



Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC

Deenvolvimentos Atuais e Planejamento para o MGCA/CPTEC e Aplicações para Tempo e Clima

CPTEC / INPE

MISSÃO

Prover o país com o estado da arte em previsão de tempo, clima e ambiental e dispor da capacidade científica e tecnológica de melhorar continuamente estas previsões, visando o benefício da sociedade.

Conceito Moderno de Modelagem

- Equacionamento Analítico:

Conhecimento do Problema e das Leis da Física Adequadas para o Problema (Equações)

- Equacionamento Numérico:

Aplicação de Métodos Numéricos para Resolver as Equações (Não-Lineares)

- Equacionamento Computacional:

Programação Eficiente em Computador (Programação de Alto Desempenho)

Conceito Moderno de Modelagem - Cont.

- Documentação Adequada e “Dinâmica”:

O Máximo Possível “On-line” no Código, Usando Recursos que Extraiam um Documento do Próprio Código. Porém Sempre é Necessário Também Documentação “Off-line”: Parte Análitica, Numérica e Computacional com os Respectivos Manuais.

Uso de Sistemas de Controle de Versões:
Muito Importante para Manter Controle dos Desenvolvimentos Anteriores e Torná-los Acessíveis.

Conceito Moderno de Modelagem - Cont.

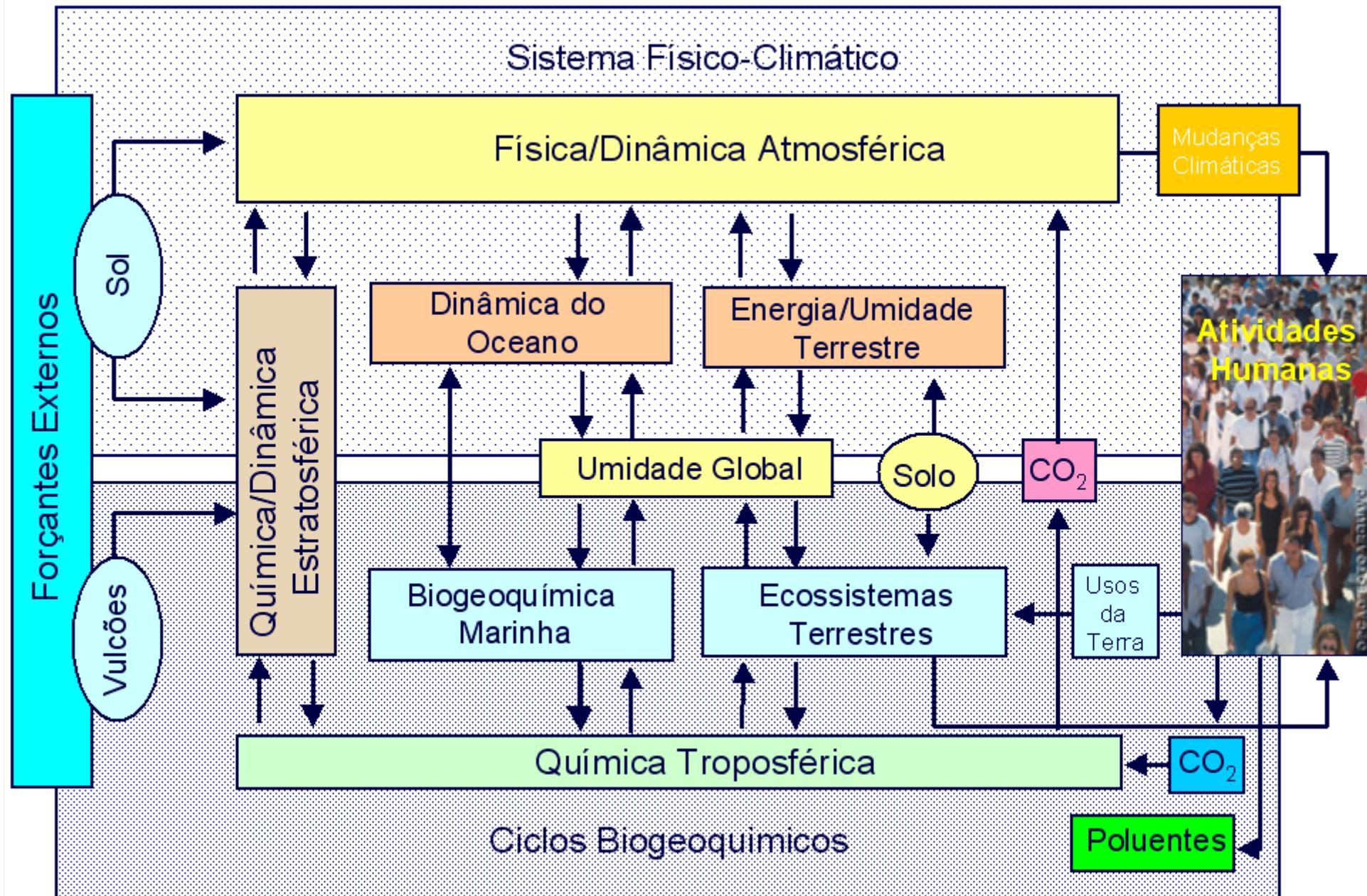
- Infra-estrutura Computacional:
Computadores Adequados ao Problema.
Armazenagem Adequada.
Visualização.

Desafios com o Aumento de Resolução:

Uso de Dinâmica e Física Adequadas

Geração e Análise de Grande Massa de Dados em
Tempo Útil.

Diagrama de Bretherton: Modelo Conceitual do Sistema Terra





O CPTEC/INPE é um Centro Operacional de Previsão de Tempo, Clima e Ambiental e Possui Modelos Globais e Regionais com finalidades diversas

Assimilação de Dados em Escala Global (G3DVAR)

Modelo de Circulação Global Atmosférico (MCGA), Modelo de Circulação Global Acoplado Atmosfera e Oceano (MCG) e Modelo Global e Regional De Agitação Marítima (WWatch3)

Modelos Atmosféricos de Circulação Regional (Eta e BRAMS)

Modelo Atmosférico Ambiental (CCAT-BRAMS)

Modelo de Ondas Costeiras (SWAN)

Modelo de Circulação Marítima Costeira (DELFT3D)

Previsão de Tempo Global: G3DVAR-MCGA (7 dias) e MCG (Estendida 30 dias)

Previsão de Clima Global: MCGA e MCG (ambos 6 meses, 3 previsão)

Previsão de Tempo Regional (América do Sul): Eta (11dias) e BRAMS (3 dias)

Previsão Regionalizada de Clima: Eta (6 meses)

Previsão de Tempo por Conjuntos (Ensemble): MCGA (15 dias) e Eta

Previsão Ambiental Regional: CCATT-BRAMS

Modelos de Previsão Marítima:

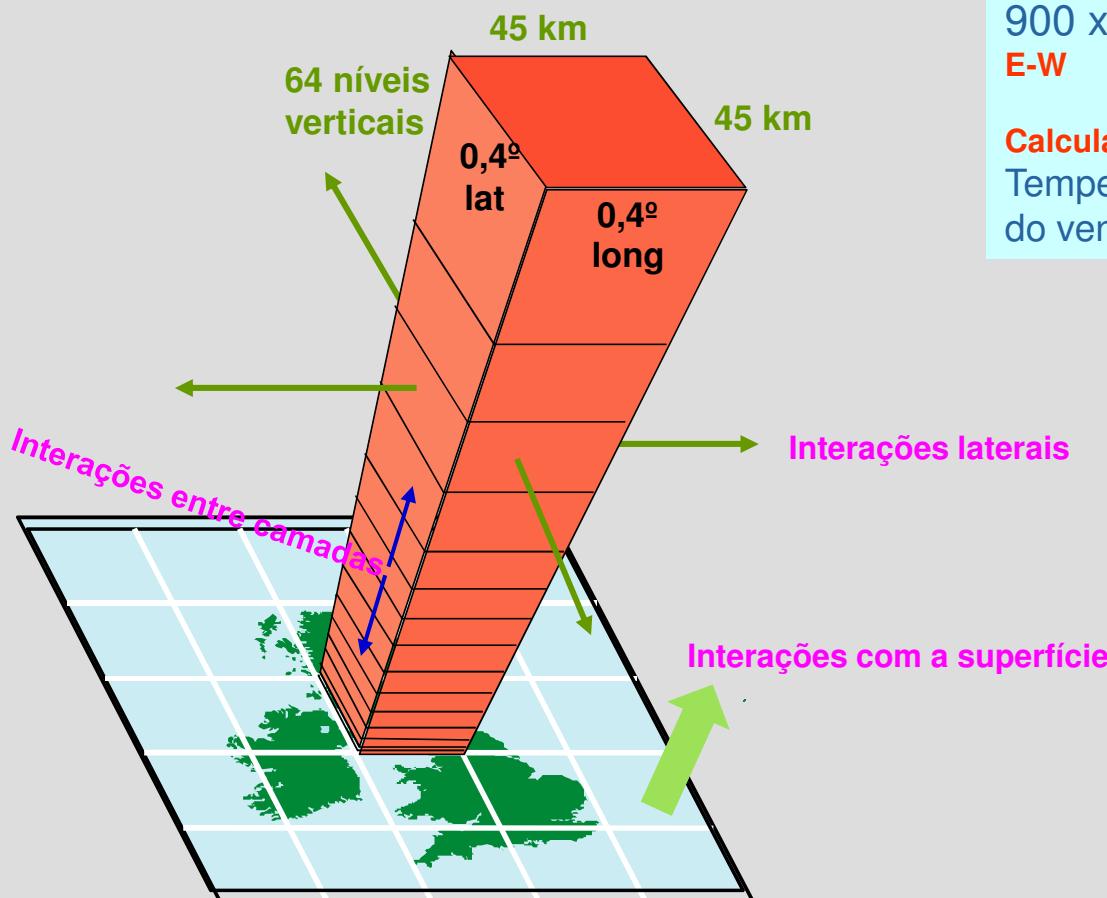
Agitação Marítimas: WWatch3 (Global e Regional)

Ondas Costeiras: SWAN (Regional)

Circulação Marítima Costeira: DELFT3D (Regional)

Modelo Atmosférico Global para Previsão de Tempo:

Código computacional (centenas de milhares de linhas de código) que representa aproximações numéricas de equações matemáticas, equações estas representativas das Leis Físicas que regem os movimentos da atmosfera e as interações com a superfície; o cálculo é feito para até 7 dias de previsão.



