



1. INTRODUÇÃO

Modelos numéricos de previsão de tempo são ferramentas importantes para o entendimento dos fenômenos meteorológicos, bem como para a realização de previsões de tempo. A previsibilidade destes modelos numéricos apresenta uma forte dependência das condições iniciais fornecidas para o modelo, e tem sido amplamente discutida desde a década de 60 até na década atual. Os erros que ocorrem durante a elaboração das condições iniciais podem causar grandes incertezas no sistema de previsão numérica. Outras fontes de incertezas podem estar associadas com a representação dos processos físicos nos modelos. Neste sentido, o conhecimento dos erros sistemáticos ocasionados devidos às incertezas é de suma importância para realizar melhorias no sistema de previsão, a fim de minimizá-los, além de auxiliar os meteorologistas durante a elaboração da previsão do tempo.

Intercomparações entre previsões de tempo de diferentes tipos de modelos numéricos tem mostrado que o desempenho de cada um pode variar tanto em escala temporal, quanto em escala espacial. Sendo assim, uma combinação entre os resultados de vários tipos de modelos, ponderada pelo inverso dos seus respectivos erros, pode produzir previsões de tempo de maior confiabilidade. O conceito de utilizar a combinação de um conjunto de resultados de modelos numéricos para a melhoria na previsão vem sendo amplamente utilizado.

Atualmente, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) integra, de forma operacional, diversos tipos de modalidade de modelos numéricos (circulação geral, oceânico-atmosférico, regionais e químico-atmosférico). No intuito de fazer uso, da melhor maneira possível, das previsões de todos os modelos integrados no CPTEC/INPE, propõe-se neste trabalho a elaboração de um produto de previsão de tempo, de curto e médio prazo, que doravante será denominado de Super Model Ensemble do CPTEC (SMEC). Este produto tem como objetivo ponderar a previsão de cada modelo pelo inverso do seu próprio erro sistemático, logo modelos com maior erro terá menor peso e vice-versa, produzindo previsões de tempo mais confiáveis.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Conjunto de dados

Neste trabalho, para a obtenção do SMEC, serão utilizados quatro tipos de configuração do modelo de circulação geral do CPTEC/INPE (espectral com truncamento triangular e em grade gaussiana), três tipos para o modelo regional Eta e um para o Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System (BRAMS). Todos os modelos utilizam como condição inicial a análise elaborada no National Centers for Environmental Prediction (NCEP), e são integrados em diferentes resoluções espaciais. Uma interpolação bilinear será aplicada a todos os modelos a fim de padronizá-los com uma resolução de 20 quilômetros (a mesma do SMEC). Mais detalhes sobre os modelos e suas configurações podem ser vistos na tabela 1. O prazo de integração e a frequência de saídas usados em todos os modelos foram de sete dias e 6 horas, respectivamente. O prazo de previsão do SMEC será de sete dias com saídas a cada 6 horas. O produto será avaliado para os meses do verão (dezembro 2012, janeiro e fevereiro de 2013) e inverno (junho, julho e agosto de 2013).

| Sigla | Descrição do modelo | Resolução Horizontal | Níveis verticais |
|-----------|--------------------------------------|----------------------|------------------|
| T062ACO | Global - acoplado Oceano Atmosfera | ~ 200 km | 28 |
| T126 | Global - membro controle do ensemble | ~ 100 km | 28 |
| T126MED | Global - membro médio do ensemble | ~ 100 km | 28 |
| T213 | Global | ~ 63 km | 42 |
| T299 | Global | ~ 44 km | 64 |
| Eta40 | Regional - membro controle | 40 km | 38 |
| Eta40ZHAO | Regional - membro de física | 40 km | 38 |
| Eta15 | Regional | 15 km | 50 |
| BRAMS20 | Regional | 20 km | 38 |

