



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/11.06.18.49-TDI

ASSIMILAÇÃO DE DADOS DE RÁDIO OCULTAÇÃO GNSS NO LETKF: DISPONIBILIDADE DE DADOS E IMPLEMENTAÇÃO DE UM OPERADOR

Lucas Amarante Avanço
Luiz Fernando Sapucci
Dérek Schubert Valério de Souza
Paulo Henrique Diniz Dias
Marcelo Augusto dos Reis

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3F6QLES>

INPE
São José dos Campos
2013

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/11.06.18.49-TDI

ASSIMILAÇÃO DE DADOS DE RÁDIO OCULTAÇÃO GNSS NO LETKF: DISPONIBILIDADE DE DADOS E IMPLEMENTAÇÃO DE UM OPERADOR

Lucas Amarante Avanço
Luiz Fernando Sapucci
Dérek Schubert Valério de Souza
Paulo Henrique Diniz Dias
Marcelo Augusto dos Reis

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3F6QLES>

INPE
São José dos Campos
2013



Esta obra foi licenciada sob uma [Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem inicialmente a Deus pela oportunidade da sabedoria e conhecimento, ao Ministério de Ciências e Tecnologia pelo auxílio na forma de bolsa PCI (Programa de Capacitação Institucional), processo nº 302277/2013-7 e 300456/2011-5, e a Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio a esse desenvolvimento (processo nº 2012/07077-6 e 2011/00713-1, ambos integrados ao processo nº 2010/15974-2).

RESUMO

A técnica de rádio ocultação do sinal GNSS (*Global Navigation Satellite System*) tem sido explorada em diversos centros de assimilação de dados e previsão de tempo, e seus perfis atmosféricos, por possuírem boa qualidade comparado com perfis providos de radiossondas, tem contribuído bastante com a melhoria da qualidade das previsões numéricas de tempo. Durante o processo em que a linha de visada entre um satélite GNSS e um satélite de órbita baixa, denominado LEO (*Low Earth Orbits*), se aproxima da superfície terrestre, ocorre a ocultação do satélite LEO e nesse processo observa-se um gradiente da refratividade dos sinais devido a influência da atmosfera terrestre. E por meio dessa ocultação do sinal, é possível obter um perfil atmosférico da refratividade, sendo o mesmo convertido em perfis de temperatura e umidade. Nos últimos anos têm sido observados vários satélites sendo lançados com o destino da aplicação da técnica de rádio ocultação, entre eles, podem-se citar: TERRA-SAR da Alemanha, MetOP-A (*Meteorological Operational Satellite*) e MetOP-B da União Européia e a constelação FORMOSAT-3/COSMIC (*Constellation Observing System for Meteorology Ionosphere & Climate*) constituída de 6 satélites LEO dedicados a RO-GNSS pertencentes ao consocio USA e Taiwan. Visando atender a demanda do CPTEC com melhoria dos resultados na assimilação de dados RO-GNSS foi desenvolvido e implementado um operador de observação de refratividade dentro do sistema de assimilação LETKF. O presente relatório visa apresentar a implementação desse operador, os detalhes do fluxograma dos processos envolvidos, uma descrição do código do operador, a implementação do operador e como ele está integrado ao código original do LETKF, bem como a instalação e configuração do mesmo. Além disso, é apresentado a organização dos dados RO-GNSS dos satélites COSMIC e MetOp-A disponíveis para essa pesquisa, e alguns resultados preliminares da assimilação dos perfis de refratividade usando o LETKF.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Satélite GPS transmitindo sinal para um receptor embarcado em um satélite LEO durante o processo de rádio ocultação.	5
Figura 2 – Ciclo do processo de assimilação de dados.....	6
Figura 3 – Valores do RMSE do vento Zonal em 850 hPa, altura geopotencial em 500 hPa, da temperatura virtual em 850 hPa e da pressão ao nível médio dos mares para a América do Sul obtidos pelo modelo GFS (em preto), LETKF (em marrom),.....	10
Figura 4 – Gráfico de funcionamento ROPP.	13
Figura 5 – Quantidade total de perfis atmosféricos para cada dia do mês para COSMIC (a) e GRAS (b).....	31
Figura 6 – Perfis para os satélites COSMIC.....	32
Figura 7 – Perfis para os satélites GRAS (a) e (b).....	33
Figura 8 – Quantidade de perfis para 00Z, 06Z, 12Z e 18Z para GRAS (a) e COSMIC (b).	34
Figura 9 - Gráfico em linha para o perfil das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z para GRAS.	35
Figura 10 – Gráfico em linha para o perfil das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z para COSMIC....	35
Figura 11 – Quantidade média de perfis e desvio padrão para GRAS (a) e COSMIC (b).	36
Figura 12 – Perfis COSMIC no globo terrestre.....	37
Figura 13 – Perfis GRAS na América do Sul.	37
Figura 14 – Total de 190 perfis para 00Z.	38
Figura 15 – Total de 319 de perfis para 06Z.....	38
Figura 16 – Total de 278 perfis para 12Z.	39
Figura 17 – Total de 273 perfis para 18Z.	39
Figura 18 – Total de 141 perfis para 00Z.	40
Figura 19 – Total de 54 perfis para 06Z.	40
Figura 20 – Total de 53 perfis para 12Z.	41
Figura 21 – Total de 138 perfis para 18Z.	41
Figura 22 - Processos envolvidos no pré-processamento das observações de RO-GNSS no CPTEC para a assimilação no LETKF.	43

Figura 23 – Fluxograma do operador de observação RO-GNSS acoplado no LETKF usando os módulos do ROPP.....	45
Figura 24 – Fluxograma dos processos do ROPP executados pelo operador de observação RO-GNSS acoplado no LETKF. À esquerda, o processo para o cálculo da refratividade usando o módulo FM e à direita, o processo para a realização do controle de qualidade usando o módulo 1DVAR (Figuras editadas GRAS-SAF ROPP manual).48	
Figura 25 – Gráficos mostrando o tempo gasto na execução dos módulos em que se dividiu o LETKF com ênfase para o operador de observação convencional e de RO-GNSS.....	54
Figura 26 – Valores do RMS da altura geopotencial em 250 hPa da água precipitável na região tropical para os experimentos controle (círculos azuis), e experimentos com assimilação de RO-GNSS (círculos vermelho e lilás) com diferente rigor no controle de qualidade.....	56
Figura 27 – Valores do RMS e bias da altura geopotencial em 250, 500 e 850 hPa sobre todo o globo para os experimentos controle (círculos azuis) e experimentos com assimilação de RO-GNSS (círculos vermelhos).....	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características da atual versão pré-operacional do LETKF sendo testada no CPTEC.....	8
Tabela 2 – Versões do software ROPP.....	11
Tabela 3 – Módulos do software ROPP.....	13
Tabela 4 – Módulos ROPP_IO.....	20
Tabela 5 – Módulos ROPP_FM.....	21
Tabela 6 – Módulo ROPP_1DVAR.....	22
Tabela 7 – Módulo ROPP_PP.....	23
Tabela 8 – Módulo ROPP_UTILS.....	24
Tabela 9 – Módulo ROPP_TEST.....	25
Tabela 10 – Pacotes de terceiros atualmente usados.....	27
Tabela 11 – Quantidade de perfis COSMIC observados para mês de Janeiro de 2011..	29
Tabela 12 – Quantidade de perfis GRAS observados para mês de Janeiro de 2011.	30

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

API	<i>Application Program Interface</i>
BUFR	<i>Binary Universal Form for the Representation of meteorological data</i>
CDOP	<i>Continuous Development and Operational Phase</i>
CGS	<i>Core Ground Segment</i>
CHAMP	<i>CHallenging Mini-satellite Payload</i>
COSMIC	<i>Constellation Observing System for Meteorology Ionosphere & Climate</i>
CPTEC	<i>Centro de previsão de tempo e estudos climáticos</i>
C/NOFS	<i>Communications/Navigation Outage Forecasting System;</i>
DOS	<i>Disk Operating System</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
EPS	<i>Encapsulated PostScript</i>
EUMETcast	<i>EUMETSAT NRT dissemination service via commercial digital video broadcast technology</i>
EUMETNET	<i>EUropean METeorological services NETwork</i>
EUMETSAT	<i>EUropean organisation for the exploitation of METeorological SATellites</i>
FM94	<i>WMO Form no. 94 (i.e. BUFR)</i>
Galileo	<i>Future European GNSS system</i>
GCC	<i>GNU Compiler Collection</i>
GDAD	<i>Grupo de desenvolvimento em assimilação de dados</i>
GFS	<i>Global Forecast System</i>
GFZ	<i>GFZ Helmholtz Centre</i>
GLONASS	<i>Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPL	<i>General Public Licence (GNU)</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPSAS	<i>Global Physical-space Statistical Analysis System</i>
GRACE	<i>Gravity Recovery and Climate Experiment</i>
GRAS	<i>GNSS Receiver for Atmospheric Sounding</i>

GRAS-SAF	<i>GNSS Receiver for Atmospheric Sounding- Satellite Applications Facilities</i>
GRIB	<i>GRIdded Binary or General Regularly-distributed Information in Binary</i>
GSI	<i>Gridpoint Statistical Interpolation</i>
GTS	<i>Global Telecommunications System</i>
G3DVAR	<i>Global 3-Dimensional Data Assimilation System</i>
HDF	<i>Hierarchical Data Format</i>
IDL	<i>Interactive Data Language</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
LEO	<i>Low Earth Orbits</i>
LETKF	<i>Local Ensemble Transform Kalman Filter</i>
MetDB	<i>Meteorological Data Base (Met Office)</i>
MetOP	<i>Meteorological Operational Satellite</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
netCDF	<i>network Common Data Form</i>
NMS	<i>National Meteorological Service</i>
NWP	<i>Numerical Weather Prediction</i>
PAZ	<i>Spanish Earth Observation Satellite, carrying a Radio Occultation Sounder</i>
PCD	<i>Product Confidence Data</i>
PES	<i>Re-Existing Software</i>
PFS	<i>Product Format Specification (Level 1b data from GCS)</i>
PNT	<i>Previsão Numérica de Tempo</i>
POD	<i>Precision Orbit Determination</i>
POSIX	<i>Portable Operating System Interface</i>
PSAS	<i>Physical-space Statistical Analysis System</i>
RO	<i>Radio Occultation</i>
RO-GNSS	<i>Radio occultation Global Navigation Satellite System</i>
ROM SAF	<i>EUMETSAT Satellite Application Facility responsible for operational processing of radio occultation data from the MetOp satellites</i>
ROPP	<i>Radio Occultation Processing Package</i>

ROSA	<i>Radio Occultation Sounder of Atmosphere</i>
SAF	<i>Satellite Application Facility</i>
SAC-C	<i>Satelite de Aplicaciones Cientificas – C</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
SVN	<i>Apache Subversion</i>
TanDEM-X	<i>German Earth Observation Satellite, carrying a Radio Occultation Sounder</i>
TerraSAR-X	<i>German Earth Observation Satellite, carrying a Radio Occultation Sounder</i>
UCAR	<i>University Center for Atmospheric Research</i>
VAR	<i>Variational (NWP data assimilation technique)</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Rádio ocultação GNSS	4
2.2 Assimilação de dados	6
2.3 LETKF	7
2.4 ROPP	10
2.4.1 Funcionalidade principal	12
2.4.2 Desenvolvimento	14
2.4.3 Suporte a Plataforma	15
2.4.4 Interface de arquivos externos	17
2.4.5 Funções do software	18
2.4.5.1 Entrada/Saída (ROPP_IO)	19
2.4.5.2 Operadores avançados (ROPP_FM)	21
2.4.5.3 1DVAR (ROPP_1DVAR)	22
2.4.5.4 Pré-processamento (ROPP_PP)	23
2.4.5.5 Rotinas de Utilitário (ROPP_UTILS)	24
2.4.6 Teste (ROPP_TEST)	25
2.4.7 Softwares Necessários e Opcionais de terceiros	26
3. DISPONIBILIDADE DOS DADOS DE RO-GNSS	28
3.1 COSMIC e GRAS	28
3.2 Organizações dos dados de RO-GNSS	29
3.2.1 Contabilização geral dos dados	29
3.2.2 Total de perfis para cada dia do mês	30
3.2.3 Total de perfis por satélites	31
3.2.4 Quantidade de perfis disponíveis, considerando as janelas de assimilação ..	33

3.2.5 Quantidade média dos perfis por hora do dia e o desvio padrão	36
3.3 Distribuição espacial e temporal dos dados	37
4. Implementação do operador no LETKF usando o ROPP	42
4.1 Avaliação dos dados de RO-GNSS	42
4.2 Instalação e configuração do Software ROPP default	43
4.3 Desenvolvimento do operador de observações de RO-GNSS para o LETKF	44
4.4 Refratividade a partir do modelo usando o módulo ROPP Forward	48
4.5 Detalhamentos do acoplamento ROPP no operador GNSS para LETKF	49
4.6 Instalação e configuração do LETKF com Operador GNSS	50
5. RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS FINAIS	53
5.1 Realizações no operador de observações RO-GNSS no LETKF	53
5.2 Resultados preliminares do impacto dos dados RO-GNSS nas análises do LETKF	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE A – Operador RO-GNSS para o LETKF	64

1. INTRODUÇÃO

A rádio ocultação do sinal GNSS, denominada RO-GNSS, está diretamente associada a dois satélites ocultos pela Terra; sendo, um satélite GNSS (*Global Navigation Satellite System*) que emite o sinal, e o satélite LEO (*Low Earth Orbits*), um satélite de órbita baixa, que recebe o sinal por intermédio de um receptor a bordo. Através da ocultação desse sinal é possível a obtenção de um perfil atmosférico da refratividade, o qual pode ser convertido em perfis de temperatura e umidade (Kursinski, 1996).

Diversos foram os lançamentos de satélites destinados à aplicação da técnica de obtenção de perfis atmosféricos através da rádio ocultação GPS (*Global Positioning System*) nos últimos anos. Atualmente há diversos deles em operação e são fontes importantes de observações do sistema terrestre. Podem-se citar os seguintes satélites: TERRA-SAR da Alemanha, MetOP-A (*Meteorological Operational Satellite*) e MetOP-B da União Européia e a constelação FORMOSAT-3/COSMIC (*Constellation Observing System for Meteorology Ionosphere & Climate*) constituída de 6 satélites LEO dedicados a RO-GNSS, os quais possuem o objetivo principal de prover melhorias no desempenho dos modelos de previsão numérica de tempo (PNT), particularmente nas regiões onde observações a superfície são insuficientes. Os perfis produzidos pela RO-GNSS apresentam qualidade comparável com os perfis providos pelas radiossondas (Leroy e North, 2000; Lee et al. 2000), e conforme o fato descrito, a técnica deve ser explorada na assimilação de dados dos vários centros de previsão que pretendem obter boa qualidade em suas previsões.

Esse procedimento encontra-se em curso nos principais centros de assimilação de dados e previsão do tempo. Podem-se citar exemplos, como o Centro Nacional de Previsões Ambientais (*NCEP - National Centers for Environmental Prediction*) (Derber, 2008) e o Laboratório de Pesquisas Navais (Naval Research Laboratory) (Baker, 2008), ambos pertencentes aos Estados Unidos da América, o Departamento de Meteorologia do Reino Unido (*U.K. Met office*) (Candy, 2008; Rennie, 2010), Departamento de Meteorologia da França (*MeteoFrance*) (Montmerle, 2008) e o centro europeu de previsão de tempo (*ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*),

entre outros.

Desenvolver um sistema competitivo com outros centros que forneça sobre a América do Sul a melhor análise é uma das metas principais do CPTEC. Nesse processo envolve a utilização de um sistema de assimilação adequado, um modelo de previsão de tempo bem ajustado a esse sistema de assimilação e o máximo de observações com fluxo contínuo de dados bem distribuídos sobre todo o globo. Visando atender o primeiro desses itens, e talvez aquele com maior deficiência atualmente, grande parte do GDAD esteve mobilizada para a pré-operacionalização do LETKF no CPTEC. Como o código inicial do LETKF foi todo desenvolvido em um ambiente acadêmico na universidade de Maryland (EUA), colocá-lo em pré-operação foi um grande desafio que consumiu grande parte do recurso humano disponível no GDAD. Além do desenvolvimento e implementação dos operadores dentro do código do LETKF, há outra frente de trabalho empenhada no acoplamento do sistema denominado GSI (acrônimo de origem da língua inglesa *Gridpoint Statistical Interpolation* que significa interpolação estatística em ponto de grid) (Kleist et al. 2009) como operador de observação para o LETKF. O sistema GSI foi desenvolvido no NCEP em um esforço para criar um mais unificado, robusto e eficiente esquema de análise e desde 2007 o mesmo está sendo usado operacionalmente como operador de observação em seu sistema de assimilação 3DVAR. Essa iniciativa no CPTEC visa acelerar o uso operacional de observações de radiancias, sem que haja a necessidade do desenvolvimento de um operador completo desse tipo de observação específico para o LETKF. Esse último sistema se tornou operacional no início do corrente ano gerando análises e previsões dentro de um ciclo de execuções do sistema acoplado ao MCGA/CPTEC/INPE. Em um próximo estágio pretende-se fazer o acoplamento dos dois sistemas em um único funcionando em modo híbrido, no qual todos os desenvolvimentos nas duas frentes de trabalhos serão canalizados para a melhoria da qualidade das análises e consequentemente para as previsões geradas no centro.

Dentro desse contexto o desenvolvimento do projeto de pesquisa intitulado “Assimilação de perfis atmosféricos provenientes da rádio ocultação GNSS usando *Local Ensemble Transform Kalman Filter*” tem como objetivo avaliar os benefícios da assimilação de perfis de rádio ocultação GNSS no modelo global de PNT do CPTEC

através do sistema de assimilação LETKF. O grande desafio tecnológico para o sucesso no desenvolvimento dessa proposta é a implementação do operador de observações de RO-GNSS no LETKF. Para as observações de refratividade essa tarefa foi concluída com êxito. A estratégia tomada no desenvolvimento do operador foi utilizar a versão mais atualizada do LETKF em desenvolvimento no GDAD e disponível no SVN e implementar o operador para observações de refratividade usando o ROPP (*Radio Occultation Processing Package*), software obtido em colaboração com o *UK-Met Office*.

O presente relatório tem como foco principal apresentar de forma mais técnica toda a implementação desse operador, com apresentação em detalhes do fluxograma dos processos envolvidos, uma descrição do software ROPP, detalhes da implementação do operador e como ele está acoplado no código original do LETKF. Além disso, pretende-se organizar um levantamento dos dados de RO-GNSS disponíveis para a pesquisa usando dados da constelação COSMIC e do MetOp-A, visando atividades operacionais futuras. Para atingir tais objetivos, o segundo capítulo expõe uma revisão bibliográfica sobre a rádio ocultação GNSS, a assimilação de dados, o sistema LETKF, e uma abordagem geral sobre o software ROPP, bem como suas funcionalidades, suporte, interfaces, funções, processamentos e rotinas. O terceiro capítulo apresenta a disponibilidade dos dados de RO-GNSS, tais como a organização desses dados, a contabilização, o total de observações para os dias, meses, horas e para os satélites, e os tipos de dados COSMIC e MetOp-A. No quarto capítulo é descrito a implementação do operador no LETKF utilizando o ROPP, a instalação e configuração do software e os detalhes do acoplamento ROPP no operador GNSS para o LETKF. No quinto e último, alguns resultados preliminares da assimilação de perfis de refratividade usando o LETK são apresentados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será abordada uma breve revisão sobre alguns dos tópicos mais relevantes do trabalho. Os seguintes assuntos serão contemplados: uma introdução sobre a técnica de rádio ocultação usada na obtenção de perfis atmosféricos a partir de receptores GNSS em bases espaciais, informações sobre assimilação de dados e do sistema de assimilação LETKF e o software ROPP, o qual é aqui utilizado na implementação do operador de perfis de refratividade da rádio ocultação GNSS no LETKF.

2.1 Rádio ocultação GNSS

Por volta dos anos sessenta iniciou-se a técnica de rádio ocultação, a qual foi utilizada em missões planetárias para medir perfis verticais de densidade e temperatura das atmosferas de Vênus, Marte e outros planetas. Com o surgimento do GPS, que emprega transmissores de alto desempenho em órbita média, junto de receptores instalados em satélites de órbita baixa, denominado LEO, tornou-se possível medir o perfil de atmosfera terrestre com precisão necessária para aplicação na meteorologia operacional e na pesquisa climática. Ao obter perfis atmosféricos, a técnica utilizada baseia-se na variação do índice de refração observado nos sinais de rádio transmitidos, que se alinham a atmosfera enquanto o satélite se movimenta ao redor do planeta (Cerqueira et al., 2012). Quando o sinal do satélite GPS é recebido pelo satélite LEO de forma ascendente ou descendente ao redor do planeta ocorre-se a ocultação, sendo um processo que pode durar cerca de 1 a 3 minutos. A Figura 1 demonstra o sinal do satélite GPS transmitindo para o satélite LEO formando um perfil vertical de refração do sinal eletromagnético.

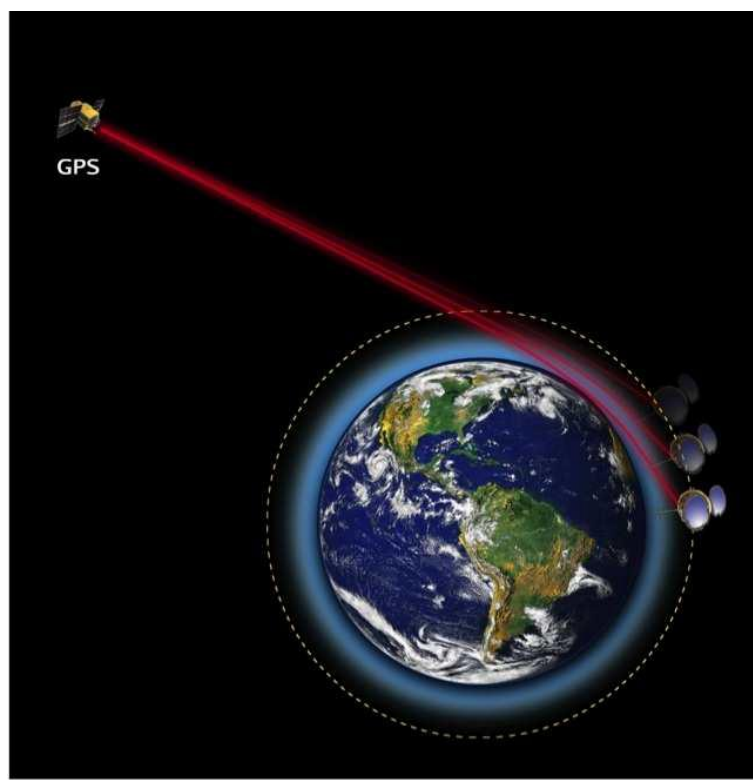


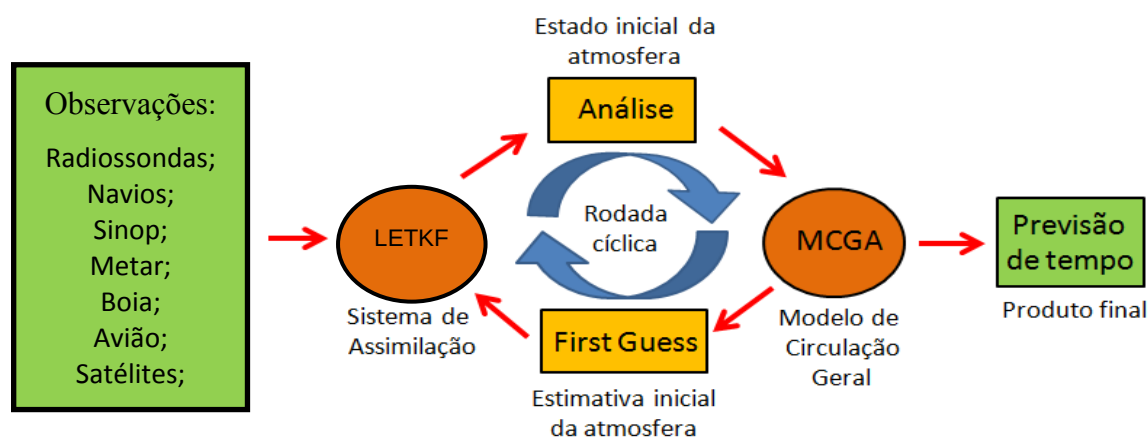
Figura 1 – Satélite GPS transmitindo sinal para um receptor embarcado em um satélite LEO durante o processo de rádio ocultação.

