



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/09.06.15.04-RPQ

SISTEMA DE MODELAGEM GLOBAL (SMG)-VERSÃO INICIAL 0.0.0

Joao Gerd Zell De Mattos
Luiz Fernando Sapucci
Carlos Frederico Bastarz
Eduardo Georges Khamis
Paulo Kubota
Lucas Amarante Avanço
Eder Vendrasco
Fábio Diniz
Ivette Banos

Relatório técnico sobre o desenvolvimento e implementação da versão inicial v0.0 do sistema SMG sendo a primeira versão do BAM com assimilação de dados usando o GSI.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/09.06.15.04>](http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/09.06.15.04)

INPE
São José dos Campos
2018

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

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

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

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID) **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/09.06.15.04-RPQ

SISTEMA DE MODELAGEM GLOBAL (SMG)-VERSÃO INICIAL 0.0.0

Joao Gerd Zell De Mattos
Luiz Fernando Sapucci
Carlos Frederico Bastarz
Eduardo Georges Khamis
Paulo Kubota
Lucas Amarante Avanço
Eder Vendrasco
Fábio Diniz
Ivette Banos

Relatório técnico sobre o desenvolvimento e implementação da versão inicial v0.0 do sistema SMG sendo a primeira versão do BAM com assimilação de dados usando o GSI.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/09.06.15.04>>

INPE
São José dos Campos
2018



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.

Sumário Executivo

O Sistema de Modelagem Global (SMG) do CPTEC é composto por um modelo de previsão numérica de tempo e um sistema de assimilação de dados atmosféricos. O modelo utilizado é o *Brazilian Global Atmospheric Model* (BAM), e o sistema de assimilação utilizado neste projeto é o *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI), aplicado de forma cíclica para a assimilação de dados observacionais. A finalidade principal do SMG é produzir as melhores previsões numéricas de tempo utilizando-se o que se tem de melhor em relação à modelagem numérica disponível no centro, bem como o melhor conjunto de informações provenientes das redes de observações convencionais e de satélite. A versão do GSI, sendo a mais recente, permite utilizar toda a base de dados recebida no CPTEC em seu fluxo contínuo, ininterrupto e com a menor latência possível. Para isso, será aproveitado o conhecimento adquirido ao longo dos diversos anos de operação do CPTEC, buscando por meio do trabalho conjunto do pessoal envolvido nas atividades em assimilação de dados e em modelagem global para a reestruturação do SMG. No que compete à assimilação de dados, deve-se estabelecer um processo cíclico de forma eficiente e que garanta a ingestão das informações presentes na base observacional. Em relação à equipe envolvida na modelagem global, compete o contínuo aperfeiçoamento das parametrizações físicas e da dinâmica do BAM em modo de modelagem cíclica, buscando melhor representar os processos relacionados às interações superfície-atmosfera de forma realística e com eficiência computacional. Com isto pretende-se tornar o SMG completamente competitivo com os demais centros mundiais de meteorologia. Essa atividade está diretamente relacionada com as metas do CPTEC no plano diretor do INPE para os próximos anos. O objetivo principal desse projeto é obter uma versão do SMG envolvendo o BAM que atinja seu máximo potencial através do fornecimento de condições iniciais que explorem todas as informações presentes na base de dados observacional, e que leve em consideração os balanços na física, dinâmica e estabilidade numérica desse modelo. Espera-se que isso seja feito de tal forma que seja garantida a máxima eficiência, a melhor qualidade e a mais baixa latência na disponibilidade das informações. Isto se consegue com otimizações no uso do fluxo de dados na operação e através da avaliação constante do impacto das observações nas previsões. Adicionalmente, esse sistema deverá ser a estrutura básica que possibilitará os primeiros resultados com a assimilação de dados nas demais componentes do sistema terrestre, como em modelos de superfície e oceânico. A versão em publicação com o presente documento, denominada V0.0.0 é uma versão onde se garante que o acoplamento entre o modelo BAM e o sistema de assimilação de dados esteja corretamente implementado. Com esta primeira versão não se prometem resultados

em PNT, mas afirma-se que esta é a versão inicial a partir da qual serão alcançados os melhores resultados com a utilização do BAM, pois representa a base apropriada para a obtenção de condições iniciais mais adequadas.

Palavras chave: Previsão Numérica de Tempo, Assimilação de Dados, BAM, GSI.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Organização do repositório do SMG.	6
2.1 Fluxo dos processos entre o sistema de assimilação e o modelo BAM na modelagem cíclica.	11
3.1 Lista de arquivos fixos do GSI, conteúdo e exemplos.	45
3.2 Observações analisadas pelo GSI.	47
3.3 Estrutura do código do GSI incluindo as fases principais.	51
3.4 Funções realizadas na subrotina gsisub.	53
3.5 Funções realizadas na sub-rutina glbsoi.	55
3.6 Lista do conteúdo e unidades de medida para cada arquivo fort.	64
3.7 Linhas do arquivo fort.220.	65
4.1 Estrutura idealizada da matriz de covariâncias dos erros de <i>background</i> : na diagonal principal, os quadrados pretos indicam as variâncias de cada variável e em cinza escuro, estão indicados os elementos de autocovariância. Fora da diagonal principal, em cinza claro, estão indicados os elementos de covariância cruzada entre as variáveis.	70
4.2 Variâncias para função de corrente.	73
4.3 Variâncias para função de potencial de velocidade.	74
4.4 Variâncias para função de temperatura.	75
4.5 Variâncias para função de umidade.	76
4.6 Aspecto do incremento de análise anisotrópico na resolução TQ0062L028, obtido a partir da assimilação de uma observação sintética de temperatura do ar em 1000 hPa.	78
4.7 Fluxograma do módulo de acoplamento dos modelos no GSI, com destaque para a relação de todos os modelos considerados.	80
5.1 Gráficos da função custo à esquerda e do gradiente dessa função à direita. Inicialmente foram escolhidos 2 <i>outer loops</i> e para cada <i>inner loop</i> correspondente, o limite de 50 iterações.	86
5.2 Média temporal das previsões de 24 horas (às 12Z). Em a) média da precipitação observada de 24 horas do GPCP (2,5) graus; b) média temporal da precipitação de 24 horas, produzida pelo modelo BAM utilizando as análise do NCEP; c) média temporal da precipitação de 24 horas, produzida pelo modelo BAM utilizando as análise do GSI (experimento cíclico.	89

5.3	Média espacial das previsões de 24 horas do GPCP (observado, curva azul), modelo BAM com as análises do NCEP (curva verde) e modelo BAM com as análises do GSI (experimento cíclico, curva vermelha). . . .	90
5.4	Sensibilidade do modelo BAM (r85) à alterações em: parametrização convectiva (Arakawa/Grell-Nilo); radiação de onda longa (Harshvardham/Ctirad-Tarasova) e difusão horizontal e vertical (magnitudes 10^{12} e 10^{14}	93

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
A.1 Tabela com os commits do SMG v0.0.0	103

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 Introdução	1
1.1 Escopo do projeto Sistema de Modelagem Global (SMG)	1
1.2 Objetivos a serem atingidos com o SMG	2
1.3 Estratégia de Desenvolvimento	3
1.4 Estrutura Básica do SMG	4
1.5 Conteúdo do Documento	8
2 Versão v.0.0 do SMG	9
2.1 Informações gerais sobre a versão	9
2.1.1 Relação das Revisões da Versão	10
2.2 Componentes do sistema SMG	10
2.3 Obtenção, Configuração, Compilação e Realização do SMG	12
2.3.1 Obtenção do sistema SMG	12
2.3.2 Instalação e Configuração do sistema SMG	13
2.3.2.1 Compilação do GSI	15
2.4 Utilização do SMG	18
2.4.1 Realização do <i>testcase</i>	18
2.4.2 Resultados: Análises, Previsões, <i>Restartes</i> e <i>Backgrounds</i>	21
2.5 Notas sobre a versão inicial v0.0 do SMG e melhorias futuras para as próximas versões	23
3 Componentes do SMG	27
3.1 <i>Brazilian Global Atmospheric Model</i> (BAM)	27
3.1.1 Histórico do Modelo	28
3.1.2 O modelo BAM	28
3.1.3 Os Processos Físicos Parametrizados	30
3.1.4 Condições Iniciais e de Contorno	33
3.1.5 Estrutura Vertical	33
3.1.6 Descrição dos dados necessários para a realização do BAM	34
3.1.7 Melhorias no pré-processamento	35
3.1.7.1 Nova estrutura	36
3.2 <i>Gridpoint Statistical Interpolation</i> (GSI)	37
3.2.1 Assimilação de Dados	37

3.2.2	Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão	40
3.2.3	<i>Gridpoint Statistical Interpolation</i>	42
3.2.3.1	Dados de Entrada do GSI	42
3.2.3.2	Algoritmo do <i>script</i> para realizar o GSI	46
3.2.3.3	Estrutura de Código do GSI	49
3.2.4	Saídas do GSI	58
3.2.4.1	Saída padrão “stdout”	58
3.2.4.2	Arquivos de diagnóstico (fort.*)	63
4	Acoplamento do BAM com o GSI	67
4.1	Matriz de covariância dos erros de previsão do BAM	67
4.1.1	Metodologia utilizada	68
4.1.1.1	Aplicação das covariâncias no GSI	71
4.1.1.2	Implementação do método NMC	71
4.1.2	Resultados	72
4.1.2.1	Variâncias e comprimentos de escala	72
4.1.2.2	Incremento de Análise (“single-obs”)	76
4.2	Interface de acoplamento do BAM com o GSI	78
4.2.1	Módulo acoplador dos modelos no GSI	78
4.2.2	Detalhes do acoplamento do BAM com o GSI usando o módulo de acoplamento	80
4.2.3	Lista das principais rotinas da interface e suas funções	81
4.2.4	Exemplo de Uso	83
5	Validação do acoplamento do BAM no GSI no SMG	85
5.1	Minimização e Condicionamento da Função Custo Variacional	85
5.2	Diagnóstico da Precipitação	87
6	Perspectivas futuras e considerações finais	95
6.1	Versões previstas para a distribuição do pacote	95
6.2	Considerações finais	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
	ANEXO I: REVISÕES QUE COMPÕEM A VERSÃO	103

1 Introdução

1.1 Escopo do projeto Sistema de Modelagem Global (SMG)

O desenvolvimento da previsão numérica de tempo (PNT) em escala global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) tem como base as pesquisas e desenvolvimentos em modelagem numérica e assimilação de dados. Deste modo, o desenvolvimento integrado e em conjunto das componentes que contemplam as etapas da produção da PNT requerem um esforço unificado, visando a meta principal que é prover a sociedade brasileira com produtos de PNT e clima (PNTC) de qualidade. O Sistema de Modelagem Global (SMG) do CPTEC/INPE contempla como modelo de PNT o *Brazilian Global Atmospheric Model* (BAM) e o sistema de assimilação *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI). A finalidade principal é produzir a PNT utilizando o que se tem de melhor com relação à modelagem numérica disponível no centro, bem como o melhor conjunto de informações provenientes das redes de observações convencionais e de satélite. Para isso, será aproveitado o conhecimento adquirido ao longo dos diversos anos de operação do CPTEC/INPE, buscando por meio do trabalho inter-relacionado do grupo de assimilação de dados e de modelagem atmosférica global, a reestruturação do SMG. No que compete à assimilação de dados, deve-se estabelecer um processo cíclico (ininterrupto) de forma eficiente e que garanta a ingestão das informações presentes na base observacional (convencional e de satélite). Em relação à equipe envolvida na modelagem global, compete o contínuo aperfeiçoamento das parametrizações físicas e da dinâmica do BAM em modo de modelagem cíclica, buscando melhor representar os processos relacionados às interações superfície-atmosfera de forma realística e com eficiência computacional. Com isto, pretende-se tornar o SMG competitivo em relação aos demais centros mundiais de meteorologia. A integração do sistema de assimilação de dados com o modelo global é uma atividade diretamente relacionada com as metas do CPTEC no plano diretor do INPE para os próximos quatro anos (2016–2019). A estrutura proposta também aborda a PNT global por conjunto, na qual metodologias de perturbação da análise estão incluídas. A versão inicial do Sistema de Modelagem por Conjunto (SMC) está sendo desenvolvida em um projeto independente, mas nas versões futuras será realizada em conjunto no SMG por meio da assimilação de dados híbrida utilizando-se a metodologia do *Ensemble Kalman Filter* em conjunto com o método variacional em três dimensões. Adicionalmente, esse sistema deverá ser a estrutura básica que possibilitará os primeiros resultados com a assimilação de dados nas demais componentes do sistema terrestre, como em modelos de superfície e modelagem

oceânica.

1.2 Objetivos a serem atingidos com o SMG

O objetivo principal desse projeto é desenvolver um sistema que integre todos os módulos principais que possibilitam a obtenção das melhores PNT em escala global, com ênfase sobre a América do Sul, levando-se em conta todas as particularidades regionais. Entende-se por melhores previsões de tempo aquelas que sejam capazes de capturar o comportamento da atmosfera, tanto em domínio espacial quanto temporal, apresentando informações com a melhor qualidade possível e incertezas associadas. Para que este objetivo principal seja atingido, estabeleceram-se os objetivos específicos desse projeto, a saber:

- **Contínuo desenvolvimento do modelo BAM:** aprimorar constantemente todos os módulos do modelo BAM, corrigindo erros e aprimorando sua dinâmica e parametrizações físicas, tratando de aspectos computacionais de forma a ampliar a eficiência e diminuir o custo computacional;
- **Assimilação de dados:** busca-se máximo potencial da assimilação de dados por meio do fornecimento de condições iniciais que explorem todas as informações presentes na base de dados observacional (convencional e de satélite) e que leve em consideração os balanços na física, dinâmica e estabilidade numérica no processo;
- **Uso eficiente da base de dados disponível no CPTEC/INPE:** Espera-se que no processo de assimilação de dados seja possível incluir a mais diversa base de dados disponível no CPTEC/INPE, de tal forma que se garanta a máxima eficiência, melhor qualidade e baixa latência na disponibilidade das informações. Isto é possível por meio da otimização no uso do fluxo de dados, proveniente da divisão de operações meteorológicas, e na constante avaliação do impacto das observações na PNT e a consequente realização de ajustes. Nesta versão do SMG será utilizada somente a base de dados convencional disponibilizada pelo *Global Telecommunication System* (GTS) que conta com dados provenientes de observações realizadas a partir de navios (ship), boias marítimas (bouy), aviação comercial (airep), estações convencionais em terra (synop) e por radiossondas;
- **Integração dos grupos envolvidos nas componentes com o desenvolvimento integrado:** Aproveitar o conhecimento adquirido ao longo dos

diversos anos de operação do CPTEC/INPE, buscando primorar o SMG em todas as suas frentes de trabalho por meio do trabalho inter-relacionado e integrado dos grupos de modelagem atmosférica global e de assimilação de dados;

- **Integração com o SMC:** reorganizar a estrutura atual do SMC para permitir que a modelagem global por conjunto seja integrada ao SMG. Inicialmente deverão ser perturbadas as análises geradas pelo SMG e posteriormente deve-se utilizar a estrutura do sistema híbrido, a partir da qual poderão ser obtidas as previsões determinísticas e por conjunto;
- **Preparação de uma estrutura de modelagem global como alicerces para outras componentes:** o SMG deverá ser dividido em três partes principais: (a) sistema de assimilação de dados, (b) modelo de previsão numérica de tempo e (c) sistema para previsões por conjunto. Esta estrutura será a base para melhorias na modelagem de processos da superfície continental, da modelagem acoplada aos modelos oceânicos e dos processos químicos, que futuramente, receberão investimentos no sentido de também aplicar métodos de assimilação de dados.

1.3 Estratégia de Desenvolvimento

Como estratégia de desenvolvimento e organização, o SMG está centralizado em um único repositório de controle de versões *Subversion* (SVN), em que as entregas das versões são realizadas mediante o cumprimento de tarefas. Estas podem ser referentes ao desenvolvimento de novas características do sistema, bem como à implementação de melhorias e correção de *bugs*. Todo o desenvolvimento do SMG é realizado por meio do SVN, permitindo um alto nível de organização, otimizando o trabalho conjunto das equipes envolvidas.

O desenvolvimento do SMG é abrangente e envolve diferentes grupos de pesquisa e será realizado de forma contínua ao longo dos próximos quatro anos seguindo o plano diretor do CPTEC/INPE. Assim, está sendo adotada uma metodologia de desenvolvimento que envolve a definição e um cronograma de entrega de versões, no qual o conteúdo de cada tarefa deve ser detalhado e pré-definido em sua concepção. Caso haja a necessidade de modificações não previstas, e que não tenham sido previamente relacionadas, implementações adicionais serão realizadas nas futuras versões, com exceção das correções emergenciais ou funcionalidades essenciais para o pleno funcionamento do SMG. Entretanto, uma nova versão do SMG será disponi-

bilizada somente se for comprovado, por meio de testes de validação, um ganho em desempenho de forma abrangente, ao invés de somente em uma das componentes do sistema.

1.4 Estrutura Básica do SMG

Uma forma de se desenvolver um sistema de modelagem contendo o modelo de PNT, o sistema de assimilação de dados e outras componentes auxiliares, é por meio da criação de uma distribuição completa em que todas as componentes estejam presentes, restando ao usuário final a tarefa de pré-configuração do ambiente de trabalho e a posterior compilação e execução do sistema. Para estas últimas tarefas, de responsabilidade do usuário é também a possibilidade de desenvolver *scripts* auxiliares que possibilitem a automatização dos processos, facilitando o uso do sistema de modelagem por usuários menos experientes. Este tipo de desenvolvimento tem a vantagem de facilitar o uso das ferramentas, tornando a tarefa do usuário simples, o que pode ser esperado de sistemas consolidados e aptos à distribuição e uso massivo. A desvantagem é para usuários com perfil de desenvolvedores que, muitas vezes, desejam modificar alguma parte do sistema e acabam sendo limitados pelas “facilidades” impostas pela interface amigável de configuração e execução do sistema.

Para contornar este inconveniente, pode-se desenvolver sistemas modulares, que se inter-relacionem, com a vantagem de não haver a necessidade da criação de *scripts* para fazer com que o sistema seja configurado e executado automaticamente, bastando portando, haver somente *scripts* responsáveis por cada uma das etapas do processo de modelagem (execução do modelo de PNT, obtenção de um conjunto de observações, execução do procedimento de assimilação de dados). Além disso, este tipo de desenvolvimento torna-se menos complicado para o usuário que deseja apenas testar ou executar uma componente do sistema, evitando que haja a necessidade de obter toda a distribuição do pacote.

Uma última alternativa é consolidar os dois meios de desenvolvimento em uma única ferramenta, deixando para o usuário a tarefa de decidir se deseja um sistema completamente automatizado, que seja capaz de executar todo o processo de modelagem de forma automática, ou se deseja executar somente uma parte do processo.

É nesta filosofia que é realizado o desenvolvimento do SMG, que está organizado utilizando-se o ramo *trunk* do SVN para os desenvolvimentos principais. Neste estão organizados as três atuais componentes do SMG: o ‘modelo global ‘BAM’ (contendo o código e os *scripts* nativos para a compilação e execução do modelo de forma inde-

pendente); o “GSI” (contendo o código e os *scripts* para a compilação e execução do sistema de assimilação de dados global) e o “SPCON” (contendo o código e os *scripts* para a realização das perturbações das condições iniciais do SMC). Há também o diretório denominado “run” com *scripts* responsável por fazer um encadeamento dos processos envolvendo diferentes componentes do SMG de forma interligada, como por exemplo o *script* “run_cycle.sh”, responsável por executar o ciclo de assimilação de dados (o que inclui a execução do BAM e do GSI). Ambos “GSI” e “SPCON” estão preparados para o modelo “BAM”. A Figura 1.1 abaixo ilustra a organização atual do repositório do SMG.

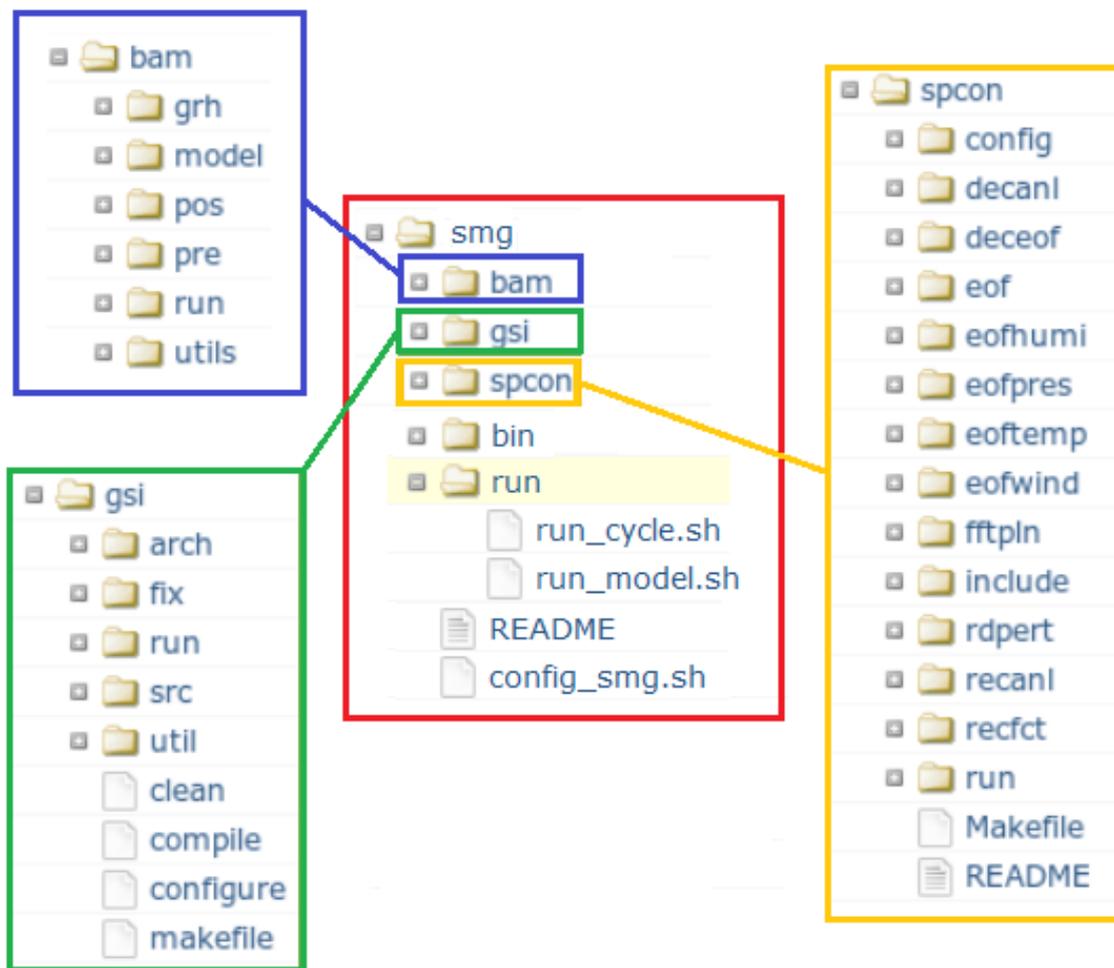


Figura 1.1 - Organização do repositório do SMG.

Como mostrado na Figura 1.1, o SMG está dividido em três partes principais. Esta estrutura será a base para melhorias na modelagem de processos da superfície continental, da modelagem acoplada aos modelos oceânicos e dos processos químicos, que futuramente, receberão investimentos no sentido de também aplicar métodos de assimilação de dados.

Os módulos atualmente disponíveis são os que seguem:

- **Brazilian Global Atmospheric Model:** O modelo de PNT em uso no SMG é o *Brazilian Atmospheric Model* que possui uma resolução espacial de ~200 km e 28 camadas na vertical (TQ0062L028). O BAM substitui a última versão do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA-CPTEC/INPE) em operação desde 2010, processado a uma resolução espacial de ~45 km e 64 camadas na vertical (TQ0299L064). O MCGA foi

uma versão modificada e melhorada do modelo global do *Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies* (COLA) dos Estados Unidos, que esteve em funcionamento no CPTEC desde a sua inauguração em 1994. Entretanto, para melhorar as PNTC em altas resoluções no Brasil, foi necessário desenvolver um modelo global próprio com uma nova dinâmica e física em seu estado da arte (incluindo processos de radiação, camada limite, superfície, microfísica etc.), mais adequadas para as condições da América do Sul.

- **Gridpoint Statistical Interpolation:** O sistema de assimilação de dados em uso no SMG é o *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI) acoplado ao BAM. O GSI foi inicialmente desenvolvido pela *National Oceanics and Atmospheric Administration* (NOAA) e *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) como um sistema de análise baseado no anterior sistema operacional do NCEP, *Spectral Statistical Interpolation* (SSI). No NCEP, o GSI foi implementado operacionalmente em maio de 2007, acoplado ao modelo *Global Forecast System* (GFS). Uma versão desenvolvida na *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), foi a primeira versão do GSI utilizada com o MCGA (denominada G3DVAR no CPTEC a partir de 2011 até Dezembro de 2015), e representou um ganho na assimilação operacional do centro com um aumento importante do número de observações assimiladas, com a inclusão de observações de radiâncias e rádio ocultação *Global Positioning System* (GPS). A versão utilizada nesse projeto é a distribuída e mantida pelo *Developmental Testbed Center* (DTC - <<http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/>>). Essa mesma versão do GSI está sendo utilizada em outros projetos da assimilação de dados em escala regional no CPTEC (vide <<https://projetos.cptec.inpe.br/projects/smr/wiki>>).
- **Sistema de Modelagem por Conjunto global:** O Sistema de Modelagem por Conjunto global (SMC) do CPTEC compreende um conjunto de rotinas preparadas para criar um conjunto de análises perturbadas a partir de uma análise controle utilizando a técnica de *Empirical Orthogonal Functions* (EOF). O SMC global foi operacionalizado no CPTEC em 1999 e ao longo da trajetória de seu desenvolvimento e operação, diversas melhorias foram acrescentadas ao sistema. Primeiramente, apenas os campos de vento e temperatura eram perturbados sobre a faixa tropical. Depois, foram acrescentadas novas variáveis ao método de perturbação (umidade e pressão em superfície) e novas regiões também foram incluí-

das (Hemisférios Norte e Sul; regiões norte e sul da América do Sul). Em seguida, houve o acréscimo da correção de viés nos campos prognósticos do modelo de previsão. Atualmente, a versão operacional do SMC é realizada com 15 membros (controle + 14 membros perturbados) na resolução espacial de ~100 km e 28 camadas na vertical (TQ0126L028). A correção de viés bem como a utilização do modelo BAM e a implementação de um ciclo de assimilação de dados (a partir de sua integração com o SMG) serão melhorias implementadas nas versões futuras do sistema (vide <<https://projetos.cptec.inpe.br/projects/spconcpctec/wiki>>).

1.5 Conteúdo do Documento

O objetivo principal do presente documento é apresentar em detalhes todos os pontos abordados pela versão 0.0 do SMG, com ênfase para as componentes que o formam. Também serão apresentadas informações principais para a obtenção do sistema, compilação e execução da presente versão. Na Seção 2 são organizadas tais informações, apresentando o passo-a-passo para a utilização da mesma. Na Seção 4 é apresentada a documentação dos componentes do SMG (BAM e GSI). Na Seção 6 são discutidas as perspectivas futuras e considerações finais a respeito desse projeto.

2 Versão v.0.0 do SMG

2.1 Informações gerais sobre a versão

Data prevista para a publicação: 30 de junho de 2016.

Data em que a versão foi publicada: 07 de julho de 2016.

Seguindo a estratégia de desenvolvimento adotada em todos os projeto da DMD utilizando o SVN, a presente Seção apresenta todos os itens contemplados na versão inicial v0.0 do projeto SMG. Esses itens seguem as definições feitas na concepção das versões no início do projeto. As informações sobre as versões e os itens previstos em cada uma delas são apresentados na Seção 4, onde serão descritos os itens com informações sobre a implementação e os resultados iniciais gerados.

Na versão inicial v0.0 foram implementados todos os itens previstos na concepção do projeto, os quais envolvem as estruturas básicas para a evolução de seus módulos e componentes. A versão tem por objetivo garantir a correta leitura das informações do *background* (ou seja, a previsão de curto prazo) do BAM pelo GSI e a posterior leitura da condição inicial para o modelo. O objetivo principal é disponibilizar uma interface que não inclua erros no acoplamento do BAM com o GSI. Esta versão não tem a função de se tornar operacional, mas sim fornecer uma base sólida para se alcançar a pré operação na versão seguinte. Os resultados de validação são obtidos com um conjunto restrito de dados convencionais assimilados. O teste inicial para validação dessa versão foi feito em modo “zero obs” (ie., o *background* do BAM lido pela interface e entregue para o GSI, o qual escreve uma análise exatamente igual ao *background*). Isso garante que a versão publicada atingiu seu objetivo principal. A lista dos itens mais importantes tratados na versão v0.0 é dada a seguir:

- Compilação do BAM no Tupã ajustando os *scripts* de configuração e instalação pra o pacote do SMG, avaliando o funcionamento e desempenho;
- Compilação do GSI no Tupã em sua mais nova versão proveniente do DTC, ajustando os *scripts* de configuração e instalação na máquina e avaliando o sucesso desse processo;
- Desenvolvimento de uma interface para o acoplamento do BAM com o GSI, minimizando a inclusão de ruídos ou erros nesse processo;
- Desenvolvimento de uma estrutura de *scripts* de configuração, instalação e realização baseada naquela do G3DVAR e de outros projetos;

- Identificação dos problemas a serem atacados para o perfeito acoplamento do BAM com o GSI;
- Preparação de uma matriz de covariâncias dos erros de previsão inicial, usando dados das rodadas do BAM (sem a assimilação de dados) e realização de testes iniciais do SMG com o uso dessa matriz;
- Avaliação do acoplamento do BAM com o GSI usando o modo “zero-obs”.
- Validação inicial da versão usando o modo “multi-obs”, com um conjunto básico de dados convencionais;
- Documentação dos procedimentos supracitados em páginas Wiki sobre o BAM e sobre o GSI com o auxílio do *software* Redmine (portal de projetos do CPTEC) para disponibilizar informações sobre o modelo e o sistema de assimilação para os desenvolvedores do CPTEC, com amplos benefícios para o centro.

2.1.1 Relação das Revisões da Versão

A versão inicial v0.0 do SMG não recebeu revisões no momento da publicação deste relatório. Uma atualização desta Seção deverá ser feita, incluindo o resumo das revisões realizadas no projeto SMG.

