.* (2010), a implementação do Bernese precisa ser remodelada para a solução de ambiguidades em um cenário de multiplataformas GNSS.

Dach *et al.* (2015) recomendam diferentes estratégias de solução das ambiguidades, de acordo com a variação do comprimento da linha de base e o tempo de ocupação, conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Estratégias de solução das ambiguidades recomendadas.

Linha de Base	Tempo de Ocupação	Estratégia de solução das ambiguidades
Curta (20-40km)	>1 hora	SIGMA: L_1/L_2 ou L_1 ou L_2
Curta (0-10km)	1-5 minutos	SEARCH: L_1/L_2 ou; SEARCH: L_1 . Sugerido mais de uma ocupação.
Média (<100-200km)	>2-4 horas	Passo 1: Solução flutuante utilizando L_3 , estima coordenadas e atraso troposférico. Passo 2: Solução das ambiguidades empregando o método SIGMA, utilizando L_5 (Wide-Lane).

Passo 3: Solução fixa, SIGMA, utilizando L₃.

Longa (<6.000km)	>8-24 horas	Passo 1: Solução das ambiguidades, SIGMA, utilizando L ₆ . Passo 2: Solução fixa, SIGMA, utilizando L ₃ .
Longa (<1.000-2.000km)	>8-24 horas	QIF, utilizando L ₁ /L ₂ .

Fonte: Dach *et al.* (2015).

A escolha da estratégia ideal para a solução das ambiguidades não é uma tarefa trivial. Verifica-se na Tabela 2 que a variação da distância e do tempo de rastreamento em levantamentos por GNSS produzem diferentes cenários possíveis. Goad (1998) descreve ainda a interferência da variação da ionosfera na solução das ambiguidades, assim como retratado por Dal Poz e Camargo (2008).

A alteração mais relevante do script `RLTUFV.PCF` em relação ao `RNX2SNX.PCF` é a fixação das estações de referência para determinar as coordenadas da estação *rover*, haja visto que o script `RNX2SNX.PCF` realiza o processamento em rede com o injuncionamento das estações que pertencem à rede IGS. Porém, caso não tenha nenhuma estação do IGS dentre os dados, o script `RNX2SNX.PCF` não conclui o processamento com êxito.

Dessa forma, para determinar as coordenadas de uma estação a partir das coordenadas de outra estação com localização supostamente conhecida, conforme apresentado em normativos nacionais como INCRA (2013) e IBGE (2017b), é necessário realizar a fixação dessas estações no processamento dos dados.

Para promover a fixação da estação de referência, foi implementado no script `RLTUFV.PCF` a alteração dos parâmetros de entrada nos módulos `GPSEST` e `ADDNEQ2` nas etapas de estimativa das coordenadas da estação, tanto da solução final quanto da solução flutuante do pré-processamento.

Os parâmetros de processamento para o método relativo são os mesmos apresentados na seção anterior para o método PPP, com exceção do intervalo das observações e da época e referência das coordenadas estimadas. Para esse caso, o intervalo das observações utilizado é de 30 segundos e a época e referência das coordenadas estimadas serão as mesmas das coordenadas de referência.

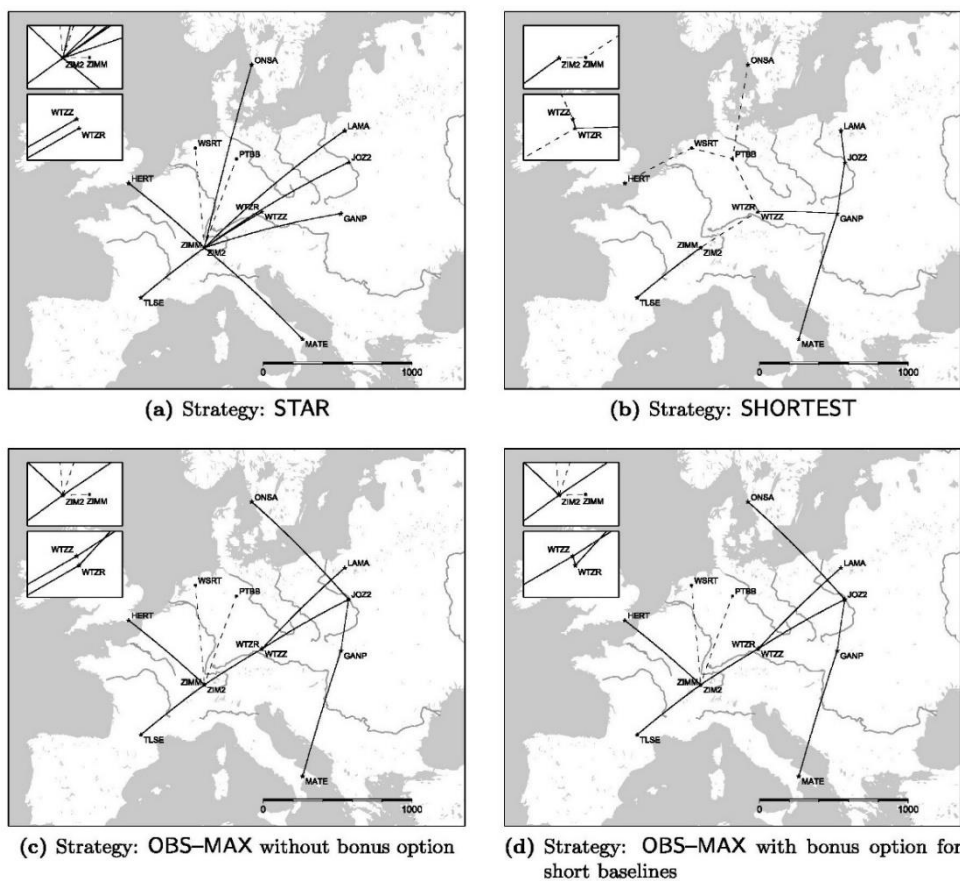
Assim como foi feito no script PPPDEMO.PCF, incorporou-se o cômputo dos parâmetros de carga atmosférica no script RLUFV.PCF, por meio do arquivo do tipo “.ATL” gerado pelo módulo GRDS1S2.

O script RLUFV.PCF também pode ser utilizado para o processamento de múltiplas linhas de base em conjunto, entretanto, no sistema GNSS-UFV tem-se como possibilidade no momento somente a estimativa das coordenadas de uma estação *rover* com uma linha de base única ou com várias estações de referência.

3.2.5.2.2 LINHAS DE BASE MÚLTIPLAS

Leick (2015) define uma rede GPS como um poliedro de estações, onde os pontos finais dos vetores não deverão estar desconectados de outras partes da rede. Entretanto, Dach *et al.* (2015), apresenta quatro estratégias de seleção das linhas de base para se formar as redes de processamento, ilustradas na Figura 21.

Figura 21 — Estratégias de seleção das linhas de base no software Bernese GNSS.



Fonte: Dach *et al.* (2015).

No script `RLTUFV.PCF`, quando executado com múltiplas estações de referência para se determinar as coordenadas de uma única estação *rover*, tem-se uma situação similar à da Figura 21(a).

Nesse modo de processamento se aplicam os mesmos parâmetros descritos para linha de base única. A diferença é a possibilidade de seleção de múltiplas estações de referência de modo manual ou automático.

As coordenadas de referência das estações são obtidas a partir do cabeçalho dos arquivos RINEX das estações da RBMC. Como essas coordenadas estão referenciadas ao SIRGAS2000, época 2000.4, conseqüentemente as coordenadas estimadas nesse modo também estarão nesse mesmo referencial e época.

Para o processamento no script `RLTUFV.PCF`, é desejável um tempo de rastreo superior a duas horas, considerando o intervalo de observação imposto e o controle de qualidade na detecção de *outliers*. Conforme mencionado anteriormente, rastreios de curta duração tendem a não serem processados nesse script. Isso posto, foi criado um script de processamento pelo método relativo estático rápido, tema do tópico a seguir.

3.2.5.2.3 ESTÁTICO RÁPIDO

Os scripts de processamento pelo método PPP e relativo da versão 5.2 do Bernese dificilmente processam dados com menos de uma hora de rastreo, pois durante a rotina de pré-processamento, os algoritmos de controle de qualidade das observações eliminam esses arquivos. Para estimar as coordenadas com arquivos de curto tempo de rastreo, é necessário realizar o processamento manualmente ou criar novos scripts.

Para realizar os processamentos com o método estático rápido no Bernese foi implementado o script `RAPSTA.PCF`, que possui estrutura básica baseada no script de processamento no método relativo, `RLTUFV.PCF`, descrito na seção anterior. Entretanto, nesse novo script foram suprimidos e modificados diversos algoritmos de detecção de *outliers*, e implementada uma nova abordagem para solucionar as ambigüidades.

No módulo `RNXOBV3`, a importação das observações passou a ser feita diretamente do arquivo RINEX e não mais dos códigos suavizados pela fase

(RNXSMT), como nos demais scripts. Além disso, o intervalo mínimo das observações foi reduzido para 15 segundos.

A execução do módulo RNXSMT foi removida, não pelo fato da suavização da fase, mas pela filtragem dos dados que utiliza das combinações lineares *Melbourne-Wuebbena*, *Geometry-Free* e *Ionosphere-Free*, para verificar os resíduos das observações em relação a um polinômio ajustado, e com isso detecta perdas de ciclo e outros *outliers*. Entretanto, a detecção de *outliers* do módulo CODSPS continua sendo feita normalmente.

O ângulo de elevação mínimo para o módulo MAUPRP passa a ser de 15°. Foi alterado também o intervalo mínimo de observações, passando de 301 para 151 segundos. O intervalo máximo de lacuna sem observações passou de 61 para 31 segundos. Além disso, o tempo mínimo de observações por ambiguidade diminuiu de 301 para 61 segundos.

Nesse script continua sendo executado o algoritmo de detecção de *outliers* por resíduo das observações após a estimativa das coordenadas, que utiliza a combinação de processamentos dos módulos GPSEST, RESRMS e SATMRK. Entretanto, foi removida a execução do módulo RESCHK, que elimina estações com RMS geral da solução abaixo de um valor mínimo estipulado (por padrão 6 mm).

A solução das ambiguidades é muito influenciada pelos *outliers* nas observações, além disso, a acurácia no posicionamento GNSS utilizando o método estático rápido possui uma relação muito forte com a solução das ambiguidades (TUT *et al.*, 2013).

Conforme descrito na seção 3.2.5.2.1, está implementado no Bernese quatro métodos para a solução das ambiguidades: ROUND, SEARCH, SIGMA e QIF. O uso do método ROUND (arredondamento) não é aconselhado por Dach *et al.* (2015), tendo em vista que não é uma estratégia segura. Já no método QIF (*Quasi-Ionosphere Free*), é obrigatório o uso de dados com dupla frequência.

Consequente, foi implementada uma solução para as ambiguidades utilizando o método LAMBDA, conforme apresentado por Li, Verhagen e Teunissen (2013), descrita como a versão 3.0 desse método.

Inicialmente foi utilizado o código em MATLAB, disponibilizado em: <https://www.tudelft.nl/en/ceg/about-faculty/departments/geoscience-remote-sensing/research/lambda/lambda/>, porém, para incorporá-lo ao Bernese e viabilizar sua execução em um servidor remoto é interessante utilizar uma linguagem de

programação à qual não seja necessária a instalação de um software proprietário. No ano de 2018, iniciou-se a transposição do código em MATLAB para uma versão em Python. De maneira surpreendente, mas ao encontro dos princípios desta pesquisa, em novembro de 2019, Dimitrios Psychas da Universidade de Delft apresentou, na mesma página web descrita acima, um código Python para a versão 3.0 do método LAMBDA, alinhado ao que estava sendo desenvolvido nesta pesquisa.

Dentre as possibilidades do método LAMBDA v3.0, foi utilizada a opção de busca pelo método *Integer Last Square* (ILS), com o *Ratio-test* para a validação das ambiguidades fixas.

Para acoplar o código Python (PSYCHAS; VERHAGEN; TEUNISSEN, 2019) ao Bernese, foi desenvolvido o módulo GNSLAMBBD que estabelece a conexão entre o processamento no Bernese e a aplicação Python.

O módulo GNSLAMBBD primeiramente estima se as ambiguidades flutuantes com o GPSEST e as armazena em um arquivo de texto, juntamente com sua matriz variância e covariância (MVC). Esses dois vetores (ambiguidades e MVC) são lidos pela aplicação Python, que estima as ambiguidades fixas e as valida pelo *Ratio-test*. Em seguida, esses valores inteiros são armazenados em um arquivo de texto, que é lido pelo módulo GNSLAMBBD e armazenado no formato padrão do Bernese, para o prosseguimento da estimativa das coordenadas com a solução fixa.

Caso a solução das ambiguidades retorne com sucesso do *Ratio-test* a solução final das coordenadas são estimadas pelo GNSS-UFV utilizando somente observações da fase, caso contrário, as coordenadas finais são estimadas com as observações do código e da fase.