Um escaneamento vertical é promovido devido ao movimento relativo entre os satélites GPS e LEO. Ao considerar uma geometria óptica e uma simetria esférica, um sinal ao atravessar a atmosfera terrestre sofre refração e atraso em virtude do gradiente vertical de densidade do ar. Conforme o deslocamento do satélite, as ondas de rádio fatiam a atmosfera em sucessivas camadas.

Com os dados coletados pelo receptor GPS, utilizando a relação existente entre refração e a densidade do ar com a técnica da rádio ocultação é possível obter perfis de temperatura, pressão e vapor d'água da atmosfera terrestre (Souza et al., 2011). Uma descrição detalhada da técnica e sua devida formulação pode ser obtida em Cerqueira et al. (2012)

2.2 Assimilação de dados

Na meteorologia operacional, previsões de boa qualidade com a utilização de modelos numéricos de previsão do tempo demandam uma acurada descrição das condições iniciais do estado da atmosfera em três dimensões, além de um bom modelo evidenciando os processos físicos e dinâmicos da atmosfera. Neste âmbito, a assimilação de dados desempenha um papel fundamental, sendo a mesma, a técnica pela qual se busca o melhor estado inicial ao considerar todos os dados disponíveis através de diferentes sistemas de observação (Cerqueira, et al., 2012), envolvendo diversos processos, os quais podem ser visto na figura 2.



Courtesy: Sapucci, 2009

Figura 2 – Ciclo do processo de assimilação de dados.

A obtenção de perfis atmosféricos de RO-GNSS tem contribuído bastante ao serem aplicados na PNT e Climatologia, e as sondagens por meio dessa técnica, distribuídas globalmente, representam uma essencial fonte de observação para os modelos numéricos. A assimilação dos dados têm sido aplicada com sucesso em grandes centros operacionais de PNT, e diversos artigos têm sido publicados sobre as possíveis técnicas de assimilação (Kuo et al.(2000), Cucurull et al.(2006), entre outros).

2.3 LETKF

O LETKF (*Local Ensemble Transform Kalman Filter*), desenvolvido pelo grupo *Weather and Chaos* da Universidade de Maryland nos Estados Unidos, é um sistema de assimilação de dados que tem uma grande vantagem entre outros sistemas, devido a sua capacidade de incorporar a previsão por conjunto e assimilação de dados através do uso de Filtro de *Kalman*. Esta característica “Local” indica que a análise é calculada no espaço E de dimensão k menos um ($k-1$) e uma projeção ortogonal baseado de autovetores da matriz de covariância do background, permitindo o sistema a utilizar computação massivamente em paralelo, além de ser mais eficiente ao assimilar observações de satélites, que podem ser um número maior do que o número de graus de liberdade no modelo (Medeiros; Souza, 2011).

Uma das vantagens do LETKF é a capacidade de calcular a covariância do erro de previsão utilizando o conjunto de estados do modelo e atualiza a covariância em cada ciclo de assimilação. Devido à atualização em cada etapa, o LETKF é capaz de representar mais adequadamente os erros do dia, o que permite uma solução mais adequada para cada região, outras referências sobre o sistema pode ser encontrada na literatura (Medeiros, 2011).

Como o código inicial do LETKF foi todo desenvolvido em um ambiente acadêmico na universidade de Maryland (EUA), colocá-lo em pré-operação foi um grande desafio que consumiu grande parte do recurso humano disponível no GDAD. Nesse processo envolveu a utilização da versão mais recente do modelo global de circulação atmosférica (MCGA) do CPTEC acoplado ao LETKF dentro do supercomputador CRAY. Dado ao alto custo computacional, por envolver ensemble, diversas simplificações foram feitas na versão inicial: como a baixa resolução espacial e não considerar o tempo em que as observações foram feitas, diminuindo a dimensão temporal do sistema. A tabela 1 mostra a configuração da versão inicial do sistema em pré-operacionalização.

Tabela 1 – Principais características da atual versão pré-operacional do LETKF sendo testada no CPTEC.

Características	Atual configuração utilizada
Domínio	Global
Resolução	T060L28: resolução horizontal de 200 km próximo ao equador e 28 níveis verticais.
Modelo Global usado	Modelo Global de Circulação Atmosférica (AGCM) (Cavalcanti et al. 2001)
Versão LETKF do CPTEC	Revisão 264 do trunk do SVN do CPTEC
Código original do LETKF	Código do Takemasa Miyoshi baseado em Ott et al (2004) and Hunt (2005). Versão original disponível em http://code.google.com/p/miyoshi/
Número de membros de ensemble	40
Número de processadores usados no sistema LETKF.	72
Coordenada vertical usada no LETKF	Coordenada Sigma
Observações convencionais assimiladas pelo LETKF	Temperatura, pressão à superfície, vento zonal e meridional e umidade específica.
Passo de assimilação	6 horas
Número de horas que o modelo é integrado usando análise média	120 horas com saídas a cada 6 horas
Tempo quando as observações são feitas	Não levado em consideração (similar ao sistema 3DVAR)

O emprego do SVN no GDAD tem permitido que diversas implementações sejam feitas em paralelo, de forma harmoniosa e eficiente, sendo os conflitos identificados e resolvidos. As novas funcionalidades desenvolvidas por um dos membros podem beneficiar a todos sem que haja implementação duplicada. Nesse processo, as frentes de trabalho no GDAD são:

- Implementação do operador de radiâncias, contemplando controle de qualidade e seleção de canais;
- Desenvolvimento do operador de RO-GNSS (equipe envolvida no presente projeto de pesquisa);
- Testes da versão inicial do LETKF em pré-operação utilizando dados convencionais ou retrievals de satélites;
- Controle de qualidade e pré-processamento dos dados disponíveis operacionalmente no CPTEC.

Dada as diversas possibilidades disponíveis atualmente no CPTEC com operadores específicos para o LETKF ou com o GSI ou mesmo usando o sistema GSI e o 3DVAR do NCEP, o grande desafio científico é a caracterização do impacto da inclusão gradual dos diferentes tipos de dados em tais sistemas em pré-operacionalização no CPTEC, identificando as peculiaridades desse impacto, bem como o mesmo durante a ausência de outros tipos de observações, o que demanda a execução de diversos experimentos. Visando avançar nessa direção e gerar análise de melhor qualidade, a coordenação do CPTEC tem apoiado o GDAD no sentido de dar o suporte necessário para a realização desse estudo, como espaço em disco e disponibilidade da nova máquina. Um cronograma das rodadas básicas com os sistemas disponíveis foi organizado. A figura 3 mostra os resultados iniciais dos novos sistemas de assimilação GSI-3DVAR e LETKF em comparação com o modelo GFS do NCEP, o modelo do CPTEC com a análise do NCEP e o GPSAS, outro sistema de assimilação de dados. Os resultados mostrados nessa figura indicam que esses novos sistemas tem um desempenho semelhante ao GFS e muito superior ao modelo do CPTEC com análise do GFS e melhor ainda que o PSAS. Os resultados são animadores e mostram que tais iniciativas estão na direção correta e, portanto serão incentivadas. Tais resultados por serem cientificamente promissores, irão compor um artigo já em fase de elaboração para a divulgação dos resultados obtidos no processo de operacionalização do LETKF.

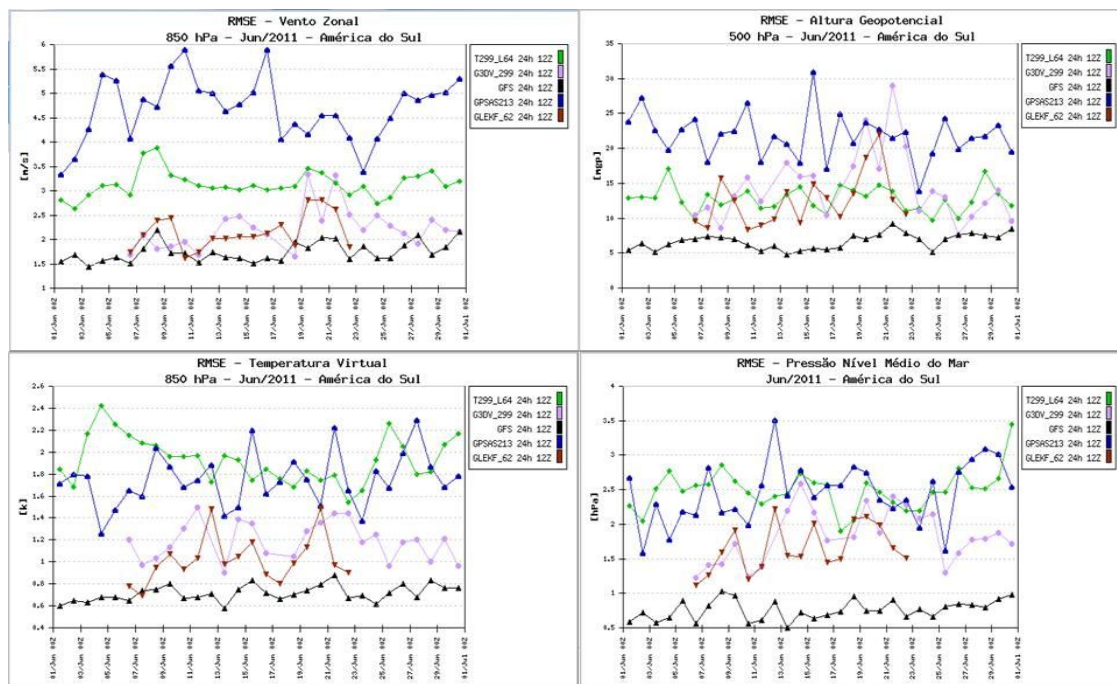


Figura 3 – Valores do RMSE do vento Zonal em 850 hPa, altura geopotencial em 500 hPa, da temperatura virtual em 850 hPa e da pressão ao nível médio dos mares para a América do Sul obtidos pelo modelo GFS (em preto), LETKF (em marrom), GSI-3DVAR (em roxo), modelo do CPTEC com análise do GFS (em verde) e pelo GPSAS (em azul).

2.4 ROPP

ROPP (*Radio Occultation Processing Package*) é um pacote de software gratuito que tem por objetivo assimilar dados de RO-GNSS em um modelo de previsão do tempo. Foi desenvolvido pelo GRAS-SAF (*GNSS Receiver for Atmospheric Sounding-Satellite Applications Facilities*) e está dividido em vários módulos onde o usuário pode implantar o ROOP dentro do seu sistema de PNT e utilizar apenas as funcionalidades de seu interesse. O software foi destinado a GRAS (*GNSS Receiver for Atmospheric Sounding*) em METOP (*METeoro logical OPERational satellite*), porém o mesmo é genérico, podendo utilizar qualquer outra observação de radio ocultação GPS-LEO como COSMIC (*Constellation Observing System for Meteorology Ionosphere and*

Climate), CHAMP (*CHallenging Mini-satellite Payload*), GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), e outros. O sistema está em constante desenvolvimento onde cada funcionalidade é melhorada e criada a cada nova versão. A tabela 2 mostra as versões desenvolvidas e as principais funcionalidades de cada uma e a cada nova versão é corrigido alguns *bugs* encontrados pelos usuários.

Tabela 2 – Versões do software ROPP.

VERSÃO	DATA	FUNCIONALIDADES
ROPP-1	MAR 2007	Conversões de formato de arquivo E/S (texto, netCDF, BUFR); modelos de ângulo de flexão e refratividade; recuperação 1D-Var
ROPP-2	DEZ 2008	Pré-processamento de ângulo de flexão de refratividade, transformações de Abel e inversa de Abel. Suporte genérico para escrita de texto formatado ROPP de arquivos removidos.
ROPP-3	JUN 2009	Pré-processamento de Doppler para ângulo de flexão; conversões de arquivos adicionais e opções de finning de perfil. Código validado com dados pré-operacionais GRAS.
ROPP-4	DEZ 2009	Operadores 2-D para ângulo de flexão. Código validado com dados operacionais GRAS.
ROPP-5	JUN 2011	Suporte para assimilação 2-D em sistemas variacionais PNT; suporte para arquivos netCDF-4 (HDF5).
ROPP-6	FEV 2012	Ciência, algoritmo e melhorias nas técnicas.
ROPP-7	SEP 2013	Introduzir o diagnóstico de altura da tropopausa.

2.4.1 Funcionalidade principal

O software é bastante robusto e está preparado para receber vários tipos de dados, tais como:

- CGS Nível 1a NRT em netCDF.
- CGS Nível 1b NRT em BUFR via EUMETCast.
- SAF Nível 2 NRT em BUFR via GTS ou EUMETCast.
- SAF Nível 2 NRT em netCDF via EUMETCast.

O ROPP tem suporte para dados de entrada e saída de RO-GNSS do tipo netCDF (*network Common Data Form*), com interfaces simples e ferramenta de conversão, e para melhor controle dos dados existe uma fase de pré-processamento para avaliar o excesso de refratividade. Operações avançadas para calcular pressão, grade vertical do modelo e para ambos calcular a refratividade e simular o ângulo de flexão, como perfis verticais e planos 2-D. O método 1D-Var contribui principalmente para a precisão de recuperação de perfis altura/pressão e de temperaturas e umidade a partir de uma refratividade ou um perfil de ângulo de flexão, tendo o perfil background no modelo de previsão. O sistema possui um controle de qualidade dos dados, cálculos de interpolação, codificadores BUFR (*Binary Universal Form for the Representation of meteorological data*), uma configuração de construção de scripts e arquivos de suporte para uma variedade de plataformas POSIX (*Portable Operating System Interface*) com suporte embutido para vários formatos F90/F95 e compiladores C e uma documentação do usuário completa.

ROPP é implementado como uma série de módulos, cada módulo contém um conjunto de funções relacionadas, e alguns módulos dependem de outros módulos. Os mesmos não só contém código fonte, mas também a construção de scripts e dados, exemplo, os resultados dos testes e documentação para o usuário sobre este módulo. Este sistema é desenvolvido em uma abordagem gradual, e nem todas as funcionalidades citadas serão disponíveis em primeira instância. Os módulos da quarta versão (ROPP-4) e seu conteúdo geral estão listados na tabela 3 e suas integrações são indicadas na figura 4.

Tabela 3 – Módulos do software ROPP.

Módulo	Conteúdo
ROPP_IO	Suporte para arquivo de leitura e escrita de arquivos RO-GNSS; RO-GNSS estrutura de dados internos e interfaces; ferramentas de codificador/decodificador BUFR / decodificador; finning dos perfil; gerenciamento de arquivos.
ROPP_FM	Modelos avançados (tangente linear, adjuntos e gradientes), versões 1D e 2D.
ROPP_1DVAR	1D-Var (sub-rotinas de usuário e aplicações autônomas).
ROPP_PP	Pré-processamento.
ROPP_UTILS	Utilitário de ferramentas, unidades de conversão, interfaces de baixo nível, etc.
ROPP_TEST	Equipamento de teste independente para módulos ROPP. Não é um módulo do usuário, embora o sistema de subconjuntos de teste esteja incluído ROPP_IO, ROPP_PP, ROPP_FM e ROPP_1DVAR.
ROPP_BUILD	Scripts e arquivos de configuração para auxiliar na construção e instalação de módulos ROPP e pacotes de dependência, suportando uma variedade de compiladores comuns em vários sistemas operacionais.

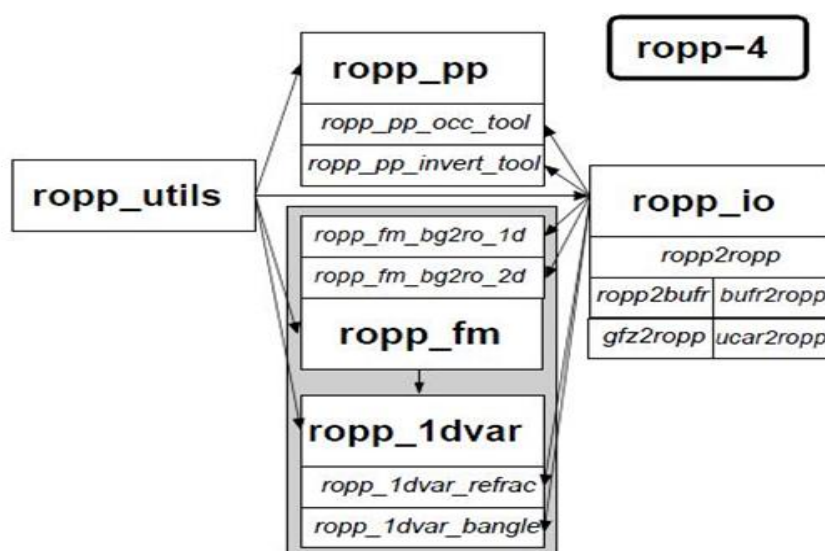


Figura 4 – Gráfico de funcionamento ROPP.

2.4.2 Desenvolvimento

ROPP é desenvolvido de forma incremental a partir do código do protótipo validado cientificamente, com um programa de liberação gradual até que a funcionalidade necessária é alcançada. A funcionalidade atual será validada para ROPP-6 e todas as versões posteriores utilizando dados operacionais GRAS. Cada grande lançamento será submetido a um teste formal beta, inspeção de prontidão de entrega e procedimento de análise e liberação, seguindo o modelo estabelecido PNT SAF.

A primeira versão completa (ROPP-1 v1.0) foi em Abril de 2007, com funcionalidade limitada, concentrando-se em suporte a assimilação e PNT (1D-Var com os operadores avançados para refratividade e ângulo de flexão, arquivos de interfaces E/S e ferramentas de suporte), como indicado na Tabela 3. Uma atualização (ROPP-1 v1.1) foi lançada em março de 2008, principalmente em relação ao módulo ROPP_IO para melhorar o desempenho e robustez em relação a má qualidade dos dados RO-GNSS. ROPP-1 v1.2 (setembro de 2008) foi uma nova atualização, principalmente em relação aos módulos ROPP_FM e ROPP_1DVAR. A arquitetura do operador foi simplificada e foi adicionado suporte para os níveis de altura com base em níveis de modelo. Um algoritmo de minimização ROPP específico foi escrito para substituir o código M1QN3. Um certo número de bibliotecas de utilitários redundantes foram removidos de ROPP_UTILS e a dependência de bibliotecas de terceiros e o software pré-existente em todos os módulos foi reduzido por re-codificação de certas funções.

A segunda versão do pacote (ROPP-2) com a funcionalidade ampliada e melhorada foi lançado em Dezembro de 2008. A principal mudança no ROPP-2 foi à inclusão de um novo módulo ROPP_PP (pré-processador) que contém as ferramentas básicas para o processamento de dados de ângulo de flexão até refratividade. Rotinas para realizar a correção da ionosfera e para avançar e inverter ABEL foram introduzidas.

A terceira versão do pacote (ROPP-3), com nova extensão e funcionalidade melhorada foi lançado em julho de 2009. O principal elemento novo em ROPP-3 foi incluir algoritmos de pré-processamento avançado para Excesso de Fase através do ângulo de flexão (por exemplo, óptica geométrica, FSI/ CT2). ROPP-3 foi validado

contra o pré-operacional nível 1b e nível 2 de dados GRAS.

A quarta versão do pacote (ROPP-4) contém modelos avançados de duas dimensões para sistemas de PNT que podem utilizar este recurso. O uso de 2D pode melhorar a assimilação em áreas de altos declives horizontais na troposfera (frentes, etc.). O ROPP-4 foi validado totalmente operacional com dados GRAS nível 1b e nível 2 e lançado em Dezembro de 2009, embora o módulo ROPP_PP permaneceu em estado pré-operacional durante a investigação em uma dependência do compilador em uma rotina de ROPP_PP de baixo nível. Uma atualização v. 4.1 foi lançada em julho de 2010 para corrigir este problema, permitindo que este módulo pudesse ser operacional.

Uma quinta versão do pacote (ROPP-5, Junho de 2011) estendeu a funcionalidade do modelo avançado e as ferramentas 1D-Var para considerar os efeitos do gases não ideais (compressibilidade). Além disso, a configuração/compilação e aplicações de codificador/decodificador BUFR foram atualizados para usar a biblioteca de kernel do Met Office BUFR ou o equivalente do ECMWF. Codificação para BUFR edição 4 Standard Edition foi feito padrão. Dados NRT de missões RO-GNSS recentemente disponíveis e futuras como C/NOFS, SAC-C, TanDEM-X, ROSA e PAZ são suportados.

A sexta versão completa (ROPP-6, fevereiro de 2012) focada em conciliar o pacote de pré-processamento ROPP_PP com seu código fonte, bem como uma série de pequenas modificações em resposta a tickets ROPP.

Atualizações menores serão feitas conforme a necessidade (correção de *bugs*, estendendo-se a portabilidade, melhorando a funcionalidade dos módulos já existentes, etc), entre grandes atualizações, suporte, manutenção e desenvolvimento, como o apoio à netCDF-4, HDF5 e uso da biblioteca BUFR EMWF, pode ser esperado como parte do desenvolvimento contínuo e fase de operações (CDOP de 2007 -2012), da GRAS SAF.

2.4.3 Suporte a Plataforma

O código do programa ROPP está escrito em Fortran 90/95 em conformidade ISO e testado para funcionar em uma variedade de sistemas operacionais e compiladores, mas limitado aos disponíveis para o consórcio SAF e usuários de beta-

teste. Alguns componentes do pacote exigem o uso de bibliotecas de arquivos de interface E/S disponíveis gratuitamente como netCDF.

ROPP é desenvolvido, testado e totalmente compatível com o Linux (atualmente o Red Hat Enterprise Release 4.8 - RHEL4) com o compilador Intel ('ifort' v8, v9, v10 e v11), NAG („F95' v5.1 e „nagfor' v0.93) e Portland Group ('pgf95' v6 e v7) compiladores Fortran-95. Pacotes de dependência de terceiros utilizam o código na linguagem C e compilado com os compiladores GNU C (gcc ', v3.4.x v4.3.x & v4.4.x). Os compiladores GNU Fortran 90/95 ("G95" e "Fortran") estão atualmente bem desenvolvidos, mas ainda não totalmente compatíveis. Todos os componentes ROPP e dependentes de bibliotecas de terceiros foram compilados com sucesso em Linux. Este sistema é testado e suporta em um ambiente de supercomputação, a versão ROPP-4 v4.1 foi testado com sucesso em sistema IBM Power6 HPC com AIX Fortran Compiler ('xlf95' v12.1).

ROPP é construído, e foi submetido a testes de nível de usuário em Cygwin no Microsoft Windows (ou seja, em uma „caixa de DOS') com o GNU G95 („G95') e gfortran („gfortran') e GNU C („gcc'). O pacote de construção do ROPP sob o ambiente Cygwin, que fornece o shell do Linux-like e constrói ferramentas no Windows, não se mostrou prático para construir os pacotes de dependência usando compiladores nativos do Windows (Intel, Salford, etc) desde a sua sintaxe de linha de comando não é compatível com o padrão POSIX de configuração dos sistemas. Assim, estes compiladores não são suportados para ROPP.

O ROPP possui um suporte para construir e instalar os componentes do pacote (configurar os scripts para gerar e executar arquivos 'make') e exemplos de aplicações stand-alone com dados de teste de referência e resultados, correções de alguns *bugs* encontrados pelos usuários, um contínuo desenvolvimento do código em resposta ao feedback dos usuários em termos de funcionalidade e eficiência, lançamentos de atualizações de versões para correção de *bugs* como por exemplo ROPP-1 v1 para v2. Os usuários que desejam suporte da equipe de desenvolvimento ROPP devem entrar em

contato pelo helpdesk GRAS SAF pelo endereço eletrônico¹.