2.2 Componentes do sistema SMG

O SMG contempla um modelo de PNT, o qual é alimentado com as análises provenientes do sistema de assimilação de dados, que por sua vez, utiliza uma previsão de curto prazo do modelo para correção e ajuste com as observações. Este processo cíclico é realizado no tempo até 7 dias para gerar os produtos de PNT do estado futuro da atmosfera. Essas correções nas previsões de curto prazo são realizadas por meio do processo de assimilação de dados, no qual as informações presentes nas observações são adicionadas no estado previsto pelo modelo, gerando a condição inicial para um novo processo de integração. A eficiência dessas correções depende da correta determinação das incertezas das previsões do modelo e da base de dados. Para as incertezas associadas às previsões, requer-se o conhecimento dos erros do modelo, enquanto que as incertezas das observações envolvem os erros dos instrumentos de medição e aqueles associados à coleta dos mesmos. Observa-se que no centro desse processo encontra-se o modelo de PNT - sendo este apoiado pelo sistema de assimilação de dados, o qual integra na PNT toda a base de dados disponível em tempo real.

Na Figura 2.1 é apresentado um esquema ilustrativo da sequência em que os processos são executados de forma cíclica, no qual o sistema de assimilação de dados utiliza as previsões de curto prazo do modelo BAM e as combina com as informações fornecidas pela base de observações, gerando a análise para o próximo ciclo de previsão do modelo. O módulo acoplador do modelo ao GSI está incluído dentro da estrutura do próprio GSI, seguindo a mesma estratégia de desenvolvimento já implementada nesse sistema para os modelos GFS e *Weather and Research Forecasting* (WRF) - modelos global e regional, respectivamente. A base de dados é detalhada e está dividida nas partes mais importantes.

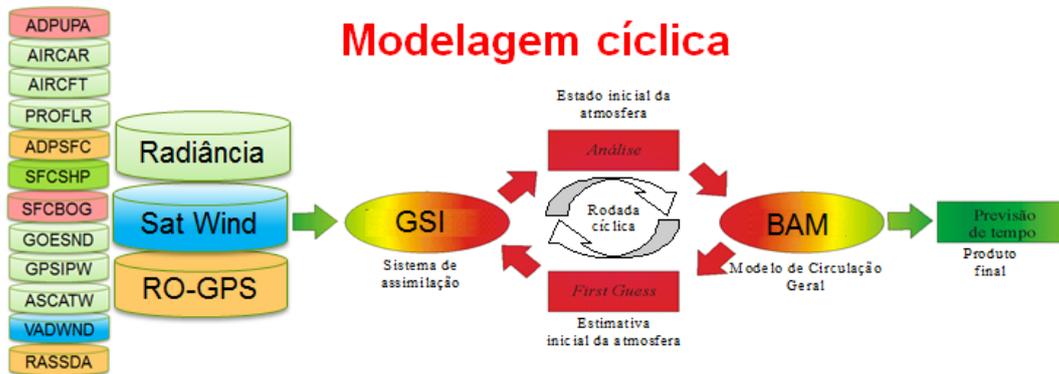


Figura 2.1 - Fluxo dos processos entre o sistema de assimilação e o modelo BAM na modelagem cíclica.

Para a instalação foram criados *scripts* para a compilação, configuração e execução da estrutura do SMG, os quais são responsáveis por chamar os processos já criados para o modelo BAM e para o GSI. Como esses módulos funcionam separadamente, eles podem ser utilizados usando a estrutura de *scripts* para a instalação e a execução. Para os módulos em separado, informações específicas para estes são fornecidas nas suas devidas páginas Wiki (ver <<https://projetos.cptec.inpe.br/projects/smg/wiki>> para mais informações). Nas próximas seções, são detalhados os *scripts* para a integração das componentes do SMG.

Para a integração das componentes principais do SMG, dois pontos principais devem ser tratados. O primeiro refere-se ao acoplamento das duas componentes em si (BAM e GSI), e o segundo refere-se à definição da matriz de covariâncias de erros das previsões do modelo. Esses pontos são tratados a seguir:

- **Interface de acoplamento entre BAM e GSI:** O acoplamento no SMG foi realizado dentro da versão do código do GSI, no qual uma das rotinas é responsável por ler os campos de *background* do modelo. A versão do GSI possui implementado um módulo para o *background* do modelo GFS e um outro módulo para o WRF. Nessa rotina foi desenvolvido e incluído um módulo de leitura para o *background* do modelo BAM. O desafio nesse processo foi fazer uma combinação correta das variáveis disponíveis nos modelos, as quais não envolvem apenas as variáveis lidas e usadas para o incremento de análise mas também as variáveis usadas nos operadores de observações (detalhes de todo o processo são fornecidos na Seção 4.2);
- **Cálculo da Matriz de Covariâncias do modelo BAM:** A matriz de covariâncias, na sua aplicação para assimilação de dados atmosféricos, tem a função de modular espacialmente os incrementos de análise horizontal e verticalmente. Sua aplicação no contexto do CPTEC mostra que há a necessidade de sua correta representação no ciclo de assimilação de dados assumindo os erros do modelo BAM. A metodologia utilizada para calcular a matriz de covariâncias de erros de *background* para aplicação no GSI é o método denominado *National Modeling Center* (NMC), o qual é melhor detalhado nas Seções 3.2.2 e 4.1.

2.3 Obtenção, Configuração, Compilação e Realização do SMG

Nessa seção são apresentadas as informações para se fazer o download de todo o pacote na conta do usuário, bem como a configuração para criar a estrutura de diretórios, a instalação dos pacotes incluindo as bibliotecas e finalmente a execução usando dados de um *testcase* também disponível na distribuição.

2.3.1 Obtenção do sistema SMG

O pacote de instalação do sistema SMG está disponível a partir do repositório SVN do CPTEC, nos ramos trunk (para os desenvolvedores) ou tag (para os usuários não desenvolvedores). O código principal de todas as versões poderá ser visualizada dentro do gerenciador de projetos Redmine, inclusive a versão em desenvolvimento no ramo trunk com as modificações mais recentes.

Para acessar a versão do código do sistema SMG, as seguintes etapas deverão ser realizadas:

- a) Login no supercomputador TUPA:

```
$ ssh usuario@tupa.cptec.inpe.br -XC
```

- b) Acessar o diretório home do usuário no scratchin (/scratchin/grupos/assim_dados/home/\$USER), o que pode ser feito via variável \$SUBMIT_HOME:

```
$ cd $SUBMIT_HOME
```

- c) Extração do código do sistema SMG do ramo tag para a raiz do usuário no scratchin usando o comando export:

```
$ svn export https://svn.cptec.inpe.br/smg/tag/SMG_V0.0.0
```

- d) caso um erro ocorra por indicar que a versão não exista, use o comando list para avaliar a ultima versão/revisão e escolha-la com o comando anterior. Para listar as versões, digite:

```
$ svn list https://svn.cptec.inpe.br/smg/tag
```

- e) Caso o usuário queira e possua habilidade e permissões para contribuir com a versão em desenvolvimento o acesso ao pacote deve ser via comando checkout para acionar o controle das alterações na versão. Para isso deve-se acessar a versão apta a receber novos desenvolvimento disponível no ramo trunk:

```
$ svn co https://svn.cptec.inpe.br/smg/trunk/SMG
```

No final dessa fase um diretório será criado no home do usuário no disco scratchin com todos o pacote do SMG, sendo esse diretório denominado com a sigla SMG para o ramo trunk e SMG_V0.0.0 para a versão aqui documentada.

2.3.2 Instalação e Configuração do sistema SMG

Nesta etapa a instalação e a configuração do sistema SMG compreendem na criação de sua estrutura de diretórios e a compilação de seu código fonte, que envolve o GSI (*Gridpoint Statistical Interpolation*) e o BAM (*Brazilian Atmospheric Model*). Para

facilitar esta tarefa, foi criado o script `config_smg.ksh` que automatiza este processo. Sua utilização é apresentada a seguir.

Entre na pasta `SMG_V0.0.0` criada anteriormente, e execute o comando:

```
$ cd SMG_V0.0.0
$ ./config_smg.ksh
```

O script `config_smg.ksh` possui algumas opções para execução. As opções disponíveis são as seguintes:

- **configurar** - configura o SMG (cria *links* e pastas);
- **compilar** - compila toda a estrutura do SMG (GSI+BAM) (cria os executáveis);
- **testcase** - execução do sistema com arquivos do *testcase*;
- **ajuda** - mostra mensagem de ajuda para usuário, o qual também é feito na ausência de argumentos de entrada.

ATENÇÃO: o script `config_smg.sh` possui quatro variáveis principais que comandam todo o processo de configuração e instalação, as quais estão listadas abaixo com os seguintes valores (padrão):

```
$nome_smg = SMG_V0.0.0
$HOME = ${HOME}
$SUBMIT_HOME = ${SUBMIT_HOME}
$WORK_HOME = ${WORK_HOME}
```

Observe que se a versão adquirida for proveniente do trunk, a variável `$nome_smg` receberá apenas "SMG", sem versão definida. Essa variáveis podem ser alteradas de acordo com as necessidades de cada usuário. Assim, o primeiro passo é verificar no script `config_smg.ksh` se estas variáveis estão corretas ou devem ser alteradas. Como exemplo, caso seja da necessidade do usuário fazer a instalação do SMG a partir do disco `$SUBMIT_HOME`, será necessário alterar o valor da variável `$HOME` para `$SUBMIT_HOME`. Dessa forma, as variáveis de ambiente que o SMG irá utilizar para a instalação do sistema, serão:

```
$nome_smg = SMG_V0.0.0
$HOME = ${SUBMIT_HOME}
$SUBMIT_HOME = ${SUBMIT_HOME}
$WORK_HOME = ${WORK_HOME}
```

OBS.1: Recomenda-se a instalação do pacote no scratchin, uma vez que o home tem espaço bastante restrito e não será possível a instalação de muitos outros sistemas nesse mesmo disco. O scratchin tem mais espaço, mas tem a desvantagem de não ter backup, o que pode ser desconsiderado uma vez que a versão está armazenado no SVN, e nele deposita-se a confiança de salvaguarda dos códigos do CPTEC

OBS.2: Lembre-se que alterando alguma destas variáveis as instruções abaixo podem não funcionar corretamente copiando e colando o comando no terminal, deve-se colocar o devido valor definido dentro do script `config_smg.ksh`

Para criar a estrutura de diretórios do sistema SMG, basta digitar em sequência:

```
$ ./config_smg.ksh configurar
```

Por padrão, o sistema é configurado para submeter todos os jobs a partir do `$SUBMIT_HOME`, por isso, toda a estrutura com os dados de entrada e saída é montada por padrão em `$SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0` (onde são realizadas as submissões e os processamentos) e em `$WORK_HOME/SMG_V0.0.0` (onde são armazenados os resultados). Caso seja necessário alterar algum diretório de saída (como por exemplo, o nome da instalação do SMG que deve estar indicada na variável `nome_SMG`), antes de executar o comando `configurar`, o usuário deverá revisar as variáveis da função `vars_export` do script `config_smg.ksh` e fazer as modificações que achar necessárias. Após isso, deverá ser executado o comando acima.

2.3.2.1 Compilação do GSI

O passo seguinte é a compilação do pacote SMG que contempla o modelo BAM, o GSI e suas bibliotecas auxiliares e demais utilitários (incluindo para o cálculo das datas e outras bibliotecas). Para isto siga os passos abaixo:

Antes de utilizar o script `config_smg.ksh` para compilar o GSI, é necessário ajustar alguns parâmetros do ambiente em que se está logado no Tupã:

- a) Certifique-se de que você está logado(a) na `eslogin01`:

```
$ uname -n
```

- b) Caso não esteja logado nela, logue-se da seguinte forma:

```
$ ssh -X eslogin01
```

- c) Carregue o ambiente de desenvolvimento da PGI (para esta versão do SMG testou-se somente com este ambiente):

```
$ module load PrgEnv-pgi
```

- d) Carregue a biblioteca NetCDF:

```
$ module load netcdf
```

Nesta versão, não é necessário alterar a versão do compilador. Uma lista com os módulos carregados, é informada abaixo:

```
Currently Loaded Modulefiles :
```

- 1) modules/3.2.6.6
- 2) xtpe-network-gemini
- 3) pgi/12.8.0
- 4) totalview-support/1.1.3
- 5) xt-totalview/8.10.0
- 6) xt-libsci/11.1.01
- 7) udreg/2.3.1-1.0400.4264.3.1.gem
- 8) ugni/2.3-1.0400.4374.4.88.gem
- 9) pmi/3.0.1-1.0000.9101.2.26.gem
- 10) dmapp/3.2.1-1.0400.4255.2.159.gem
- 11) gni-headers/2.1-1.0400.4351.3.1.gem
- 12) xpmem/0.1-2.0400.31280.3.1.gem
- 13) xe-sysroot/4.0.46
- 14) xt-asyncpe/5.14
- 15) PrgEnv-pgi/4.0.46
- 16) pbs/10.4.0.101257
- 17) eswrap/1.0.9
- 18) xtpe-mcl2
- 19) xt-mpich2/5.5.4
- 20) atp/1.5.1
- 21) tupa2/1.0.0
- 22) ldump/1.2-1.0400.7229.4.130.gem
- 23) lcrash/1.2-1.0400.7230.4.1.gem
- 24) cray-install-tools/1.0.1-1.0000.2804.0
- 25) admin-modules/1.0.2-1.0400.31284.2.2.gem
- 26) Base-opts/1.0.2-1.0400.31284.2.2.gem
- 27) hdf5/1.8.8
- 28) netcdf/4.2.0

Para compilar o GSI deve-se executar o script `config_smg.ksh` com a opção `compilar`. Para isso siga os passos:

- a) Entre no diretório onde fez o `checkout` ou o `export` do SMG:

```
cd ${SUBMIT_HOME}/SMG_V0.0.0
```

- b) Execute o script para configurar o ambiente:

```
$ ./config_smg.ksh configurar
```

- c) Execute o script com a opção de compilação:

```
./config_smg.ksh compilar 2>&1 | tee compile_smg.log
```

- d) Para acompanhar o progresso da compilação, utilize o comando:

```
tail -f compile_smg.log
```

Com este último comando será possível acompanhar o processo de compilação direto no terminal, e as mensagens serão salvas no arquivo `compile_smg.log` para posterior análise de erros. Esse comando deverá iniciar automaticamente.

OBS.3: O processo de compilação demora cerca de 25 minutos e uma vez terminada a compilação é importante verificar se os executáveis foram criados.

A lista dos executáveis a serem criados pela etapa de compilação é a que se segue:

- a) Do sistema de assimilação GSI:

```
$ ls ${SUBMIT_HOME}/SMG_V0.0.0/cptec/bin/gsi.exe
```

- b) Do utilizários IncTime:

```
$ ls ${SUBMIT_HOME}/SMG_V0.0.0/cptec/bin/inctime
```

- c) Do módulo de Preprocessamento verifique o resultados desse comando se igual a seguinte lista de executáveis do pré:

```
$ ls ${SUBMIT_HOME}/SMG_V0.0.0/SMG_V0.0.0/cptec/bam/pre/  
exec/
```

- d) Do modelo BAM:

```
$ ls ${SUBMIT_HOME}/SMG_V0.0.0/cptec/bam/model/exec/  
ParModel_MPI
```

- e) Do módulo Pos:

```
$ ls ${SUBMIT_HOME}/SMG_V0.0.0/cptec/bam/pos/exec/PostGrib
```

Verifique no final do arquivo de log os possíveis erros gerados caso esses arquivos não tenham sido gerados. Procure identificar suas causas, corrigindo-as e rodando novamente.

2.4 Utilização do SMG

Após os processos de configuração e compilação do sistema SMG, o próximo passo é executar o *testcase*. O *testcase* tem por objetivo realizar o sistema GSI em conjunto com o BAM/CPTEC na resolução TQ0299L064 (40 km de resolução horizontal na latitude de 0o) gerando análises e previsões (de 9 horas com saídas horárias) para o período de 1º de janeiro às 00Z até 8 de Janeiro de 2013 às 18Z. Um pacote de dados completo do *testcase*, encontra-se disponível em /scratchin/grupos/assim_dados/home/gdad/public. Antes de utilizá-los, solicita-se a leitura do arquivo README disponível. Os dados assimilados por padrão pelo SMG são observações advindas do PREPBUFR/NCEP e dados não convencionais do AMSU/A, HRS4, MHS, IASI, GPSRO e AIRS. Estes dados encontram-se disponíveis no formato prep-bufr e bufr. Cabe salientar que essa versão inicial do sistema V0.0.0 assimila apenas os dados convencionais.

2.4.1 Realização do *testcase*

Para realizar o sistema SMG em conjunto com o modelo global (ambos configurados e instalados nos procedimentos anteriores), deve-se proceder da seguinte forma:

- a) Entre no diretório onde fez o checkout ou o export do SMG:

```
$ cd ${SUBMIT_HOME}/SMG_V0.0.0
```

- b) Execute o script para configurar o *testcase*:

```
$ ./config_smg.ksh testcase
```

- c) Entrar na pasta `$$SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0/run/scripts/bam_scripts` do sistema SMG:

```
$ cd $$SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0/run/scripts/bam_scripts
```

- d) Executar o pré-processamento do BAM por completo, com suavização de topografia, apenas uma primeira vez, caso esteja partindo-se de uma análise do NCEP (antes de executar o ciclo do SMG):

```
$ ./runPre 62 28 2012123118 NMC 1 T T 574 64
```

- e) Executar o modelo para gerar as 9 horas de previsão (First Guess) e o primeiro conjunto de restarts:

```
$ ./runModel -t 62 -l 28 -np 72 -d 4 -N 6 -I 2012123118 -W  
2013010103 -F 2013010103 -ts 3 -r -tr 6 -i 2 -p SMT -s  
sstwkl
```

- f) Entrar na pasta `$$SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0/run` do sistema SMG:

```
$ cd $$SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0/run
```

- g) Revisar o script do ciclo (`run_cycle.sh`), observando as datas inicial e final e o tempo de previsão:

ATENÇÃO: Antes de executar o script `run_cycle.sh` o usuário deve ler o arquivo `README` em `$$SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0/run/scripts/bam_scripts/README`. Neste arquivo há instruções específicas sobre a utilização do BAM-CPTEC/INPE dentro do ciclo do SMG.

```
$ more run_cycle.sh
```

h) Executar o script principal:

```
$ ./run_cycle.sh
```

Pós-processamento: para visualizar os dados em ponto de grade, é necessário que o usuário realize o pós-processamento das previsões. Para isto, entre na pasta `bam_scripts` e execute o comando:

```
$ cd SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0/run/scripts/  
$ ./runPos -np 120 -N 12 -d 1 -t 62 -l 28 -I 2013010100 -F 2013010818 -  
p CPT
```

OBS.4: O número de processadores utilizado pelo BAM-CPTEC/INPE é fixado no valor 72 porque serão gerados 72 arquivos de restart para a superfície, atmosfera, radiação, convecção e nuvens e todos estes deverão ser lidos ao longo das previsões.

Dessa forma o sistema será realizado e as informações sobre a rodada serão impressas na saída padrão do terminal. De modo alternativo, pode-se especificar um arquivo de saída com os prints da rodada utilizando-se o comando `nohup` (recomendado):

```
$ nohup ./run_cycle.sh > run_cycle.out &  
$ tail -f run_cycle.out
```

O comando `nohup` é útil também nas situações em que, por algum motivo, o usuário encerra sua sessão no terminal e deseja reavê-la em um outro terminal da mesma máquina ou outra. Este tipo de operação combinada com a utilização do comando `nohup`, impede que os scripts executados pelo usuário (como no caso o script `run_cycle.sh`) sejam encerrados com o `logout` ou o desligamento da máquina do usuário.

Feito isto, o sistema SMG deverá ser realizado durante o período do *testcase*, gerando análises e previsões de até 9 horas (seguindo as configurações do sistema). O tempo para a realização de um ciclo do *testcase* é de aproximadamente 30 minutos.

A simples execução do comando `run_cycle.sh` irá executar o SMG ciclicamente para o período do *testcase*. Caso seja da necessidade do usuário, os diferentes argumentos do script `run_cycle.sh` podem ser explicitados.

Exemplo:

```
$ ./run_cycle.sh 2013010100 2013010218 NMC 62 28 9
```

O comando acima irá executar o SMG no período se 2013010100 2013010518, com o BAM na resolução TQ0062L028 e realizando 9 horas de previsão por ciclo (a partir de cada análise gerada). Da mesma forma, pode-se utilizar o comando nohup para gerar a saída do log.

2.4.2 Resultados: Análises, Previsões, *Restartes e Backgrounds*

Os resultados das análises e das previsões obtidas a partir das realizações do SMG são armazenados em diferentes diretórios e possuem uma denominação própria. Aqui são listados os diretórios, os nomes dos arquivos e uma breve descrição do conteúdo dos mesmos, para as análises, previsões em diferentes formatos, incluindo os arquivos de restart e dados pós-processados.

Arquivos de Condição Inicial (Análises):

Descrição: O primeiro é o arquivo de análise que é utilizado pelo BAM e o segundo é o arquivo de log da rodada, com a data de início do processo. Nessa pasta também estão os arquivos de estatísticas dos dados usados e logs diversos de saída do GSI (arquivos pe*).

- **Diretório:** \$WORK_HOME/SMG_V0.0.0/datainout/gsi/dataout/<data_da_realização>
- **Arquivos:**
 - GANLCPT<data_análise><hora_análise>S.unf.TQ0062L028
 - stdout_<hora_análise>_yyyy.mm.dd:hh.mm.ss.log

Previsão em espectral: First Guess

Diretório:

\$WORK_HOME/SMG_V0.0.0/datainout/bam/model/dataout/<resolução>/<data_análise>

Arquivos:

- GANLCPT<data_análise><data_previsão>F.dir.<resolução_mcga>
- GANLCPT<data_análise><data_previsão>F.fct.<resolução_mcga>

Descrição: Arquivo ascii de informações do arquivo de previsão espectral ("header") e o arquivo de previsão espectral. Nesse diretório também se encontra os demais arquivos de saída do modelo para outros tempos de integração no formato espectral, incluindo a análise utilizada.

Restarts

Diretório: \$WORK_HOME/SMG_V0.0.0/dataout/bam/model/dataout/exec_CPT<data_análise>

Arquivos:

- Dump.<número_processador>.00432

Descrição: Contém os *restarts* gerados pelo ciclo anterior, além da análise e respectivas previsões. Nesse diretório também contém o MODELIN e os arquivos de submissão utilizados. Os arquivos de log da rodada do modelo estão no subdiretório *setout*.

OBS.5: Por padrão, o pós-processamento do MCGA está desabilitado dentro do ciclo. Para habilitá-lo, basta alterar o valor do último argumento da linha de chamada do script run_model.sh de "No" para "Yes", na linha 96 no script run_cycle.sh.

Edite o script \$SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0/run/run_cycle.sh e mude a linha 96 da seguinte forma:

```
/bin/bash ${scripts_smg}/run_model.sh ${LABELI} ${FCT_DATE} CPT ${TRC}
${NLV} 72 No
```

Mude para:

```
/bin/bash {scripts_smg}/run_model.sh ${LABELI} ${FCT_DATE} CPT ${TRC} $
{NLV} 72 Yes
```

Esse processo transforma as previsões espectrais do BAM para um formato apropriado para armazenamento e visualização (formato *grib*). Para teste, depois de modificado o run_cycle.sh como indicado acima, rode novamente a última data

do *testecase* com o comando:

```
$ cd $SUBMIT_HOME/SMG_V0.0.0/run  
$ ./run_cycle.sh 2013010218 2013010218 NMC 62 28 9
```

Após esse procedimento os dados estarão disponíveis nos diretórios abaixo.

Previsões no formato *grib*

Diretório:

\$WORK_HOME/SMG_V0.0.0/datainout/bam/pos/dataout/<resolução>/<data>

Arquivos:

- GPOSCPT<data_análise><data_análise>P.icn.<resolução_mcga>.grib
- GPOSCPT<data_análise><data_análise>P.inz.<resolução_mcga>.grib
- GPOSCPT<data_análise><data_previsão>P.fct.<resolução_-mcga>.grib

Descrição: Os arquivos acima são, respectivamente, o arquivo de análise pós-processado, o arquivo de análise inicializada pós-processada (modos normais) e os arquivos de previsão pós-processados.

2.5 Notas sobre a versão inicial v0.0 do SMG e melhorias futuras para as próximas versões

Como nessa versão espera-se apenas o acoplamento correto do BAM com o GSI, a mesma apresenta ainda muitas deficiências ou pontos não tratados que deverão ser endereçados nas próximas versões do SMG. Foi implementada toda a estrutura básica do sistema com todos os itens requeridos para uma primeira versão. A resolução escolhida é baixa (T0062L28) para facilitar os testes de configuração e avaliação dos resultados no acoplamento. Além disso, é necessário definir também os parâmetros na configuração de todo o sistema, incluindo uma lista de *bugs* identificados que também deverão ser corrigidos, tanto no GSI como no BAM. Uma lista dos itens nesses três tipos de melhorias é apresentada abaixo:

Melhorias e Implementações

- Criar tabela de equivalência para tipos de solo do GSI (Tarefa *Improvement* #2446 <<https://projetos.cptec.inpe.br/issues/2446>>): Esta tarefa tem por objetivo criar uma tabela de equivalência entre os tipos de solo do GSI e do BAM. Deve-se definir qual a melhor localização destas tabelas: (1) dentro da rotina de leitura dos campos de superfície do BAM ou (2) dentro da rotina de interface entre o modelo de transferência radiativa, denominado *Community Radiative Transfer Model* (CRTM) e o GSI. Como o BAM possui 2 modelos de superfície, deve-se criar as tabelas de equivalência para cada um destes modelos e incluir uma opção no cabeçalho dos arquivos de previsão do BAM para indicar qual modelo de superfície está sendo utilizado;
- Criar tabela de equivalência para tipos de vegetação do GSI (Tarefa *Improvement* #2447 <<https://projetos.cptec.inpe.br/issues/2447>>): Esta tarefa tem por objetivo criar uma tabela de equivalência entre os tipos de vegetação do GSI e do BAM. Deve-se definir qual a melhor localização destas tabelas: (1) dentro da rotina de leitura dos campos de superfície do BAM ou (2) dentro da rotina de interface entre o CRTM e o GSI. É necessário criar tabelas de equivalência para cada um dos modelos de superfície e incluir uma opção no cabeçalho dos arquivos de previsão do BAM para indicar qual modelo de superfície está sendo utilizado;
- Calcular campos do *fator de vento a 10 metros* (Tarefa *Improvement* #2448 <<https://projetos.cptec.inpe.br/issues/2448>>): O GSI utiliza um campo chamado “Fact10” que é, a princípio, a razão entre o campo de vento a 10 metros e o campo de vento no primeiro nível do modelo. Dentro do GSI há duas rotinas que fazem o cálculo desta quantidade, uma baseada em uma rotina do GFS e outra do modelo regional *Mesoscale Model 5* (MM5). Esta tarefa tem por objetivo verificar qual a melhor forma de obter este campo a partir do BAM. Inicialmente é utilizada a opção $ifact10 = 2$ no *namelist* do GSI, a qual força o cálculo dentro do GSI utilizando as rotinas do MM5;
- Melhoria na rotina de escrita dos campos de análise do GSI no formato BAM (Tarefa *Improvement* #2449 <<https://projetos.cptec.inpe.br/issues/2449>>): Esta tarefa tem por objetivo melhorar a forma como os campos de análise do GSI são escritos no formato necessário para a leitura do BAM. Atualmente estes arquivos são escritos a partir da rotina “writebam” que está no módulo “cptecbamio.F90”. Esta rotina utiliza as

subrotinas “BAMWriteField” e “BAMSendField” do módulo “sigioBAM-Mod.F90” para fazer a escrita utilizando o *Message Passing Interface* (MPI) dos campos de análise. A escrita é realizada em forma sequencial, ou seja, um campo após o outro, o que pode levar a uma perda de desempenho para quando aumenta-se a resolução do BAM. Por outro lado, há rotinas nativas do MPI que fazem a escrita em paralelo de forma otimizada. Assim, espera-se que estas rotinas iniciais possam ser modificadas para o uso das rotinas “MPIIO” para que não existam “gargalos” relacionados à escrita dos campos de análise.

Correções de *bugs*

- Corrigir um *bug* do GSI na versão 3.4.6 que não permite a realização do teste padrão “zero-obs”, o qual é importante para ser avaliado se há erros no acoplamento do modelo com o sistema de assimilação;
- Corrigir erros entre as opções de física unificada do BAM, as quais não estão funcionando com a assimilação de dados. Há várias modificações no BAM que devem ser adicionadas no SMG, sendo o desenvolvimento fora do SVN conjunto um problema grave a ser resolvido.

Ajustes na configuração do SMG

- Avaliar a evolução da umidade negativa e super saturada na integração do SMG tanto no passo da modelagem como no passo de assimilação. Definir valores adequados para os termos de injeção de umidade na minimização da função custo variacional do GSI;
- Avaliar o desempenho dos processos de minimização definindo as quantidades de iterações (*inertloops* e *outerloops*), identificando “gargalos” e uma forma de maximizar o desempenho;
- Fazer testes iniciais do conjunto de dados inicial e adicionar posteriormente dados de radiância e avaliar o desempenho do sistema e o comportamento do BAM em integrações cíclica para períodos mais longos. Testar e modificar parâmetros na base de dados.

3 Componentes do SMG

3.1 *Brazilian Global Atmospheric Model (BAM)*

O BAM é o novo modelo de circulação geral atmosférica do CPTEC/INPE, o qual inclui um novo núcleo dinâmico e o estado da arte em esquemas de parametrizações. O núcleo dinâmico incorpora um esquema semi-lagrangiano de dois passos de tempo monotônico, que é realizado na grade do modelo para o transporte tridimensional de umidade, variáveis prognósticas da microfísica e traçadores.

A versão original do modelo global do CPTEC foi adaptada do *Atmospheric General Circulation Model* (AGCM) do *Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies* (COLA) nos anos 1990, com o intuito do CPTEC realizar previsão numérica de tempo e estudos de clima (CAVALCANTI et al., 2002). Desde então, o código fonte do modelo tem sido aprimorado, com mudanças substanciais no núcleo dinâmico e nos processos físicos, assim como também no projeto do programa. A evolução do AGCM-CPTEC/COLA foi reportada em trabalhos, por exemplo, de Figueroa et al. (2016) e Barbosa et al. (2008), sendo o mesmo testado extensivamente de forma operacional em PNT global em modo determinístico e probabilístico (eg., Cunningham et al. (2015)), assim como também acoplado a um modelo de circulação geral oceânica para realizar previsão climática sazonal e estudos climáticos (e.g., Nobre et al. (2009), Nobre et al. (2013)).