Considerando que os parâmetros de entrada para a solução do método Lambda v3.0 são somente os vetores das ambiguidades flutuantes e sua MVC, pode-se considerar que a aplicação apresentada por Li, Verhagen e Teunissen (2013) e Psychas, Verhagen e Teunissen (2019) já está preparada para uma solução de ambiguidades multiplataforma GNSS.

4 EXPERIMENTOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção são abordados os experimentos realizados com a finalidade de validação do sistema GNSS-UFV. Foram processados dados GPS de janeiro a dezembro de 2018 (365 dias), pelos métodos PPP e relativo. Os resultados obtidos com o método PPP do GNSS-UFV foram comparados aos dos serviços IBGE-PPP e os resultados do posicionamento relativo do GNSS-UFV foram comparados com os do AUSPOS.

As acurácias foram calculadas conforme descrito em Almeida e Dal Poz (2016), no qual as resultantes planimétricas e componentes altimétricas são obtidas a partir da tendência (discrepância) e precisão (desvio padrão) das coordenadas estimadas.

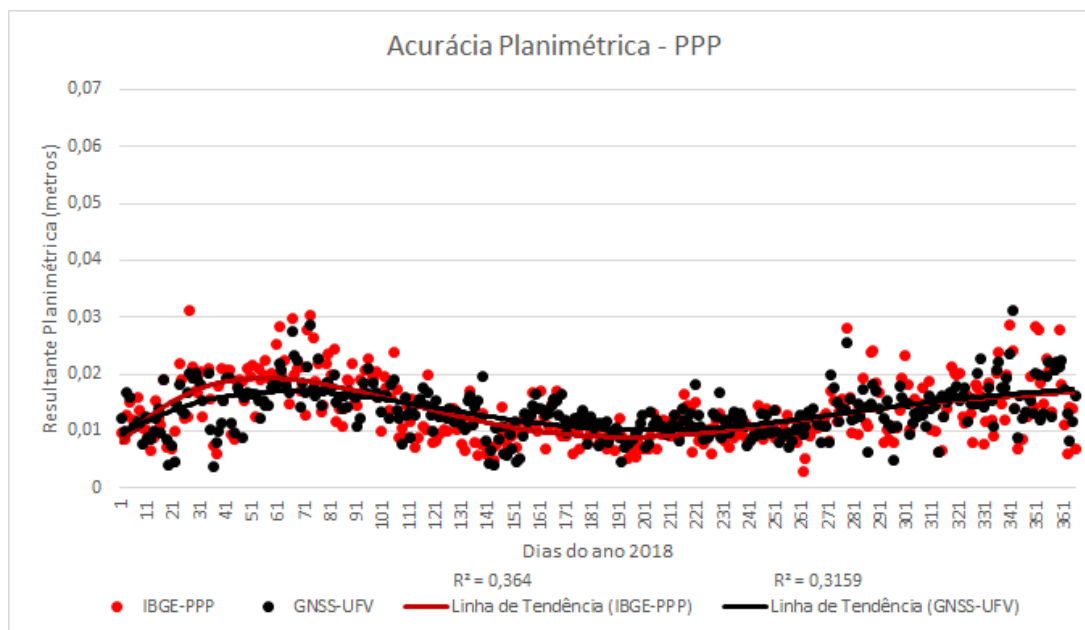
As coordenadas de referência utilizadas para o cálculo das discrepâncias foram obtidas a partir da solução multianual SIR17P01 do SIRGAS-CON (SÁNCHEZ, 2017). Essas coordenadas estão alinhadas ao IGS14 (REBISCHUNG; SCHMID, 2016a), época 2015.0.

As coordenadas estimadas (na época de rastreamento) foram atualizadas para a época das coordenadas de referência (2015.0), utilizando o modelo de velocidades VEMOS2017 (DREWES; SÁNCHEZ, 2017).

4.1 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

Para avaliar o desempenho do módulo PPP do sistema GNSS-UFV, foram processados dados GPS e GLONASS com o uso das frequências L₁ e L₂, com arquivos de 24h de rastreamento da estação VICO, no período de janeiro a dezembro de 2018 (365 dias) e comparados com os resultados do serviço IBGE-PPP. As Figuras 22 e 23 ilustram as acurácias obtidas em resultantes planimétricas e componentes altimétricas, respectivamente.

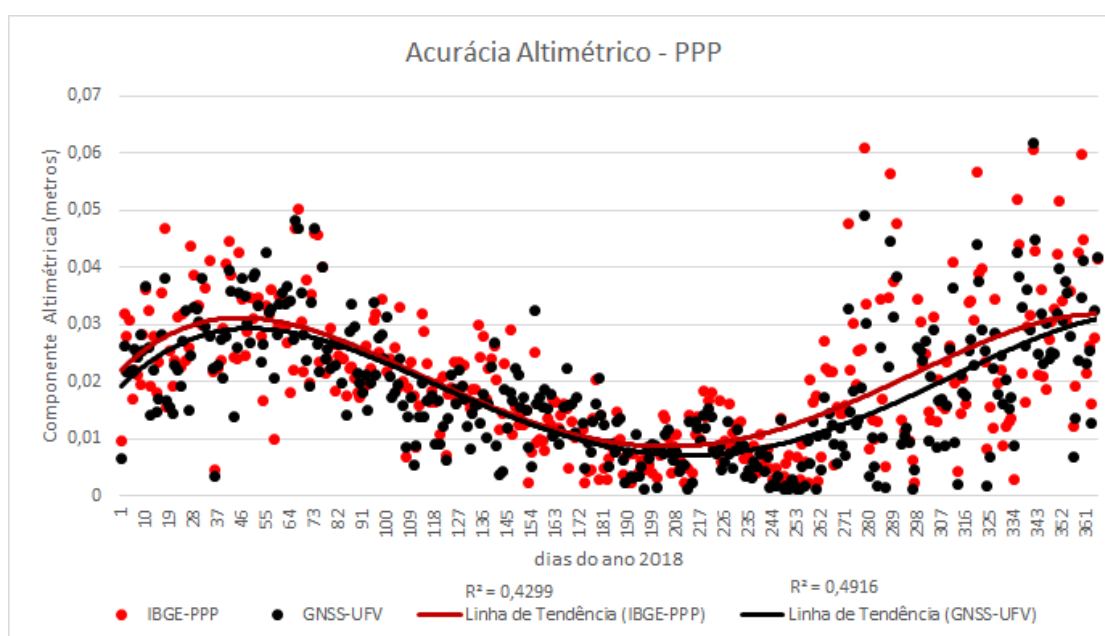
Figura 22 — Acurácias em resultantes planimétricas do IBGE-PPP e GNSS-UFV para o PPP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se verificar pela Figura 22 que as acurácias em resultantes planimétricas foram muito próximas para as duas soluções. A média para os dois sistemas foi de 0,013m. As acurácias em resultantes planimétricas no IBGE-PPP variaram de 0,003m a 0,031m, enquanto no GNSS-UFV variaram de 0,004m a 0,031m.

Figura 23 — Acurácias em componentes altimétricas do IBGE-PPP e GNSS-UFV para o PPP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As acurácias em componentes altimétricas advindas do sistema GNSS-UFV foram menores, a nível milimétrico, que as obtidas no IBGE-PPP. A média das acurácias foi de 0,018m e 0,020m para o GNSS-UFV e para o IBGE-PPP, respectivamente. Nesse caso, as acurácias no GNSS-UFV variaram de 0,001m a 0,062m, e no IBGE-PPP variaram de 0,002m a 0,061m.

A Tabela 2 sintetiza os resultados apresentados nas Figuras 26 e 27, apresentando uma análise exploratória.

Tabela 2 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo método PPP no GNSS-UFV e no IBGE-PPP.

	Planimétrico		Altimétrico	
	IBGE-PPP	GNSS-UFV	IBGE-PPP	GNSS-UFV
Média	0,014m	0,014m	0,020m	0,018m
Mediana	0,012m	0,013m	0,019m	0,017m
Máximo	0,031m	0,031m	0,061m	0,062m
Mínimo	0,003m	0,004m	0,002m	0,001m
EMQ	0,005m	0,004m	0,012m	0,011m

Fonte: Elaborada pelo autor

Essa semelhança, com leve melhoria, dos resultados do sistema GNSS-UFV demonstra confiabilidade no sistema para o módulo PPP. Entretanto não se pode afirmar que um sistema é melhor que o outro, pois existe a compatibilidade dos resultados dos sistemas, para o cenário em estudo, porém pode não ocorrer ao se analisar cenários diferentes, como por exemplo rastreios de curta duração.

Algumas diferenças entre os parâmetros de processamento do GNSS-UFV e IBGE-PPP podem ser destacadas. O GNSS-UFV utiliza efemérides e parâmetros de correção da ionosfera do CODE, já o IBGE-PPP utiliza efemérides do NRCan e parâmetros de correção da ionosfera do IGS. Os parâmetros de correção da carga oceânica utilizado pelo IBGE-PPP e GNSS-UFV são o FES2014b e FES2004, respectivamente.

Apesar de o software Bernese GNSS estar há décadas no mercado, o IBGE-PPP é um sistema com maior maturidade do que o GNSS-UFV, pois o IBGE-PPP já está há mais de 10 anos em operação e é utilizado como referência por diversas instituições, como por exemplo o INCRA (INCRA, 2013).

4.2 POSICIONAMENTO RELATIVO

Para avaliar o processamento pelo método relativo nos modos de linha de base única e múltiplas do sistema GNSS-UFV, foram processados dados de janeiro a dezembro de 2018, com linhas de base formadas entre as estações da RBMC, utilizadas como referência (base), e a estação VICO, com coordenadas a serem estimadas pelos processamentos (*rover*). As estações de referência utilizadas variaram de acordo com a modalidade de processamento, o que será mostrado nos tópicos seguintes.

Os dados GNSS da estação VICO também foram processados no AUSPOS. Saliencia-se para o fato que o serviço AUSPOS processa somente dados da constelação GPS e forma uma rede com mais de quatro estações do IGS para estimar as coordenadas de interesse.

Conforme descrito na seção 3.2.5.2, no GNSS-UFV a rotina de processamento pelo método relativo do software Bernese GNSS foi alterada para utilizar a estação base de referência com coordenadas fixas no ajustamento.

As coordenadas das estações de referência utilizadas no processamento do GNSS-UFV foram coletadas a partir da solução multianual SIR17P01 do SIRGAS-CON (SÁNCHEZ, 2017). Logo, as coordenadas estimadas da estação *rover* permaneceram nesse mesmo referencial (IGS14, época 2015,0).

De maneira similar ao PPP, as acurácias em resultantes planimétricas e componentes altimétricas foram calculadas conforme descrito por Almeida e Dal Poz (2016). As coordenadas estimadas pelo AUSPOS, por sua vez, são referenciadas ao ITRF2014/IGS14 na época do rastreamento, de forma que, a atualização delas para a época de referência (2015.0) foi feita utilizando o modelo de velocidade VEMOS2017. Nesse caso, considerou-se a compatibilidade entre o ITRF2014 e o IGS14 (REBISCHUNG; SCHMID, 2016b).

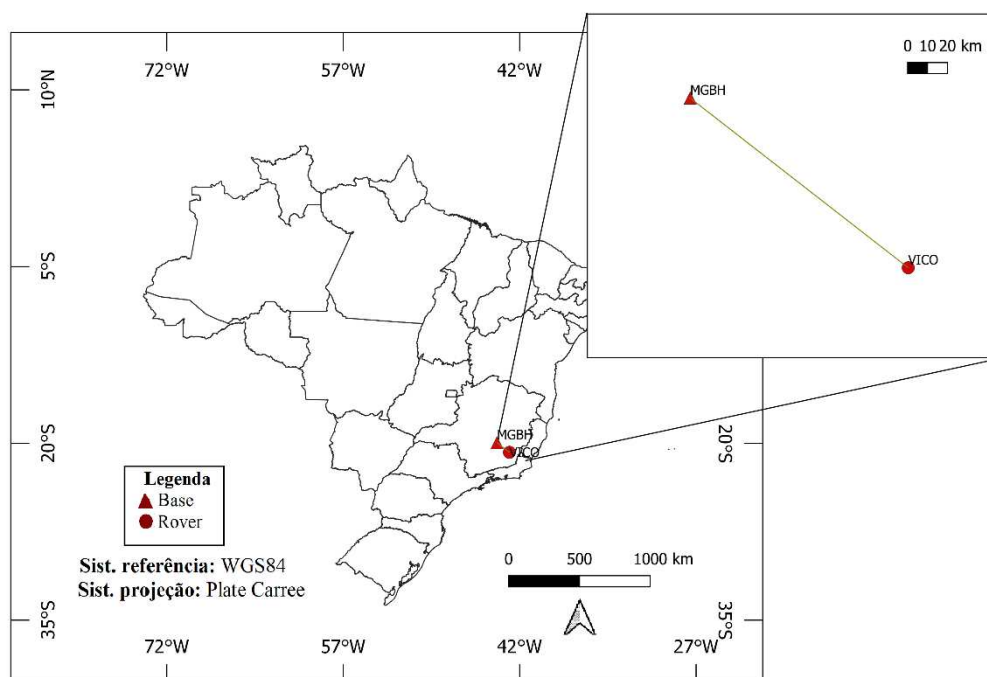
Nas avaliações de linha de base única e múltiplas utilizaram-se dados GPS e GLONASS com o uso das frequências L1 e L2, com arquivos de 24h de rastreamento.

