

III Workshop Latino-Americano em Modelagem de Tempo e Clima Utilizando o Modelo Regional Eta Aspectos Físicos e Numéricos

Previsão por Conjunto

Josiane Ferreira Bustamante

25-29 de outubro de 2010
Cachoeira Paulista

Segundo Lorenz (1984) previsibilidade atmosférica é o grau de acurácia com que é possível prever o estado futuro da atmosfera

Por que a previsibilidade da atmosfera é limitada?

Dois motivos principais:

- 1) Os modelos de previsão de tempo não são perfeitos:
descrição matemática da atmosfera é incompleta;
- 2) A atmosfera é caótica:
característica intrínseca de alguns sistemas dinâmicos;



O que é “caos” ?



Definição de “caos” nas ciências atmosféricas:

“Sensibilidade de um processo às condições iniciais (Lorenz, 1963, 1965, 1969)”

Como o “caos” afeta a previsão de tempo ?

- 1) Não conhecemos o estado real da atmosfera;
- 2) As previsões de tempo possuem incertezas;
- 3) Limita o prazo de previsão de tempo (15 dias);

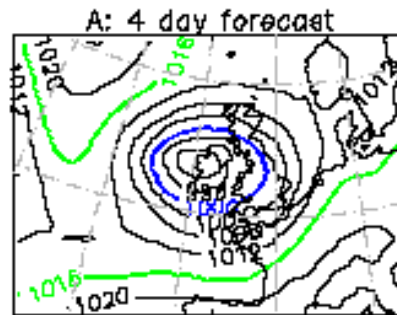
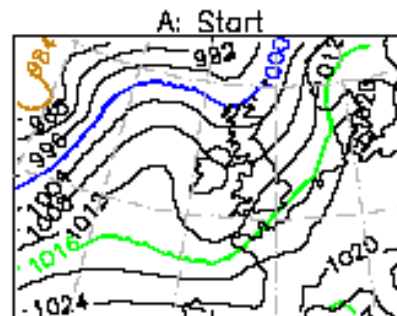
caos → desordem

O efeito do caos

- Em geral, até 3 dias a frente podemos usualmente prever acuradamente o padrão geral da atmosfera
- Além de 3 dias o caos torna-se um fator importante

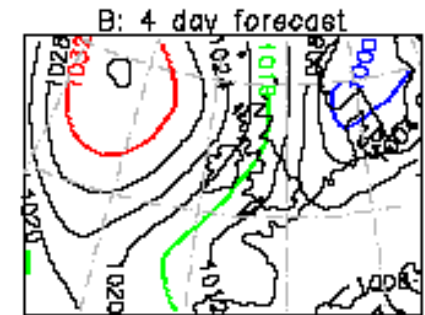
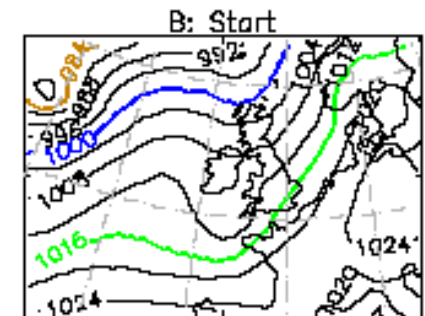
Pequenos erros na forma como interpretamos o estado atual da atmosfera levam a grades erros na previsão

Condição Inicial A



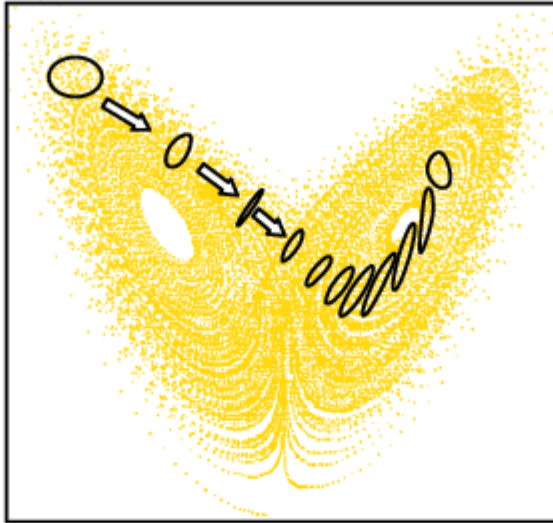
Previsão A para o dia 4

Condição Inicial B



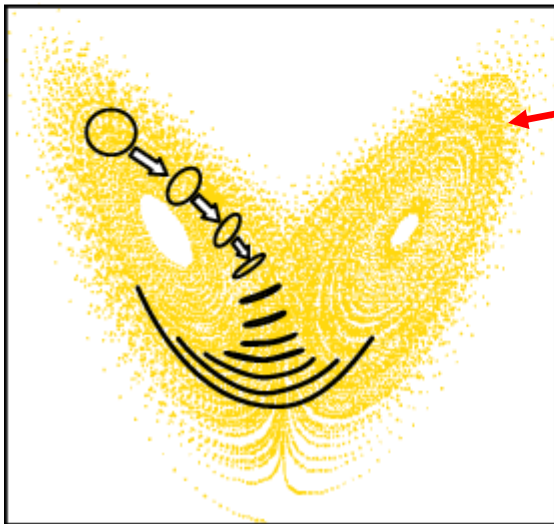
Previsão B para o dia 4

Variações na previsibilidade podem ser ilustradas usando o modelo de Lorenz (1963):

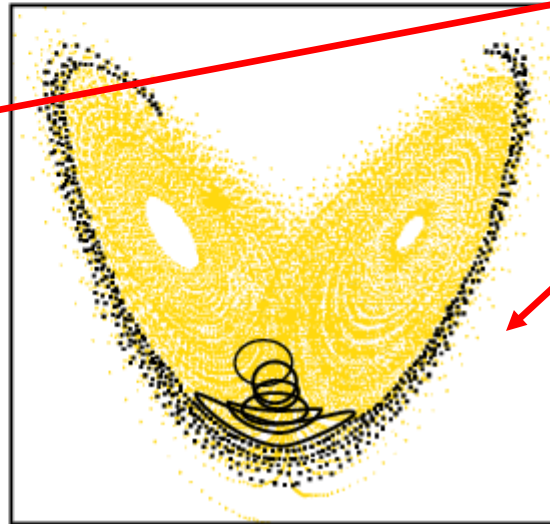


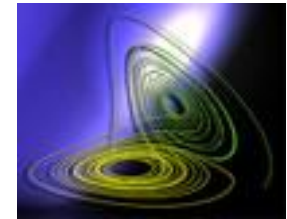
1. Estado Previsível

2. Previsível no início



3. Não Previsível





Estudos de previsibilidade

Solução das equações que governam os movimentos da atmosfera



sensibilidade às condições iniciais

Condições iniciais ligeiramente perturbadas



soluções completamente diferentes

Limitação dos modelos



limitação do prazo de previsão

Modelos perfeitos



erros inerentes às observações



previsões não verificadas

Todas as previsões são incertas (algumas vezes claramente erradas) e elas sempre serão !!

Principais fontes de incertezas:

- Condições Iniciais
- Modelos Imperfeitos
- Comportamento Caótico da Atmosfera

Precisamos incluir as incertezas em nossas previsões numéricas

Previsões Determinísticas

Uma única condição inicial

A importância dos estados iniciais nos erros cometidos nas previsões numéricas.

Estados iniciais ligeiramente errôneos podem levar a resultados que não serão verificados

Erros presentes nas condições iniciais crescerão ao longo da integração e levam ao decaimento da qualidade da previsão

Previsões Probabilísticas

Previsões Probabilísticas devem indicar o que sabemos e o que não sabemos sobre o estado futuro da atmosfera

Previsões Probabilísticas são projetadas para capturar as probabilidades de ocorrência dos eventos e o range de incerteza inerente a cada situação prevista

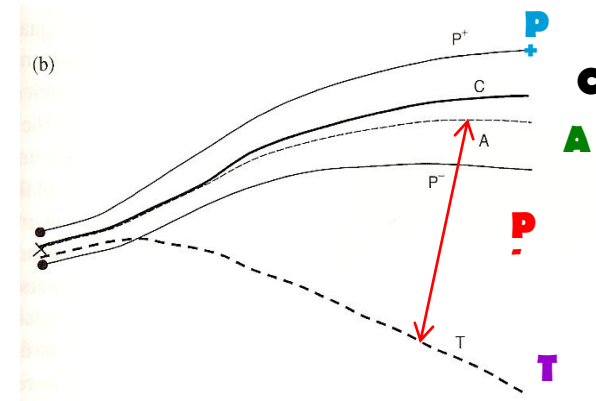
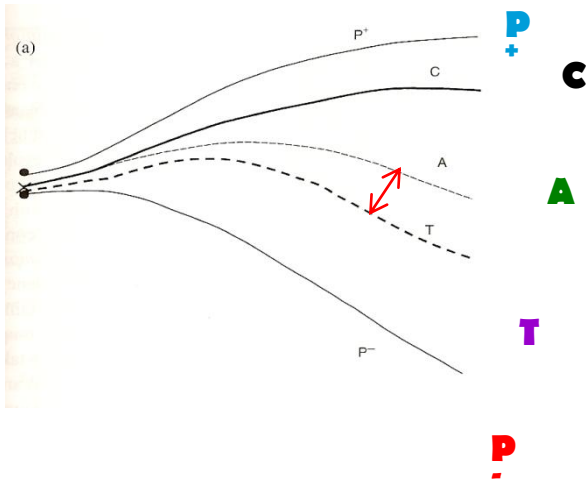


Previsões Determinísticas X Previsões Probabilísticas

Característica	Previsão Determinística	Previsão por Conjunto
Incertezas na Condição Inicial	Sistemas de assimilação de dados são preparados para minimizar os erros das condições iniciais usando diversas formas de dados. Incertezas são incluídas implicitamente (mas incompletamente) através de pesos relativos para cada tipo de dado observacional e para o <i>first-guess</i> do modelo de previsão.	As incertezas nas condições iniciais podem ser consideradas, determinando os erros potenciais mais importantes (ou seja, de crescimento mais rápido) para a subsequente previsão do modelo e convertendo-os em perturbações razoáveis para a condição inicial.
Previsibilidade Atmosférica	Não pode ser obtida a partir de previsões determinísticas. Pode ser inferida incompletamente a partir do grau de consistência entre previsões consecutivas do mesmo modelo.	Pode ser obtida a partir da taxa de crescimento do espalhamento dos membros do conjunto. O tamanho do conjunto e as perturbações adequadas nas condições iniciais são importantes para a obtenção de espalhamento do conjunto e medida apropriada da previsibilidade.
Incerteza no Modelo: Dinâmica	Apenas um método numérico pode ser utilizado, por exemplo, método espectral.	Múltiplos métodos numéricos podem ser usados, por exemplo: espectral, ponto de grade, ponto de grade com diferentes ajustes.
Incerteza no Modelo: Física	Apenas um conjunto de parametrizações físicas pode ser usado (ex.: um esquema de precipitação convectiva)	Múltiplas combinações de parametrizações físicas podem ser usadas (ex.: dois esquemas de precipitação convectiva)

Utilização de Previsão por Conjunto

- Explorar as incertezas; previsões numéricas com maior eficácia do que uma única previsão determinística
- Previsões por ensemble capturam probabilidades de ocorrência e intervalos de incerteza da previsão
- O emprego da técnica de previsão por conjunto em combinação com modelos de alta resolução pode tornar as previsões de eventos severos mais eficientes



C - previsão controle

P⁺ - pert. positiva

P⁻ - pert. negativa

A - ensemble médio

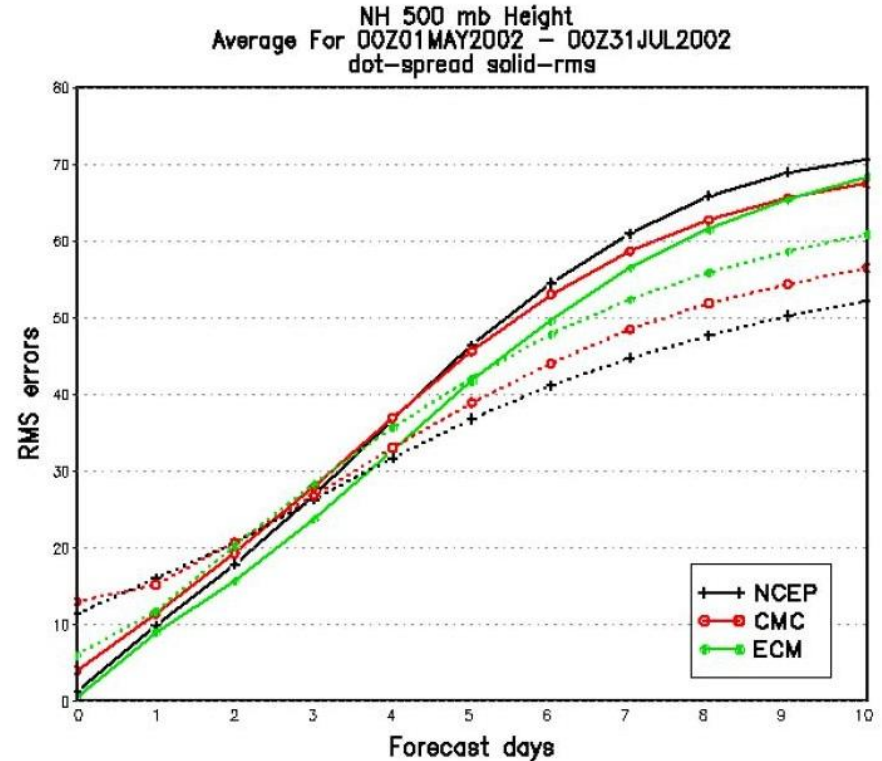
T - estado real da atmosfera

Ensemble boa qualidade

Ensemble baixa qualidade

Propriedades desejáveis de uma previsão por conjunto:

RMS espalhamento dos membros
similar ao RMS da previsão de
controle





Todos os membros igualmente prováveis

Espalhamento do Ensemble deve capturar a observação verificada (na maior parte do tempo!)

Diagrama Talagrand:

Para cada previsão ordenada do ensemble por exemplor para Temp.