Número de elementos:

$$900 \times 450 \times 64 = 25,92 \text{ milhões}$$

E-W N-S Vertical

Calcula-se para cada um destes volumes:

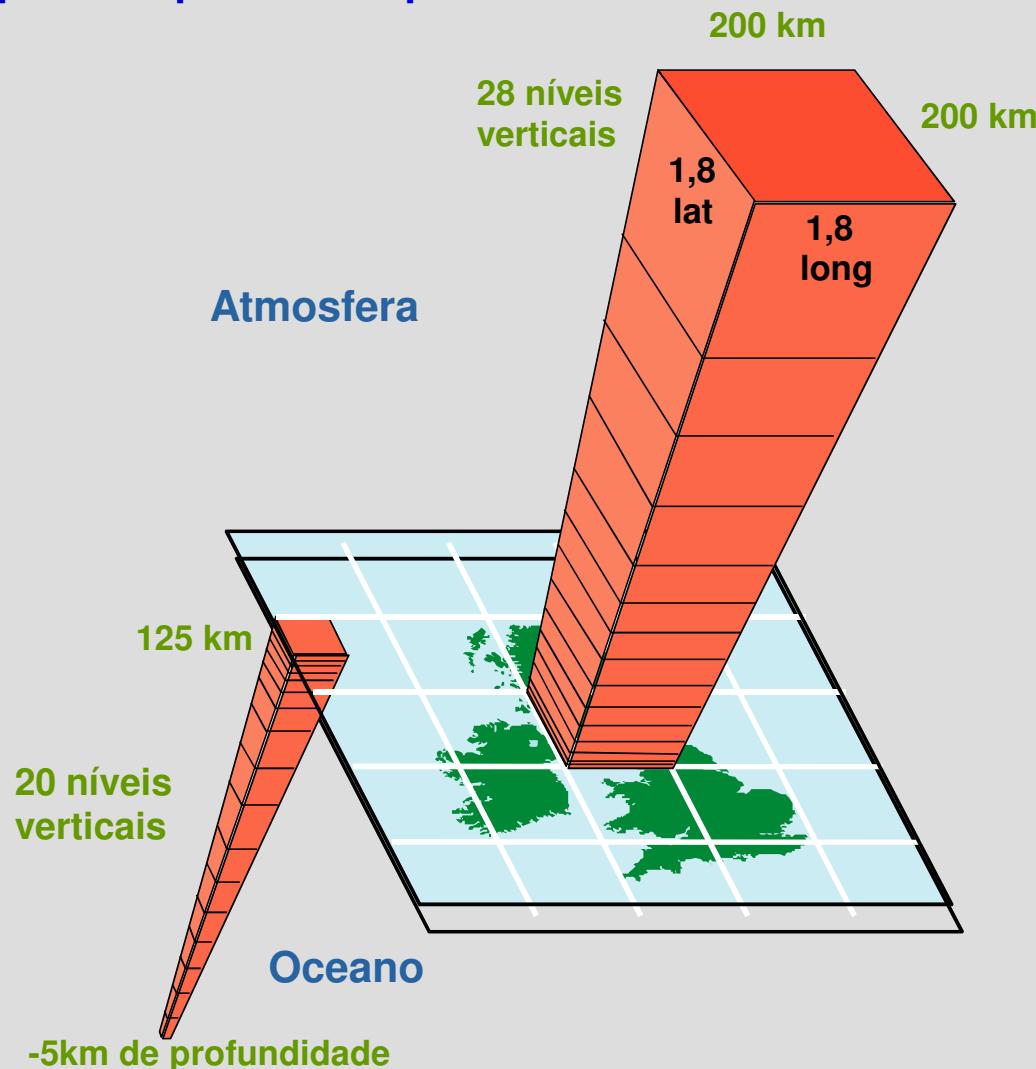
Temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, altura geopotencial.

Domínio Geográfico



Modelo Acoplado Atmosfera-Oceano Global para Previsão Climática:

Código computacional (centenas de milhares de linhas de código) que representam aproximações numéricas de equações matemáticas, equações estas representativas das Leis Físicas que regem os movimentos da atmosfera, dos oceanos e as interações entre estes dois fluídos e entre a superfície dos continentes e a atmosfera; o cálculo é feito para um período de poucos meses a anos.



Número de elementos atmosféricos:

$$196 \times 92 \times 28 = 0,52 \text{ milhões}$$

E-W N-S Vertical

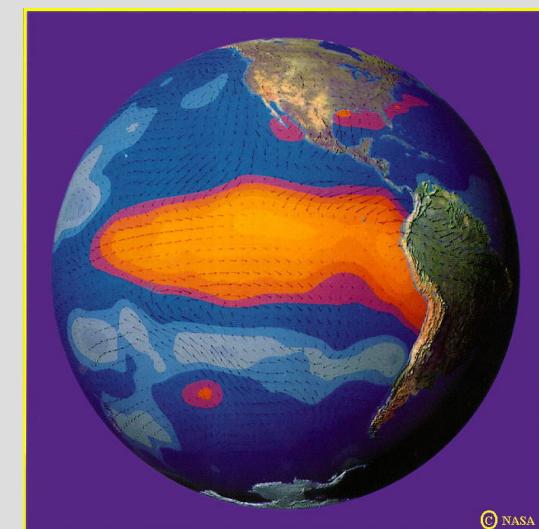
Calcula-se para cada um dos volumes atmosféricos:

Temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, altura geopotencial.

Calcula-se para cada um dos volumes oceânicos:

Temperatura, salinidade, direção e velocidade da corrente, pressão.

El Niño



Modelo Atmosférico Espectral Global de Previsão Numérica (MCGA) do CPTEC

Origem

- COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies).
- Versão 1.7 Romboidal R40L18 (315km,200km)
Baseado no MRF 1988 do NCEP, então NMC

Versão Atual

- Triangular: COLA Versão 1.12 + Modificações no CPTEC/INPE, G3DVAR T299L64 (45km) , T666L96 (20km, NCEP) : MCGA/CPTEC/INPE
- Versátil para resoluções Horizontais e Verticais.

MCGA do CPTEC - Continuação

Condições de Contorno

- Velocidade Vertical Sigma nula no topo e na superfície.
- Topografia Espectral Truncada com ou sem suavização.
- Ozônio Climatológico Sazonal Médio Zonal interpolado linearmente no espaço a cada passo de tempo ou lido.
- Temperatura da Superfície do Mar lida (média semanal para tempo, média mensal para clima ou campos mensais climatológicos para tempo ou clima).
- Gêlo do Mar: valor pré-fixado no campo de TSM.
- Campos Iniciais Climatológicos: Neve, Temperatura Profunda do Solo e Umidade do Solo (também pode ser lida do sistema de análise do CPTEC/INPE).

MCGA do CPTEC - Continuação

Inicialização

- Diabática e Não-Linear por Modos Normais.

Dinâmica

- Equações Primitivas.
- Coordenadas: horizontais esféricas e vertical sigma.
- Harmônicos Esféricos na horizontal (espectral) e Diferenças Finitas na vertical e no tempo.
- Integração no tempo: euleriana semi-implicita ou semi-lagrangeana 3D com filtro de Asselin.
- Grades: gaussiana quadrática ou linear, completa ou reduzida.

MCGA do CPTEC - Continuação

Processos Físicos

- Superfície:
- Terra: Modelo Biológico
- Mar: Esquema Aerodinâmico
- Camada Limite Planetária:
- Difusão (Vertical) Turbulenta
- Arrasto Topográfico pelas Ondas de Gravidade

MCGA do CPTEC - Continuação

Radiação

- Onda Curta (a cada hora):
- Onda Longa (a cada 3 horas)
- Efeitos de sua Interação com Nuvens

Convecção

- Profunda
- Rasa

MCGA do CPTEC - Continuação

Ajustes

- Condensação de Grande Escala (Microfísica)
- Difusão Horizontal 2n-Harmônica
- Difusão para controle de CFL

MCGA do CPTEC - Continuação

Módulo de Pré-Processamento

- Geração de Condição Inicial (G3DVAR).
- Geração de Modos Normais.
- Geração de Topografia Espectral.
- Interpoladores Para a Resolução do Modelo:
Campos de Máscara Terra-Água e de
Vegetação, Variância da Topografia, Neve
através de Albedo Climatológico, TSM,
Rugosidade, Umidade do Solo, Temperatura
Profunda do Solo.