4.2.1 LINHA DE BASE ÚNICA

Para avaliar o processamento pelo método relativo estático com linha de base única foram analisados os dados GNSS das estações MGBH e VICO (Figura 24),

formando uma linha de base de aproximadamente 143km de comprimento. Foi utilizada a estação MGBH como referência para determinar as coordenadas da estação VICO.

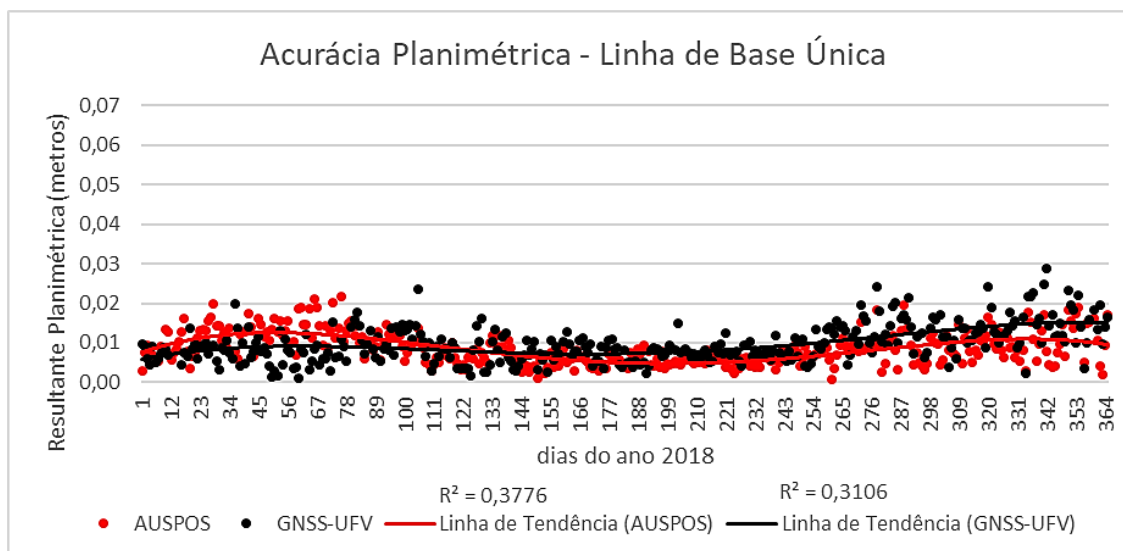
Figura 24 — Linha de base MGBH x VICO.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As Figuras 25 e 26 ilustram as acurácias em resultantes planimétricas e componentes altimétricas, respectivamente, das coordenadas da estação VICO, estimadas pelo método relativo estático, nos sistemas GNSS-UFV e AUSPOS.

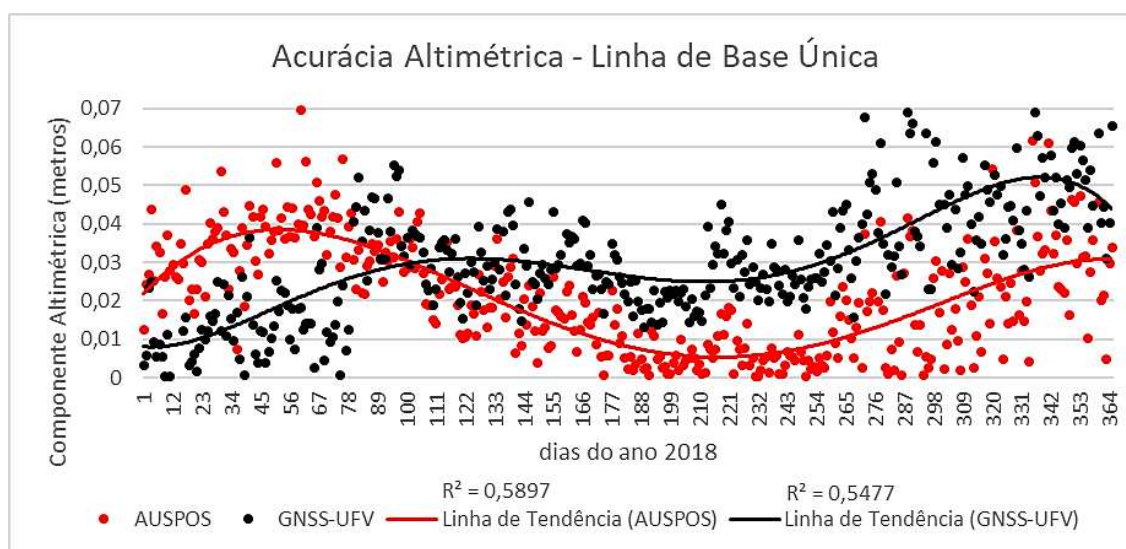
Figura 25 — Acurácias em resultantes planimétricas do AUPOS e GNSS-UFV para o método relativo com linha de base única.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A média das acurácias em resultantes planimétricas foi de 0,009m para o AUSPOS e 0,010m para o GNSS-UFV, variando de 0,001m a 0,022m no AUSPOS e de 0,001m a 0,029m no GNSS-UFV.

Figura 26 — Acurácias em componentes altimétricas do AUPOS e GNSS-UFV e para o método relativo com linha de base única.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A média das acurácias em componentes altimétricas foi de 0,021m para o AUSPOS e 0,030m para o GNSS-UFV, variando de 0,000m a 0,070m no AUSPOS e de 0,000m a 0,084m no GNSS-UFV.

A Tabela 3 sintetiza os resultados apresentados nas Figuras 25 e 26, apresentando uma análise exploratória.

Tabela 3 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo AUSPOS e GNSS-UFV para método relativo com linha de base única.

	Planimétrico		Altimétrico	
	AUSPOS	GNSS-UFV	AUSPOS	GNSS-UFV
Média	0,009m	0,010m	0,021m	0,030m
Mediana	0,008m	0,009m	0,020m	0,028m
Máximo	0,022m	0,029m	0,070m	0,084m
Mínimo	0,001m	0,001m	0,000m	0,000m
EMQ	0,004m	0,005m	0,015m	0,015m

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com os resultados apresentados, percebe-se que o desempenho do AUSPOS nesse cenário é um pouco melhor que o do GNSS-UFV. Entretanto, ressalta-se que o processamento realizado no serviço AUSPOS é proveniente de uma rede com mais de dez estações de referência, diferente do processamento realizado no GNSS-UFV com somente uma estação de referência, e mesmo assim a comparação entre os resultados obtidos resultou em uma diferença média da ordem de milímetros.

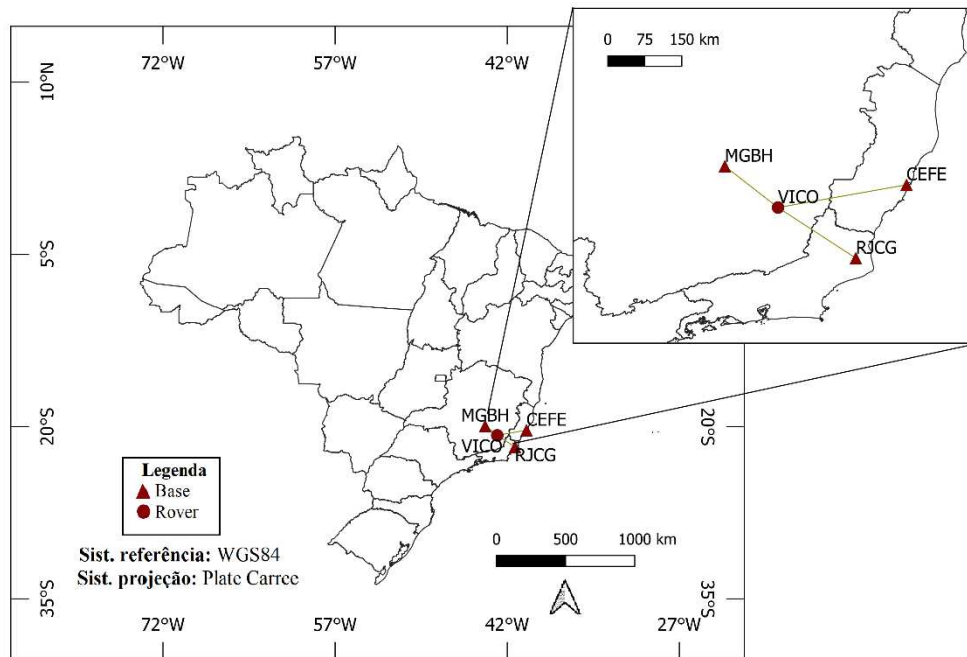
4.2.2 LINHAS DE BASE MÚLTIPLAS

Essa modalidade foi avaliada de duas formas, uma com a seleção das estações de referência de forma manual e outra automática.

4.2.2.1 SELEÇÃO MANUAL DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA

No GNSS-UFV, selecionaram-se como estações de referência: MGBH, CEFE e RJCG, conforme ilustrado na Figura 27. As linhas de bases formadas entre essas estações e a estação VICO possuem aproximadamente 143km, 271km e 195km de comprimento, respectivamente.

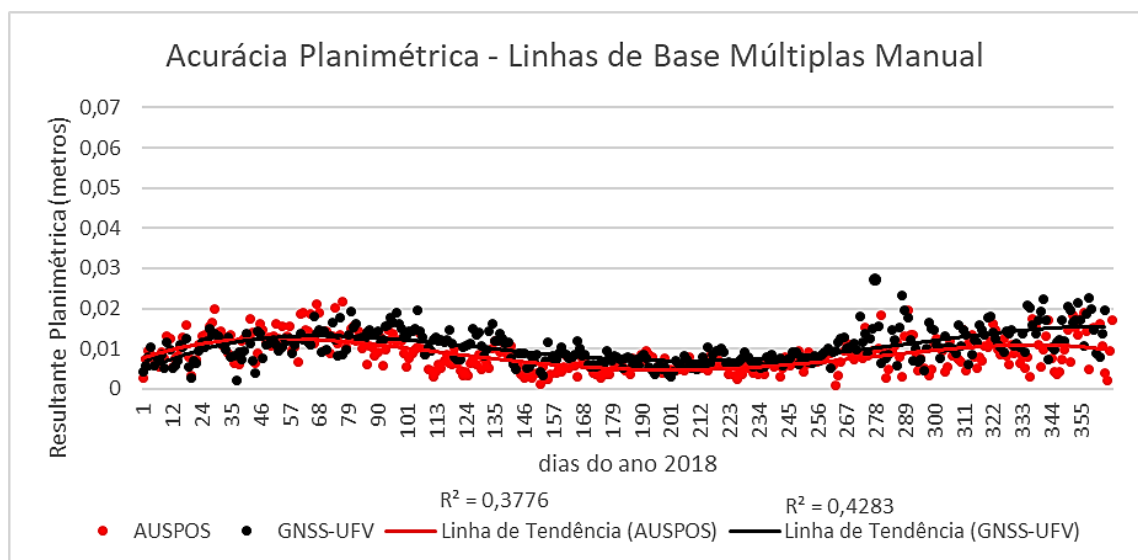
Figura 27 — Linhas de base múltiplas, com seleção manual.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As Figuras 28 e 29 ilustram as acurácias em resultantes planimétricas e componentes altimétricas, respectivamente, a partir das coordenadas estimadas da estação VICO no AUSPOS e no GNSS-UFV pelo método relativo para múltiplas linhas de base com seleção manual das estações de referência.

