

# ENGENHARIAS ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

O TERCEIRO PILAR

LILIAN BOELHO DE FREITAS  
(ORGANIZADORA)

Atena  
Editora

Ano 2021

# ENGENHARIAS ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

O TERCEIRO PILAR

LILIAN BOELHO DE FREITAS  
(ORGANIZADORA)

Atena  
Editora

Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

## Engenharias elétrica e de computação: o terceiro pilar

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Lilian Coelho de Freitas

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica e de computação: o terceiro pilar /  
Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5983-543-0  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.430213009>

1. Engenharia elétrica. 2. Computação. I. Freitas, Lilian  
Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

Os avanços na pesquisa científica em Engenharias Elétrica e de Computação tem revolucionado nossa vida em sociedade. Conexões cada vez mais rápidas, processadores super velozes e a autonomia dos sistemas decorrentes do progresso em Inteligência Artificial são alguns exemplos de aplicações em nosso dia-a-dia.





Este e-book torna acessível os resultados da pesquisa científica realizada por diversos pesquisadores do país. Ao decorrer dos capítulos, apresenta-se aplicações práticas de inteligência artificial, gerência de redes e técnicas de otimização. Aproveite esse momento para aprimorar seus conhecimentos.

Desejo aos autores, meu mais sincero agradecimento pelas significativas contribuições, e aos nossos leitores, desejo uma proveitosa leitura, repleta de boas reflexões.

Lilian Coelho de Freitas



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PLANNING AS MIXED-HORN FORMULAS SATISFIABILITY Razer Anthom Nizer Rojas Montaña Bruno César Ribas  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.4302130091">https://doi.org/10.22533/at.ed.4302130091</a>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
ASSIMILAÇÃO DE DADOS POR REDES NEURAIS EM AUSÊNCIA PARCIAL DE OBSERVAÇÕES Rosangela Saher Corrêa Cintra Haroldo Fraga de Campos Velho  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.4302130092">https://doi.org/10.22533/at.ed.4302130092</a>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>30</b>
CONCEPÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA CLASSIFICAÇÃO OBJETIVA PARA SALAS DE ÓPERA UTILIZANDO MÉTODOS COMPUTACIONAIS Marco Antônio M. Vecci Calebe Giaculi Júnior Bruno Alberto Soares Oliveira  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.4302130093">https://doi.org/10.22533/at.ed.4302130093</a>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>42</b>
SERVIDOR DE GERÊNCIA DE REDE Roger Robson dos Santos Jackson Mallmann  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.4302130094">https://doi.org/10.22533/at.ed.4302130094</a>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>55</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>56</b>

## ASSIMILAÇÃO DE DADOS POR REDES NEURAIS EM AUSÊNCIA PARCIAL DE OBSERVAÇÕES

Data de aceite: 01/09/2021

Data de submissão: 06/07/2021

### Rosangela Saher Corrêa Cintra

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/8185155301349092>

### Haroldo Fraga de Campos Velho

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/5142426481528206>

Esta é uma versão em português de um artigo publicado na Conference of Computational Interdisciplinary Science (CCIS-2019): <https://proceedings.science/ccis-2019/papers/data-assimilation-by-neural-network-under-missing-data>.

**RESUMO:** Previsão numérica do tempo (PNT) usa modelos atmosféricos de circulação geral (MACG) para prever condições futuras da atmosfera. O processo de PNT é realizado inserindo dados de observação ao modelo computacional para calcular as condições iniciais - também chamado de análise. Tal procedimento é chamado de assimilação de dados (AD). Várias técnicas tem sido desenvolvidas para AD. Filtro de Kalman por conjunto (ensemble), métodos variacionais e filtro de partículas são exemplos de técnicas de AD usadas em centros operacionais de PNT. Entretanto, tais metodologias requerem grande esforço computacional. Aqui, um conjunto de redes neurais artificiais (RNA) - perceptron

de multicamadas com aprendizado por retro-propagação - é configurado para emular o Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) aplicado ao modelo global 3D SPEEDY (Simplified Parameterizations Primitive-Equation Dynamics). A novidade é calcular a análise por RNA quando algumas observações não estão disponíveis em algum ciclo de AD ou em vários ciclos. Uma comparação entre as análises produzidas por LETKF e RNA é realizada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Assimilação de dados, modelo atmosférico, rede neural artificial, filtro de Kalman por conjunto.

### DATA ASSIMILATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: MISSING OBSERVATION

**ABSTRACT:** Numerical weather prediction (NWP) uses atmospheric general circulation models (AGCMs) to predict the weather future conditions. The process is done inserting observation data into computer model to compute initial conditions - also named "analysis". Such feature is called data assimilation (DA). Several techniques have been developed for DA. Ensemble Kalman filter, particle filter, variational scheme, are examples of DA methods used in the operational NWP centers. However, such methodologies require a high computational effort. Here, a set of artificial neural networks (ANNs) - multi-layer perceptron with back propagation learning - is configured to emulate the Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) applied to the SPEEDY model. The novelty is to perform the analysis by ANN when some observations are missing in a DA cycle, or several cycles. A comparison between

analysis produced by the LETKF and ANN is carried out. The numerical experiment was done at January 1985.

**KEYWORDS:** Data assimilation, atmospheric model, artificial neural network, ensemble Kalman filter.

## 1 | INTRODUÇÃO

O procedimento para determinar a condição inicial em centros operacionais de previsão é chamado de assimilação de dados (AD), onde os campos da previsão prévia (background) são combinados com observações para produzir a análise - a nova condição inicial. Há muitos esquemas diferentes de AD. Uma revisão dos métodos mais comuns de AD pode ser encontrada na literatura, em particular nos livros de Daley [7] e Kalnay [16].

Dois esquemas de DA são avaliados aqui: *Local Ensemble Transform Kalman filter* (LETKF) [14] e a abordagem baseada em redes neurais artificiais (RNA) para emular o LETKF [4, 5, 11, 19]. A principal vantagem do uso de RNA é diminuir o esforço computacional.