Tabela 1: Características dos modelos utilizados para a geração do SMEC

2.2 Cálculo dos erros e do SMEC

Viés médio:

$$\overline{\sigma(m)} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^{d=D} (F_d - A_d)$$

$$D = nD_{(m-1)} + nD_{(m-2)} + nD_{(m-11)}$$

Erro quadrático médio:

$$\overline{\sigma^2(m)} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^{d=D} (F_d - A_d)^2$$

$$SMEC(v, x, y, z, t) = \frac{\sum_{i=1}^{i=M} \left(\frac{F_i(v, x, y, z, t) - \overline{\sigma_i}(v, x, y, z, t)}{\sigma_i^2(v, x, y, z, t)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=M} \left(\frac{1}{\sigma_i^2(v, x, y, z, t)} \right)}$$

Onde F -> previsões, A -> análises, M -> modelos, v -> variáveis, x -> longitude, y -> latitude z -> níveis verticais, t -> intervalo de tempo, D -> número de dias de cada mês

3. RESULTADOS

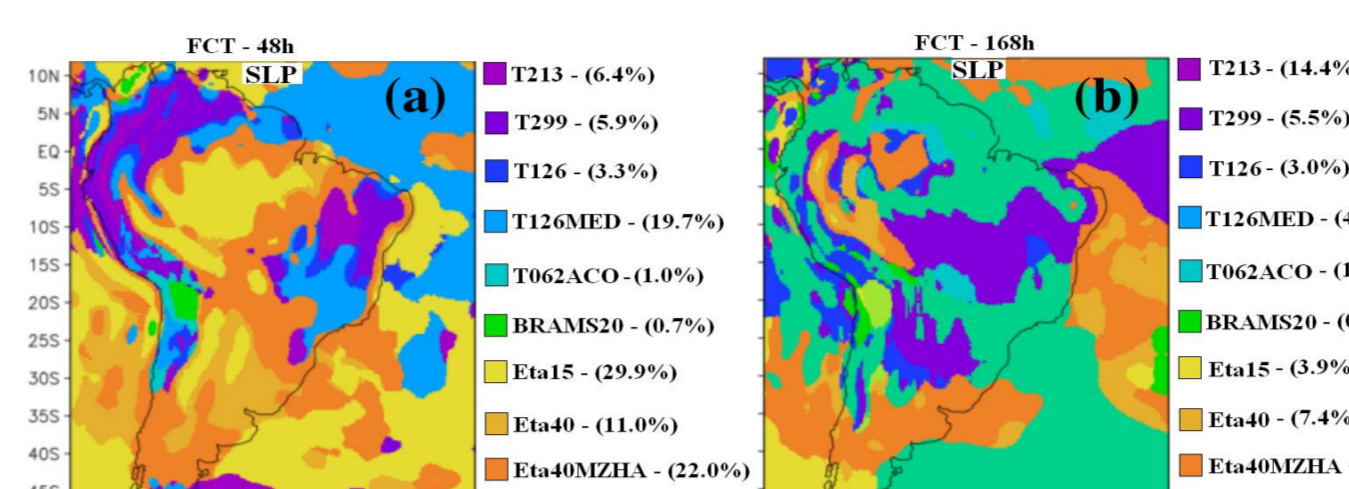


Figura 1: Pontos de grade com os menores valores de RMSE da pressão ao nível médio do mar em 48 (a) e 168(b) horas de previsão, e as percentagens de pontos com o menor RMSE para cada modelo utilizado na obtenção do SMEC.