MCGA do CPTEC - Continuação

Módulo de Pós-Processamento

- Conversão dos Campos Espectrais e em Coordenadas Sigma do Modelo para Espaço Físico e Coordenadas de Pressão.
- Permite Opção para Grade Horizontal Gaussiana ou Regular e Lista de Níveis de Pressão.
- Saídas em Formato Binário Grads ou em GRIB1.
- Cada Saída do Modelo e do Pós são Arquivos Distintos.
- Diagnóticos são Valores Médios para o Intervalo de Tempo entre as Saídas do Modelo.

MCGA do CPTEC - Continuação

Códigos

- Modelo, Pré e Pós:
- FORTRAN 90/95 com Módulos
- Resoluções Definidas Dinamicamente
- Modelo:
- MPI sobre OpenMP
- Pós:
- MPI
- Portabilidade: Rodava no SX6, Tupay e Una
e Roda no Cray

MCGA CPTEC Continuação

Desenvolvimentos Recentes Importantes

- Integração Lagrangeana para a Umidade Específica
- Ajustes na Convecção Profunda (Grell)
- Novos Fluxos do Oceano
- Microfísica
- Superfície Vegetação Dinâmica IBIS
- Camada Limite (Hostag & Boville)

MCGA do CPTEC - Continuação

Desenvolvimentos Atuais

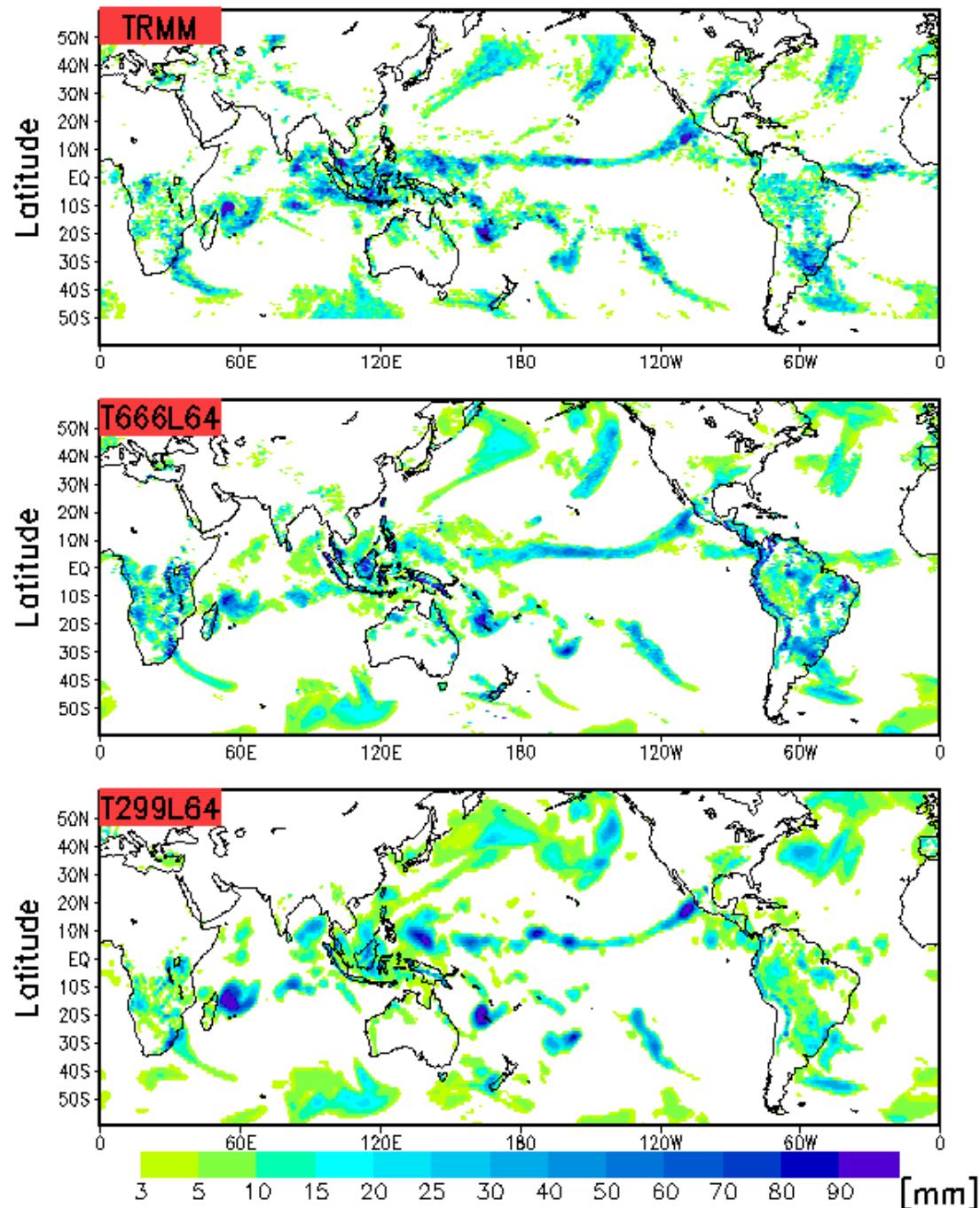
- Nova Coordenada Vertical: Híbrida
- Ajustes na Convecção Profunda
- Nova Camada Limite Úmida
- Nova Microfísica
- Introdução de Química Atmosférica
- Uso de Modelo Coluna e CRM para Ajustes nas Parametrizações
- Assimilação de Dados G3DVAR

MCGA do CPTEC - Continuação

Entrando em Operação

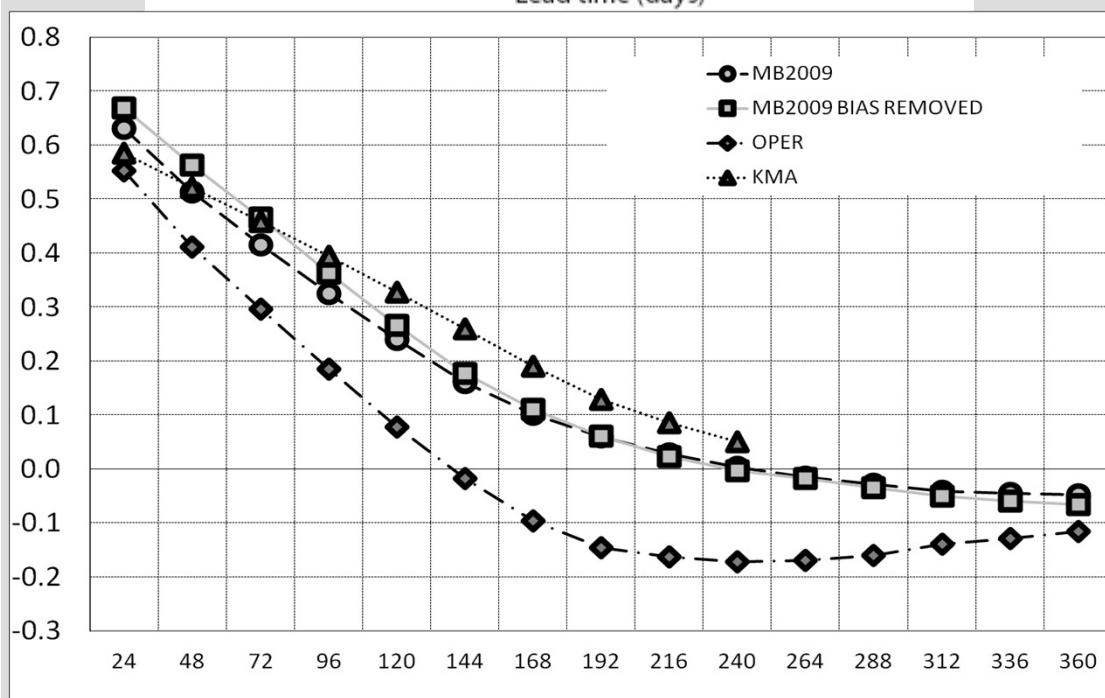
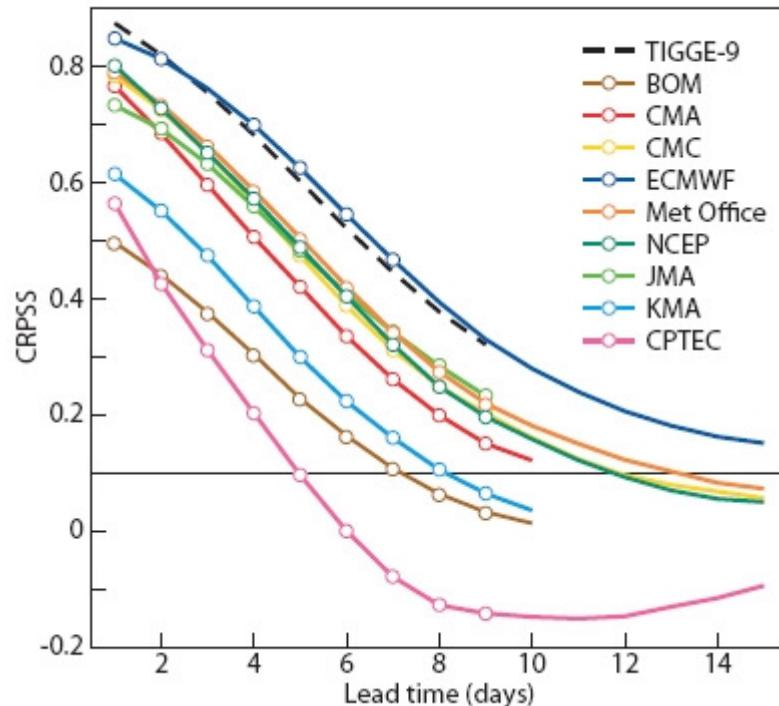
- MCGA Tq666L64 (20 km) com análise do NCEP
- Nova Previsão por Conjuntos incluindo novas regiões e variáveis perturbadas (umidade específica e pressão à superfície, além do vento e temperatura)
- Sistema de Previsão para as Olimpíadas