Experimentos numéricos são realizados usando observações sintéticas de estações meteorológicas de superfície (dados a cada 6 horas/dia) e sondagem da alta atmosfera (dados a cada 12 horas/dia). A pesquisa investiga o comportamento das técnicas de AD com ausência de observações nos ciclos de AD. Cada dia uma sequência de análises para assimilações a cada 4 horas: 00:00, 06:00, 12:00, e 18:00 UTC. A malha de observações reproduz as estações da Organização Meteorológica Mundial (OMM)<sup>1</sup> e das sondagens por radiossondas.

O modelo atmosférico SPEEDY (*Simplified Parameterizations Primitive Equation Dynamics*) [2] simula a dinâmica tri-dimensional (3D) da atmosfera - na verdade, o domínio espacial considerado é até o nível mais alto da troposfera - com parametrizações físicas simplificadas. São executados 44 ciclos de AD (análise - execução do SPPED { previsão) com as técnicas de LETKF e RNA, onde alguns ciclos de AD têm ausência parcial de observações.

## 2 | ASSIMILAÇÃO DE DADOS

Considerando um sistema não linear com um vetor de estado  $n$ -dimensional  $x^f$  e um vetor  $m$ -dimensional de observações  $y^o$  evoluindo de acordo com:

$$x_{k+1}^f = f(x_k^f, t_k) + q_k \quad (1)$$

$$y_k^o = h(x_k^f, t_k) + v_k \quad (2)$$

onde  $q_k$  e  $v_k$  são termos de ruídos gaussianos,  $f(\cdot)$  e  $h(\cdot)$  são equações matemáticas para previsão e observação, respectivamente. Previsão é passo para identificar o estado

<sup>1</sup> WMO: World Meteorological Organization.

$x_{k+1}^f$  de um sistema a partir do último estado por um modelo numérico de previsão de tempo. Do ponto de vista matemático, o processo de assimilação pode ser representado por:

$$x_k^a = x_{k+1}^f + W[y_k^o - H(x_{k+1}^f)], \quad (3)$$

$$W = (HP^fH^T + R). \quad (4)$$

A equação (3) é o passo de análise, onde  $H$  é o operador de observação,  $W$  é a matriz de peso, calculado das matrizes de erros de covariância  $P^f$  e  $R$ , representando erros do modelo e de observações, respectivamente. A abordagem de assimilação de dados com RNA implementa a função:

$$x^a = F_{NN}(y^o; x^f) \quad (5)$$

onde  $F_{NN}$  é o processo de assimilação de dados,  $y^o$  representa as observações,  $x^f$  é a previsão do modelo, frequentemente chamada de primeira estimativa (*first guess*) e  $x^a$  é a análise.

## 2.1 Local ensemble transform kalman filter - LETKF

O filtro de Kalman por conjunto (EnKF: Ensemble Kalman filter) é uma abordagem bayesiana proposta por Evensen [8]. Vários esquemas de EnKF foram desenvolvidos e o LETKF (local ensemble transform Kalman filter) é um destes esquemas [14].

A ideia básica do LETKF é realizar a análise para cada ponto de grade simultaneamente usando as variáveis de estado e todas as observações na região centrada para um dado ponto. A estratégia local separa grupos de observações vizinhas ao redor do ponto de grade do modelo. Cada ponto de grade tem um subdomínio local; o número de vetores locais é o mesmo número de pontos de grade globais [17].

## 3 | REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (RNAs)

Uma RNA é composta de unidades simples de processamento (neurônios) para calcular certas funções matemáticas e consiste de neurônios artificiais - ou nós - interconectados. Cada neurônio artificial tem uma ou mais entradas e saídas. As conexões entre os neurônios armazenam uma soma ponderada, chamados de pesos sinápticos. Em processamento de RNA, as entradas são multiplicadas pelos pesos alimentando uma função de ativação.

Esta função ativa ou inibe o próximo neurônio. Matematicamente, pode-se descrever o  $i$ -ésimo neurônio da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Soma da entrada: } u_i &= \sum_{j=1}^p w_{ij}x_j + b_i \\ \text{Saída neurônio } y_i &= \varphi(u_i) \end{aligned} \quad (6)$$

onde  $x_1, x_2, \dots, x_p$  são as entradas;  $w_{i1}, \dots, w_{ip}$  são os pesos sinápticos;  $b_i$  é o viés,  $u_i$  é a saída da combinação linear;  $\varphi(\cdot)$  é a função de ativação e  $y_i$  é a  $i$ -ésima saída do

neurônio e  $p$  é o número de entradas do  $i$ -ésimo neurônio.

A rede de alimentação progressiva (*feed-forward*), que processa na direção da entrada para saída, tem uma estrutura de camadas. A primeira camada de uma RNA é chamada de camada de entrada, as camadas intermediárias são chamadas de camadas escondidas e a última camada é chamada de camada de saída. Alguns parâmetros, como o número de camadas e a quantidade de neurônio em cada camada, definem a topologia da rede neural, mas outros parâmetros são também necessários de serem identificados, tais como a taxas de aprendizado e de momentum. Os parâmetros da RNA são determinados pela natureza do problema.

Há duas fases distintas no uso de redes neurais supervisionadas: a fase de treinamento (processo de aprendizado) e a fase de execução (ativação ou generalização). A fase de treinamento das RNAs consiste de um processo iterativo de ajuste dos pesos de conexão para o melhor desempenho da rede, estabelecido pelo mapeamento dos pares de entrada e saída. O algoritmo de aprendizado é o conjunto de procedimentos para o ajuste dos pesos. Cada passo da interação é denominado época". O processo de treinamento iterativo continua até ser atingido um critério de parada, que pode ser um erro mínimo estabelecido ou um número máximo de épocas. Uma vez treinada, os pesos de uma RNA supervisionada são fixos e a rede estará pronta para receber novas entradas (que não pertencem ao conjunto de treinamento) para o cálculo de saídas correspondentes.

O perceptron de múltiplas camadas (PMC) com o algoritmo de aprendizado retro-propagação de erros é a RNA usada em nosso estudo, com ao menos uma camada intermediária [12].

## 4 | MODELO SPEEDY

O modelo SPEEDY [18] é um simulador de circulação atmosférico global (SCAG) desenvolvido pelo Centro Internacional de Física Teórica (ICTP: *International Centre for Theoretical Physics*) em Trieste, Itália, com núcleo dinâmico espectral com um conjunto simplificado de parametrizações físicas. As variáveis dinâmicas para as equações primitivas são integradas pelo método numérico espectral na horizontal para cada nível vertical - mais detalhes em [2].