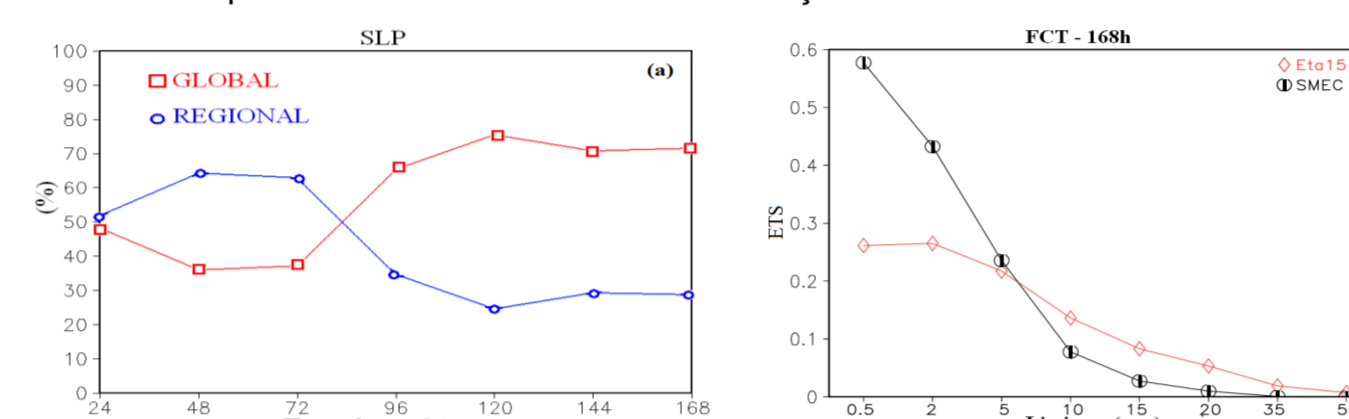


Figura 2: Evolução temporal da percentagem de pontos de grade em que os modelos apresentaram os menores valores de RMSE. Vermelho(cinco modelos globais), azul (quatro modelos regionais).

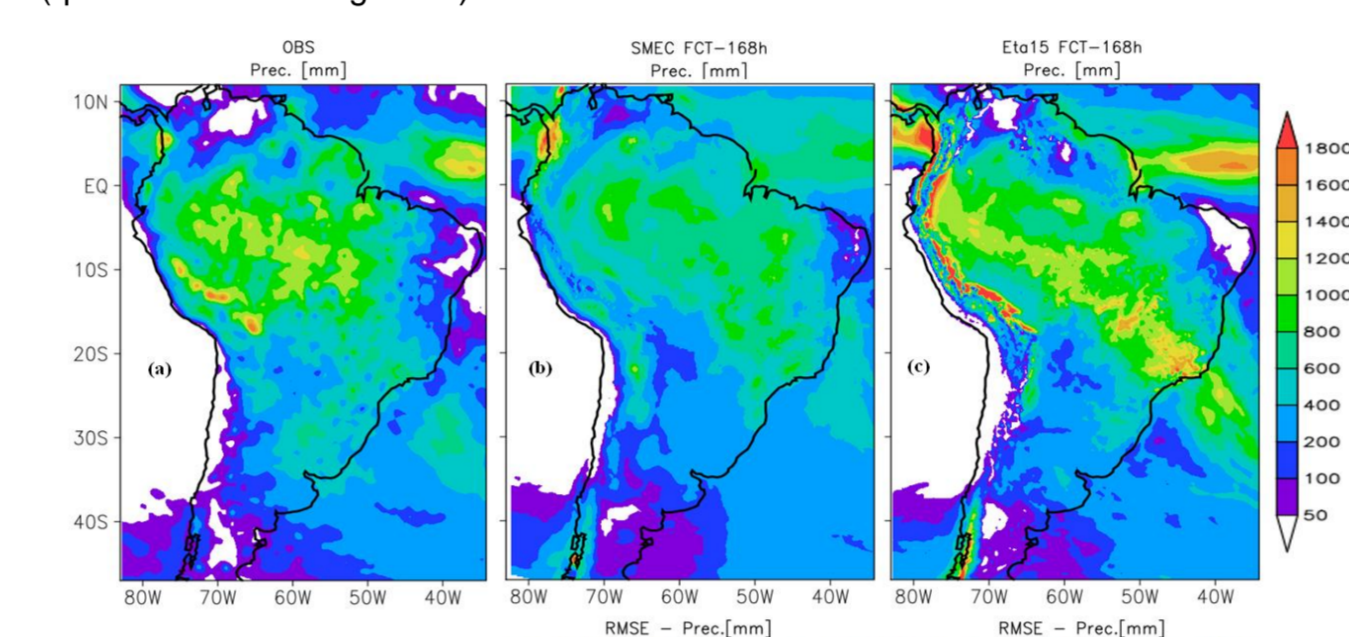


Figura 3: Equitable Threat Score para as previsões de 168 horas para o período de verão.