Figueroa et al. (2016) apresentaram o desempenho do BAM para prever chuva tropical e a sensibilidade com relação aos esquemas de convecção e as resoluções horizontais e verticais. Esse modelo ficou em modo experimental durante um ano no CPTEC, três meses em pré-operação e, desde de Janeiro de 2016, o BAM é usado para previsão de tempo operacional no centro. A resolução em uso é T0666L96 (~20 km de resolução espacial), ou seja, truncamento triangular na onda zonal de número 666 e 96 camadas na vertical. O BAM é realizado para PNT de sete dias nos horários 0000 e 1200 UTC, porém futuramente será necessário realizar o mesmo nos horários intermediários, 0600 e 1800 UTC, com previsões de nove horas, para produzir um ciclo de assimilação de seis horas.

Em BONATTI (2013) é apresentado um breve histórico do modelo, assim como também alguns detalhes com relação à formulação e implementação do mesmo. Devido a isso, as seções subsequentes foram baseadas no texto de BONATTI (2013).

3.1.1 Histórico do Modelo

O MCGA em uso no CPTEC tem sua origem naquele usado para previsão de tempo de médio prazo pelo NCEP (então NMC) em 1985. Esse modelo, chamado *Medium Range Forecasting Model* (MRF) pelo NCEP, era uma combinação do código espectral global desenvolvido pelo NCEP e as parametrizações físicas de escala subgrade desenvolvidas no *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL) do NOAA na Universidade de Princeton, Estados Unidos. Esse modelo foi transferido ao COLA, onde foram adicionados, a princípio, cálculos diagnósticos para um melhor entendimento dos processos físicos simulados e de sua importância relativa.

Desde a implantação do MRF do NCEP no COLA, o modelo tem sofrido mudanças significativas por ambos os grupos. À medida que ambas versões evoluíram, as principais mudanças efetuadas pelo NCEP para melhorar a previsão de médio prazo, foram introduzidas pelo grupo de simulação climática do COLA para manter o avanço em conjunto. Por outro lado, devido à natureza experimental das mudanças feitas pelo grupo do COLA, tornou-se pouco prática a adoção de tais mudanças pelo NCEP. Como resultado, os modelos têm divergido, de modo que atualmente existem diferenças substanciais. Apesar de haver muitos pontos em comum, há grandes diferenças no tratamento da radiação, dos processos de superfície e da resolução, entre outras. Uma diferença importante é a existência de um módulo complexo para o tratamento da vegetação, o *Simple Biosphere Model* (SIB).

O CPTEC adotou a versão 1.7 do COLA, que tem truncamento romboidal. Essa versão foi generalizada para truncamento triangular, onde foram introduzidas resoluções horizontal e vertical versáteis, adaptações na geração de arquivos de entrada e saída para as necessidades operacionais do CPTEC, além da utilização de temperatura da superfície do mar média observada da última semana. Essa versão é chamada de versão 1.0 do AGCM-CPTEC/COLA.

3.1.2 O modelo BAM

As leis físicas básicas que governam os movimentos atmosféricos utilizadas pelo MCGA são as leis de conservação de massa e de umidade, de energia e de momentum angular. As equações empregadas incluem as equações da continuidade de massa para o ar seco e vapor d'água, a primeira lei da termodinâmica e as equações do movimento (segunda lei de Newton). A equação para a componente vertical da velocidade (paralela ao vetor força gravitacional) é simplificada para uma relação diagnóstica pois, nas escalas espacial e temporal de interesse, as forças verticais

estão em aproximado balanço hidrostático. O conjunto completo dessas equações é chamado de equações primitivas. O modelo é global em extensão e conforme a um sistema com geometria esférica, onde a altitude é suficientemente pequena para que a distância ao centro da Terra seja aproximadamente constante (igual ao seu raio médio), desde que a distância acima da superfície da Terra seja incluída como variável independente.

As variáveis prognósticas do MCGA são: o logaritmo da pressão à superfície, a vorticidade (componente vertical do rotacional do vento), a divergência do vento horizontal, a temperatura virtual e a umidade específica. Além dessas, existem outras que são previstas nas parametrizações incluídas no modelo, tais como: temperatura de superfície, do interior do solo e do interior do dossel, umidade do solo, entre outras.

As equações do modelo são escritas na forma espectral e as equações do movimento horizontal são transformadas nas equações da vorticidade e da divergência, o que facilita tanto o tratamento espectral quanto a implantação do método semi-implícito de integração no tempo. Existe também um esquema de inicialização utilizando os modos normais do modelo linearizado sobre um estado básico em repouso e com temperatura em função apenas da vertical; essa inicialização inclui os termos referentes aos processos diabáticos.

As equações do modelo são resolvidas por meios numéricos. Como o sistema é altamente não-linear, há que se discretizar as quatro dimensões. O tempo é dividido em passos com espaçamentos regulares fixos e a diferenciação é feita por um método semi-implícito envolvendo as equações da continuidade, da divergência e da termodinâmica, enquanto que as equações da vorticidade e da conservação de umidade específica são tratadas explicitamente; isso é devido ao fato de que as primeiras são as responsáveis pela geração de ondas de alta frequência. As variações espaciais nas duas dimensões horizontais são representadas por coeficientes de projeção sobre uma base de funções que formam um conjunto ortonormal completo, que são particularmente adequadas para movimentos de fluidos com geometria esférica: os harmônicos esféricos (série de Fourier na direção oeste-leste e de Funções Associadas de Legendre na direção sul-norte). Essa representação permite o cálculo analítico das derivadas nas direções horizontais. As derivadas verticais são calculadas por diferenças finitas com espaçamento irregular sobre a coordenada de pressão normalizada (pressão do nível dividida pela pressão à superfície no ponto considerado, chamada coordenada *sigma*). A coordenada *sigma* tem a vantagem de permitir a introdução

muito facilmente da topografia, pois sigma tem valor constante igual a 1 acompanhando a superfície da Terra. O espaçamento vertical é irregular pois é necessária uma resolução maior próximo à superfície, devido aos processos de camada limite e transferência de fluxos de energia entre solo e ar; também é necessária resolução maior na região de interface entre troposfera e estratosfera devido a variações verticais rápidas principalmente no campo de temperatura.

3.1.3 Os Processos Físicos Parametrizados

A superfície da Terra é composta de uma variedade de diferentes plantas, solos e formações geográficas, as quais trocam massa, *momentum* e calor com a atmosfera em graus e modos dos mais variados. O MCGA inclui uma formulação explícita da vegetação sobre a superfície da Terra e seus intercâmbios com a atmosfera e solo, que é baseada em um modelo biosférico simples (SIB). Detalhes sobre esse modelo podem se encontrados em Rocha (1992). A evaporação e os fluxos de calor sensível da superfície dos oceanos para a atmosfera são importantes fontes de energia para a atmosfera; esses efeitos são parametrizados no MCGA de acordo com um esquema aerodinâmico no qual o fluxo é proporcional à velocidade do vento na superfície e à diferença de temperatura ou de umidade entre a superfície do oceano e o ar adjacente.

A camada limite planetária é parametrizada através de um esquema fechado de ordem 2 para a difusão vertical. Os efeitos da mistura de calor, *momentum* e umidade pela turbulência de pequena escala é representada por essa difusão vertical. Os coeficientes de mistura são calculados considerando um balanço local entre a produção e dissipação de energia cinética turbulenta. É considerado também um arrasto topográfico pelas ondas de gravidade como um mecanismo de amortecimento nas equações do movimento; os coeficientes de amortecimento são calculados considerando a variância da silhueta orográfica do modelo.

A radiação é dividida em aquecimento devido às onda curtas (radiação solar) e devido às ondas longas (radiação terrestre). A força propulsora de todos os movimentos atmosféricos relativos à superfície da Terra é o aquecimento devido à absorção de radiação solar. O espectro de emissão pelo Sol tem o pico na banda visível no final dos comprimentos de onda relativamente curtos do espectro eletromagnético. Como os raios solares não são verticais em todas as latitudes há uma forte variação no aquecimento solar sobre o globo. A presença de nuvens na atmosfera também modulam fortemente a absorção de radiação solar. As nuvens são boas espalhadoras de radiação de onda curta e também são responsáveis por uma fração substancial

do albedo planetário em regiões que não são cobertas por gelo. A formulação do aquecimento solar no MCGA inclui o aquecimento atmosférico devido a absorção de radiação solar pelo ozônio. A concentração de ozônio é especificada através de uma média zonal climatológica. Desde que a nebulosidade tem impacto na quantidade de radiação solar que é espalhada e absorvida, a nebulosidade prevista é usada no cálculo do aquecimento solar. O aquecimento devido às ondas curtas é calculado a cada hora do tempo simulado.

Para balancear a absorção de radiação solar, a Terra emite radiação para o espaço resultando na conservação de energia do sistema terra/atmosfera na média global e no tempo. A radiação emitida pela Terra para o espaço tem pico na banda do infravermelho. A emissão de radiação de onda longa pela superfície da Terra pode também ser absorvida por constituintes da atmosfera e pode ainda ser reemitida. A distribuição da emissão pela superfície, bem como das espécies absorventes/emissoras e das nuvens não é uniforme sobre o globo, e então, o aquecimento devido às ondas longas não é igualmente distribuído. A distribuição desigual de aquecimento devido à radiação de ondas curtas e longas induz gradientes de pressão que causam os movimentos atmosféricos. O aquecimento devido à radiação de ondas longas é parametrizado como banda larga e inclui aquecimento atmosférico devido à absorção de radiação terrestre pelo vapor d'água (previsto), pelo dióxido de carbono (especificado), nuvens (previstas) e também por outras espécies radiativamente ativas menos importantes. A quantidade de nuvens é dependente da umidade específica, que é prognosticada, na coluna vertical em questão. O aquecimento atmosférico devido às ondas longas é calculado a cada três horas de tempo simulado.

As parametrizações de aquecimento devido à radiação de ondas curtas e de ondas longas são substancialmente afetadas pela presença de nuvens. Inicialmente, o AGCM do COLA incluía nuvens especificadas usando uma climatologia média zonal do GFDL. Porém, foi mostrado que as nuvens previstas alteram o balanço de energia e proporcionam um reservatório de energia potencial disponível, para gerar movimentos atmosféricos, maior que as nuvens zonalmente simétricas. Então, foi adotado um esquema para considerar esse efeito, que prevê nuvens em três camadas e mais nuvens convectivas profundas. O critério usado para se determinar a quantidade de nuvens em uma dada coluna inclui a umidade relativa e a velocidade vertical para nuvens baixas, médias e altas. A quantidade de nuvens convectivas é baseada na razão de precipitação convectiva prevista na parametrização de convecção profunda.

Os processos úmidos do MCGA incluem a condensação de grande escala, a convec-

ção profunda e a convecção rasa. Entre os processos muito importantes que afetam tanto a dinâmica quanto a termodinâmica da atmosfera, a mudança de fase da água se destaca. Quando uma parcela de ar contendo vapor d'água é resfriada, sua capacidade de reter vapor d'água é reduzida até que a parcela fique saturada. Se a parcela continuar a ser resfriada, o vapor d'água muda para a fase líquida, formando as nuvens. Apesar deste ser um processo complexo envolvendo a disponibilidade de núcleos de condensação de nuvens, ele é tratado de uma forma muito simples pelo MCGA. Sempre que o conteúdo de umidade previsto em um dado volume exceder o valor de saturação, o excesso de vapor d'água é condensado para líquido e transformado em precipitação. Os cálculos são efetuados da camada mais alta do modelo para a mais baixa, incluindo a possibilidade de que a água líquida possa evaporar nas camadas intermediárias do modelo, se estas não estiverem saturadas. A água líquida que chega à superfície é convertida em precipitação. Nem toda condensação tem lugar simplesmente pela supersaturação de volumes do tamanho da grade do modelo, muita da massa de água que é condensada na atmosfera provem de nuvens convectivas de escalas relativamente pequenas. Esta precipitação de convecção profunda pode ser desencadeada pela convergência de fluxo de umidade na escala subgrade em colunas condicionalmente instáveis. Em regiões onde a coluna atmosférica só é condicionalmente instável perto da superfície, podem ser induzidos emborcamentos verticais nas escalas subgrade. As nuvens cumulos rasas resultantes não produzem necessariamente precipitação, mas atuam no sentido de transportar calor e umidade para cima. A convecção rasa é parametrizada através de um aumento da difusão vertical de calor e umidade.

Além dos processos físicos já descritos, são considerados ajustes difusivos: a difusão horizontal e a local. A difusão horizontal é necessária para controlar ruídos de pequena escala que surgem no modelo. A origem de tais ruídos são: (a) os efeitos do truncamento espectral finito, que interrompe a cascata de enstrofia e/ou energia para escalas pequenas; (b) ondas de gravidade de pequena escala causadas pelos processos físicos subgrade; (c) efeitos puramente computacionais. Desde que as escalas maiores, bem resolvidas, não devem ser afetadas é utilizado um tipo de difusão seletivo de escala bi-harmônico. A difusão local torna-se necessária em regiões onde o jato é muito forte podendo comprometer a estabilidade numérica de integração no tempo. Para manter o jato em valores compatíveis com os critérios de estabilidade numérica, é feita uma dissipação local Newtoniana toda vez que o vento ultrapassar um valor crítico pré-definido.

3.1.4 Condições Iniciais e de Contorno

As condições iniciais do modelo são coeficientes espectrais de: logaritmo da pressão à superfície, temperatura virtual, divergência horizontal, vorticidade vertical e umidade específica. A topografia é tratada em forma espectral, de modo que é representada por um série truncada, sujeita a problemas como o efeito Gibbs.

A condição de contorno superior do MCGA é uma restrição cinemática que impõe velocidade vertical, em coordenada sigma, nula em todos os pontos na superfície e no topo do modelo, para satisfazer a conservação de massa. Essa restrição é usada na solução das equações através da diferenciação vertical em coordenada sigma.

Para representar os processos atmosféricos em escala de tempo climática de um mês ou mais, os campos na superfície da Terra que mais significativamente afetam a atmosfera devem ter variação no tempo. Esses campos incluem a temperatura de superfície sobre os continentes e oceanos, considerando tanto água livre como gelo do mar, umidade do solo, albedo da superfície e altura de neve. Dentre esses campos, os de temperatura de superfície continental, temperatura do gelo do mar e altura de neve variam muito rapidamente com o tempo e devem ser tratados como variáveis prognósticas no modelo, tornando-os acoplados com a atmosfera, mesmo em escalas de tempo menores. Os demais campos podem também ser tratados como variáveis prognósticas, porém variam de forma suficientemente lenta para que sejam considerados como condições de contorno do modelo, podendo variar independentemente com o tempo. Assim procedendo, as respostas atmosféricas a esses campos podem ser determinadas sem a consideração de resíduos armazenados em cada um desses campos. À medida que o conhecimento da correspondente resposta atmosférica a esses campos aumentar, eles também se tornarão variáveis prognósticas do modelo.

3.1.5 Estrutura Vertical

A resolução vertical utilizada operacionalmente pelo BAM é de 64 camadas. A seguir é apresentada uma tabela dos valores de pressão para cada interface (p_i), de camada (p_c) e sua espessura (dp) em hPa do BAM configurado para 64 camadas, acompanhadas dos valores correspondentes de altura geopotencial (Z) em m , altura geométrica (h) em m , temperatura (T) em K e densidade (ρ) em kg/m^3 , obtidas considerando a versão de 1976 da atmosfera padrão fornecida pela Organização de Aviação Civil Internacional. Com isso, essa estrutura apresenta 33 camadas localizadas na troposfera, 12 na tropopausa, 17 na estratosfera, 1 na estratopausa e 1 na mesosfera.

3.1.6 Descrição dos dados necessários para a realização do BAM

São necessários 4 tipos de dados para a realização do BAM:

Análises do NCEP

Nestes arquivos existem as condições iniciais da atmosfera fornecido pelo NCEP.

- As variáveis contidas nestas análises são: Pressão à superfície, Temperatura do ar, Vorticidade, Divergência, Umidade específica, Ozônio e Conteúdo total de água na nuvem. As duas últimas variáveis não são utilizadas pelo BAM;
- Frequência dos dados: a cada 6 horas;
- Origem dos dados: Os dados são gerado pelo NCEP e armazenados em “/stornext/oper/tempo/externos/Download/NCEP/YYYYMM”;
- Exemplo de nome do arquivo: gdas1.T18Z.SAnl.2013013118;

Arquivos de TSM

Nestes arquivos há a temperatura da superfície do mar no globo fornecido pelo NCEP.

- Frequência dos dados: 6 horas;
- Origem dos dados: Os dados são gerado pelo NCEP e armazenados em “/stornext/oper/tempo/externos/Download/NCEP/YYYYMM”;
- Exemplo de nome do arquivo: gdas1.T00Z.sstgrb2.2013013112.

Arquivos de NEVE

Nestes arquivos há dados a respeito de neve na superfície do globo fornecido pelo NCEP.

- Frequência dos dados: a cada 6 horas;
- Origem dos dados: Os dados são gerado pelo NCEP e armazenados em “/stornext/oper/tempo/externos/Download/NCEP/YYYYMM”
- Exemplo de nome do arquivo: gdas1.T00Z.snogrb2.2013013112.

Arquivos de Umidade do Solo

São arquivos que contém a umidade do solo em mm^3/mm^3 e precipitação em superfície em mm para todo o globo fornecido pelo *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) da NOAA.

- Frequência dos dados: 12 horas;
- Origem dos dados: Os dados são gerado pelo GPCP e armazenados em “/stornext/oper/tempo/Umid_Solo/YYYYMM”;
- Local dos dados: Os dados foram copiados para “/scratchout/grupos/asim_dados/home/claudio.pavani/dados_bam”;
- Exemplo de nome do arquivo: GL_SM.GPNR.2013013112.vfm, GL_SM.GPNR.2013013112.ctl;

3.1.7 Melhorias no pré-processamento

Antes:

```
AGCM

Environment (variaveis de ambiente da shell)

runPre
    serie de ifs replicando codigo desnecessariamente
    1704 linhas de codigo

run_NomeDoProcesso.bash
    cria namelist e submete de forma diferente cada processo
    7083 linhas de codigo

    dificil manutencao do grande numero de scripts
    falhas/demora na submissao e logs das saidas
    dificuldade em encontrar os erros

total: ~ 8800 linhas
```

Depois:

```
BAM
```

```

3 arquivos para fazer todo o pre-processamento:
Environment + runPre (1217 linhas) + namelist.runPre (770 linhas)

-mais facil manutencao
-mais rapida e eficiente submissao dos processos
-checagem das saidas e logs de cada processo de forma eficiente e
robusta
-fornece o tempo da execucao de cada processo

total: ~ 2000 linhas

```

3.1.7.1 Nova estrutura

Antes:

```

AGCM

runPre:

NomeDoProcesso = 0 ou 1
if [ NomeDoProcesso -eq 1]; then
    executa arquivo bash (cria namelist e submete processo)
    aguarda saida do processo
fi

```

Depois:

```

BAM

namelist.runPre:

    NomeDoProcesso = 0 ou 1
    informacoes para geracao do namelist dos processos

runPre:

    le namelist.runPre (cria arquivo .listapre)
    while read linha; do
        cria namelist para o processo
        cria arquivo bash
        submete arquivo bash
        WaitUntil saida do log (+ checagem dos arquivos de saida)
    done < .listapre

```

Portanto, houve redução de aproximadamente 6800 linhas de código shell. Além disso, houve ganho no desempenho e facilidade para encontrar falhas no pré-processamento.

3.2 *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI)

3.2.1 Assimilação de Dados

No princípio, a previsão de tempo era um processo aleatório, impreciso e não confiável. As observações eram esparsas e irregulares, especialmente nos altos níveis da atmosfera e sobre os oceanos. Os princípios da física teórica desempenhavam um papel muito pequeno ou nenhum nas previsões diárias. O previsor usava técnicas mais brutas de extrapolação empregando conhecimentos sobre a climatologia local e suposições baseadas em sua intuição, fazendo com que as previsões fossem mais uma arte do que uma ciência. Após a tentativa de PNT por Richardson nos anos 1920 - que na época parecia irrealizável, um número de desenvolvimentos chave nas décadas seguintes criaram as condições para o progresso da mesma (Lynch (2008)).

Com o desenvolvimento de técnicas avançadas de modelagem em computadores, a melhoria dos instrumentos de medição, o desenvolvimento de novas metodologias - em especial as baseadas em satélites, e a densificação das redes terrestres de observações bem como das técnicas de processamento de dados, tem-se alcançado uma melhoria nas previsões de tempo e clima (Shuanggen et al. (2013)). Porém, existe um grande esforço por parte dos centros operacionais de PNT em diminuir as incertezas presentes ainda nas respectivas previsões. Segundo Palmer e Hagedorn (2006) as previsões de tempo e clima são necessariamente incertas, existindo três razões fundamentais: incerteza nas observações usadas para definir o estado inicial da atmosfera (condição inicial ou análise dos modelos), incerteza no modelo de previsão usado (característica intrínseca ou sistemática) e incertezas em parâmetros externos (como conteúdo de CO_2 e aerossóis na atmosfera).

Com vistas em prover uma condição inicial que produza a melhor previsão possível a partir de um modelo numérico, surge o processo denominado Assimilação de Dados, o qual combina uma previsão de curto prazo com observações e busca uma solução chamada de análise que apresente um erro mínimo (Kalnay (2003)). A análise criada deve ser consistente com o método numérico, dinâmica, física e resolução do modelo. Nesse processo são realizadas uma série de pequenas correções aos campos previstos a curto prazo pelo modelo (*background*) com base nas informações contidas nas observações. A eficiência do processo é diretamente associada com a quantidade,

qualidade e distribuição homogênea dos dados observacionais sobre todo o globo terrestre.

Inicialmente a climatologia era usada como background, mas com a evolução na resolução temporal das previsões, as de curto prazo passaram a ser usadas nessa função nos ciclos dos sistemas de assimilação de dados operacionais. O ciclo de assimilação de dados é como uma integração longa do modelo de forma que o mesmo caracterize adequadamente o estado real da atmosfera; tipicamente usa-se um ciclo de 6 horas realizado 4 vezes ao dia. Em um ciclo de 6 horas para um modelo de escala global, a previsão de curto prazo é tipicamente uma previsão de 6 horas (x_b , um vetor representando os estados do modelo) anteriores ao horário da análise. Para se obter previsão correspondente das observações, o modelo de previsão é interpolado para a localização da observação, sendo que as variáveis do modelo são convertidas nas variáveis observadas (y_o , um vetor representando as quantidades observadas de cada variável), tal é o caso das observações de satélite (eg., radiância) ou de radar (eg., refletividade). Estas observações correspondentes são então o resultado da aplicação de um operador observação (\mathbf{H} , uma matriz), o qual realiza uma transformação das variáveis do modelo para as variáveis observadas ($H(x_b)$, representa essa matriz de transformação). Cabe lembrar que essa transformação também trata a localização espacial das observações na grade regular do modelo através de interpolação linear. Com o modelo interpolado para o espaço das observações, ambas as quantidades são comparadas de forma que seja possível calcular a diferença $[y_o - H(x_b)]$, a qual denota os incrementos observacionais (Kalnay (2003)). A análise x_a (um vetor com os estados analisados) é então obtida adicionando as inovações aos campos previstos pelo modelo de previsão ponderado pela matriz peso \mathbf{W} (representada pela razão entre as matrizes de covariância dos erros de observação e a soma das matrizes de covariância dos erros de *background* e de observação), que é determinada com base nas covariâncias estimadas dos erros estatísticos dos campos previstos pelo modelo (matriz \mathbf{B}) e observações (matriz \mathbf{R}). Na Equação 3.1 se define a obtenção da análise como mencionado anteriormente. A obtenção passo a passo pode ser encontrada em BASTARZ (2014):

$$x_a = x_b + (\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} [(\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1})(y_o - H(x_b))] \quad (3.1)$$

Com o aprimoramento dos microcomputadores e a crescente rede de observações meteorológicas, diferentes esquemas de análises foram desenvolvidos, dentre eles: o *Successive Correction Method* (SCM), *Optimal Interpolation* (OI), 3D e 4D *Variati-*

onal Assimilation (3DVar e 4DVar) e os *Extended e Ensemble Kalman Filters* (EKF e EnKF), os quais baseiam-se em encontrar a análise a partir da equação anterior. Porém diferem pela abordagem adotada para combinar a previsão de curto prazo e as observações para produzir a análise. Além disso, diferem também na forma como é obtida a matriz de pesos \mathbf{W} (onde $\mathbf{W} = [\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}]^{-1} [\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1}]$): os pesos são uma função da distância entre a observação e o ponto de grade, sendo que \mathbf{W} estipula diferentes pesos aos erros de previsão e das observações. Estes atingem valores tanto maiores quanto menores conforme a incerteza associada a cada um oscilando entre 0 e 1, e a matriz se reduz a uma do tipo diagonal quando os erros são não correlacionados (ie., independentes entre si), o que é comumente considerado. Em OI, a matriz \mathbf{W} é determinada a partir da minimização dos erros da análise em cada ponto de grade. Para o caso de um sistema 3DVar é definida uma função custo proporcional ao quadrado da distância entre a análise e ambos, previsão e observações; cada distância é ponderada pelas respectivas matrizes de erros \mathbf{B} e \mathbf{R} . A função custo é minimizada utilizando-se algoritmos específicos (eg., métodos Newtonianos) para se obter a análise, permitindo maior flexibilidade e o uso global simultâneo dos dados. A função custo variacional tridimensional tem a seguinte forma conforme a Equação 3.2:

$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x_b)^T \mathbf{B}^{-1}(x - x_b) + \frac{1}{2}(y_o - H(x))^T \mathbf{R}^{-1}(y_o - H(x)) \quad (3.2)$$

Em que:

- x : vetor com os estados analisados;
- x_b : vetor com os estados de previstos;
- \mathbf{B} : matriz covariância dos erros de previsão;
- H : operador de observação não linear;
- y_o : vetor com as quantidades observadas;
- \mathbf{R} : matriz de covariância dos erros das observações.

O segundo termo da função custo J , é o termo mais importante para a utilização de dados de satélite e de, eg., rádio ocultação por GPS. A minimização de J é obtida quando $x = x_a$ (ou seja, quando x atinge o valor analisado durante a minimização) que é definida como a análise, calculando-se o gradiente de J e igualando-se a zero.

Quando isto ocorre, encontra-se a variância mínima do erro da análise. O problema de minimização representado, é geralmente de dimensão muito grande e não linear. Isso deve ser resolvido por técnicas numéricas iterativas, as que envolvem o cálculo do gradiente da função custo (Equação 3.3):

$$\nabla_x J(x) = 0 \quad (3.3)$$

Nos trabalhos de [Barker et al. \(2003\)](#), o método 3DVar é descrito com mais detalhes. No caso do método 4DVar, a abordagem variacional se estende a quatro dimensões incluindo dentro da função custo, a distância às observações em um intervalo de tempo de tipicamente 6 horas ([KALNAY, 2003](#)). A janela de assimilação é definida como o tempo durante o qual os dados serão considerados todos de uma vez ([BLAYO et al., 2016](#)). Estes dois últimos métodos são os mais usados nos centros operacionais de PNT fundamentalmente pela facilidade que o estrutura variacional fornece de incorporar-se diretamente alguns tipos de observações não convencionais, tais como as radiâncias de satélites, refratividade advinda da rádio ocultação por GPS, refletividade e a velocidade radial dos radares meteorológicos.

3.2.2 Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão

Uma correta avaliação das matrizes de covariância \mathbf{R} e \mathbf{B} é fundamental para a qualidade final da análise. A matriz covariâncias dos erros dos erros de previsão é a parte mais importante do método de análise variacional para determinar o raio de impacto, distribuição e relações dos incrementos da análise. Ela desempenha um papel muito importante em determinar a qualidade da análise variacional para modelos de PNT, pois controla qual porcentagem da inovação ($y - H(x)$) se converte em incremento de análise ($x - x_a$), como cada observação impacta na horizontal e na vertical, além de especificar o balanço entre diferentes variáveis de análise ([DTC, 1991](#)). A matriz de covariância dos erros de previsão determina a disseminação do incremento de análise entre os pontos de observação, fornecendo informações de balanço em regiões sem dados. É por este motivo que desempenha um papel importante, principalmente em áreas de dados esparsos. Como foi mencionado, na assimilação de dados, o *background* se corresponde com as previsões do modelo no passo de tempo anterior, de forma que a matriz \mathbf{B} pode ser definida como a covariância dos erros da previsão do modelo da seguinte forma (Equação 3.4):

$$[\text{Previsão}(x) - \text{Verdade}(x_{\text{verdadeiro}})] \quad (3.4)$$

Tendo em conta que o estado atual da atmosfera ($x_{verdadeiro}$) não pode ser completamente determinado, os erros da previsão precisam ser estimados. Quando se estima os erros da previsão, os métodos mais comuns são o método NMC (National Meteorological Center) (PARRISH; DERBER, 1992) e o método por conjunto (FISCHER, 1999), além do método da observação (LÖNNBERG; HOLLINGSWORTH, 2011). No método NMC, os erros da previsão são estimados com a diferença típica de um par de previsões de 48 e 24 horas (como é utilizado na modelagem global) - previsões estas válidas para o mesmo tempo. No caso do modelo WRF/3DVar, estes pares representam previsões de 24 e 12 horas. No método por conjunto, os erros da previsão são estimados com perturbações obtidas a partir de conjunto previsões, realizando-se a diferença $x - \bar{x}$, onde \bar{x} representa a média do conjunto (DTC, 1991).

Dada à dimensão das variáveis do modelo, a dimensão completa da matriz \mathbf{B} é demasiadamente grande, tipicamente da ordem de $10^6 \times 10^6$, não podendo ser armazenada em qualquer computador. Esse problema é simplificado usando uma escolha ideal de variáveis de análise para as quais a análise será realizada. Estas são geralmente referidas como variáveis de controle da análise, as que são selecionadas de tal modo que as correlações cruzadas entre estas variáveis sejam mínimas, o que significa menos termos fora da diagonal em \mathbf{B} . Matematicamente, a matriz \mathbf{B} (Equação 3.5) é uma matriz do tipo variância-covariância (em que as variâncias são dispostas na diagonal principal e as covariâncias nas diagonais secundárias):

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

A dependência cruzada entre as variáveis de controle da análise é removida (de forma que sejam independentes entre si). O balanço entre as variáveis de análise (tal como massa e campos de vento) é alcançado com coeficientes de regressão pré-calculados. Além disso, os erros da previsão são modelados como uma distribuição Gaussiana com variâncias pré-calculadas e parâmetros de comprimento de escala para cada uma dessas variáveis (DTC, 1991).