CPTEC 2012-12-31 12Z, Daily Precipitation, Valid +24h



**MCGA-
CPTEC/INPE –
TEMPO
Determinístico
Versão
Experimental
com novas
implementações**

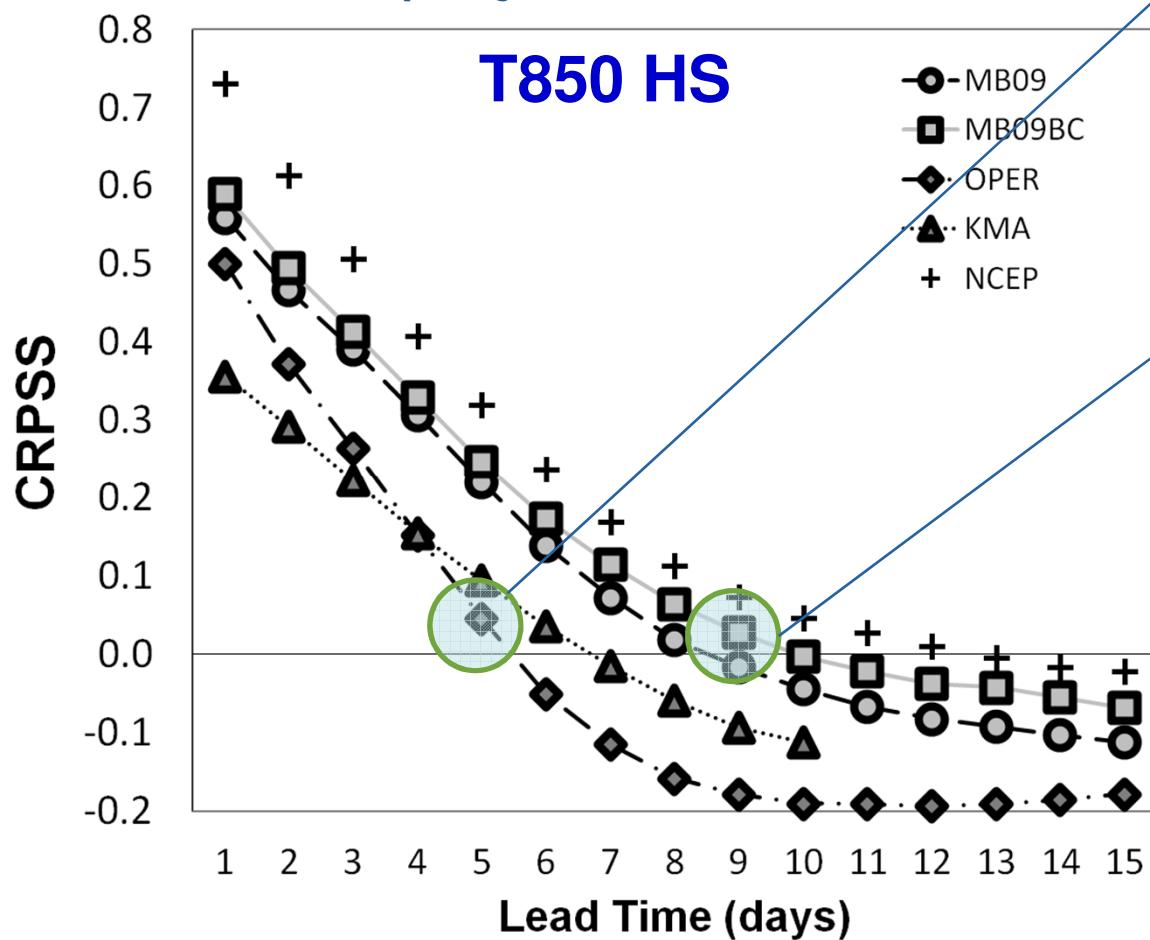
MCGA- CPTEC/INPE - TEMPO Probabilístico (Previsão Por Conjuntos) Versão Experimental com novas implementações



Nova Versão do Sistema de Previsão por Conjuntos do CPTEC (MB09BC)

CPRPSS : Continuous Ranked Probability Skill Score (útil acima de zero)

- Perturbação Otimizada das Condições Iniciais (Mendonça e Bonatti, 2009) – MB09
- Saídas Calibradas (Remoção de Viés) + MB09 = MB09BC
- Entrando em Operação.

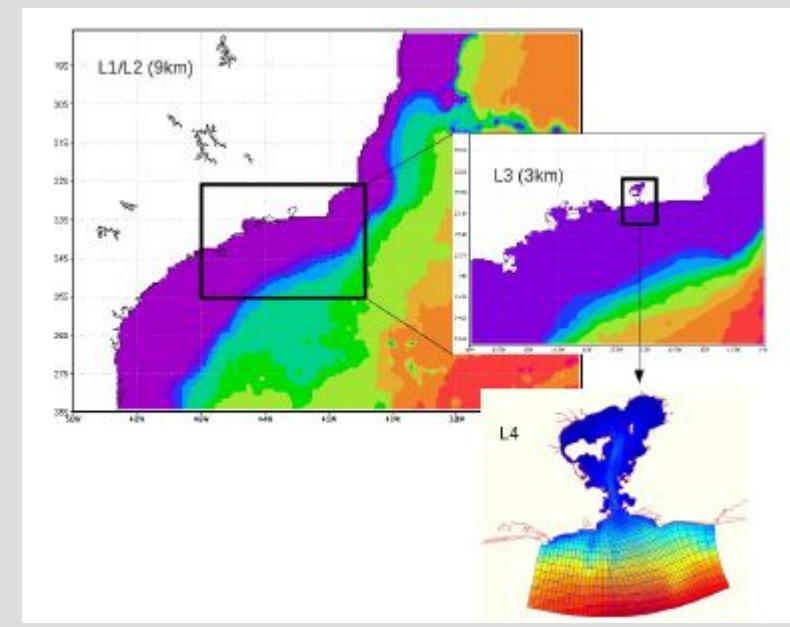
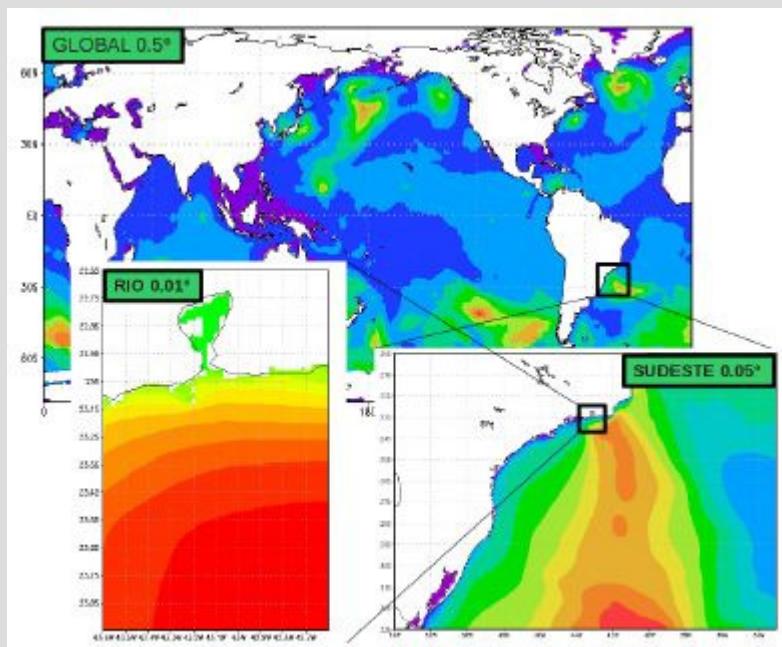
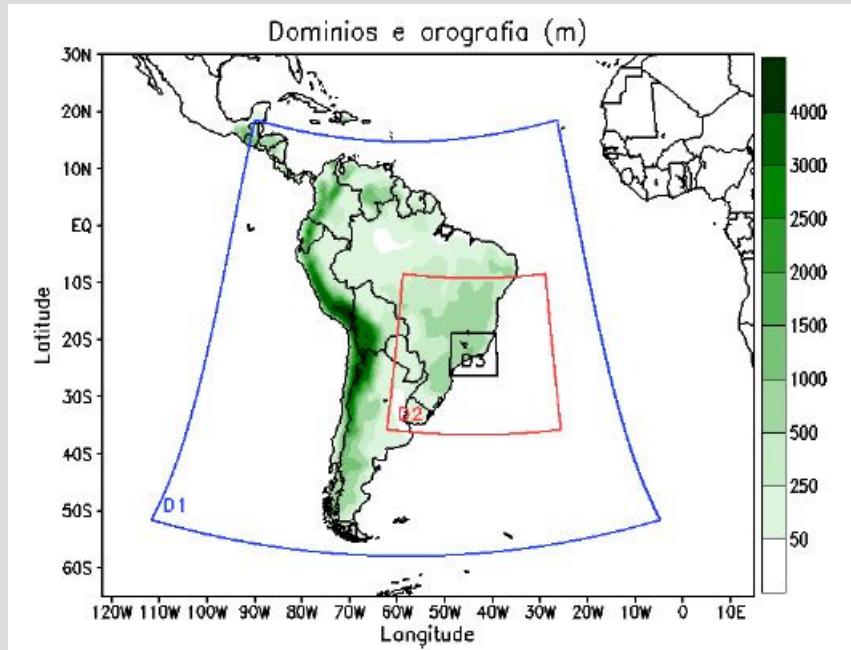