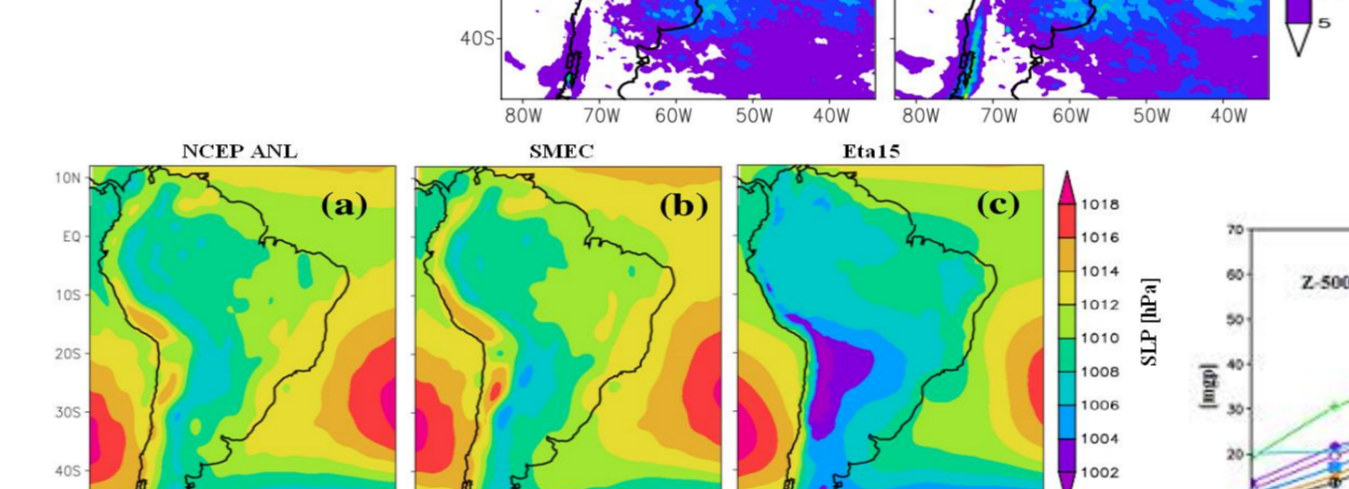


Figura 4: Precipitação acumulada durante o período de verão para o MERGE (a), previsões de 168 horas do SMEC (b) e Eta15 (c), e seus respectivos RMSE (d,e).