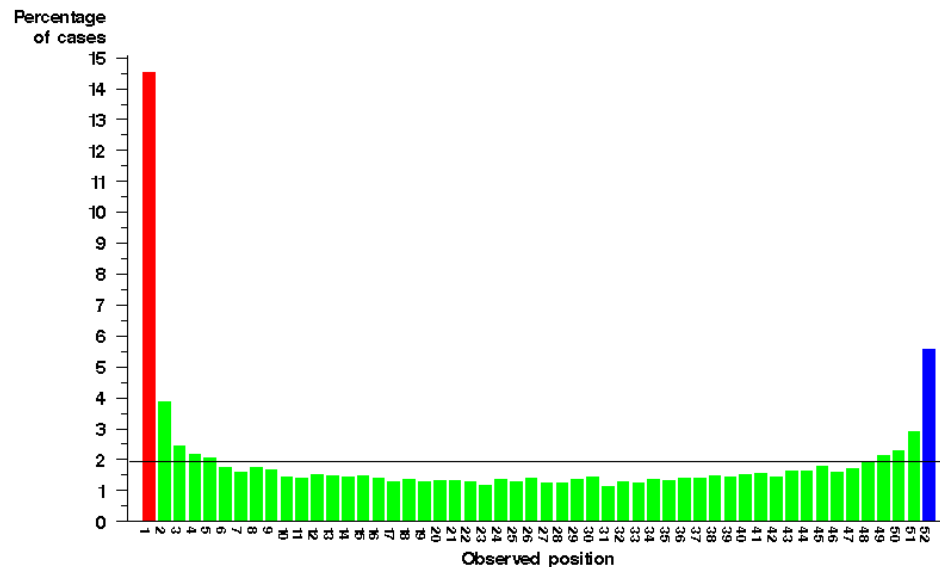
Identificar a categoria da observação verificada

Histograma das observações ordenadas

Ideal: barras em torno da linha horizontal

Temperature T+ 156 All 41 stations ECMWF 51-member ensembles

Talagrand Diagram, using data from D.T. 11 August 1997 to date



Red bar corresponds to all ensemble members being too warm

Blue bar corresponds to all ensemble members being too cold

todos os membros são mais quentes

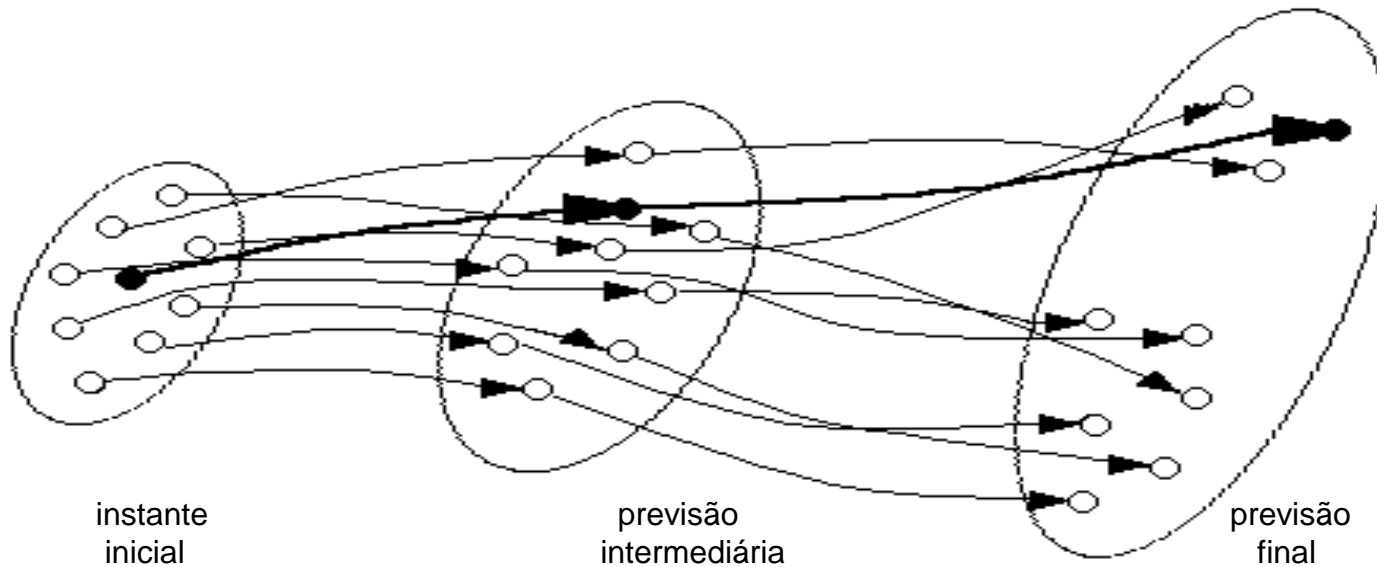
todos os membros são mais frios

Indica baixo espalhamento das previsões

Diferentes metodologias para capturar as incertezas

- Incertezas da Condição Inicial
- Incerteza dos Modelos (Dinâmica e Física)
 - Múltiplos Modelos
 - Múltiplas Análises
- Combinação de diferentes metodologias

Técnica de previsão por conjuntos: diminuir o impacto da incerteza do estado inicial da atmosfera na previsão final, tomando um conjunto de estados iniciais ligeiramente diferentes da análise inicial e gerando uma saída do modelo para cada um dos estados desse conjunto.



Cada execução do modelo é determinística, mas o conjunto de previsões tomadas a partir de estados iniciais ligeiramente diferentes da análise fornece uma descrição do caráter caótico da atmosfera.

Obtido o conjunto de previsões, utilizam-se ferramentas estatísticas para tratar as informações resultantes.

- Singular Vector (ECMWF; Molteni et al., 1996)

Operacional desde 1992

Desenvolvido para médio prazo

51 membros: 50 perturbados e um controle (sem perturbações na análise)

- Breeding (NCEP; Toth and Kalnay, 1993)

Operacional desde 1992

Desenvolvido para médio prazo, mas são válidos também para curto prazo

15-membros: 14 membros perturbados mais uma rodada de controle

- Observações perturbadas (CMC; Houtekamer et al., 1996)

Operacional desde 1998

Desenvolvido para médio prazo, mas também é aplicável para curto prazo

16-membros (8 a partir de cada sistema – CI/Física):

- Perturbações baseadas em EOF (CPTEC; Coutinho, 1999)

Operacional desde 2001

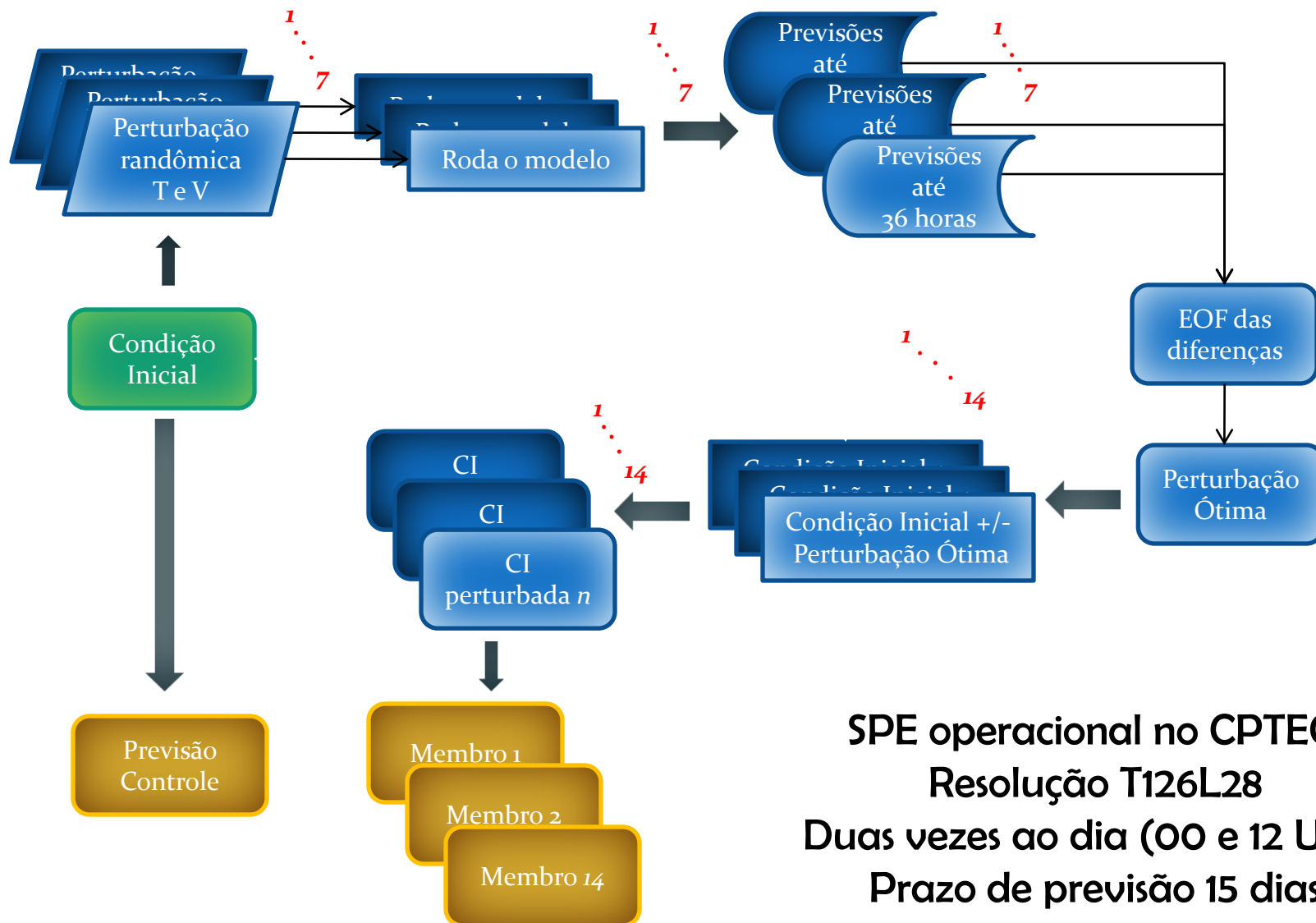
Desenvolvido para médio prazo

15-membros: 14 membros perturbados mais uma rodada de controle

- ETKF (Met Office; Wang and Bishop, 2003)

Ensemble Transform Kalman Filter usado para global/regional e curto-médio-prazo no Met Office

O Sistema de Previsão por Ensemble do CPTEC (SPE)

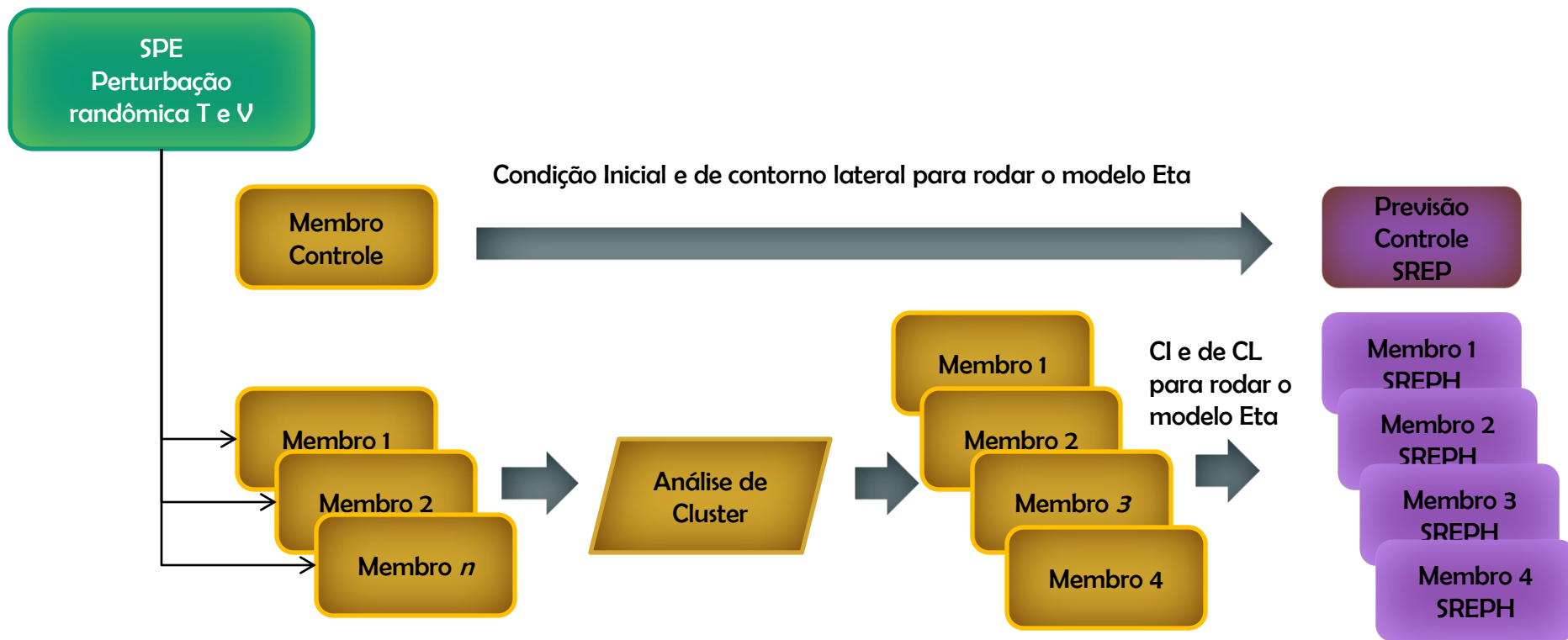


SPE operacional no CPTEC:
Resolução T126L28
Duas vezes ao dia (00 e 12 UTC)
Prazo de previsão 15 dias
15 membros



SREPS

Sistema de Previsão por conjunto de curto-prazo



Operacional no CPTEC:
Modelo Eta: resolução 40 km / 3 8 níveis
2 vezes ao dia (00 e 12 UTC)
Prazo de integração 120 horas
5 membros

Principais Produtos da Previsão por Conjunto

Previsão por conjunto:

Ensembles representam a melhor forma de lidar com a incerteza e pode nos dar uma indicação do risco associado a previsão

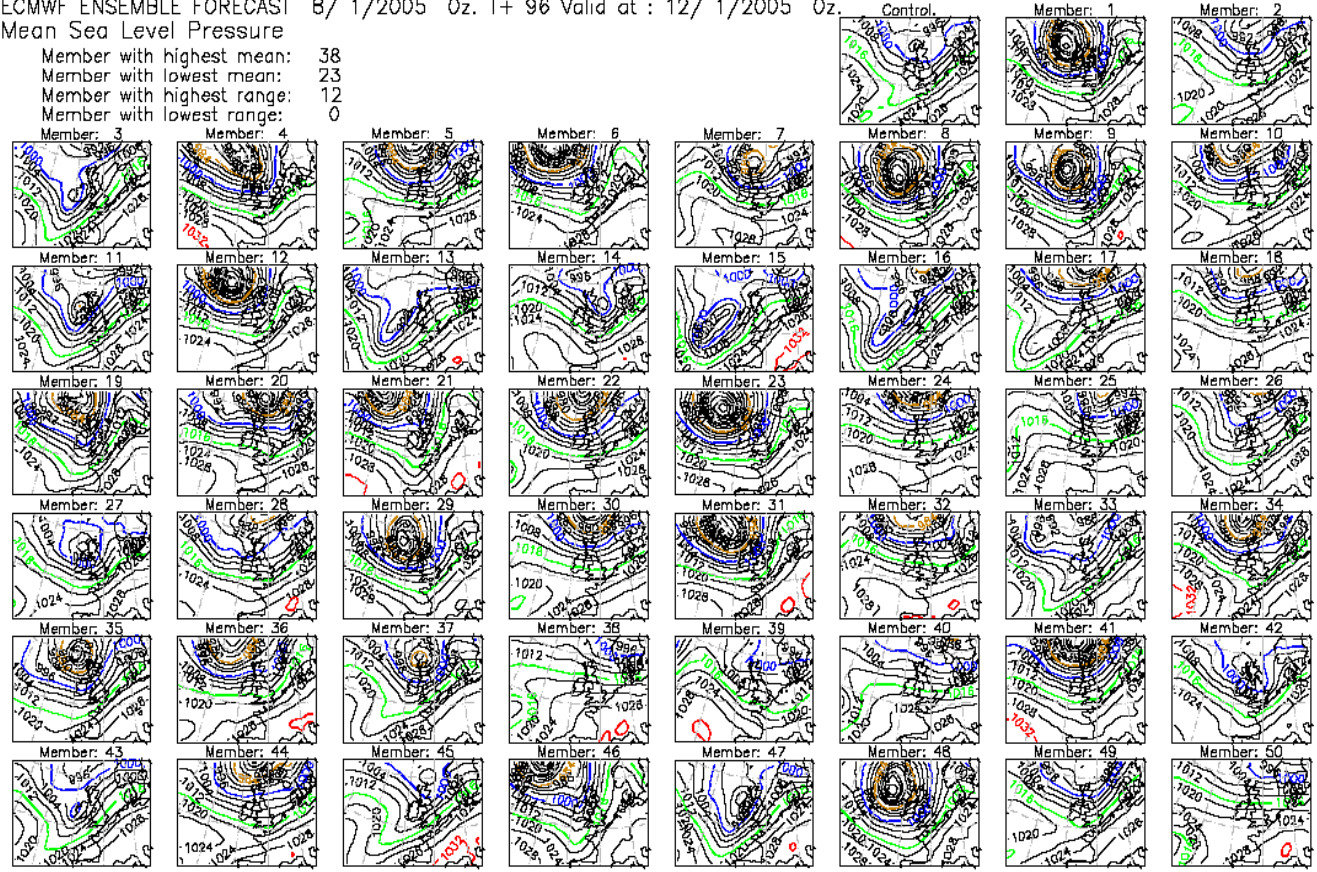
Significa rodar numerosas previsões (alto custo computacional)

Implica em grande quantidade de informações a serem processadas

Como podemos codensar e extrair as informações mais úteis?