Ganho do SPCON OPER (EPS CPTEC operacional anterior) sobre a Climatologia até o 5º dia de previsão

O novo SPCON MB09BC é superior à previsão das probabilidades climatológicas até o 9º dia de previsão

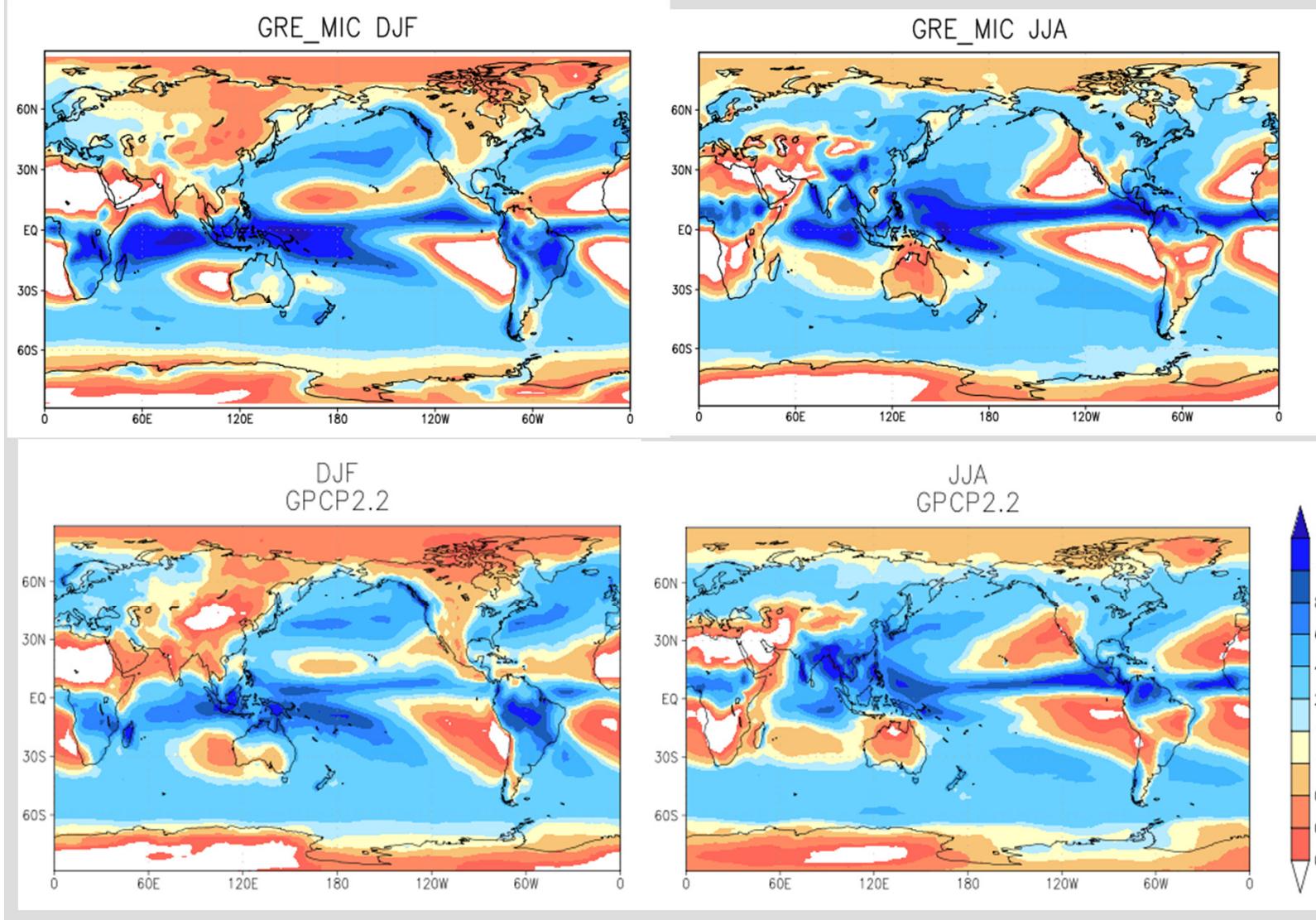
O CPTEC melhorou sua posição em comparação com outros SPCON do mundo (NCEP - EUA e Coréia do Sul - KMA são exemplos)

Modelos Olimpíadas



MCGA-CPTEC/INPE - CLIMA

O modelo representa bem a sazonalidade da precipitação

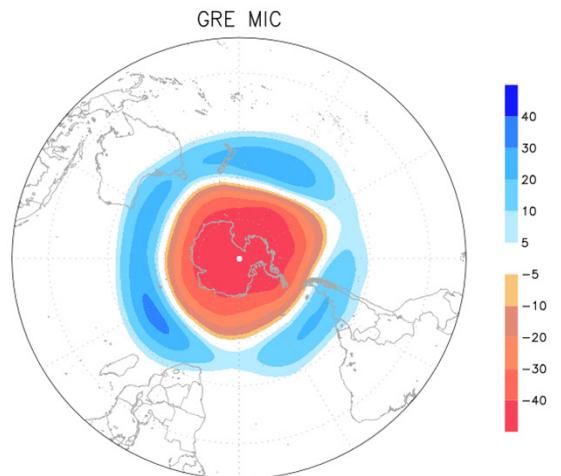


Modo Anular do Hemisfério Sul Teleconexões entre Altas e Médras Latitudes

MCGA

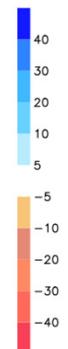
DJF

MCGA

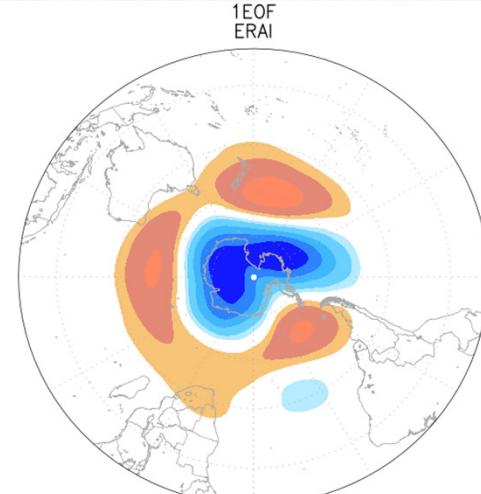
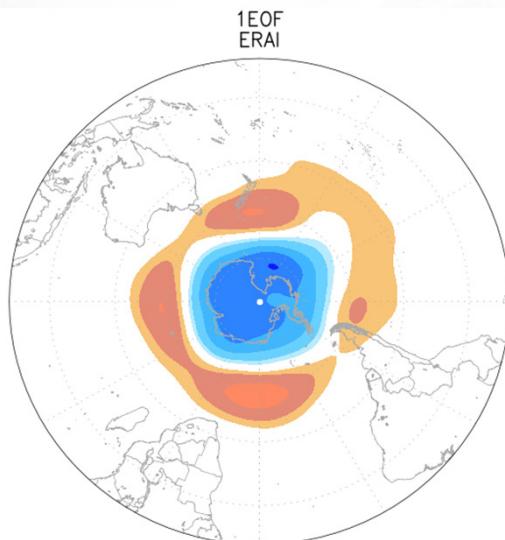