Na matriz covariância dos erros da observação (\mathbf{R}), durante o processo de assimilação de dados as correlações entre os diferentes instrumentos de medição usualmente são assumidas como zero, de modo que \mathbf{R} é assumida como uma matriz diagonal com as

variâncias entre as observações na diagonal principal. Nos sistemas de assimilação de dados esta matriz é carregada inicialmente no sistema.

3.2.3 *Gridpoint Statistical Interpolation*

O *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI) é um sistema de assimilação de dados variacional unificado para modelagem global e regional. O GSI foi inicialmente desenvolvido pela NOAA e o NCEP como um sistema de análise baseado no anterior sistema operacional, o SSI. No NCEP foi implementado operacionalmente em maio de 2007, acoplado ao modelo GFS. Atualmente, este sistema é mantido pelo DTC (DTC, 1991). O GSI permite realizar uma análise atmosférica sobre um domínio específico (global ou regional) na qual os campos das variáveis, a partir do modelo de previsão, são combinados com as observações disponíveis usando a técnica 3DVar. A partir da versão 3.3, o GSI passou a suportar também um sistema híbrido *ensemble-3DVar*, o que possibilita melhorar o tratamento dado à modelagem das covariâncias representadas na matriz \mathbf{B} . Na Divisão de Modelagem e Desenvolvimento (DMD) do CPTEC ambas as possibilidades de aplicação (global e regional, além das técnicas 3DVar e híbrida) vêm sendo utilizadas nas atividades com assimilação de dados.

O GSI é o sistema de assimilação usado também junto ao modelo de previsão WRF para a realização das previsões em alta resolução espacial sobre a América do Sul, como parte do SMR (Sistema de Modelagem Regional). Mais detalhes podem ser encontrados em <<http://projetos.cptec.inpe.br/projects/gto/wiki/>>.

3.2.3.1 **Dados de Entrada do GSI**

São necessários três tipos de dados de entrada para o GSI: o *background*, as observações e os dados fixos (que não variam no tempo). Todos esses devem ser disponibilizados antes do início de sua realização. Tendo em conta que o GSI está desenhado para realizar testes de pseudo-observações simples (como o teste “single-obs”), este caso pode ser executado sem qualquer observação.

O GSI é capaz de analisar vários tipos de dados observacionais, entre os quais se incluem as observações de radiância a partir de satélites, de GPS, dados de radar e outros. As observações são complexas e muitas precisam ser convertidas para o formato de entrada do modelo e devem passar por um controle de qualidade antes de serem utilizadas pelo GSI. Este sistema assimila as observações guardadas em formato BUFR, com as características especificadas pelo NCEP, ou em formato PreBUFR uma vez que processadas por esse centro.

Um exemplo das observações tipicamente assimiladas no CPTEC com o correspondente exemplo de arquivo BUFR ou PreBUFR, é mostrado a seguir.

- a) Observações convencionais incluindo observações de ventos zonal e meridional, temperatura, umidade específica e pressão à superfície, obtidas por meio de radiossondas, dropsondas, estações de superfície continental e marítima, sensores em aeronaves; balões pilotos, perfis, vetores de movimento atmosférico obtidos por imagens de satélites, radares Doppler e dados sintéticos (eg., arquivo `gdas1.t18z.prepbufr.nr.20140903`).
- b) Observações de radiâncias, incluindo os dados de:
 - *Microwave Humidity Sounder* (MHS) a bordo dos satélites NOAA-18 e 19 e do satélite MetOp-A (eg., arquivo `gdas1.t18z.1bmhs.tm00.bufr_d.20140903`);
 - *High-Resolution Infrared Radiation Sounders/3* (HIRS/3) a bordo dos satélites NOAA-18 e 19, e do satélite MetOp-A (eg., arquivo `gdas1.t18z.1bhirs3.tm00.bufr_d.20140903`);
 - *High-Resolution Infrared Radiation Sounders/4* (HIRS/4) a bordo dos satélites NOAA-18 e 19, e do satélite MetOp-A (eg., arquivo `gdas1.t18z.1bhirs4.tm00.bufr_d.20140903`);
 - *Advanced Microwave Sounding Unit-A* (AMSU-A) a bordo dos satélites NOAA-15, 16, 17, 18 e 19, e do satélite MetOp-A (eg., arquivo `gdas1.t18z.1bamua.tm00.bufr_d.20140903`);
 - *Infrared Atmospheric Sounding Interferometer* (IASI) a bordo do satélite MetOp-A (eg., arquivo `gdas1.t18z.mtiasi.tm00.bufr_d.20140903`).
- c) Observações de refratividade e ângulos de curvatura provenientes de rádio ocultação por GPS, incluem os dados de:
 - do receptor *Integrated GPS Occultation Receiver* (IGOR) a bordo dos satélites COSMIC e TerraSAR-X (eg., arquivo `gdas1.t18z.gpsro.tm00.bufr_d.20140903`);
 - do receptor *GNSS Receiver for Atmospheric Sounding* (GRAS) a bordo dos satélites MetOp-A e MetOp-B (eg., arquivo `gdas1.t18z.gpsro.tm00.bufr_d.20140903`).

Uma vez que os dados são disponibilizados para a rodada, eles podem ser utilizados (opção 1), não utilizados (opção 0) ou monitorados (opção -1) dentro do GSI; a

entrada de cada um é dada pelo usuário no *namelist*. Uma das vantagens de realizar o sistema sem alguma observação (“zero-obs”) é para verificar, por exemplo, como a injeção de umidade modifica os campos de *background*. Se a rodada é no modo de pseudo observação simples (“single-obs”), na qual não é preciso nenhum arquivo BUFR, o usuário deve especificar a informação sobre a observação a ser testada na seção “SINGLEOB_TEST” do *namelist*.

O GSI também precisa ler informações específicas a partir de arquivos estatísticos, de configuração, de correção de viés e arquivos contendo os coeficientes para o CRTM. Os dados contidos nesses arquivos são referidos como fixos e se encontram em um diretório chamado “fix/” com exceção dos coeficientes do CRTM. Como cada sistema operacional é diferente, para cada um deles o conjunto de arquivos fixos varia de acordo com o modelo de previsão empregado, como por exemplo, o arquivo com as covariâncias dos erros do *background* (matriz \mathbf{B}) calculado com base nas previsões do modelo GFS ou o *North American Mesoscale Forecast System* (NAM).

Exemplos de alguns dos arquivos fixos são apresentados na Figura 3.1:

Nome do arquivo usado no GSI	Conteúdo	Exemplo de arquivos em fix/
anavinfo	Arquivo de informação para escolher variáveis de análise	anavinfo_arw_netcdf anavinfo_ndas_netcdf global_anavinfo.l64.txt anavinfo_rtma_gust_vis_7vars
berror_stats	covariância do erro do background	nam_nmmstat_na.gcv nam_glb_berror.f77.gcv global_berror.l64y386.f77 new_rtma_regional_nmm_berror.f77.gcv
errtable	Tabela de erros da observação	nam_errtable.r3dv prepobs_errtable.global
<i>Arquivos de controle de dados observação</i>		
convinfo	Arquivo de informação de observações convencionais	global_convinfo.txt nam_regional_convinfo.txt new_rtma_regional_convinfo.txt
satinfo	Arquivo de informação dos canais dos satélites	global_satinfo.txt
pcpinfo	Arquivo de informação observação taxa de precipitação	global_pcpinfo.txt
ozinfo	Arquivo de informação observação de ozônio	global_ozinfo.txt
<i>Lista de Correção de Viés e Rejeição</i>		
satbias_angle	Arquivo de correção de viés da dependência do ângulo de varredura do satélite	global_satangbias.txt
satbias_in	Arquivo dos coeficientes de correção do viés da masa do satélite	sample.satbias
t_rejectlist, w_rejectlist...	Lista de rejeição para T, wind, et al. em RTMA	new_rtma_t_rejectlist

Figura 3.1 - Lista de arquivos fixos do GSI, conteúdo e exemplos.

O vetor com as variáveis de controle de minimização no GSI é composto pelas seguintes variáveis: função de corrente; potencial de velocidade, temperatura, pressão em superfície e umidade pseudo-relativa desbalanceadas; razão de mistura do ozônio; e total de água condensada nas nuvens. Após o GSI completar a minimização da função custo, os campos atualizados são levados às variáveis do modelo de previsão como pressão em superfície, temperatura virtual, divergência, vorticidade, umidade específica, ozônio e razão de água líquida de nuvem.

3.2.3.2 Algoritmo do *script* para realizar o GSI

O *script* para realizar o GSI é o encarregado de criar o ambiente de sua execução. Esse *script* é o “run_gsi.sh”, o qual inclui os seguintes passos:

- a) Solicita os recursos computacionais para realizar o GSI;
- b) Escolhe as variáveis de ambiente para a arquitetura da máquina;
- c) Escolhe as variáveis experimentais (tais como o nome do experimento, tempo da análise, *background* e observações);
- d) Verifica as definições das requeridas variáveis;
- e) Cria um diretório de realização para o GSI (chamado também de diretório de trabalho ou temporário);
- f) Copia o executável do GSI para o diretório de realização;
- g) Copia o arquivo do *background* no diretório de realização e cria um arquivo índice listando a localização e o nome dos membros do conjunto, se for uma rodada híbrida utilizando um conjunto de previsões;
- h) Cria um *link* das observações ao diretório de realização;
- i) Cria um *link* dos arquivos fixos de estatística, controle e coeficientes do CRTM no diretório de realização;
- j) Cria o *namelist* do GSI;
- k) Submete o executável do GSI, e;
- l) Realiza o pós-processamento: salva os resultados da análise, gera arquivos de diagnósticos e limpa o diretório de realização.

O usuário precisa apenas realizar modificações em partes específicas para executar um experimento de interesse, especificamente, ajustar o seu ambiente computacional próprio, apontar aos corretos arquivos e diretórios de entrada/saída e escolher os tipos de observação a serem usados bem como as fontes dos mesmos.

Por exemplo, as observações que podem ser analisadas pelo GSI são listadas na seção “dfile” na seção “OBS_INPUT” do *namelist*, como mostrado na Figura 3.2.

```

dfile(01)='prepbufr', dtype(01)='ps', dplat(01)=' ', dsis(01)='ps', dval(01)=1.0, dthin(01)=0, dsfcalc(01)=0,
dfile(02)='prepbufr', dtype(02)='t', dplat(02)=' ', dsis(02)='t', dval(02)=1.0, dthin(02)=0, dsfcalc(02)=0,
dfile(03)='prepbufr', dtype(03)='q', dplat(03)=' ', dsis(03)='q', dval(03)=1.0, dthin(03)=0, dsfcalc(03)=0,
dfile(04)='prepbufr', dtype(04)='pw', dplat(04)=' ', dsis(04)='pw', dval(04)=1.0, dthin(04)=0, dsfcalc(04)=0,
dfile(05)='satwnd', dtype(05)='uv', dplat(05)=' ', dsis(05)='uv', dval(05)=1.0, dthin(05)=0, dsfcalc(05)=0,
dfile(06)='prepbufr', dtype(06)='uv', dplat(06)=' ', dsis(06)='uv', dval(06)=1.0, dthin(06)=0, dsfcalc(06)=0,
dfile(07)='prepbufr', dtype(07)='spd', dplat(07)=' ', dsis(07)='spd', dval(07)=1.0, dthin(07)=0, dsfcalc(07)=0,
dfile(08)='prepbufr', dtype(08)='dw', dplat(08)=' ', dsis(08)='dw', dval(08)=1.0, dthin(08)=0, dsfcalc(08)=0,
dfile(09)='radarbufr', dtype(09)='rw', dplat(09)=' ', dsis(09)='rw', dval(09)=1.0, dthin(09)=0, dsfcalc(09)=0,
dfile(10)='prepbufr', dtype(10)='sst', dplat(10)=' ', dsis(10)='sst', dval(10)=1.0, dthin(10)=0, dsfcalc(10)=0,

```

Figura 3.2 - Observações analisadas pelo GSI.

Com respeito às covariâncias dos erros do *background*, erros das observações e arquivos de informação de análise disponíveis, o GSI oferece duas possibilidades: uma advinda do GFS e outra do NAM. Tendo em conta que no escopo do projeto RMS, o sistema foi configurado para usar como entrada o *background* do GFS, as estatísticas correspondentes a esse modelo são as utilizadas. Para o caso do SMG, foi calculada uma nova matriz de covariâncias utilizando os pares de previsões do BAM. Mais informações sobre esta nova matriz são fornecidas na Seção 4.1.

Todas as modificações realizadas nas seções seguintes do *script* “run_gsi.sh” conformarão o *namelist* do GSI, e serão carregadas no arquivo “gsiparm.anl”, entre as quais se encontra:

SETUP:

- Configuração dos *loops* interno e externo (“miter” para o número de *loops* externos de análises; “niter(1)” para número máximo de iterações do *loop* interno para o primeiro *loop* externo; no *loop* interno será determinado quando é atingido o número máximo de iterações definido nessa seção, ou quando se atinge a condição de convergência, ou quando falha essa condição; “niter(2)” para o número máximo de iterações do segundo *loop* externo, sendo que os *loops* internos dependerão do índice dos *loops* externos);
- Tempo da janela de assimilação (atualmente é escolhida uma janela de 6 horas em torno dos horários sinóticos 0000, 0600, 1200 e 1800 UTC);
- Leitura dos arquivos de diagnóstico do GSI (os arquivos de diagnóstico são misturados e categorizados com base no *loop* externo e no tipo de dado. Escolhendo a variável “write_diag” como verdadeira, o GSI escreve informações de diagnóstico de saída para cada estação de observação, diga-se informações sobre as inovações (OMF ou Observação menos *Background*) e sobre o incremento das análises (OMA ou Observação menos Análise)

calculadas durante o *loop* externo, informações que são muito úteis para checar os detalhes das análises);

- Uso da variável de controle para a unidade, sendo possível duas escolhas “qoption=1” ou “2”, se “1” será usada a pseudo unidade relativa e se “2”, a unidade relativa normalizada; o estudo de CAMPOS e al. (2016) mostra os resultados da escolha da opção “1”. Para a assimilação de dados atualmente a opção que está definida por padrão é a “2”.

GRIDOPTS: Informações sobre os pontos da grade;

BKGERR: Define como serão utilizadas as covariâncias dos erros de *background* no GSI (na variável “vs”, se configura o fator de escala para o comprimento de correlação vertical, e em “hzscl” se configura os fatores de escala para o suavização na horizontal. Os fatores de escala para a variância de cada variável de análise são escolhidos no arquivo “anavinfo”, onde se encontra a informação sobre a covariância dos erros do *background*).

OBSQC: Configura as informações sobre os controles de qualidade para as observações;

OBS_INPUT: Configura informações de entrada das observações (de forma que o GSI reconheça as observações e os arquivos das mesmas, para entrar em cada ciclo);

SUPEROB_RADAR: Informações de entrada sobre super-observações de radar;

SINGLEOB_TEST: Configura o ambiente para quando se realiza um teste de uma observação simples (a opção é “oneobtest=.true.”, e seguidamente se escolhe a localização da observação e a variável a ser testada), indicando-se as magnitudes do erro da observação escolhida e da inovação.

Informações mais detalhadas sobre cada seção no *script* “run_gsi.sh” podem ser encontradas na guia de usuário do GSI - Capítulo 3, disponível em <<http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/downloads/index.php>>.

Depois que o usuário configurar as entradas de dados e todo o ambiente para a realização do GSI, o mesmo é executado. Um ponto que deve ser destacado para um maior entendimento do usuário sobre como funciona o GSI, é como o seu código está estruturado.

3.2.3.3 Estrutura de Código do GSI

Para acessar o código do GSI o usuário deve estar cadastrado no Sistema de Gestão de Projetos Redmine do Grupo de Assimilação de Dados do CPTEC (<<https://projetos.cptec.inpe.br/projects/smg>>). Uma vez na página inicial do projeto, deve-se entrar em Repositório no ramo *trunk*, onde se encontra a última versão do código do GSI do SMG. A continuação entrar em “/gsi/src/”, onde a versão implementada do GSI é a 3.3. Estando nessa pasta, acessar à “/main” onde serão encontrados todos os arquivos necessários para a execução do código do GSI.

No sistema GSI na versão 3DVar, a análise é encontrada pela minimização da função custo J da Equação 3.2. A partir dessa equação é possível obter a Equação 3.1 e vice-versa, de forma que dentro do código do GSI cada parte a minimização da função custo é calculada de forma separada, definindo-se subrotinas condutoras para o cálculo da análise, como será visto.

O código do GSI está dividido em três fases fundamentais: inicialização, execução e finalização, as quais à sua vez, estão interligadas com outros subprogramas, módulos, bibliotecas e variáveis de interesse que funcionam de forma independente. As três subrotinas são chamadas na subrotina principal “gsimain”, a qual constitui uma fonte importante de informação, pois além do histórico das atualizações realizadas no código, apresenta a lista de códigos de saída do GSI com a qual é possível determinar e resolver qualquer erro interno que passível de ocorrer (DTC, 1991).

Alguns dos códigos de saída mostram-se a continuação:

```
Exit states
cond = 0 – successful run
      = 24 – problem in update_start_date
      = 31 – extrapolation error (interp_a2e)
      = 73 – incompatible horizontal or vertical resolution for
statistics (prewgt)
      = 74 – error reading regional or global guess file
      = 75 – error writing regional or global analysis file
      = 76 – error reading guess solution(glbsoi)
      = 77 – error reading pcpinfo file(pcpinfo)
      = 78 – incorrect number of records in pcpinfo file(pcpinfo)
      = 79 – problem reading satellite information file (radinfo)
      = 80 – problem reading global surface guess file (inguesfc ,
rdsfull , wrsfca)
      = 81 – surface guess field tag not yet supported (inguesfc ,
rdsfull
```

```

= 82 – problem writing global surface analysis file (wrsfca)
= 83 – problem in gps statistics generating code (genstats*)
= 84 – buffer size too small for radar data (read_radar)
= 85 – guess resolution incompatible with namelist (gsisub)
= 86 – too many profile levels (read_gps_ref)
= 87 – too many input observation files(assumed max is 55)(gsisub
)
= 88 – failure in radiative transfer code (rad_tran_k)
= 89 – problem reading namelist input (gsimain.F90)
= 91 – incompatible observation and analysis dates (read_lidar)
= 92 – incompatible observation and analysis dates (read_radar)
= 93 – incompatible observation and analysis dates (read_pcp)
= 94 – incompatible observation and analysis dates (read_prepbuf
)
= 95 – incompatible observation and analysis dates (read_ozone)
= 96 – incompatible observation and analysis dates (read_gps_ref)

```

As subrotinas “gsimain_initialize”, “gsimain_run” e “gsimain_finalize” são chamadas nas últimas linhas do código em “gsimain”, porém, elas estão previamente definidas no módulo “gsimod” definindo os passos fundamentais para a execução de cada uma. A seguir, serão explicadas em detalhes as três subrotinas e algumas das partes mais relevantes para o cálculo da análise:

Subrotina “gsimain_initialize”

Nesta fase é inicializada a assimilação de dados atmosférica. Para isso o primeiro passo é a inicialização do MPI para a comunicação de dados em computação paralela. Aqui são lidas as especificações das variáveis de estado e controle dadas pelo usuário, tais como: a matriz covariância dos erros de previsão (“init_berror”), a grade inicial (“init_grid”) e a informação inicial dos dados convencionais (“init_convinfo”), bem como as entradas dadas pelo usuário por meio do *namelist*. Também são cheçadas as entradas do usuário para a consistência na quantidade de parâmetros para cada configuração. Nesta subrotina se inclui um passo no qual se garante que seja usado um número válido de escalas horizontais, assim como que a janela de tempo especificado na variável “obs_input” não exceda o valor máximo especificado, de 6 horas. Se o usuário comete algum erro de digitação será verificado neste passo. Além disso, é inicializada a assimilação de dados Lagrangiana, bem como as constantes a serem usadas para os diferentes tipos de observações. Nesta subrotina em geral é preparado o ambiente para a realização da assimilação, com a inicialização de variáveis, criação/inicialização de matrizes bem como a definição de elementos relevantes para a configuração do sistema a ser executada.

Subrotina “gsimain_finalize”

Na última fase é chamada a subrotina “gsimain_finalize” que da mesma forma como a anterior, está configurada no módulo “gsimod”. Aqui se finaliza todo o processo, desalocando matrizes e por último finalizando o MPI.

Subrotina “gsimain_run”

A subrotina “gsimain_run” constitui o maior tempo de computação dentro do GSI, pois nesta são chamadas outras subrotinas em que se realizam os cálculos e transformações necessárias para a resolução do lado direito da Equação 3.1. Esta concentra-se em chamar a subrotina condutora do GSI, a “gsisub”. No diagrama a continuação (Figura 3.3) se resume de forma global a estrutura do código do GSI e o desenvolvimento das funções mais importantes realizadas e algumas chamadas de interesse dentro dessas. Nota-se que as fundamentais correspondem com “gsimain_inicialize/run/finalize” e “gsisub”. Mais detalhes sobre esse módulo são apresentados na próxima subseção.

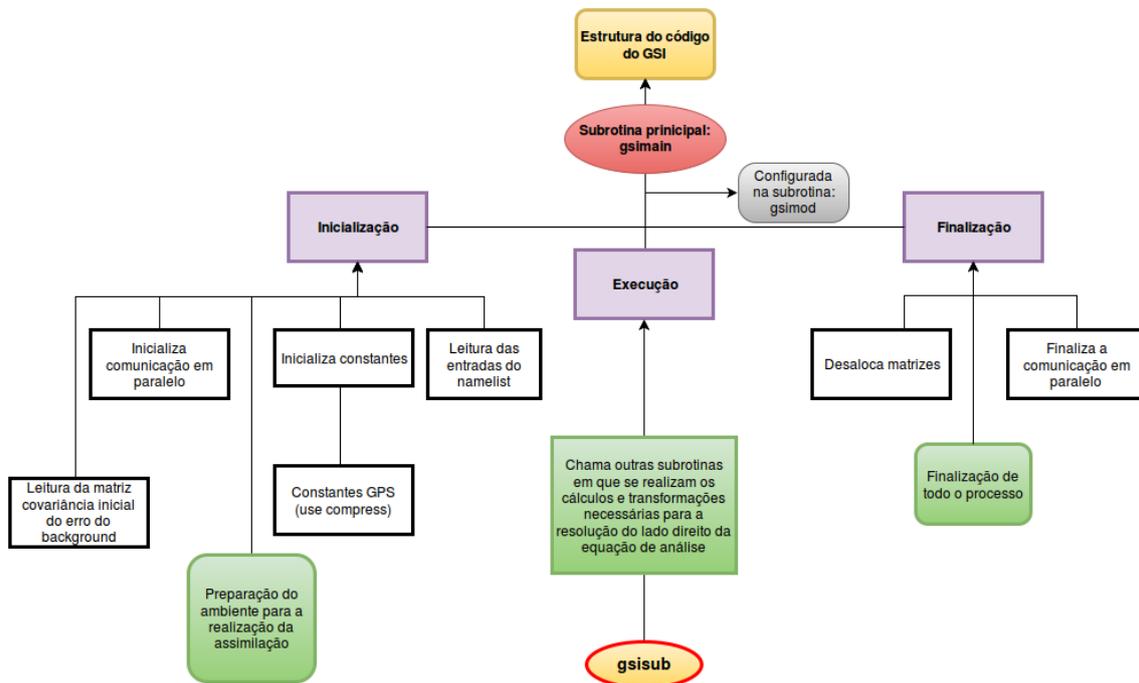


Figura 3.3 - Estrutura do código do GSI incluindo as fases principais.

Subrotina “gsisub”

A parte fundamental pela qual se outorga uma grande importância a esta subrotina é por incluir a chamada de outra subrotina em que se realiza a configuração das observações e executam-se os ciclos de minimização externos e internos para a obtenção da análise. Mas antes disso, se obtém a informação da data da análise e da coordenada vertical, e se gera informação da grade (“gesinfo”) a partir dos arquivos de previsão. Para o caso que se esteja realizando o teste de uma única observação, é criado o arquivo “prep.bufr” contendo a observação (“oneobmakebuf”). Aqui são lidos todos os arquivos que contêm informações sobre o uso das observações, entre elas radiância, ozônio, monóxido de carbono e taxa de precipitação, e as informações sobre as observações convencionais (“convinfo_read”). Nesta subrotina é onde se dá a possibilidade de realizar uma rodada regional ou global. Sendo escolhida a global, deve ser inicializado o modo espectral e realizar as transformações de grade. Além disso, o domínio escolhido é descomposto em sub-domínios para a distribuição das observações e a paralelização.

Para a variável taxa de precipitação, o “modelo para frente” precisa do cálculo de um número randômico (“create_pcp_random”), o qual é usado no operador (**H**) para a assimilação deste tipo de observação. Por modelo para frente se entende o processo de levar os campos previstos ao espaço das observações (**H**), enquanto que por “modelo para trás” se faz referência a processo de levar novamente ao espaço do modelo uma vez corrigidos os campos modelados com as observações.

Nesta subrotina, pode ser selecionada a opção “lobserver” referente ao cálculo dos vetores de observações de partida (previsões e observações novas na janela de assimilação), onde seriam chamadas de forma consecutiva as três fases “init/run/finalize” do *observer*, caso contrário é chamada a subrotina “glbsoi” na que também são incluídas essas subrotinas durante a execução do *observer*. Na subrotina “glbsoi” é onde de fato se realizam as configurações das observações, se calculam os incrementos e se executam os ciclos de externos e internos de minimização. No diagrama mostrado na Figura 3.4 pode-se observar um resumo das principais funções que são desenvolvidas nesta subrotina, enfatizando a chamada de “glbsoi”.

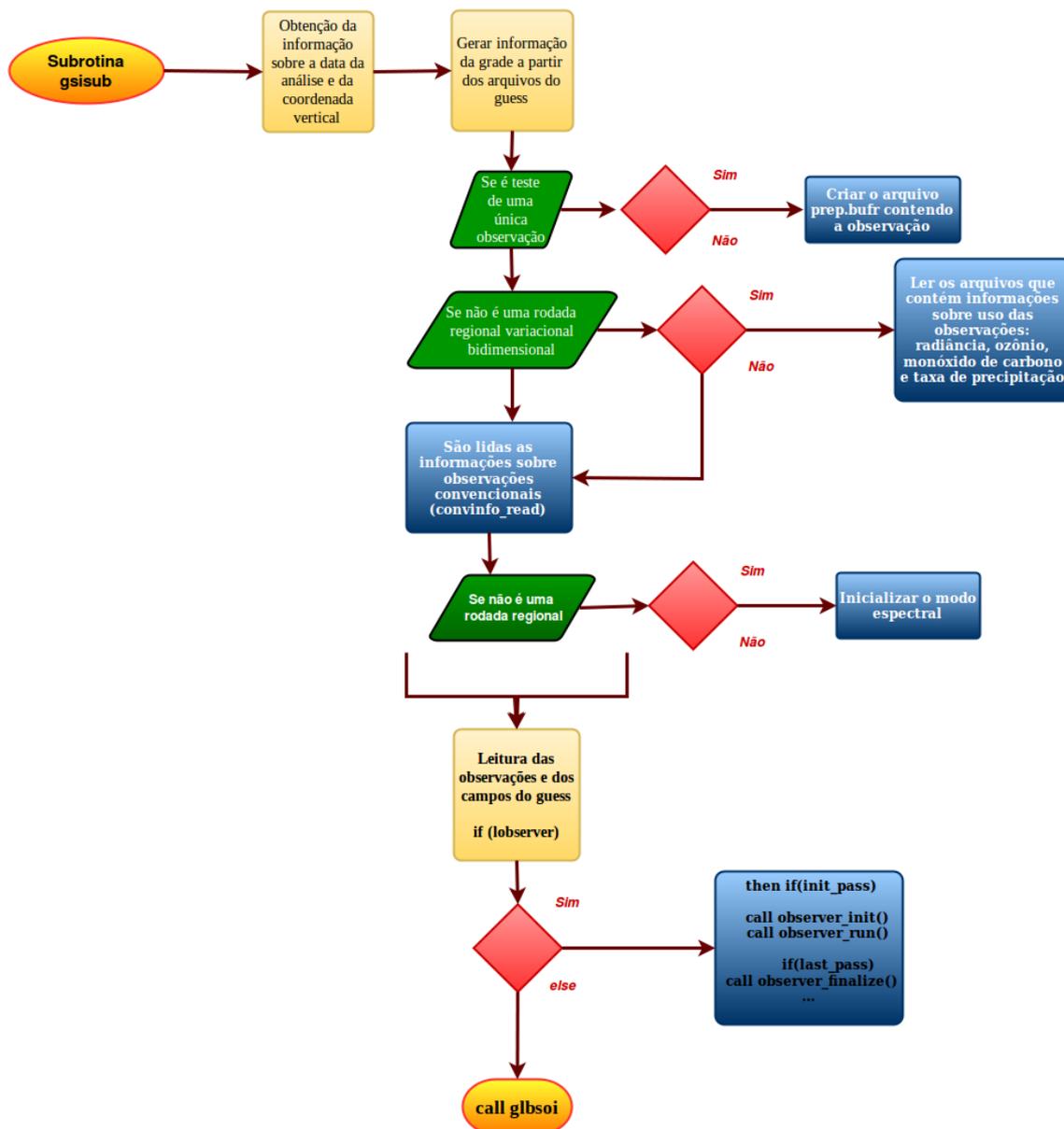


Figura 3.4 - Funções realizadas na subrotina gsisub.

Finalmente, uma vez realizados estes procedimentos e cálculos, são desalocadas as matrizes e se retorna ao código principal.

Subrotina “glbsoi”

Na subrotina “glbsoi” se realiza o processo de minimização da função custo. Primeiramente são cheçadas as alternativas disponíveis no GSI para a realização das minimizações, nas quais tem-se o método do gradiente conjugado (“pcgsoi”), a raiz quadrada da matriz \mathbf{B} (“lsqrtrb”) e o método do gradiente Bi-conjugado (“lbicg”).

A opção padrão do GSI é o método do gradiente conjugado, o qual é utilizado nesta primeira versão do SMG. Aqui também são checadas as opções do GSI em função do número de níveis de tempo das previsões, informação advinda do modelo de previsão.