O desenvolvimento e suporte para o sistema ROPP continuam sob o contínuo desenvolvimento e fase operacional (CDOP) da GRAS SAF, (Março de 2007 a fevereiro de 2012) partindo do princípio de acordos formais criados.

O sistema ROPP requer o uso de código de terceiros, que deve ser pré-instalado pelo usuário antes de tentar construir aplicações ROPP. Um apoio específico é concedido para o uso dos compiladores no sistema operacional e os compiladores disponíveis pelo consórcio SAF. Os usuários são incentivados a fornecer ao SAF as configurações semelhantes para outras plataformas, o que podem então ser incluídas (mas não oficialmente suportadas pelo SAF) em uma versão posterior do pacote.

2.4.4 Interface de arquivos externos

É necessário que o ROPP seja capaz de interagir com formatos diferentes de dados RO-GNSS. Os dados previstos para GRAS estão indicados nos tópicos abaixo:

- **PFS (*Product Format Specification*):** Arquivos produzidos pelo EUMETSAT CGS no nível 1b e divulgados através de EUMETCast. O pacote EUGENE com (sem suporte) extensões para criar arquivos netCDF compatíveis com o ROPP estão disponíveis em EUMETSAT para essa finalidade.
- **netCDF (*network Common Data Form*):** Arquivos produzidos por ROM SAF no Nível 2 e divulgados via EUMETCast ou através de um servidor FTP. Estes arquivos também contém um sub-conjunto de dados científicos nível 1B a partir de arquivos PFS. Este é o tipo de arquivo ROPP 'nativo' suportado pelo módulo ROPP_IO em nível API e ferramentas autônomas em outros módulos.
- **BUFR (*Binary Universal Form for the Representation of meteorological data*):** Arquivos produzidos por EUMETSAT contendo um subconjunto (perfis diluídos) dos dados PFS no nível 1b e divulgados via EUMETCast. Arquivos produzidos por ROM SAF no nível 2 e divulgados via GTS e EUMETCast.

¹ <http://www.grassaf.org>

Esses arquivos contêm um sub-conjunto de dados científicos nível 1b e nível 2 a partir de dados netCDF. O dado de nível 1 será idêntico aos dados equivalentes dos produtos EUMETSAT BUFR. UCAR produz arquivos BUFR contendo o mesmo modelo de especificação NRT COSMIC, C/ NOFS e (antes da falha do satélite) dados SAC-C. Dados RO-GNSS GRACE-A e TerraSAR-x (anteriormente CHAMP) processados por GFZ e codificados usando ROPP, também são disponíveis no mesmo modelo BUFR através do GTS. O módulo ROPP_IO suporta a codificação e decodificação de arquivos BUFR de/ para arquivos netCDF ROPP por um conjunto de ferramentas de aplicação.

- **GRIB (*Gridded Binary*):** Arquivos em formato GRIB, tipicamente produzidos pelos centros operacionais de PNT, contendo dados de background nível 2b-2d, podem ser lidos e convertidos em ASCII ou formato ROPP *standard*.
- **Outros:** Dados não GRAS de outras missões (COSMIC, CHAMP, GRACE-A, TerraSAR-X, SAC-C, ROSA, e outros) podem ser fornecidos aos usuários em formatos de arquivo arbitrário. Quando o modelo BUFR WMO-standard para os dados RO-GNSS é utilizado, as ferramentas ROPP irão lidar com esses dados. Outros formatos podem ser fornecidos pelos fornecedores (UCAR, GFZ,...). Sempre que possível ROPP apoiará estes formatos fornecendo ferramentas para convertê-los em ROPP netCDF. Arquivos UCAR „atmPrf”, „atmPhs”, sonPrf, 'ecmPrf', 'ncpPrf', 'gfsPrf', e arquivos pares GFZ „dat/ dsc”, podem ser convertidos utilizando as ferramentas fornecidas com ROPP_IO.

2.4.5 Funções do software

O software ROPP é dividido em vários módulos para funções específicas. Os usuários podem integrar um subconjunto de código ROPP em suas próprias aplicações de software, individualmente ligando os módulos de seu interesse no próprio sistema. Como alternativa, os usuários podem usar os executáveis como parte de cada módulo como aplicações stand-alone para o processamento dos dados de RO-GNSS.

Nesta seção há uma lista dos principais subcomponentes do software ROPP. Esta lista está limitada às rotinas de alto nível, que pode ser chamadas pelo usuário e

ferramentas autônomas. Várias dessas chamam rotinas de baixo nível, que normalmente não poderia ser acessadas diretamente pelo usuário. A lista é por agrupamento da maior função (módulo) e cada sublista tem as seguintes informações:

- **Nome:** o nome da rotina. Esta é uma tag e não é necessariamente o nome da sub-rotina, função ou programa principal executada. Nomes em letras maiúsculas referem-se ao usuário que pode ser chamado rotina (API); nomes em letras minúsculas são as ferramentas da aplicação stand-alone (executável).
- **Objetivo:** uma breve descrição do que a rotina ou programa faz.
- **Entrada:** as principais entradas da rotina. Este não é um argumento inteiro ou lista de linha de comando.
- **Saída:** as principais saídas da rotina. Este não é um argumento inteiro ou lista de saída.
- **RV:** é o número da versão, quando a rotina foi pela primeira vez, ou será incluída.
- **P / S:** 'P' de software pré-existente (não desenvolvido no âmbito do contrato ROM SAF) ou 'S' para SAF (desenvolvido dentro e para a SAF).

ROPP é desenvolvido em etapas planejadas e nem toda funcionalidade estava disponível nas versões iniciais. Funcionalidade que ainda não esta disponível na versão mais recente ROPP, mas para ser adicionado em lançamentos futuros, estão listados em *itálico*.

2.4.5.1 Entrada/Saída (ROPP_IO)

O módulo E/S fornece suporte para um formato de dados genérico para dados de radio ocultação. Rotinas são fornecidas para flexíveis E/S netCDF de dados RO-GNSS através de interfaces simples com uma ferramenta de conversão de arquivos e ferramentas de aplicação de codificador e decodificador BUFR. Ferramentas para converter arquivos de dados de formato UCAR e GFZ também estão incluídas. Na tabela 4 é apresentado os módulos de E/S do ROPP.

Tabela 4 – Módulos ROPP_IO.

Nome	Objetivo	Entrada	Saída	RV	P/S
ROPP_IO	Definições da API	N/a	N/a	1.0	S
ROPP_IO_TYPES	Definir estrutura dos dados	N/a	N/a	1.0	S
ROPP_IO_READ	Ler dados RO-GNSS	Arquivos NETCDF	Estrutura de dados RO-GNSS	1.0	S
ROPP_IO_WRITE	Escrever dados RO-GNSS	Estrutura de dados RO-GNSS	Arquivos NETCDF	1.0	S
ROPP_IO_INIT	Inicializar dados	Estrutura de dados RO-GNSS	Estrutura de dados RO-GNSS	1.0	S
ROPP_IO_THIN	Perfil diluído	Estrutura de dados RO-GNSS	Estrutura de dados RO-GNSS	1.0	S
ROPP_IO_RANGECHECK	Verificação de intervalo ou validar todos os parâmetros ROPP	Estrutura de dados RO-GNSS	Estrutura de dados RO-GNSS	1.1	S
ropp2ropp	Gerenciar/ Converter arquivos	Arquivos NETCDF	Arquivos NETCDF	1.0	S
ropp2bufr	Codificar BUFR	Arquivos NETCDF	Arquivos BUFR	1.0	S
bufr2ropp	Decodificar BUFR	Arquivos BUFR	Arquivos NETCDF	1.0	S
ucar2ropp	Converter arquivo UCAR	Arquivos NETCDF UCAR	Arquivos NETCDF	1.0	S
gfz2ropp	Converter arquivo GFZ	Par de arquivos texto GFZ	Arquivos NETCDF	1.1	S
test2ropp	Testar gerador de dados	N/a	Arquivos NETCDF	1.2	S
grib2bgrasc	Extrair dados GRIB	Arquivos GRIB	Arquivos ASCII	6.1	S
bgrasc2ropp	Converter dados ASCII	Arquivos ASCII	Arquivos netCDF	6.1	S
eum2ropp	Ler dados RO-GNSS agrupados	Arquivos netCDF-4	Arquivos netCDF	6.1	S
eum2bufr	Ler dados RO-GNSS agrupados	Arquivos netCDF-4	Arquivos BUFR	6.1	S

2.4.5.2 Operadores avançados (ROPP_FM)

Os módulos ROPP_FM, conforme vistos na tabela 5, fornecem avançados operadores para calcular refratividade vertical e perfis de ângulo de flexão de dados de *background* de pressão e altura e perfis verticais do modelo PNT híbrido. Tangente linear, adjunto e Gradiente conjugado para os operadores avançados são fornecidos para uso nos processos de assimilação.

Tabela 5 – Módulos ROPP_FM.

Nome	Objetivo	Entrada	Saída	RV	P/S
ROPP_FM	Definições de interface	N/a	N/a	1.0	S
ROPP_FM_REFRAC_1D	Mapa do estado do modelo do vetor de refratividade	Modelo P,T,q vs. Perfil gpht	Perfil de refratividade vertical como fn de altura geopotencial ou pressão	1.0	S
ROPP_FM_BANGLE_1D	Mapa do estado do modelo 1-D do vetor para ângulo de flexão	Modelo P,T,q vs. Perfil gpht	Perfil de ângulo de flexão vertical como fn do parâmetro de impacto ou pressão	1.0	S
ROPP_FM_BANGLE_2D	Mapa do estado do modelo 2-D do vetor para ângulo de flexão	Modelo P,T,q vs. Perfil gpht nos pontos ao longo do raio	Perfil de ângulo de flexão vertical como fn do parâmetro de impacto ou pressão	4.0	S
TL/AD/GRAD	Tangente Linear, Adjunto e códigos Gradiente para modelos avançados	-	-	1.0	S
ropp_bg2ro_1d	Ferramenta stand-alone para mapa de perfil de modelo 1-D em perfil de refratividade	Arquivo ROPP contendo modelo <i>background</i> P, T, q vs perfil(s) gpht	Arquivo ROPP contendo modelo equivalente ao ângulo de flexão e perfil refratividade (s)	1.0	S
ropp_bg2ro_2d	Ferramenta stand-alone para mapa de perfil de modelo 2-D em perfil de refratividade	Arquivo ROPP contendo modelo <i>background</i> P, T, q vs perfis gpht	Arquivo ROPP contendo modelo equivalente ao ângulo de flexão e perfil refratividade (s)	4.0	S

2.4.5.3 1DVAR (ROPP_1DVAR)

O módulo 1DVAR, demonstrado na tabela 6, fornece 1D-Var e rotinas minimizadas para recuperação de pressão, altura, temperatura e perfis de umidade a partir de uma refratividade ou perfil de ângulo de flexão, tendo em conta um perfil de *background* de PNT, observação e *background* de matrizes de covariância. Verificações executadas no controle de qualidade dos dados.

Tabela 6 – Módulo ROPP_1DVAR.

Nome	Objetivo	Entrada	Saída	RV	P/S
ROPP_1DVAR	Definições de interface	N/a	N/a	1.0	S
ROPP_1DVAR_REFRACT	Estimativa ideal 1D-Var para refratividade (modelo-independente)	Modelo de níveis de pressão, <i>background</i> T, perfis q, perfis de observação de refratividade, b/g & ob, matrizes de covariância de erro	Vetor solução, perfis de simulação de refratividade (b/g e solução), função penalidade, Matriz K	1.0	S
ROPP_1DVAR_BANGLE	Estimativa ideal para ângulo de flexão (modelo-independente)	Modelo de níveis de pressão, <i>background</i> T, perfis q, perfil da observação do ângulo de flexão(sobre os níveis do parâmetro de impacto), b/g & ob matrizes de covariância de erro, RoC	Vetor solução, perfis de simulação do ângulo de flexão (b/ g & solução), função penalidade, matriz K, PGE	1.0	S
ropp_1dvar_refrac	Aplicação de recuperaçãostand-alone 1D-Var (suporte tipo pressão de ECMWF e níveis de altura no modelo de MetOffice)	Perfil (s) de ângulo de flexão ou refratividade, <i>background</i> do modelo, b/g & ob matrizes de covariância de erro	Recuperação de perfis T, Q, gpht nos níveis de pressão	1.2	S
ropp_1dvar_bangle	Aplicação de recuperaçãostand-alone 1D-Var (suporte níveis de pressão e altura)	Perfil (s) de ângulo de flexão ou refratividade, <i>background</i> do modelo, b/g & ob matrizes de covariância de erro	Recuperação de perfis T, Q, gpht nos níveis de pressão	1.2	S

2.4.5.4 Pré-processamento (ROPP_PP)

O módulo ROPP_PP fornece funções para calcular canal L1 e L2 de ângulos de flexão para medidas de excesso de fase por óptica geométrica e métodos de onda óptica. Processamento para aplicar a correção ionosférica no ângulo de flexão L1 e L2 para derivar a correção dos perfis de refratividade do ângulo de flexão por dados combinados medido com perfis climatológicos de ângulo de flexão. O módulo também inclui uma transformada Abel (e sua inversa) para calcular a refratividade do ângulo de flexão (e vice-versa). Esse módulo é apresentado na tabela 7.

Tabela 7 – Módulo ROPP_PP.

Nome	Objetivo	Entrada	Saída	RV	P/S
ROPP_PP	Definições de interface	N/a	N/a	2.0	S
ROPP_PP_ICORR	Correções ionosféricas do sinal L1 e L2	Perfis do ângulo de flexão L1 e L2 incorretos	Perfil do ângulo de flexão corrigido	2.0	S
ROPP_PP_INVERT	Cálculo do perfil de refratividade (método da transformada de Abel)	Função do ângulo de flexão corrigido e parâmetro de impacto	Refratividade como função de altura geométrica AMSL	2.0	S
ROPP_PP_ABEL	Calculo do perfil BA (método da transformada de Abel)	Refratividade como função de altura geométrica AMSL	Ângulo de flexão em função do parâmetro de impacto	2.0	S
SMOOTH_BAPROF	Suavização & finning do perfil de ângulo de flexão	Resolução-total do perfil de ângulo de flexão (controles definidos pelo usuário)	Perfis suavizados	2.0	S
PHASETODOPPLER	Converter <i>Excess Phase</i> em <i>Excess Doppler</i>	Séries temporais <i>Excess Phase</i>	Séries temporais <i>Excess Doppler</i>	3.0	S
ROPP_PP_BA_GO	Calcular o perfil de ângulo de flexão (método Óptica Geométrica)	Séries temporais <i>Excess Doppler</i>	Ângulo de flexão como função do parâmetro de impacto	3.0	S
ROPP_PP_BA_WO	Calcular o perfil de ângulo de flexão (método Óptica de onda)	<i>Excess Doppler</i> e séries temporais de amplitude	Ângulo de flexão como função do parâmetro de impacto	3.0	S
ROPP_PP_TDRY	Calcular temperatura seca	Refratividade	Temperatura seca	3.0	S
REFRAC_LATLON	Interpolar lat/ lons dos ângulos de flexão para altitudes correspondentes de refratividade	Ângulo de flexão 3D locais	Perfil de refratividade lat/ lons	7.0	S

2.4.5.5 Rotinas de Utilitário (ROPP_UTILS)

O módulo *UTILS* fornece altura e rotinas de conversão de data e outras funções de biblioteca para uso geral como manipulação de arrays, manipulação de string, mensagem de saída e rotinas básicas matemáticas, que podem ser vistas na tabela 8. Estes são utilizados por outros módulos ROPP e não se destinam a ser chamado diretamente pelas aplicações do usuário.

Tabela 8 – Módulo ROPP_UTILS.

Nome	Objetivo	Entrada	Saída	RV	P/S
GEOPOT_HEIGHT	Conversão de altura geopotencial	Altura geométrica (elipsóide wrt)	Altura geopotencial (wrt geóide)	1.0	S
GEOMET_HEIGHT	Conversão de altura geométrica	Altura geopotencial (wrt geóide)	Altura geométrica (elipsóide wrt)	1.0	S
DATE_AND_TIME_UTC	Data/ hora atual do relógio do sistema com ajuste para UTC	Sistema de tempo	Ano, mês, dia, hora, minuto, segundo, milissegundo, fuso horário (UTC)	4,0	P
CALTOJUL	Converter entre dias juliano e data do calendário e tempo do relógio para os cálculos de tempo absoluto	Ano, mês, dia, hora, minuto, segundo, milissegundo (ou dia juliano)	Dia juliano (ou ano, mês, dia, hora, minuto, segundo, milissegundo)	4.0	P
TIMESINCE	Converter entre data/ tempo e tempo absoluto(calendário) desde alguma época	Data/ tempo do calendário (ou tempo relativo)	Tempo relativo (ou calendário data/ tempo)	5.0	P
DATUM_HMSL	Altura acima do nível médio do mar	Lat, Lon, Ht de ponto wrt elipsóide (WGS-84)	Altura do ponto acima do geóide (EGM96)	3.0	P
DATUM_TRANS	Transformar sistema de coordenadas da Terra	Localização 3-D do ponto em sistema # 1 (lat / lon ht / ou X, Y, Z)	Localização 3-D do ponto em sistema # 2 (lat / lon ht / ou X, Y, Z)	3.0	P

2.4.6 Teste (ROPP_TEST)

O módulo de teste fornece um conjunto abrangente de rotinas de teste e conjuntos de dados de teste associados, que pode ser executado por meio de uma ferramenta de controle de nível superior IDL em várias plataformas locais ou em rede com uma variedade de compiladores, juntamente com um sistema de relatórios de resultados baseado na web. Essa suíte é conhecida como *Test Folder* e é uma das principais ferramentas de validação para a revisão formal do ROPP antes de abrir o lançamento de uma nova versão principal do pacote. É demonstrado na tabela 9 o módulo de teste.

Tabela 9 – Módulo ROPP_TEST.

Nome	Objetivo	Entrada	Saída	RV	P/S
ropp_test	Testes CC. Construir (compilar e linkar)	Código fonte e dependências de bibliotecas	Objeto da biblioteca do módulo ROPP e código executável construído sem erros gravados	-	S
	Equipamento de teste stand-alone E/S	Arquivos de observação RO-GNSS (subconjunto fornecido com ROPP) e dados RO-GNSS gerados aleatoriamente	Dados de RO-GNSS validados em relação aos dados de entrada	-	S
	Equipamento de teste stand-alone FM (também testes E/S implícitos e módulos UTILS)	Arquivos <i>background</i> de PNT (subconjunto fornecido com ROPP)	Refratividade e perfil de ângulo de flexão	-	S
	Equipamento de teste stand-alone 1D-Var (também testes E/S implícitos e módulos UTILS)	Arquivos de observação RO-GNSS e arquivos <i>background</i> de PNT (subconjunto fornecido com ROPP)	Derivados T, q, P vs. H (ou T, q, h vs. P) arquivos de perfil	-	S
	Equipamento de teste stand-alone PP (também testes implícitos UTILS e módulos E/S)	Arquivos de observação RO-GNSS nível 1 a/b	Perfis derivados de refratividade	-	S

Cabe ressaltar que a suíte completa ROPP_TEST não é destinada aos usuários, mas para a validação interna do código ROPP. Algumas funcionalidades de ROPP_TEST estão incluídas no ROPP_IO, ROPP_PP, ROPP_FM e ROPP_1DVAR para usuários verificarem se o código foi construído corretamente.

2.4.7 Softwares Necessários e Opcionais de terceiros

Para implementar totalmente ROPP, o código SAF usa alguns pacotes padrão de terceiros, os quais não são comerciais (*freeware*), portanto disponível gratuitamente, e (além do pacote BUFR Met Office) podem facilmente ser baixados a partir da internet. O pacote Met Office BUFR está disponível sem custo, mas tem algumas restrições de licença. A partir de v 5.0, ROPP em vez dessa biblioteca passará a utilizar a biblioteca do ECMWF BUFR, que está disponível gratuitamente sob a GNU GPL.

O uso desses pacotes não-SAF e sua origem, é claramente sinalizada na documentação ROPP. Alguns códigos de terceiros são somente necessários em alguns módulos do ROPP, portando se o usuário não for utilizar estes módulos eles não são necessários, é importante lembrar que quando os termos de licenciamento permitem (na maioria dos casos), a SAF irá fornecer juntamente com a distribuição ROPP, uma versão do código de terceiros, que foi integrado com sucesso ao ROPP a baixo segue a tabela 10 contendo os pacotes de terceiros atualmente usados:

Tabela 10 – Pacotes de terceiros atualmente usados.

Nome	Versão	Objetivo
Para todas as plataformas:		
netCDF	4.1.3	Biblioteca de interface E/S para plataformas independentes, auto-documentação de arquivos de dados formato binário. Requerido somente para o módulo ROPP_IO.
MOBUFR	19.2	Biblioteca do kernel Met Office BUFR. Somente necessário se compilar as ferramentas de codificação/ decodificação para o módulo ROPP_IO.
ECBUFR	000387	Biblioteca do kernel alternativa do ECMWF BUFR. Somente necessário se compilar as ferramentas de codificação/ decodificação para o módulo ROPP_IO.
Para plataforma Windows:		
Cygwin	1.7 ou superior	Ambiente Linux para construir pacotes de dependência e ROPP em plataformas Microsoft Windows. Somente necessário para implementar o ROPP em plataformas Microsoft Windows (WinXP ou superior).

Todos os códigos de terceiros ou pacotes utilizados por ROPP são por definição, classificados como “softwares pré-existent” e todos os direitos permanecem com os autores. Licenças de direitos separados pode ser parte dessas distribuições e essas licenças devem ser observadas pelos usuários finais.

Além disso, como observado anteriormente a fim de construir ROPP e pacotes de dependência ferramentas padrão do tipo Unix tais como 'make', 'ar' etc, mais compatível com ISO Fortran 90/95 e compiladores ANSI C são necessários. O que deseja modificar o código ROPP para seus próprios fins, ferramentas disponíveis, tais como 'autoconf', 'automake' e 'Robodoc' são recomendadas para ajudar na compilação do código.

3. DISPONIBILIDADE DOS DADOS DE RO-GNSS

3.1 COSMIC e GRAS

Os dados RO-GNSS são disponibilizados por várias fontes de informações, duas delas são diretamente utilizadas nesse processo, as quais são descritas abaixo:

- GRAS SAF é um projeto financiado pela EUMETSAT, que executa um sistema operacional de rádio ocultação responsável pela entrega de ângulo de flexão, refratividade, temperatura, pressão, umidade e perfis em tempo quase real e off-line para PNT e usuários do clima. Os perfis off-line são transformados em produtos de clima consistindo de grade mensal de ângulo de flexão, refratividade, temperatura, umidade e altura geopotencial.

- COSMIC (*Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate*) representa uma missão científica conjunta de Taiwan e EUA, com o objetivo de apresentar a utilidade dos dados RO-GNSS na previsão de tempo operacional e análise climática (Cerqueira et al. 2012). Atualmente está fornecendo entre 1000-2500 observações diárias dos perfis RO-GNSS na atmosfera neutra, 1000-2500 diário de perfis densidade de elétrons e total arcos de conteúdo eletrônico e produtos radiância TIP. Os dados já demonstraram o seu valor para a previsão do tempo operacional, previsão de furacão, e as investigações da camada limite atmosférica. Os dados têm sido amplamente utilizados para testar modelos ionosféricos e sua utilização em modelos de tempo de funcionamento do espaço está em desenvolvimento. Os dados RO-GNSS COSMIC também tem o potencial de ser de grande benefício para estudos climáticos, devido à sua boa qualidade em especial na alta troposfera com cobertura global.

3.2 Organizações dos dados de RO-GNSS

3.2.1 Contabilização geral dos dados

Foi contabilizado para o mês de Janeiro de 2011, o total de 25.221 perfis para o COSMIC, e o total de 17.978 perfis para o GRAS. Seguem as tabelas 11 e 12, respectivamente, com a quantidade de perfis observada para cada dia do mês pesquisado. Cabe ressaltar, que em cada um desses perfis é composto de em torno de 300 observações distribuídas verticalmente, as quais não serão computadas.