JJA

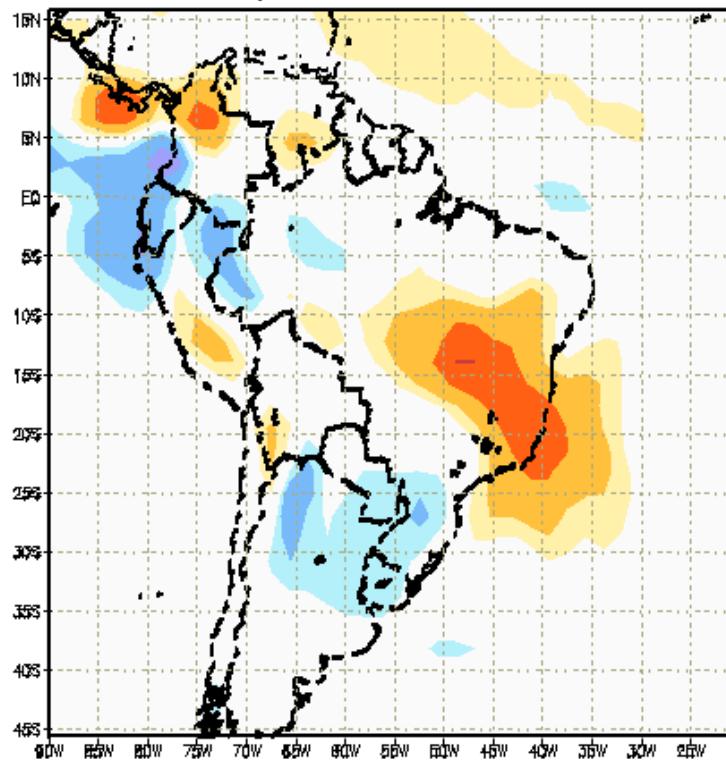
GRE MIC



ERA I



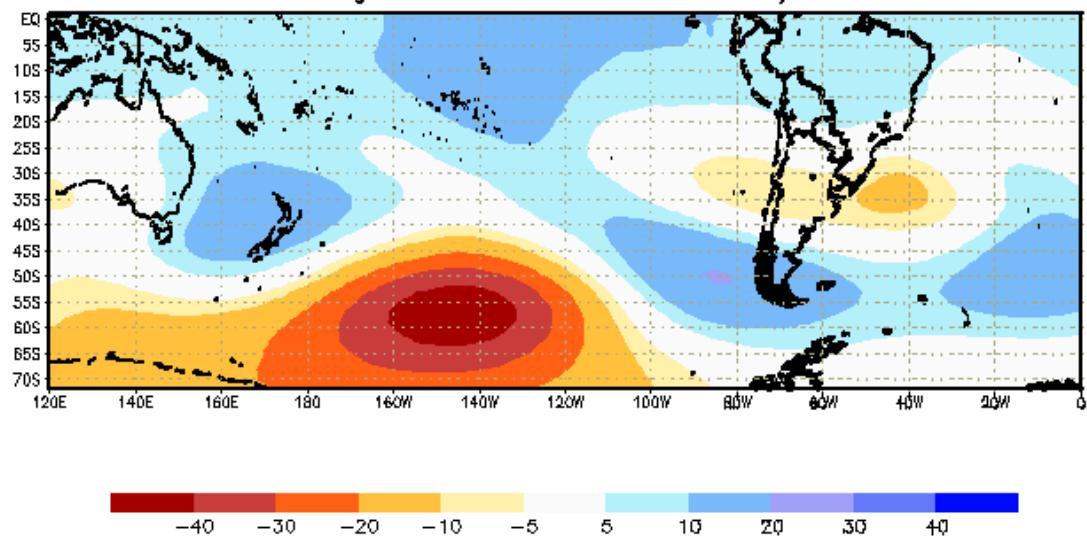
EOF1 aprec DJF CPTEC/COLA



MCGA

CPTEC/COLA MCGA Anomalia de Precipitação Dipolo SE/Sul ZCAS

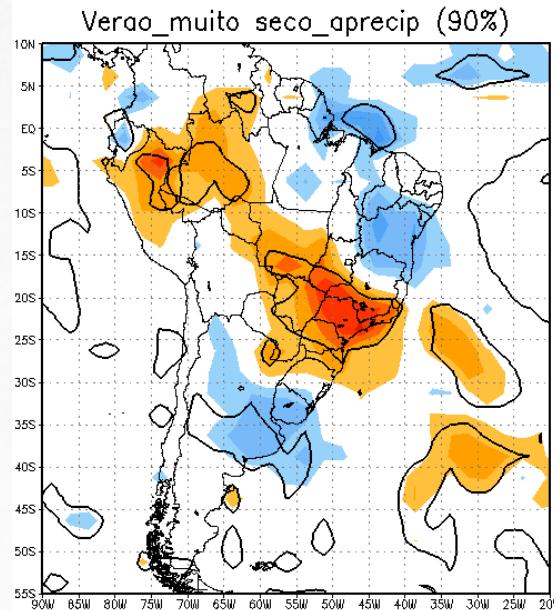
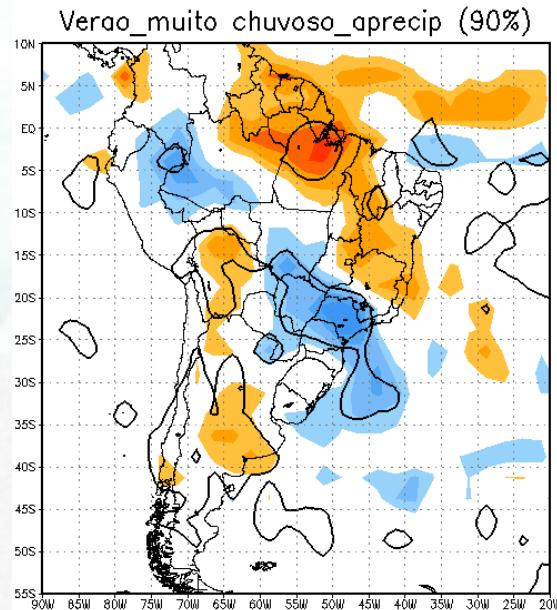
EOF2 ageo 200 hPa DJF CPTEC/COLA



Padrão PSA

Representação de Extremos de Precipitação

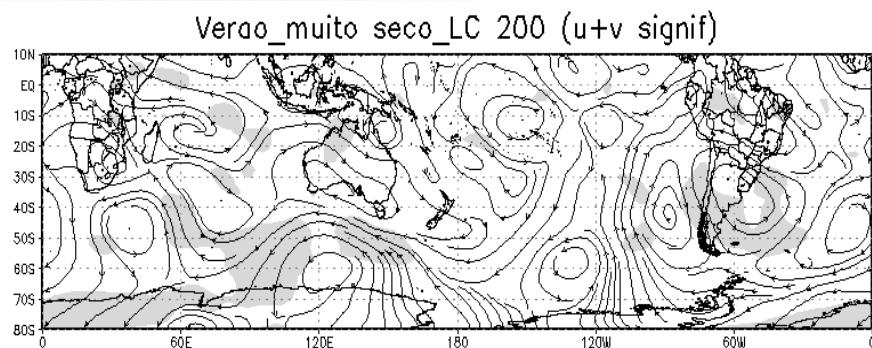
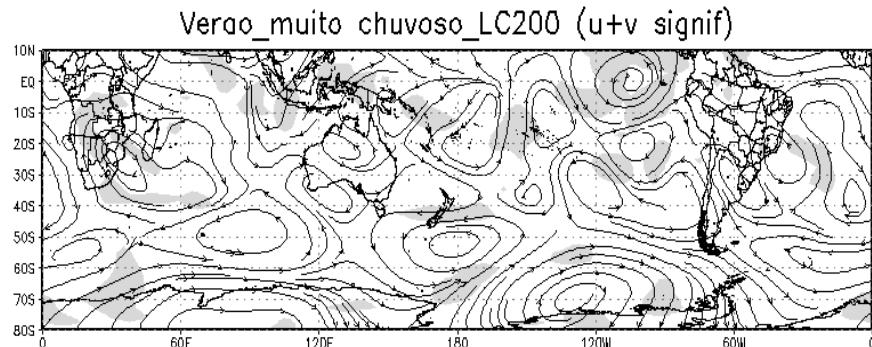
GPCP MCGA



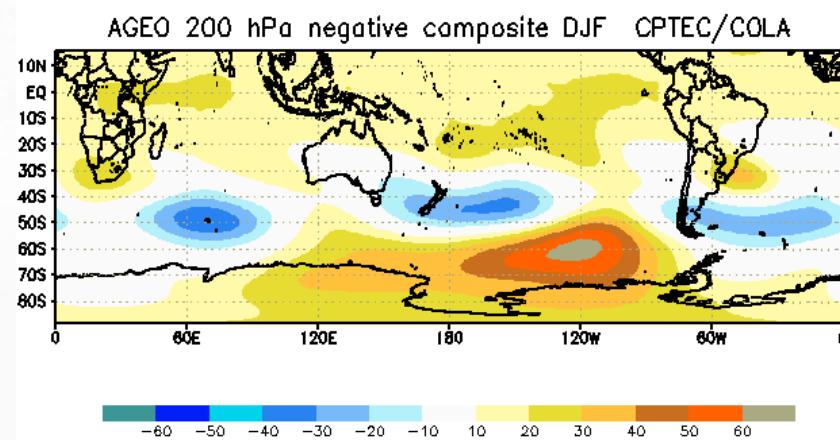
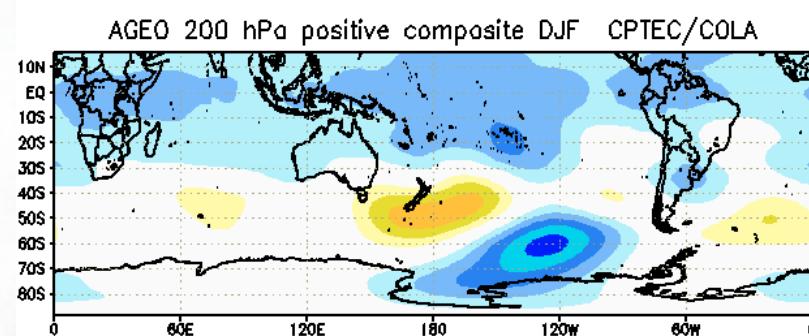
Representação do Sinal Oposto da PSA