Durante a subrotina “*gsisub*”, são executadas as subrotinas do *observer* onde são lidas as observações e se realiza o primeiro controle de qualidade nas mesmas. Primeiramente sua inicialização (“*observer_init*”) e a leitura das observações e as inovações (“*observer_set*”), ambas as partes do *observer* se encontram previamente configuradas no programa “*observer.f90*”. A subrotina correspondente com o “*observer_set*” é onde se lê tanto as observações novas que entram na janela de assimilação (“*read_obs*”) como o os campos previstos (“*read_guess*”). Por exemplo são lidos os arquivos correspondentes ao tipo de observação, tal que:

```
read_prepbufr . f90
read_airs . f90
read_bufrtovs . f90
read_gps . f90
```

Com relação aos erros das observações e previsões, é nesta subrotina onde são criados/configurados os erros do *background* e o balanço dos erros do *background*. São usados filtros recursivos para a leitura das matrizes dos erros criados/configurados, e também se define o erro (variância) para os preditores. Da mesma forma, são definidos os erros e criadas as variáveis para a limitante dinâmica (“*init_jcdfi*”) da função custo. Destaca-se nesta, a realização do principal ciclo de análise externo onde se inclui a configuração do lado direito da equação de análise (Equação 3.1) por meio da chamada da subrotina “*setuprhsall*”. Dentro dessa, se inclui a configuração de todas as de observações. Dentro do ciclo externo se inclui um ciclo interno onde se realiza a minimização. Nesse verifica-se qual foi a opção selecionada entre as alternativas de minimização possível e sendo escolhida a opção “*pcgsoi*”, se passa à configuração das informações de pré-condicionamento adicional (“*pcinfo*”). Em seguida executa-se a rodada padrão na qual é chamada a rotina “*pcgsoi*” em que é obtida a análise. Algumas informações de diagnóstico são salvas para a próxima minimização (“*write_obsdiags*”) e cada ciclo termina levando em conta o critério de parada determinado. A Figura 3.5 apresenta um diagrama com os processos que são realizados nesta subrotina nos ciclos externos e internos.

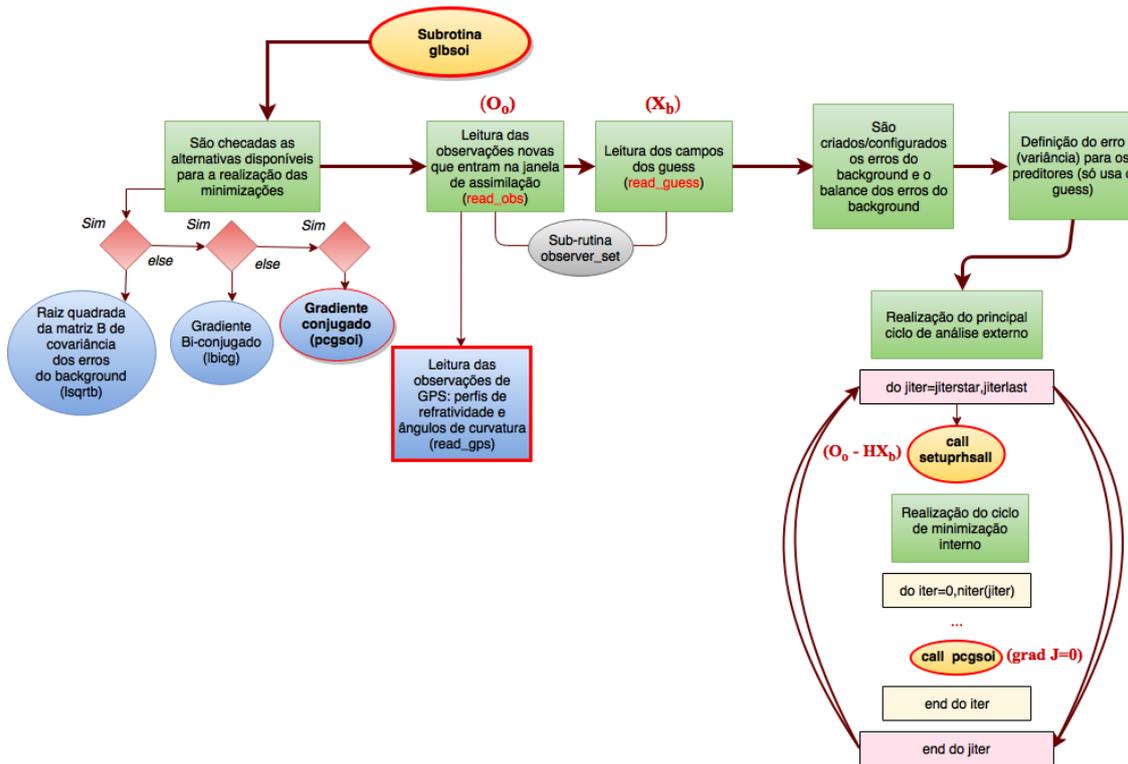


Figura 3.5 - Funções realizadas na sub-rutina glbsoi.

Após a realização de ambos os ciclos externo e interno, definidos no *namelist*, são escritas as informações sobre o cálculo de observação menos análise (“obs-anl”) em arquivos de saída e os resultados são escritos nas variáveis “xhat-save” e “yhat-save” para utilizá-los como uma estimativa do *background* (“write_guess_solution”) no próximo ciclo. As matrizes usadas posteriormente passam a ser desalocadas, se escrevem os coeficientes de correção de viés atualizados, se finaliza o *observer* (“observer_finalize”) e o *timer* para este procedimento. Durante a subrotina “gsisub” se destaca as chamadas das subrotinas “setuprhsall” e “pcgsol”, pela importância que ambas possuem, as mesmas serão explicadas a seguir.

Subrotina “setuprhsall”

Com a execução da subrotina “setuprhsall” são calculados os incrementos entre as soluções atuais e os correspondentes vetores de inovação de cada tipo de observação. Para isso inicializa-se o *timer* e algumas variáveis e constantes. São escolhidas as bandeiras de saída do diagnóstico e se reinicia o conjunto de ponteiros de observação. Os diagnósticos das observações, se disponíveis, são lidos (“read_obsdiags” e “inquire_obsdiags”) e é obtida a temperatura sensível (depois que a correção do

viés seja aplicada). Posteriormente, são lidas as matrizes de pressão e se calcula a altura geopotencial no sub-domínio tridimensional (3D) a partir do campo de previsão (“load_prsges load_geop_hgt”). Porém, essas duas chamadas são condicionais devido a que as grades 3D de pressão (prsges) e altura geopotencial (geop_hgt) são inicialmente carregadas ao final da chamada de “read_guess”. Assim, não se precisa ler cada uma delas (“load_prsges” e “load_geop_hgt”) no primeiro ciclo externo em que são chamados todos os tipos de observação. É preciso atualizar as matrizes 3D de pressão em todos os subseqüentes ciclos externos. A partir de campos de previsão também é calculada a altura da camada limite planetária (“load_gsdpbl_hgt”) e outras quantidades derivadas na grade (“compute_derived”).

Nesta subrotina se inicializa a assimilação de dados Lagrangiana (“lag_presetup”) e se reiniciam novamente os ponteiros de observação. Na continuação, abre-se o arquivo referente à configuração das observações (“obs_setup”) e se requerido criam-se arquivos de diagnóstico convencional. Nesse momento começa a realização de um ciclo sobre os tipos de dados a processar, e são chamadas as configurações estabelecidas para cada tipo de dados (“ditype”), especialmente se destacam as chamadas das configurações para observações GPS de refatividade local (“setupref”) e para observações GPS de ângulo de curvatura local (“setupbend”), como é mostrado nas linhas do código a seguir:

```
if (ditype(is) == gps) then
    if (obstype=='gps_ref') then
        call setupref
    if (obstype=='gps_bnd') then
        call setupbend
```

Posteriormente são chamadas todas as configurações para todas as observações, reinicializa-se a assimilação de dados Lagrangiana na que são lidos os parâmetros salvados de cada configuração realizada, e finaliza-se o *timer*, retornando finalmente à subrotina principal (“gsisub”) na qual essa subrotina foi chamada. Embora o código continue a desalocar as matrizes das componentes do campo de vento para assimilação de dados Lagrangiana, finalizar o controle de qualidade e as estatísticas acumulativas (por exemplo: as inovações calculadas), para os dados de rádio ocultação GPS (“genstats_gps”), também são gerados de forma opcional arquivos diagnósticos.

Seguidamente são colecionadas informações sobre o conjunto de tipos de observação processadas. Se calcula e imprime-se as estatísticas para os dados convencionais (“statsconv”), desalocam-se as matrizes, e imprime-se a tabela correspondente aos

resultados da minimização na qual é possível observar a contribuição de cada tipo observação. Nessa tabela divide-se J_o pela quantidade de observações (J_o/n), com a finalidade de normalizar os resultados o que mostra melhor o desempenho de cada uma. O código termina preparando/salvando informações para uso no ciclo de minimização interno (“pcgsoi”).

Subrotina “pcgsoi”

A subrotina “pcgsoi”, é um dos motores fundamentais do GSI, pois é onde exatamente se realiza a minimização da função custo cuja solução se corresponde com o estado da atmosfera de menor variância (x_a). Esta subrotina começa com a inicialização do *timer*, a escolha das constantes a serem usadas e a inicialização de variáveis. Em seguida é alocada a memória requerida para este processo e são inicializados os campos. A partir desse momento, começa a realização da iteração interna. Gradualmente é ligado o controle de qualidade variacional para evitar possíveis problemas de convergência. Com o controle de qualidade variacional permite-se a utilização de novas observações (vantagem dos métodos variacionais). Posteriormente são comparadas as observações com a solução e se calcula a transposta para a grade (para levar no espaço do modelo em ponto de grade, ou seja, usando \mathbf{H}^T). A tabela da função custo, J_o é impressa após cada iteração.

Os passos fundamentais para a minimização pelo método escolhido seriam: uma vez que se tem o gradiente do termo de cada observação, a contribuição do termo do *background* é adicionada e se multiplica pelo erro do *background* (matriz \mathbf{B}). É calculada a norma dos gradientes (gradiente de J com respeito a x e y). Além disso, é calculada a nova direção de busca e se a solução prévia está disponível (“read_guess_solution”), então se transfere dentro de matrizes locais. O tamanho do passo, “alfa” (“stepsize”) é calculado (em uma subrotina externa, “stpcalc”) e se realizam os cálculos do diagnóstico. O processo de minimização é realizado de forma iterativa de modo que o ciclo de iteração conclui após realizado o *check* para a convergência, falhas do algoritmo ou se atinja a condição de parada.

Com isso, é calculado o fator do erro da observação ajustada, avalia-se a função custo final e o gradiente. A contribuição a partir do termo do *background* é adicionada e se multiplica pelo erro do *background*, se foi adicionado o condicionador adicional potencial. Estas funções foram também realizadas antes do ciclo mas agora são realizadas com a finalidade de atualizar os resultados. A tabela final da função custo J_o , é impressa da mesma forma que os diagnósticos finais. Posteriormente são calculados os incrementos da vorticidade/divergência e atualizados os campos

de previsão (*background* do modelo, correção do viés) (“update_guess(sval,sbias)”). Depois desse *loop* realizam-se também análises de nuvens, e se escreve a saída dos arquivos da análise. Finalmente limpam-se os incrementos da vorticidade/divergência e da maioria dos campos. O *timer* é finalizado e termina esta subrotina retornando à subrotina em que foi chamada.

3.2.4 Saídas do GSI

Após realizada a execução do GSI, o usuário checará os arquivos de saída do GSI (arquivo de análise que é utilizado pelo modelo de previsão para dar continuidade ao ciclo) e verificar se a rodada foi executada com sucesso. O diretório da saída está localizado onde foi definido no script “run_gsi.sh”, sendo que informações básicas sobre a análise que foi gerada podem ser encontradas no arquivo “stdout”. Além disso, os arquivos “fort.[201-220]” apresentam as estatísticas das observações utilizadas. Para acompanhar o desempenho do sistema de assimilação de dados é fundamental a análise desses resultados.

3.2.4.1 Saída padrão “stdout”

O arquivo “stdout” é o mais útil por mostrar informações relevantes sobre a análise gerada, podendo ser checado se o GSI foi realizado com sucesso durante todo o ciclo. Pode ser verificado se as iterações ótimas estão corretas, e se os campos do *background* e as análises são razoáveis. Com essa informação se compreenderá onde e porque o GSI falhou se for o caso (o código de saída ajudará nessa compreensão). A estrutura desse arquivo é como se apresenta a seguir, da mesma forma que na maioria dos sistemas de análises de dados meteorológicos:

- Ler todos os dados e preparar a análise:
 - a) Ler na configuração (*namelist*);
 - b) Ler no *background*;
 - c) Ler nas observações;
 - d) Domínio de partição e dados para análise paralela;
 - e) Ler em campos constantes (arquivos fixos);
- Iteração ótima (análise);
- Salvar o resultado da análise.

Algumas partes do conteúdo de saída nesse arquivo serão apresentadas a continuação:

- Conteúdo de anavinfo e uma lista das variáveis de estado e de controle:

```
gsi_metguess_mod*init_ : 2D-MET STATE VARIABLES:
gsi_metguess_mod*init_ : 3D-MET STATE VARIABLES:
cw
gsi_metguess_mod*init_ : ALL MET STATE VARIABLES:
cw
state_vectors*init_anasv : 2D-STATE VARIABLES ps          sst
state_vectors*init_anasv : 3D-STATE VARIABLES u            v
tv                tsen                q                oz                cw                p3d
```

- Conteúdo de todas as variáveis do *namelist* usadas para gerar a análise:

```
&SETUP
GENCODE =      82.00000000000000      ,
FACTQMIN =    5.0000000000000001E-003,
FACTQMAX =    0.9050000000000000      ,
DELTIM =     1200.0000000000000      ,
DTPHYS =     3600.0000000000000      ,
BIASCOR =    -1.0000000000000000      ,
BCOPTION =           1,
DIURNALBC =    0.0000000000000000      ,
NDAT =           65,
NITER =           0,
              100,

MITER =           1,
QOPTION =           2,
NHR_ASSIMILATION =           6,

prepbufnr     dw          dw
              1.0000000000000000      0 0      3.0000000000000000
radarbufnr    rw          rw
              1.0000000000000000      0 0      3.0000000000000000
prepbufnr     sst         sst
              1.0000000000000000      0 0      3.0000000000000000
gpsrobufnr    gps_ref     gps
              1.0000000000000000      0 0      3.0000000000000000
ssmirrbufnr   pcp_ssmi    dmsp      pcp_ssmi
```

```

1.0000000000000000 0 0 3.0000000000000000
tmirrbufr pcp_tmi trmm pcp_tmi
1.0000000000000000 0 0 3.0000000000000000
sbuvbufr sbuv2 n16 sbuv8_n16
1.0000000000000000 0 0 3.0000000000000000

```

- Campos do *background* para a análise e a leitura dos valores máximos e mínimos em cada nível vertical.
- Lista dos tipos de observações que serão lidos e o número de processadores usados nessa tarefa:

```

READ_OBS: read 7 dw dw using ntasks= 1 62 1
READ_OBS: read 9 sst sst using ntasks= 1 63 1
READ_OBS: read 20 hirs4 hirs4_metop-a using ntasks= 1 64 1

```

- Estatística básica para os todos os campos horizontais de superfície:

Status	Var	Mean	Min	Max
sfcges2	FC10	1.00000000000000E+00	1.00000000000000E+00	1.00000000000000E+00
sfcges2	SNOW	6.345705654734E+00	0.00000000000000E+00	1.455443267822E+02
sfcges2	VFRC	7.636085450820E-01	9.999999747379E-06	1.00000000000000E+00
sfcges2	SRGH	1.588138234589E-01	2.837583269866E-05	2.652970075607E+00

- Resultado do ciclo sobre todos os arquivos para ler as observações inclusive lê a lista de observações de superfície rejeitadas e mostra as observações de GPS fora do tempo da janela de assimilação.
- Partições de cada observação por subdomínios:

```

OBS_PARA: hirs4 metop-a 90 241 312 261 185 63 96 248
313 303 251 88 88 248 315 302 250 88
3 6 56 138 198 88 1 0 0 0
12 76 0 0 0 0 45 84 33 83
159 229 242 92 91 255 314 286 245 85
92 256 292 257 248 89 95 105 8 21
102 40 62 0 0 0 0 1 74 61
45 0 0 2

```

- Resultados das subrotinas detalhadas anteriormente, primeiramente da “glbsoi”, e os resultados das subrotinas chamadas dentro dela:

```

GLBSOI:  jiter , jiterstart , jiterlast , jiterend=
1          1
          1          1
strong_fast_global:  full field balance diagnostics --
mode, rmstend_uf, rmstend_g_uf, rat =    1    0.9738E-04
0.8196E-04    5.3151    5.3151
mode, rmstend_uf, rmstend_g_uf, rat =    2    0.9202E-04
0.7593E-04    4.7193    4.9245
mode, rmstend_uf, rmstend_g_uf, rat =    3    0.5854E-04
0.4722E-04    4.1685    3.0621

```

- Resultados da subrotina “setuprhrs”, para cada tipo de observação, a continuação os resultados para a radiância:

```

SETUPRAD:  write header record for amsua_n18    5
30    8    1    15    15    0
          13784  to file pe0000.amsua_n18_01    2014082406
INT_CRTM:  crtmm_init() on path "CRTM_Coeffs2/"
Read_SpcCoeff_Binary(INFORMATION) :
FILE: CRTM_Coeffs2/amsua_metop-a.SpcCoeff.bin ;
SpcCoeff RELEASE.VERSION:  7.03  N_CHANNELS=15
amsua_metop-a AntCorr RELEASE.VERSION:
1.04  N_FOVS=30  N_CHANNELS=15
Read_ODPS_Binary(INFORMATION) :
FILE: CRTM_Coeffs2/amsua_metop-a.TauCoeff.bin ;
ODPS RELEASE.VERSION:  2.01  N_LAYERS=100  N_COMPONENTS=2
N_ABSORBERS=1  N_CHANNELS=15  N_COEFFS=21600
Read_EmisCoeff_Binary(INFORMATION) :
FILE: CRTM_Coeffs2/EmisCoeff.bin ;
EmisCoeff RELEASE.VERSION:  2.02  N_ANGLES= 16
N_FREQUENCIES= 2223  N_WIND_SPEEDS= 11

```

- Resultados da subrotina “pcgsoi” se apresentam a continuação, mostrando a tabela de J_o no início do *loop* interno:

```

Begin Jo table outer loop
  Observation Type          Nobs          Jo  Jo/n
surface pressure          43668    3.4520848189738063E+04  0.791

```

temperature	10688	1.6971692091401950E+04	1.588
wind	191384	1.5282850103245766E+05	0.799
moisture	2728	1.2211044949014656E+03	0.448
radiance	1427578	7.7768059414835181E+05	0.545
	Nobs		Jo Jo/n
Jo Global	1676046	9.8322273995685088E+05	0.587

```

GLBSOI:  START pcgsoi jiter=          1
pcgsoi:  gnorm(1:2),b=  7.260935133234413750E+14
7.260935133234413750E+14  0.000000000000000000E+00
  stprat    340.2868235482636
  stprat    0.3434550980708865
  stprat    0.3776749308325215
  stprat    0.2249082169633214
  stprat    7.2039590209674473E-002
Initial cost function =  2.823465128065431714E+08
Initial gradient norm =  2.694612241721323133E+07
Minimization iteration          0
grepcost J,Jb,Jo,Jc,Jl =  1  0  2.823465128065431714E+08
0.000000000000000000E+00  9.832227399568588007E+05
0.000000000000000000E+00
2.813632900665863156E+08
grepgrad grad,reduction=  1  0  2.694612241721323133E+07
1.000000000000000000E+00
pcgsoi:  cost,grad,step =  1  0  2.823465128065431714E+08
2.694612241721323133E+07
9.970482335843713063E-07
pcgsoi:  gnorm(1:2),b=  2.057799181403527100E+12
1.791375995640728760E+12
2.467142265796214325E-03

```

Depois de realizado o primeiro *loop* interno, a tabela resultante pode ser comparada com a inicial, na qual se verificará o sucesso da minimização. O mesmo é apresentado após o segundo *loop* externo e interno consequentemente.

Uma boa análise deve ser gerada ao final da execução do GSI, porém isso não significa necessariamente que seja uma boa análise. Isso deve ser basicamente avaliado por meio da plotagem da função custo, da raiz do erro quadrático médio e do viés durante todo o processo.

3.2.4.2 Arquivos de diagnóstico (fort.*)

Outros arquivos que ajudam na compreensão dos resultados das análises são os “fort.[201-219]”, os quais resumem os ajustes realizados ao *background* a partir das observações em cada ciclo externo, basicamente OmA e OmB. Informação de quantas observações foram rejeitadas, qual é o valor de viés e erro quadrático médio para alguns tipos de dados ou para todas as observações, são também mostrados nesses arquivos (Figura 3.6).

Nome do arquivo	Variáveis no arquivo	Intervalo/Unidades
fort.201 ou fit_p1.analysis_time	Ajuste dos dados de pressão em superfície	mb
fort.202 ou fit_w1.analysis_time	Ajuste dos dados de vento	m/s
fort.203 ou fit_t1.analysis_time	Ajuste dos dados de temperatura	K
fort.204 ou fit_q1.analysis_time	Ajuste dos dados de umidade	porcento de qsaturation a partir do guess
fort.205	Ajuste dos dados de água precipitável	mm
fort.206	Ajuste das observações de ozônio advindas de sbuv6_n14 (, _n16, _n17, _n18), sbuv8_n16 (, _n17, _n18, _n19), omi_aura, gome_metop-a/b, mls_aura	
fort.207 ou fit_rad1.analysis_time	Ajuste dos dados de radiância tais como: amsua_n15(, n16, n17, n18, metop-a, aqua, n19), amsub_n17, hirs3_n17, hirs4_n19 (, metop-a), etc	
fort.208	Ajuste para pcp_ssmi, pcp_tmi	
fort.209	Ajuste do vento radial por radar (rw)	
fort.210	Ajuste do vento lidar (dw)	
fort.211	Ajuste dos dados de super vento (srw)	
fort.212	Ajuste dos dados de GPS	diferença fracional
fort.213	Ajuste dos dados convencionais de sst	C
fort.214	Pressão central em um ciclone tropical	
fort.215	Dados lagrangianos	

Figura 3.6 - Lista do conteúdo e unidades de medida para cada arquivo fort.

No arquivo “fort.220”, pode ser encontrado informação mais detalhada sobre a minimização em cada iteração, e a contribuição de cada tipo de observação para a minimização da função custo J . Para fazer uma avaliação com a informação con-

tida nos “fort.*”, deve-se observar os resultados das métricas estatísticas calculadas, sendo que ao comparar os valores de erro quadrático médio para diferentes ciclos (do primeiro e segundo) um resultado esperado seria a tendência à redução do erro com cada ciclo, resultado que indica que a análise obtida é a de menor variância. Um exemplo é mostrado na Figura 3.7.

it	obs	ptop	1000.0	900.0	800.0	600.0	400.0	300.0	250.0	200.0	150.0	100.0	50.0	0.0	
		type styp	pbot	1200.0	999.9	899.9	799.9	599.9	399.9	299.9	249.9	199.9	149.9	99.9	2000.0
...															
o-g 01	uv	221 0000	rms	3.89	5.77	6.29	7.17	9.49	11.87	12.68	10.15	10.11	10.46	11.38	8.31
...															
o-g 02	uv	221 0000	rms	3.43	4.86	5.19	5.88	7.68	9.90	9.74	7.92	8.53	9.01	10.27	6.90
...															

Figura 3.7 - Linhas do arquivo fort.220.

4 Acoplamento do BAM com o GSI

No processo de acoplamento do modelo de PNT com um sistema de assimilação de dados, dois pontos importantes devem ser tratados. O primeiro é a troca de informações entre aquelas componentes. Esse processo deve garantir que as informações trocadas não são feitas com a adição de incertezas. A segunda é a determinação da matriz de erros do modelo baseada nas características do sistema de assimilação em uso. Nessa seção esses dois pontos são tratados com detalhes para documentar o processo e permitir consultas e melhorias futuras.

4.1 Matriz de covariância dos erros de previsão do BAM

Desde sua implementação operacional no CPTEC em 2012, o GSI utiliza as especificações dos erros de *background* globais provenientes do modelo GFS do NCEP. Os modelos GFS, MCGA e BAM diferem em diversos aspectos físicos, dinâmicos e computacionais. Portanto, faz-se necessário que seus erros sejam apropriadamente determinados e utilizados no processo de assimilação de dados. Com a utilização de uma matriz de erros de *background* calculada com base no *background* de um outro modelo que não aquele em uso no ciclo de assimilação de dados, diversas deficiências e limitações podem ocorrer. Por exemplo, o modelo GFS do NCEP possui uma coordenada vertical híbrida, enquanto que o MCGA e a atual versão do BAM possuem coordenada vertical sigma. Além disso, a resolução espectral horizontal do modelo GFS do NCEP é diferente do modelo global do CPTEC. Conseqüentemente, estas discrepâncias podem ocasionar desde a limitação da quantidade de dados de radiações assimiladas a limitações no desempenho das análises produzidas pelo ciclo de assimilação de dados. O mesmo pode ser esperado para as previsões obtidas a partir destas análises. Portanto, faz-se necessário que uma nova matriz seja calculada a fim de se evitar que a localização dos incrementos de análise sejam computados de forma incorreta.

Como forma de ilustrar a importância da matriz de covariâncias dos erros de *background* para a assimilação de dados e a sua dependência sobre o modelo de previsão utilizados, considere a função custo variacional tridimensional da Equação 3.2:

A matriz \mathbf{H} (Equação 4.1) é um operador que transforma o estado do modelo para o espaço da observação, e no caso mais simples é um interpolador. Se considerar apenas uma única observação sobre um ponto de grade, o operador \mathbf{H} pode ser representado como:

$$\mathbf{H} = [0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0] \quad (4.1)$$

Calculando o gradiente da função custo representada pela Equação

$$\nabla J(x) = \mathbf{B}^{-1}(x - x_b) + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1}(y - \mathbf{H}x) = 0. \quad (4.2)$$

e resolvendo-se para o incremento de análise ($x - x_b$ na Equação 4.3), chega-se à seguinte relação:

$$x - x_b = \mathbf{B}\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1}(y - \mathbf{H}x). \quad (4.3)$$

Por simplicidade, foi considerado que há apenas uma única observação em um ponto de grade. Logo, o termo $\mathbf{R}^{-1}(y - \mathbf{H}x)$ (que representa a contribuição da covariância da observação no ponto da observação - neste caso, o ponto de grade do modelo), torna-se um escalar. Com isso, pode-se concluir que:

$$\delta x \propto \mathbf{B}\mathbf{H}^T. \quad (4.4)$$

A matriz de covariâncias na sua aplicação para a assimilação de dados atmosféricos, como indicado pela Equação 4.4, tem a função de espalhar os incrementos de análise na horizontal e na vertical além de modular qual porcentagem das inovações (ie., as diferenças entre as observações e as previsões do modelo, ou simplesmente, OMF) serão transformadas em incremento de análise (a diferença entre as análises e as previsões, ou simplesmente AMF). Sua aplicação no contexto dos desenvolvimentos do SMG no CPTEC mostra a necessidade de sua correta representação no ciclo de assimilação de dados assumindo os erros do modelo BAM.

4.1.1 Metodologia utilizada

Várias aproximações estão disponíveis para o cálculo da matriz de covariâncias, sendo o mais difundido o método cunhado com o nome “NMC”, uma referência ao “National Modeling Center”, hoje conhecido como NCEP (National Center for Environmental Predictions). O método NMC foi desenvolvido por Parrish e Derber (1992) e preconiza que a correlação espacial dos erros do modelo são semelhantes à correlação espacial das diferenças entre as previsões de 48 e 24 horas. Em aplicações

regionais, estas diferenças podem ser entre as previsões de 24 e 12 horas. Outras metodologias envolvem a utilização de previsões por conjunto (Široká et al. (2003) e o método observacional (Hollingsworth et al. (1986)). O método utilizado para calcular estes erros de *background* é o método NMC e foi escolhido por ser um método simples e que não requer uma base de dados de previsões extensa.

A matriz de covariância dos erros de *background* é uma matriz do tipo variância-covariância em que as variâncias estão dispostas na diagonal principal e as covariâncias dispostas nas diagonais subjacentes. Na Figura 4.1 é mostrada a estrutura idealizada da matriz de covariâncias, de forma que as suas estruturas principais são destacadas.

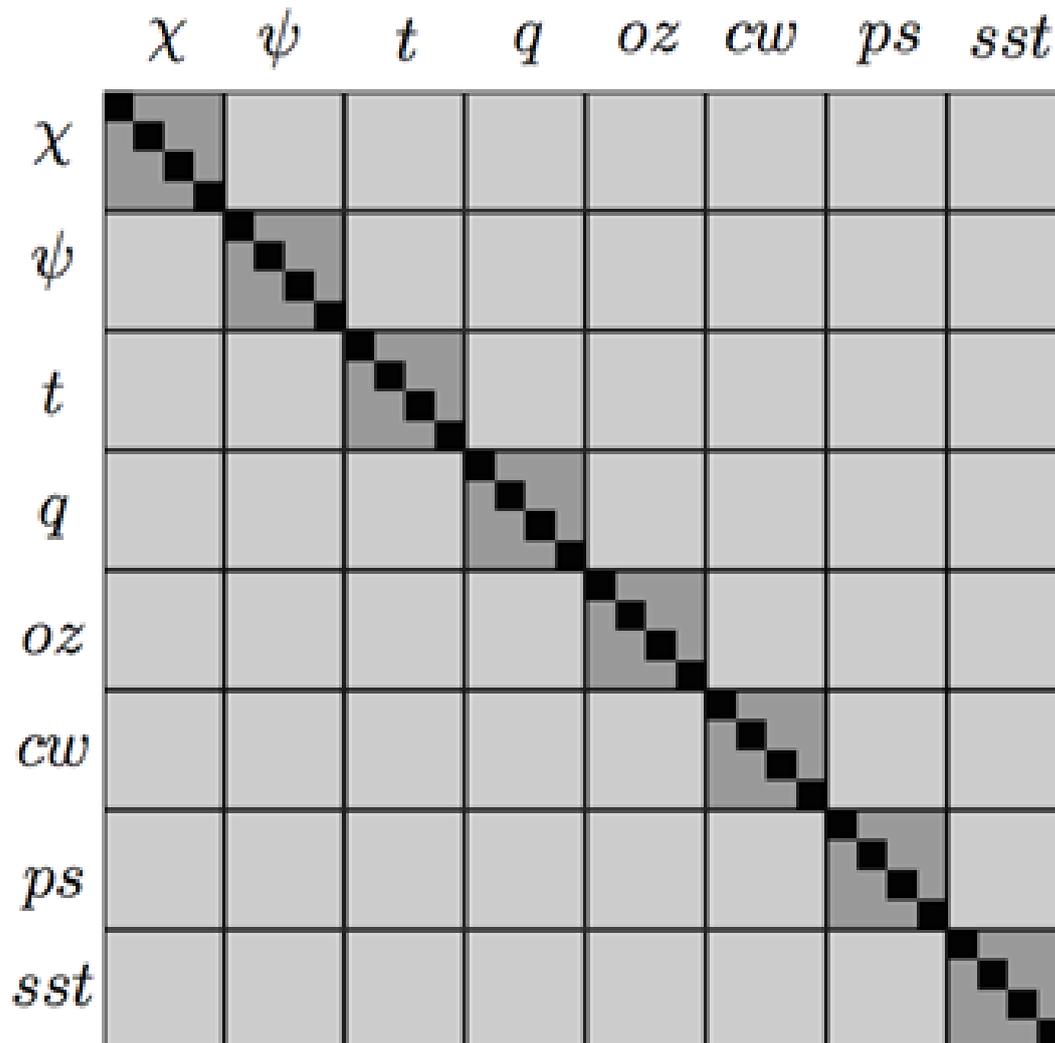


Figura 4.1 - Estrutura idealizada da matriz de covariâncias dos erros de *background*: na diagonal principal, os quadrados pretos indicam as variâncias de cada variável e em cinza escuro, estão indicados os elementos de autocovariância. Fora da diagonal principal, em cinza claro, estão indicados os elementos de covariância cruzada entre as variáveis.