Tabela 11 – Quantidade de perfis COSMIC observados para mês de Janeiro de 2011.

Dia	Quant.	Dia	Quant.
1	899	17	369
2	776	18	684
3	904	19	610
4	886	20	685
5	960	21	723
6	1073	22	983
7	997	23	1067
8	1029	24	988
9	1022	25	1070
10	954	26	865
11	944	27	831
12	641	28	744
13	472	29	1005
14	0	30	973
15	608	31	851
16	608		

Tabela 12 – Quantidade de perfis GRAS observados para mês de Janeiro de 2011.

Dia	Quant.	Dia	Quant.
1	605	17	587
2	593	18	599
3	573	19	581
4	582	20	573
5	380	21	589
6	593	22	623
7	565	23	596
8	590	24	612
9	599	25	616
10	590	26	595
11	567	27	588
12	565	28	622
13	566	29	585
14	590	30	608
15	592	31	442
16	612		

3.2.2 Total de perfis para cada dia do mês

Metodologia: Somam-se todos os perfis para cada dia do mês com objetivo de mostrar os dias com mais e menos perfis.

Perfis para COSMIC: Observou-se que o dia 17 apresentou uma quantidade menor de perfis, em torno de 369, sendo desprezado o dia 14, o qual não obteve nenhum perfil, e no dia 06 apresentou a maior quantidade de perfis, em torno de 1073, como demonstra a figura 5 (a).

Perfis para GRAS: Observou-se que o dia 05 apresentou uma quantidade menor de perfis, em torno de 380, e no dia 22 apresentou a maior quantidade de perfis,

em torno de 623, demonstrado na figura 5 (b).

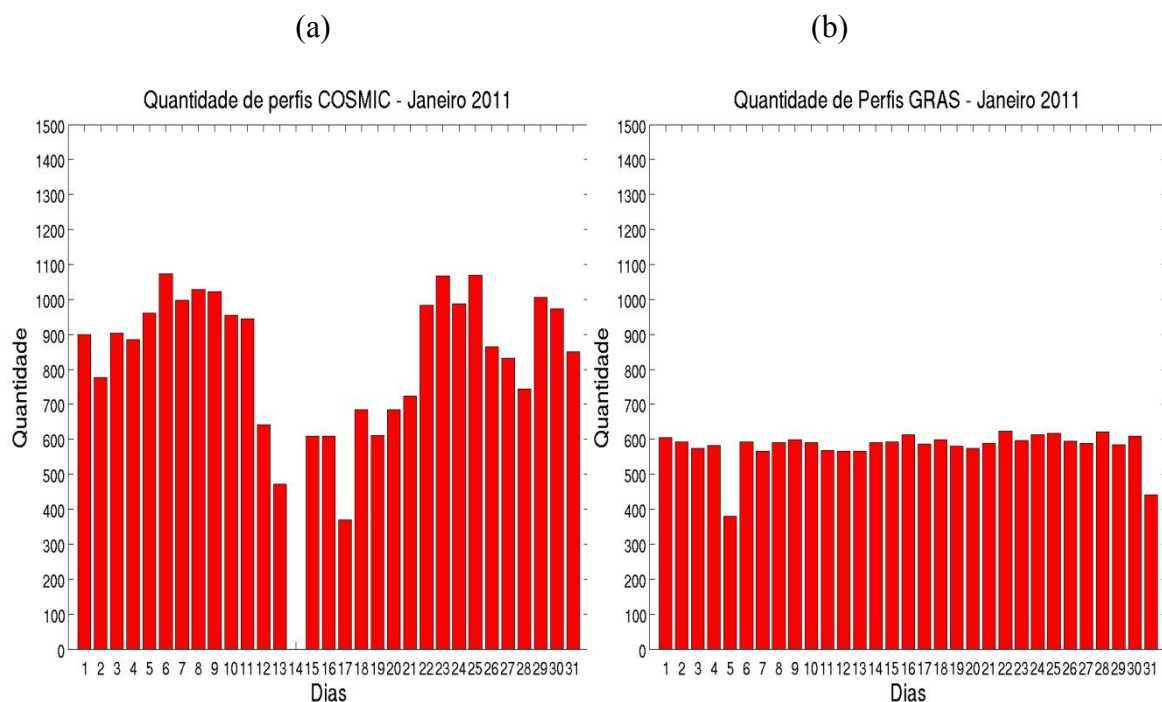


Figura 5 – Quantidade total de perfis atmosféricos para cada dia do mês para COSMIC (a) e GRAS (b).

3.2.3 Total de perfis por satélites

Metodologia: Soma-se os perfis feitos por cada satélite, para cada dia do mês pesquisado, o objetivo é demonstrar qual satélite apresenta melhor desempenho.

Perfis para COSMIC: Foi observado que o satélite C001, embora não tenha registrado perfis para o dia 13 e 14, foi o que apresentou maior quantidade de perfis. O satélite C002, por sua vez foi o que obteve o pior desempenho, com perfis somente até o dia 13, como demonstra a figura 6.

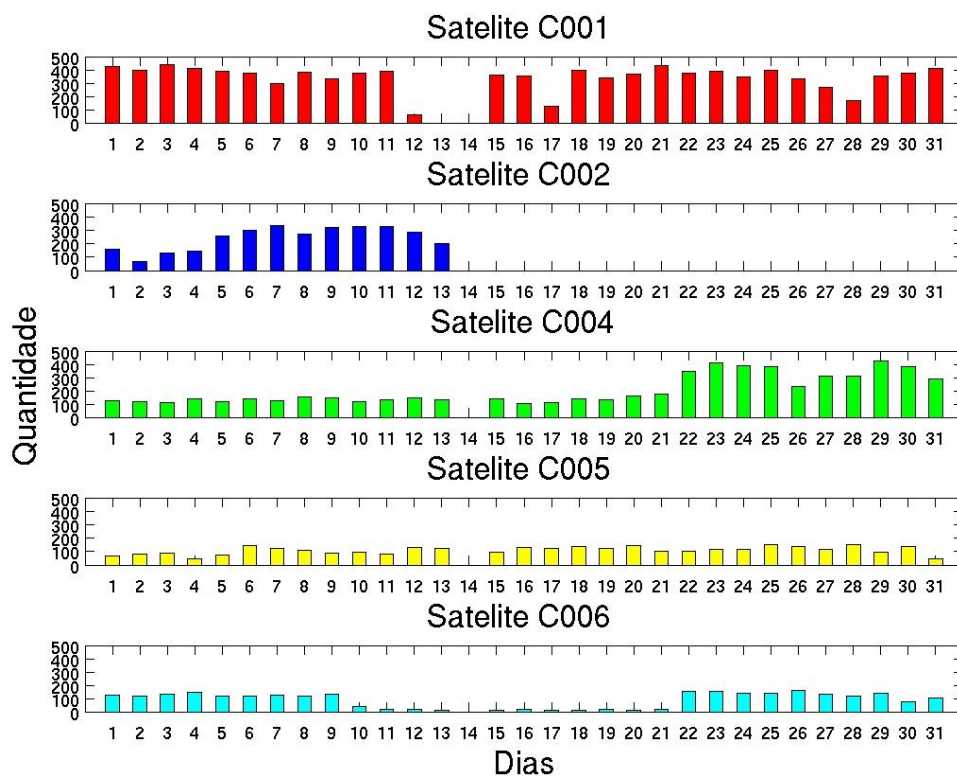


Figura 6 – Perfis para os satélites COSMIC.

Perfis para GRAS: Foi observado que os satélites possuem uma quantidade balanceada de perfis, sendo os mesmos denominados IUT[A-K], demonstrados na figura 7 (a) e figura 7 (b).

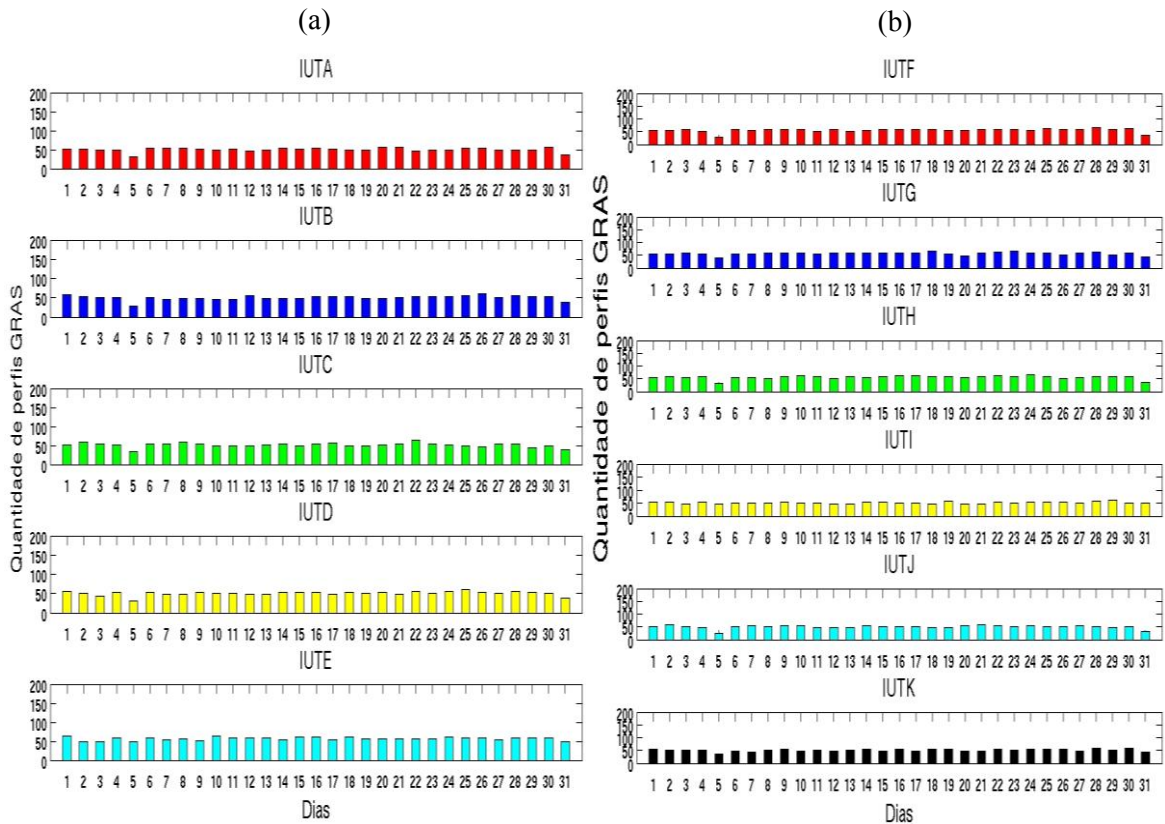


Figura 7 – Perfis para os satélites GRAS (a) e (b).

3.2.4 Quantidade de perfis disponíveis, considerando as janelas de assimilação

Metodologia: Janela de dados para 00Z, consiste em somar a quantidade de perfis das 21:00 horas do dia anterior até as 02:59 horas do dia pesquisado. Janela de dados para 06Z, consiste em somar a quantidade de perfis das 03:00 horas até 08:59 do dia pesquisado. Janela de dados para 12Z, consiste em somar a quantidade de perfis das 09:00 horas até 14:59 do dia pesquisado. Janela de dados para 18Z, consiste em somar a quantidade de perfis das 15:00 horas até 20:59 do dia pesquisado.

Perfis para GRAS: Observou-se, que para as 12Z obteve uma maior quantidade de perfis, ou seja, com a quantidade mais balanceada e para as 18Z, houve casos em que a quantidade de perfis foi bem abaixo da média, sendo ilustrado na figura 8 (a).

Perfis para COSMIC: Semelhante aos perfis do GRAS pode-se observar também uma quantidade equivalente de perfis em todas as horas, como demonstra a figura 8 (b).

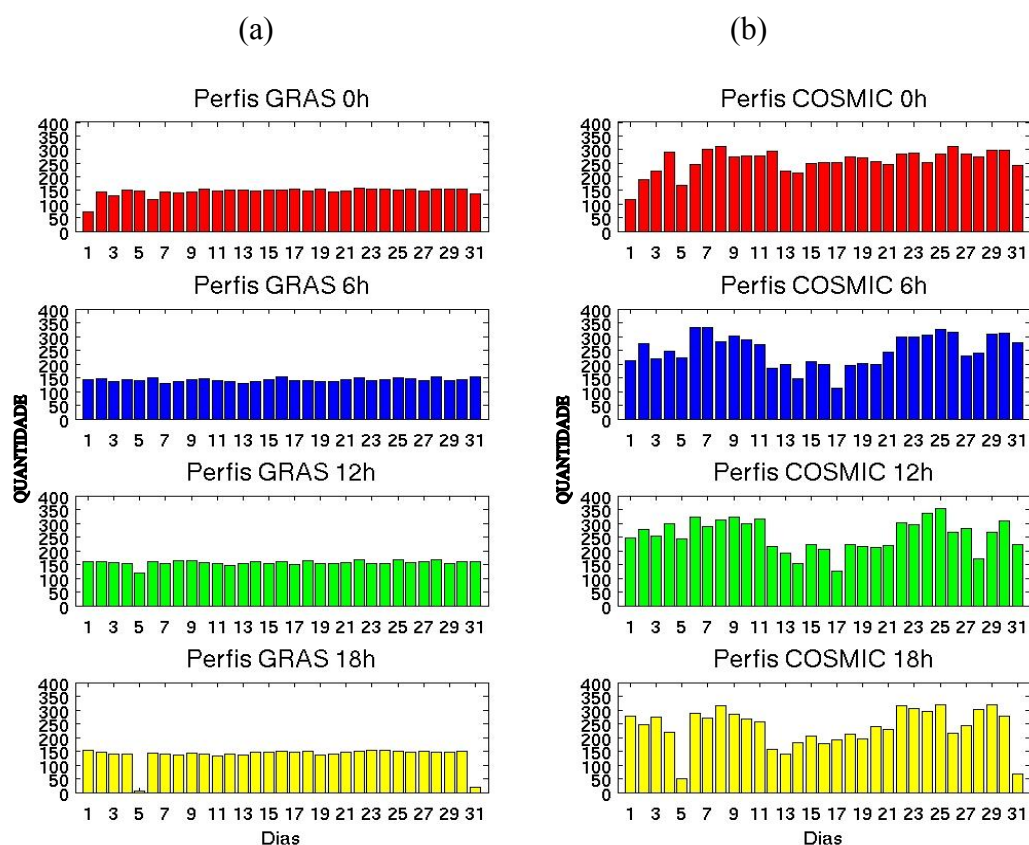


Figura 8 – Quantidade de perfis para 00Z, 06Z, 12Z e 18Z para GRAS (a) e COSMIC (b).

Para esse mesmo tipo de informação do GRAS e COSMIC foi apresentado em outra forma de gráfico, como mostra respectivamente, as figuras 9 e 10.

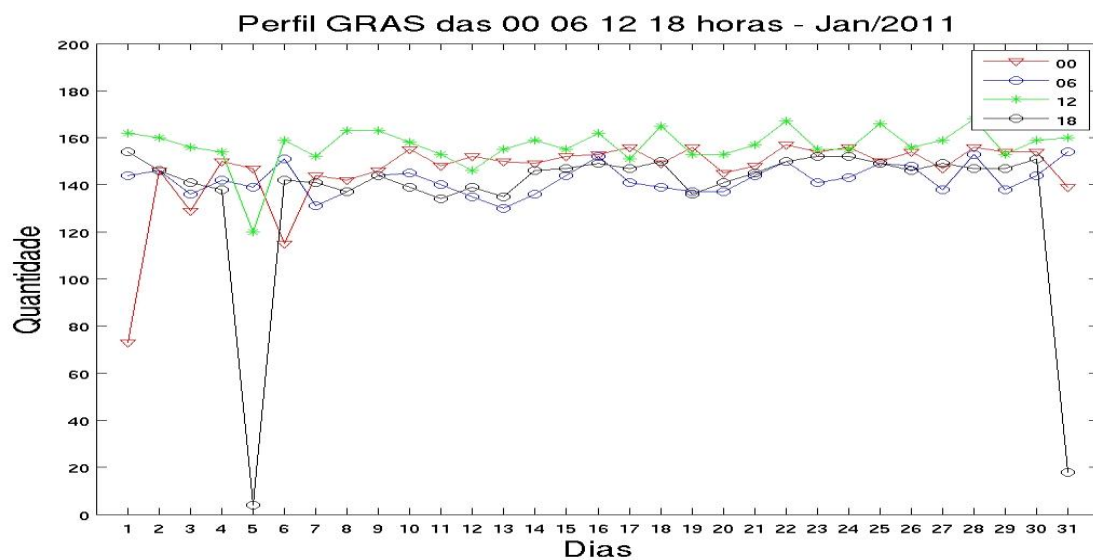


Figura 9 - Gráfico em linha para o perfil das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z para GRAS.

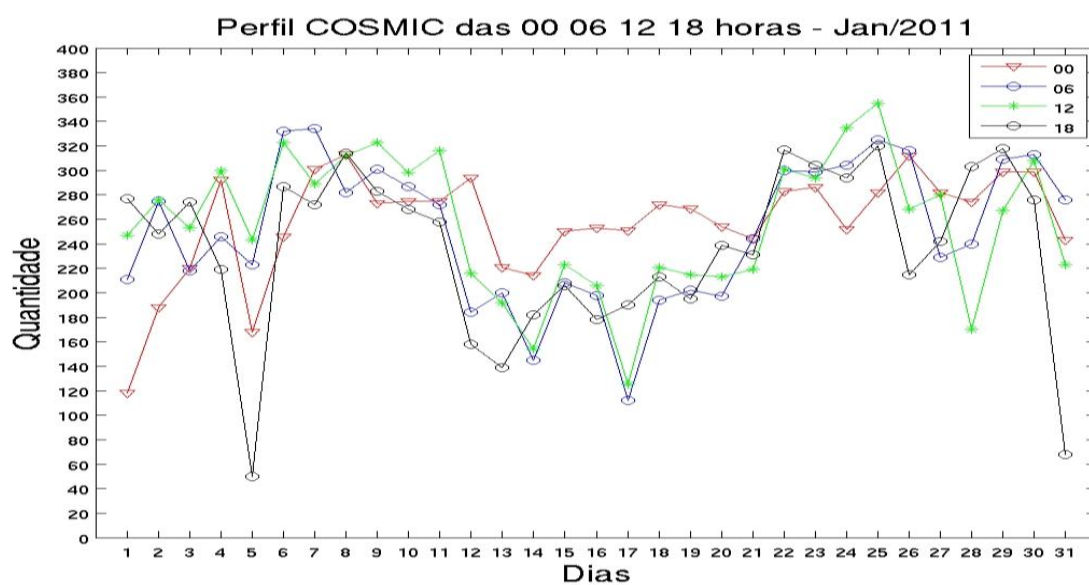


Figura 10 – Gráfico em linha para o perfil das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z para COSMIC.

3.2.5 Quantidade média dos perfis por hora do dia e o desvio padrão

Metodologia: Foi calculado o somatório dos perfis nas horas de cada dia, dividiu-se pelo número total de dias no mês, e foi calculado o desvio padrão dos mesmos. O tipo de gráfico apresentado nas figuras representa barras de erro, as quais mostram a confiança dos dados no intervalo e o desvio ao longo das curvas.

Perfis para GRAS: Observou-se que para o GRAS, a média ficou entre 20 e 30 perfis por hora do dia, sendo as barras maiores de erro das 14 às 21 horas, como mostra a figura 11 (a).

Perfis para COSMIC: Percebeu-se que para o COSMIC, a média dos perfis ficou entre 30 e 50, já as barras de erro se mostraram semelhantes em quase todos os momentos do período, conforme visto na figura 11 (b).

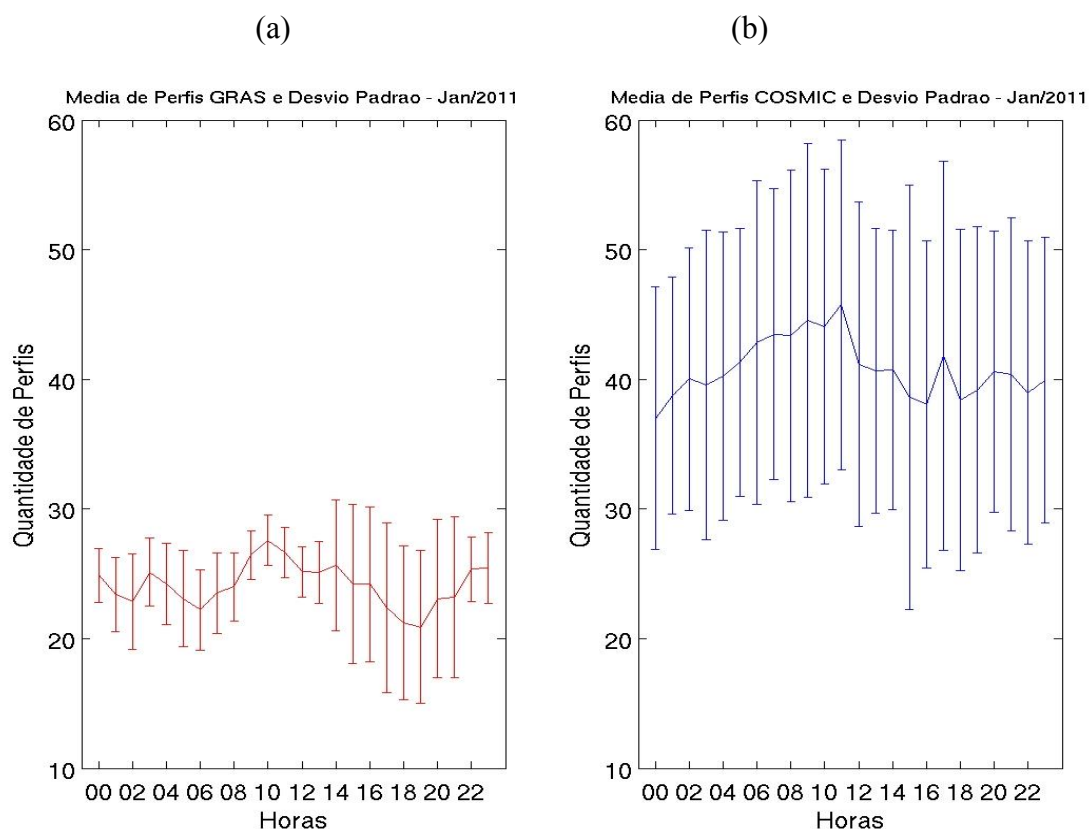


Figura 11 – Quantidade média de perfis e desvio padrão para GRAS (a) e COSMIC (b).

3.3 Distribuição espacial e temporal dos dados

Metodologia: As figuras a seguir, demonstram a distribuição espacial dos perfis pelo globo terrestre. Foi utilizado um Shell Script para gerar um arquivo texto com a latitude e longitude dos pontos observados e usado um outro script com funções do software GrADS para plotar estes dados sobre o mapa do globo terrestre.

Perfis para COSMIC e GRAS: São ao todo, 25.603 perfis COSMIC, com duas faixas de perfis bem nítidas, no globo terrestre, vistos na figura 12. A distribuição dos perfis GRAS para a América do Sul é apresentado na figura 13.