ECMWF ENSEMBLE FORECAST B/ 1/2005 Oz. T+ 96 Valid at : 12/ 1/2005 Oz.
 Mean Sea Level Pressure

Member with highest mean: 38
 Member with lowest mean: 23
 Member with highest range: 12
 Member with lowest range: 0

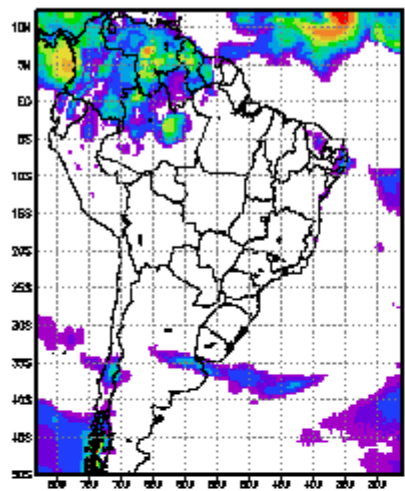


- Para uma dada variável e tempo de previsão todos os membros do ensemble são apresentados
- Vantagens: Todos os membros do ensemble são apresentados
- Desvantagens: Muitas informações

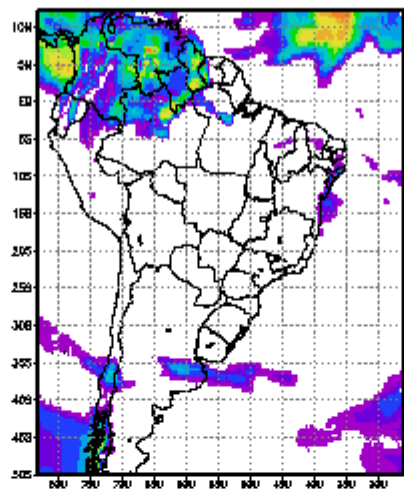
Produtos do SRPES do CPTEC utilizando o modelo Eta

<http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/#>

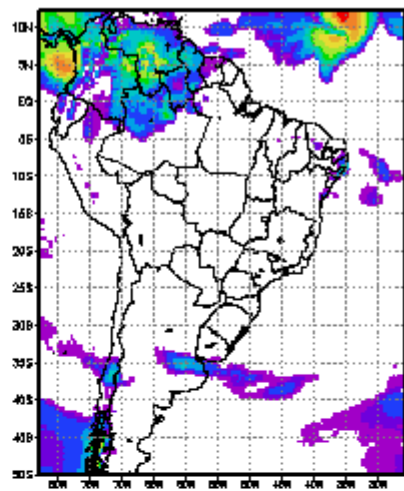
CPTEC/INPE/MCT – MODELO REGIONAL
Previsao 20100822T12+24h, valida para 23/08/2010, 12UTC
Precipitacao Total acumulada em 24h (mm)



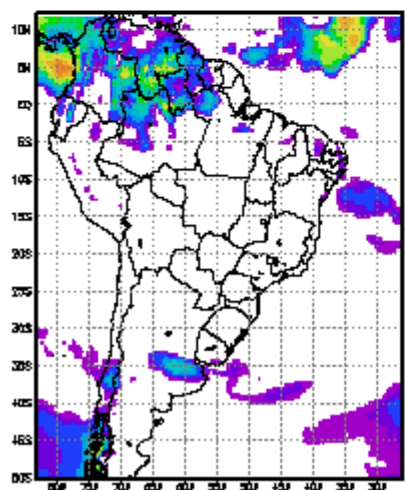
Membro1



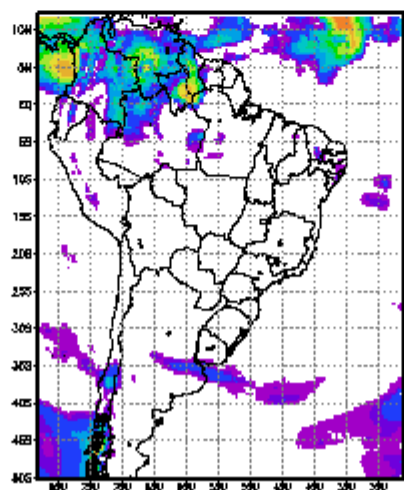
Membro2



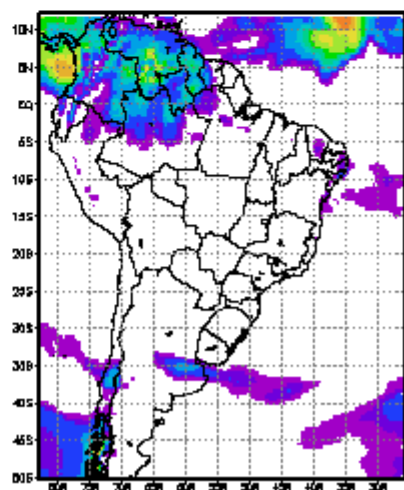
Controle



Membro3



Membro4



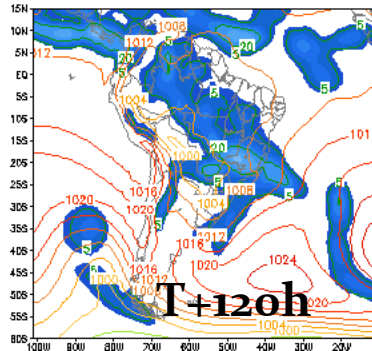
Ensemble Médio

CPTEC/INPE/MCT – PREVISAO DE TEMPO GLOBAL POR ENSEMBLE – T126L28

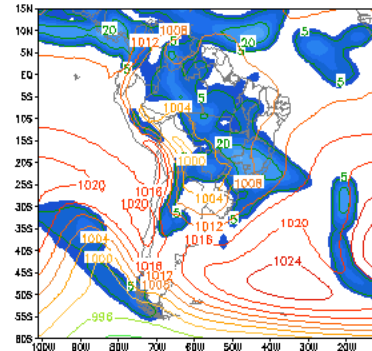
Cluster Médio para Pressao ao Nivel Medio da Mar (hPa) (Contornos)
e Precipitacao Acumulada em 24 horas (mm) (Cores)

Previsao de: 2010102000Z Valido para: 2010102500Z

cluster: 1 n.o de membros: 8



cluster: 2 n.o de membros: 7

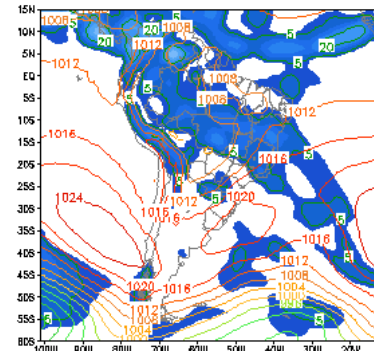


CPTEC/INPE/MCT – PREVISAO DE TEMPO GLOBAL POR ENSEMBLE – T126L28

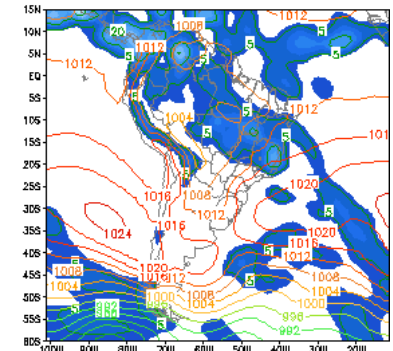
Cluster Médio para Pressao ao Nivel Medio da Mar (hPa) (Contornos)
e Precipitacao Acumulada em 24 horas (mm) (Cores)

Previsao de: 2010102000Z Valido para: 2010110400Z

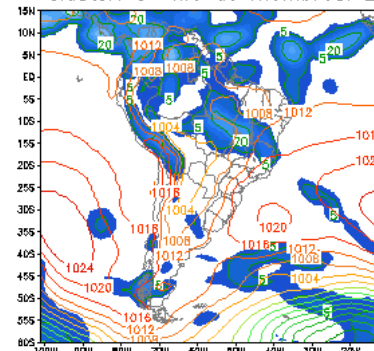
cluster: 1 n.o de membros: 5



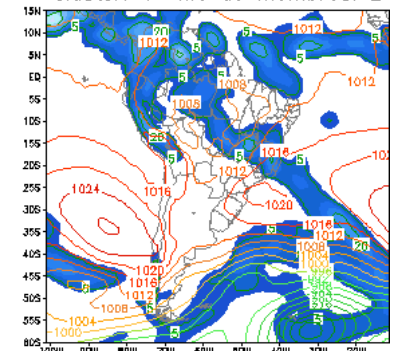
cluster: 2 n.o de membros: 3



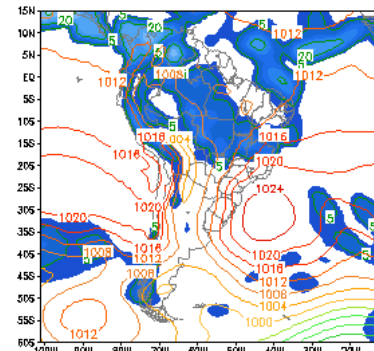
cluster: 3 n.o de membros: 2



cluster: 4 n.o de membros: 2



cluster: 5 n.o de membros: 3



T+15 dias

Produtos do SPE do Modelo Global do CPTEC

<http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/#>

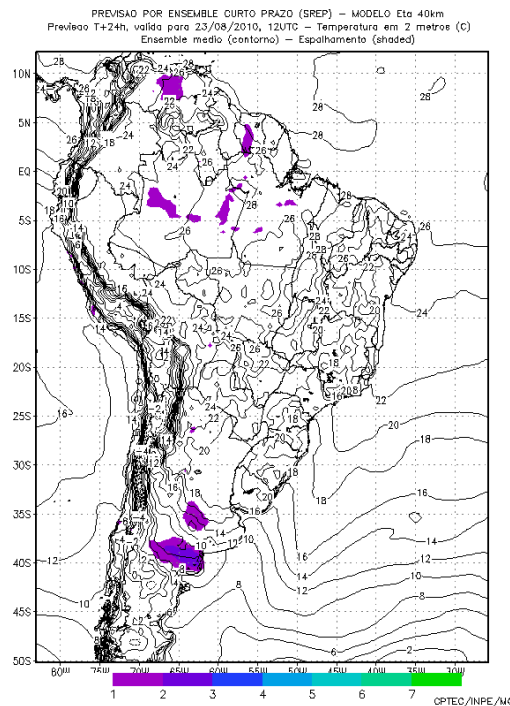
Clusters

- Neste tipo de gráfico agrupamos aquelas previsões que são similares de acordo com uma norma (correlação entre campos, diferenças de rms, etc)
- Deve ser usado para obter a variabilidade, não para tomar a melhor solução!
- Ele dá uma idéia de quão provável são as soluções alternativas

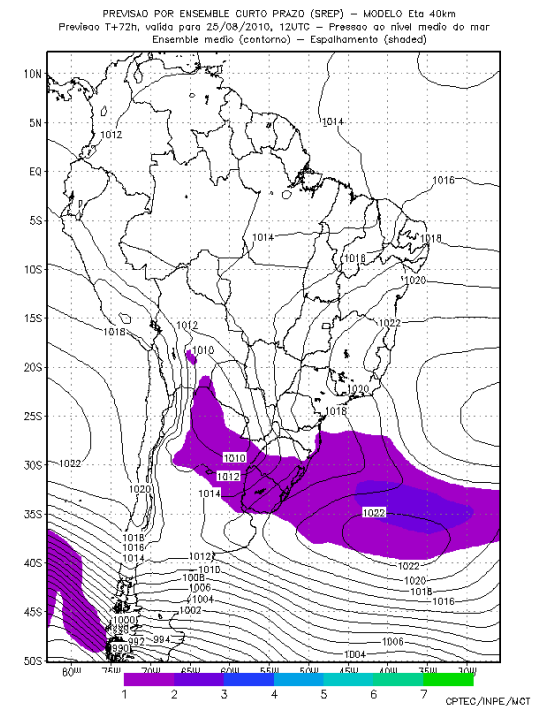
Ensemble médio e espalhamento

- Muito compacto, mas pode filtrar informações úteis!
- Ensemble médio fornece melhores previsões do que o controle
- Espalhamento do ensemble:
 - Medida da incerteza
 - Diferente para cada variável

Tp2m – T+24h



PNMM – T+72h

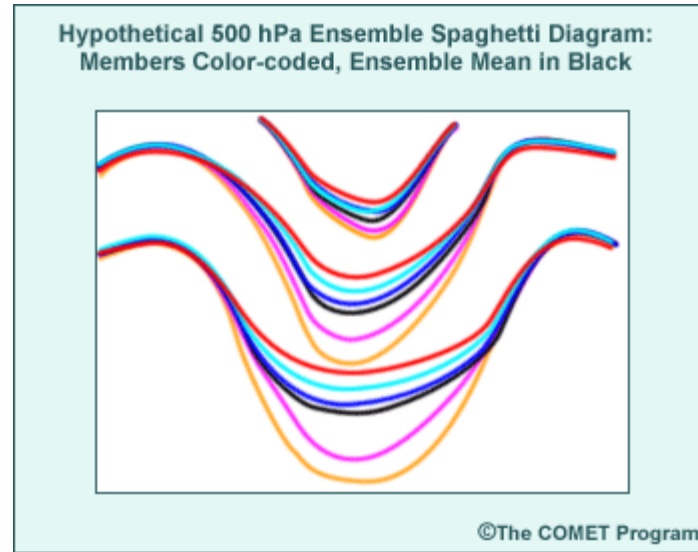
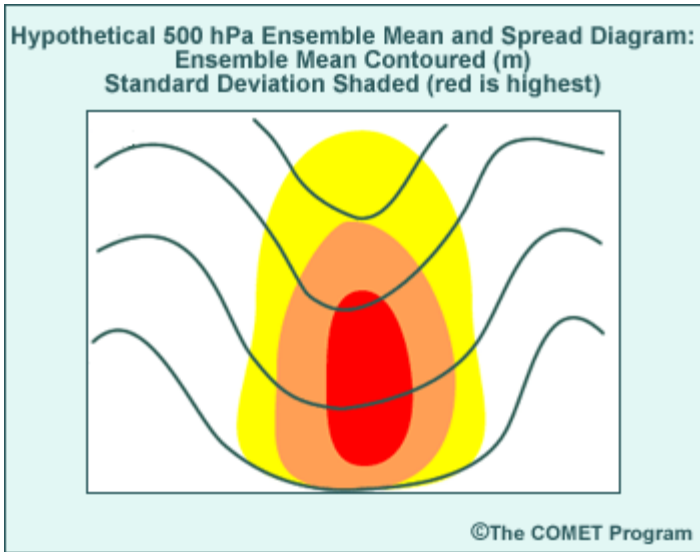


Produtos do SRPES do
 Modelo Eta do CPTEC

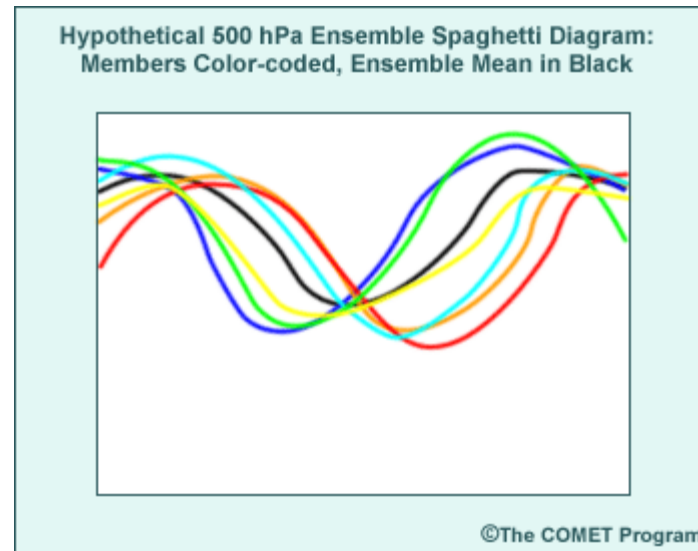
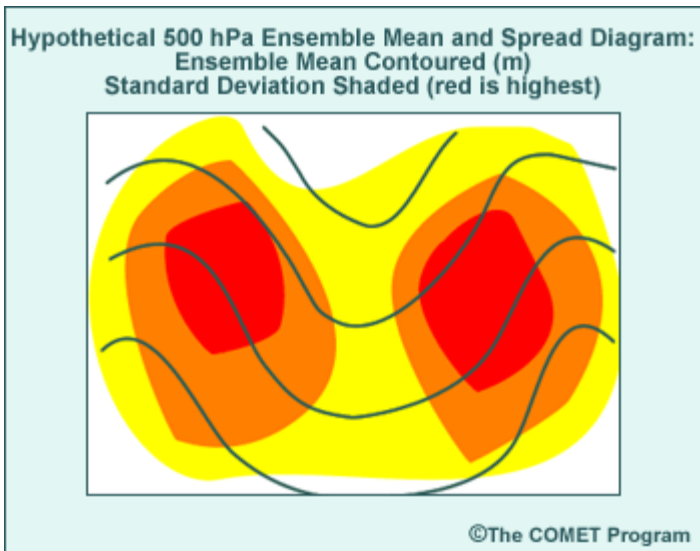
<http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/#>



As incertezas podem estar associadas a intensidade ou a localização.