O modelo SPEEDY T30L7 é executado com truncamento de 30 termos da expansão espectral e (T30) com 7 níveis na vertical (L7): 100, 200, 300, 500, 700, 850 e 925 hPa. As coordenadas verticais são definidas no sistema sigma: ( $\sigma = p/ps$ ), onde  $ps$  é a pressão da superfície. As coordenadas horizontais são latitude e longitude sobre uma grade gaussiana, com espaçamento regular com 96 pontos zonais (longitude) e 48 pontos meridionais (latitude). As variáveis prognósticas são a temperatura absoluta ( $T$ ), pressão de superfície ( $ps$ ), componentes zonal e meridional do vento ( $u$ ;  $v$ ) e a umidade específica ( $q$ ).

## 5 I PMC-AD: ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM AUSÊNCIA DE OBSERVAÇÕES

A configuração da RNA para este experimento é um conjunto de perceptrons de multicamadas, referenciados como PMC-DA, definido no experimento descrito por Cintra e Campos Velho [6]. A topologia da RNA tem as seguintes características:

1. Dois nós de entrada, um nó para o vetor de observação meteorológica e outro nó para o vetor de previsão de 6-hours do modelo SPEEDY;
2. Um nó de saída para o resultados do vetor de análise;
3. Uma camada escondida com onze neurônios;
4. Função tangente hiperbólica como função de ativação;
5. Taxa de aprendizado  $h$  é definida para cada RNA-PMC;
6. Fase de treinamento para quando o erro atinge  $10^5$  ou após 5000 épocas - com o critério que ocorre primeiro.

Os vectores de entrada representam o ponto de grade para um a simples variável com o corresponde par observação - previsão. No algoritmo de treinamento, PMC-DA calcula a saída e a compara com o vetor de análise do LETKF - o dado alvo. Os vetores de saída representam os valores de análise para o ponto de grande.

O esquema PMC-AD foi desenvolvido com um conjunto de trinta RNAs: o planeta Terra é dividido em 6 regiões com cinco variáveis prognósticas ( $ps$ ;  $u$ ;  $v$ ;  $T$ ;  $q$ ). Deste modo, cada região e para cada variável tem-se uma RNA específica para assimilação de dados. Todas as RNAs tem uma camada escondida com o mesmo número de neurônios para todas as regiões, mas com diferentes pesos de conexão. O esquema de PMC-DA divide o globo inteiro em seis regiões: para o hemisfério Norte,  $90^\circ$  N e três regiões longitudinais de  $120^\circ$  cada; para o hemisfério Sul,  $90^\circ$  S e três regiões longitudinais de  $120^\circ$  cada. todas as regiões tem o mesmo tamanha, mas o número de observações é distinto para cada região - ver Figura 1. Esta divisão em regiões é aplicada somente para PMC-AD e não para o procedimento com LETKF.



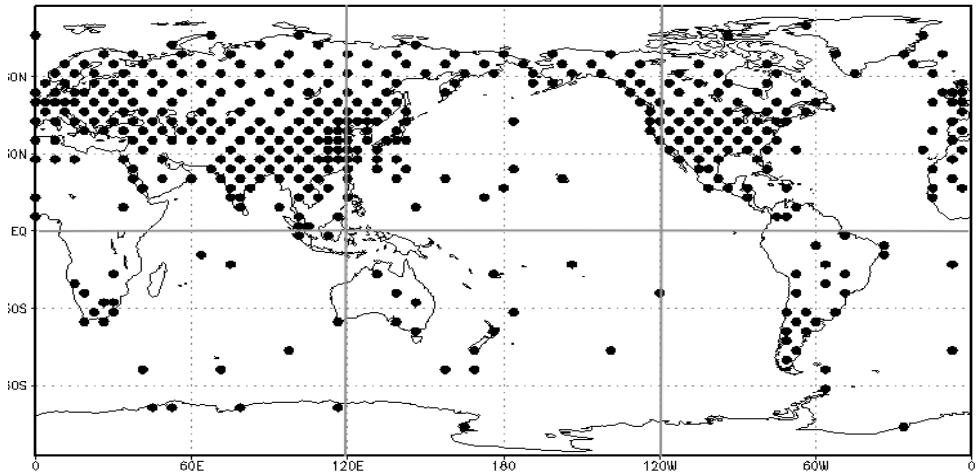


Figura 1: Localizações de observações na área global. Os pontos na figura representam estações de coleta de dados de radiossonda (~ 415).

O esquema PMC-AD é projetado para emular a análise do LETKF do cálculo da condição inicial para o modelo SPEEDY. a análise do LETKF é o campo médio das análises do conjunto (*ensemble*).

As matrizes de covariâncias para os níveis superiores e de superfície para executar o sistema LETKF, bem como as condições de contorno, são as mesmas usadas nos experimentos de Miyoshi [17] e Cintra [6]. A assim chamada “verdade” (ou controle) do modelo é gerada pela simulação do modelo SPEEDY sem ruído nos dados. Os ciclos de assimilação são considerados em 4 períodos em cada dia (00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC). As observações sintéticas são geradas lendo o campo “verdade” do modelo SPEEDY e adicionando um ruído aleatório sobre as variáveis meteorológicas. A localização das observações estão sobre os pontos de grade do modelo SPEEDY. Uma máscara de observação é projetada, adicionando uma marca positiva para o ponto de grade onde a observação deveria ser considerada. As localizações são similares às estações e de observações de radiossondas da WMO - ver Figura 1. Exceto para observações de *ps*, as outras observações são também descritas para os sete níveis superiores.