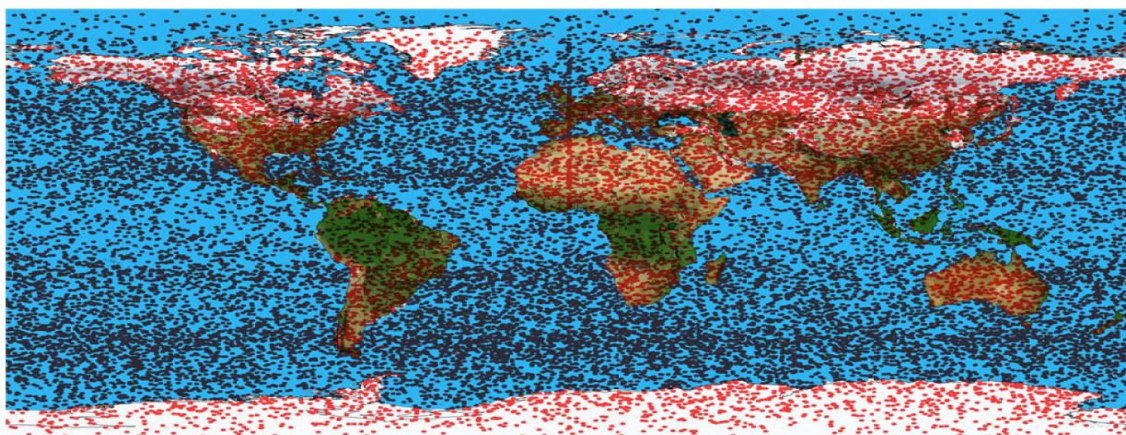


Figura 12 – Perfis COSMIC no globo terrestre.

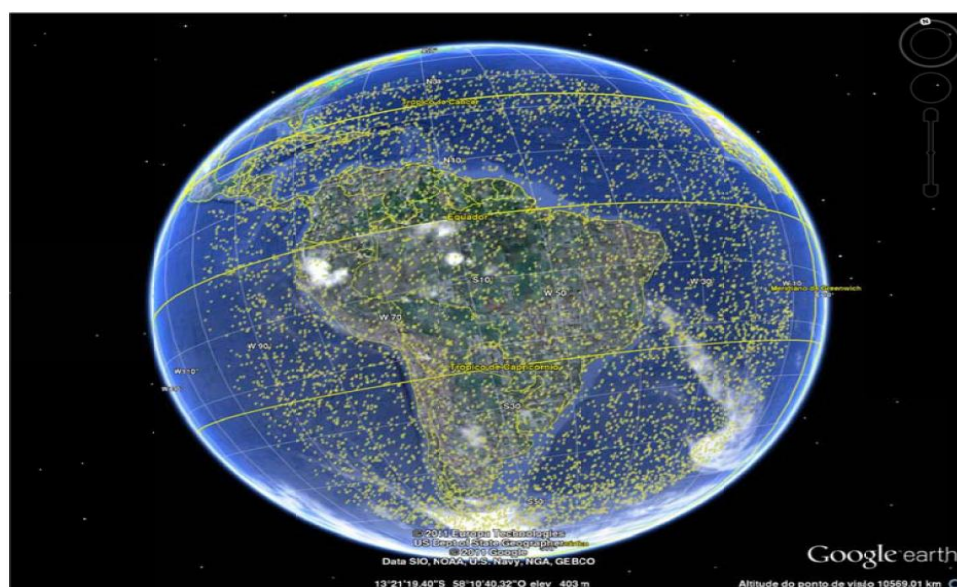


Figura 13 – Perfis GRAS na América do Sul.

As figuras 14, 15, 16 e 17, respectivamente, apresentam os perfis COSMIC para 00Z, 06Z, 12Z, e 18Z do dia 06 de janeiro, foram observados neste dia o total de 1060 perfis.

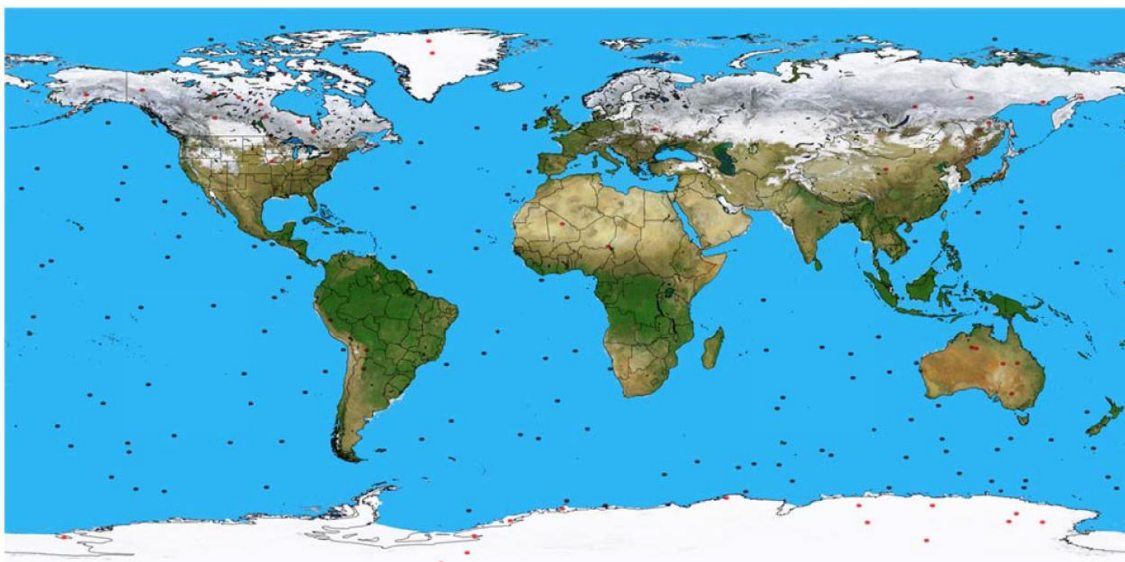


Figura 14 – Total de 190 perfis para 00Z.

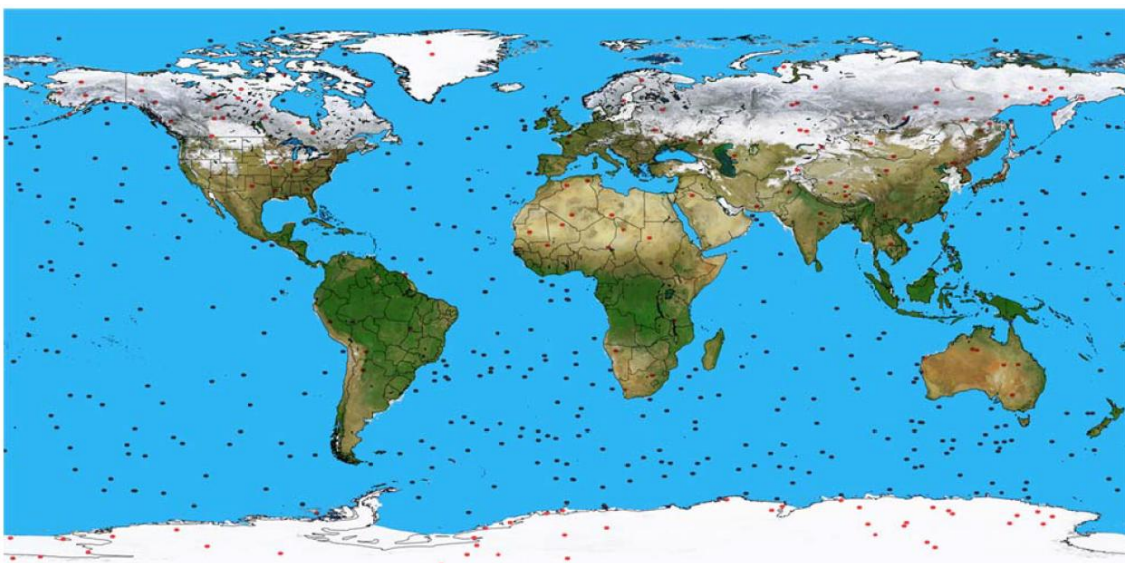


Figura 15 – Total de 319 de perfis para 06Z.

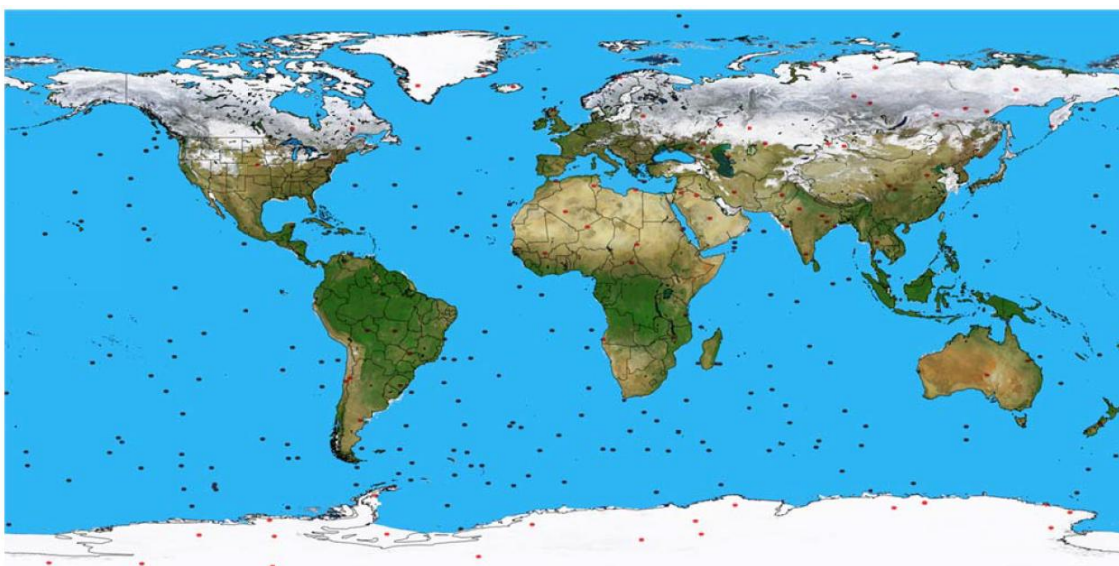


Figura 16 – Total de 278 perfis para 12Z.

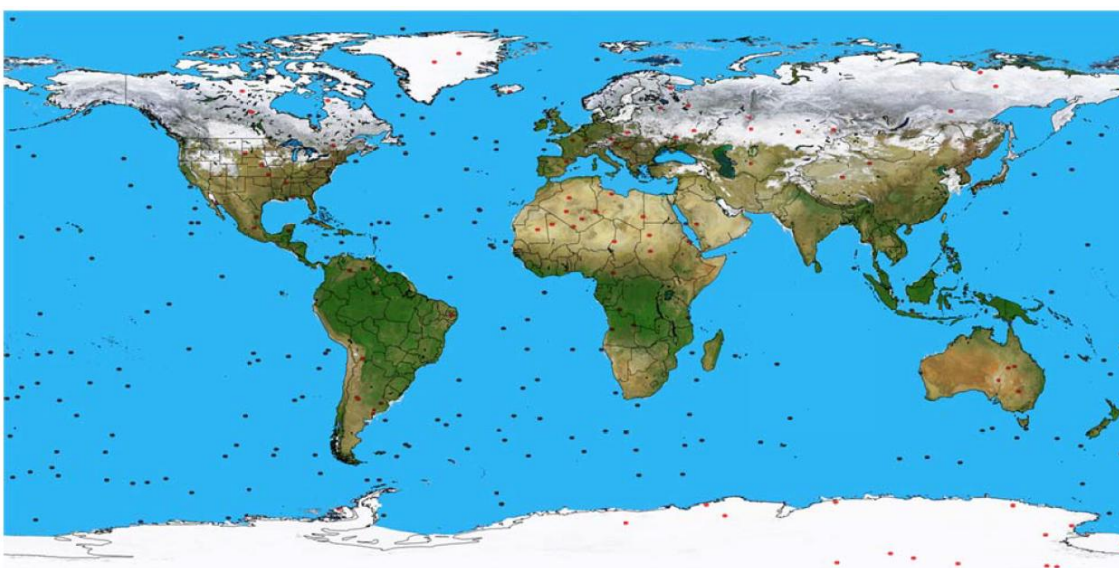


Figura 17 – Total de 273 perfis para 18Z.

As figuras 18, 19, 20 e 21, respectivamente, apresentam os perfis COSMIC para 00Z, 06Z, 12Z, e 18Z do dia 17 de janeiro, foram observados neste dia o total de 386 perfis.

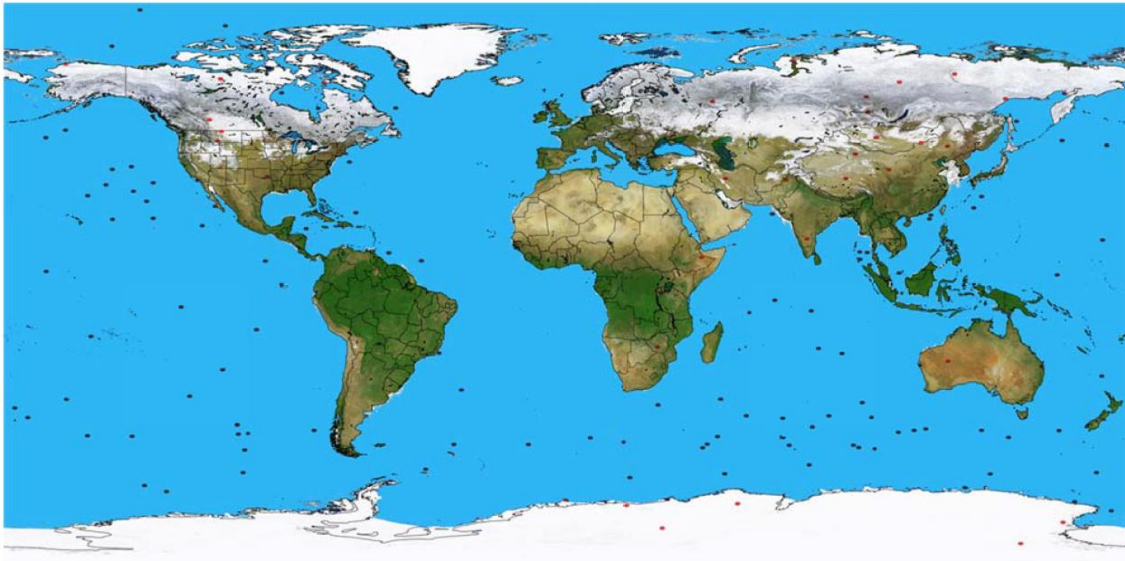


Figura 18 – Total de 141 perfis para 00Z.

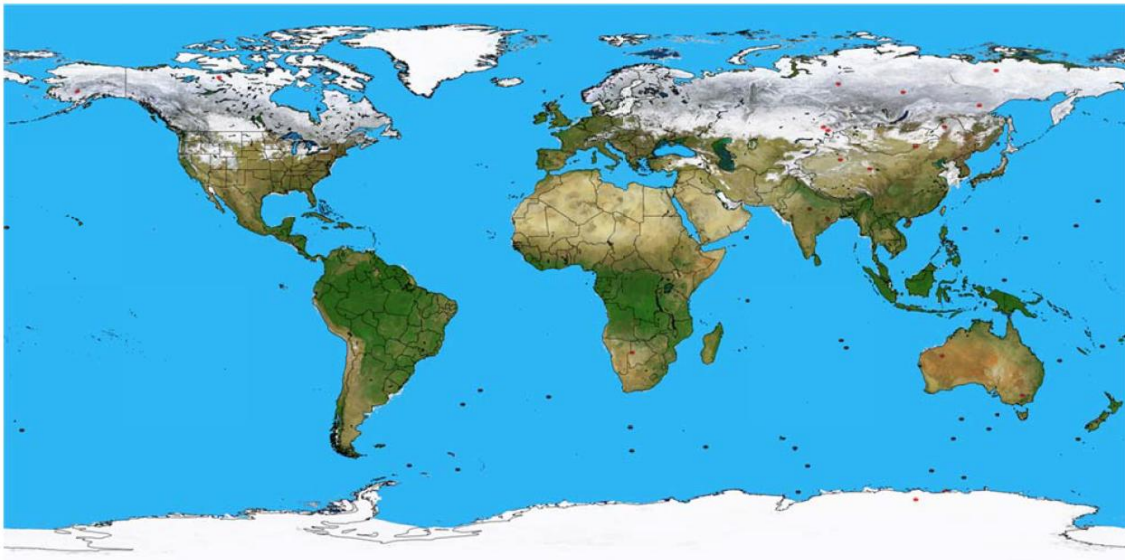


Figura 19 – Total de 54 perfis para 06Z.

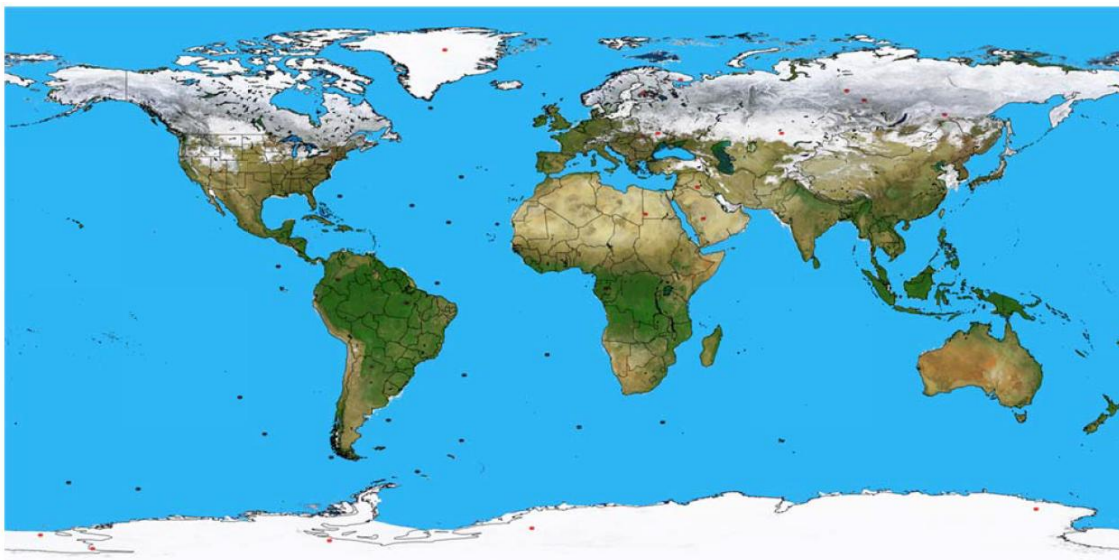


Figura 20 – Total de 53 perfis para 12Z.

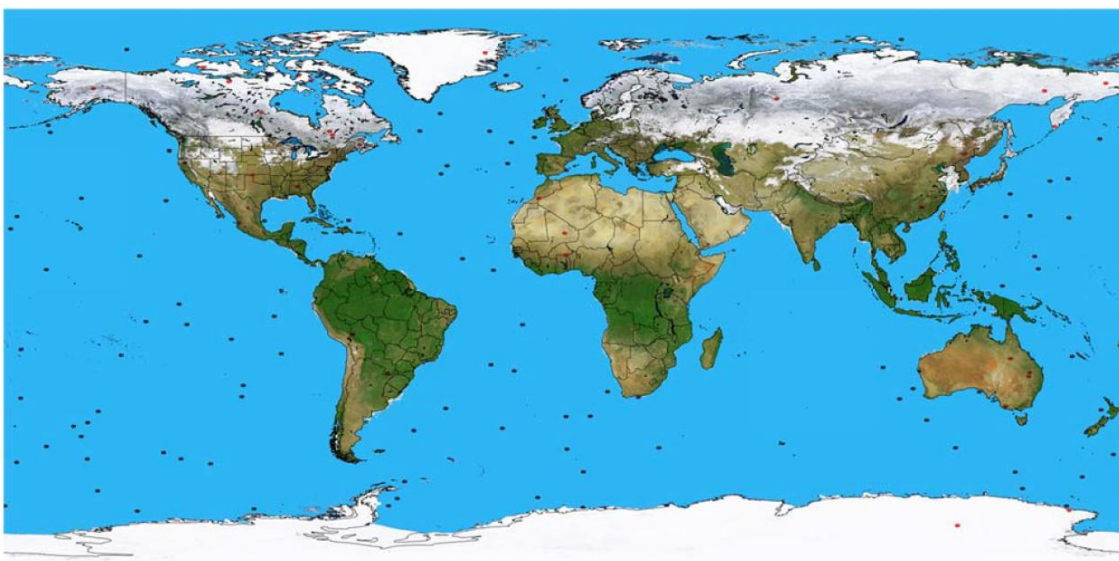


Figura 21 – Total de 138 perfis para 18Z.

4. Implementação do operador no LETKF usando o ROPP

Neste capítulo será descrito como foi a implementação do operador no LETKF desde a instalação do software ROPP ao desenvolvimento do código do operador em um sistema operacional Linux.

4.1 Avaliação dos dados de RO-GNSS

No LETKF os dados a serem assimilados devem ser disponibilizados em um formato simplificado, no qual contem as seguintes informações para cada observação: localização espacial (longitude, latitude e altitude) e temporal (dia, hora minuto em que foi feita a observação), valor observado e ewapwctiva incerteza. Para isso um pré-processamento é responsável por converter dados em formato de distribuição (Buffer e NetCDF por exemplo) em um formato binário que o LETKF está configurado para ler, selecionando os dados para cada uma das janelas de tempo (+/- 3 horas) para as horas sinóticas (00, 06, 12 e 18 horas UTC). Para a assimilação dos dados de RO-GNSS foi desenvolvido um sistema de pré-processamento específico que tem por função selecionar os dados de RO-GNSS pertencentes em cada uma das janelas e organizá-los em um arquivo binário específico para a leitura no LETKF. A figura 22 mostra em detalhes a sequência dos processos envolvidos nesse sistema de pré-processamento dos dados de RO-GNSS. Tal sistema é baseado em shell script e programa em Fortran e permitirá que experimentos sejam realizados, bem com facilitará a futura operacionalização desse processo.

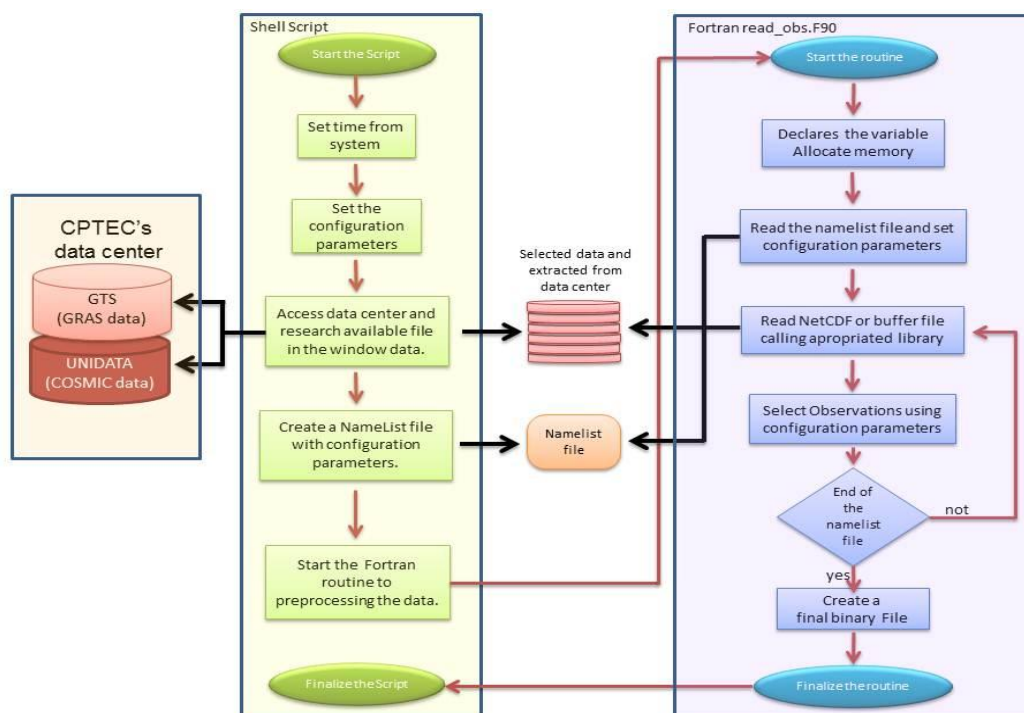


Figura 22 - Processos envolvidos no pré-processamento das observações de RO-GNSS no CPTEC para a assimilação no LETKF.