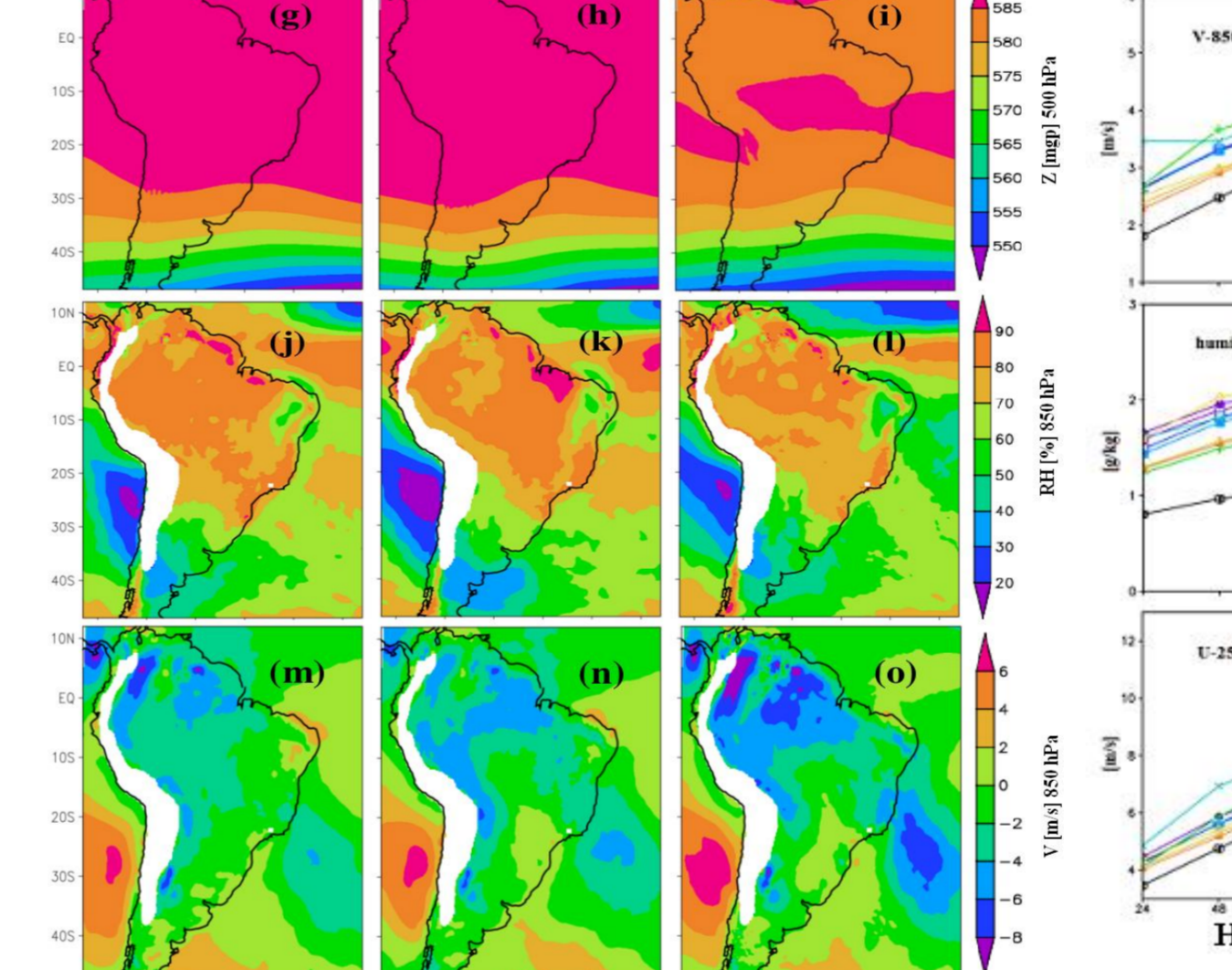


Figura 5: RMSE(48h)-período de inverno do SMEC (coluna esquerda) e Eta15 (coluna direita), para as variáveis de pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b), altura geopotencial em 500 hPa (c,d), temperatura do ar em 850 hPa (e,f), vento meridional em 850 hPa (g,h), umidade relativa do ar em 850 hPa (i,j) e vento zonal em 250 hPa (k,l).