O esquema de assimilação de dados PMC-AD não tem matrizes de erro de covariância para distribuir a influência dos dados de observação. Conseqüentemente, é necessário calcular a influência das observações no entorno do ponto de grade. Este cálculo é baseado na distância do ponto de grade relacionado às observações no interior de um determinado raio de influência (inicialmente:  $y = 0$ )

$$\hat{y}_{i\pm m; j\pm m; k\pm m}^o = \frac{y_{ijk}^o}{(6-\gamma_{r+1})r_{ijk}^2} + \sum_{l=1}^6 \alpha_l \frac{y_{i\pm m; j\pm m; k\pm m}^o}{r_{ijk}^2} \quad (7)$$

$(m = 1; 2; \dots; M)$

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0 & (\text{se não há observação}) \\ 1 & (\text{se existe observação e } \gamma_{r+1} = \gamma_r + 1) \end{cases} \quad (8)$$

onde  $\hat{y}^o$  é a observação ponderada,  $M$  é o número de camadas discretas consideradas no entorno do ponto de grade,  $r_{ijk}^2 = (x_p - y_i^o)^2 + (y_p - y_j^o)^2 + (z_p - y_k^o)^2$ , onde  $(x_p; y_p; z_p)$  é a coordenada do ponto de grade e  $(y_i^o, y_j^o, y_k^o)$  é a coordenada da observação,  $y_r$  é um contador de pontos de grade das observações no entorno de  $(y_i^o, y_j^o, y_k^o)$ . Se  $y_{r+1} = 6$ , não há influência a ser considerada. Daqui para frente, os valores computados de Eq. (7) são referenciados como *pseudo-observação*.

O processo de treinamento foi feito como no experimento realizado por Cintra e Campos Velho [6]. Com as redes treinadas, o sistema está pronto para ser usado no processo de assimilação de dados. A ativação da PMC-AD tem valores de entrada (previsão e observação) para cada ponto de grade. Os experimentos de assimilação de dados com PMC-AD é realizado para 11 dias (44 ciclos). A data de início foi 10 de janeiro de 1985 00UTC até 20 de janeiro de 1985 18UTC.

Os ciclos de AD iniciam com uma máscara global completa das observações, para as cinco variáveis prognósticas, com quatro variáveis para o ar superior para os sete níveis verticais. Durante três dias (12 ciclos), as análises para o modelo SPEEDY foram calculadas de 415 estações para todas as variáveis (12035 observações) - Fase-1. Nos próximos dois dias (12/Jan e 13/Jan) com oito ciclos, não há observações para U, V e Q, novamente com 415 estações com temperatura e pressão de superfície somente (3320 observações) - Fase-2. Para os próximos cinco dias (20 ciclos), não há observações do conjunto de Estações - Fase-3.

## 6 | RESULTADOS E CONCLUSÃO

Os valores de entrada e saída das variáveis prognósticas ( $ps, u, v, T, q$ ) são processados sobre os pontos de grade do modelo para integração no tempo. Levando em conta as pseudo-observações (Eq. 7), com dois espaçamentos de grade ( $M = 2$ ) como raio de influencia no entorno do ponto de grade, como considerado por Cintra e Campos Velho [4]. Os resultados mostram a comparação dos campos de análise gerados pelos esquemas PMC-AD e LETKF com os campos verdade.

As diferenças entre as análises para observação global de umidade ( $q$ ) para 950 hPa é apresentado na Figura 2, considerado o ciclo de assimilação executado em 10 Janeiro 06 UTC: Fase-1. Figura 3 mostra a umidade com ausência de observações ( $u; v; q$ ) na Fase-2 (13/Janeiro \_as 12 UTC).

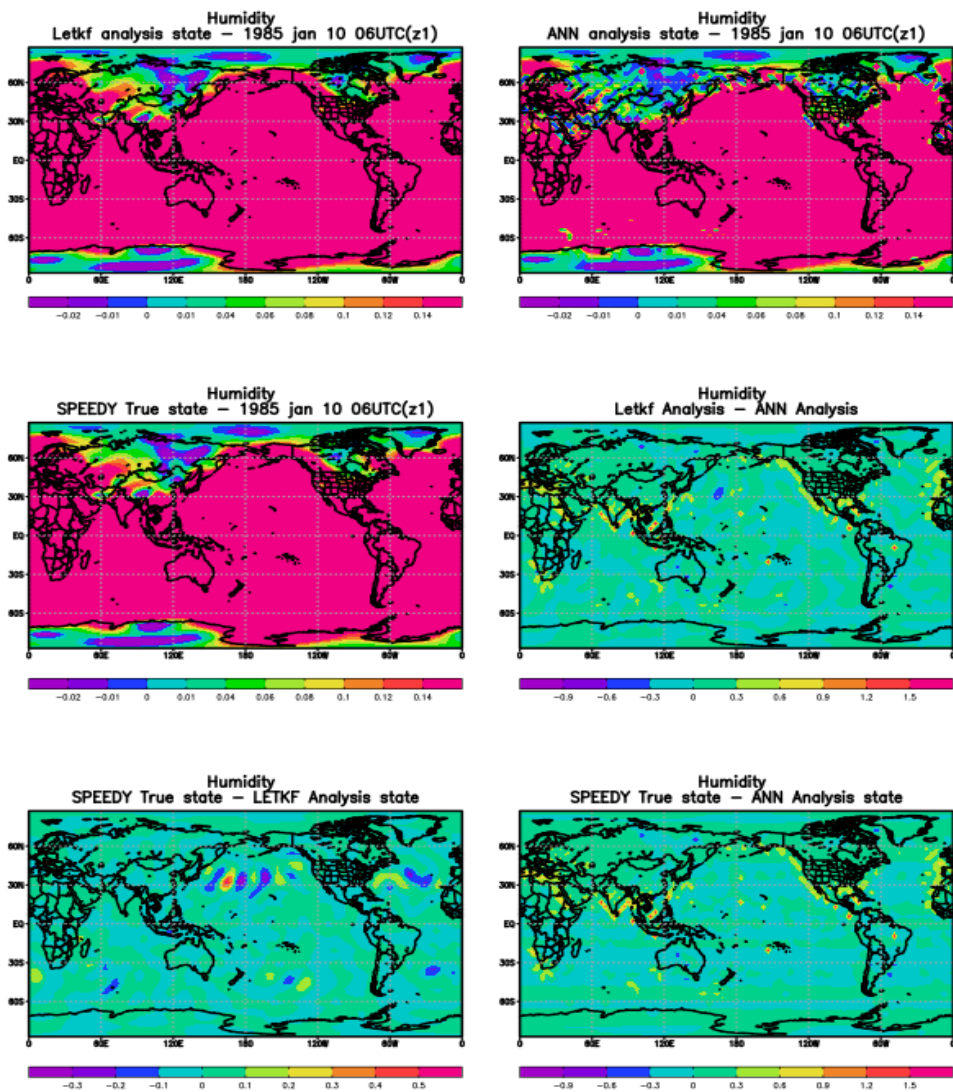


Figure 2: Umidade (kg/kg) em 10/Janeiro \_as 06UTC: análises LETKF, PMC-AD e campo Verdade -- e diferenças: (LETKF e PMC-DA), (Verdade e LETKF), (Verdade e PMC-AD).