4.2 Instalação e configuração do Software ROPP default

Inicialmente é necessário fazer o download do software ROPP que se encontra no site², para o qual é necessário fazer um cadastro e assim baixar o arquivo ropp-5.0.tar.gz e seus pacotes de dependências netcdf-4.0.1.tar.gz e bufr-19.0.tar.gz. Após os downloads, basta descompactar o arquivo ropp-5.0.tar.gz e um diretório chamado ropp-5.0 será criado, então os arquivos netcdf-4.0.1.tar.gz e bufr-19.0.tar.gz são movidos para dentro deste diretório, assim o ropp estará pronto para ser compilado.

Para a compilação do software basta usar o comando seguido do compilador Fortran que irá ser utilizado “\$./build_desp compilador”, para compilar todos módulos

² <http://www.grassaf.org/>

de uma só vez basta usar o comando “\$./buid_ropp compilador”.

O “BUILDPACK script” é um script em *Shell Bash* onde o usuário não precisa usar o *Bash* como Shell interativo, mas o *Bash* precisa ser instalado (geralmente em bin/bash) para que o script possa funcionar.

A configuração dos módulos ROPP devem obedecer a seguinte ordem:

>buildpack <package> <compiler>

- \$./buildpack ropp_utils-5.0 compilador
- \$./buildpack ropp_fm-5.0 compilador
- \$./buildpack ropp_1dvar-5.0 compilador
- \$./buildpack ropp_io-5.0 compilador
- \$./buildpack ropp_pp-5.0 compilador

Existe um diretório /tests, que é utilizado para testar o módulo, e para mostrar o display das figuras de teste precisa-se do software IDL, o qual se encontra no CPTEC em alguns servidores apropriados e disponíveis para a sua utilização.

4.3 Desenvolvimento do operador de observações de RO-GNSS para o LETKF

A figura 23 mostra o diagrama dos processos envolvidos no desenvolvimento do operador de RO-GNSS e como ele se relaciona com os demais processos do LETKF. A versão do operador em desenvolvimento denominada oper_radoc.f90, apresentada no apêndice A, é chamada pela rotina letkf_obs.f90 que é o operador de observação convencional do LETKF. Essa rotina calcula os valores da refratividade, usando sub-rotinas do modulo FM do ROPP, a partir das variáveis do modelo para cada membro de ensemble do LETKF e devolve ao sistema as diferenças entre esses valores e os valores observados. Um processo de controle de qualidade específico para essas observações também é contemplado usando sub-rotinas do modulo 1DVAR do ROPP.

A rotina letkf_obs.f90 lê o arquivo de observação e aloca a memória necessária. Um processo paralelo é iniciado e um único processo faz um calculo para 1 membro específico do ensemble usando o arquivo de background apropriado.

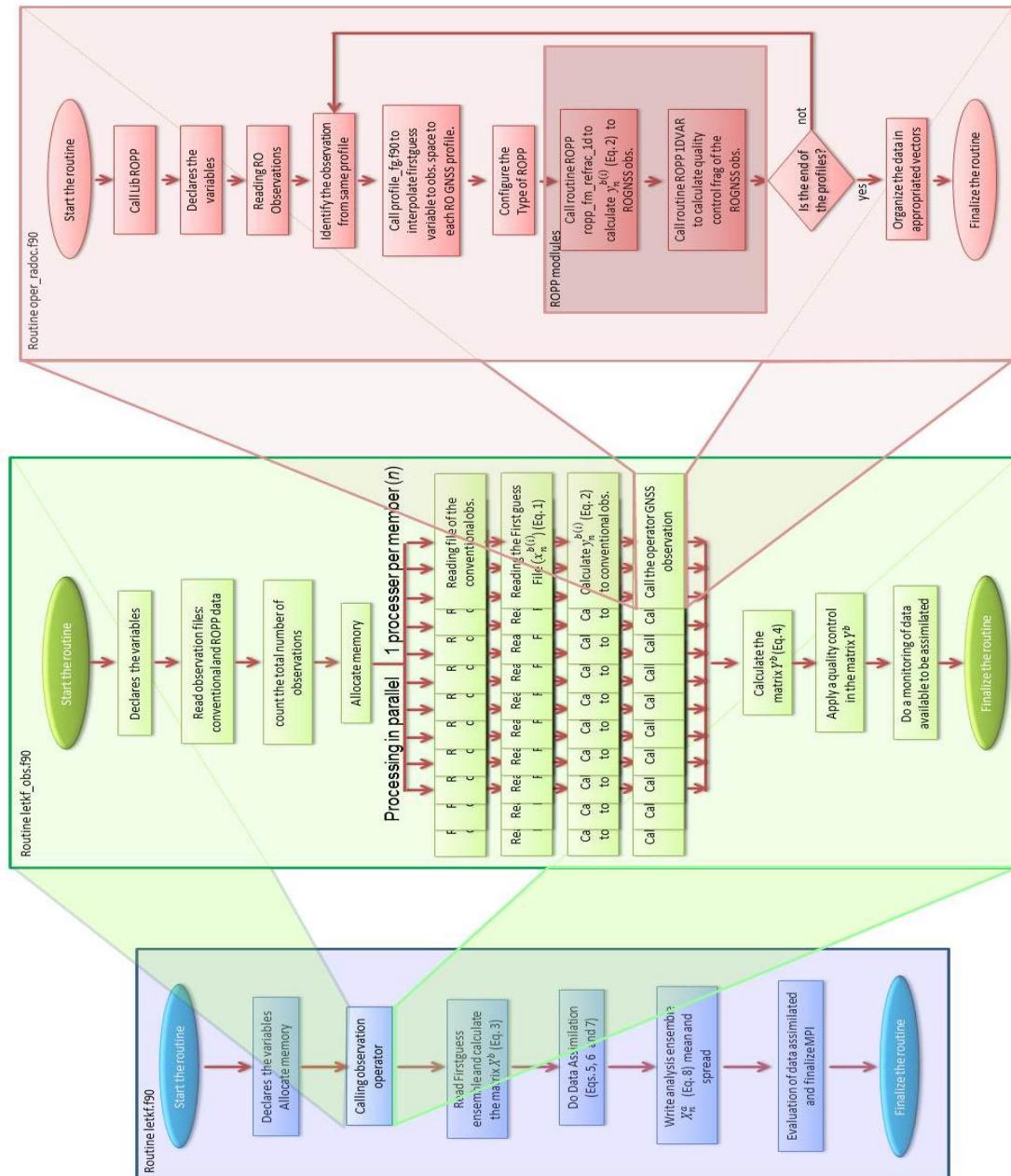


Figura 23 – Fluxograma do operador de observação RO-GNSS acoplado no LETKF usando os módulos do ROPP.

No entanto, todo processador lê o mesmo arquivo de observação convencional. O operador GNSS é chamado pela rotina `letkf_obs.f90` para o processamento em paralelo usando a mesma estratégia de processamento: 1 processador por membro. Embora o operador de observação convencional é capaz de utilizar vários processadores para o mesmo membro, o operador ROPP não é paralelizado, o que é uma atual limitação do operador.

A rotina `oper_radoc.f90` é a conexão entre o sistema LETKF e o software ROPP. A rotina prepara o dado necessário para executar a subrotina dos módulos ROPP e organizar os resultados obtidos no processo para ser aplicado no sistema LETKF. Os processos executados pelo operador RO-GNSS podem ser descritos pelos seguintes passos:

- Passo 1: Organiza e declara as variáveis usando o LETKF e executa as bibliotecas ROPP;
- Passo 2: Lê os arquivos pré-processados de observação RO-GNSS;
- Passo 3: Identifica a informação a partir do mesmo perfil RO-GNSS, que são processados em separados;
- Passo 4: Chama uma subrotina (`profile_fg.f90`) responsável por interpolar a variável do background para o espaço da observação do perfil RO-GNSS em processamento;
- Passo 5: O tipo específico utilizado no ROPP são criados e adequadamente configurado. Os valores da variável a partir do background interpolados para o espaço da observação são armazenados no tipo de entrada da sub-rotina ROPP;
- Passo 6: A rotina `ropp_fm_refrac1d.f90` é chamada para calcular a refratividade a partir das variáveis do modelo para a localização dos perfis de RO-GNSS. Valores da refratividade do background são obtidos na saída da rotina;
- Passo 7: A rotina `ropp_qc_Omb.f90` e `ropp_qc_bgqc.f90` do modulo ROPP 1D VAR são chamados para processar o controle de qualidade do perfil de refratividade observado e do background;
- Passo 8: Se não for o final dos perfis RO-GNSS, o mesmo retorna ao passo 3 e um novo perfil é processado. Caso contrário, vai para o passo seguinte;

- Passo 9: Organiza os resultados dos módulos ROPP e finaliza a rotina retornando os resultados em vetores apropriados para serem usados na rotina `letkf_obs.f90`.

Os resultados gerados no operador RO-GNSS e no processamento de observação convencional são usados na rotina `letkf_obs.f90` para calcular a matrix das diferenças entre os valores calculados para cada membro e o vetor do ensemble médio. O processamento do controle de qualidade é aplicado nessa matriz para excluir observações com erro grosseiro ou de baixa qualidade, levando em consideração a diferença entre as observações e o background. As flags do controle de qualidade geradas no modulo ROPP 1DVAR para observação de refratividade são utilizadas neste processo. Finalmente, a rotina `letkf_obs.f90` monitora os dados disponíveis para serem assimilados e gera um relatório sobre o total de observação para cada sistema de observação.

Como primeiro passo nesse desenvolvimento foi feito a instalação do ROPP no novo supercomputador CRAY. Como esse processo é de grande interesse para os grupos de desenvolvedores do ROPP, o CPTEC foi convidado a participar do processo de teste da versão beta da mais nova distribuição, a versão 5.0. Diversas máquinas com diferentes sistemas operacionais e diferentes compiladores Fortran foram utilizadas visando verificar problemas no processo de instalação do ROPP. A máquina CRAY foi o principal ambiente utilizado nesse processo, uma vez que é nela onde está sendo implementado o operador. Um relatório contendo as principais notificações observadas foi elaborado e enviado para a EUMETSAT.

A utilização dos módulos do ROPP dentro do operador, sendo executado pelo LETKF não foi tarefa simples, pois envolveu uma sequência de compilação de diferentes níveis de desenvolvimento. O desafio maior nesse processo é manter a estrutura original do ROPP sem que nenhuma modificação fosse necessária para sua inclusão no operador. A ideia dessa iniciativa é facilitar que futuras distribuições, com melhorias e correções de bugs, sejam imediatamente utilizadas sem que haja a necessidade de modificações no código. A solução em desenvolvimento tem tido sucesso nessa tarefa, o que permitirá que a versão do operador a ser futuramente operacionalizada seja beneficiada com as melhorias no ROPP. Como o ROPP está

baseado em formato de arquivo netCDF, as chamadas das sub-rotinas tiveram que ser bem planejadas e os dados organizados de forma estruturada e enviados via argumentos nas chamadas dos módulos. A figura 24 ilustra as chamadas dos módulos do ROPP, para o cálculo da refratividade (módulo FM) e para o controle de qualidade (módulo 1DVAR).

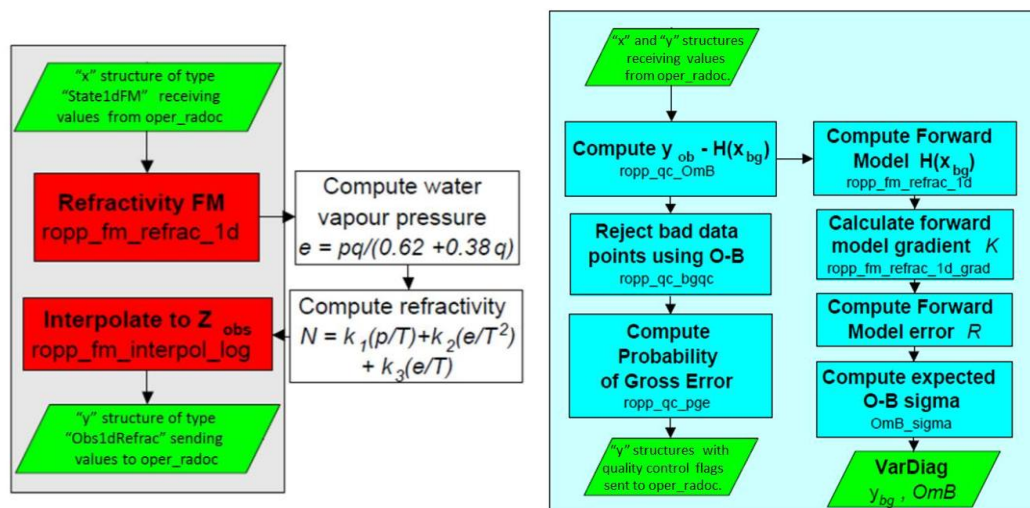


Figura 24 – Fluxograma dos processos do ROPP executados pelo operador de observação RO-GNSS acoplado no LETKF. À esquerda, o processo para o cálculo da refratividade usando o módulo FM e à direita, o processo para a realização do controle de qualidade usando o módulo 1DVAR (Figuras editadas GRAS-SAF ROPP manual).

4.4 Refratividade a partir do modelo usando o módulo ROPP Forward

A forma utilizada para ligar o modulo ROPP FM e o LETKF estava organizando os dados necessários para executar a rotina ropp_fm_refrac_1d implementada no arquivo ropp_fm_refrac_1d.f90. Esta rotina calcula os valores de refratividade usando o estado do vetor do background.

A rotina ropp_fm_refrac_1d assume que a estrutura do vetor contem valores de temperatura, umidade e pressão sobre os níveis comuns de altura geopotencial. Esta condição é garantida pela rotina oper_radoc.f90, a qual cria dois tipos de estrutura

especifica utilizando a biblioteca `ropp_fm_types`, chamado de `x` do tipo `State1dFM` usados como dados de entrada e de `y` do tipo `Obs1dRefrac`, usado como dados de saída. As variáveis contidas na estrutura de `x` e usado por `ropp_fm_refrac_1d` e os respectivos valores armazenados são:

- `x%temp=temp` ! Vetor de valores de temperatura em Kelvin dos dados background de modelo interpolados para o espaço da observação;
- `x%shum=umi` ! Vetor de valores umidade específica (kg/kg) dos dados background de modelo interpolados para o espaço da observação;
- `x%pres=pres` ! Vetor de valores de pressão (Pa) dos dados background de modelo interpolados para o espaço da observação;
- `x%geop=Hgeo` ! Vetor de valores de altura geopotencial (gpm) dos dados background de modelo interpolados para o espaço da observação;
- `x%geop_sfc = HgeoSF` ! Altura geopotencial superfície;
- `x%n_lev= n_inter` ! Número de níveis;
- `x%lon = Lon_inter(50)` ! Longitude média do perfil;
- `x%lat= Lat_inter(50)` ! Latitude media do perfil;
- `x%non_ideal= .TRUE.` ! Flag gas não ideal setado como ideal.

O procedimento usado pelo `ropp_fm_refrac_1d` para aplicar *forward model* para calcular um perfil vertical de refratividade a partir de perfis de temperatura, umidade e pressão é apresentado na figura 24. Inicialmente, a rotina define o inverso das constantes de compressibilidade e inicializa a altura geopotencial. Se o gás não ideal é usado os coeficientes ajustados são selecionados e constantes de compressibilidade apropriadas e altura geopotencial ajustada em `z_geop` são calculadas.

4.5 Detalhamentos do acoplamento ROPP no operador GNSS para LETKF

Inicialmente foi discutido como seria a estrutura para o operador GNSS e chegou-se a seguinte decisão descrita abaixo:

```
>~/LETKF/cpetc/GNSS_operator/ (diretório principal)
```

exec/
ropp/
source/

Esta estrutura foi definida para que a pasta “exec” fosse o local onde estaria todas as libs (bin/, data/, include/ lib/ man/ e share/) usadas pelo ROPP, sendo a pasta “ropp”, o local onde está todo o pacote do ROPP e a pasta “source”, o local onde está os softwares de dependência, ou seja, netCDF, BUFR e o Operador GNSS. Com a estrutura pronta, foi criado no repositório SVN um *branche* chamado rogps.t560 onde foi importado o LETKF junto com o ROPP, cujo *branche* encontra-se todas as versões de desenvolvimento do Operador.

O sistema LETKF esta sendo executado no supercomputador TUPÃ no CPTEC e o compilador utilizado neste ambiente é o pgf90, por isso foi necessário fazer algumas modificações, primeiramente foi copiado os arquivos “netcdf_configure_pgf_linux” e “ropp_configure_pgf_linux” e renomeado para “netcdf_configure_pgf90_linux” e “ropp_configure_pgf90_linux”, pois no tupã só existe o pgf90 e não o pgf95. Após isso foi modificado o script “build_desp”, corrigindo problemas nele contido, o compilador atual é o pgf90 e somente o mesmo é aceito.

4.6 Instalação e configuração do LETKF com Operador GNSS.

O código fonte do LETKF junto com o ROPP encontram-se no repositório SVN³, o qual armazena todas as versões do desenvolvimento do Operador. Atualmente o sistema esta sendo compilado e testado no supercomputador “TUPÃ” no CPTEC, sendo assim para instalar e testar o LETKF com o operador basta seguir os passos abaixo:

1. Primeiramente entre no servidor TUPÃ com o comando:
\$ ssh usuário@tupa -XC
2. Logo após entrar, digite o comando:

³ <https://svn.cptec.inpe.br/letkf/branches/rogps.t560/LETKF>

\$ source /usr/bin/development_config

Escolha a opção 6 para carregar a nova configuração do TUPÃ.

3. Carregue o modulo pgi necessário para compilar o ROPP com o comando:

\$ module load pgi

4. Entre em seu home e execute o comando:

\$ svn co <https://svn.cptec.inpe.br/letkf/branches/rogps.t560/LETKF>

Assim o SVN vai baixar a ultima versão do LETKF com o operador GNSS que está no sistema para a sua conta no TUPÃ.

5. Entre na pasta LETKF do stornext e execute o script montar_tudo.ksh com o comando:

\$./montar_tudo.ksh

Script desenvolvido para compilar primeiro o ROPP e depois o LETKF direcionado os arquivos binários para seus respectivos lugares.

6. Com tudo já compilado, é necessário fazer os links corretos e copiar os arquivos para os seus lugares para que o LETKF e o operador GNSS funcionem para o período desejado. Abra o script linkar_dados_netcdf_obs.ksh e altere a data para o período em que está avaliado. A data que já está configurada é 2011090100 até 2011103118, então execute o comando:

\$./linkar_dados_netcdf_obs.ksh

Estes são os arquivos de observação e o arquivo FCT.

7. Agora é preciso entrar no script linkar_raw.ksh que se encontra dentro da pasta LETKF no stornext e escolher a data dos arquivos raw que você deseja linkar. A data que já esta lá é 2011090100 até 2011093018 que é a data padrão que estamos testando nesse momento. Depois de arrumar a data execute o comando:

\$./linkar_raw.ksh

8. Entre no arquivo linkar_sstgrb2.ksh que encontra-se também dentro da pasta LETKF e altere a data para quais arquivos sstgrb2 ao desejar linkar, a data configurada é 2011090100 até 2011093018. Depois execute o comando:

\$./linkar_sstgrb2.ksh

9. Execute este comando:

\$ cp -rv /stornext/grupos/assim_dados/users/derek.schubert/2011090100

/scratchin/grupos/assim_dados/home/\${USER}/LETKF/datainout/gues

Este comando copia os arquivos de *first guess* para a data inicial 2011090100.

10. Execute o comando:

cp -v

**/stornext/grupos/assim_dados/users/derek.schubert/2012_tupa/SSTWeeklyNCEP/run_SST
WeeklyNCEP.bash /stornext/home/\${USER}/LETKF/cptec/agcm/pre/scripts/**

Substituindo o arquivo de mesmo nome já existente nesta pasta.

11. Execute primeiro o pré processamento para depois começar a rodar todo o sistema. Entre no diretório:

\$ cd /stornext/home/\${USER}/LETKF/run/scripts/agcm_scripts

Depois execute o comando:

\$./runPre 62 28 2011090100 NMC 1

Acompanhe o resultado para verificar se o pré foi executado corretamente.

12. Depois de tudo certo com o pré entre no diretório:

\$ cd /stornext/home/\${USER}/LETKF/run

Abra o script **run_cycle.sh** e altere a data para a data do processamento desejado atualmente configurado para rodar no período 2011090100 até 2011103118.

Após isto execute o comando:

\$./run_cycle.sh

Este comando roda todo LETKF.

13. Após o fim de todo o processo para acessar os resultados gerados, execute o comando:

cd

**/scratchout/grupos/assim_dados/home/\${USER}/LETKF/datainout/agcm/p
os/dataout/TQ0062L028/**

Local onde o LETKF salva os arquivos pós-processados.

5. RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS FINAIS

5.1 Realizações no operador de observações RO-GNSS no LETKF

As realizações relacionadas com o operador de refratividade no LETKF podem ser sintetizadas nos seguintes tópicos:

- Finalização do processo de controle de qualidade das observações de refratividade no operador: o processo de controle de qualidade foi implementado dentro das rotinas do LETKF, o qual chama o módulo 1DVAR do ROPP, e realiza um controle de qualidade avaliando a consistência das observações e os valores do background. Os seguintes itens são considerados no controle de qualidade desenvolvido:
 - Distância horizontal: é checado se a mesma excede um valor pré-definido como máximo permitido;
 - Distância vertical: é checado se a mesma excede um valor pré-definido como máximo permitido;
 - Defasagem temporal: é chegado se a mesma excede um valor pré-definido como máximo permitido;
 - Aplica uma máscara para eliminar valores próximos à superfície e acima de uma altura pré-definida,
 - Elimina valores espúrios baseados em uma diferença máxima entre as observações e o background.
- Configuração do operador de observações de refratividade no LETKF: ajustes foram realizados no módulo de minimização do LETKF para que dados de rádio ocultação fossem assimilados pelo sistema, uma vez que apenas dados convencionais estão contemplados na versão LETKF disponível no *trunk* do SVN-GDAD. Dados de refratividade foram criados na matriz de observações do sistema e sua relação com as variáveis principais do sistema foram predefinidas, nas quais os valores de refratividade foram setados como correlacionadas com todas as variáveis, desde as componentes do vento como os valores de umidade.
- Realização dos experimentos de assimilação dos dados de RO-GNSS no LETKF: nessa atividade, foram realizadas rodadas de alguns meses para o ano de 2011

usando o operador desenvolvido. O objetivo é identificar bugs e ajustar configurações, bem como avaliar o desempenho computacional dos processos. A figura 25 mostra graficamente o tempo gasto pelo operador dentro do tempo total médio do LETKF. Observa-se que a inclusão do operador de rádio ocultação não teve um impacto significativo no tempo total gasto na execução do LETKF ao gerar a análise. Para novas resoluções essa análise deve ser refeita para reavaliar esse desempenho, e se for o caso, implementar otimizações no código.