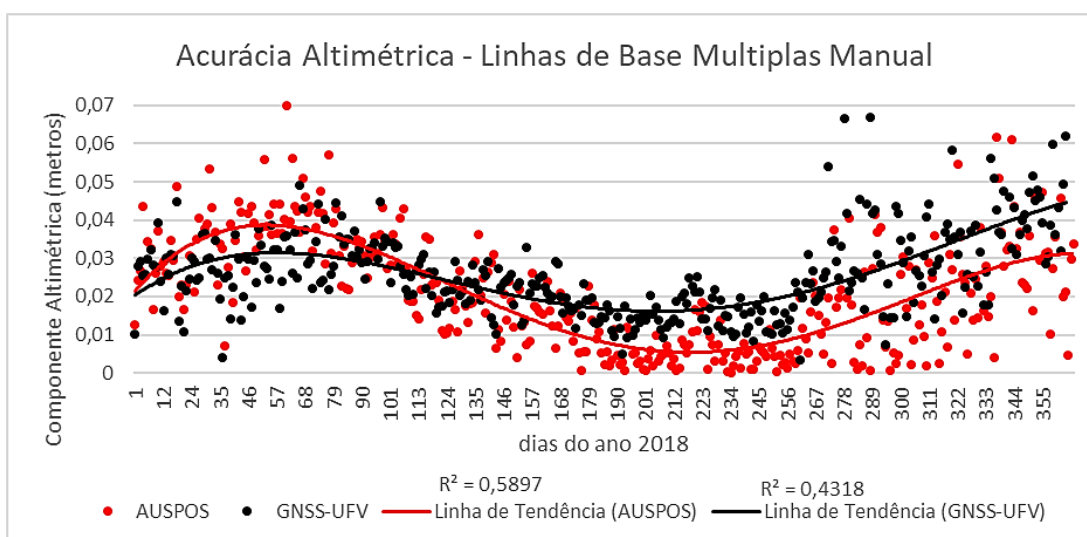
Figura 28 — Acurácias em resultantes planimétricas obtidas pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base com seleção manual das estações de referência.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A média das acurácias em resultantes planimétricas foi de 0,009m para o AUSPOS e 0,010m para o GNSS-UFV, variando de 0,001m a 0,022m no AUSPOS e de 0,002m a 0,027m no GNSS-UFV.

Figura 29 — Acurácias em componentes altimétricas obtidas pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base com seleção manual das estações de referência.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A média das acurácias em componentes altimétricas foi de 0,021m para o AUSPOS e 0,026m para o GNSS-UFV, variando de 0,000m a 0,070m no AUSPOS e de 0,004m a 0,076m no GNSS-UFV.

A Tabela 4 sintetiza os resultados apresentados nas Figuras 28 e 29, apresentando uma análise exploratória.

Tabela 4 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo AUPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base com seleção manual das estações de referência.

	Planimétrico		Altimétrico	
	AUSPOS	GNSS-UFV	AUSPOS	GNSS-UFV
Média	0,009m	0,010m	0,021m	0,026m
Mediana	0,008m	0,010m	0,020m	0,025m
Máximo	0,022m	0,027m	0,070m	0,076m
Mínimo	0,001m	0,002m	0,000m	0,004m
EMQ	0,004m	0,004m	0,015m	0,011m

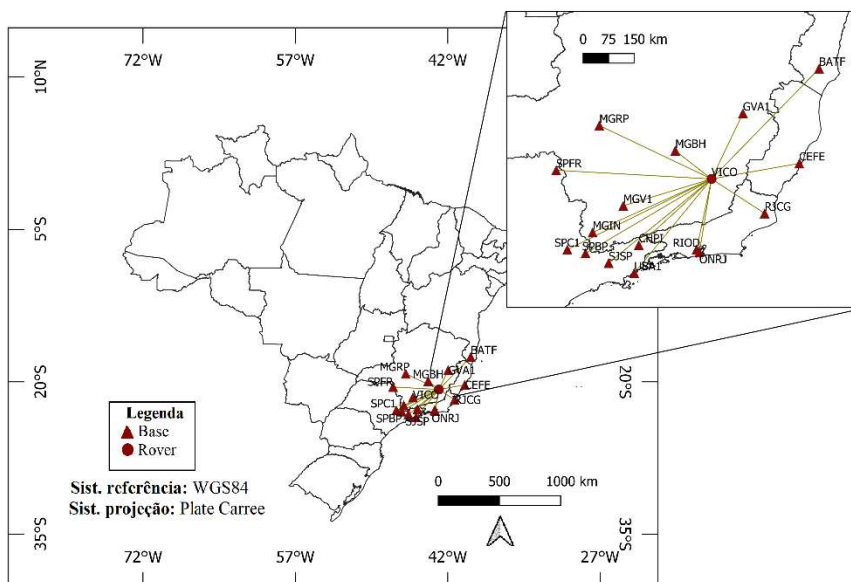
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados do processamento pelo GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base com seleção manual de três estações de referência se apresentaram mais próximo dos resultados do AUSPOS, quando comparados aos resultados obtidos com linha de base única. Entretanto ainda apresentaram médias superiores as obtidas com o AUSPOS, porém, de forma sensível, na ordem de milímetros.

4.2.2.2 SELEÇÃO AUTOMÁTICA DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA

Para experimento desse tipo de processamento, utilizou-se um raio de 500km da estação a ser estimada para a seleção das estações de referência. Desse modo, o GNSS-UFV selecionou dezesseis estações de referência, conforme ilustrado na Figura 30. As linhas de bases formadas entre as estações de referência e a VICO possuem comprimentos variando de 143km a 490km.

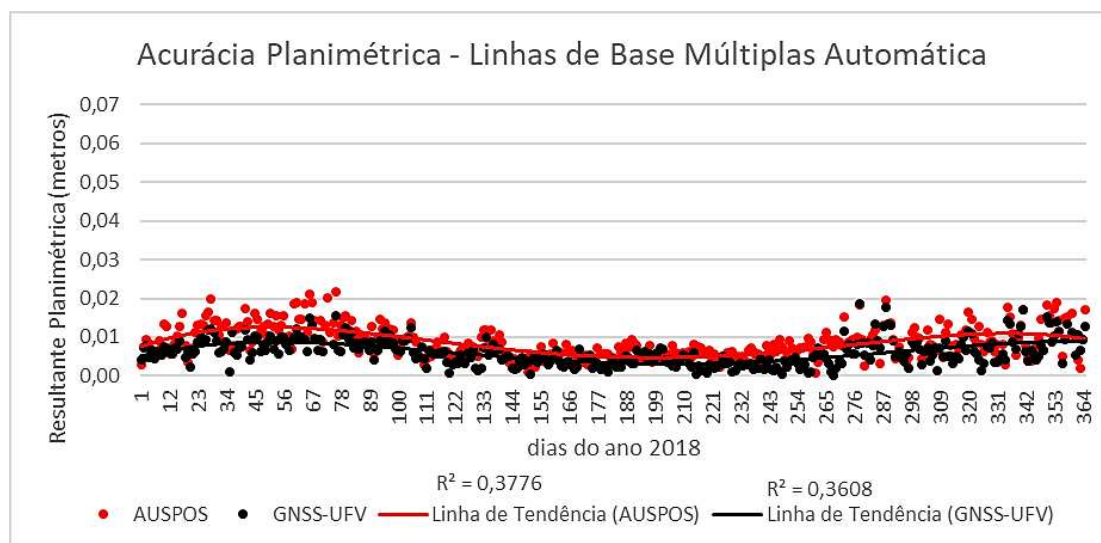
Figura 30 — Linhas de base múltiplas, com seleção automática.



Fonte: Elaborada pelo autor.

As Figuras 31 e 32 ilustram as acurácias em resultantes planimétricas e componentes altimétricas, respectivamente, das coordenadas estimadas da estação VICO no AUSPOS e GNSS-UFV pelo método relativo estático com múltiplas linhas de base, com seleção automática das estações de referência.

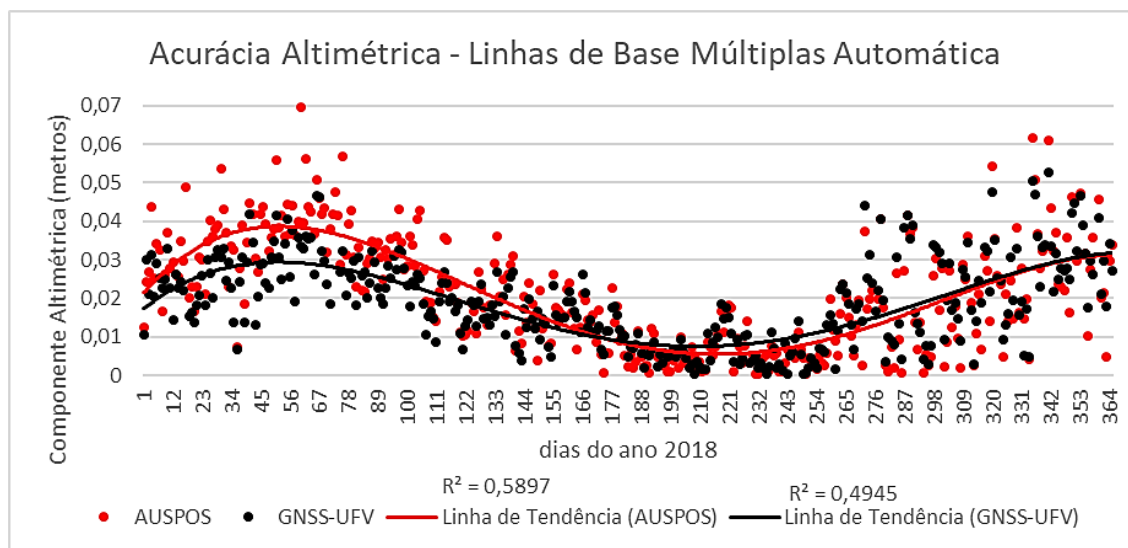
Figura 31 — Acurácias em resultantes planimétricas obtidas pelo AUSPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base, com seleção automática das estações de referência.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A média das acurácias em resultantes planimétricas foi de 0,009m para o AUSPOS e 0,006m para o GNSS-UFV, variando de 0,001m a 0,022m no AUSPOS e de 0,001m a 0,019m no GNSS-UFV.

Figura 32 — Acurácias em componentes altimétricas obtidas pelo AUSPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base, com seleção automática das estações de referência.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A média das acurácias em componentes altimétricas foi de 0,021m para o AUSPOS e 0,019m para o GNSS-UFV, variando de 0,000m a 0,070m no AUSPOS e de 0,001m a 0,053m no GNSS-UFV.

A Tabela 5 sintetiza os resultados apresentados nas Figuras 31 e 32, apresentando uma análise exploratória.

Tabela 5 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo AUSPOS e GNSS-UFV com o método relativo para múltiplas linhas de base, com seleção automática das estações de referência.

	Planimétrico		Altimétrico	
	AUSPOS	GNSS-UFV	AUSPOS	GNSS-UFV
Média	0,009m	0,006m	0,021m	0,019m
Mediana	0,008m	0,006m	0,020m	0,018m
Máximo	0,022m	0,019m	0,070m	0,053m
Mínimo	0,001m	0,001m	0,000m	0,001m
EMQ	0,004m	0,003m	0,015m	0,011m

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio do modo de seleção automática das estações de referência, obteve-se o melhor resultado alcançado com o GNSS-UFV. Conforme apresentado na Tabela 5, somente nesse modo os resultados do AUSPOS se apresentaram piores que os do GNSS-UFV, embora muito próximos a nível milimétrico.

A Figura 33 ilustra as estações utilizadas pelo AUSPOS na rede de processamento realizada e a Tabela 6 apresenta o comprimento das linhas de base formadas por estas estações.

Figura 33 — Localização das estações utilizadas para processamento pelo AUSPOS.



Fonte: AUSTRALIA (2021).

Tabela 6 – Comprimento das linhas de base utilizadas para processamento pelo AUSPOS.

Linha de base	Comprimento (km)
CORD - UNSA	758
CHPI - VICO	305
CHPI - MTV1	1.732
RECF - SAVO	661
ANTC - CORD	913
BRAZ - CHPI	805
RECF - STHL	3.265
ANTC - COYQ	907
LPGS - MTV1	160
BRAZ - RECF	1.651
CORD - MTV1	858
RECF - SALU	1.188
CORD - SANT	610
FALK - MTV1	1.862

Fonte: Adaptado de AUSTRALIA (2021).

A rede para realizar este processamento formada pelo AUSPOS possui linhas de base com uma média de aproximadamente 1.120 km, variando de 160km a 3.265km. Apesar do tamanho das linhas de base serem discrepantes com as do

GNSS-UFV o número de estações utilizada são próximos, sendo 14 estações para o AUSPOS e 16 para o GNSS-UFV.

