Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão (Matriz $\mathbf{B}$)

Carlos Frederico Bastarz

Workshop DIMNT

"A Assimilação de Dados nas Componentes do Sistema Terrestre: Status e Perspectivas Futuras no Contexto do MONAN"

06 de outubro de 2022

MONAN
Model for Ocean-laNd-Atmosphere predictioN

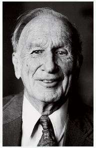
Sumário

Introdução

Um Desafio

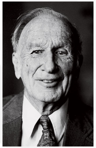
Fontes de incerteza são uma característica intrínseca a qualquer sistema dinâmico.

Na década de 1960, Edward N. Lorenz mostrou que a atmosfera possui previsibilidade de duas semanas.



Fontes de incerteza são uma característica intrínseca a qualquer sistema dinâmico.

Na década de 1960, Edward N. Lorenz mostrou que a atmosfera possui previsibilidade de duas semanas.



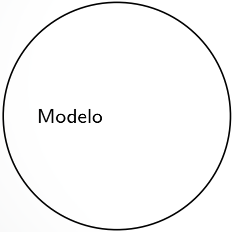
Um Desafio:

Como fazer com que os modelos atuais possam prever bem dentro deste limite (e além dele)?

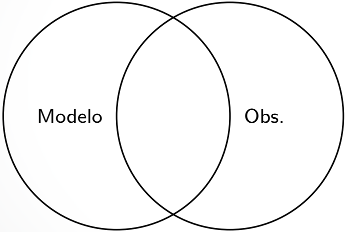
Os modelos de PNT são realizados dentro de uma estrutura de modelagem que compreende:

Introdução
Modelagem e Assimilação

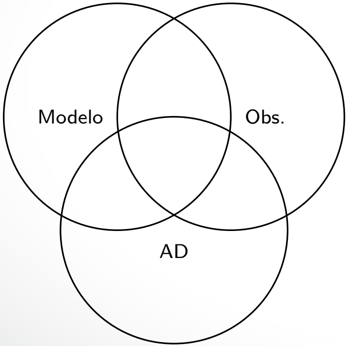
Os modelos de PNT são realizados dentro de uma estrutura de modelagem que compreende:



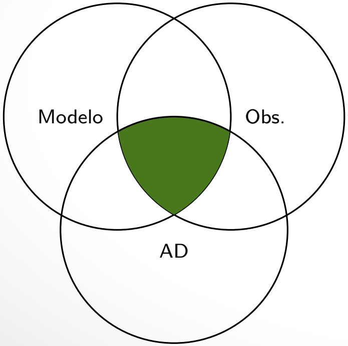
Os modelos de PNT são realizados dentro de uma estrutura de modelagem que compreende:



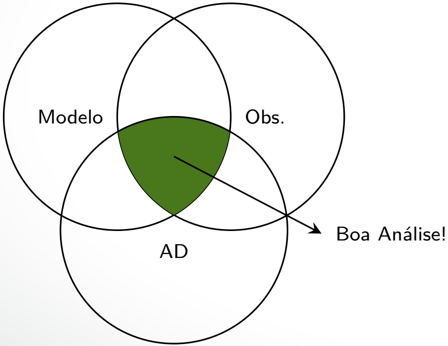
Os modelos de PNT são realizados dentro de uma estrutura de modelagem que compreende:



Os modelos de PNT são realizados dentro de uma estrutura de modelagem que compreende:



Os modelos de PNT são realizados dentro de uma estrutura de modelagem que compreende:



Modelagem e Assimilação:

Uma vez estabelecido o processo de modelagem, as fontes de incerteza devem ser abordadas para que o seu impacto seja mínimo.

Função Custo Variacional Tridimensional (3DVar):

Em geral, as fontes de incerteza do processo de modelagem são representadas por:

- Modelo (eg., dinâmica e física);

Função Custo Variacional Tridimensional (3DVar):

Em geral, as fontes de incerteza do processo de modelagem são representadas por:

- Modelo (eg., dinâmica e física);

Na AD, estes erros são modelados em matrizes de covariâncias que tratam das relações espaço-temporais entre as quantidades observadas e diagnosticadas/prognosticadas.