Para a temperatura absoluta e pressão de superfície no nível de 950 hPa - ver Figuras 4 e 5 para resultados na Fase-2 (13/Janeiro \_as 12 UTC), com ausência de observações para (u; v; q), para 415 estações para temperatura (7 camadas verticais) e pressão de superfície. Os campos de temperatura estão unidades de graus Kelvin (valores acima de 273,15) com diferenças até 10 K em alguns pontos. Para o campo de pressão de superfície, Há diferenças em

todo o domínio, porque há pseudo-observações sobre todo o domínio.

Na Fase-3, LETKF e PMC-DA são executados com observações ausentes em alguns pontos. Figura 6 mostra a pressão de superfície em 18/Janeiro às 00UTC, último dia dos ciclos de observação. Para a Fase-3, a máscara de observação está completa. similar à Fase-1. O modelo tem o mesmo comportamento que o experimento prévio de Cintra e Campos Velho [6] - ver Figura 7 para análise de temperatura para 19/Janeiro às 00UTC.

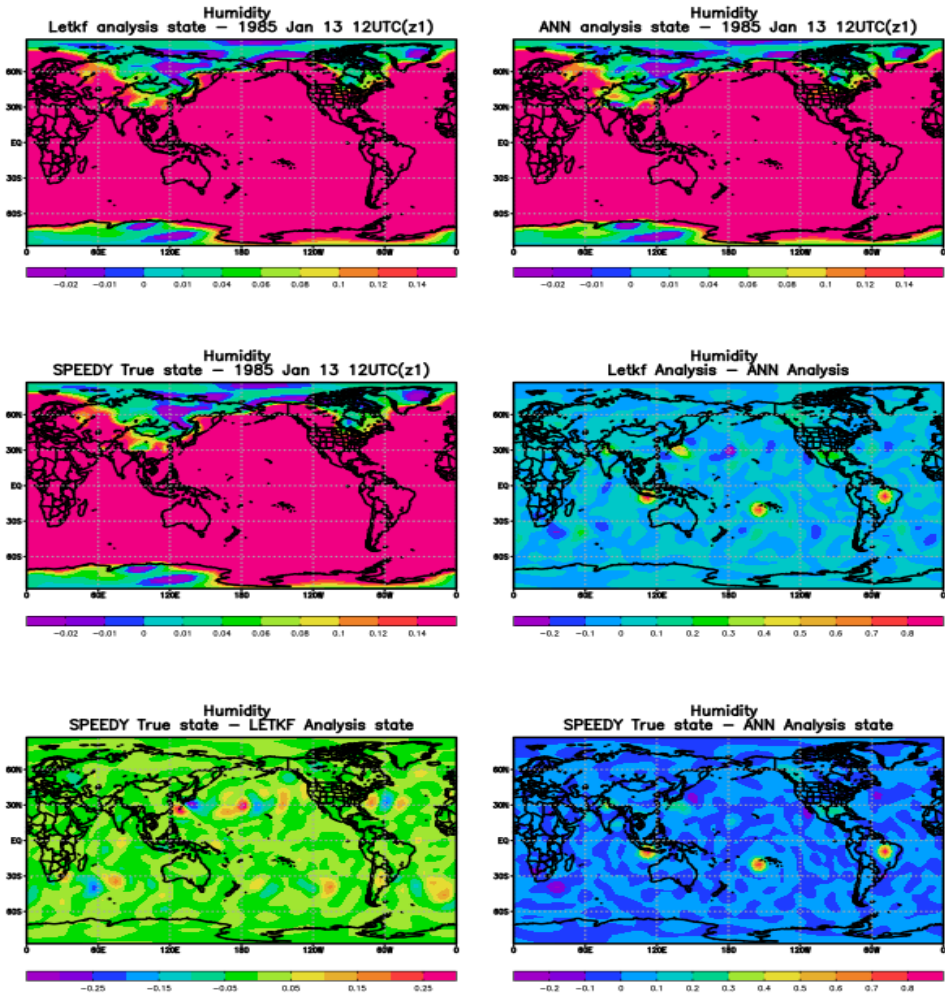


Figure 3: Umidade (kg/kg) em 13/Janeiro \_as 12UTC: análises LETKF, PMC-AD e campo Verdade -- e diferenças: (LETKF e PMC-DA), (Verdade e LETKF), (Verdade e PMC-AD).

As análises são tentativas de aproximar as variáveis do modelo à realidade. Menor quantidade de observações significa uma análise pior. Ausências de observações podem ocorrer em diferentes ciclos de assimilação. A técnica de PMC-DA foi treinada com 2

espaçamentos de grade como raio de influência para as observações ( $M = 2$  na Eq. (7)). Figuras 3, 5 e 7 mostram uma boa concordância entre as análises do LETKF e PMC-DA. Figuras 2, 4 e 6 mostram algum desacordo entre as análises obtidas com as duas metodologias. Observando a Figura 6, pode-se perceber diferenças significativas sobre a região da zona de interface entre Europa-Ásia e principalmente sobre os oceanos.