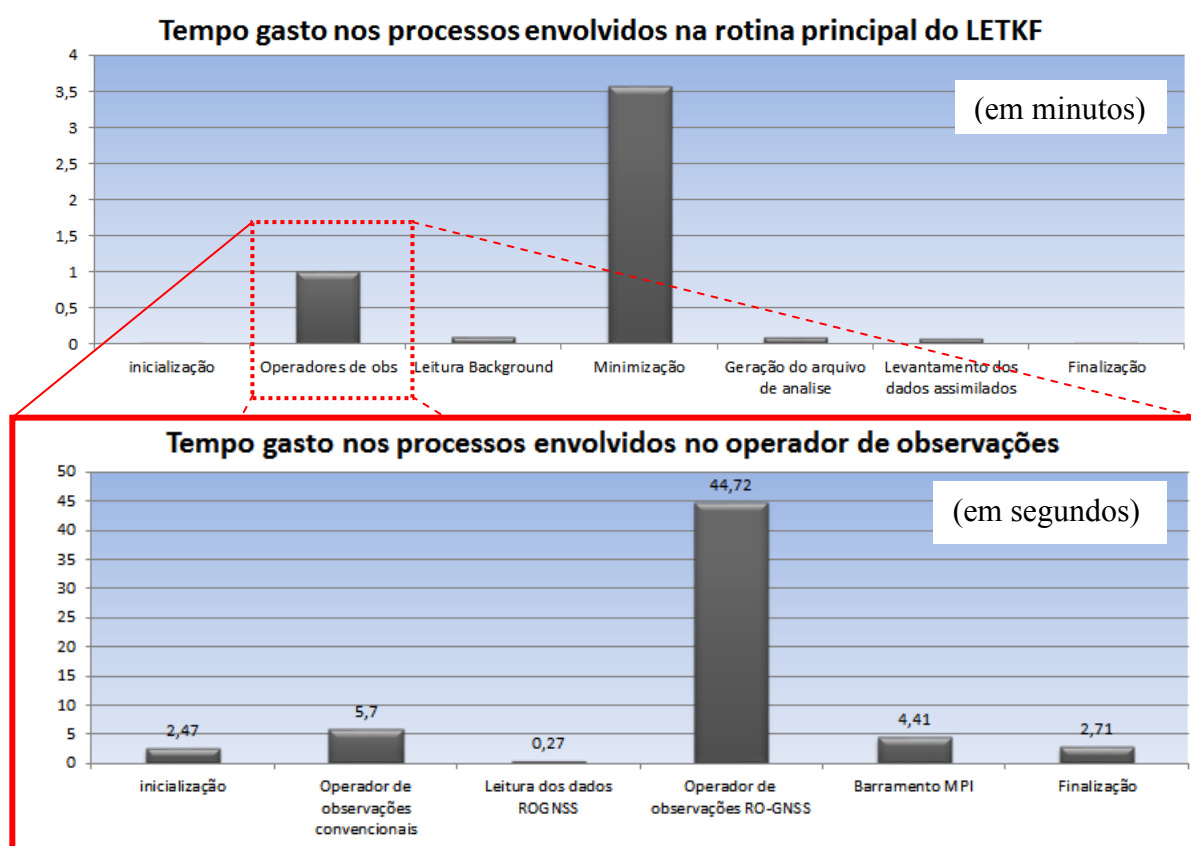


Figura 25 – Gráficos mostrando o tempo gasto na execução dos módulos em que se dividiu o LETKF com ênfase para o operador de observação convencional e de RO-GNSS.

5.2 Resultados preliminares do impacto dos dados RO-GNSS nas análises do LETKF

Para a avaliação dos resultados obtidos com a assimilação de dados de RO-GNSS no LETKF usando o operador, foi organizada uma bateria de experimentos. Os seguintes passos foram realizados:

- Foi selecionado um período de dados utilizando arquivos de dados organizados pelo GDAD. Por conveniência o período escolhido foi os meses de setembro e outubro de 2011;
- Um conjunto de análises iniciais do NCEP foi organizado compondo um ensemble de análises para que o processo fosse inicializado;
- Foram baixados os dados de rádio ocultação dos satélites COSMIC para todo o período de setembro e outubro de 2011;
- O processo de pré-processamento dos arquivos de observações RO-GNSS em formato netCDF foi realizado preparando-os para a assimilação no LETKF;
- Uma rodada de controle foi realizada com o LETKF, na qual os dados de rádio ocultação não foram assimilados. Essa rodada foi armazenada em fita;
- Uma rodada inicial com a assimilação de dados de rádio ocultação GNSS foi efetivada usando o operador de observações Radoc. Uma sequência de experimentos foi realizada avaliando diferentes aspectos e configurações disponíveis no LETKF.

Ao realizar os experimentos houveram diversas dificuldades relacionadas com o sistema computacional e outras com instabilidade numérica gerada por observações ruidosas. Com relação ao primeiro item, as dificuldades foram as frequentes interrupções na disponibilidade do supercomputador Tupã, e outras relacionadas com a instabilidade do sistema ou com os compiladores disponíveis, ou ainda com a mudança repentina dos mesmos sem aviso prévio. Com relação às observações, diversos níveis de rigor foram testados no controle de qualidade das observações RO-GNSS, os quais diretamente relacionados com o número de observações assimiladas. A assimilação de observações com ruído excessivo gera no sistema instabilidade e faz

com que o modelo de previsão caia ao utilizar a análise gerada. A avaliação dos resultados foi feita ao comparar os valores obtidos nos diferentes experimentos e valores de RMS e viés foram calculados tomando as análises do NCEP como referência. A figura 26 mostra o impacto da assimilação dos dados de RO-GNSS em dois níveis de controle de qualidade: V2 menos rigoroso assimilando observações com a diferença O-F maior do que 3 vezes o desvio padrão das observações, e a versão V3 com a diferença O-F maior do que 2 vezes o desvio padrão das observações. Observa-se que o impacto da assimilação com o controle de qualidade V2 (menos rigoroso) é mais expressivo do que a versão que utilizou um maior rigor, na qual mais dados foram assimilados. Isso indica que esse tema merece atenção nos próximos desenvolvimentos.

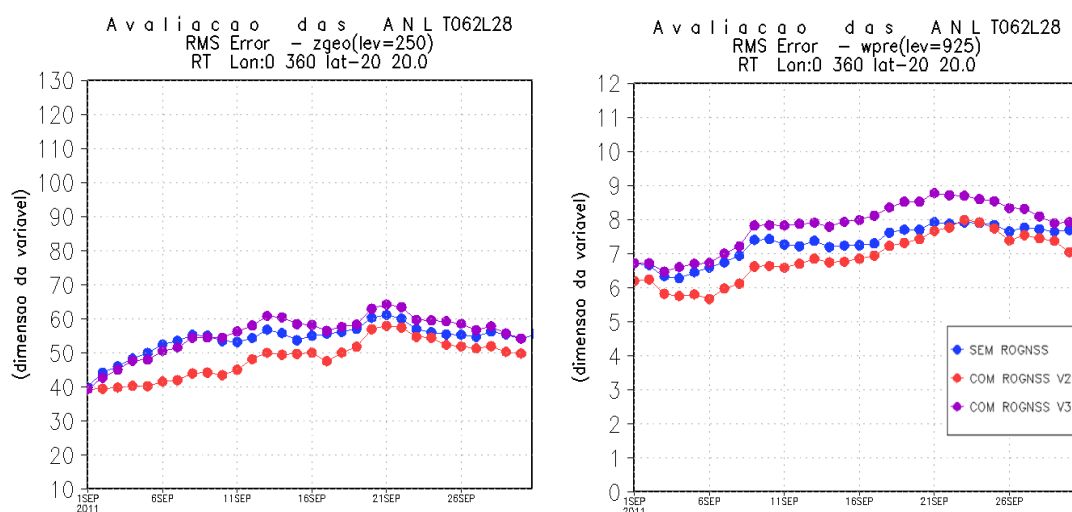


Figura 26 – Valores do RMS da altura geopotencial em 250 hPa da água precipitável na região tropical para os experimentos controle (círculos azuis), e experimentos com assimilação de RO-GNSS (círculos vermelho e lilás) com diferente rigor no controle de qualidade.

Uma versão mais rigorosa foi realizada onde uma mascara dos dados de RO-GNSS elimina as observações acima de 30 km e abaixo de 5 km. Essas altitudes foram tomadas como mascara seguindo recomendações operacionais utilizadas em outros centros de PNT. A figura 27 mostra os resultados obtidos na análise de impacto dos dados de RO-GNSS para a variável altura geopotencial em 250, 500 e 850 hPa para todo o globo.

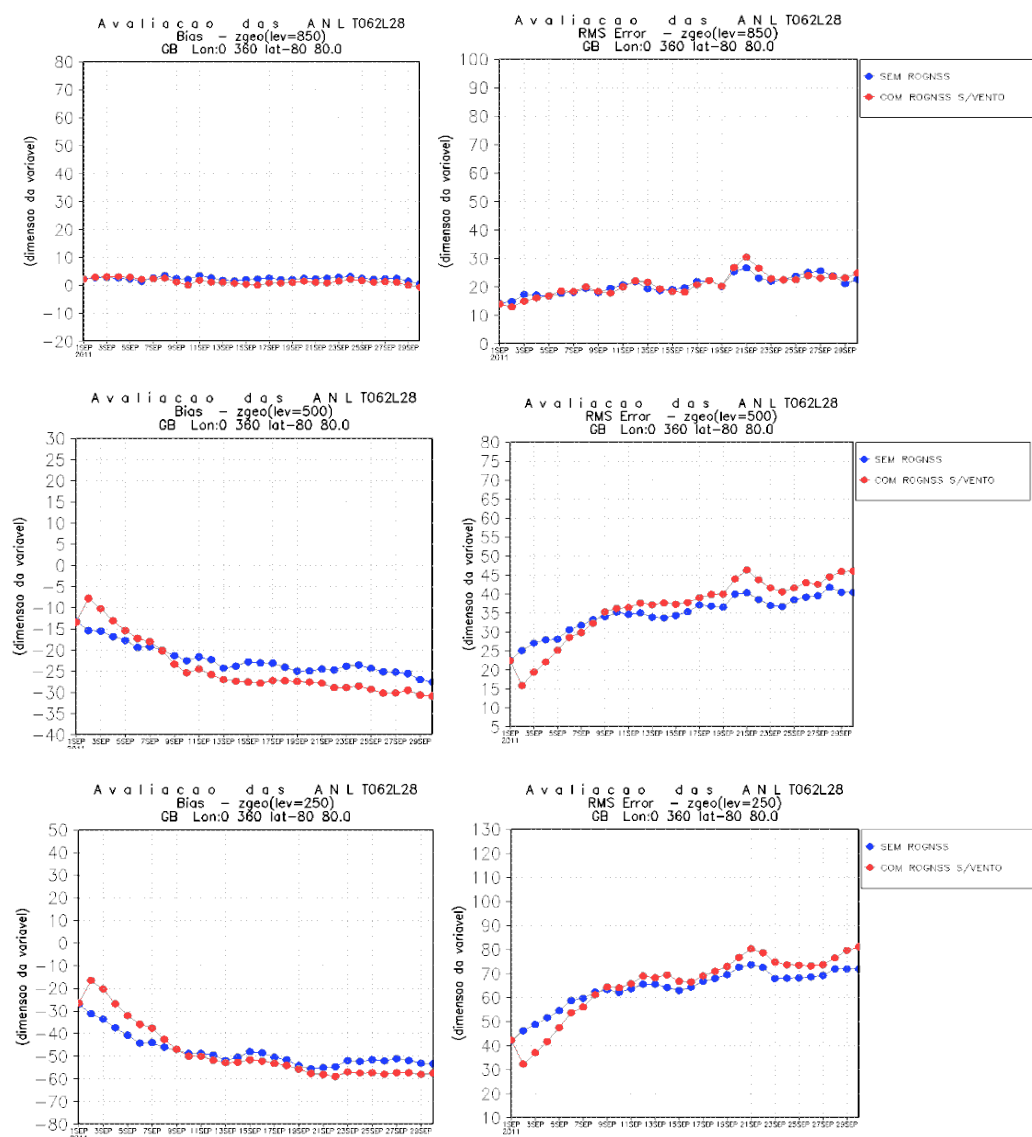


Figura 27 – Valores do RMS e bias da altura geopotencial em 250, 500 e 850 hPa sobre todo o globo para os experimentos controle (círculos azuis) e experimentos com assimilação de RO-GNSS (círculos vermelhos).

Os valores mostrados na figura 27 indicam que o impacto é bem expressivo no início da assimilação dos dados, mas o mesmo não se mantém diminuindo depois de alguns dias e ficando próximo da versão controle, e posteriormente passando a apresentar resultados negativos. Esse padrão é observado em diversas variáveis e diferentes recortes considerados. Uma variável que chama a atenção é a água precipitável (figura não mostrada), no qual o impacto é bastante positivo nos primeiros dias do período considerado. O desafio é identificar o problema que não permite que o impacto dos primeiros dias seja mantido, resolvê-lo e intensificar esse impacto positivo. Uma nova versão está em elaboração na qual o vento também será modificado com os incrementos das observações RO-GNSS, algo que não é feito na versão apresentada na figura 27. Os resultados obtidos foram divulgados em trabalhos submetidos em eventos nacionais (Sapucci et al. 2012b) e internacionais (Sapucci et al. 2012a). Esses resultados e uma análise bem criteriosa dos mesmos farão parte do artigo em elaboração para divulgar os resultados obtidos nessa pesquisa (Sapucci et al. 2013). Na análise de impacto pretende-se investigar os benefícios da assimilação dos dados de RO-GNSS na melhoria das previsões sobre a região amazônica em especial nos campos de umidade.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, N. **NRL status report.** In.: International TOVS Studies Conference – TOVS. Angra dos Reis, RJ, Brazil. May, 2008.

CANDY, B. **Met Office: An Update on the Operational Use of Satellite Sounding Data at the Met Office.** In.: International TOVS Studies Conference – TOVS. Angra dos Reis, RJ, Brazil. May, 2008.

CAVALCANTI, I. F. A.; SATYAMURTI, P.; MARENGO, J. A.; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J. P.; NOBRE C. A.; D'ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G.; CUNNINGHAM, C. A. C.; CAMARGO, H.; SANCHES, M. B. **Climate Characteristics in an Ensemble Simulation Using the CPTEC/COLA Atmospheric Global Circulation Model,** São José dos Campos, INPE, 71 p. (INPE-8150-RPQ/717), 2001.

CERQUEIRA, F. S. **Impacto de perfis de rádio ocultação GNSS no sistema de assimilação de dados PSAS do CPTEC-INPE.** 2012. 128 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/03.07.21.52-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BFQUNH>>. Acesso em: 17 out 2013.

COHN, S. E.; SILVA, A.; GUO J.; SIENKIEWICZ, M. M.; LAMICH, D. **Assessing the effects of data selection with the DAO Physical-space Statistical Analysis System.** *Mon. Wea. Rev.*, v.126, p.2913-2926, 1998.

CUCURULL, L.; DERBER, C. J.; PURSER, R.J. **Assimilation of Global Positioning System Radio Occultation Observations into NCEP's Global Data Assimilation System.** *Monthly Weather Review*, V.135, 2006.

DERBER, J. **NCEP: Progress and Plans for the use of radiance data in the NCEP global and regional data.** In.: International TOVS Studies Conference – TOVS. Angra dos Reis, RJ, Brazil. May, 2008.

FJELDBO, G.; ESHLEMAN, V. R.; KLIORÉ, A. J. **The neutral atmosphere of Venus as studied with the Mariner V radio occultation experiments.** *Astronomical Journal*, V. 76, pag. 123- 140, March, 1971.

GILCHRIST, B.; CRESSMAN, G. P. **An experiment in objective analysis.** *Tellus*, v. 6(4), p. 309-318, 1954. 49

HOLZSCHUH, M. L. **Recuperação de perfis atmosféricos a partir de ocultação GPS: fundamentos, implementação e análise de resultados.** 2007. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – FCT/ UNESP, Presidente Prudente, 2007. Disponível em:
<http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bpp/33004129043P0/2007/holzschuh_ml_me_prud.pdf>. Acesso em: 22 out 2013.

HUNT, B. R. **Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: a local ensemble transform kalman filter.** College Park: University of Maryland, 2005-11-28. (arxiv.org/abs/physics/0511236).

KALNAY, E. **Ensemble Forecasting and Data Assimilation: Two Problems with The Same Solution?** 50th NWP Symposium, University of Maryland, College Park, MD, 14-17 June 2004.

KALNAY, E. **Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability.** New York, USA: Cambridge University Press, 2003. 345p

KLEIST, D. T.; PARRISH, D. F.; DERBER, J. C.; TREADON, R.; ERRICO, R. M.; YANG, R. **Improving incremental balance in the GSI 3DVAR analysis system.** Mon.

Wea. Rev., 137, 1046–1060, 2009

KUO, Y.-H.; SOKOLOVSKIY, S.; ANTHES, R. A.; VANDENBERGHE, F. **Assimilation of GPS Radio Occultation Data for Numerical Weather Prediction**. Special Issue of Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science, 11(1), pag. 157-186, March 2000.

KURSINSKI, E. R. et al., **Initial Results of Radio Occultation Observations of Earth's Atmosphere using the Global Positioning System (GPS)**. Science. 271(1): 1107-1110, Fevereiro 1996.

KURSINSKI, E. R.; HAJJ, G. A.; BERTIGER, W. I.; LEROY, S. S.; MEEHAN, T. K.; ROMANS, L. J.; SCHOFIELD, J. T.; McCLEESE, D. J.; MELBOURNE, W. G.; THORNTON, C. L.; YUNCK, T. P.; EYRE, J. R.; NAGATANI, R. N. **Initial results of radio occultation observations of Earth's atmosphere using the Global Positioning System**, Science, 271, 1107-1110, 1996.

LEE, L.; ROCKEN, C.; KURSINSKI, R. **Applications of Constellation: Observing System for Meteorology, Ionosphere & Climate**. Hong Kong: Springer-Verlag. 2000. 384p.

LEROY, S. NORTH, G. **The Application of COSMIC Data to Global Change Research**. In: Applications of Constellation: Observing System for Meteorology, Ionosphere & Climate. Hong Kong: Springer-Verlag. Capítulo 6, 2000. p. 187-210.

MEDEIROS, M. D. S.; SOUZA, S. S. **Ferramentas estatísticas para avaliação do desempenho do sistema de assimilação de dados LETKF acoplado ao MCGA-CPTEC/INPE**. São José dos Campos: INPE, 2011. 89 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/04.18.18.17-NTC). Disponível em:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39H653P>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

MEDEIROS, M. D. S. **Impacto do uso de radiância na assimilação de dados usando 4D-LETKF na região da América do Sul.** 2011. 137 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2010/11.24.18.42-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38LHLTB>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

PANOFSKY, H. A. Objective weather map analysis. J. Meteor., v. 6, p. 386-392, 1949. 49

MONTMERLE, T. **MeteoFrance: Recent advances in the use of satellite data in the French NWP models.** In.: International TOVS Studies Conference – TOVS. Angra dos Reis, RJ, Brazil. May, 2008.

OTT, E.; HUNT, B. H.; SZUNYOGH, I.; ZIMIN, A. V.; KOSTELICH, E. J. **A local ensemble Kalman filter for atmospheric data assimilation.** Tellus A, v. 56, p. 415-428, 2004.

RENNIE, M. P. **The impact of GPS radio occultation assimilation at the Met Office.** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v.136 (a), n.646, p. 116-131, 2010.

ROPP Documents. 2013. Disponível em: < <http://www.romsaf.org/roppdocs.php>>. Acesso em: 22 out. 2013.

SAPUCCI, L. F. SCHUBERT, D. V. MATTOS, João Gerd F. de BASTARZ, C. F. ; AVANCO, L. A. ; GONCALVES, L. G. G. ; HERDIES, D. L. . 2012a: **Assimilação de dados de radio-ocultação GNSS no Local Ensemble Transform Kalman Filter.** In: Anais do XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2012.

SAPUCCI, L. F.; SCHUBERT, D. V.; CERQUEIRA, F. S.; MATTOS, JGF.; BASTARZ, C. F. ; SILVEIRA, B. GONCALVES, L. G. G.; HERDIES, D. L. 2012b: **Inclusion of atmospheric profiles from GNSS radio occultation on the CPTEC-INPE s global model.** In: Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop, 2012, Boulder CO USA. Proceeding of the Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop, 2012.

SAPUCCI, L.F. DINIZ, F. L. GONÇALVES L. G. G., BASTARZ, C. F. DE MATTOS J. G. Z., AVANÇO L. A. 2013: **Assimilation of GNSS Radio Occultation data Using Local Ensemble Transform Kalman Filter.** In preparation to be Submitted to Meteorological Applications.

SOUZA, D. S. V.; SAPUCCI, L. F.; CERQUEIRA, F. S. **Operacionalização da assimilação de dados GNSS no PSAS: Parte I.** São José dos Campos: INPE, 2011. v. 1, 78 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/03.30.12.48-NTC). Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39E2M5L>>. Acesso em: 22 out. 2013.

The EUMETSAT Network of Satellite Application Facilities – ROM SAF. 2013. Disponível em: <<http://www.romsaf.org/index.php>>. Acesso em: 22 out. 2013.

APÊNDICE A – Operador RO-GNSS para o LETKF

Este apêndice contém o código do operador `oper_radoc.f90` escrito na linguagem Fortran que foi desenvolvido para os dados RO-GNSS no sistema de assimilação LETKF.

Nome do programa: `oper_radoc.f90`

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
SUBROUTINE
```

```
oper_radoc(matrix_obs,p_full,nlon,nlat,nlev,nv2d,nv3d,v3d,v2d,qcRO,refHX,presRO,nobsR,geopRO)
```

```
! Linking with the library ROPP
```

```
!
```

```
USE typesizes
USE ropp_fm
USE ropp_fm_constants
USE ropp_fm_types
USE matrix_types
USE ropp_utils
USE ropp_ldvar
USE matrix
USE arrays
USE geodesy
USE ropp_io_types
USE ropp_io
USE ropp_fm_copy
USE messages
USE ropp_qc
```

```
IMPLICIT NONE
```

```
! writing the types required to generate the values of refractive
```

```
!
```

```
TYPE(State1dFM)      :: x
TYPE(Obs1dRefrac)    :: y
TYPE(VarConfig)       :: config ! Control quality
TYPE(VarDiag)         :: diag ! Control quality
TYPE(ROprof)          :: OBS_data ! Control quality
TYPE(ROprof)          :: BG_data
```

```
! DECLARACAO DAS VARIAVEIS
```

```
!
```

```
INTEGER, INTENT(INOUT) :: nobsR
INTEGER,PARAMETER :: r_size=kind(0.0d0) ! 8
INTEGER,PARAMETER :: r_sngl=kind(0.0e0) ! 4
INTEGER, DIMENSION(:), POINTER :: idx => null()
```

```
INTEGER :: cont_OBS, ct, I, B, c, H, nv, nlon, nlat, nlev, nv3d, nv2d, iolen, a, n_inter, pp, nOBS, dj,
KS, z, ctador, nidx, unpf, ji
```

```
REAL :: HgeoSF
REAL :: v2d(nlon,nlat,nv2d)
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(:), SAVE , ALLOCATABLE :: temp_FG_inter, pres_FG_inter,
umi_FG_inter, temp_FG_inter_invert, pres_FG_inter_invert, umi_FG_inter_invert,Hgeo_invert,
Lon_inter_invert,Lat_inter_invert
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(:), ALLOCATABLE :: Hgeo
REAL(r_size) :: v3d(nlon,nlat,nlev,nv3d)
REAL(r_size), DIMENSION(:),ALLOCATABLE :: latFG,lonFG,Contantes
REAL(r_size),DIMENSION(:),ALLOCATABLE
```

```
::MSL_OBS,Temp_OBS,Lat_OBS,Lon_OBS,Pres_OBS,Ref_OBS
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(:),ALLOCATABLE ::refROypf,refHXpf,presROpf,qcROpf
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(:),ALLOCATABLE :: geopROpf !paulo dias
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(:),ALLOCATABLE ::Ref_stdv,Lat_inter,Lon_inter, o_f, Ref_stdv_inv
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(nobsR) :: refHX,presRO
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(nobsR) :: geopRO ! paulo dias
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(nobsR,8) :: matrix_obs
```

```
INTEGER , DIMENSION(nobsR) :: qcRO
```

```
REAL(r_size),DIMENSION(:),ALLOCATABLE
```

```
::lon_out,lat_out,pres_out,refrac_obs_out,k_out,dep_out,refrac_inter_out,qc_out,temp_out,MSL_out
```

```
REAL(r_size) :: p_full(nlon,nlat,nlev)
```

```
REAL(r_size), DIMENSION(:), ALLOCATABLE :: geop_obs , geop_obs_invertido
```

```
REAL,DIMENSION(nlon,nlat) :: binario
```

```
INTEGER :: yu
```

```
! variables to calculate time of execution
```

```
REAL(r_size) :: rtimer00,rtimer,identify_obs, oper_profile, conf_ropp, oper_ropp_fm_1d,
oper_ropp_fm_interpol, oper_ropp_fm_roprof2obs, oper_ropp_qc_OmB, fim_loop
```