Os elementos básicos principais representados pela matriz de covariância para uso com o sistema GSI são as variâncias de cada variável e os comprimentos de escala horizontais e verticais. As variâncias são representadas como médias zonais, de forma que sua variação está ao longo das latitudes e níveis verticais (correspondentes aos níveis verticais do modelo de previsão). Os comprimentos de escala são importantes estruturas espaciais pelas quais é possível modular o alcance das covariâncias (aqui o termo covariância é usado de forma genérica). Estes comprimentos de escala são calculados com base nas próprias variâncias. O *namelist* do GSI possui uma seção

onde há vários parâmetros da matriz de covariâncias, de forma que a aplicação da matriz do GSI possa ser minimamente ajustada.

4.1.1.1 Aplicação das covariâncias no GSI

A matriz de covariâncias dos erros de *background* é aplicada no GSI por meio de filtro recursivo (Purser et al. (2003a), Purser et al. (2003b)), o qual permite simular um processo difusivo. Por meio de alguns parâmetros presentes no *namelist* do GSI, é possível modificar o aspecto da representação desse processo com o objetivo de adaptar as covariâncias à representação do fluxo atmosférico informado pelo *background*. É por meio do filtro recursivo que pode-se fazer com que os incrementos de análise sejam aplicados de forma isotrópica ou anisotrópica, tal como apresentado na Equação 4.5:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_z(V^1 \mathbf{B}_x^1 \mathbf{B}_y^1 \mathbf{B}_x^1 V^1 + V^2 \mathbf{B}_x^2 \mathbf{B}_y^2 \mathbf{B}_x^2 V^2) \mathbf{B}_z, \quad (4.5)$$

em que

- $\mathbf{V}(1,2)$ representam os desvios-padrão das variáveis (obtidos da matriz de covariâncias);
- $\mathbf{B}(x,y,z)$ representam as aplicações dos filtros recursivos nas direções x, y e z;
- $\mathbf{B}(1,2)$ representam as diferentes escalas da aplicação do filtro recursivo.

4.1.1.2 Implementação do método NMC

O algoritmo do método NMC para o cálculo da matriz de covariâncias dos erros de *background* para uso com o sistema GSI é apresentado a seguir:

- a) Leitura do cabeçalho dos arquivos espectrais a fim de determinar quantos pares estão disponíveis para o processamento (nesta etapa, são lidos a data, o horário da previsão e o tipo de coordenada vertical);
- b) Leitura dos pares propriamente ditos e conversão para ponto de grade;
- c) Remoção de viés (opcional);

- d) Cálculo das matrizes que permitirão as transformações entre função de corrente e as componentes balanceadas de potencial de velocidade, pressão em superfície e temperatura;

- e) Cálculo das variâncias de cada um dos campos considerados (função de corrente, potencial de velocidade, temperatura do ar, pseudo umidade relativa, ozônio, conteúdo de água líquida e temperatura da superfície do mar);

- f) Cálculo dos comprimentos de escala verticais;

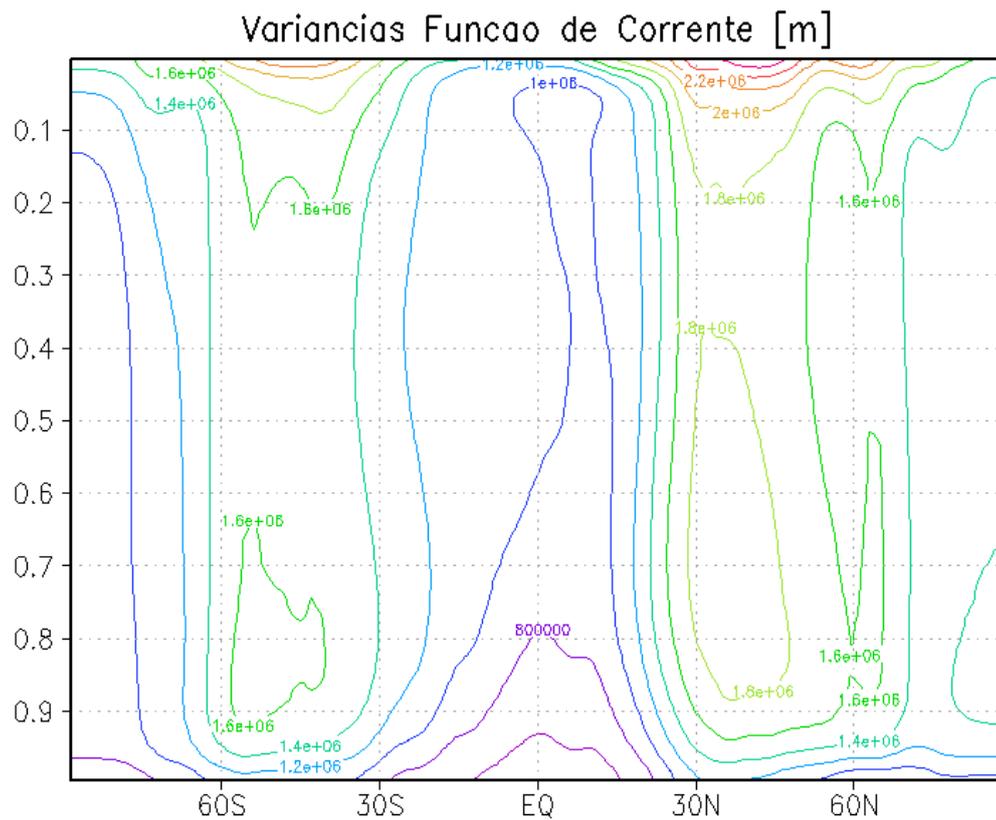
- g) Cálculo dos comprimentos de escala horizontais.

4.1.2 Resultados

Os resultados preliminares apresentados são referentes às previsões de 24 horas e 48 horas provenientes das análises do experimento TAG (experimento no qual o sistema de assimilação de dados foi realizado durante o período de um ano, na resolução TQ0299L064) do G3DVAR, realizado pelo grupo de assimilação de dados. Estas previsões foram utilizadas porque no experimento MCGA foi realizado apenas para gerar as previsões de 24 e 48 horas. Os resultados apresentados aqui são para a resolução TQ0062L028.

4.1.2.1 Variâncias e comprimentos de escala

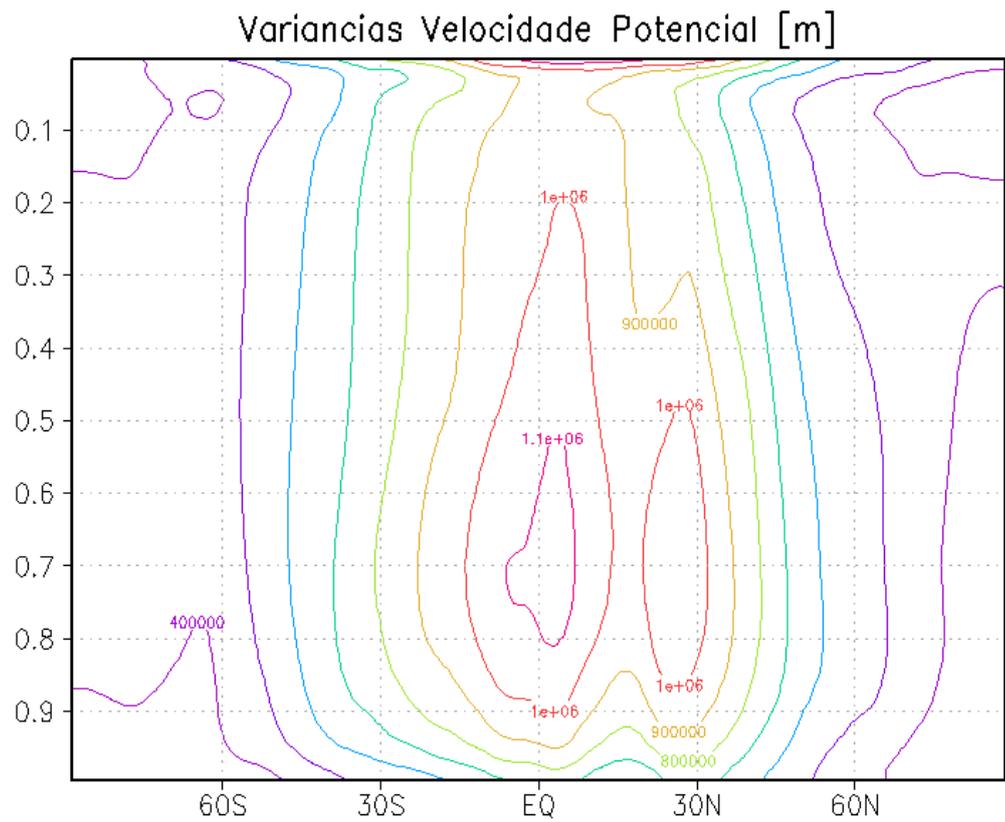
A seguir são mostrados alguns exemplos das variâncias (também referidas como amplitudes) das quantidade de função de corrente, potencial de velocidade, temperatura e umidade calculadas (Figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5). As informações estão mostradas como médias zonais e por nível sigma do modelo. A interpretação pode ser feita localizando-se o espalhamento e a posição das amplitudes das variâncias sobre as regiões dos Hemisférios Norte e Sul, região trocal e níveis verticais.



GrADS: COLA/IGES

2016-07-03-16:09

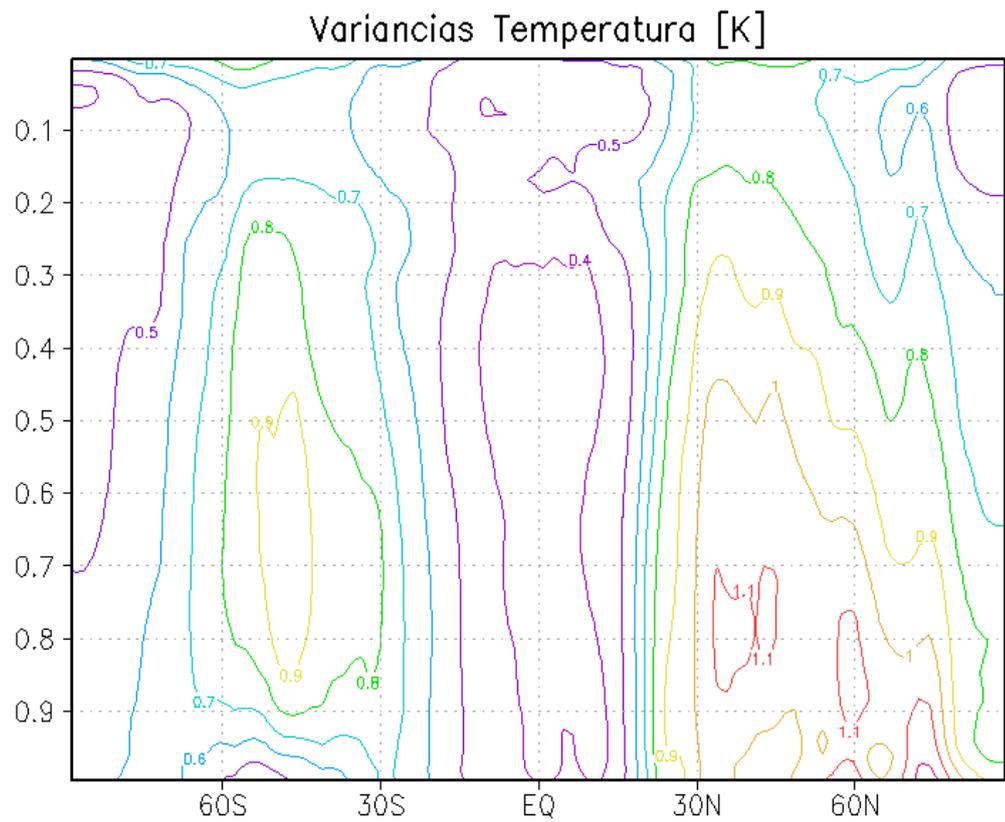
Figura 4.2 - Variâncias para função de corrente.



GrADS: COLA/IGES

2016-07-03-16:10

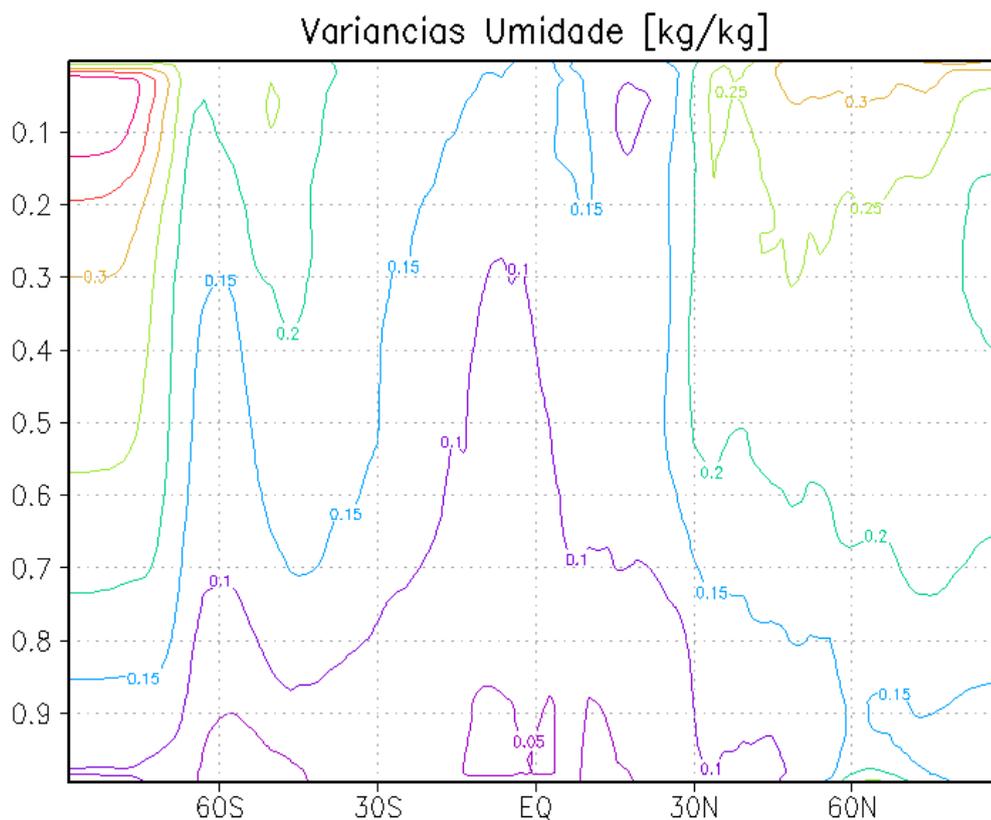
Figura 4.3 - Variâncias para função de potencial de velocidade.



GrADS: COLA/IGES

2016-07-03-16:11

Figura 4.4 - Variâncias para função de temperatura.



GrADS: COLA/IGES

2016-07-03-16:11

Figura 4.5 - Variâncias para função de umidade.

4.1.2.2 Incremento de Análise (“single-obs”)

A seguir é apresentado o aspecto do incremento de análise obtido a partir da aplicação da matriz de covariâncias calculada a partir dos pares de previsão do modelo MCGA na resolução TQ0062L028. Neste caso, as dimensões da grade das amplitudes representadas na matriz de covariâncias é de 98x192.

Na Figura 4.6 estão representados o incremento de análise anisotrópico na resolução TQ0062L028 obtido a partir da assimilação de uma observação sintética de temperatura do ar em 1000 hPa, posicionada em 60°W/25°S (assinalada com um ponto preto). O campo representado pelas isolinhas em vermelho representa o *background* e aquele representado em verde é o campo de análise. A região sombreada representa o incremento de análise produzido por uma única observação, sendo que a correção realizada pela observação no campo de *background* pode ser notada pela leve defasagem entre as isolinhas vermelha e verde na região onde está o incremento. Esta correção é suave e pode ser controlada (tanto a magnitude do erro da observação

sintética quanto a magnitude da inovação gerada). As opções do *namelist* do GSI utilizadas para produzir este incremento de análise foram as seguintes:

Opções da matriz de covariâncias:

```
&BKGERR  
vs=0.7,  
hzscl=1.7,0.8,0.5,  
hswgt=0.45,0.3,0.25,  
bw=0.0,norsp=4,  
bkgv_flowdep=.false.,bkgv_rewgtfct=1.5,
```

Opções da observação sintética:

```
&SINGLEOB_TEST  
maginnov=1.0,magoberr=1.0,oneob_type='t',  
oblat=-25.,oblon=302.,obpres=1000.,obdattim=2013010100.  
obhourset=0.,
```

O significado de cada opção deste bloco do *namelist* está na Seção 3.2.3.2.

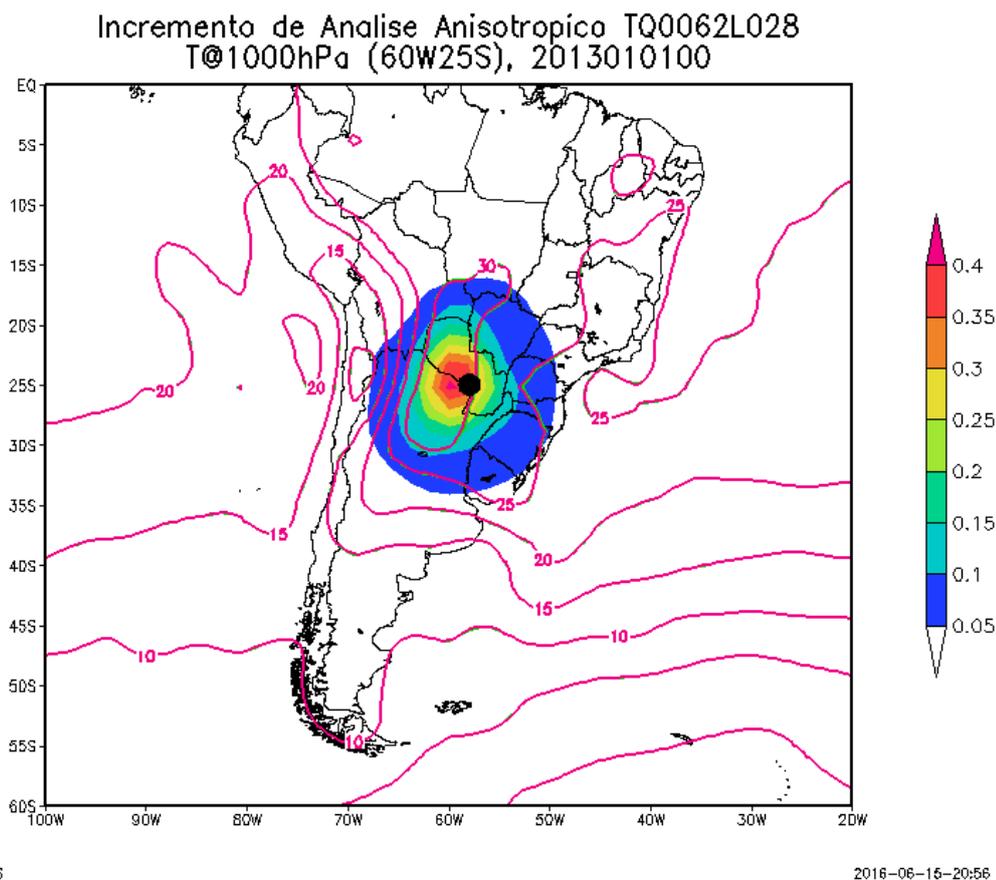


Figura 4.6 - Aspecto do incremento de análise anisotrópica na resolução TQ0062L028, obtido a partir da assimilação de uma observação sintética de temperatura do ar em 1000 hPa.

4.2 Interface de acoplamento do BAM com o GSI

O método de acoplamento usado para permitir que o GSI seja utilizado em conjunto com o BAM foi baseado na mesma metodologia de acoplamento já adotada no DTC ao implementar a versão que permite o uso tanto do modelo global GFS como o modelo regional WRF. Assim o modelo BAM foi adicionado na lista dos modelos possíveis de se usar o GSI e o mesmo deverá ser feito com os demais modelos regionais do CPTEC. Detalhes desse módulo acoplador são apresentados na próxima seção.

4.2.1 Módulo acoplador dos modelos no GSI

O acoplamento do modelo BAM com o GSI é realizado por meio de uma interface *input/output* (“sigio_BAMMod”), a qual é um pacote de rotinas e funções escritas em fortran 90 que possibilitam o acesso as informações originais (não pós processadas) nos arquivos de previsão geradas pelo BAM em seu respectivo formato,

escrevendo um arquivo em pontos de grade para que o GSI faça a integração com as informações oriundas das observações. Esse módulo também faz o fluxo contrário escrevendo o arquivo de análise gerada pelo GSI em uma estrutura idêntica àquela utilizada pelo modelo BAM como condição inicial, com os campos analisados alterados pelas observações e os demais campos mantidos inalterados. Na Figura 4.7 é ilustrada de forma esquemática a chamada dos módulos, sendo ela orientada pelo *namelist* principal do GSI (*gsiparam.nml*) onde são definidos o centro do modelo (NCEP ou CPTEC) e o tipo (global e regional). Foi desenvolvido um módulo com instruções de leitura/escrita semelhante ao do NCEP, seguindo os mesmos padrões, denominado “*cptecbam_io.F90*”. Esse mesmo tipo de módulo será desenvolvido para os demais modelos do CPTEC. Esses módulos estão preparados para três funções específicas (em destaque na Figura 4.7 abaixo):

a) Leitura das informações da estrutura de escrita dos arquivos de *background* do modelo selecionado;

b) Leitura do arquivos de *background* do modelos;

c) Escrita da análise gerada pelo GSI obedecendo a estrutura de escrita dos arquivos de análise do modelo selecionado;

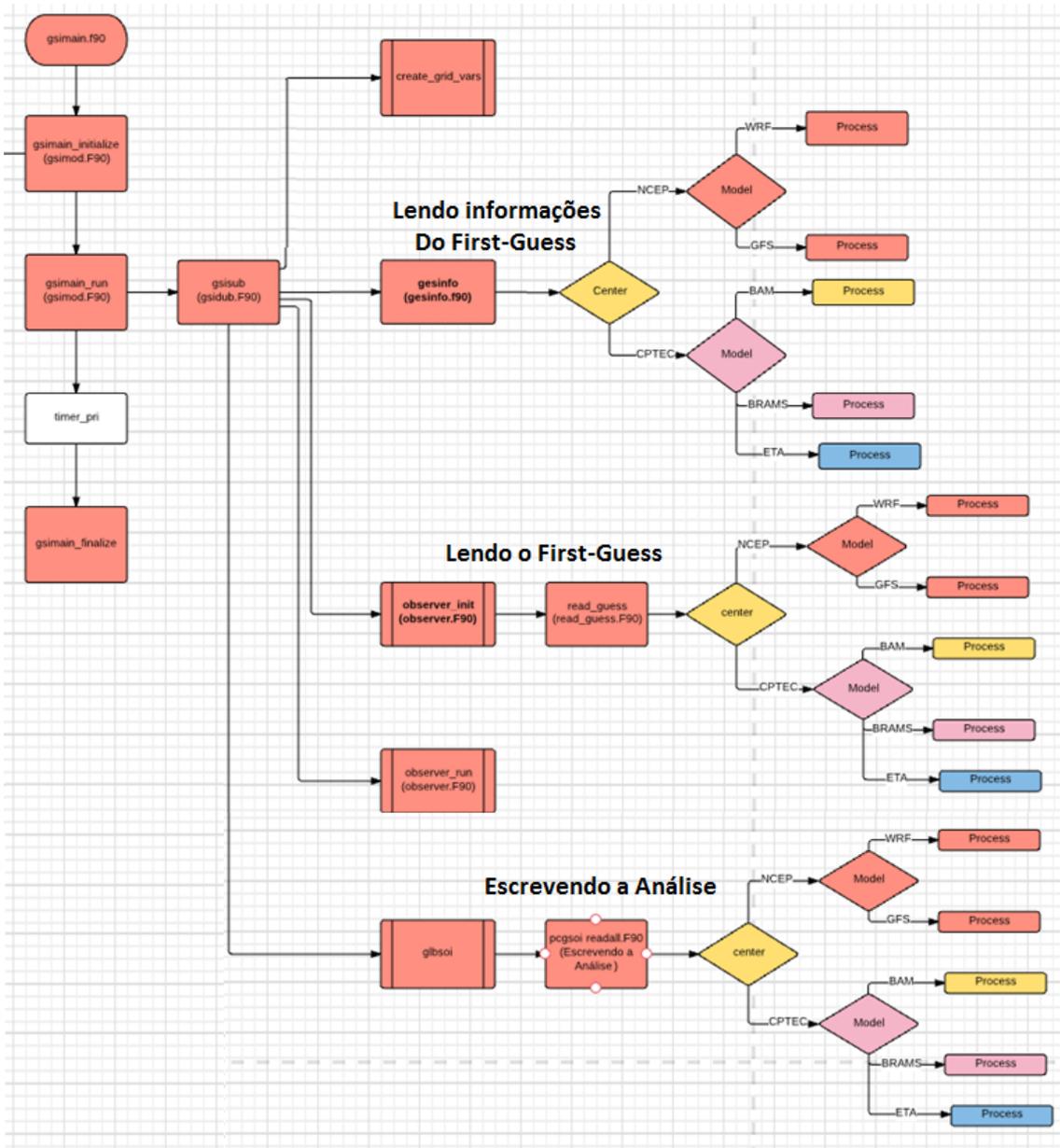


Figura 4.7 - Fluxograma do módulo de acoplamento dos modelos no GSI, com destaque para a relação de todos os modelos considerados.

4.2.2 Detalhes do acoplamento do BAM com o GSI usando o módulo de acoplamento

Esse acoplamento do modelo BAM com o GSI é realizado por meio de uma interface *input/output* (“`sigio_BAMMod`”), a qual é um pacote de rotina e funções escritas em fortran 90 que possibilitam o acesso as informações originais (não pós-processadas) nos arquivos de previsão geradas pelo BAM em formato espectral, escrevendo um

arquivo em pontos de grade para que o GSI faça a integração com as informações oriundas das observações. Esse módulo também faz o fluxo contrário lendo o arquivo de análise gerada pelo GSI e escreve tais informações em uma estrutura idêntica à do BAM, com os campos analisados alterados pelas observações e os demais campos inalterados. Os arquivos de previsão do BAM são constituídos por dois arquivos em formatos distintos, tal que:

- **Um arquivo no formato ASCII, denominado arquivo “dir”:** contém um cabeçalho descrevendo algumas informações da simulação tais como data inicial e final da simulação, número e δz dos níveis verticais. Este arquivo também possui uma tabela contendo as variáveis disponíveis no arquivo de previsão, identificando o tipo de cada variável (Diagnostica/-Prognóstica), a quantidade de níveis verticais e se é uma variável em ponto de grade ou em formato espectral;
- **Um arquivo no formato “IEEE”, denominado arquivo “FCT”:** que contém um cabeçalho com a data da simulação, seguido pelos campos diagnósticos e prognósticos do BAM. Estes campos estão na mesma sequência em que aparecem na tabela de variáveis do arquivo dir.

Observação 5: um arquivo no formato “IEEE” é referenciado como um arquivo fortran não formatado (*unformatted*) com acesso sequencial e com o comprimento dos registros variável. No sistema Linux/Unix comum, é apenas um arquivo com registros utilizando palavras de quatro *bytes* e um “cabeçalho” de quatro *bytes* indicando o tamanho do registro em *bytes*.

4.2.3 Lista das principais rotinas da interface e suas funções

Nessa seção é apresentada um resumo das principais rotinas da interface e uma breve descrição.

- **“BAM_Open”:** - Esta rotina é uma interface para abrir os arquivos do BAM com o propósito de leitura e escrita, com dois modos para a abertura desses arquivos, um somente leitura e outro para escrita. No modo somente leitura, caso não seja definido explicitamente qual o arquivo que deve ser lido, abre-se por padrão os arquivos necessários para a leitura do arquivo de previsão (arquivos DIR e FCT). O arquivo DIR serve como um arquivo descritor que indica qual a posição de cada variável dentro do arquivo

FCT. Já no modo de escrita, caso não seja especificado, abre-se somente o arquivo de condição inicial do BAM. No modo de escrita, caso o arquivo já exista, ele é sobrescrito pelo novo arquivo.