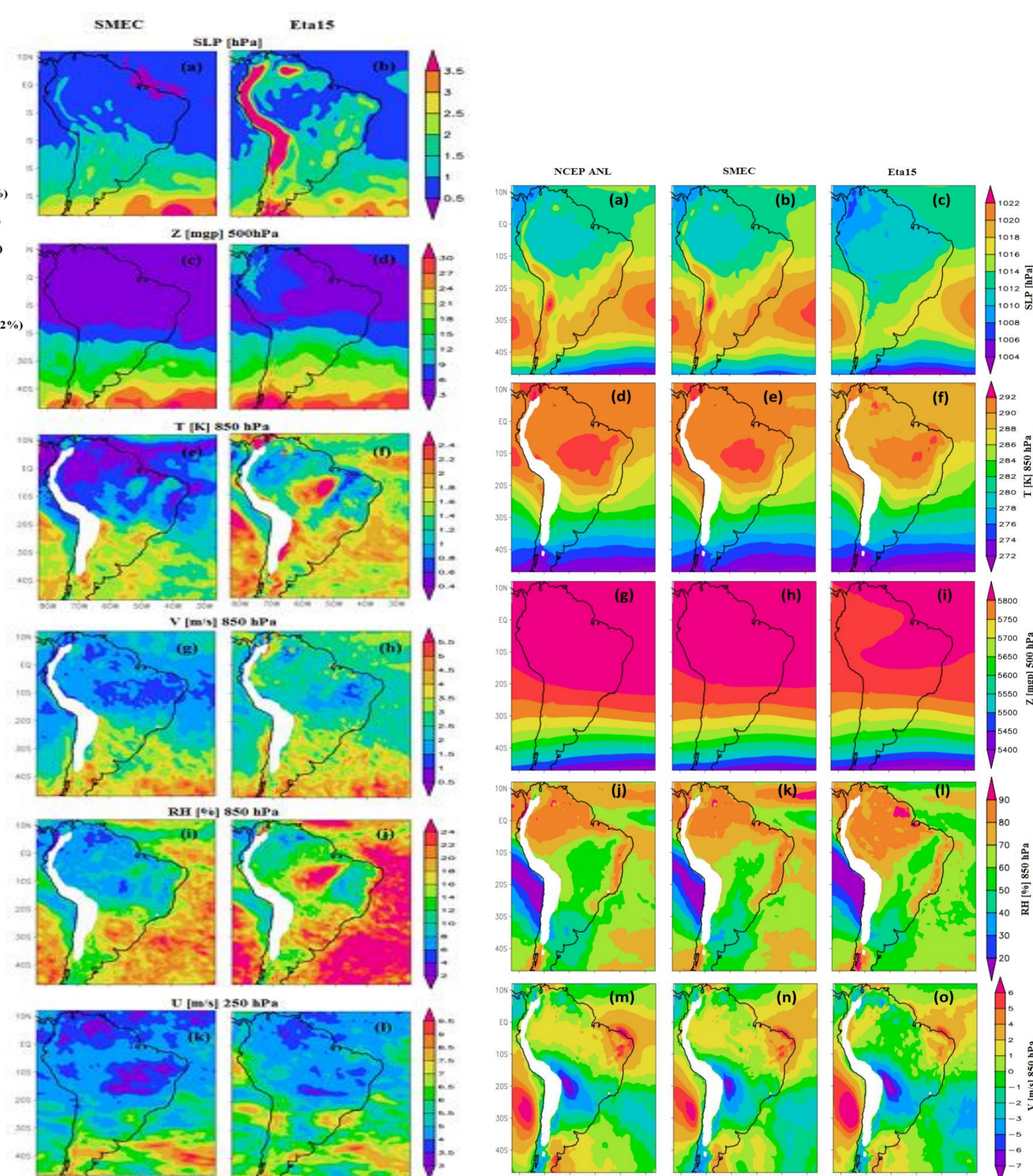


Figura 6: Média para o trimestre de inverno das análises do NCEP (primeira coluna) e previsões de 168 horas do SMEC (segunda coluna) e Eta15 (terceira coluna) para as variáveis: pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b,c), temperatura em 850hPa (d,e,f), altura geopotencial em 500 hPa (g,h,i), umidade relativa (j,l,m) e vento meridional em 850 hPa (n,o,p) e vento zonal em 250 hPa (k,l).