```
rtimer00 = 0.0
```

```
identify_obs = 0.0
```

```
oper_profile = 0.0
```

```
conf_ropp = 0.0
```

```
oper_ropp_fm_1d = 0.0
```

```
oper_ropp_fm_interpol = 0.0
```

```
oper_ropp_fm_roprof2obs = 0.0
```

```
oper_ropp_qc_OmB = 0.0
```

```
fim_loop = 0.0
```

```
CALL CPU_TIME(rtimer00)
```

```
!
```

```
! Zerando o contador das observacoes a serem passadas pela subrotina
```

```
ctador=0
```

```
! opening the file and getting only the topography
```

```
print*, 'teste nlon*nlat*iolen', nlon, nlat, iolen
```

```
flush(6)
```

```
INQUIRE(IOLength=iolen) iolen
```

```
print*, 'teste nlon*nlat*iolen depois inquire', nlon, nlat, iolen
```

```
!OPEN(60,FILE='topo_TQ0062L028.bin',STATUS='UNKNOWN',ACCESS='DIRECT',FORM='UNFO
RMATTED',CONVERT='BIG_ENDIAN',RECL=nlon*nlat*iolen)
```

```
OPEN(60,FILE='topography.bin',STATUS='UNKNOWN',ACCESS='DIRECT',FORM='UNFORMATTE
D',RECL=nlon*nlat*iolen)
```

```
READ(60,rec=1)v2d(:,2)
!READ(60,rec=1)binario(:,2)
```

```
write(15)v2d(:,2)
!write(16)binario(:,2)
```

```
CLOSE(60)
flush(6)
```

```
=====
!=          LENDO CONSTANTES          =
=====
```

```
PRINT*, "
PRINT*, '%%%%%%%%%%'
PRINT*, 'BEGINNING OF THE RADOC ROUTINE!!'
PRINT*, "
```

```
Allocate(Contantes(nlat+200))
```

```
OPEN(445,FILE='constantsRADOC.rc',STATUS='UNKNOWN')
```

```
! lendo TODAS AS CONSTANTES
print*, 'teste_nlat=', nlat
yu=0
DO yu=1, nlat+200
    READ(445,*,END=231)Contantes(yu)
    !print*, 'constantsRADOC_T213',Contantes(yu)
ENDDO
print *, 'LEU ARQUIVO de constantsRADOC_T213'
231 CLOSE(445)
flush(6)
```

```
! ##### CONVERT PASCAL(PA) IN hPa! #####
```

```
!-----
!Convert pres and the p_full of the Pascal to hPa of FG
c=0
b=0
DO b=1, nlon
    DO c=1, nlat
        v2d(b,c,1)=v2d(b,c,1)/100
    ENDDO
ENDDO
c=0
b=0
nv=0
DO nv=1, nlev
    DO b=1, nlon
        DO c=1, nlat
            p_full(b,c,nv)=p_full(b,c,nv)/100
        ENDDO
    ENDDO
```

```

        ENDDO
!-----
! Creating the vectors of lon and lat
!-----

        Allocate (latFG(nlat))

        DO yu=1,nlat
            latFG(yu)=Contantes(yu)
        ENDDO

        !print*, 'latFG', latFG

! allocating lonFG
        Allocate (lonFG(nlon))
        lonFG(1)=0
        dj=0

        DO dj=2,nlon
            lonFG(dj) = ((dj-1) * (360.0/nlon)) !calculo de passo longitude
        ENDDO

        print*, 'lonFG', lonFG
        flush(6)
! ##### READING THE DATA OF THE OBSERVATION!! #####

        cont_OBS=nobsR
        ! Descobrindo o nOBS
600 H=1
        nOBS=0
        DO H=1, cont_OBS + 1
            IF (matrix_obs(H,3) .EQ. 1) THEN
                nOBS=nOBS+1
            END IF
        END DO
        flush(6)

!Alocando as variaveis de saida
        ALLOCATE(Temp_OBS(nOBS))
        ALLOCATE(MSL_out(cont_OBS))
        ALLOCATE(temp_out(cont_OBS))
        ALLOCATE(Lat_OBS(nOBS))
        ALLOCATE(Lon_OBS(nOBS))
        ALLOCATE(Pres_OBS(nOBS))
        ALLOCATE(Ref_OBS(nOBS))
        ALLOCATE(Ref_stdv(nOBS))
        ALLOCATE(Ref_stdv_inv(nOBS))
        ALLOCATE(Lat_inter(nOBS))
        ALLOCATE(Lon_inter(nOBS))
        ALLOCATE(lon_out(cont_OBS))
        ALLOCATE(lat_out(cont_OBS))
        ALLOCATE(pres_out(nOBS))
        ALLOCATE(refrac_obs_out(cont_OBS))
        ALLOCATE(k_out(cont_OBS))

```

```

ALLOCATE(dep_out(cont_OBS))
ALLOCATE(refrac_inter_out(cont_OBS))
ALLOCATE(qc_out(cont_OBS))
ALLOCATE(MSL_OBS(nOBS))
ALLOCATE (geop_obs(nOBS))
ALLOCATE (geop_obs_invertido(nOBS))

print *, 'Alocando as variaveis de saida'
flush(6)

! Variaveis de saida do perfil
ALLOCATE (refHXpf(nOBS))
ALLOCATE (refROypf(nOBS))
ALLOCATE (presROpf(nOBS))
ALLOCATE (geopROpf(nOBS)) !paulo dias
ALLOCATE (qcROpf(nOBS))

print *, 'Variaveis de saida do perfil'
flush(6)
! LOOP LEITURA E INTERPOLACAO DOS PERFIS'

KS=0
print *, 'KS'
flush(6)

unpf=1 ! Ultimo numero do prprofile no vetor saida
print *, 'unpf'
flush(6)

refHX=99999.99
print *, 'refHX'
flush(6)

presRO=99999.99
print *, 'presRO'
flush(6)

geopRO=99999.99 !paulo dias
print *, 'geopRO'
flush(6)

qcRO=0
print *, 'qcRO'
flush(6)

CALL CPU_TIME(rtimer)
WRITE(6, '(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_INITIALIZE):',rtimer,rtimer-rtimer00
rtimer00=rtimer

flush(6)

!#####
#####
DO KS=1, matrix_obs(cont_OBS,3)
  PRINT*, 'PROFILE IN PROCESSING: ',KS,'OF',matrix_obs(cont_OBS,3)

```

```

PRINT*, "
  ct=0

! Loop para a leitura dos dados de entrada para o interpolador
Z=0
DO Z=unpf, cont_OBS
  IF (matrix_obs(Z,3) .EQ. KS) THEN
    ct=ct+1
    Lon_OBS(ct)=matrix_obs(Z,1)
    Lat_OBS(ct)=matrix_obs(Z,2)
    MSL_OBS(ct)=matrix_obs(Z,4)
    Pres_OBS(ct)=matrix_obs(Z,5)
    Temp_OBS(ct)=matrix_obs(Z,6)
    Ref_OBS(ct)=matrix_obs(Z,7)
    Ref_stdv(ct)=matrix_obs(Z,8)

! geopotential not in UCAR files - generate from altitude
    idx => WHERE((MSL_OBS > -999.0), nidx)
    IF (nidx > 0 .AND. &
        Lat_OBS(30) > -999.0) &
        geop_obs(idx) = geometric2geopotential(Lat_OBS(30), &
                                                MSL_OBS(idx)*1000)

    END IF
    IF (ct .EQ. nOBS) THEN
      unpf=Z
      EXIT
    END IF
  END DO
i=0

Allocate (temp_FG_inter(nOBS))
Allocate (pres_FG_inter(nOBS))
Allocate (umi_FG_inter(nOBS))
Allocate (Hgeo(nOBS))

Lon_inter=Lon_OBS
Lat_inter=Lat_OBS

! igualando a longitude e latitude da observacao para a saida do operador
n_inter=nOBS

!*****
*****

CALL CPU_TIME(rtimer)
!
rtimer=rtimer-rtimer00
rtimer00=rtimer00+rtimer
identify_obs=identify_obs+rtimer

!*****
*****

```

```
!*****
*****
```

```
CALL
profile_fg(v3d,v2d,nv3d,nv2d,p_full,lonFG,latFG,nlon,nlat,nlev,n_inter,Lon_inter,Lat_inter,Pres_OBS,tem
p_FG_inter,pres_FG_inter,umi_FG_inter,Hgeo,HgeoSF)
```

```
PRINT*, 'PROFILE pres obs: ', Pres_OBS(:)
PRINT*, 'PROFILE tempFG: ', temp_FG_inter(:)
PRINT*, 'PROFILE presFG: ', pres_FG_inter(:)
```

```
CALL CPU_TIME(rtimer)
```

```
rtimer=rtimer-rtimer00
rtimer00=rtimer00+rtimer
oper_profile=oper_profile+rtimer
```

```
!*****
*****
```

```
!*****
*****
```

```
! Testando se o ponto de observacao esta dentro do dominio valido
```

```
if (n_inter .NE. nlev) then
  !Print*, "Profile fora do range considerado"
  CYCLE
end if
```

```
Allocate (temp_FG_inter_invert(n_inter))
Allocate (pres_FG_inter_invert(n_inter))
Allocate (umi_FG_inter_invert(n_inter))
Allocate (Hgeo_invert(n_inter))
ALLOCATE (o_f(n_inter))
```

```
! Alocando variaveis para a entrada de observacao
ALLOCATE(OBS_data%lev2a%refrac_sigma(nOBS))
ALLOCATE(OBS_data%Lev2a%geop_refrac(nOBS))
ALLOCATE(OBS_data%Lev2a%refrac(nOBS))
Allocate (OBS_data%Lev2a%alt_refrac(nOBS))
Allocate (Lat_inter_invert(nOBS))
Allocate (Lon_inter_invert(nOBS))
ALLOCATE (o_f(n_inter))
```

```
!Converting the pressure from hPa to Pascal. And reversing the values of the vectors.
```

```
b=0
DO b=0, n_inter-1
  pres_FG_inter_invert(n_inter-b)=pres_FG_inter(b+1)*100
  temp_FG_inter_invert(n_inter-b)=temp_FG_inter(b+1)
  umi_FG_inter_invert(n_inter-b)=umi_FG_inter(b+1)
  Hgeo_invert(n_inter-b)=Hgeo(b+1)
  Lat_inter_invert(n_inter-b)=Lat_inter(b+1)
  Lon_inter_invert(n_inter-b)=Lon_inter(b+1)
```

```

ENDDO
! INVERTENDO O GEOPOTENCIAL E A REFRATIVIDADE PARA SE ADEQUAR A ROTINA
CHAMADA (200.00 - 60000.00)
pp=0
DO pp=0, nOBS - 1
    OBS_data%Lev2a%geop_refrac(nOBS - pp) = geop_obs(pp + 1)
    geop_obs_invertido(nOBS - pp)=geop_obs(pp + 1)
    OBS_data%Lev2a%refrac(nOBS - pp) = Ref_OBS(pp + 1)
    OBS_data%Lev2a%alt_refrac(nOBS - pp) = MSL_OBS(pp + 1)

    ! INvertendo o Ref_stdv

    Ref_stdv_inv(nOBS - pp)=Ref_stdv(pp + 1)
ENDDO
!! Filling the type of State1dFM
! Allocatte vars of type in
    ALLOCATE(x%state(n_inter))
    ALLOCATE(x%temp(n_inter))
    ALLOCATE(x%shum(n_inter))
    ALLOCATE(x%pres(n_inter))
    ALLOCATE(x%geop(n_inter))
    ALLOCATE(x%ak(n_inter))
    ALLOCATE(x%bk(n_inter))

! Allocando vars do DIAG
    ALLOCATE(diag%OmB(n_inter))
    ALLOCATE(diag%OmB_sigma(n_inter))
    ALLOCATE(diag%pge(n_inter))
    ALLOCATE(diag%pge_weights(n_inter))
    ALLOCATE(diag%J_bgr(n_inter))
    ALLOCATE(diag%J_obs(n_inter))
    ALLOCATE(diag%B_sigma(n_inter))
    ALLOCATE(diag%OmA(n_inter))
    ALLOCATE(diag%OmA_sigma(n_inter))

! Allocatte vars of type out
    ALLOCATE(y%refrac(nOBS))
    ALLOCATE(y%geop(nOBS))
    ALLOCATE(Y%weights(nOBS))
! Variables that are VECTORS
    x%state=temp_FG_inter_invert      ! State vector
    x%temp=temp_FG_inter_invert        ! Temperature (K)
    x%shum=umi_FG_inter_invert         ! Spec humidity (kg/kg)
    x%pres=pres_FG_inter_invert        ! Pressure (Pa)
    x%geop=Hgeo_invert                 ! Geopot height (gpm)
    x%ak=3                             ! Level coefficients
    x%bk=1                             ! Level coefficients
! Variables that are not VECTORS
! x%geop_sfc = HgeoSF                 ! Surface geop height
x%n_lev = n_inter                     ! Number of levels
x%lon = Lon_inter_invert(30)         ! Longitude
x%lat = Lat_inter_invert(30)         ! Latitude
x%time = 291816000.0000000          ! JulianTime of bg
! x%cov =                             ! Error covariance
x%state_ok = .TRUE.                 ! State vector ok?

```

```

x%cov_ok   = .FALSE.           ! Covariance ok?
x%use_logp = .FALSE.           ! Using log(pres)?
x%use_logq = .FALSE.           ! Using log(shum)?
x%non_ideal = .FALSE.          ! Non-ideal gas flag
! type y
y%geop     = geop_obs_invertido ! Geopotential height
y%lon      = Lon_OBS(50)        ! Longitude
y%lat      = Lat_OBS(50)        ! Latitude
y%time     = 291816000.0000000  ! JulianTime of obs
y%obs_ok   = .TRUE.             ! Observations ok?

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
CALL CPU_TIME(rtimer)
rtimer=rtimer-rtimer00
rtimer00=rtimer00+rtimer
conf_ropp=conf_ropp+rtimer

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

! Calculo da refratividade para 1D
PRINT*, "
PRINT*, 'INFORMATION FROM FM ROPP MODULE:'
diag%ok=.TRUE.
CALL ropp_fm_refrac_1d(x, y)

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

CALL CPU_TIME(rtimer)
rtimer=rtimer-rtimer00
rtimer00=rtimer00+rtimer
oper_ropp_fm_1d=oper_ropp_fm_1d+rtimer

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

!-----
Pres_out=0
CALL ropp_fm_interpol_log(x%geop, y%geop, x%pres, Pres_out)

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

CALL CPU_TIME(rtimer)
rtimer=rtimer-rtimer00
rtimer00=rtimer00+rtimer
oper_ropp_fm_interpol=oper_ropp_fm_interpol+rtimer

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

! PRINT*, '%123456 numero FG x%geop x%pres', n_inter
!      nv=0
!!      DO nv=1,28

```

```
!      write(6,'(2(I6),4(F15.6))',123456,nv,x%geop(nv),x%pres(nv)
!      enddo
```

```
!  PRINT*, 'Numero Interpolado  y%geop Pres_out ,y%refrac'
!      nv=0
!      DO nv=1,nOBS
!      PRINT*,nv,y%geop(nv),Pres_out(nv),y%refrac(nv)
!      enddo
```

! igualando as refratividade do modelo para a var de saida para o letkf

```
b=0
DO b=1, nOBS
  refHXpf(nOBS+1-b)=y%refrac(b)
  refROypf(nOBS+1-b)=Ref_OBS(b)
  presROpf(nOBS+1-b)=Pres_out(b)
  geopROpf(nOBS+1-b)=y%geop(b)! paulo dias
ENDDO
```

! INVERTENDO O GEOPOTENCIAL E A REFRATIVIDADE PARA SE ADEQUAR A ROTINA CHAMADA (200.00 - 60000.00)

y%refrac=0! REFRATIVIDADE DA OBSERVACAO

```
!=====ATRIBUINDO VALORES PARA OS TYPES
NECESSARIOS, CHAMANDO AS ROTINAS NA ORDEM
CORRETA=====
```

```
PRINT*, "
PRINT*, 'QUALITY CONTROL INFORMATION FROM 1DVAR ROPP MODULE: '
```

diag%ok=.true.

```
OBS_data%georef%lon=0!lon_out(30)
OBS_data%georef%lat=0!lat_out(30)
OBS_data%DTocc%year=2011
```

```
OBS_data%DTocc%range%year=(/1995, 2099/)
OBS_data%DTocc%month=09
```

```
OBS_data%DTocc%range%month=(/01, 12/)
OBS_data%DTocc%day=01
```

```
OBS_data%DTocc%range%day=(/01, 31/)
OBS_data%DTocc%hour=06
```

```
OBS_data%DTocc%range%hour=(/00, 23/)
OBS_data%DTocc%minute=00
```

```
OBS_data%DTocc%range%minute=(/00, 59/)
OBS_data%DTocc%second=00
```

```
OBS_data%DTocc%range%second=(/00, 999/)
```

```

OBS_data%DTocc%msec=00
OBS_data%Lev2a%Npoints=nOBS    ! 300 o do test

ji=0
DO ji=1, 100
    OBS_data%Lev2a%refrac_sigma(ji) = Ref_stdv_inv(ji)
    !print*, 'Ref_stdv_inv',Ref_stdv_inv(ji)
ENDDO

! ropp_1dvar_refrac INICIO DOS PROCEDIMENTOS PARA CONTROLE DE QUALIDADE

! CALL ropp_io_read(obs_data, config%obs_file, rec=i, ranchk=ranchk)

y%geop=geop_obs_invertido
! print*, 'Geopotencial',geop_obs_invertido

CALL ropp_fm_roprof2obs(OBS_data, y)

! LENDO E PREENCHENDO AS VARIÁVEIS RETIRADAS DO MODELO'
BG_data%georef%lon = 0
BG_data%georef%lat = 0
BG_data%georef%range%lat = (-90.00000000000000, 90.00000000000000/)
BG_data%georef%range%lon = (-180.00000000000000, 180.00000000000000/)
BG_data%bg%year = 2011
BG_data%bg%range%year = (/1995, 2099/)
BG_data%bg%month = 09
BG_data%bg%range%month = (/01, 12/)
BG_data%bg%day = 01
BG_data%bg%range%day = (/01, 31/)
BG_data%bg%hour = 06
BG_data%bg%range%hour = (/00, 23/)
BG_data%bg%minute = 00
BG_data%bg%range%minute = (/00, 59/)
BG_data%Lev2a%Npoints = nOBS

! Alocando variáveis para a entrada dos dados do modelo
ALLOCATE(BG_data%lev2b%shum(nOBS))
ALLOCATE(BG_data%Lev2b%press(nOBS))
ALLOCATE(BG_data%Lev2b%temp(nOBS))
ALLOCATE(BG_data%lev2b%geop(nOBS))
ALLOCATE(BG_data%Lev2b%temp_sigma(nOBS))
ALLOCATE(BG_data%Lev2b%shum_sigma(nOBS))
ALLOCATE(BG_data%Lev2a%alt_refrac(nOBS))
ALLOCATE(BG_data%Lev2d%level_coeff_a(nOBS))
ALLOCATE(BG_data%Lev2d%level_coeff_b(nOBS))

pp = 0
DO pp = 1, nOBS
    IF (pp.LE. n_inter) THEN
        BG_data%Lev2b%shum(pp) = umi_FG_inter_invert(pp)
        BG_data%Lev2b%press(pp) = pres_FG_inter_invert(pp)
        BG_data%Lev2b%temp(pp) = temp_FG_inter_invert(pp)
        BG_data%lev2b%geop(pp) = Hgeo_invert(pp)
    ELSE
        BG_data%Lev2b%shum(pp) = 0
    
```



```

IF (geopROpf(nv) .LE. 30000 .AND. geopROpf(nv) .GE. 5000)then

    qcRO(unpf-nOBS+nv)=qcROpf(nv)
    geopRO(unpf-nOBS+nv)=geopROpf(nv)! paulo dias
    !print*, 'dentro do range da RO: ', nv, geopROpf(nv)
ELSE
    qcRO(unpf-nOBS+nv)=0.
ENDIF
END DO
CALL CPU_TIME(rtimer)
rtimer=rtimer-rtimer00
rtimer00=rtimer00+rtimer
fim_loop=fim_loop+rtimer

!WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_PROFILE):',rtimer,rtimer-rtimer00

END DO

#####
#####
WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_IDENTIFY_OBS):',identify_obs
WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_PROFILE):',oper_profile
WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_CONF_ROPP):',conf_ropp
WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_ROPP_FM_1D):',oper_ropp_fm_1d
WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_ROPP_FM_INTERPOL):',oper_ropp_fm_interpol
WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_ROPP_FM_ROPROF2OBS):',oper_ropp_fm_roprof2obs
WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_ROPP_QC_OMB):',oper_ropp_qc_OmB
WRITE(6,'(A,2F10.2)') '### TIMER3(OPER_FINALIZE):',fim_loop

! Desalocando variaveis para a entrada dos dados do modelo
DEALLOCATE (BG_data%lev2b%shum)
DEALLOCATE (BG_data%Lev2b%press)
DEALLOCATE (BG_data%Lev2b%temp)
DEALLOCATE (BG_data%lev2b%geop)
DEALLOCATE (BG_data%Lev2b%temp_sigma)
DEALLOCATE (BG_data%Lev2b%shum_sigma)
DEALLOCATE (BG_data%Lev2a%alt_refrac)
DEALLOCATE (BG_data%Lev2d%level_coeff_a)
DEALLOCATE (BG_data%Lev2d%level_coeff_b)
DEALLOCATE (OBS_data%Lev2a%alt_refrac)
DEALLOCATE (OBS_data%Lev2a%geop_refrac)
DEALLOCATE (obs_data%lev2a%refrac_sigma)
DEALLOCATE (OBS_data%Lev2a%refrac)
DEALLOCATE (y%weights)
DEALLOCATE (x%state)
DEALLOCATE (x%temp)
DEALLOCATE (x%shum)

```

```

DEALLOCATE (x%pres)
DEALLOCATE (x%geop)
DEALLOCATE (x%ak)
DEALLOCATE (x%bk)
DEALLOCATE (y%refrac)
DEALLOCATE (y%geop)
DEALLOCATE (o_f)
DEALLOCATE (latFG)
DEALLOCATE (lonFG) !paulo dias
DEALLOCATE (temp_FG_inter_invert)
DEALLOCATE (temp_FG_inter)
DEALLOCATE (pres_FG_inter_invert)
DEALLOCATE (umi_FG_inter_invert)
DEALLOCATE (umi_FG_inter)
DEALLOCATE (Hgeo_invert)
DEALLOCATE (MSL_OBS)
DEALLOCATE (Temp_OBS)
DEALLOCATE (Lat_OBS)
DEALLOCATE (Lon_OBS)
DEALLOCATE (Pres_OBS)
DEALLOCATE (Ref_OBS)
DEALLOCATE (Ref_stdv)
DEALLOCATE (Ref_stdv_inv)
DEALLOCATE (Lat_inter)
DEALLOCATE (Lon_inter)
DEALLOCATE (lon_out)
DEALLOCATE (lat_out)
DEALLOCATE (pres_out)
DEALLOCATE (refrac_obs_out)
DEALLOCATE (k_out)
DEALLOCATE (dep_out)
DEALLOCATE (refrac_inter_out)
DEALLOCATE (qc_out)
DEALLOCATE (pres_FG_inter)
DEALLOCATE (diag%pge)
DEALLOCATE (diag%OmB)
DEALLOCATE (Contantes) !paulo dias
DEALLOCATE (Lon_inter_invert)!paulo dias
DEALLOCATE (Lat_inter_invert)!paulo dias
DEALLOCATE (refROypf)!paulo dias
DEALLOCATE (refHXpf)!paulo dias
DEALLOCATE (presROpf)!paulo dias
DEALLOCATE (qcROpf)!paulo dias
DEALLOCATE (geopROpf)!paulo dias
DEALLOCATE (temp_out)!paulo dias
DEALLOCATE (MSL_out)!paulo dias
DEALLOCATE (geop_obs)!paulo dias
DEALLOCATE (geop_obs_invertido)!paulo dias
!-----

PRINT*, 'END OF THE RADOC!!'
PRINT*, '%%%%%%%%%%'
PRINT*, "

END SUBROUTINE oper_radoc

```