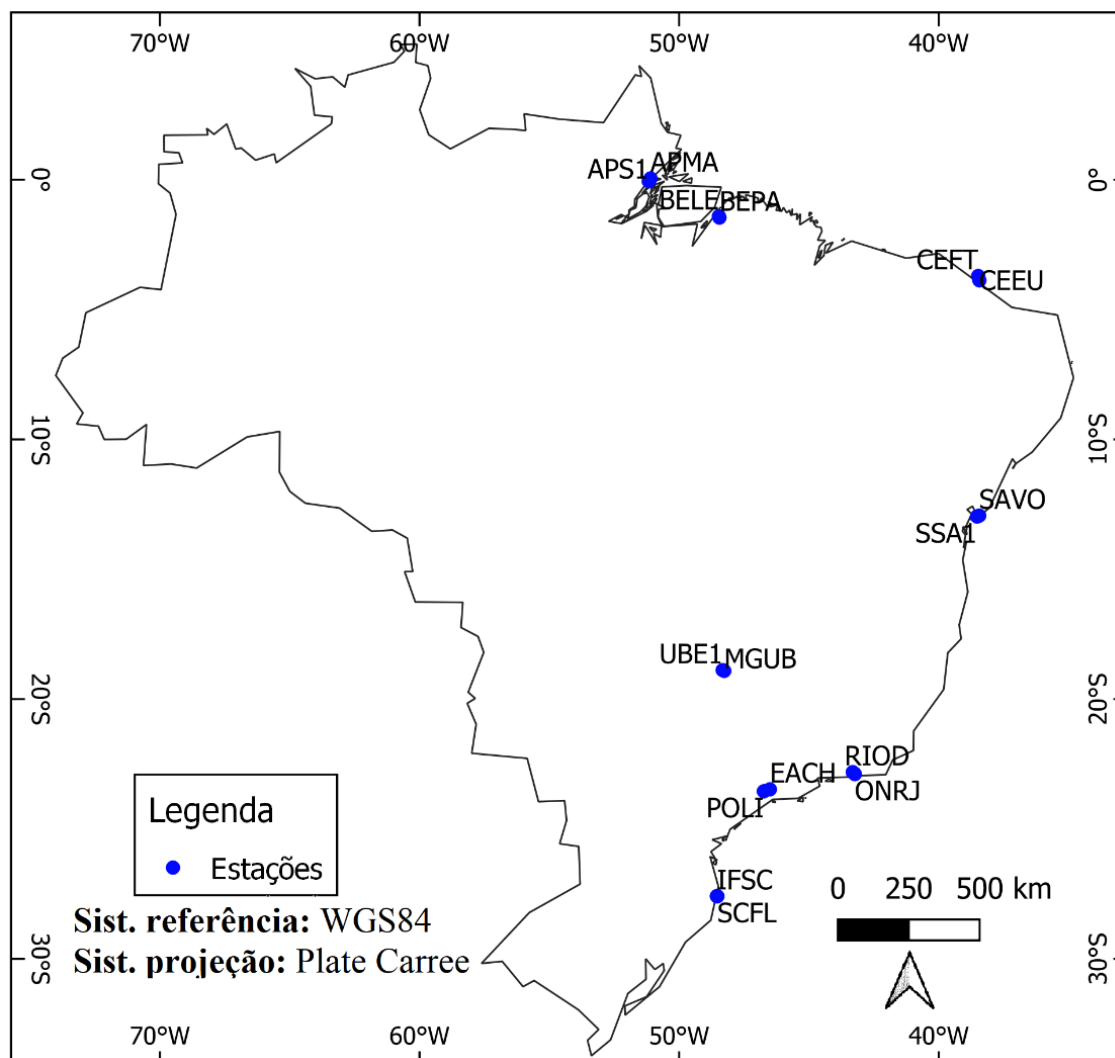
Destaca-se também como diferenças entre os sistemas que as efemérides utilizadas pelo AUSPOS são as disponibilizadas pelo IGS, já as efemérides utilizadas pelo GNSS-UFV são provenientes do CODE. Além disso, o AUSPOS não realiza as correções de carga oceânica e não utiliza dados da constelação GLONASS.

Para estes processamentos foram utilizados dados GNSS de 24h de rastreamento. Dados com menos de uma hora de rastreamento dificilmente são processados nas modalidades apresentadas, sendo assim apresenta-se na próxima seção resultados com processamento de curta duração utilizando nova metodologia implementada no GNSS-UFV.

4.2.3 ESTÁTICO RÁPIDO

Com o intuito de analisar o processamento de dados de curto período de rastreamento, foram selecionadas dezesseis estações da RBMC para formar oito linhas de base individuais e menores que 25 km. A Figura 34 ilustra a disposição geográfica das estações utilizadas. As linhas de base formadas estão descritas na Tabela 7.

Figura 34 — Localização das estações utilizadas no processamento estático rápido.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 7 – Comprimento das linhas de base formadas no processamento estático rápido.

BASE	ROVER	Comprimento
IFSC	SCFL	2,3 km
BELE	BEPA	6,2 km
MGUB	UBE1	7,2 km
SAVO	SSA1	9,9 km
ONRJ	RIOD	12,0 km
APMA	APS1	14,1 km
CEEU	CEFT	19,2 km
EACH	POLI	24,9 km

Fonte: Elaborada pelo autor.

As oito linhas de base ilustradas na Figura 34 e descritas na Tabela 7 variam de 2,3 km a 24,9 km aproximadamente. Para cada linha de base, os dados dos arquivos

RINEX foram cortados com o software TEQC (ESTEY; MEERTENS, 1999), para se obter rastreios com duração de 5, 10, 15 e 20 minutos, variando o horário de início para as horas 00, 06, 12 e 18 do dia 31/03/2018 (dia corrido do ano correspondente a 90). Com isso, foram realizados 128 processamentos com as linhas de base formadas, de modo que foram contemplados distintos cenários de levantamento (8 linhas de base X 4 tempos de rastreio X 4 inícios de rastreio).

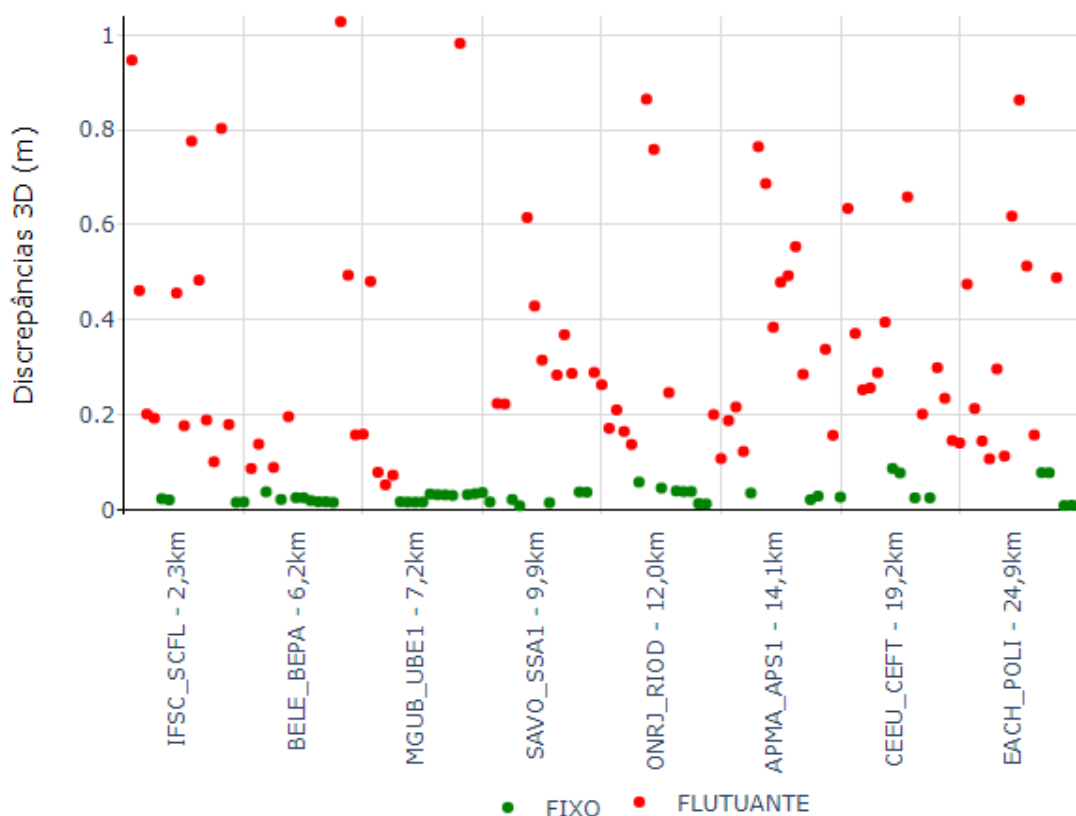
Nesse primeiro momento da análise, utilizaram-se somente dados GPS para uma frequência, com observações do código C/A e da fase L_1 . Dessa forma, foi possível analisar um cenário em que os usuários empreguem receptores de baixo custo em levantamentos GNSS.

De maneira diferente dos resultados apresentados nas seções anteriores, nesse tópico os resultados serão comparados somente com a discrepância (tendência) das coordenadas, as quais foram calculadas tendo como referência a solução com o método relativo estático, utilizando dados de 24 horas de rastreio no script RLUFV.PCF do software Bernese GNSS.

Inicialmente avaliou-se o processamento manual pelo método estático rápido no software Bernese GNSS, com o método de resolução das ambiguidades fixas presente por padrão no software e sugerido por Dach *et al.*, (2015), o método SEARCH, conforme apresentado na Tabela 2.

A Figura 35 ilustra os resultados das discrepâncias tridimensionais entre as coordenadas estimadas e as de referência, agrupadas por linha de base.

Figura 35 — Resultado do processamento manual relativo estático rápido no software Bernese GNSS.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dos 128 processamentos totais realizados, obteve solução fixa em 49 deles (correspondendo a 38% das amostras), restando 111 soluções flutuantes (62%). A média das discrepâncias em soluções fixas é igual a 0,029 m. Das soluções flutuantes, teve-se uma média das discrepâncias igual a 0,350m.

A Tabela 8 apresenta os resultados do processamento relativo estático rápido no Bernese agrupados pelo tempo de rastreamento.

Tabela 8 – Resultado do processamento relativo estático rápido no software Bernese GNSS agrupado pelo tempo de rastreamento.

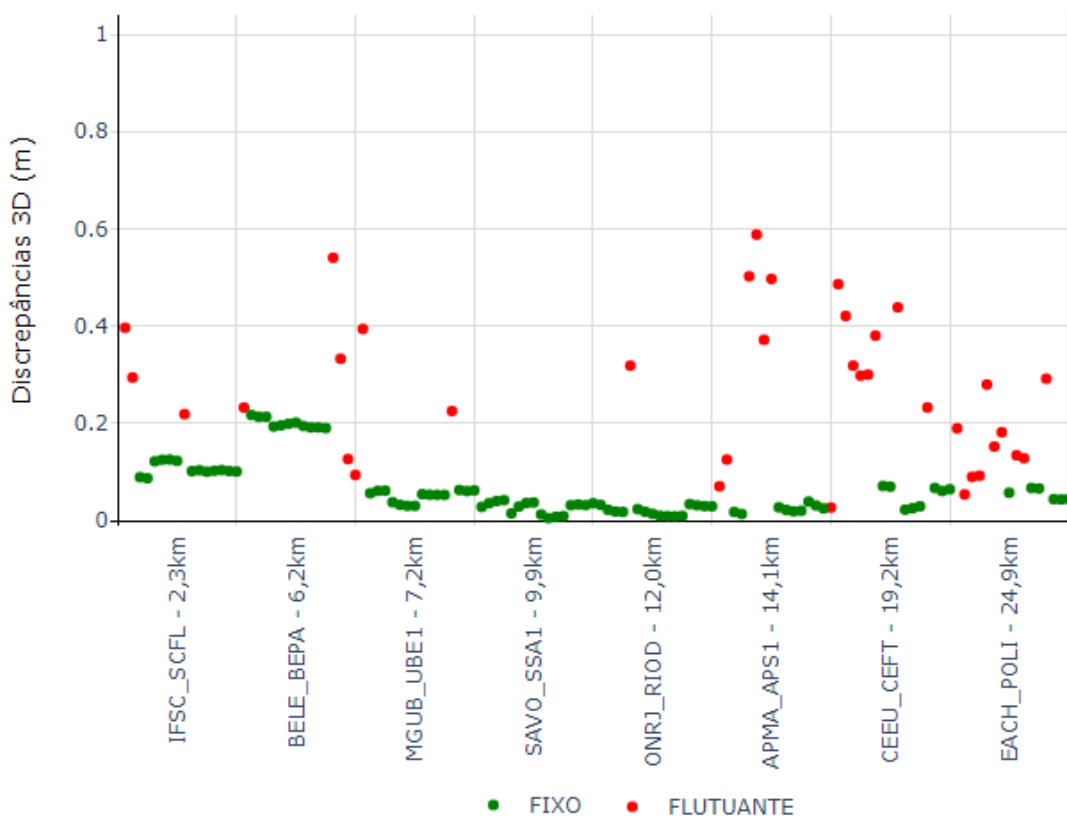
Tempo de rastreamento (min)	Soluções Fixas	Média das discrepâncias tridimensionais (m)	
		Fixas	Flutuantes
5	12	0,024	0,531
10	10	0,024	0,341
15	11	0,035	0,276
20	16	0,032	0,234

Fonte: Elaborada pelo autor.

Das 49 soluções fixas, destaca-se que 12 foram com o tempo de rastreo de 5 minutos, e tiveram uma média da discrepância igual a 0,024m.

Os mesmos dados foram processados também nos softwares RTKLIB, versão 2.4.3, e Topcon Tools, versão 8.2. As discrepâncias tridimensionais das coordenadas estimadas por esses softwares estão ilustradas nos gráficos das Figuras 36 e 37.

Figura 36 — Resultado do processamento relativo estático rápido no RTKLIB.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dos resultados alcançados no software RTKLIB, 92 processamentos (72% do total) tiveram solução fixa. A média das discrepâncias somente de soluções fixas foi de 0,066 m. Os 35 resultados restantes com solução flutuante a média foi de 0,273 m.