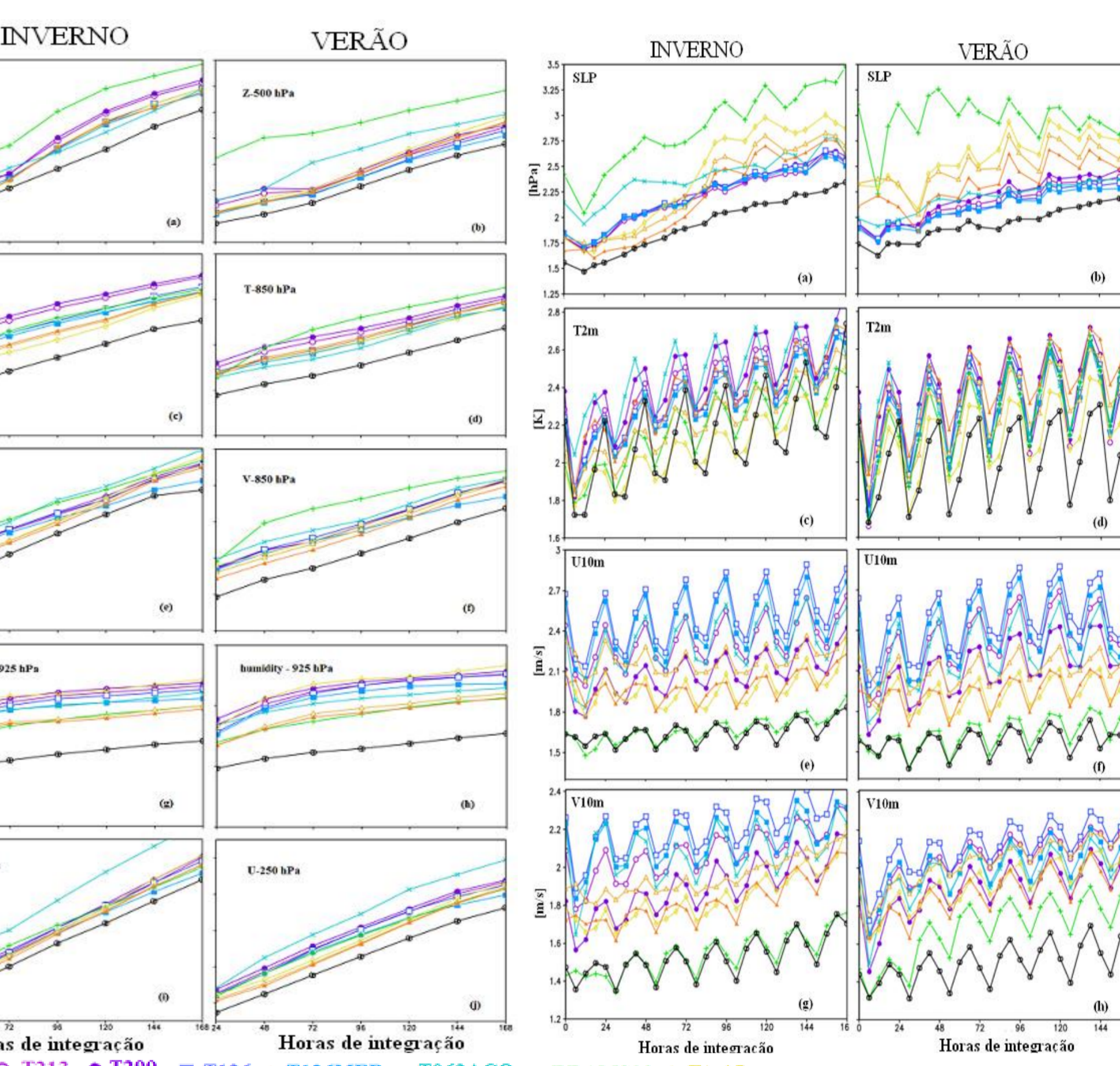


Figura 7: Evolução temporal da média espacial do RMSE (calculado a partir das observações do NCEP) para as variáveis: pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b), temperatura em 2 metros(c,d), vento zonal em 10 metros (e,f), temperatura do ar em 850 hPa (g,h), umidade específica em 925 hPa (g,h) e vento zonal em 250 hPa (i,j) para os trimestres de inverno (coluna esquerda) e verão (coluna direita).

4. CONCLUSÕES

A avaliação subjetiva das previsões de Eta15 e SMEC, considerando como "verdade" as análises do NCEP, mostrou que as previsões geradas a partir do SMEC apresentaram um comportamento mais próximo às análises do NCEP, quando comparadas com as previsões do Eta15, em todas as situações avaliadas. Os resultados referentes ao RMSE, calculados em relação às análises do NCEP e aos dados observados, mostraram que as previsões elaboradas pelo sistema SMEC indicaram magnitudes de erros inferiores a todos os modelos utilizados para praticamente todas as variáveis, todos os níveis e para todos os horários de integração avaliados.

Em termos de precipitação, pode-se verificar que o SMEC consegue capturar os padrões de precipitação, porém indica uma tendência em subestimar as precipitações intensas e aumentar a área de ocorrência de precipitações fracas. Este comportamento está associado ao método de ponderação aplicado para o cálculo do SMEC. Neste sentido, pretende-se em trabalhos futuros, aplicar métodos específicos para a obtenção do campo de precipitação, tais como utilizando o próprio Equitable Threat Score (ETS) como parâmetro de ponderação dos pesos.

Com base nos resultados apresentados podemos concluir que o método proposto neste projeto consegue melhorar consideravelmente os resultados fornecidos pelos modelos numéricos, podendo ser de extrema importância para estudos de fenômenos atmosféricos, bem como no auxílio à elaboração das previsões de tempo. Neste sentido, o produto SMEC apresenta potenciais promissores para aplicações operacionais em qualquer centro de previsão de tempo.