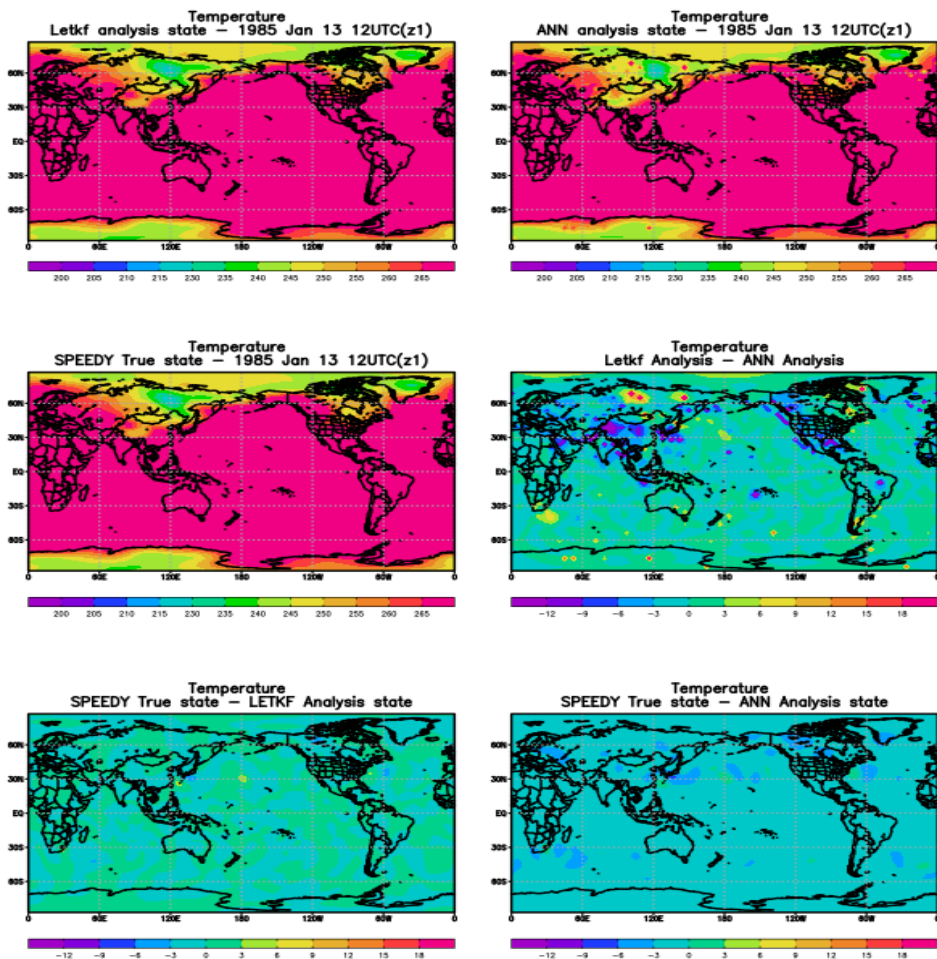


Figure 4: Temperatura absoluta (K) em 13/Janeiro \_as 12UTC: análises LETKF, PMC-AD e campo Verdade -- e diferenças: (LETKF e PMC-AD), (Verdade e LETKF), (Verdade e PMC-AD).

Há diferenças em vários pontos do domínio - ver Figura 2 (análise via RNA) sobre o Alaska e Vladivostok (pontos vermelho) e Figura 4 (Norte da Rússia e sobre o mar ao Norte do Canadá e Groenlândia), indicando que o raio de influência da observação não foi efetivo o suficiente para calcular de forma adequada a pseudo-observação com  $M = 2$ . Uma



maneira de superar as diferenças apontadas é aumentar a influência da observação ( $M \geq 3$ ).

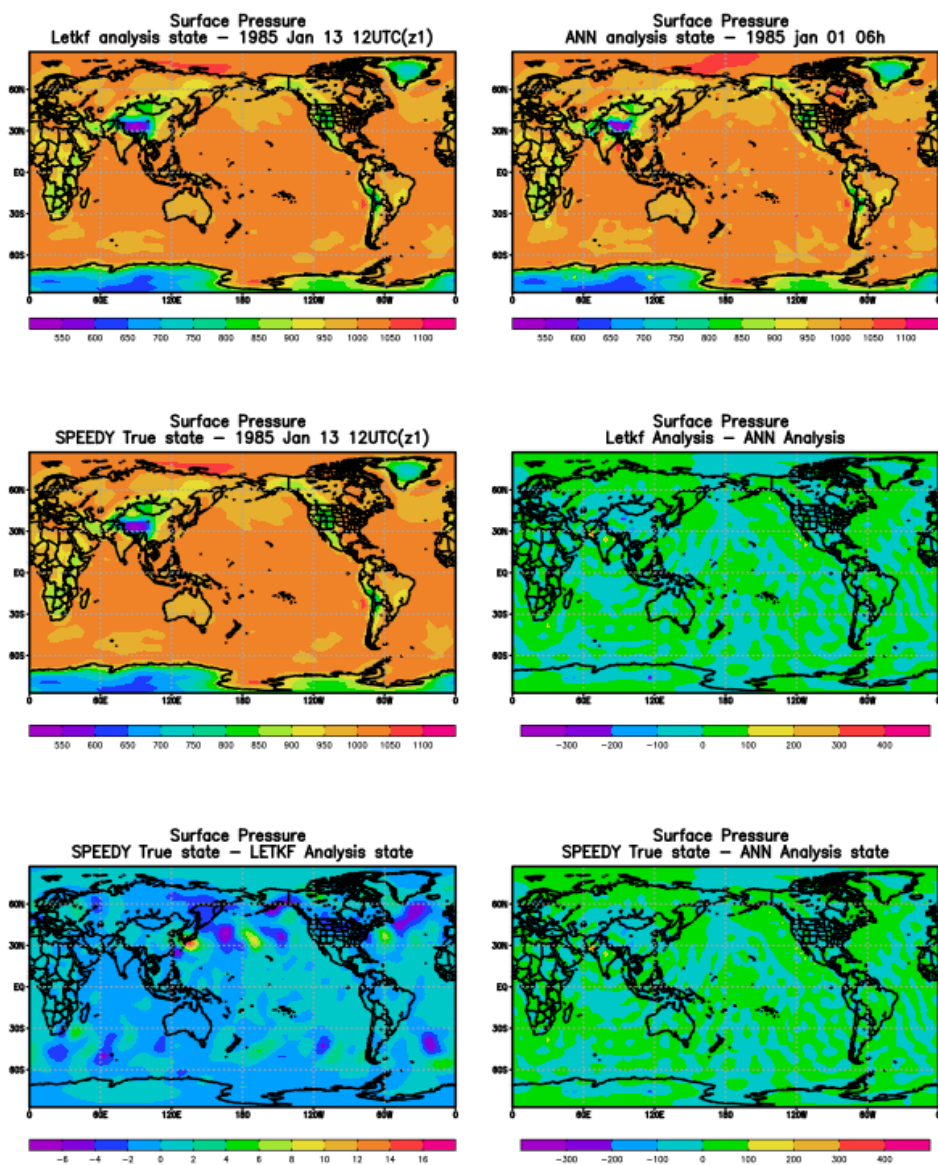


Figure 5: Pressão de superfície (hPa) em 13/Janerio\_as 12UTC: análises LETKF, PMC-DA e campo Verdade -- e diferenças: (LETKF e PMC-DA), (Verdade e LETKF), (Verdade e PMC-DA).