Apesar da maior porcentagem em soluções fixas do RTKLIB, comparado com a solução do Bernese, a média das discrepâncias com soluções fixas chega a ser 3 vezes maior aproximadamente.

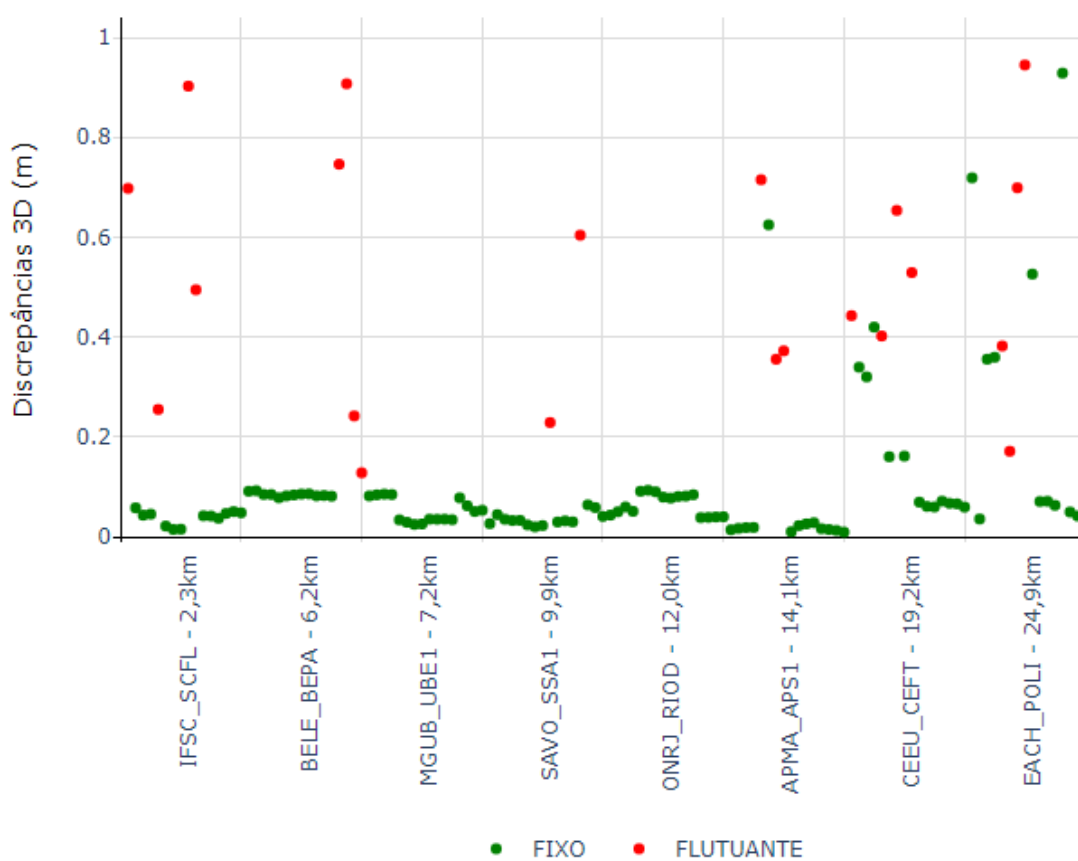
A Tabela 9 apresenta os resultados do processamento relativo estático rápido no RTKLIB agrupados pelo tempo de rastreo.

Tabela 9 – Resultado do processamento relativo estático rápido no RTKLIB agrupado pelo tempo de rastreo.

Tempo de rastreo (min)	Soluções Fixas	Média das discrepâncias tridimensionais (m)	
		Fixas	Flutuantes
5	15	0,063	0,309
10	23	0,066	0,275
15	27	0,065	0,218
20	27	0,067	0,202

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 37 — Resultado do processamento relativo estático rápido no Topcon Tools.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 10 apresenta os resultados do processamento relativo estático rápido no TopconTools agrupados pelo tempo de rastreo.

Tabela 10 – Resultado do processamento relativo estático rápido no TopconTools agrupado pelo tempo de rastreio.

Tempo de rastreio (min)	Soluções Fixas	Média das discrepâncias tridimensionais (m)	
		Fixas	Flutuantes
5	21	0,173	0,537
10	29	0,086	0,525
15	28	0,072	0,488
20	29	0,076	0,482

Fonte: Elaborada pelo autor.

No software Topcon Tools, obteve-se mais soluções fixas que no software RTKLIB, sendo 107 soluções fixas, que correspondem a 84% dos resultados. Entretanto, a média das discrepâncias das soluções fixas foi maior, sendo de 0,097 m. Já as soluções flutuantes tiveram uma média das discrepâncias de 0,518 m.

Os valores médios das discrepâncias apresentarem-se maiores com o Topcon Tools do que com o RTKLIB. Entretanto, os resultados das menores linhas de base, IFSC-SCFL e BELE-BEPA, tiveram melhores resultados no Topcon Tools do que no RTKLIB.

No Topcon Tools, as soluções fixas para as linhas de base mais longas do experimento (APMA-APS1, CEEU-CEFT e EACH-POLI) apresentaram discrepâncias tão altas quanto as soluções flutuantes.

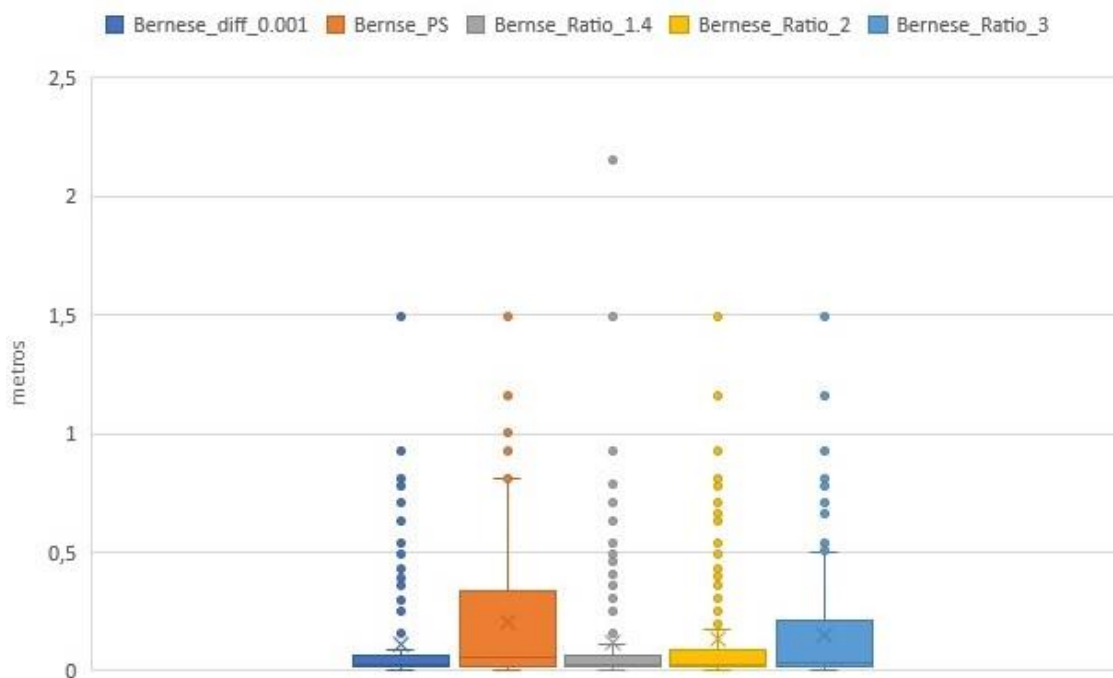
Apesar de os resultados advindos dos softwares RTKLIB e Topcon Tools apresentarem mais soluções fixas que o software Bernese GNSS, a média das discrepâncias das soluções com a estratégia SEARCH no Bernese foi menor que a média das discrepâncias das soluções fixas dos outros dois softwares.

No software RTKLIB, a estratégia de solução das ambiguidades adotada é o método MLAMBDA, apresentado por Chang, Yang e Zhou (2005) e foi adotado o valor 2 para o *Ratio-test* de validação das ambiguidades. No software Topcon Tools esta informação não foi localizada.

Conforme descrito na seção 3.2.5.2.3, foi implementada no GNSS-UFV a solução das ambiguidades pelo método Lambda v3.0, conforme Verhagen, Li e Teunissen (2013). Para avaliar a validação da solução das ambiguidades foram testados três métodos: PS-Lambda (Verhagen, Li, Teunissen, 2013), *Ratio-test* e a diferença da norma dos resíduos (Eq 9.54, Monico, 2008, p. 368). A Figura 38 ilustra

os resultados da discrepância tridimensional entre as coordenadas estimadas e as de referência.

Figura 38 — Discrepâncias tridimensionais nas coordenadas estimadas para diferentes testes de validação das ambiguidades.

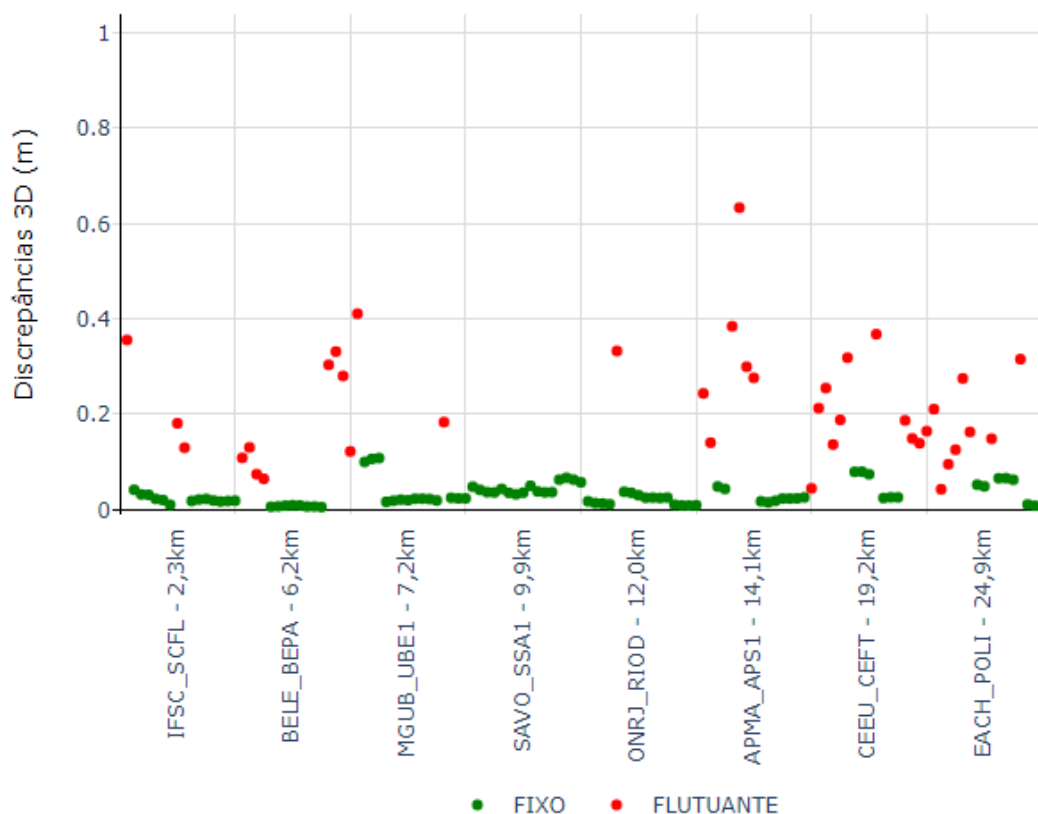


Fonte: Elaborada pelo autor.

Os testes PS-Lambda e *Ratio-test* para valor 3 são os testes com menos soluções fixas, com isso deterioram a média total dos resultados por terem mais soluções flutuantes. Já os testes da diferença da norma dos resíduos com valor 0,001 e o *Ratio-test* com valor 1,4 são os testes com mais soluções fixas, porém, nesses casos, nem todos os resultados obtidos como soluções fixas têm a discrepância das coordenadas menor que as das flutuantes. Já para os resultados do *Ratio-test* com valor 2 obteve-se 100% dos resultados fixos melhores que a solução flutuante. À vista disso, definiu-se o *Ratio-test* com valor 2 para validação das ambiguidades fixas para processamentos no método relativo estático rápido no GNSS-UFV.

A Figura 39 ilustra o resultado final das discrepâncias na resultante tridimensional das coordenadas estimadas pelo método relativo estático rápido do GNSS-UFV, referentes às linhas de base apresentadas na Tabela 7.

Figura 39 — Resultado do processamento relativo estático rápido no GNSS-UFV.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dos 128 processamentos totais realizados, obteve solução fixa em 89 deles (70%), com uma média da discrepância tridimensional igual a 0,031m. Nas 39 soluções flutuantes teve-se uma média igual a 0,219m.