Intensidade!



Localização!

O ensemble médio fornece uma boa informação da evolução mais provável da atmosfera em escalas sinóticas

Também, quanto menor o espalhamento na previsão, é mais provável que aquela previsão seja verificada (Toth et al. 2001)

Alta incerteza na previsão indica baixa previsibilidade (não podemos afirmar se a previsão média é uma boa estimativa da atmosfera futura ou não)

Limitações do Ensemble Médio e Espalhamento

O cálculo do ensemble médio e do espalhamento assume que os membros do ensemble médio estão numa distribuição normal, com o ensemble médio tendo a máxima probabilidade de ocorrência.

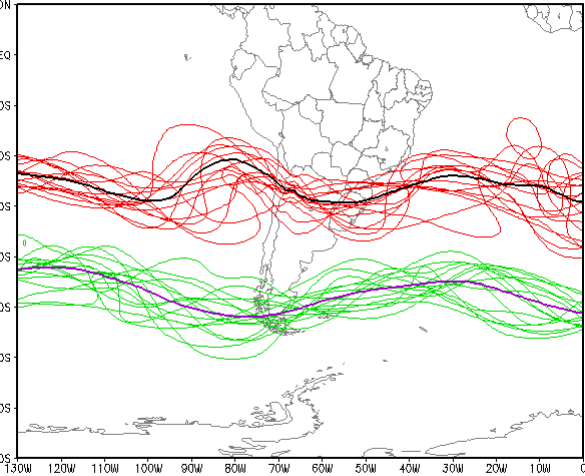
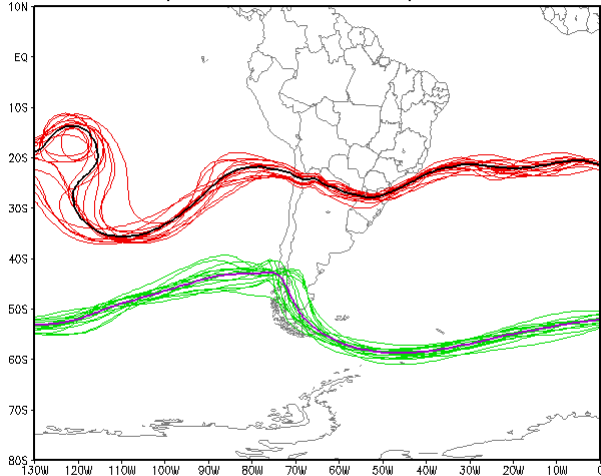
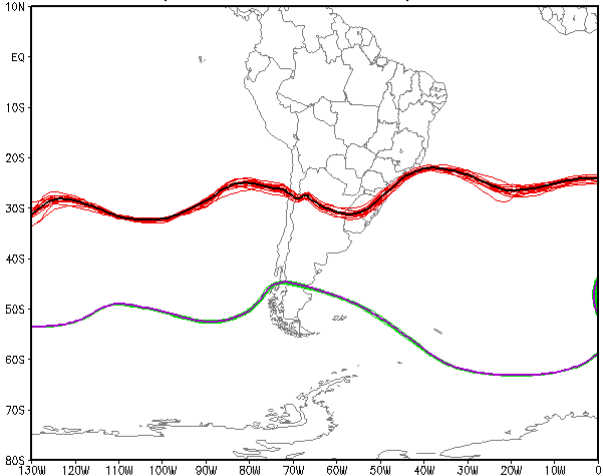
Diagramas espaguete

- Plota os contornos de alguns valores para uma variável de interesse
- Apresentam TODOS os membros do ensemble
- Útil para se obter uma idéia da incerteza associada à previsão

CPTEC/INPE/MCT - PREVISAO DE TEMPO GLOBAL POR ENSEMBLE - T126L28
 Diagrama "Spaguetti" - Altura Geopotencial (m) (500 hPa)
 Previsao a partir de: 2010102000Z Valido para: 2010102100Z

CPTEC/INPE/MCT - PREVISAO DE TEMPO GLOBAL POR ENSEMBLE - T126L28
 Diagrama "Spaguetti" - Altura Geopotencial (m) (500 hPa)
 Previsao a partir de: 2010102000Z Valido para: 2010102700Z

CPTEC/INPE/MCT - PREVISAO DE TEMPO GLOBAL POR ENSEMBLE - T126L28
 Diagrama "Spaguetti" - Altura Geopotencial (m) (500 hPa)
 Previsao a partir de: 2010102000Z Valido para: 2010110400Z



— Membras do Ensemble (5800.0 m) — Ensemble Medio (5800.0 m)
 — Membras do Ensemble (5400.0 m) — Ensemble Medio (5400.0 m)

— Membras do Ensemble (5800.0 m) — Ensemble Medio (5800.0 m)
 — Membras do Ensemble (5400.0 m) — Ensemble Medio (5400.0 m)

— Membras do Ensemble (5800.0 m) — Ensemble Medio (5800.0 m)
 — Membras do Ensemble (5400.0 m) — Ensemble Medio (5400.0 m)



- Muito útil para eventos extremos
- A probabilidade é calculada contando o número de membros do ensemble que excedem um limiar escolhido dividido pelo número total de membros do ensemble

Vantagens:

Apresentação compacta

Foco em valores limiares importantes para variáveis críticas de previsão

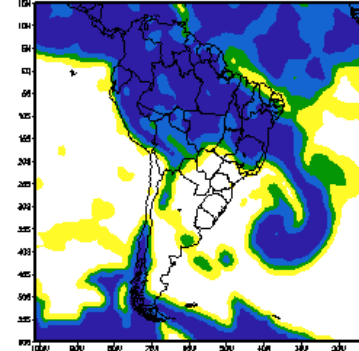
Desvantagens:

Fornecer apenas uma parte da distribuição de probabilidades para a previsão ao invés da distribuição completa e como resultado não mostra diretamente o grau de incerteza da previsão por ensemble

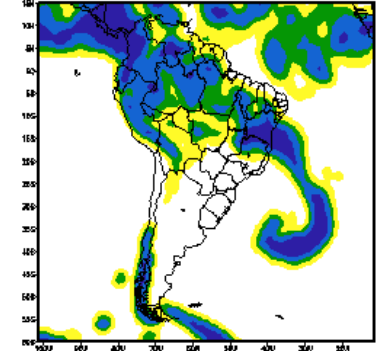
Pode tornar menos provável soluções que, se ocorressem, teriam maior impacto no público

CPTEC/INPE/MCT - PREVISAO DE TEMPO GLOBAL POR ENSEMBLE - T126L28
Previsao de Probabilidades (%) - A partir de: 2010102000Z Valido para: 2010102100Z

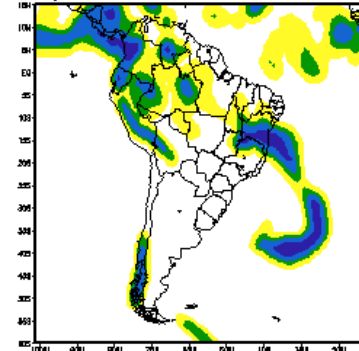
Precipitacao acumulada em 24 hrs > 1.0 mm



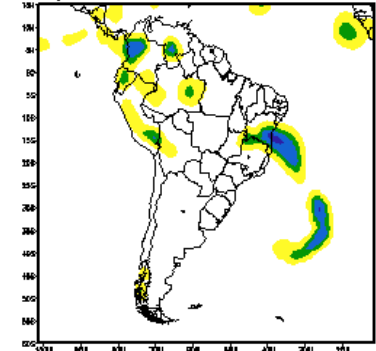
Precipitacao acumulada em 24 hrs > 5.0 mm



Precipitacao acumulada em 24 hrs > 10.0 mm



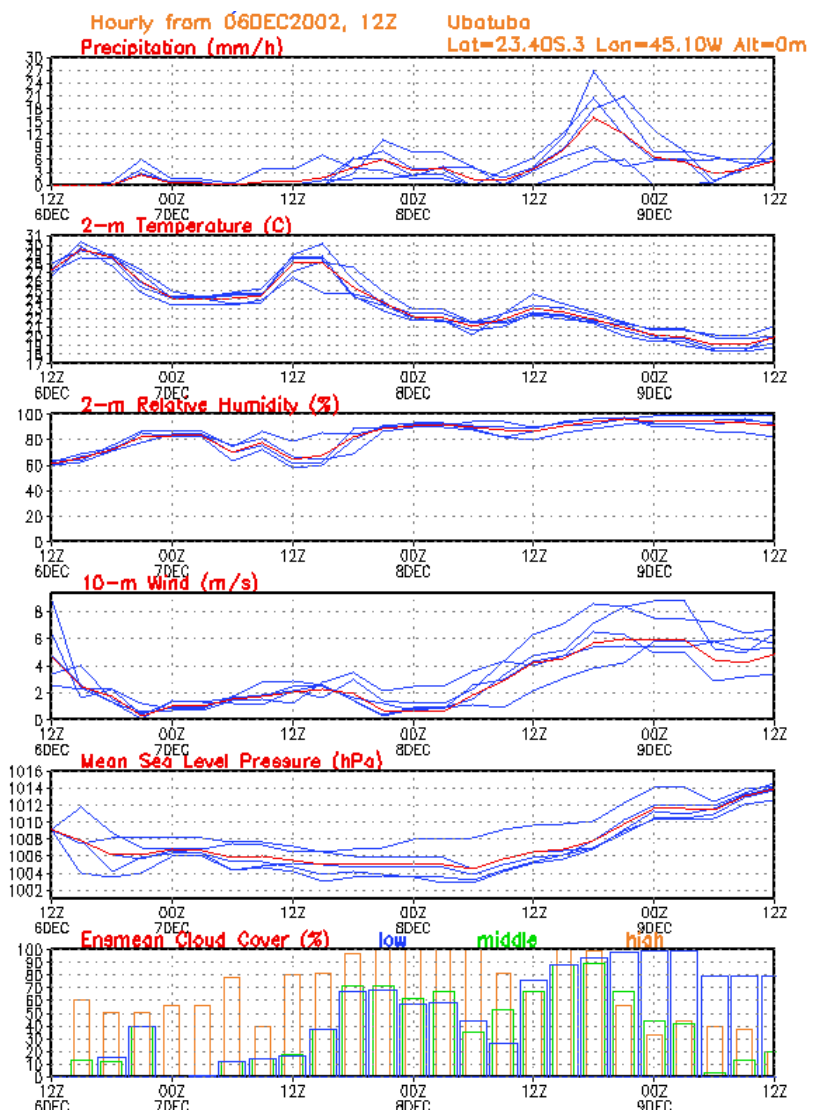
Precipitacao acumulada em 24 hrs > 20.0 mm



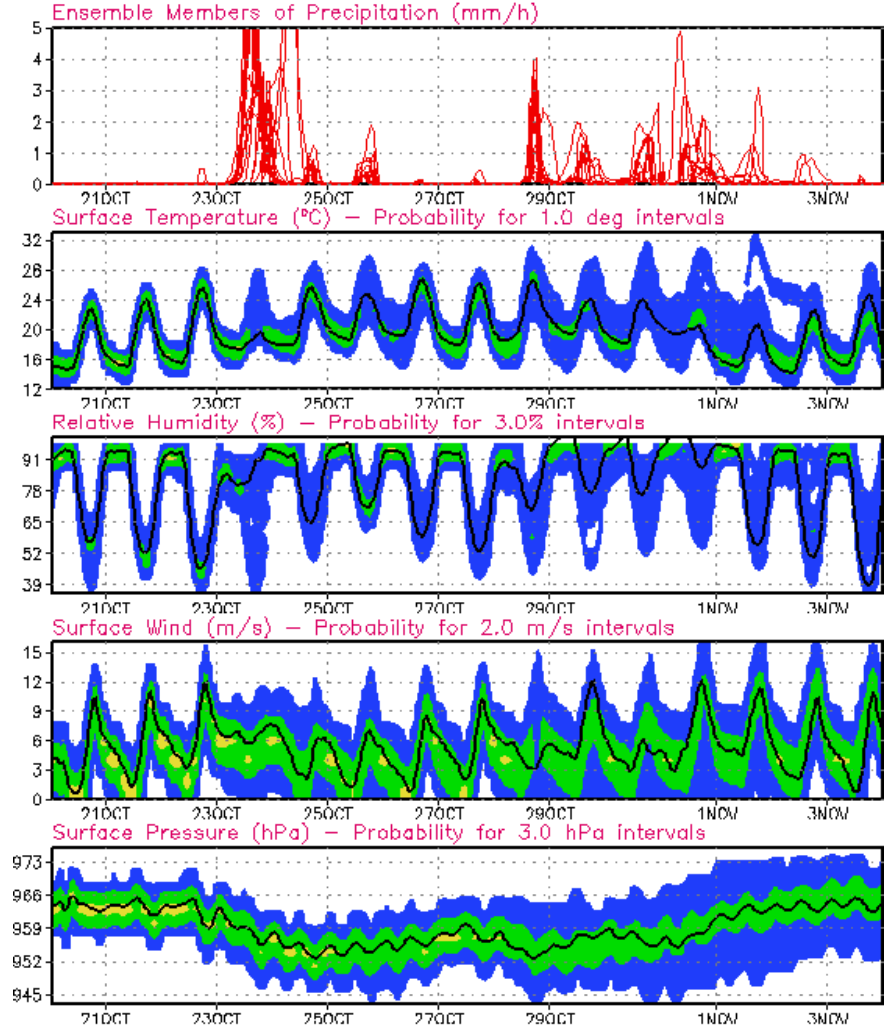
Plumas: a evolução temporal para uma localidade específica.

Produto do SRPES do CPTEC

Produto do SPE do CPTEC



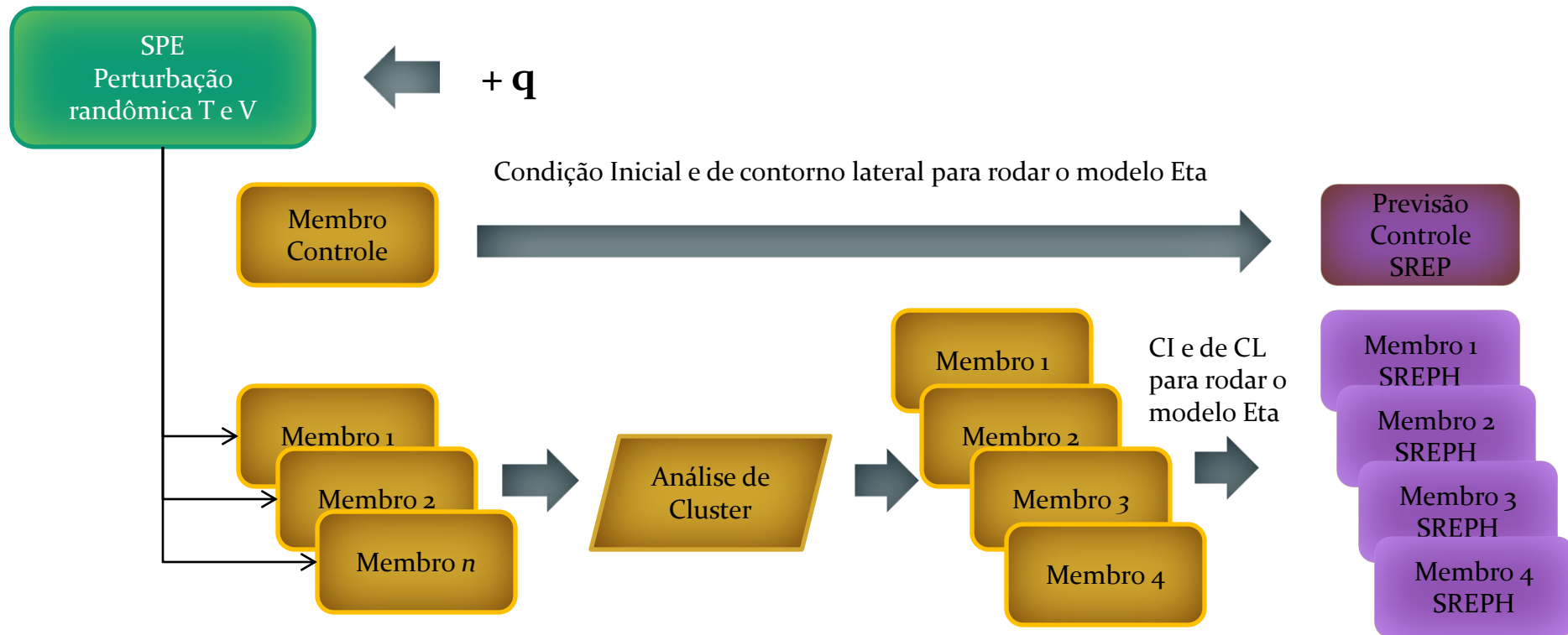
PROBABILITY PLUMES - GLOBAL ENSEMBLE FORECAST - T126L28
 CPTEC: 048:53W-23:51S SAO PAULO (SP)
 20OCT2010 00Z: Greenwich Meridian Time: Vertical Dotted Line: Midnight
 1 - 20 % 20 - 40 % 40 - 60 % 60 - 80 % 80 - 100 %
 Model Altitude: 459 m Control Forecast



Desenvolvimento do SREPS no CPTEC

- Uso de um modelo de alta resolução;
- Perturbações das condições iniciais;
- Inclusão das incertezas dos erros dos modelos.