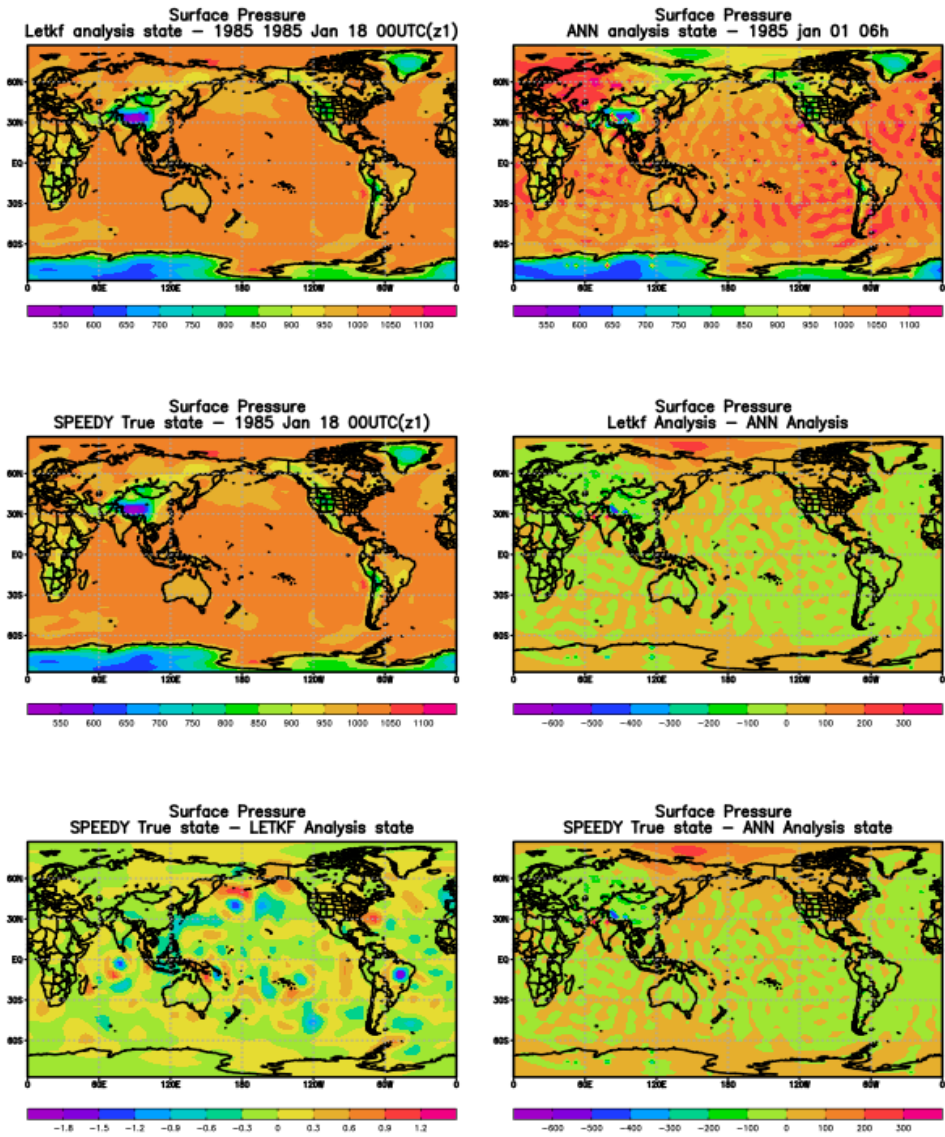


Figure 6: Pressão de superfície em 18/Janeyro \_as 00UTC: análises LETKF, PMC-DA e campo Verdade I e diferenças: (LETKF e PMC-DA), (Verdade e LETKF), (Verdade e PMC-DA).