A Tabela 11 apresenta um resumo dos resultados apresentados no gráfico da Figura 39, sendo também demonstradas as informações em resultantes planimétricas e componentes altimétricas. E a Tabela 12 apresenta os resultados do processamento relativo estático rápido no GNSS-UFV agrupados pelo tempo de rastreamento.

Tabela 11 – Análise exploratória dos resultados obtidos pelo GNSS-UFV para o método relativo estático rápido.

	Planimétrico	Altimétrico	Tridimensional
Média	0,054m	0,069m	0,089m
Mediana	0,018m	0,040m	0,037m
Máximo	0,347m	0,621m	0,634m
Mínimo	0,003m	0,000m	0,005m
EMQ	0,074m	0,087m	0,111m

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 12 – Resultado do processamento relativo estático rápido no GNSS-UFV agrupado pelo tempo de rastreo.

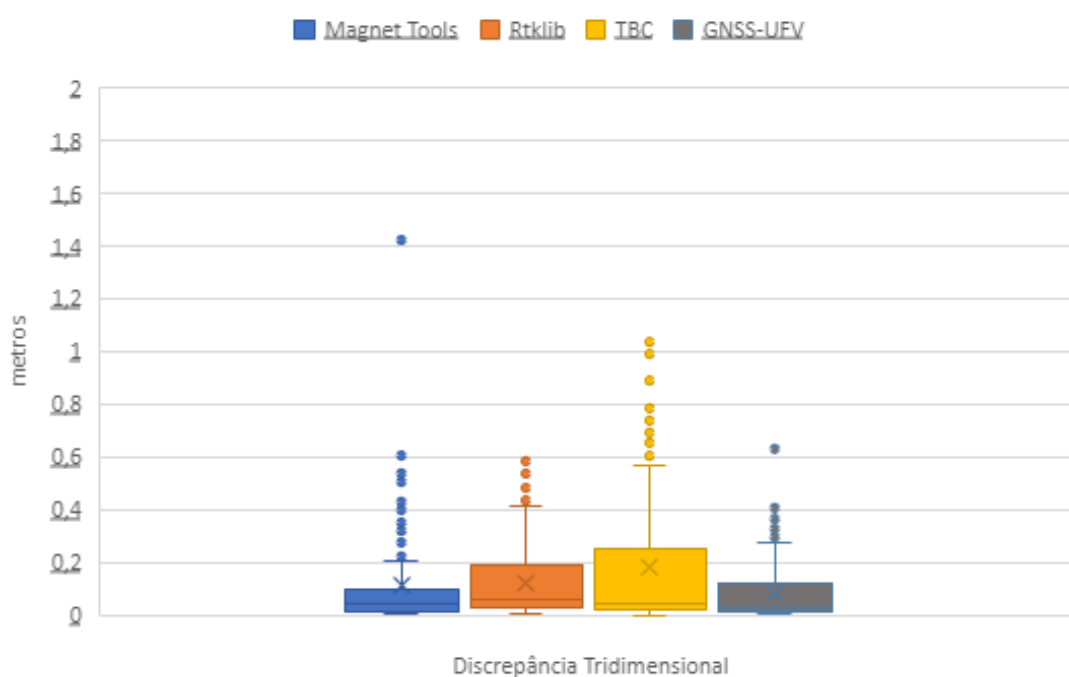
Tempo de rastreo (min)	Soluções Fixas	Média das discrepâncias tridimensionais (m)	
		Fixas	Flutuantes
5	15	0,026	0,264
10	24	0,032	0,231
15	26	0,033	0,171
20	24	0,033	0,146

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dos 32 processamentos realizados com o tempo de rastreo de 5 minutos, 15 processamentos tiveram solução fixa com uma média da discrepância na resultante tridimensional de 0,026m.

Para verificar a confiabilidade do processamento estático rápido no Bernese, foram comparadas as soluções estimadas dos mesmos dados com as soluções dos softwares Trimble Business Center (TBC), Magnet Tools (Topcon) e RTKLIB. A Figura 40 ilustra os gráficos no formato *boxplot* dos resultados obtidos por meio dos referidos softwares.

Figura 40 — Discrepância Tridimensional obtida nos processamentos de dados utilizando a portadora L1 em diferentes softwares.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 13 apresenta a análise exploratória dos principais resultados presentes no gráfico da Figura 40.

Tabela 13 – Análise exploratória dos resultados obtidos com uso do método relativo estático rápido utilizando a portadora L1 em diferentes softwares.

	Magnet Tools	RTKLIB	TBC	GNSS-UFV
Média	0,120m	0,124m	0,186m	0,089m
Mediana	0,049m	0,064m	0,050m	0,037m
Máximo	1,426m	0,588m	1,039m	0,634m
Mínimo	0,008m	0,006m	0,003m	0,005m
EMQ	0,190m	0,132m	0,262m	0,111m

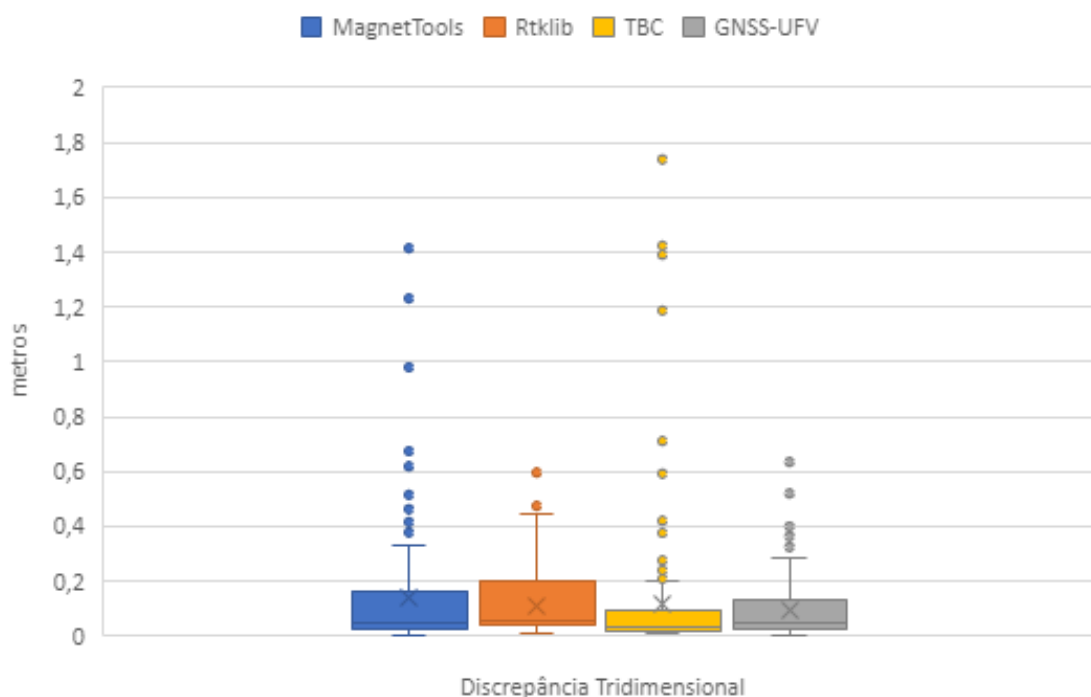
Fonte: Elaborada pelo autor.

Nos processamentos realizados no RTKLIB também foi usado o *Ratio-test* com valor 2 para as soluções fixas. No TBC e no Magnet Tools foram utilizadas as configurações padrões.

Pode-se perceber que a média dos resultados com o GNSS-UFV está melhor que a dos demais softwares, e somente as soluções flutuantes estão com discrepâncias acima da média. Entretanto, nos demais softwares foram identificadas soluções fixas com valores acima da média obtida.

Utilizando dados de dupla frequência para as linhas de base selecionadas, os processamentos foram novamente realizados, e seus resultados estão apresentados na Figura 41 e Tabela 14.

Figura 41 — Discrepância Tridimensional obtida nos processamentos de dados utilizando as portadoras L1 e L2 em diferentes softwares.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 14 – Análise exploratória dos resultados obtidos com uso do método relativo estático rápido utilizando as portadoras L1 e L2 em diferentes softwares.

	Magnet Tools	RTKLIB	TBC	GNSS-UFV
Média	0,136m	0,111m	0,117m	0,097m
Mediana	0,049m	0,055m	0,031m	0,045m
Máximo	1,414m	0,595m	1,740m	0,634m
Mínimo	0,003m	0,009m	0,006m	0,005m
EMQ	0,233m	0,113m	0,263m	0,119m

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme verificado na Figura 41 e Tabela 14, nota-se que os resultados obtidos utilizando a dupla frequência foram um pouco diferentes dos dados alcançados somente com a frequência L₁. Nesse caso, destaca-se o melhor desempenho da média do TBC em relação ao seu processamento anterior. Ademais, constata-se que os resultados obtidos com o GNSS-UFV são melhores que aos alcançados pelos demais softwares.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente pesquisa teve como objetivo principal a implementação de um serviço on-line para processamento de dados GNSS, que possibilite o compartilhamento do uso do software Bernese GNSS na UFV. Para isso, foi desenvolvido o sistema GNSS-UFV (<http://gnss.ufv.br>), cujo código fonte está disponível no repositório do Github (<https://github.com/gabriel-oliveira/gnss-ufv>). Contudo, em função do tipo de licença (para fins de pesquisa), o acesso ao sistema deve ser restrito para fins acadêmicos, sendo controlado por uma interface que exige *login* e senha para acesso, de modo que o usuário precisa ter vínculo ativo com a Universidade.

Os resultados da execução de cada módulo do Bernese são armazenados ora em novos arquivos, outrora sobrescrevendo arquivos existentes, sendo essa a principal forma de interação entre os módulos. Com isso, os processamentos realizados no Bernese realizam um alto número de leitura e escrita de arquivos em disco, consumindo muito recurso de hardware na comunicação com os dispositivos de armazenamento.

Outra restrição do hardware disponível é a respeito do processamento de séries temporais, que é limitado pelo número de núcleos de processamento. Entretanto, o sistema da forma como foi desenvolvido (virtualização com Docker) já está preparado para um ambiente de computação paralela e distribuída.

Outro objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de uma metodologia para a realização do processamento relativo estático rápido no Bernese, com a implementação da solução de ambiguidades fixas pelo método LAMBDA. Espera-se que essa nova ferramenta amplie as possibilidades de uso do sistema, atendendo às necessidades de um número maior de usuários.

Foram realizados testes para avaliar a confiabilidade do sistema GNSS-UFV, cujos resultados alcançados a partir dos métodos PPP e relativo foram comparados aos obtidos pelos serviços IBGE-PPP e AUSPOS, respectivamente. No método PPP, as acurácias médias em resultantes planimétricas foram de 0,014m tanto para o GNSS-UFV quanto para o IBGE-PPP. No método relativo, as acurácias médias em resultantes planimétricas foram de 0,009m para o AUSPOS e 0,006 para o GNSS-UFV, para múltiplas linhas de base com estações da RBMC em um raio de 500km.

Os resultados advindos pelo método relativo estático rápido foram comparados aos dos softwares TBC, Magnet Tools e RTKLIB. Com o GNSS-UFV, obteve-se a

menor média das discrepâncias tridimensionais (0,081 m). Tendo em vista que esses serviços on-line e softwares comerciais são reconhecidos pela comunidade acadêmica, conclui-se que o sistema desenvolvido é uma alternativa viável para o processamento de dados GNSS.

Conforme apresentado por Tut *et al.* (2013), o processamento de dados estático rápido no Bernese não é eficiente, entretanto, de acordo com os resultados presentes nesta pesquisa, a metodologia implementada no GNSS-UFV para o método relativo estático rápido se mostrou mais eficiente que a de outros softwares estudados.

Esta pesquisa trará novas oportunidades de pesquisas não só na Geodésia, mas em toda a comunidade que faz o uso de geotecnologias. Também auxiliará na disseminação do conhecimento em processamento de dados GNSS, utilizando softwares científicos.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação do sistema, com a disponibilização de novos métodos para o processamento de várias estações *rover* para uma mesma base. Sugere-se também a disponibilização de novos serviços utilizando outros softwares, como por exemplo GAMIT e RTKLIB.

Recomenda-se também pesquisas envolvendo séries temporais, como por exemplo a diferença de series com o PPP e Relativo para avaliar efeitos geodinâmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBAYRAK, M.; ERDOĞAN, M.; ERKAYA, H. Performance analysis of web-based relative and precise point positioning techniques with different satellite visibility conditions. **Boletim de Ciências Geodésicas** **26.1**, 2020. DOI: 10.1590/s1982-21702020000100003.

ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. Posicionamento por Ponto Preciso e Posicionamento Relativo com GNSS: Qual é o método mais acurado atualmente? **Boletim de Ciências Geodésicas** – Online version, Curitiba, 2016.

AUSTRALIA – Geoscience Australia. **AUSPOS**. Página da Web. 2021. Disponível em: <https://gnss.ga.gov.au/auspos>. Acesso em: fevereiro de 2021.