MCGA

Re-análise



MCGA



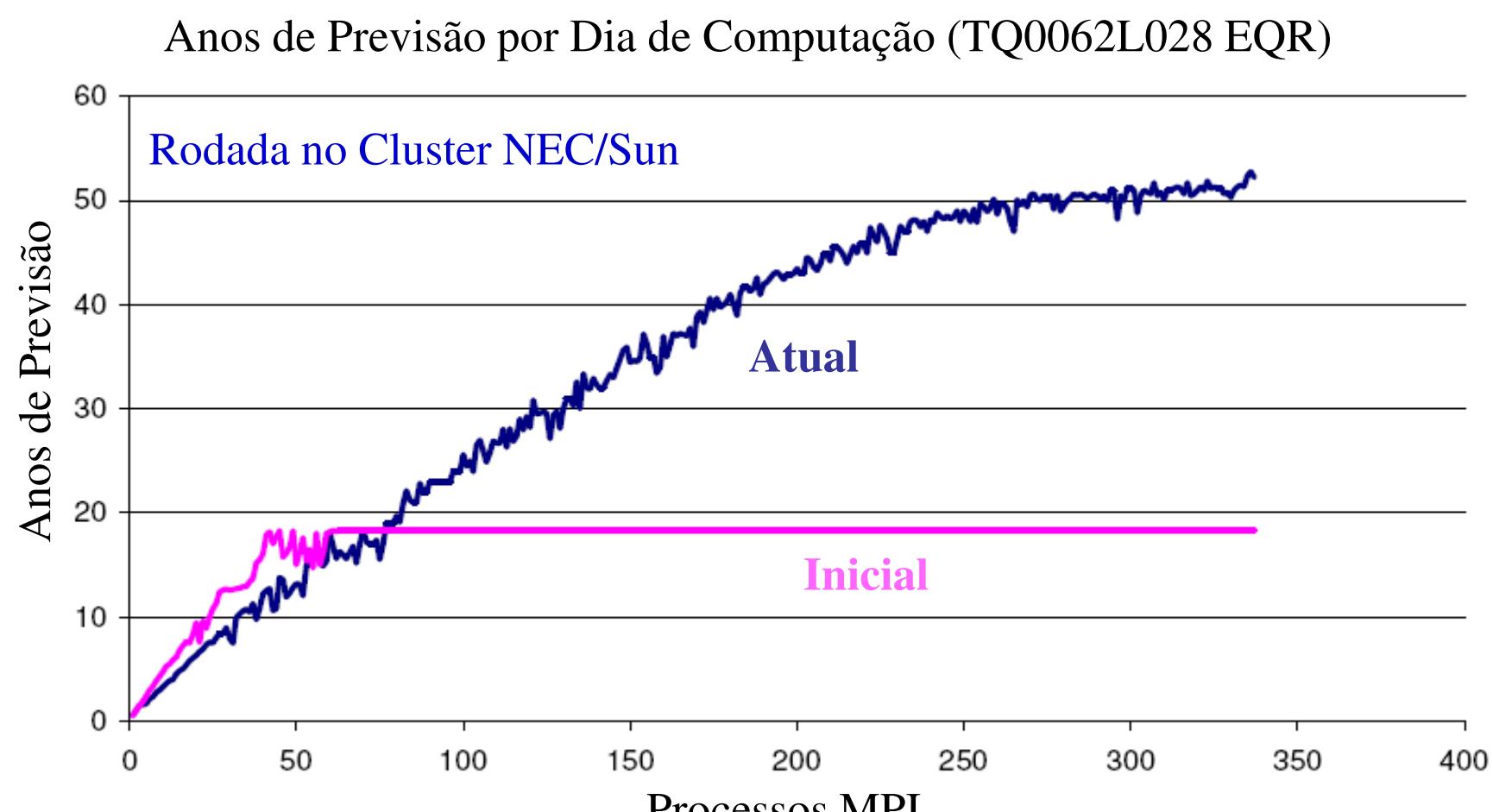
Úmido

Seco

Desenvolvimento de Software (PAD)

- Modernização (Fortran 90/95)
- Otimização
- Paralelismo
- Portabilidade
- Código: paralelismo massivo (MPI sobre OpenMP)
- Integração no tempo: euleriana ou semi-lagrangeana
- Grade: quadrática ou linear; completa ou reduzida
- Resolução: definida pelo usuário via namelist
- Força de Trabalho: 3 homens ano por 10 anos.

Performance Compucational Paralela da Última Versão na Una



Integração Euleriana Grade Quadrática Reduzida



GLOBAL no tupã (Cray)

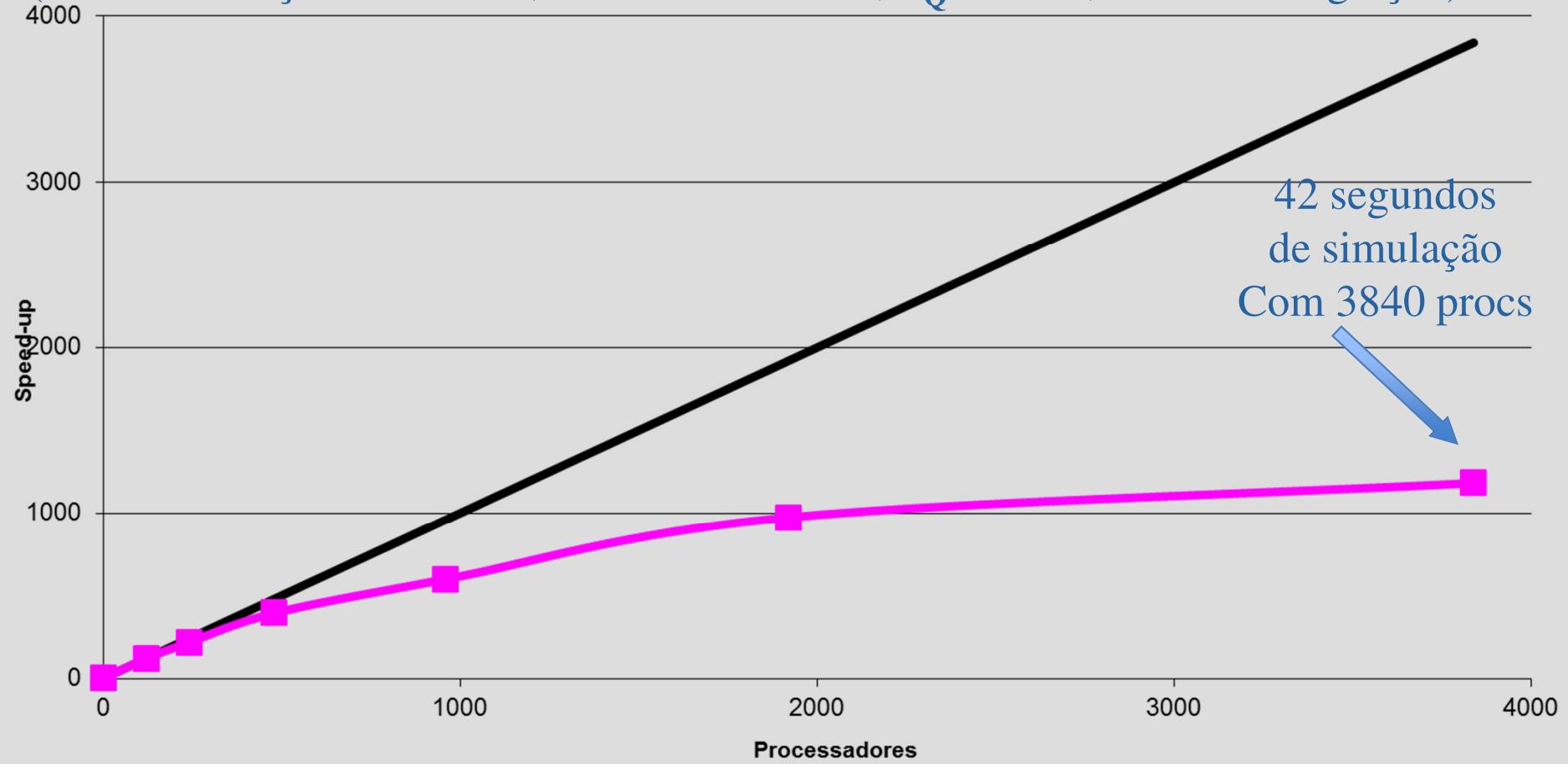
(Paulo Kubota, Saulo Barros, Jairo Panetta)

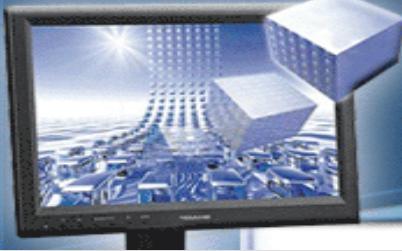
(62 km resolução horizontal, 42 níveis verticais, T_Q213L42, 1 dia de integração)