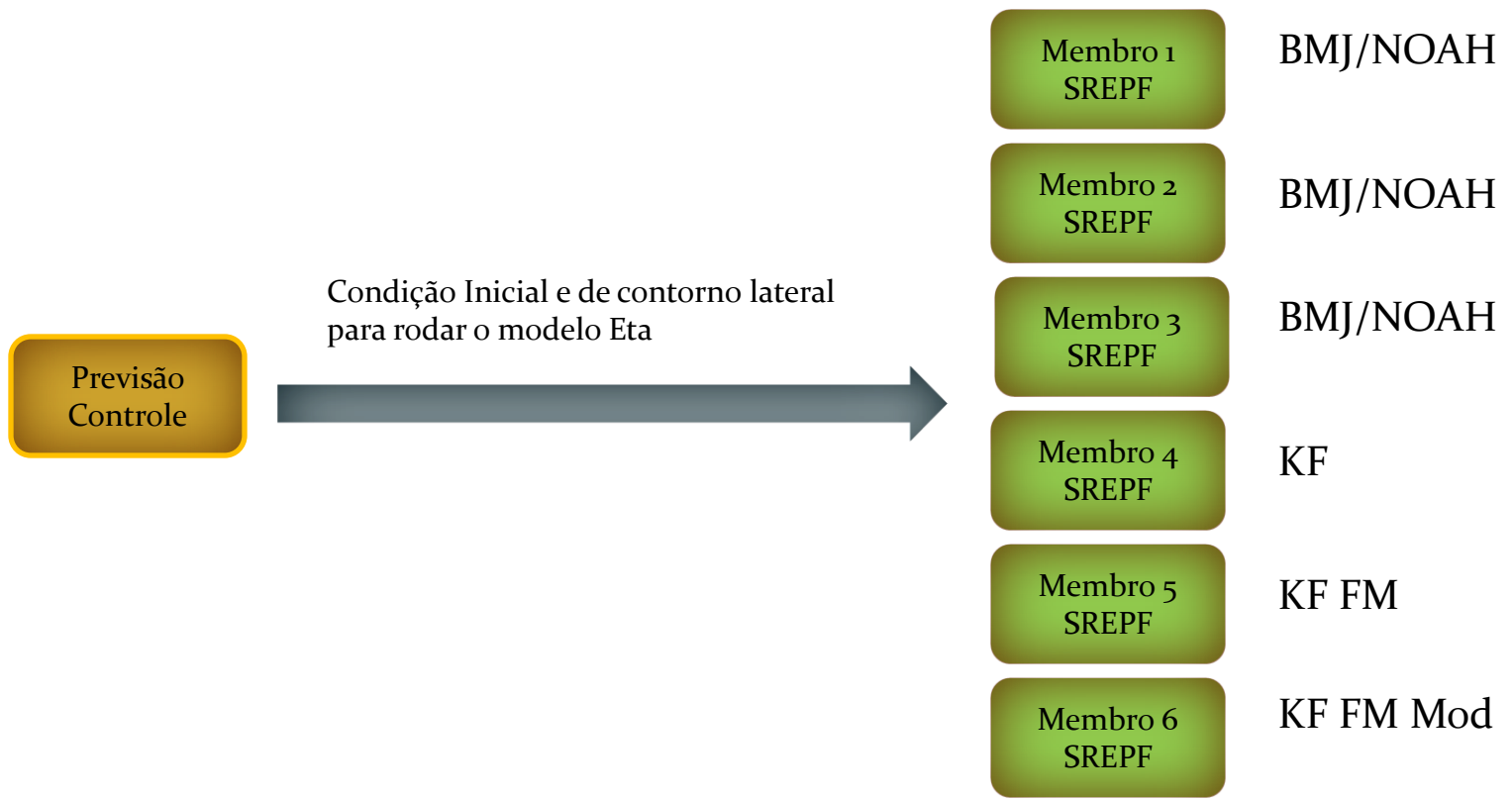
Sistema de Previsão por conjunto de curto-prazo em desenvolvimento





SREPS

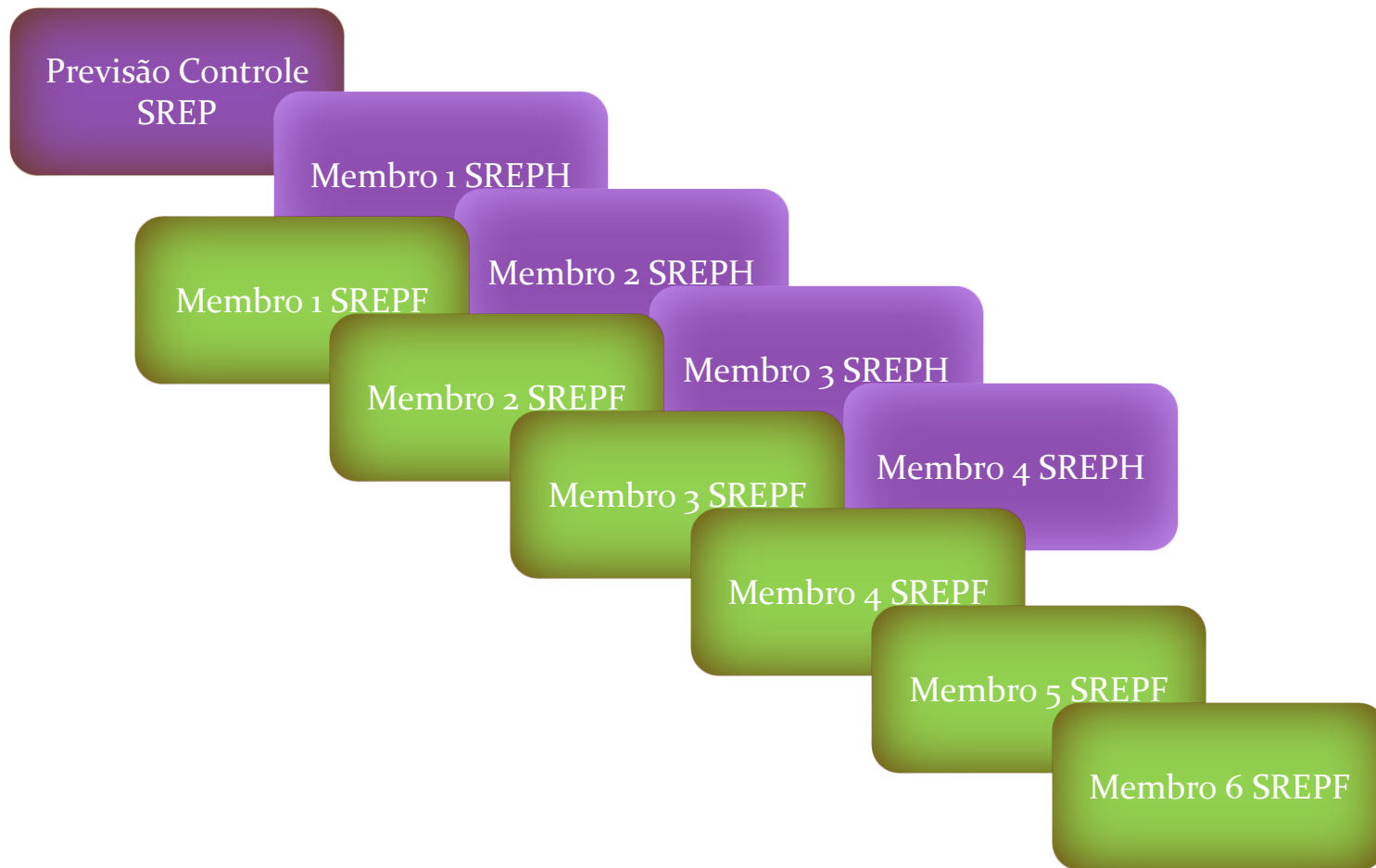
Sistema de Previsão por conjunto de curto-prazo em desenvolvimento





SREPS

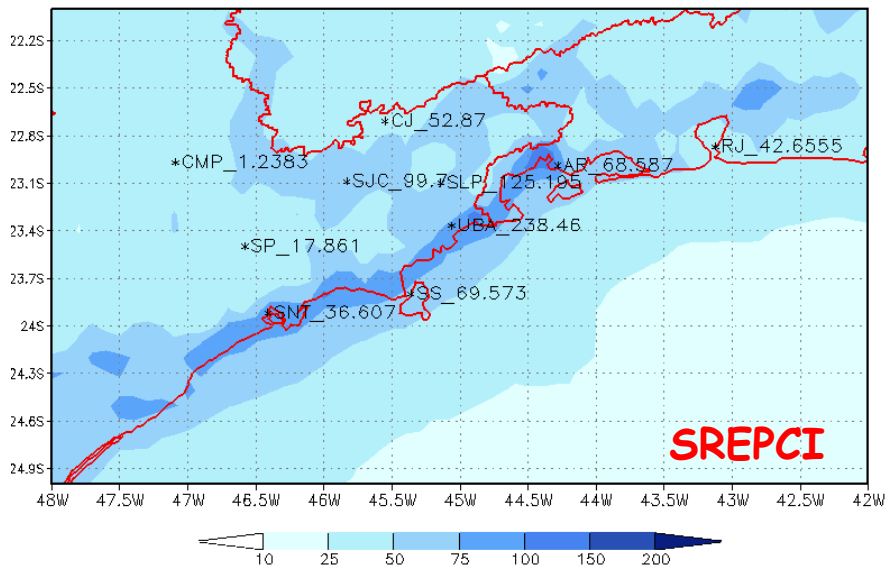
Sistema de Previsão por conjunto de curto-prazo em desenvolvimento



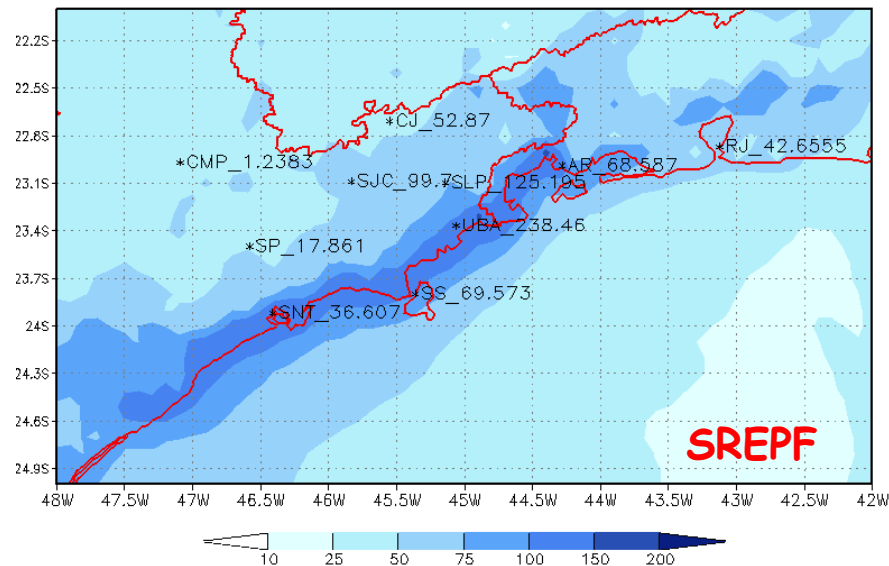


Painéis: Ensemble Médio

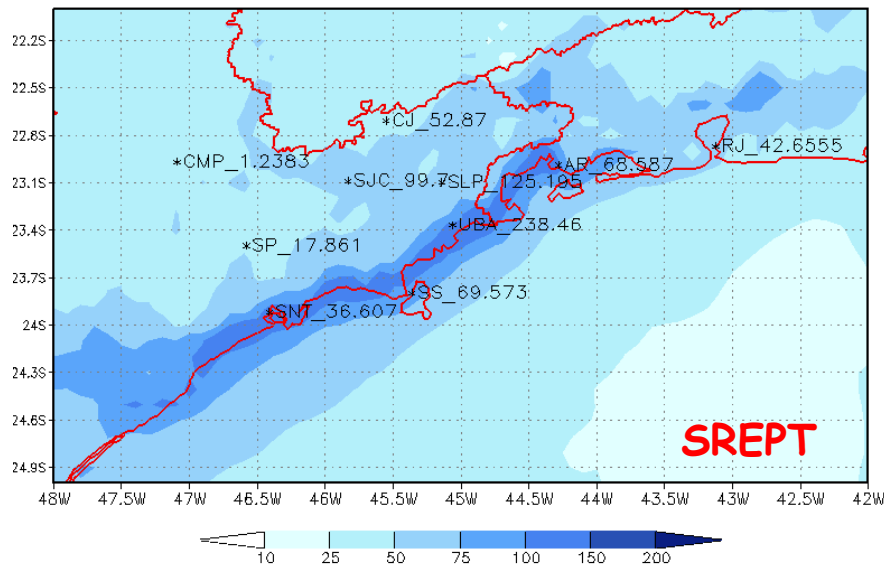
Forecasted Precipitation (mm/3 day)
ensmed SREPIC