BANVILLE, S., HASSEN, E., LAMOTHE, P., FARINACCIO, J., DONAHUE, B., MIREAULT, Y., GOUDARZI, M. A., COLLINS, P., GHODDOUSI-FARD, R., KAMALI, O. *Enabling ambiguity resolution in CSRS-PPP*. **Navigation**, 2021. 1– 19. <https://doi.org/10.1002/navi.423>

CANADA. Natural Resources Canada. **Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning**. Página na Web. Disponível em: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>. Acesso em: fevereiro de 2021.

CHANG, X. W.; YANG, X; ZHOU, T. MLAMBDA: A modified LAMBDA method for integer least-squares estimation, **Journal of Geodesy**, v. 79, p. 552-565, 2005.

DACH, R.; LUTZ, U.; WALSER, S.; FRIDEZ, P. Bernese GNSS Software Version 5.2. Manual do Usuário. **Astronomical Institute**, Bern, 2015. DOI: 10.7892/boris.72297; ISBN: 978-3-906813-05-9.

DAL POZ, W. R.; CAMARGO, P. O. Influência da Variação Espacial do TEC na Definição do Comprimento de Linha de Base: Abordagem Teórica e Prática. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 60/04, dez. 2008.

DEMO, P. **Mudar a mudança**: lições da internet generativa. Curitiba: InterSaberes, 2012.

DILSSNER F.; SPRINGER T.; SCHÖNEMANN E.; ENDERLE W. Estimation of satellite antenna phase center corrections for BeiDou. *In*: IGS WORKSHOP, 2014, Pasadena. **Proceedings...** Pasadena, 2014.

DOUCET, K.; HERWIG, M.; KIPKA, A.; KREIKENBOHM, P.; LANDAU, H.; LEANDRO, R.; MOESSMER, M.; PAGELS, C. Introducing ambiguity resolution in webhosted global multi-GNSS precise positioning with Trimble RTX-PP. *In*: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2012), 25, 2012, **Proceedings...** ION, 2012. v. 17, nº 21, p. 1115-1125.

DREWES H.; SÁNCHEZ L. Velocity model for SIRGAS 2017: VEMOS2017, Technische Universität München, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI-TUM), IGS RNAAC SIRGAS. *Supl*: DREWES, H; SÁNCHEZ, L. The varying surface kinematics in Latin America: VEMOS 2009, 2015, and 2017. *In*: SYMPOSIUM SIRGAS2017, 2017, Mendoza. **Proceedings...** Mendoza, 2017.

ESTEY, L. H.; MEERTENS, C. M. TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data, **GPS Solutions**, v. 3, nº 1, 1999. p. 42-49. DOI:10.1007/PL00012778.

FCT - Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP). **RT_PPP Online** - Posicionamento por Ponto Preciso com dados GPS. Presidente Prudente, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://ismrquerytool.fct.unesp.br/ppp>. Acesso em: fevereiro de 2021.

FREI, E.; BEUTLER, G. Rapid static positioning based on the Fast Ambiguity Resolution Approach "FARA": Theory and first results. **Manuscripta Geodetica**, v. 15, 1990.

FRIDEZ, P. **Bernese GNSS Software**. Página na Web. 2021. Disponível em: <http://www.bernese.unibe.ch>. Acesso em: 02 de abril de 2021.

GMV INNOVATING SOLUTIONS. **MagicGNSS**. Página na Web. GMV, 2017. Disponível em: <https://magicgnss.gmv.com/>. Acesso em: junho de 2017.

GOAD, C. C. Short Distance GPS Models. *In*: TEUNISSEN, P.J.; KLEUSBERG, A. (ed.). **GPS for Geodesy**. 2.ed. Delft: Netherlands Geodetic Commission, 1998.

GUO, J.; XU, X.; ZHAO, Q.; LIU, J. Precise orbit determination for quad-constellation satellites at Wuhan University: Strategy, result validation, and comparison. **Journal of Geodesy**, v. 90(2), p. 143-159, 2016. DOI:10.1007/s00190-015-0862-9.

HASTAOGLU, K. O.; SANLI, D. U. Accuracy of GPS Rapid Static Positioning: Application to Koyulhisar Landslide, Central Turkey. **Survey Review**, nº 43, 2011.

INTERNATIONAL GNSS SERVICE – IGS. **Página na Web**. Disponível em: <http://www.igs.org>. Acesso em: julho de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a.

_____. **IBGE-PPP**: Serviço on-line para Pós-Processamento de dados GNSS. Versão Maio de 2020. Manual do usuário. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Geociência, Coordenação de Geodésia, mai. 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101677.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2021.

_____. **Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Geociência, Coordenação de Geodésia, jan. 2017b.

_____. **Serviço on-line para Pós-Processamento de dados GNSS**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=processar-os-dados>. Acesso em: fevereiro de. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. 1ª Edição. Brasília: INCRA, 2013.

_____. **Norma de execução nº 96, de 15 de setembro de 2010**. Estabelece as diretrizes e procedimentos referentes a Certificação de Imóveis Rurais no Incra disposto no Decreto 4.449, de 30 de outubro de 2002, alterado pelo Decreto 5.570, de 31 de outubro de 2005 e na Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. Brasília: Diário Oficial da União, nº 183, Seção 1, página 83, 23 de setembro de 2010.

JAMIESON, M.; GILLINS D. T. Comparative analysis of online static GNSS postprocessing services. **Journal of surveying engineering**, v. 144.4, 2018.

JIA, M.; DAWSON, J.; MOORE, M. AUSPOS: Geoscience Australia's on-line GPS positioning service. *In*: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS+ 2014), 27, 2014, Tampa. **Proceedings...** Tampa: ION, 2014. p. 315-320.

JONGE, P. J.; TIBERIUS, C. C. J. M. The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects. **Publications of the Delft Geodetic Computing Centre**, LGR Series, nº 12, aug. 1996.

JPL - Jet Propulsion Laboratory. National Aeronautics and Space Administration – NASA - USA. **Automatic Precise Positioning Service** – APPS. California Institute of Technology,. Página na Web. Disponível em: <https://apps.gdgps.net/>. Acesso em: 15 agosto 2020.

KEDAR, S.; HAJJ, G. A.; WILSON, B. D.; HEFLIN, M. B. The effect of the second order GPS ionospheric correction on receiver positions. **Geophysical Research Letters**, v. 30, nº 16, 1829, 2003.

KILISZEK, D.; SZOŁUCHA, M. E.; KROSZCZYŃSKI, K.; Accuracy of Precise Point Positioning (PPP) with the use of different International GNSS Service (IGS) products and stochastic modelling. **Geodesy and Cartography**, nº 67.2, 2018.

LEANDRO, R. F.; SANTOS, M. C.; LANGLEY, R. B. GAPS: The GPS Analysis and Positioning Software – A Brief Overview. *In*: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2012), 20, 2007, Fort Worth. **Proceedings...** Fort Worth: ION, 2007. p. 25-28.

LEICK, A; RAPOPORT, L.; TATARNIKOV, D.; **GPS Satellite Surveying**. New York: John Wiley & Sons, 2015.

LI, B.; TEUNISSEN, P. High dimensional integer ambiguity resolution: a first comparison between LAMBDA and Bernese. **The Journal of Navigation**, v. 64, DOI: 10.1017/S037346331100035X. 2011.

LI, B.; VERHAGEN, S.; TEUNISSEN, P. J. G. GNSS integer ambiguity estimation and evaluation: LAMBDA and Ps-LAMBDA. *In*: CHINA SATELLITE NAVIGATION CONFERENCE (CSNC), 2013, Berlin. **Proceedings...** Berlin: Springer, 2013. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-37404-3_26.

MARQUES, H. A. **PPP em tempo real com estimativa das correções dos relógios dos satélites no contexto de redes GNSS**. 2012. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012. 245 f.

MARQUES, H. A.; VANI, B.; OYAMA, R.; MONICO, J. F. G. **Software RT_PPP - PPP Online Descrição e Manual de Uso**. 2015.

MENDONÇA, M.; WHITE, R. M.; SANTOS, M.; LANGLEY, R. B. Assessing Galileo Precise Point Positioning Capability for Integrated Water Vapor Estimation. *In*: INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS GENERAL ASSEMBLY, 26, 2015, Praga. **Proceedings...** Praga: julho, 2015

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Unesp, 2008

NGS - National Oceanic and Atmospheric Administration- USA. **OPUS: Online Positioning User Service**. Página na Web. Disponível em: <https://geodesy.noaa.gov/OPUS/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

OCALAN, T.; ERDOGAN, B.; TUNALIOGLU, N. Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 19, nº 2, p. 191–207, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702013000200003>.

O'REILLY, T. **Web 2.0 Compact Definition: Trying Again**. dezembro, 2006. Disponível em: <http://radar.oreilly.com/2006/12/web-20-compact-definition-tryi.html>. Acesso em: outubro de 2015.

PETIT, G.; LUZUM, B. IERS Conventions (2010). IERS Technical Note 36. **Bundesamt für Kartographie und Geodäsie**, Frankfurt, 2010.

PSYCHAS, D.; VERHAGEN, S.; TEUNISSEN, P. **LAMBDA-Python implementation**, Versão 1.0. Delft: Delft University of Technology, novembro, 2019.. Disponível em: <https://www.tudelft.nl/en/ceg/about-faculty/departments/geoscience-remote-sensing/research/lambda/lambda/>. Acesso em: abril de 2021.

REBISCHUNG, P.; SCHMID, R. IGS14/igs14.atx: a new framework for the IGS products. *In: AGU FALL MEETING, 2016a, San Francisco. Proceedings...* San Francisco:, 2016a..

_____. Preparations for the IGS realization of ITRF2014. *In: EGU GENERAL ASSEMBLY, 2016, Viena. Proceedings....* Viena, 2016b.

RODRIGUES, F. A. **Coleta de dados em redes sociais: privacidade de dados pessoais no acesso via Application Programming Interface.** 2017. (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

ROTHACHER, M.; MERVART, L. **The Bernese GPS Software Version 4.0.** User manual. Bern: Astronomical Institute, University of Bern. set. 1996. Disponível em: <http://ftp.aiub.unibe.ch/BERN40/DOCU/>. Acesso em: julho de 2020.

SÁNCHEZ L. SIRGAS reference frame realization SIR17P01. Technische Universitaet Muenchen, Deutsches Geodaetisches Forschungsinstitut DGFI-TUM, IGS RNAAC SIRGAS. *Supl: Sánchez L. Kinematics of the SIRGAS reference frame. In: SYMPOSIUM SIRGAS2017, 2017, Mendoza. Proceedings...* Mendoza:, 2017.

SCARAMBONI, F. A.; CHAVES, J. C. Processamento GNSS no GAMIT/GLOBK utilizando o GridUNESP. *In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 7, 2013, Curitiba. Proceedings...* Curitiba: dezembro, 2013

SCHAER, S. C.; BROCKMANN, E.; BEUTLER, G.; MEINDL, M. Rapid static positioning using GPS and GLONASS. **Bulletin of Geodesy and Geomatics.** v. 69(2–3), p. 179–194, maio/dezembro, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Michael_Meindl/publication/267418215_Rapid_Static_Positioning_Using_GPS_and_GLONASS/links/5465d8380cf2f5eb17ffb3.pdf

SOPAC – SCRIPPS ORBIT AND PERMANENT ARRAY CENTER. **SCOUT** – Scripps Coordinate Update Tool. Página da Web. San Diego: Universidade da Califórnia, 2021. Disponível em: <http://sopac-old.ucsd.edu/scout.shtml>. Acesso em: fevereiro de 2021.

TAURION, C. **Cloud computing** - Computação em nuvem. Brasport, 2009

TRIMBLE. **CenterPoint RTX Post-processing.** Página da Web. Disponível em: <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>. Acesso em: fevereiro de 2021

TUT, I.; SANLI, D. U.; ERDOGAN, B.; HEKIMOGLU, S. Efficiency of BERNESE single baseline rapid static positioning solutions with search strategy. **Survey Review Ltda.**, 2013. DOI: 10.1179/1752270612Y.0000000038. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/1752270612Y.0000000038>.

UNB – UNIVERSIDADE DE NEW BRUNSWICK. **GAPS** – GNSS Analysis and Positioning Software. Página na Web. Disponível em: <http://gaps.gge.unb.ca/submitbasic.php>. Acesso em: fevereiro de 2021.

VERHAGEN, S.; LI, B.; TEUNISSEN, P. J. G. Ps-LAMBDA: ambiguity success rate evaluation software for interferometric applications. **Computers & Geosciences**, v. 54p. 361-376, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300413000289>.

WHITE, R.M.; LANGLEY, R.B. Precise Point Positioning With Galileo Observables. *In*: INTERNATIONAL COLLOQUIUM, SCIENTIFIC AND FUNDAMENTAL ASPECTS OF THE GALILEO PROGRAMME, 5, 2015, Braunschweig. **Proceedings...** Braunschweig, outubro, 2015.