1 Ano de Simulação =

~ 4,3 Horas de Processamento

42 segundos
de simulação
Com 3840 procs





Escalabilidade



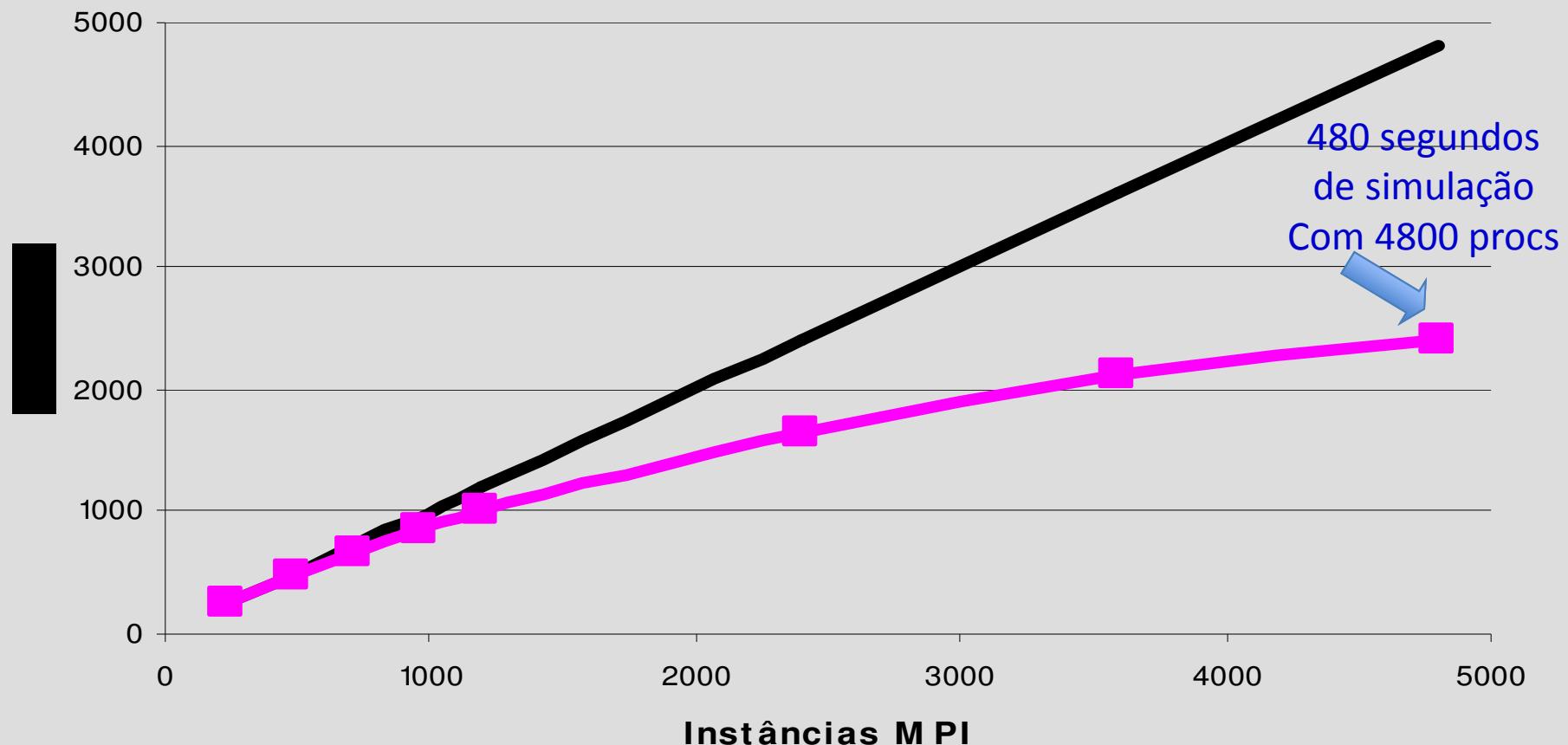
BRAMS no tupã (Cray)

(Saulo Freitas, Jairo Panetta, Saulo Barros)

(10 km resolução horizontal, 40 níveis verticais, Grade Operacional CPTEC, 1 dia de integração)

7,5 Dias de previsão =

~ 1 Hora de Processamento



Implementações futuras no MCGA:

Curto Prazo

- Coordenada vertical híbrida (em andamento)
- Revisão da difusão horizontal
- Integração semi-lagrangeana 3D conservativa
- Transformada rápida de Legendre

Longo Prazo

- Revisão da equação da Termodinâmica
- Considerar atmosfera profunda
- Coriolis 3-D
- Dinâmica não-hidrostática e Física adequada para alta resolução

Plano Diretor 2016-2019

- Desenvolver um sistema integrado de modelagem global da atmosfera, oceano, superfície continental, aerossóis e química com assimilação de dados para a previsão de eventos extremos
- Desenvolvimento de um sistema integrado de modelagem da atmosfera-oceano regional e local com assimilação de dados em alta resolução espacial para a previsão de eventos extremos à curto prazo

MANTER A MODELAGEM ATUALIZADA: PONTOS IMPORTANTES

- ACOMPANHAR A TENDÊNCIA MUNDIAL NA ÁREA: NOVA ARQUITETURA MASSIVA DOS SUPERCOMPUTADORES
- DESENVOLVIMENTO CONTÍNUO DOS MODELOS (DINÂMICA, FÍSICA E COMPUTAÇÃO)
- INTEGRAÇÃO PARA CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
- INTRODUÇÃO DE NOVOS PROCESSOS PARA MODELAGEM EM MEIO AMBIENTE
- AUMENTO DA RESOLUÇÃO DOS MODELOS
- AUMENTO DO NÚMERO DE MEMBROS DOS ENSEMBLES

EXEMPLOS DE NOVOS MÓDULOS NOS MODELOS EM GERAL

- QUÍMICA E AEROSÓIS: POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, SUBSTÂNCIAS RESULTANTES DE REAÇÕES QUÍMICAS EM FLORESTAS (NOVA CLM EM ANDAMENTO - HOLTSAG & BOVILLE, 1992).
- INTERAÇÕES ATMOSFERA/TERRA/OCEANO MAIS DETALHADAS (EXEMPLO: VEGETAÇÃO DINÂMICA).
- NOVOS ESQUEMAS DE CONVEÇÃO BASEADOS EM FÍSICA DE NUVENS.

EXEMPLOS PARA MEIO AMBIENTE

- INCLUSÃO DE CICLO DE CARBONO E APERFEIÇOAMENTO DO CICLO HIDROLÓGICO, ATIVIDADE VULCÂNICA, QUEIMADAS.
- MÓDULOS PARA ECOSISTEMAS.

APERFEIÇOAMENTO DA PREVISÃO PROBABILÍSTICA

- AUMENTO DO NÚMERO DE MEMBROS PARA OS MODELOS GLOBAL ACOPLADO E REGIONAL.
- ENSEMBLE DE ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE CONVEÇÃO.
- ENSEMBLE DE ESQUEMAS DE PARAMETRIZAÇÃO DE RADIAÇÃO.

ALGUMAS MEDIDAS PARA MELHORAR A PREVISIBILIDADE

- AUMENTAR O NÚMERO DE MEMBROS DOS ENSEMBLES (TEMPO, CLIMA, MUDANÇAS CLIMÁTICAS).
- ENSEMBLE E AUMENTO DE RESOLUÇÃO PARA O MODELO ACOPLADO OCEANO-ATMOSFERA.

SÓ É POSSÍVEL COM UMA CAPACIDADE COMPUTACIONAL GRANDE

IMPORTÂNCIA DO AUMENTO DA RESOLUÇÃO

- TOPOGRAFIA: IMPORTÂNCIA NOS ANDES (RESOLVER O PROBLEMA DA MONTANHA ÍNGREME).
- RESOLUÇÃO MELHOR DA INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS SINÓTICOS E DE MESOESCALA.
- AUMENTO DA RESOLUÇÃO VERTICAL PARA MELHORAR A RESPOSTA DOS PROCESSOS FÍSICOS.

EXPERIMENTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS:

MÍNIMO:

MODELO GLOBAL ACOPLADO OCEANO-ATMOSFERA COM MÓDULO QUÍMICO, CRIOSFERA, VEGETAÇÃO DINÂMICA E UM MODELO REGIONAL COMPATÍVEL

INTEGRAÇÕES DE CENTENAS DE ANOS COM VÁRIAS CONDIÇÕES:
 CO_2 , NO_2 , CH_4 , O_3 , DESMATAMENTO, VARIAÇÃO DO GELO DO MAR, ETC.

APLICAÇÕES IMPORTANTES

- MELHOR DETALHAMENTO E QUALIDADE DA PREVISÃO DE TEMPO, CLIMA E AMBIENTAL.
- MAIOR CONHECIMENTO DA CONFIABILIDADE DA PREVISÃO.
- OBTENÇÃO DOS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS.
- DISPERSÃO DE POLUENTES: SITUAÇÕES DE QUEIMADAS, ATIVIDADE VULCÂNICA.
- ANÁLISES MAIS DETALHADAS DO POTENCIAL EÓLICO.
- PREVISÃO DE ONDAS COSTEIRAS.
- MAIOR CONFIABILIDADE NA PREVISÃO DE FENÔMENOS ACOPLADOS (OCEANO-ATMOSFERA).
- PREVISÃO DE SISTEMAS DE MESOESCALA QUE CAUSAM EVENTOS EXTREMOS.
- MODELAGEM HIDROLÓGICA DE LONGO PRAZO.
- USO DE MODELO GLOBAL NÃO-HIDROSTÁTICO COM GRADE NÃO-ESTRUTURADA E SUPER-PARAMETRIZAÇÕES.



Obrigado