Forecasted Precipitation (mm/3 day)
ensmed SREPF

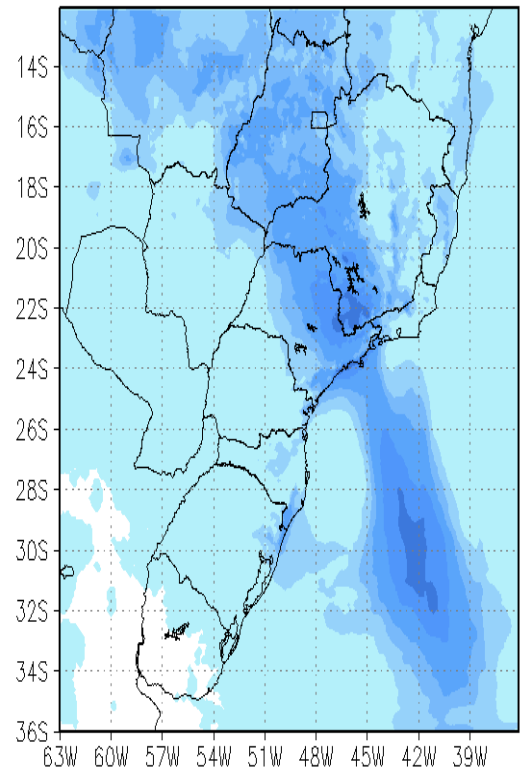


Forecasted Precipitation (mm/day)
ensmed SREPS

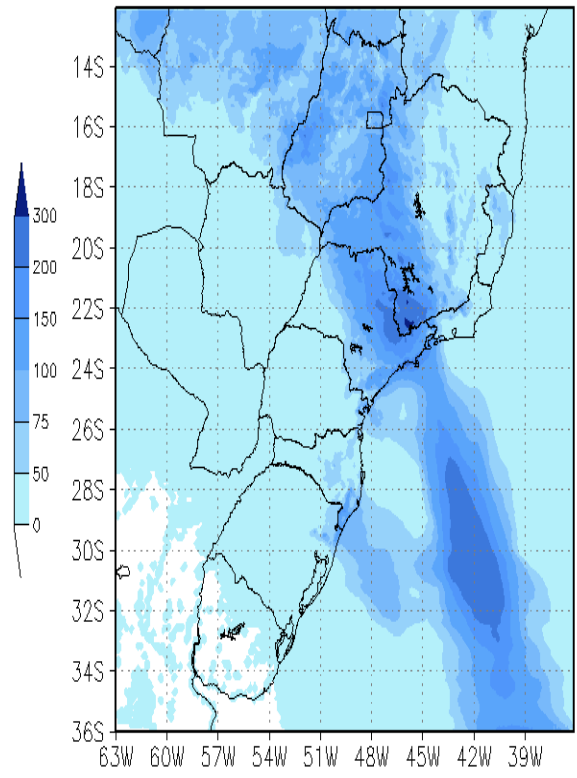


Precipitação Ac. 6 dias (mm) - Ensemble Médio

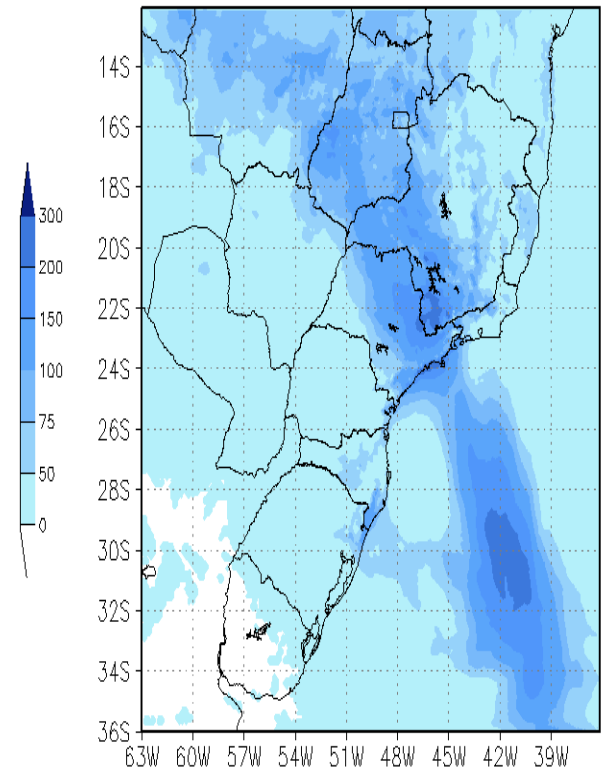
EnsMean Precipitacao Ac. 6 dias SREPIC zcas2000



EnsMean Precipitacao Ac. 6 dias SREPFzcas2000

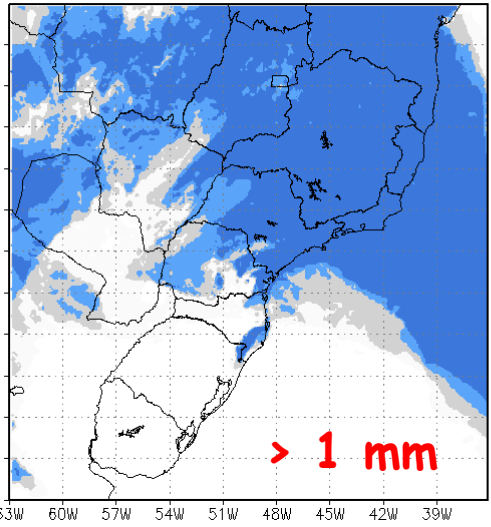


EnsMean Precipitacao Ac. 6 dias SREPT zcas2000

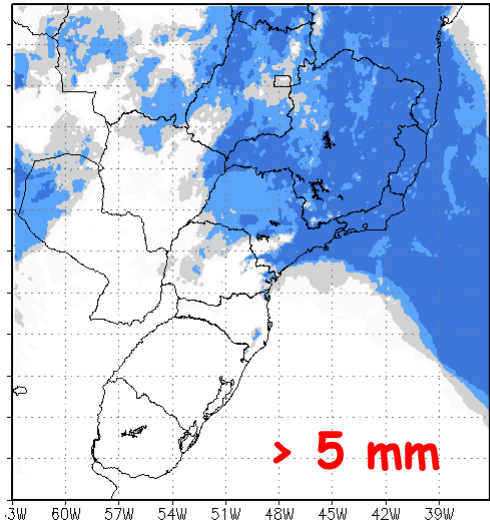


Previsão de Probabilidade: dado um limiar pré-estabelecido pode-se estimar quais regiões que tem maior probabilidade de ocorrência de uma determinada variável acima do limiar.

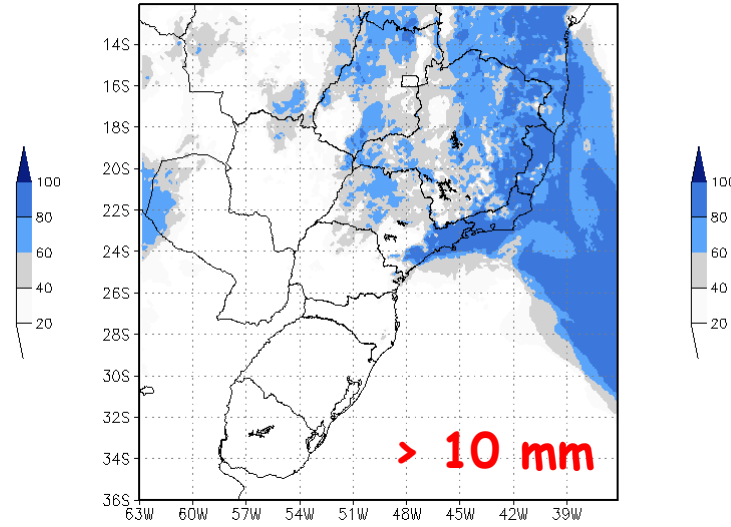
Probabilidade Prec. > 1,0 mm
Fct T+72h



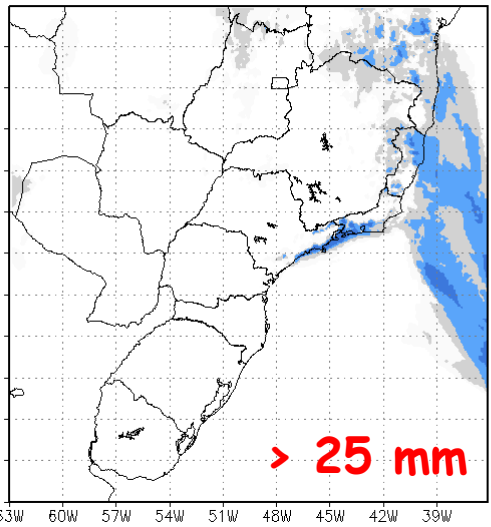
Probabilidade Prec. > 5,0 mm
Fct T+72h



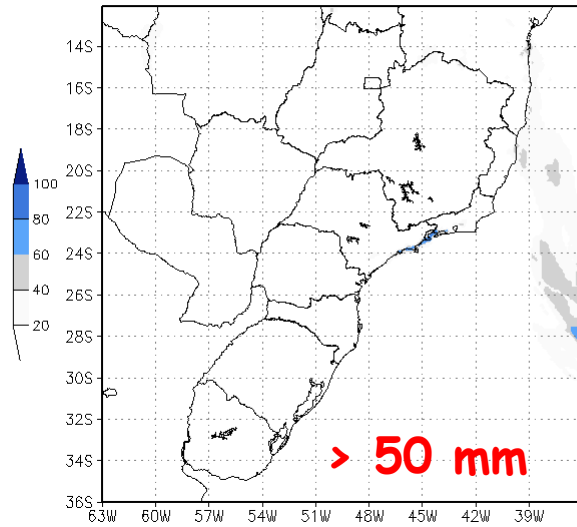
Probabilidade Prec. > 10,0 mm
Fct T+72h



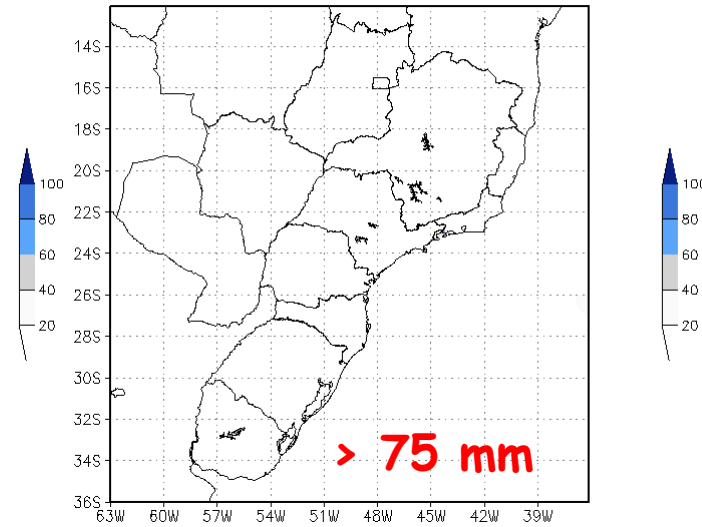
Probabilidade Prec. > 25,0 mm
Fct T+72h



Probabilidade Prec. > 50,0 mm
Fct T+72h

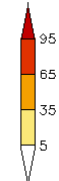
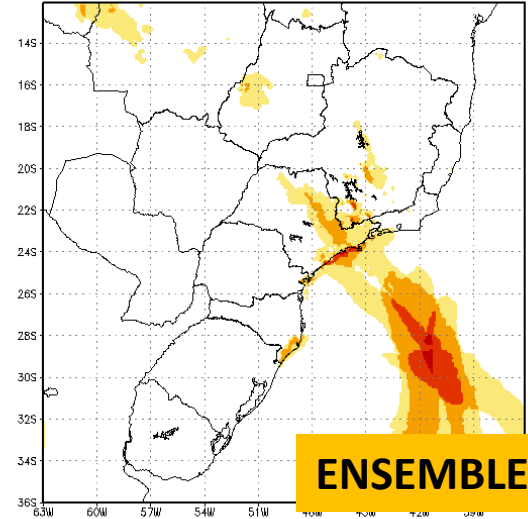
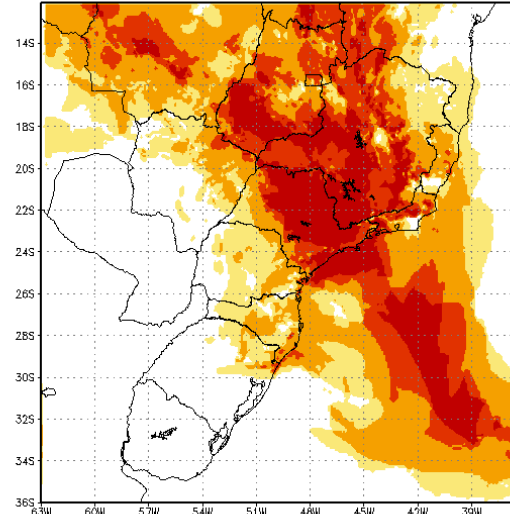
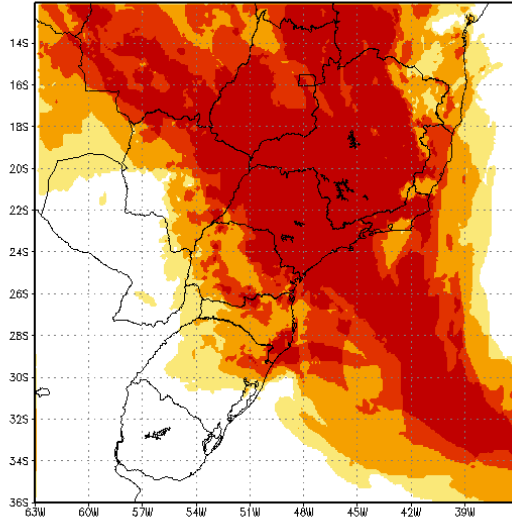


Probabilidade Prec. > 75,0 mm
Fct T+72h



Previsões de Probabilidade

Probabilidade de precipitacao > 1,0 mm - T+7 Probabilidade de precipitacao > 10,0 mm - T Probabilidade de precipitacao > 50,0 mm - T+72h

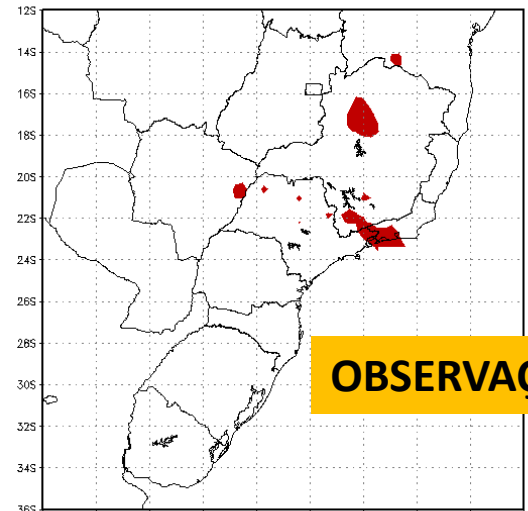
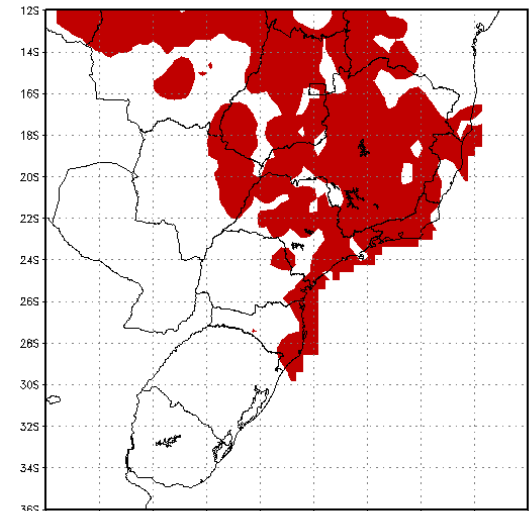
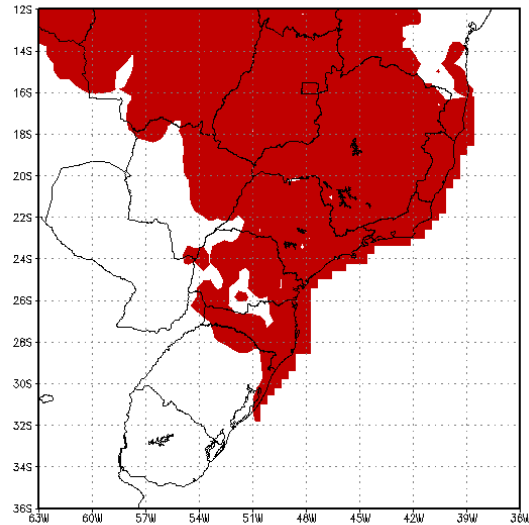


ENSEMBLE FCSTS

Precip > 1mm
Precipitação acima de 1 mm
2000010212

Precip > 10mm
Precipitação acima de 10 mm
2000010212

Precip > 50mm
Precipitação acima de 50 mm
2000010212



OBSERVAÇÕES



III Worketa



Previsão de Probabilidade: dado um limiar pré-estabelecido pode-se estimar quais regiões que tem maior probabilidade de ocorrência de uma determinada variável acima do limiar.