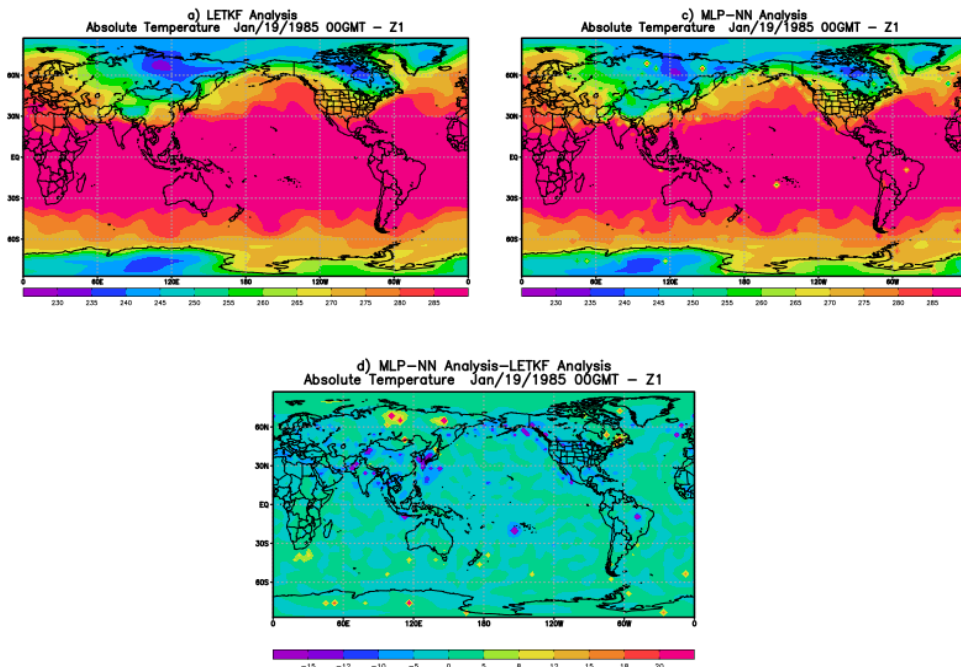


Figure 7: Temperatura absoluta em 19/Janeiro \_as 00UTC: análises LETKF e PMC-DA -- e diferenças: (LETKF e PMC-DA).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapesp (Proc. 2016/14393-2) e ao CNPq (Proc.: 312924/2017-8), agências brasileiras de suporte à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] Bishop, H. C., Etherton, B. J., Majumdar, S. J.: **Adaptive sampling with the ensemble transform Kalman filter**. Part I: Theoretical aspects. *Monthly Weather Review*, 129, 420{436, 2001.
- [2] Bourke, W.: **A multilevel spectral model: I. formulation and hemispheric integrations**. *Monthly Weather Review*, 102, 687{701, 1974.
- [3] Burgers, G., van Leeuwen, P., Evensen, G.: **Analysis scheme in the ensemble Kalman filter**. *Monthly Weather Review*, 126, 1719{1724, 1998.
- [4] Cintra, R. S., Campos Velho, H. F.: **Global Data Assimilation using Artificial Neural Networks in SPEEDY Model**. *Proceedings of the International Symposium on Uncertainty Quantification and Stochastic Modelling*. pp 648-654, Maresias, SP, Brazil, 2012.

- [5] Cintra, R. S. C.; Campos Velho, H. F.; Anochi J.; Cocke S.: **Data Assimilation by Artificial Neural Networks for the global FSU atmospheric model: Surface Pressure**. 2nd Latin-American Congress on Computational Intelligence (LA-CCI), Curitiba, Brazil. CBIC and LA-CCI 2015.
- [6] Cintra, R. S. C.; Campos Velho, H. F.: **Data Assimilation by Artificial Neural Networks for an Atmospheric General Circulation Model**. In: Advanced Applications for Artificial Neural Networks (Org.: Adel El- Shahat), IntechOpen, (2018) { DOI: 10.5772/intechopen.70791.
- [7] Daley, R.: **Atmospheric Data Analysis**. Cambridge University Press, New York, USA, 1991.
- [8] Evensen, G.: **Sequential data assimilation with a nonlinear quasigeostrophic model using monte carlo methods to forecast error statistics**. Journal of Geophysics Research, 99(10), 143{162, 1994.
- [9] Evensen, G.: **The ensemble Kalman filter: theoretical formulation and practical implementation**. Ocean Dynamics, 53, 343{367, 2003.
- [10] Furtado, H. C. M.; Campos Velho, H. F.; Macau, E. E. N.: **Data assimilation: Particle filter and artificial neural networks**. Journal of Physics. Conference Series (Online), v. 135, p. 012073, 2008.
- [11] Harter, F. P., Campos Velho, H. F.: **New approach to applying neural network in nonlinear dynamic model**. Applied Mathematical modeling,32(12), 2621{2633, 2008.
- [12] Haykin, S.: **Neural Networks: A Comprehensive Foundation**. Prentice Hall, 2nd Edition, 1999.
- [13] Houtekamer, P. L. and Mitchell, H. L.: **Data assimilation using an ensemble Kalman filter technique**. Monthly Weather Review, 126, 796--811, 1998.
- [14] Hunt, B., Kostelich, E. J., Szunyogh, I.: **Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: a local ensemble transform Kalman filter**. Physica D, 230, 112-126. 2007.
- [15] Kalman, R. E., Bucy, R. S.: **New results in linear filtering and prediction theory**. Trans. of the ASME Journal of Basic Engineering, 83(Series D), 95{108, 1961.
- [16] Kalnay, E.: **Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability**. 2d ed., Cambridge University Press, New York, 2003.
- [17] Miyoshi, T.; Yamane, S: **Local ensemble transform Kalman filtering with an AGCM at a T159/L48 resolution**. Monthly Weather Review, 135, 3841-3861, 2007.
- [18] Molteni, F.: **Atmospheric simulations using a GCM with simplified physical parametrizations: model climatology and variability in multidecadal experiments**. Climate Dynamics, 20, 175{191, 2003.
- [19] Nowosad, A., Rios Neto, A., Campos Velho, H.: **Data assimilation in chaotic dynamics using neural networks**. International Conference on Nonlinear Dynamics, Chaos, Control and Their Applications in Engineering Sciences, 212-221, 2000.

- [20] Ott, E., Hunt, B. R., Szyniogh, I., Zimin, A. V., Kostelich, E. J., Corazza, M., Kalnay, E., Patil, D. J., York, J.: **A local ensemble Kalman filter for atmospheric data assimilation.** Tellus A, 56, 415-428, 2004.
- [21] Widrow, B., Ho, M.: **Adaptive switching circuits.** IRE WESCON Conv. Record, Pt.4.94,95, 96{104, 1960.
- [22] Whitaker, J. S., T. H. Hamill: **Ensemble data assimilation without perturbed observations.** Monthly Weather Review, 130, 1913{1924, 2002.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Assimilação de dados 15, 16, 17, 19, 20, 21

### C

Classificação objetiva otimizada 30, 38, 40, 41

### D

*Domain Name System* (DNS) 47

*Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP) 46

### F

Filtro de Kalman por conjunto 15

Firewall 43, 45, 46, 49, 50, 53, 54

Fórmula Horn-Mista 1

### I

Internet 43, 44, 45, 46, 47, 48, 53, 54

### M

Modelo atmosférico 15, 16

### O

Otimização Elipsoidal 30, 40

### P

*PROMETHEE II* 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 40

### R

Rede neural artificial 15

### S

Satplan 1, 2, 3, 4

# ENGENHARIAS ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

O TERCEIRO PILAR

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

 **Atena**  
Editora

Ano 2021



# ENGENHARIAS ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

O TERCEIRO PILAR

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

 Atena  
Editora

Ano 2021