- **“Open__”** : Esta rotina é uma interface para abrir os arquivos do modelo BAM. Há dois modos para a abertura dos arquivos: (1) somente leitura e (2) escrita. Em ambos os casos, é necessário informar qual o tipo do arquivo que se está querendo ler ou escrever. Há três tipos de dados: (1) arquivos de previsão (FCT), (2) arquivos de condição inicial (ANL) e (3) arquivos descritores (DIR). O arquivo DIR serve como um arquivo descritor que indica qual a posição de cada variável dentro do arquivo FCT. É importante salientar que no modo de escrita, caso o arquivo já exista ele é sobrescrito pelo novo arquivo.
- **“OpenAnl”**: Esta rotina é uma interface para abrir os arquivos de análise do modelo BAM. Há dois modos para a abertura dos arquivos: (1) somente leitura e (2) escrita. É importante salientar que no modo de escrita, caso o arquivo já exista, ele é sobrescrito pelo novo arquivo.
- **“OpenFct”**: Esta rotina é uma interface para abrir os arquivos de previsão do modelo BAM. Há dois modos para a abertura dos arquivos: (1) somente leitura e (2) escrita. É importante salientar que no modo de escrita, caso o arquivo já exista, ele é sobrescrito pelo novo arquivo.
- **“OpenDir”**: Esta rotina é uma interface para abrir os arquivos descritores (DIR) do modelo BAM. Há dois modos para a abertura dos arquivos: (1) somente leitura e (2) escrita. É importante salientar que no modo de escrita, caso o arquivo já exista, ele é sobrescrito pelo novo arquivo.
- **“ReadHead”**: Esta rotina lê as informações contidas no arquivo descritor do modelo BAM (arquivo DIR) e então inicializa a estrutura de dados (“BAMFile”) usada neste módulo para ler e escrever os arquivos do BAM.
- **“BAM_Close__”**: Esta rotina fecha todos os arquivos do BAM (ANL, FCT, DIR) que estejam abertos e também reinicia todas as informações contidas na estrutura de dados “BAMFile”.
- **“ResetHead__”**: Esta rotina reinicia todas as informações contidas na estrutura de dados “BAMFile”.

- **“BAM_GetTimeInfo”**: Esta rotina retorna informações sobre a data dos arquivos do modelo BAM. Podem ser retornadas as seguintes informações:
 - a) “ihr”: Hora da condição inicial utilizada para a simulação;
 - b) “iyr”: Ano da condição inicial utilizada para a simulação;
 - c) “idy”: dia da condição inicial utilizada para a simulação;
 - d) “imo”: mês da condição inicial utilizada para a simulação;
 - e) “fhr”: hora da previsão da simulação;
 - f) “fyr”: ano da previsão da simulação;
 - g) “fdy”: dia da previsão da simulação;
 - h) “fmo”: mês da previsão da simulação.
- **“BAM_GetNLevels”**: Esta função retorna o número de níveis verticais que uma dada variável possui.
- **“BAM_GetSigValues”**: Esta rotina retorna os valores dos seguintes parâmetros da coordenada vertical sigma:
 - a) “DelSig”: diferença entre os níveis sigma;
 - b) “SigInt”: interface entre os níveis sigma;
 - c) “SigMid”: ponto médio entre os níveis sigma.
- **“BAM_WriteAnlHeader”**: Esta rotina escreve o cabeçalho do arquivo de condição inicial do modelo BAM.
- **“WriteField_MPI”**: Esta rotina escreve um campo do modelo BAM.

4.2.4 Exemplo de Uso

O primeiro passo é carregar este módulo no programa fortran e definir uma estrutura de dados contendo as informações do BAM.

- a) Define-se no início do programa fortran o uso do módulo “sigio_BAM-Mod”:

```
use sigio_BAMMod
```

- b) Defina uma variável que conterà a estrutura de dados:

```
type (BAMFile) :: BAM_struct
```

- c) Define-se qual o arquivo deverá ser lido (fct,dir,anl). Os arquivos do BAM são compostos por um arquivo de cabeçalho (“dir”) e um arquivo binário (“fct”/“anl”):

```
BAM_struct%fdir = GFCTNMC20131231002013123106F.dir .  
TQ0062L028  
BAM_struct%ffct = GFCTNMC20131231002013123106F.fct .  
TQ0062L028
```

- d) Utiliza-se a rotina específica para a abertura do arquivo:

```
call BAM_Open(BAM_struct, iret)
```

- e) Faz-se a leitura do campo disponível no BAM, definindo antes o nome da variável, o nível vertical e alocando um vetor do tamanho necessário para retornar o campo solicitado:

```
Allocate (grid (192*96))  
VName = 'VIRTUAL TEMPERATUE'  
ilev = 1  
call BAM_GetField(BAM_struct, trim(VName(ivar)), ilev, grid,  
iret)
```

- f) Depois que todos os campos necessários do modelo BAM forem lidos, fecha-se arquivo:

```
call BAM_Close(BAM_struct)
```

5 Validação do acoplamento do BAM no GSI no SMG

Como uma análise inicial da validação da versão SMG_V0.0.0 são mostrados os primeiros resultados obtidos com a rodada do *testcase* da distribuição, bem como uma análise do comportamento da função custo durante o processo de minimização e por fim uma análise diagnóstica das previsões de precipitação obtidas.

5.1 Minimização e Condicionamento da Função Custo Variacional

Com o acoplamento do modelo BAM com o sistema de assimilação de dados GSI, a minimização e o condicionamento da função custo variacional é a parte do sistema de assimilação de dados que irá permitir que a análise possa ser determinada. Esta seção apresenta de forma sucinta, a escolha do método de minimização da função custo e a determinação do número de *outer loops* (ou iterações externas) e do número mínimo de *inner loops* (ou iterações internas).

Conforme descrito na Subseção 3.2.3.3, a rotina que gerencia o sistema de minimização da função custo no GSI é chamada *glbsoi*, a qual por padrão chama a rotina *pcgsoi* que realiza a minimização pelo método do gradiente conjugado. E na Subseção 3.2.4, fragmentos das saídas *stdout* e *fort.220* do GSI são listados onde pode-se analisar os resultados da minimização.

Durante o *testcase*, o método de minimização padrão do GSI mostrou-se instável após alguns ciclos de assimilação. Algumas vezes, aumentando ou diminuindo o número de processadores, o ciclo deixou de cair mas não foi encontrado um valor fixo para o número de processadores que mantivesse o ciclo estável durante todo o período.

Há pelo menos dois outros métodos alternativos de minimização. O primeiro deles testado foi ativado a partir do parâmetro `lsqrtb=.true.` no namelist (`gsiparm.anl`), assim a rotina `sqrtmin` é chamada. Com essa rotina ativada, `ltlint` também deve ser ativado para falso ou verdadeiro. Em nenhum dos casos essa rotina funcionou pois não está completamente integrada com a nova interface com o BAM gerando o seguinte erro:

```
BAM error => OpenDir_( ... ) Error to open model file: BAM.dir.06 207
:: GenWriteBAM() Problem to open BAM dir file to read at 2 rank!
```

O segundo método testado foi o gradiente biconjugado, semelhante ao gradiente conjugado, o qual se mostrou estável durante todo o período com a desvantagem que não há o *print* do arquivo *fort.220* que fornece os dados para plotar a curva

da função custo. Isso pode ser em parte corrigido futuramente incluindo o *print* no código.

E por último, foi testado também ativar o parâmetro `lbfgsmin=.true.`, mas este se mostrou instável também. Como não há documentação sobre esse método, ele será analisado futuramente.

Para a escolha dos parâmetros *inner* e *outer loop*, o gráfico da função custo assim como o gradiente dessa função (vide fig.5.1) foram gerados a partir do arquivo `fort.220`. A configuração inicial escolhida foi feita setando no *namelist* os parâmetros `miter=2`, `niter(1)=50` e `niter(2)=50`.

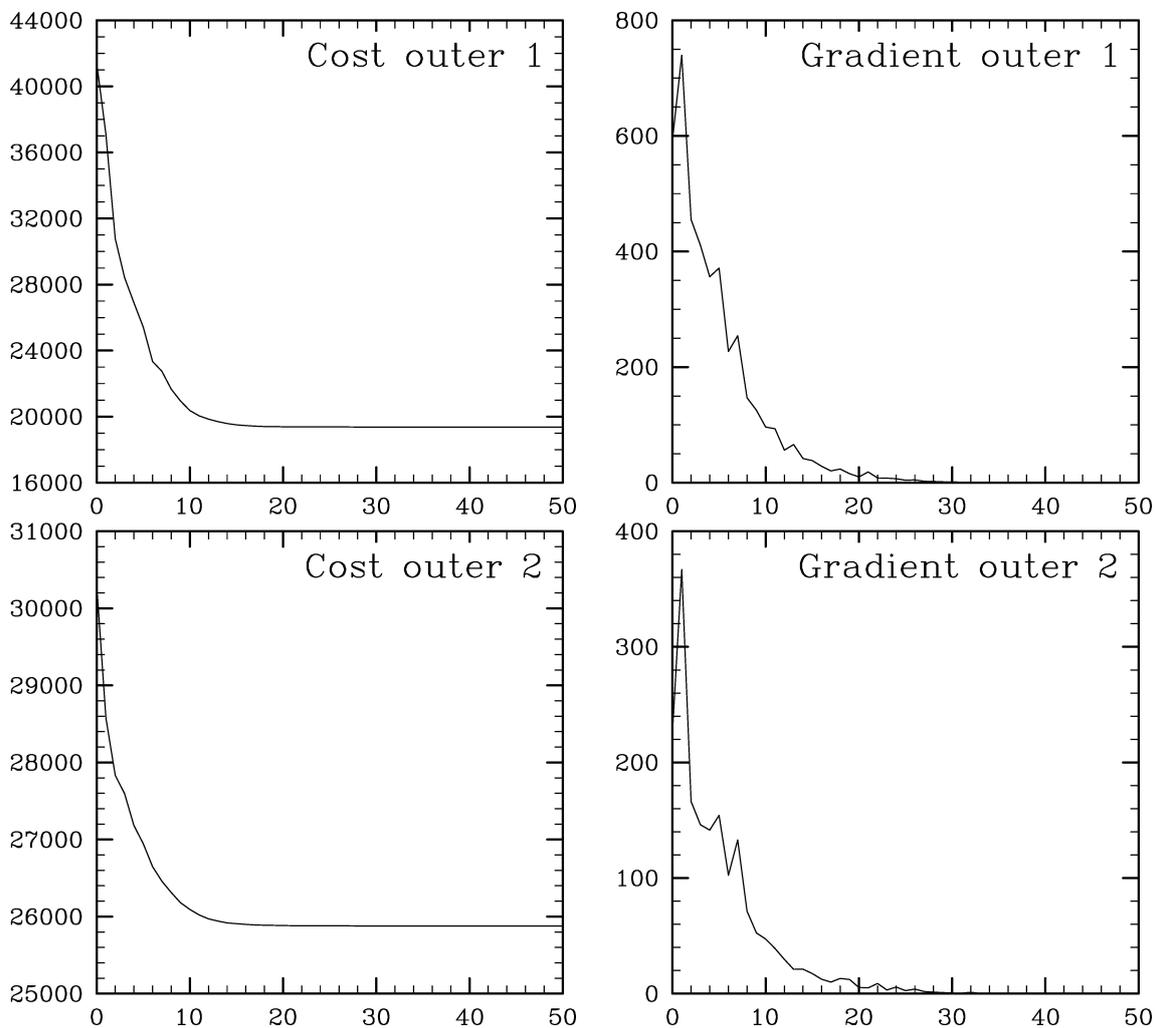


Figura 5.1 - Gráficos da função custo à esquerda e do gradiente dessa função à direita. Inicialmente foram escolhidos 2 *outer loops* e para cada *inner loop* correspondente, o limite de 50 iterações.

Existe um critério de parada caso a convergência tenha sido alcançada. Então, nem sempre a minimização continua até chegar no limite de iterações.

Verificou-se, no período do *testcase*, que a função custo não converge de modo satisfatório (melhor visto pelo gradiente dessa função) utilizando-se apenas 10 iterações para cada *inner loop* (configuração padrão). Aumentando esse valor para 50 na tentativa de obter uma melhor convergência da função custo, o sistema de assimilação em conjunto com o modelo se tornou instável. Vale ressaltar que nessa versão está-se assimilando apenas dados convencionais (*prepbufr*) e que a inclusão de novos dados, assim como assimilar dados em horários diferentes irão impactar no ajuste dos parâmetros de *inner* e *outer loops*. Por isso, a escolha foi feita de modo a ter o ciclo rodando de forma estável com boa convergência da minimização da função custo num tempo de execução aceitável.

Portanto, após esse estudo o método de minimização adotado no momento foi o gradiente biconjugado. Para ativá-lo, o parâmetro `lbicg=.true.` foi configurado no *namelist* que resultou na chamada da rotina *bicg*. O artigo descrevendo esse método pode ser visto na ref. (AKKRAOUI et al., 2013). No período do teste (e também estendendo para um mês), os seguintes parâmetros resultaram em estabilidade:

```
numero de processadores: 72
miter=2, niter(1)=30, niter(2)=30
lbicg=.true.
```

Este estudo deverá ser refeito quando mais observações forem incluídas ou se o sistema se instabilizar em rodadas mais longas.

5.2 Diagnóstico da Precipitação

Como forma de se diagnosticar o estado do campo de precipitação produzido pelos ciclos do SMG, são apresentados os campos médios da precipitação de 24 horas do modelo BAM (revisão 85 – r85 do projeto SMG). Este diagnóstico não é final e por isso não tem o compromisso de ser apresentado como um resultado do acoplamento do sistema. Este tipo de diagnóstico, no entanto, é importante para mostrar a evolução do acoplamento do sistema quando (por exemplo), mais tipos de observações foram introduzidas ou quando novas parametrizações físicas forem testadas. Referindo-se estritamente à uma revisão do repositório, as figuras a seguir não representam, portanto, o que se obtém com uma versão do SMG.

Para a verificação do campo de precipitação de 24h médio (às 12Z) durante janeiro de

2013, foram feitos testes iniciais do SMG (revisão 85) para uma avaliação preliminar dos campos de precipitação das previsões de 24 horas. O teste consistiu na utilização de combinações das opções e valores de difusão, esquema de convecção profunda e radiação de onda longa (uma lista com estas configurações é apresentada mais abaixo). Ressalta-se que estes testes foram feitos para apenas se verificar qual o efeito destas opções no campo de precipitação produzido, especificamente na r85, durante o desenvolvimento do SMG.

Na Figura 5.2 é apresentada a média do campo de precipitação de 24 horas referente às 12Z durante janeiro de 2013. A comparação é feita com os dados do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) com resolução de 2,5 graus (Figura 5.2a). Foram feitos dois experimentos: o primeiro, com a realização do BAM partindo-se das análises do NCEP (Figura 5.2b) e o segundo, com a realização cíclica do BAM a partir das análises do GSI (BAM+GSI, r85). Em ambos os experimentos, os campos de precipitação apresentados foram interpolados para a resolução dos dados do GPCP (2,5 graus, *script* em anexo). São apresentadas também as médias espaciais dos campos de precipitação produzidos, também como forma de comparação. Conforme indicado na Figura 5.2, a média espacial climatológica da precipitação total diária deve ser em torno de 2,6 mm/dia. Como os valores calculados foram obtidos a partir da média espacial, então valores fora deste intervalo podem ser encontrados.

GPCP 2.5 (Jan. 2013 24h FCT)

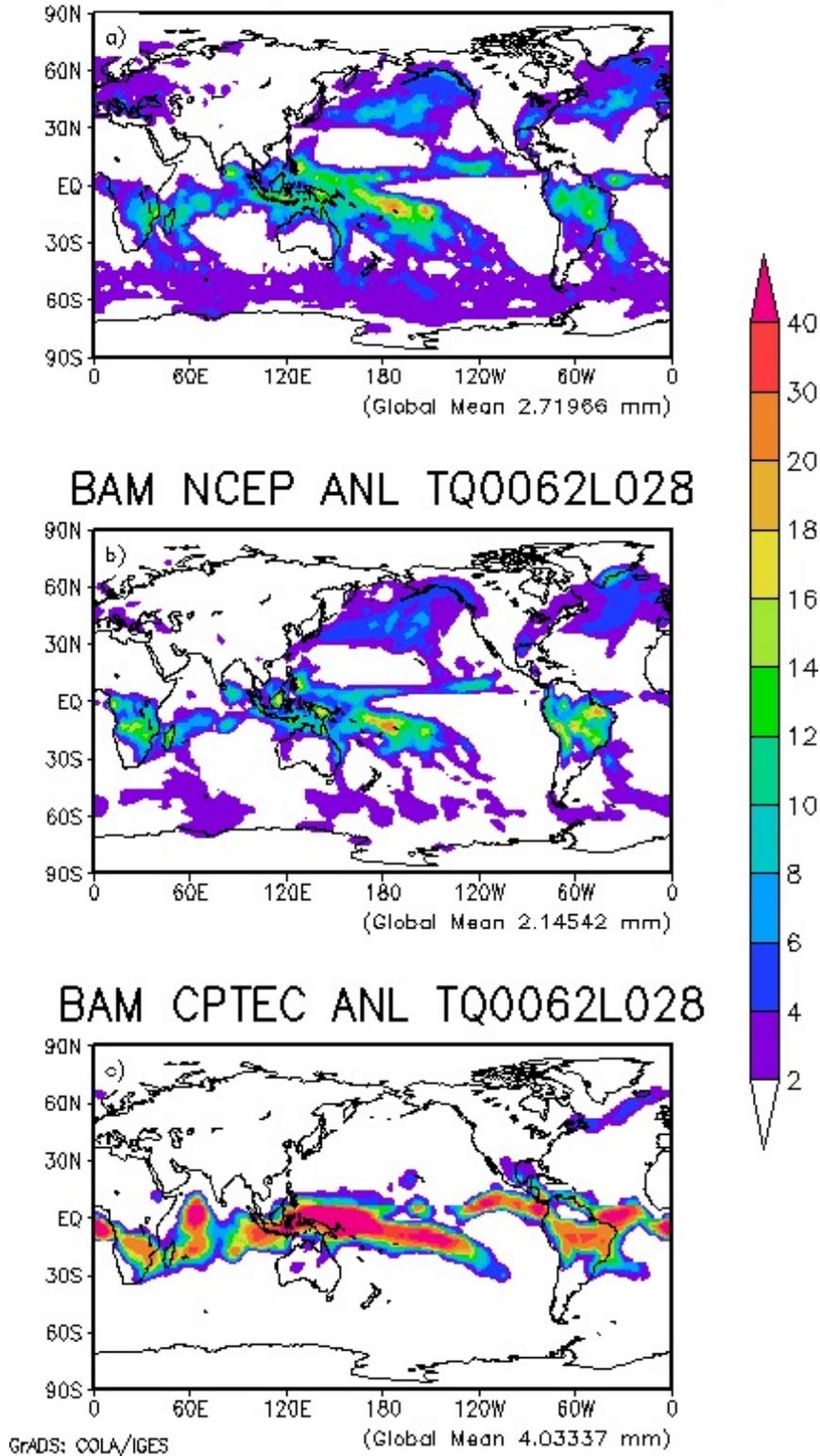


Figura 5.2 - Média temporal das previsões de 24 horas (às 12Z). Em a) média da precipitação observada de 24 horas do GPCP (2,5) graus; b) média temporal da precipitação de 24 horas, produzida pelo modelo BAM utilizando as análise do NCEP; c) média temporal da precipitação de 24 horas, produzida pelo modelo BAM utilizando as análise do GSI (experimento cíclico).

A Figura 5.3 mostra a média espacial diária [mm/dia] da precipitação do experimento realizado com o SMG (r85), do BAM com as análises do NCEP e o GPCP; todos interpolados para 2,5 graus. Nesta, verifica-se que o BAM sendo realizado ciclicamente com as análises do GSI necessita ser ajustado/calibrado: logo após o primeiro ciclo (sendo a primeira análise do NCEP), o BAM superestima a quantidade de precipitação e produz um padrão espacial de precipitação tal como aquele representado na Figura 5.3c. A precipitação produzida a partir da análise do NCEP, por outro lado, produz menos chuva (se comparado com o próprio GPCP), mas de forma mais coerente.

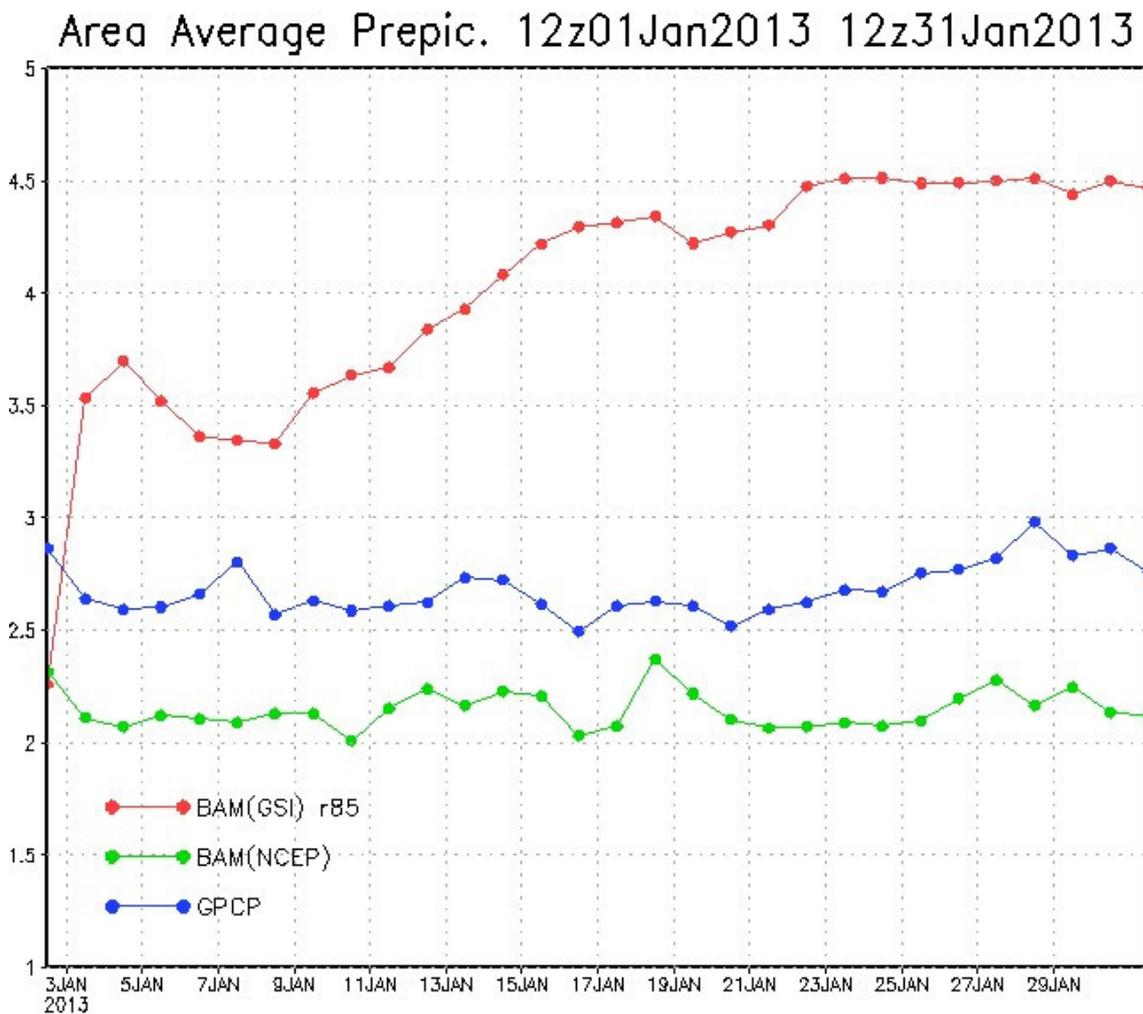


Figura 5.3 - Média espacial das previsões de 24 horas do GPCP (observado, curva azul), modelo BAM com as análises do NCEP (curva verde) e modelo BAM com análises do GSI (experimento cíclico, curva vermelha).

Como forma de se testar alguns dos parâmetros que podem influenciar a forma como a chuva é produzida pelo modelo de previsão, uma realização de apenas um 1 dia foi analisada (a partir da análise do NCEP), com as seguintes configurações:

Configuração 1:

- Esquema de convecção profunda: Arakawa;
- Esquema de radiação de onda longa: Harshvardham;
- Valor da difusão (horizontal e vertical): $x10^{12}$;

Configuração 2:

- Esquema de convecção profunda: Grell-Nilo;
- Esquema de radiação de onda longa: Harshvardham;
- Valor da difusão (horizontal e vertical): $x10^{12}$;

Configuração 3:

- Esquema de convecção profunda: Arakawa;
- Esquema de radiação de onda longa: Harshvardham;
- Valor da difusão (horizontal e vertical): $x10^{14}$;

Configuração 4:

- Esquema de convecção profunda: Grell-Nilo;
- Esquema de radiação de onda longa: Harshvardham;
- Valor da difusão (horizontal e vertical): $x10^{14}$;

Configuração 5:

- Esquema de convecção profunda: Arakawa;

- Esquema de radiação de onda longa: Clirad-Tarasova;
- Valor da difusão (horizontal e vertical): $x10^{14}$;

Configuração 6:

- Esquema de convecção profunda: Grell-Nilo;
- Esquema de radiação de onda longa: Clirad-Tarasova;
- Valor da difusão (horizontal e vertical): $x10^{14}$;

Os resultados destas configurações são apresentados na Figura 5.4. As Figuras 5.4a, 5.4b, 5.4c, 5.4d, e, 5.4f representam, respectivamente, cada uma destas configurações. O dia escolhido foi 01 de janeiro de 2013 às 00Z por ser o primeiro dia de precipitação do ciclo de assimilação de dados. A primeira diferença resultante dos testes com as configurações está na precipitação produzida pelos esquemas convectivos. A comparação das Figuras 5.4a, 5.4c, 5.4e com 5.4b, 5.4d, 5.4f - respectivamente, mostram que o esquema de Grell-Nilo produziu mais chuva convectiva do que de larga escala. A chuva na região tropical possui acumulados mais intensos, enquanto que a de larga escala manteve-se com distribuição e acumulados semelhantes ao que foi produzido pelos demais testes. Comparando-se as Figuras 5.4a, 5.4b com 5.4c, 5.4d, não se verificam diferenças importantes em relação à magnitude do valor de difusão utilizado. As médias globais entre as configurações representadas pelas Figuras 5.4a, 5.4c e 5.4b, 5.4d, são também semelhantes. A combinação Grell-Nilo e difusão de magnitude 10^{14} produziu menos chuva. A combinação Arakawa e difusão de magnitude 10^{12} foi a que produziu mais chuva nesta comparação. Em relação ao esquema de radiação de onda longa - importante para a determinação da quantidade de calor e conseqüentemente umidade a partir da evaporação, o esquema de Clirad-Tarasova induziu menos precipitação em ambos os esquemas Cumulus - de Grell-Nilo e Arakawa. Nestes dois exemplos (Figuras 5.4e, 5.4f), a média global de precipitação foi menor do que o esquema da Figura 5.4a, sendo o esquema da Figura 5.4f o que apresentou pior representação da chuva em distribuição espacial e acumulado.

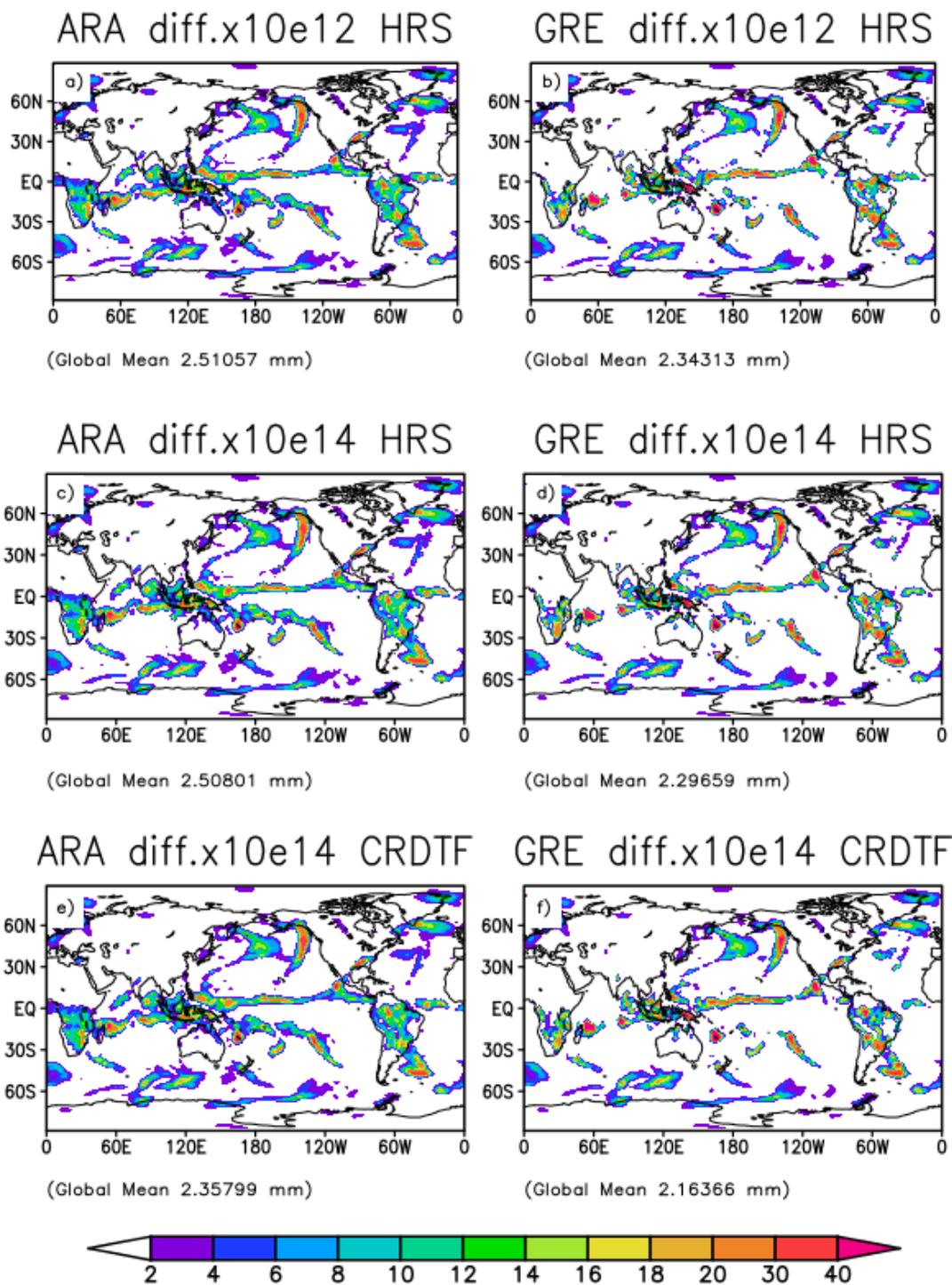


Figura 5.4 - Sensibilidade do modelo BAM (r85) à alterações em: parametrização convectiva (Arakawa/Grell-Nilo); radiação de onda longa (Harshvardham/Clrad-Tarasova) e difusão horizontal e vertical (magnitudes 10^{12} e 10^{14}).