Previsões por Conjunto

SREPCI

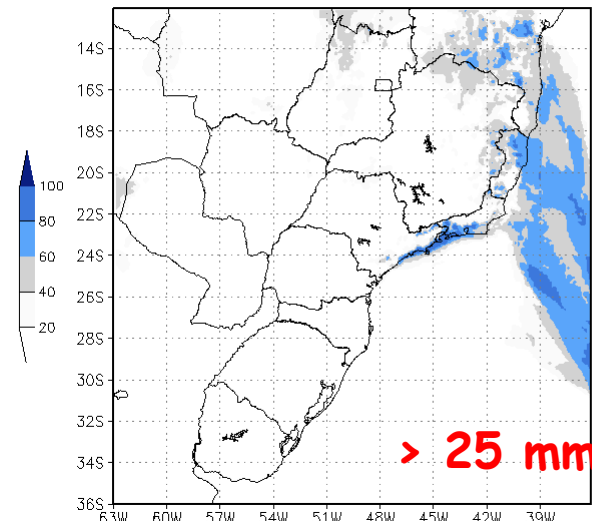
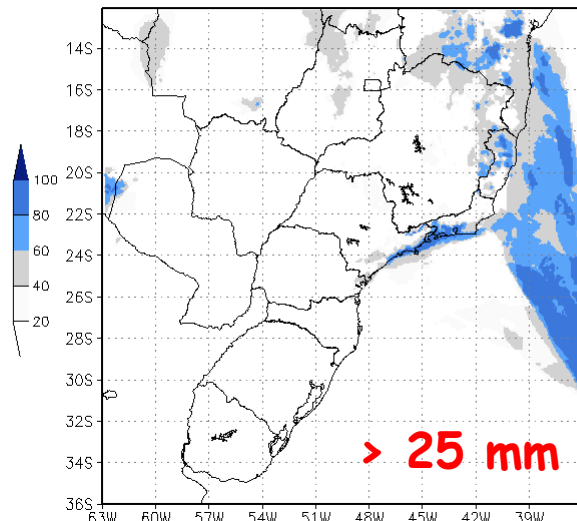
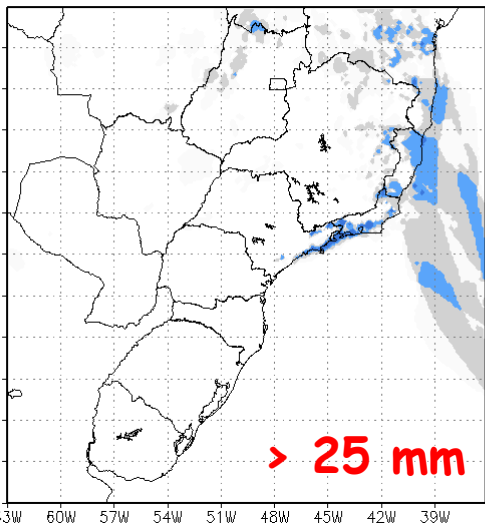
SREPF

SREPT

Probabilidade Prec. > 25,0 mm
Fct T+72h

Probabilidade Prec. > 25,0 mm
Fct T+72h

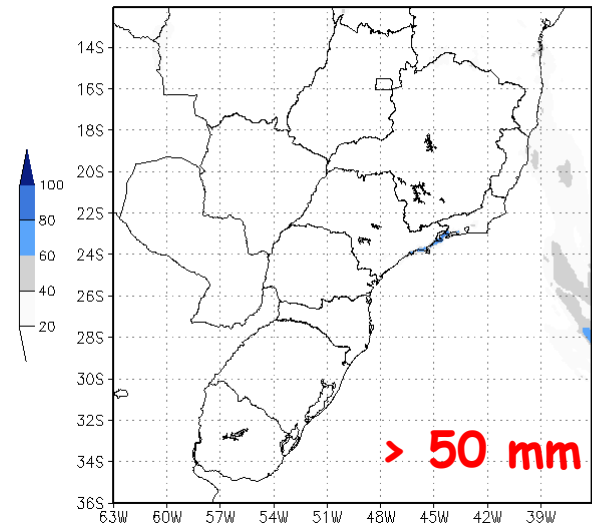
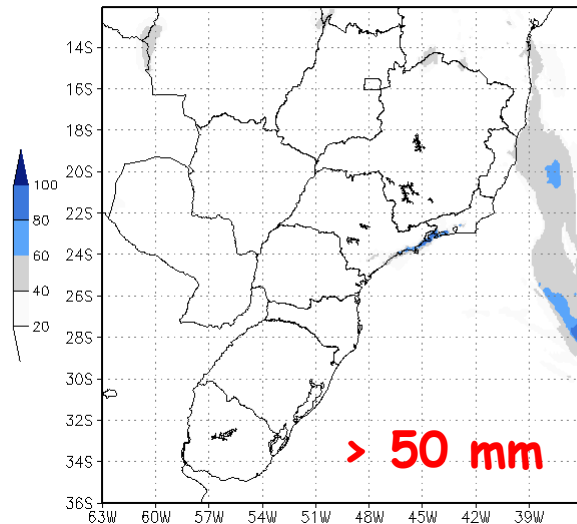
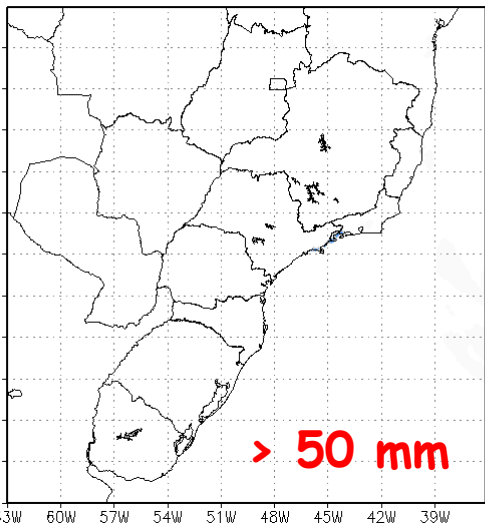
Probabilidade Prec. > 25,0 mm
Fct T+72h



Probabilidade Prec. > 50,0 mm
Fct T+72h

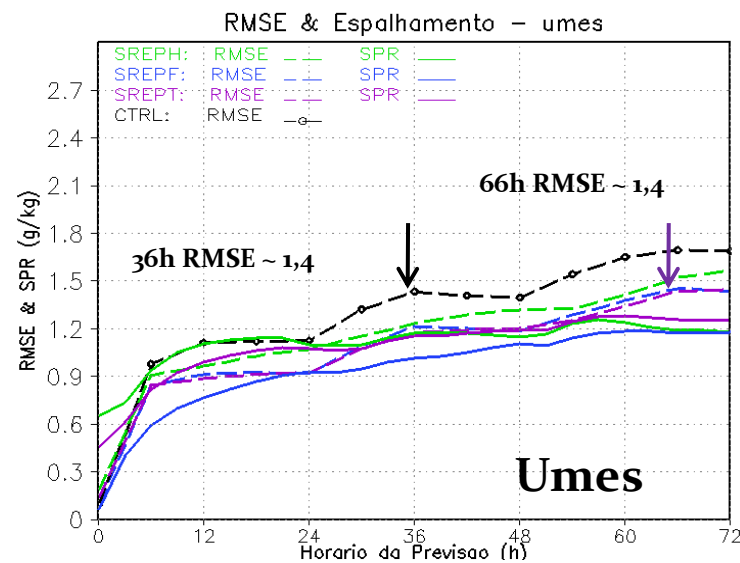
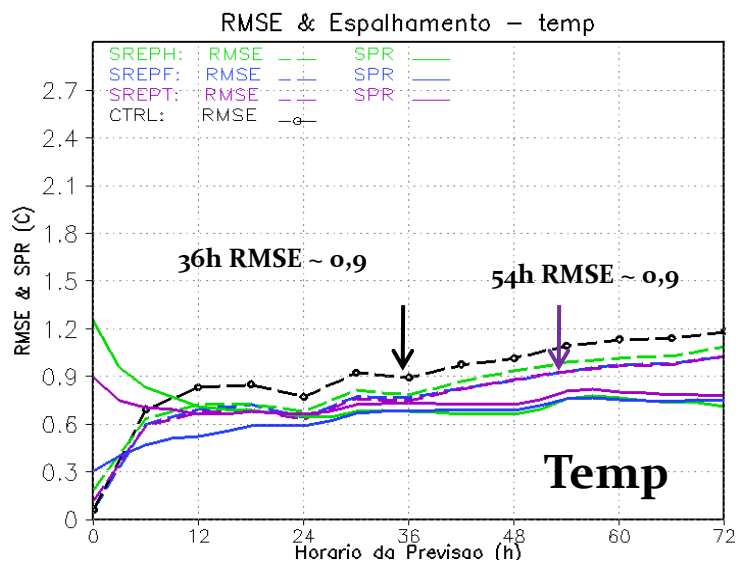
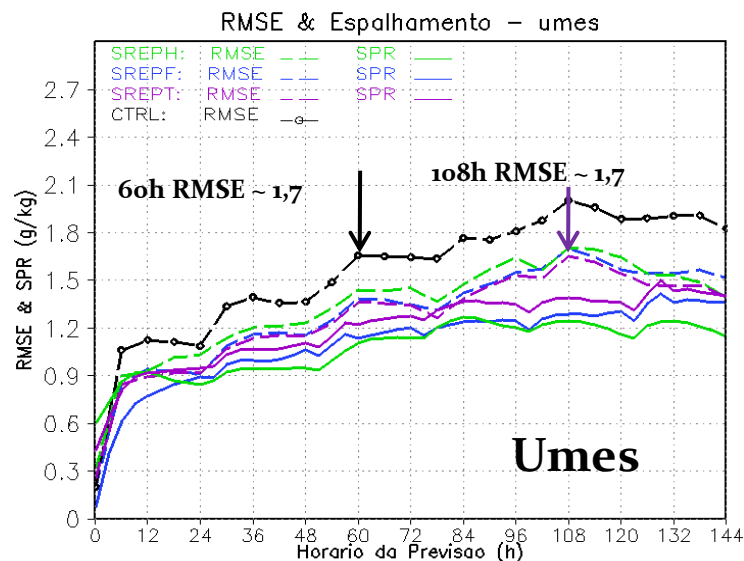
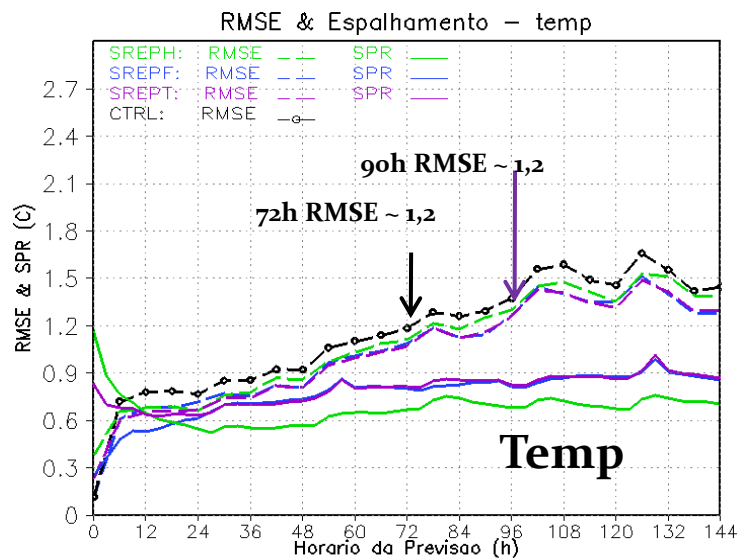
Probabilidade Prec. > 50,0 mm
Fct T+72h

Probabilidade Prec. > 50,0 mm
Fct T+72h

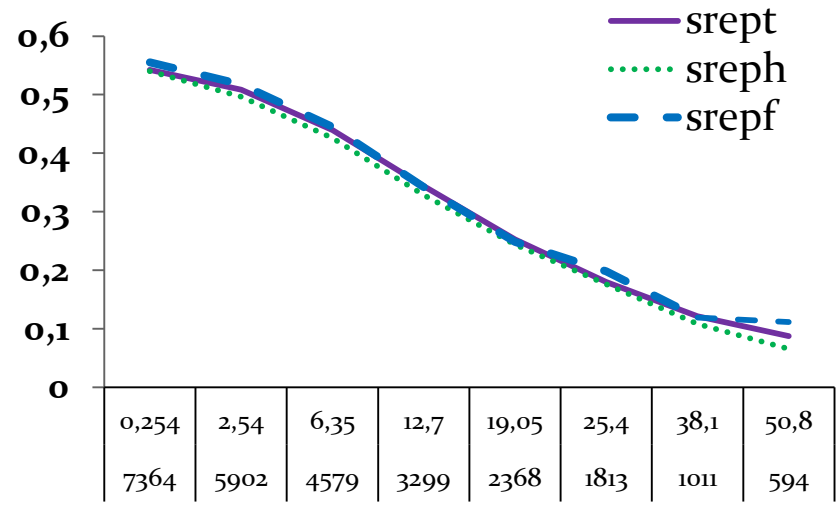




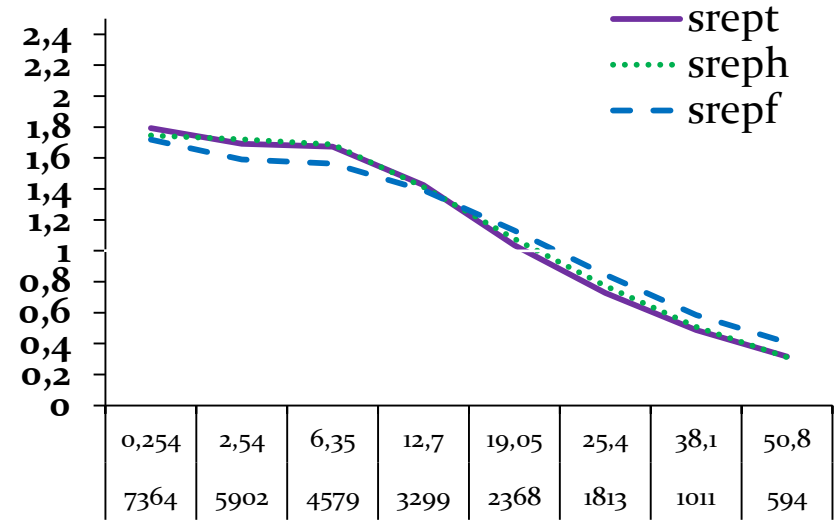
RMSE x Espalhamento



ZCAS ETS



BIAS



Frentes

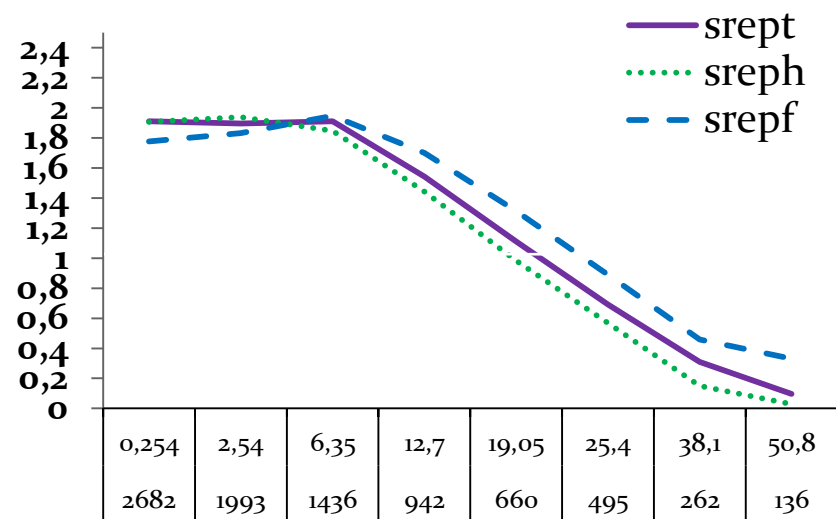
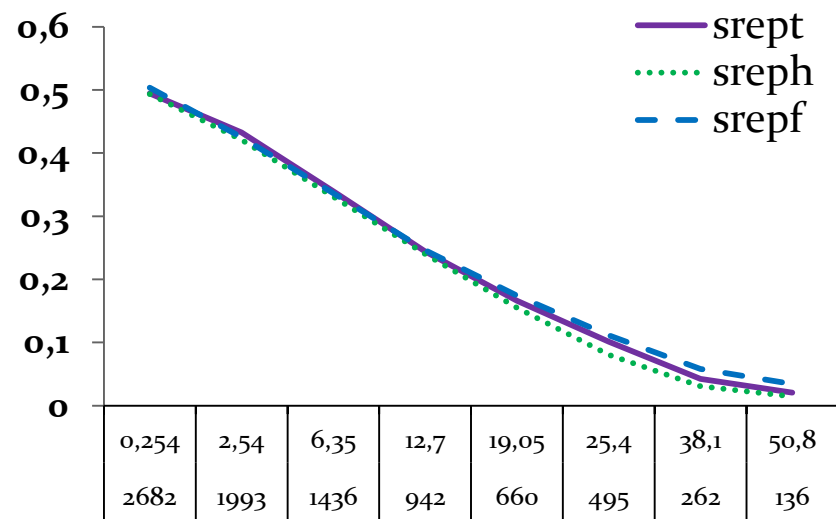


Diagrama Talagrand

- O diagrama de Talagrand é empregado como uma maneira de medir o realismo de um *ensemble*, mas não seu desempenho.
- São úteis para se verificar se as distribuições da previsão e da análise de verificação têm a mesma distribuição de probabilidades.
- São gerados ordenando em cada ponto de grade o valor da previsão de cada membro do *ensemble* dos menores para os maiores valores.
- É contabilizado o número de vezes que o valor da análise de verificação cairá em cada um dos intervalos.
- Isto é feito para todos os pontos de grade e a frequência média na qual a análise verificada ocorre em cada um dos intervalos é determinada.
- Num *ensemble* ideal o diagrama de Talagrand tem uma distribuição na forma plana.
- Um *ensemble* com tendências têm uma das extremidades com uma alta frequência. Deslocamentos para a esquerda (direita) indicam tendências positivas (negativas).
- Espalhamento insuficiente entre os membros é indicado por um histograma na forma de U, enquanto que a forma de U invertido indica espalhamento excessivo.

Diagrama Talagrand – Temperatura 850 hPa

ZCAS

Frentes

24 h

144 h

24 h

72 h

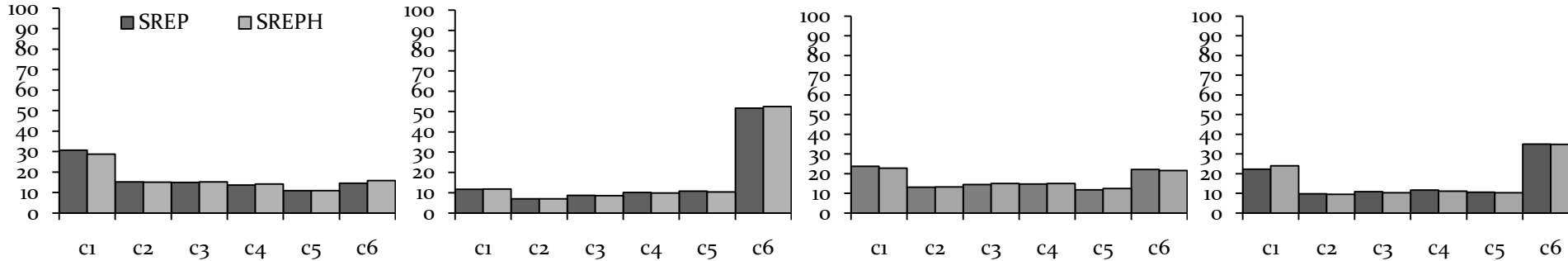


Diagrama Talagrand – Precipitação Acumulada em 24 horas

ZCAS

Frentes

24 h

144 h

24 h

72 h

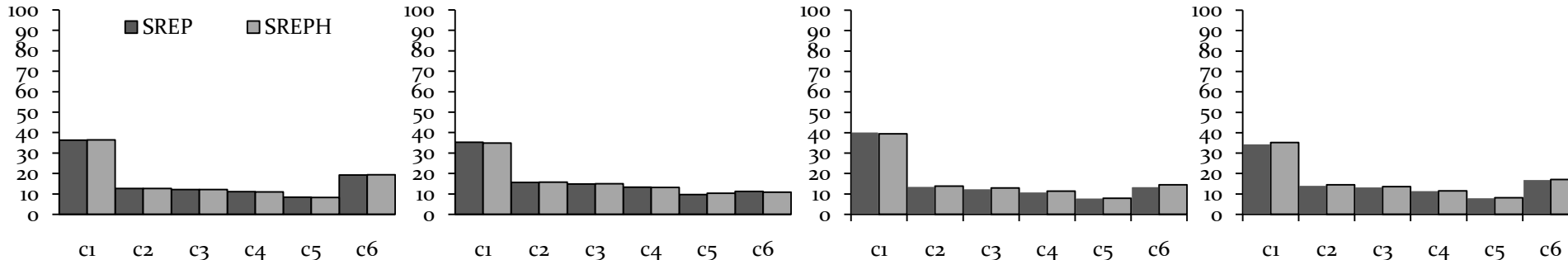
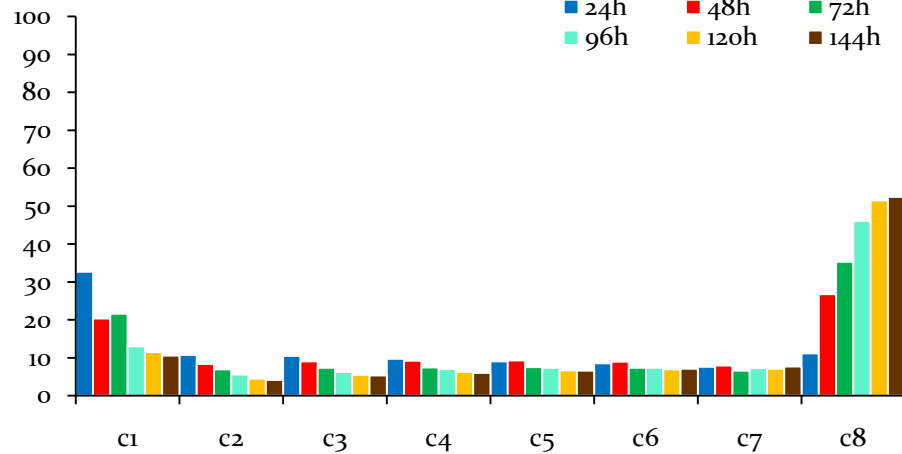


Diagrama Talagrand – Temperatura 850 hPa

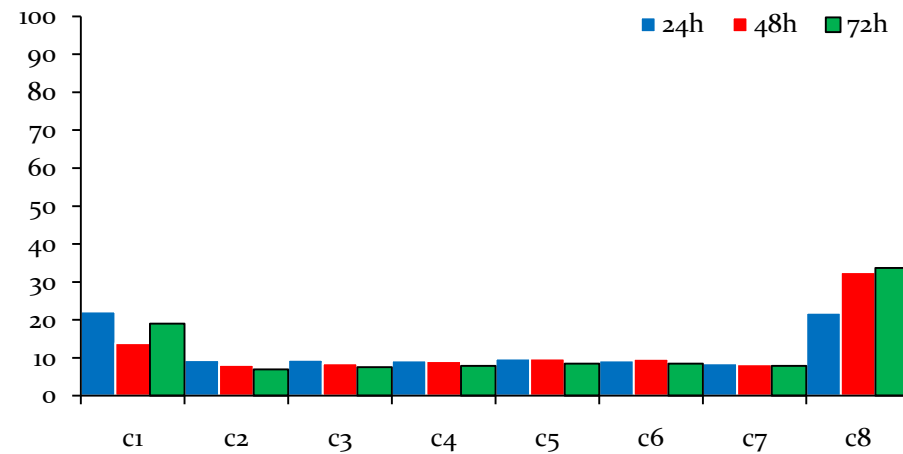
ZCAS

■ 24h ■ 48h ■ 72h
■ 96h ■ 120h ■ 144h



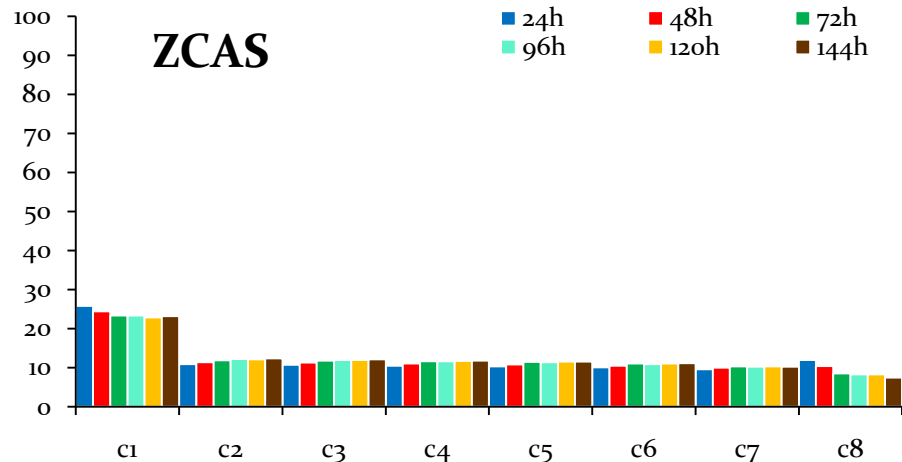
Frentes

■ 24h ■ 48h ■ 72h



ZCAS

■ 24h ■ 48h ■ 72h
■ 96h ■ 120h ■ 144h



Frentes

■ 24h ■ 48h ■ 72h

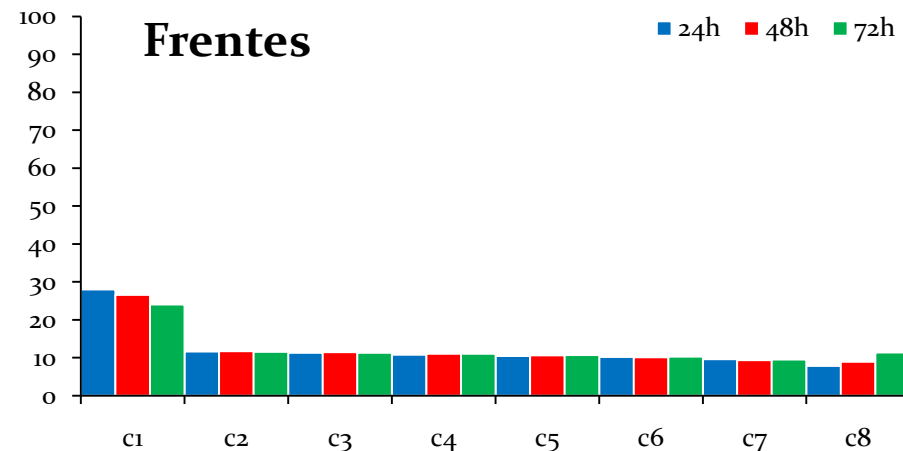


Diagrama Talagrand – Temperatura 850 hPa

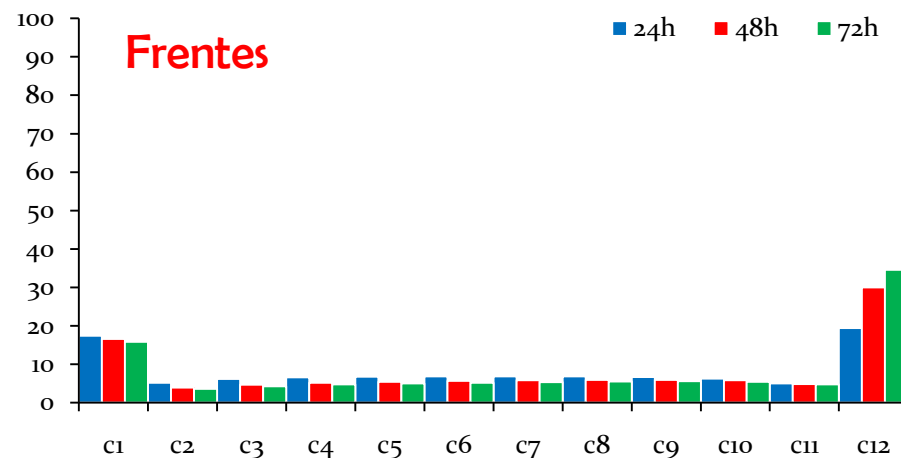
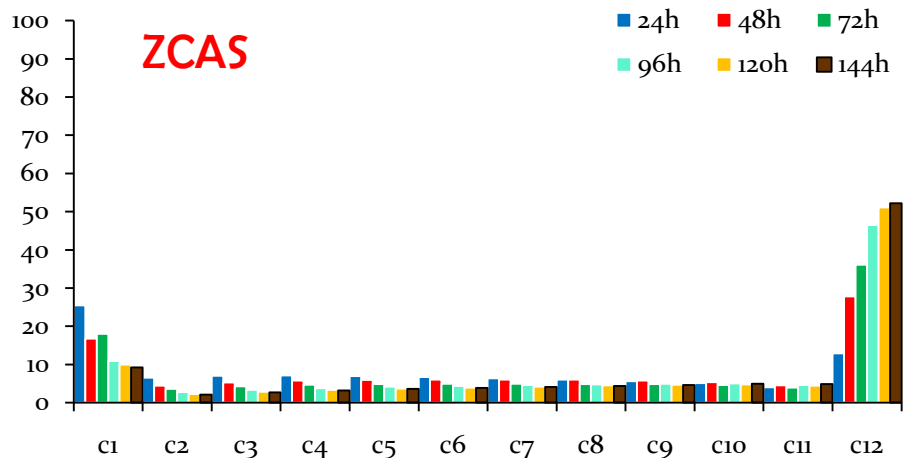
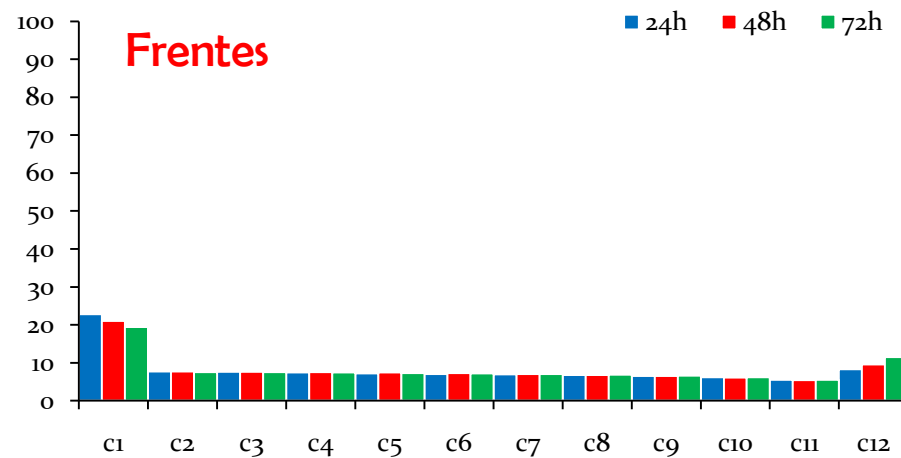
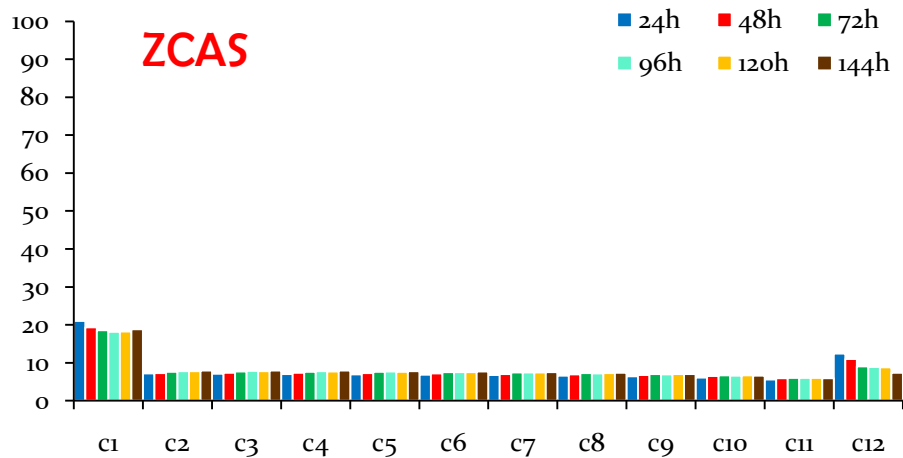


Diagrama Talagrand – Precipitação Acumulada em 24 horas



Obrigada!