6 Perspectivas futuras e considerações finais

Nesta seção é apresentada uma lista das versões do projeto a serem entregues futuramente. Nessa lista são detalhados os pontos principais a serem abordados no que diz respeito a implementações e melhorias, às quais são aqui tratadas como perspectivas futuras dentro da proposta de evolução desse desenvolvimento. Algumas considerações finais também são apresentadas, as quais apontam para a importância do projeto e a sua relação com outras iniciativas dentro da divisão e no CPTEC.

6.1 Versões previstas para a distribuição do pacote

Como todos os desenvolvimentos em assimilação de dados, durante a concepção do projeto definiu-se que o desenvolvimento do SMG seria particionado em diferentes versões com objetivos específicos, e deixariam claro a evolução das versões. Uma descrição detalhada de cada uma delas e o cronograma de entrega podem ser acessados na seguinte wiki <https://projetos.cptec.inpe.br/projects/smg/wiki/SMG_release>. Para cada uma destas versões deverão ser criadas páginas wiki específicas no readmine contendo todos os detalhes das mesmas, as quais serão utilizados na elaboração do relatório de entrega. As versões previstas do SMG são as seguintes:

- **Versão v0.0.0:** Nesta versão, sendo a entrega efetivada pelo presente documento, é implementada toda a estrutura básica para o desenvolvimento do projeto e tem as componentes necessárias para uma primeira versão, que embora ainda não operacionalizável, tem uma infraestrutura que permitirá o desenvolvimento para isso. Espera-se garantir a correta leitura das informações do *background* do BAM pelo GSI e a posterior leitura da condição inicial para o BAM. O GSI deve ser capaz de ler diretamente os campos do BAM e, após os procedimentos de análise do GSI, o BAM deve ser capaz de ler diretamente a condição inicial escrita pelo GSI, sem que haja a necessidade de programas que realizem esta interface entre os dois sistemas. Nesta versão ainda não estão disponíveis os resultados com um grande conjunto de informações sendo assimilados, somente um conjunto pequeno de dados convencionais. O teste inicial a ser aplicado nessa versão é o “zero-obs” que garante que a versão atingiu seu objetivo;
- **Versão v1.0.0** (Entrega prevista para 30/04/2017): Deverá ter recebido um significativo investimento dos grupos de modelagem tanto na dinâmica como na física, e da assimilação de dados para identificar os possíveis erros no acoplamento, nas interações do modelo com as correções feitas pelas ob-

servações ao serem assimiladas. Prováveis *bugs* em cada um dos processos deverão ser identificados e corrigidos. Um conjunto maior de dados deverá ser incluído e testado, diagnosticando problemas na modelagem, assimilação ou nessa base de dados em teste. Nessa base de dados, um conjunto inicial mais básico de radiância (sensor AMSU-A) deverá ser incluído de forma cautelosa e devidamente avaliado. Melhorias na matriz \mathbf{B} inicial serão realizados com o uso de um maior período de dados e usando a versão do SMG com assimilação. Essa versão poderá ser pré-operacionalizada se houverem recursos computacionais e fluxo de dados adequado;

- **Versão v1.1.0** (Entrega prevista para 30/06/2017): Deverá contemplar a inclusão de uma mais robusta base de dados de satélites, incluindo os demais sensores de radiâncias, tais como o MHS e o HIRS4, os dados de vento por satélites gerados na DSA, e dados de rádio ocultação GPS. Ajustes em todos os módulos do modelo BAM deverão ser realizados para adequadamente se ajustar às correções realizadas pela maior base de dados em todo o globo e em todos os componentes do sistema de modelagem. Avaliação das condições de fronteiras com o modelo de superfície, campos de temperatura da superfície do mar e outros campos deverão ser revisados, melhorados e erros corrigidos. Uma avaliação do desempenho computacional deverá ser feito tanto no modelo como no processo de minimização na obtenção das análises deverá ser realizada. Melhorias na matriz de erro do modelo serão aplicadas com o usos de previsões mais fieis a versão em uso e também um período maior de dados. Essa versão dependendo do sucesso de toda a sua evolução poderá ser operacional;
- **Versão 2.0.0** (Entrega prevista para 08/12/2017): Versão do sistema de modelagem global com ajustes finos na dinâmica e na física do modelo assegurando os melhores resultados com a assimilação de dados. O uso de uma matriz de covariância mais realística e adequada para cada período do ano, com a utilização de um ano completo de previsões. Ajustes no acoplamento do sistema de assimilação/modelo atmosférico, com erros/imperfeições identificados e corrigidos. Inclusão de novos dados observacionais envolvendo dados convencionais menos frequentes e dados de satélite dos sensores hiper-espectrais. Essa versão visará a obtenção do melhor desempenho das condições iniciais e das previsões de tempo determinísticas para até 7 dias, sendo compatíveis com as geradas pelo GFS. Esta versão deverá servir de estrutura básica para o acoplamento e assimilação nas demais

componentes do SMG, como modelos de superfície e oceanos.

Novas versões do SMG deverão ser idealizadas no contexto do projeto e em sintonia com o planejamento das atividades da assimilação de dados para o quadriênio 2016-2019. Nessas próximas versões também envolverá a combinação da assimilação híbrida, a previsão por conjunto e assimilação em modelos de superfície e os passos iniciais na assimilação oceânica.

6.2 Considerações finais

Um ciclo de assimilação de dados envolvendo um modelo determinístico e um sistema variacional em 3 dimensões tem sido utilizado rotineiramente desde o início dos anos 1990 (Lorenc (1981), Lorenc (1986) e Lorenc (1997)). Diversos desenvolvimentos foram realizados utilizando este acoplamento como base, de forma que atualmente é possível utilizar um conjunto de realizações de um sistema de assimilação com o objetivo de se obter especificação de covariâncias dos erros de previsão (essenciais para a assimilação dos dados) que sejam mais realísticas e completas. Esta evolução só é possível quando se tem completo domínio e conhecimento acerca dos processos envolvidos na “interação” entre modelo e sistema de assimilação. Em sistemas mais complexos, como o sistema variacional em 4 dimensões, não há como criar uma estrutura de desenvolvimento sem que ambas as componentes do sistema sejam idealizadas em conjunto. Portanto, a fim de que o SMG tenha sucesso na sua implementação, é necessário que todos os detalhes possam ser devidamente contemplados - seja em um sistema simples ou complexo.

A previsão numérica da atmosfera em escala global do CPTEC/INPE tem como base as pesquisas e desenvolvimentos em modelagem e assimilação de dados. O SMG do CPTEC está sendo desenvolvido para abranger as diversas componentes de um modelo de previsão numérica e um algoritmo relacionado à ingestão de dados observacionais, tendo como finalidade produzir previsões numéricas de boa qualidade. Sua complexidade vai deste o momento da escolha das configurações mais adequadas do modelo até a obtenção do melhor conjunto de observações, ambos para serem utilizados pelo algoritmo de assimilação de dados para a geração da condição inicial. Nesse sentido, cada uma das componentes do SMG desempenha um papel fundamental, sempre visando a melhoria da qualidade das previsões numéricas do CPTEC.

O modelo de previsão numérica é executado diariamente, por até alguns dias, para produzir os produtos que nortearão os meteorologistas em sua previsão do tempo.

Esse mesmo modelo deve ser capaz de produzir uma boa previsão de curto prazo para ser utilizada como estimativa inicial (do inglês *background*) para que o algoritmo de assimilação de dados seja capaz de gerar uma “análise” representativa do real estado da atmosfera. O algoritmo de assimilação de dados requer uma boa qualidade do *background*, pois a assimilação de dados geralmente é realizada de forma sequencial e cíclica, incluindo a integração do modelo numérico e aplicando uma correção na trajetória do modelo (*background*), levando em conta as observações disponíveis. No processo de assimilação de dados, estes passos mostram que o modelo atmosférico é o ingrediente básico que permite a continuidade temporal da avaliação do fluxo atmosférico. No entanto, as observações são os elementos cruciais que permitem o constante reajuste da trajetória do modelo a fim de produzir a melhor estimativa possível do verdadeiro estado atmosférico. Deve-se salientar também que cada fonte de informação sobre o estado atmosférico (*background* e dados observacionais) é caracterizada por diversos tipos de erros, o que leva à necessidade de uma abordagem estatística em que as características do erro de cada componente devem ser levadas em consideração. Em outras palavras, é preciso encontrar o melhor equilíbrio entre as várias fontes de informação (*background* e dados observacionais), confiando em cada uma delas de acordo com suas estatísticas de erro.

Atualmente, o SMG operacional do CPTEC possui deficiências que o impossibilitam a realização de simulações de forma contínua (cíclica) por períodos de tempo mais longos que algumas semanas. Embora esta seja uma realidade, o CPTEC vem buscando nos últimos anos soluções para que o seu SMG produza previsões de tempo e clima competitivas com os principais centros meteorológicos mundiais. Para isto, os diversos ramos, sejam na modelagem numérica ou no algoritmo de assimilação, tiveram avanços individuais por meio de aperfeiçoamentos. A exemplo, tem-se mudanças na dinâmica e nas parametrizações físicas do modelo e o investimento em diferentes técnicas de assimilação de dados, tanto determinística quanto por conjunto. Porém, o principal ponto que sempre ficou em aberto foi a real interação entre cada uma das componentes, que em sua grande parte é não linear. Assim, para que se alcance o objetivo de se ter um SMG realmente competitivo, é primordial que ocorra o desenvolvimento integrado de ambas as componentes do SMG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKKRAOUI, A. E.; TRÉMOLET, Y.; TODLING, R. Preconditioning of variational data assimilation and the use of a bi-conjugate gradient method. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd., v. 139, n. 672, p. 731–741, 2013. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/qj.1997>>. 87
- BARBOSA, H. M. J.; A., T. T.; A., C. I. F. Impacts of a new solar radiation parameterization on the cptec agcm climatological features. **J. Appl. Meteorol. Climatol.**, v. 47, p. 1377–1392, May 2008. Acesso em: 07 jul. 2016. 27
- BARKER, D. M.; HUANG, W.; GUO, Y.-R.; BOURGEOIS, A. A **three-dimensional variational (3DVAR) data assimilation system for use with MM5**. Boulder, CO, 2003. 40
- BASTARZ, C. **Equação de análise**. Cachoeira Paulista, SP, 2014. Disponível em: <https://projetos.cptec.inpe.br/attachments/download/516/eq_analise.pdf>. 38
- BLAYO, A.; NODET, M.; VIDARD, A. **Introduction to data assimilation**. Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, 2016. Disponível em: <http://lgge.osug.fr/meom/pages-perso/cosme/doc_cours/ASSIM/Lecture_notesAV.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2016. 40
- BONATTI, J. L. **Climanálise Especial. Edição Comemorativa**. Cachoeira Paulista, SP, 2013. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/bonatti.html>>. 27
- CAMPOS, T. L. O. B.; AL. et. Sensibilidade da previsão numérica de tempo à escolha da 680 variável controle da umidade atmosférica na assimilação de dados do cptec. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2016. 48
- CAVALCANTI, I. F. A.; MARENGO, J. A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J. P.; MANZI, A. O.; TARASOVA, T.; PEZZI, L. P.; D'ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G.; CASTRO, C. C.; SANCHES, M. B.; CAMARGO, H. Global climatological features in a simulation using the cptec–cola agcm. **Journal of Climate, American Meteorological Society**, v. 15, n. 21, p. 2965–2988, November 2002. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2965:GCFIAS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2965:GCFIAS>2.0.CO;2)>. Acesso em: 25 okt. 2016. 27
- CUNNINGHAM, C.; BONATTI, J. P.; FERREIRA, M. Assessing improved cptec probabilistic forecasts on medium-range timescale. **Meteorological Applications**, John Wiley & Sons, Ltd, v. 22, n. 3, p. 378–384, 2015. ISSN 1469-8080. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/met.1464>>. 27
- DTC. **Community GSI Users Page**. Boulder, CO, 1991. Disponível em: <<http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/>>. 40, 41, 42, 49

FIGUEROA, S. N.; BONATTI, J. P.; KUBOTA, P. Y.; GRELL, G. A.; MORRISON, H.; BARROS, S. R. M.; FERNANDEZ, J. P. R.; RAMIREZ, E.; SIQUEIRA, L.; LUZIA, G.; SILVA, J.; SILVA, J. R.; PENDHARKAR, J.; CAPISTRANO, V. B.; ALVIM, D. S.; ENORÉ, D. P.; DINIZ, F. L. R.; SATYAMURTI, P.; CAVALCANTI, I. F. A.; NOBRE, P.; BARBOSA, H. M. J.; MENDES, C. L.; PANETTA, J. The brazilian global atmospheric model (bam): Performance for tropical rainfall forecasting and sensitivity to convective scheme and horizontal resolution. **Weather and Forecasting**, v. 31, n. 5, p. 1547–1572, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/WAF-D-16-0062.1>>. 27

FISCHER, W. T. Basic research methods for librarians. **Journal of the American Society for Information Science**, John Wiley & Sons, Inc., v. 50, n. 5, p. 477–478, 1999. ISSN 1097-4571. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4571\(1999\)50:5<477::AID-ASI10>3.0.CO;2-C](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(1999)50:5<477::AID-ASI10>3.0.CO;2-C)>. 41

HOLLINGSWORTH, A.; SHAW, D.; LÖNNBERG, P.; ILLARI, L.; ARPE, K.; SIMMONS, A. **Monitoring of observation and analysis quality by a data assimilation system**. [S.l.: s.n.], 1986. v. 114. 861–879 p. 69

KALNAY, E. **Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability**. Cambridge University Press, 2003. ISBN 9780521791793. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=zx_BakP2I5gC>. 37, 38, 40

LORENC, A. C. A global three-dimensional multivariate statistical interpolation scheme. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 4, p. 701–721, 1981. 97

_____. Analysis methods for numerical weather prediction. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Wiley Online Library, v. 112, n. 474, p. 1177–1194, 1986. 97

_____. Development of an operational variational assimilation scheme. **JOURNAL-METEOROLOGICAL SOCIETY OF JAPAN SERIES 2**, THE METEOROLOGICAL SOCIETY OF JAPAN, v. 75, p. 229–236, 1997. 97

LYNCH, P. The origins of computer weather prediction and climate modeling. **J. Comput. Phys.**, Academic Press Professional, Inc., San Diego, CA, USA, v. 227, n. 7, p. 3431–3444, mar. 2008. ISSN 0021-9991. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcp.2007.02.034>>. 37

LÖNNBERG, P.; HOLLINGSWORTH, A. The statistical structure of short-range forecast errors as determined from radiosonde data part ii: The covariance of height and wind errors. **Tellus A**, v. 38, n. 2, 2011. ISSN 1600-0870. Disponível em: <<http://www.tellusa.net/index.php/tellusa/article/view/11708>>. 41

NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; URBANO, D. F.; ALMEIDA, R. A. de; GIAROLLA, E. Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation. **Journal of Climate**, v. 22, n. 21, p. 5686–5697, 2009. 27

NOBRE, P.; SIQUEIRA, L. S.; ALMEIDA, R. A. de; MALAGUTTI, M.; GIAROLLA, E.; CASTELÃO, G. P.; BOTTINO, M. J.; KUBOTA, P.; FIGUEROA, S. N.; COSTA, M. C. et al. Climate simulation and change in the brazilian climate model. **Journal of Climate**, v. 26, n. 17, p. 6716–6732, 2013. 27

PALMER, T.; HAGEDORN, R. **Predictability of weather and climate**. Cambridge University Press: Cambridge, UK., 2006. 718 p. ISBN 9780521848824. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=c-rY28QQCj8C>>. 37

PARRISH, D. F.; DERBER, J. C. The national meteorological center's spectral statistical-interpolation analysis system. **Monthly Weather Review**, v. 120, n. 8, p. 1747–1763, 1992. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1992\)120<1747:TNMCSS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1992)120<1747:TNMCSS>2.0.CO;2)>. 41, 68

PURSER, R. J.; WU, W.-S.; PARRISH, D. F.; ROBERTS, N. M. Numerical aspects of the application of recursive filters to variational statistical analysis. part i: Spatially homogeneous and isotropic gaussian covariances. **Monthly Weather Review**, v. 131, n. 8, p. 1524–1535, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175//1520-0493\(2003\)131<1524:NAOTAO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175//1520-0493(2003)131<1524:NAOTAO>2.0.CO;2)>. 71

_____. Numerical aspects of the application of recursive filters to variational statistical analysis. part ii: Spatially inhomogeneous and anisotropic general covariances. **Monthly Weather Review**, v. 131, n. 8, p. 1536–1548, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175//2543.1>>. 71

ROCHA, H. R. d. **Modelagem da interação biosfera-atmosfera para áreas de floresta e pastagem na Amazônia**. 149 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1992-03-31 1992. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.19.19.26>>. Acesso em: 26 out. 2016. 30

SHUANGGEN, J.; CARDELLACH, E.; XIE, F. **GNSS Remote Sensing: Theory, Methods and Applications**. Springer Netherlands, 2013. (Remote Sensing and Digital Image Processing). ISBN 9789400774810. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=GCMYnwEACAAJ>>. 37

ŠIROKÁ, M.; FISCHER, C.; CASSÉ, V.; BROŽKOVÁ, R.; GELEYN, J.-F. The definition of mesoscale selective forecast error covariances for a limited area variational analysis. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 82, n. 1, p. 227–244, 2003. ISSN 1436-5065. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00703-001-0588-5>>. 69

ANEXO I: REVISÕES QUE COMPÕEM A VERSÃO

Tabela A.1 - Tabela com os commits do SMG v0.0.0 com os números das revisões, data, autor e uma breve descrição da implementação realizada

Id	Data	Autor	Mensagem
155	31 Jan 2017 07:46	Sapucci, L. F.	Modificando o runcycle para não rodar o pós no ciclo de assimilação ...
143	31 Jan 2017 07:46	Sapucci, L. F.	Modificando o runcycle para não rodar o pós no ciclo de assimilação ...
142	30 Jan 2017 14:03	Bastarz, C. F.	Esta modificação faz referência à tarefa ...
141	27 Jan 2017 19:27	Sapucci, L. F.	Copia da versão branch do SMG_V0.0.0 para a tag depois de testes finais antes do lançamento da versão ...
140	27 Jan 2017 19:20	Sapucci, L. F.	Modificações necessárias para adicionar nesse branch da versão de ...
119	27 Jan 2017 15:20	Sapucci, L. F.	Revisão com modificações para melhorias e ajustes para a publicação da ...
114	23 Jan 2017 15:42	Sapucci, L. F.	Versão sendo copiada para testar e se aprovada gerar a versão TAG do SMG_V0.0.0. Essa revisão se refere a tarefa ...
93	12 Jan 2017 15:32	Bastarz, C. F.	Ainda em referência à tarefa ...
92	10 Jan 2017 10:17	Bastarz, C. F.	Removendo entrada duplicada ('CONVECTIVE PRECIPITATION ...
91	10 Jan 2017 08:45	Bastarz, C. F.	Na revisão #88 foi comitado o script runModel com modificações que não ...
90	09 Jan 2017 18:11	Bastarz, C. F.	Consertando problema referente a tarefa ...
89	09 Jan 2017 15:09	Bastarz, C. F.	Ainda em referencia a tarefa ...
88	09 Jan 2017 14:48	Bastarz, C. F.	Corrigindo os seguintes aspectos dos scripts ...
87	19 Dez 2016 15:24	Kubota, P.	Gravity wave Drag ...

86	13 Dez 2016 10:23	Silveira, B.	Script que gera as séries temporais (arquivos ...
85	09 Dez 2016 18:33	Kubota, P.	correção do IOLEVEL e restart ...
84	08 Dez 2016 16:03	Khamis, E. G.	Foi feita a correção dos diretórios nas instruções para rodar o testcase ...
83	08 Dez 2016 14:27	Khamis, E. G.	Correção na instrução com o comando runmodel: trocou-se NMC por SMT ...
82	07 Dez 2016 11:01	de Mattos, J. G. Z.	...
81	07 Dez 2016 10:54	de Mattos, J. G. Z.	Corrigindo bug na escrito do cabeçalho do arquivo de condição inicial do ...
80	06 Dez 2016 16:59	de Mattos, J. G. Z.	Corrigindo o bug: não altera corretamente o caminho no arquivo ...
79	06 Dez 2016 16:50	de Mattos, J. G. Z.	e também pequenos ajustes nos scripts: ...
78	06 Dez 2016 15:58	de Mattos, J. G. Z.	Removendo arquivos fixos que estão em formato binário e não devem estar ...
77	06 Dez 2016 12:25	de Mattos, J. G. Z.	Alteração do README corrigindo a necessidade de compilar o modelo BAM e ...
76	06 Dez 2016 09:29	de Mattos, J. G. Z.	Corrigindo pequenos bugs no script de compilação e variáveis de ambiente ...
75	05 Dez 2016 22:02	Bastarz, C. F.	Criando branch SMG_V0.0.0 ...
74	05 Dez 2016 16:43	de Mattos, J. G. Z.	Adicionando a o diretório util ao sistema. Neste diretório devem ficar ...
73	05 Dez 2016 12:32	de Mattos, J. G. Z.	Adicionando diretório run que contém os scripts necessários para rodar o ...
72	05 Dez 2016 10:47	de Mattos, J. G. Z.	Neste commit estão todas as alterações necessárias para gerar a ...
71	02 Dez 2016 16:43	de Mattos, J. G. Z.	Modificações para inclusão de opção de compilação do GSI no tupa ...

70	02 Dez 2016 16:42	de Mattos, J. G. Z.	correção de pequenos bugs nas rotinas de interface BAM/GSI ...
69	02 Dez 2016 15:55	de Mattos, J. G. Z.	adição do template do namelist para ser utilizado em conjunto com o novo runModel ...
68	02 Dez 2016 15:53	de Mattos, J. G. Z.	remoção de pequeno bug no arquivo Diagnostics.f90 ...
67	02 Dez 2016 15:51	de Mattos, J. G. Z.	Modificações na estrutura dos scripts e código fortram para rodar o ...
66	30 Nov 2016 17:27	Kubota, P.	Correção física unificada (umidade) ...
65	24 Nov 2016 15:06	de Mattos, J. G. Z.	Corrigindo um bug na determinação da data do arquivo de SST gerado pelo ...
64	21 Nov 2016 16:25	de Mattos, J. G. Z.	Corrigindo bug relacionado a identificação das datas do first guess e da ...
63	18 Nov 2016 17:46	de Mattos, J. G. Z.	Corrigindo um bug existente na leitura do arquivo dir do BAM ...
62	19 Out 2016 09:02	de Mattos, J. G. Z.	Correção de bug descrito na tarefa ...
61	18 Out 2016 17:14	de Mattos, J. G. Z.	este script apaga o arquivo configure.gsi, que nesta primeira etapa esta ...
60	18 Out 2016 11:49	de Mattos, J. G. Z.	Modificando PostLoop.f90 para comportar a alteração da variável lsmk ...
59	17 Out 2016 11:26	de Mattos, J. G. Z.	Arquivo necessário para a compilação do GSI usando o pgf90 e excluindo a ...
58	17 Out 2016 09:24	de Mattos, J. G. Z.	Modificação realizadas para comportar a inclusão das rotinas necessárias ...
57	17 Out 2016 09:22	de Mattos, J. G. Z.	Adicionando modulo para tornar case insensitive a variável ...

56	17 Out 2016 09:11	de Mattos, J. G. Z.	As modificações realizadas nestas rotinas foram ...
55	17 Out 2016 08:33	de Mattos, J. G. Z.	Inclusão das rotinas do BAM no diretório principal do GSI. Nas próximas ...
54	17 Out 2016 08:30	de Mattos, J. G. Z.	Removendo a pasta cptec. Os arquivos que estavam nesta pasta serão ...
53	26 Set 2016 09:53	Bastarz, C. F.	Adicionando makefile específico (Makefile.tupa_pgi) para a compilação do processo GRH do ...
52	21 Set 2016 09:42	Bastarz, C. F.	Correções nos scripts runPre e namelist.runPre em atenção à tarefa ...
51	13 Set 2016 09:46	Khamis, E. G.	Correção de bug na subroutine wrprog. A variavel work2 contem índices ...
50	08 Set 2016 15:35	Khamis, E. G.	Correção de bugs reportados por Bruna Silveira. 1) O namelist e bash de ...
49	08 Set 2016 15:35	Khamis, E. G.	Correção de bugs reportados por Bruna Silveira. 1) O namelist e bash de ...
48	05 Set 2016 16:56	de Mattos, J. G. Z.	Remoção de pequeno bugs ...
47	05 Set 2016 12:09	de Mattos, J. G. Z.	Remoção das rotinas: ...
46	01 Set 2016 10:22	de Mattos, J. G. Z.	Modificação do código fonte do BAM para inclusão/modificação de ...
45	11 Ago 2016 11:30	Khamis, E. G.	Checa se o arquivo /model/datasetain/NMI.??? existe para executar ou nao ...
44	11 Ago 2016 11:20	Khamis, E. G.	Foi incluído um if para forçar SSTWeeklyNCEP a rodar caso SSTWeekly ...
43	09 Ago 2016 14:19	de Mattos, J. G. Z.	...
42	02 Ago 2016 11:45	Khamis, E. G.	No repositório atual, ha o arquivo ...
41	29 Jul 2016 14:03	Khamis, E. G.	Pequenos ajustes na checagem das saídas com atenção especial aos ...

40	28 Jul 2016 18:02	Khamis, E. G.	Inclusão de função que cria um script de submissão para cada processo ...
39	22 Jul 2016 17:49	Khamis, E. G.	Agora o runPre esta independente do run_Chopping_parallel.bash e ...
38	15 Jul 2016 18:06	Khamis, E. G.	Correção no bloco SNOWWeekly. Atenção deve ser tomada aos parâmetros Idim ...
37	15 Jul 2016 10:30	Khamis, E. G.	Incluídas funções que tornam o runPre independente de scripts externos ...
36	15 Jul 2016 10:21	Khamis, E. G.	Namelist com a lista dos processos a serem submetidos e blocos ...
35	05 Jul 2016 20:09	de Mattos, J. G. Z.	Modificação na forma como são passados os campos para a serem escritos ...
34	01 Jul 2016 18:42	de Mattos, J. G. Z.	Foram realizadas as seguintes modificações: ...
33	01 Jul 2016 18:34	de Mattos, J. G. Z.	Adicionando rotina para a composição dos campos de vento (componentes U ...
32	30 Jun 2016 17:59	Amarante, L.	Atualização nos scripts: ...
31	30 Jun 2016 17:20	de Mattos, J. G. Z.	Inclusão de rotina para espalhar os campos de U e V entre os ...
30	30 Jun 2016 15:25	de Mattos, J. G. Z.	Adicionando rotinas relativas a interface BAM-GSI ...
29	29 Jun 2016 18:05	Khamis, E. G.	Ajustes finais ...
28	29 Jun 2016 16:31	Amarante, L.	Realizando algumas mudanças em relação aos diretórios criados ...
27	29 Jun 2016 16:24	Khamis, E. G.	Adicionando versão para entrega do runPre ...
26	29 Jun 2016 16:12	Khamis, E. G.	Removendo runPre ...
25	29 Jun 2016 16:10	Khamis, E. G.	Renomeando runPreNew para runPre ...
24	29 Jun 2016 16:06	Khamis, E. G.	Removendo arquivo runPre ...

23	29 Jun 2016 15:58	de Mattos, J. G. Z.	Adicionando tabela com as variáveis diagnosticas para a simulação do BAM ...
22	29 Jun 2016 15:53	Amarante, L.	Adicionado os diretórios run/ e bin/ no nível dos diretórios principais ...
21	29 Jun 2016 11:35	de Mattos, J. G. Z.	Correção de bug na leitura do arquivo radinfo.f90, como descrito na ...
20	27 Jun 2016 18:48	Khamis, E. G.	Criada uma função com os diretórios de saída de todos os processos ...
19	24 Jun 2016 18:18	Khamis, E. G.	Correção de bug: cpu_node estava com valor fixo na submissão do job ao ...
18	24 Jun 2016 18:12	Khamis, E. G.	Restaurando arquivo original ...
17	24 Jun 2016 18:11	Khamis, E. G.	Restaurando o runPre original ...
16	24 Jun 2016 18:08	Khamis, E. G.	Restaurando o runModel original ...
15	24 Jun 2016 17:41	Khamis, E. G.	Reestruturação do pre-processamento utilizando-se um namelist. Este ...
14	24 Jun 2016 17:37	Khamis, E. G.	Adicionado um namelist para o run-PreNew ...
13	09 Jun 2016 10:28	de Mattos, J. G. Z.	Corrigindo um bug que impedia a compilação da rotina get_wrf_nmm_ensperts.F90 ...
12	25 Mai 2016 10:46	Kubota, P.	Correção do CO2-3D na radiação CliRad e atualização da umidade na timestep ...
11	13 Mai 2016 11:50	Bastarz, C. F.	Removendo pasta utils do SPCON. Esta pasta vem de dentro do BAM ...
10	02 Mai 2016 10:56	Kubota, P.	Atualização dos cálculos das tendências da ...
9	24 Fev 2016 15:41	Bastarz, C. F.	Adicionando rotinas e scripts do SPCON (método de perturbação MB09, sem ...

8	18 Fev 2016 09:33	de Mattos, J. G. Z.	Incluindo a versão 3.4 do GSI que foi liberada no dia 31 de julho de 2015 no site do DTC (...
7	18 Fev 2016 09:23	de Mattos, J. G. Z.	Diretório contendo os arquivos fontes necessários para o GSI ...
6	16 Fev 2016 09:16	de Mattos, J. G. Z.	Correção de bug no Makefile principal do pre ...
5	15 Fev 2016 14:22	de Mattos, J. G. Z.	Adicionando versão do BAM disponibilizada pelo Dr. Paulo kubota para o desenvolvimento do SMG do CPTEC ...
4	15 Fev 2016 14:01	de Mattos, J. G. Z.	Diretório contendo os arquivos fontes necessários para o modelo global do CPTEC ...
3	11 Fev 2016 10:47	de Mattos, J. G. Z.	Ramo para o lançamento de versões finalizadas ...
2	11 Fev 2016 10:47	de Mattos, J. G. Z.	Ramo para testes finais de desenvolvimento ...
1	11 Fev 2016 10:46	de Mattos, J. G. Z.	Ramo principal de desenvolvimento ...