Função Custo Variacional Tridimensional (3DVar):

Em geral, as fontes de incerteza do processo de modelagem são representadas por:

- Modelo (eg., dinâmica e física);
- Observações (eg., medição, instrumento, grau de processamento);

Na AD, estes erros são modelados em matrizes de covariâncias que tratam das relações espaço-temporais entre as quantidades observadas e diagnosticadas/prognosticadas.

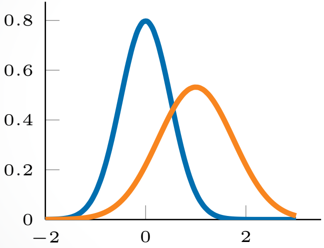
Função Custo Variacional Tridimensional (3DVar):

Em geral, as fontes de incerteza do processo de modelagem são representadas por:

- Modelo (eg., dinâmica e física);
- Observações (eg., medição, instrumento, grau de processamento);
- Assimilação de Dados (eg., operadores de observação, modelos adjunto e tangente linear, tamanho conjunto).

Na AD, estes erros são modelados em matrizes de covariâncias que tratam das relações espaço-temporais entre as quantidades observadas e diagnosticadas/prognosticadas.

Suposição - Distribuição Gaussiana:



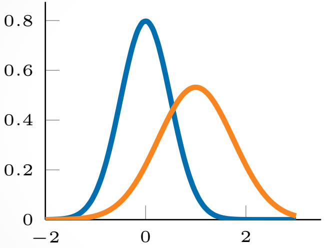
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$$\boldsymbol{\mu = 0,\ \sigma = 0,5}$$
$$\boldsymbol{\mu = 1,\ \sigma = 0,75}$$

$$P_b(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) \propto e^{\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1} (\mathbf{x}-\mathbf{x}_b)\right]}$$

$$\mathbf{B} = \langle (\mathbf{x}_b - \mathbf{x}_t)(\mathbf{x}_b - \mathbf{x}_t)^T \rangle$$

Suposição - Distribuição Gaussiana:



$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$\boldsymbol{\mu = 0,\ \sigma = 0,5}$
$\boldsymbol{\mu = 1,\ \sigma = 0,75}$

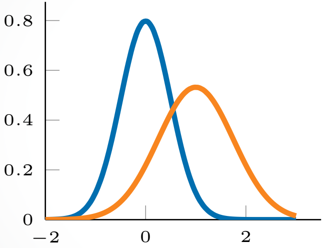
$$P_b(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) \propto e^{\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1} (\mathbf{x}-\mathbf{x}_b)\right]}$$

$$\mathbf{B} = \langle (\mathbf{x}_b - \mathbf{x}_t)(\mathbf{x}_b - \mathbf{x}_t)^T \rangle$$

Função Custo Variacional Tridimensional (3DVar):

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T \mathbf{B}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + \frac{1}{2}[\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x})]$$

Suposição - Distribuição Gaussiana:



$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$$\boldsymbol{\mu = 0,\ \sigma = 0,5}$$
$$\boldsymbol{\mu = 1,\ \sigma = 0,75}$$

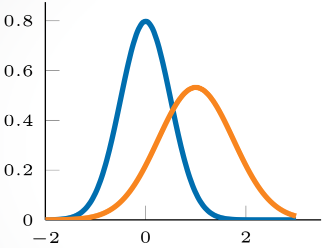
$$P_b(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) \propto e^{\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_b)\right]}$$

$$\mathbf{B} = \langle(\mathbf{x}_b - \mathbf{x}_t)(\mathbf{x}_b - \mathbf{x}_t)^T\rangle$$

Função Custo Variacional Tridimensional (3DVar):

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + \frac{1}{2}[\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x})]^T \mathbf{R}^{-1}[\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x})]$$

Suposição - Distribuição Gaussiana:



$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$$\boldsymbol{\mu = 0,\ \sigma = 0,5}$$

$$\boldsymbol{\mu = 1,\ \sigma = 0,75}$$

$$P_b(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) \propto e^{\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_b)\right]}$$

$$\mathbf{B} = \langle(\mathbf{x}_b - \mathbf{x}_t)(\mathbf{x}_b - \mathbf{x}_t)^T\rangle$$

Função Custo Variacional Tridimensional (3DVar):

$$J(\mathbf{x}) = \underbrace{\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)}_{J_b} + \underbrace{\frac{1}{2}[\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x})]^T \mathbf{R}^{-1}[\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x})]}_{J_o}$$

Equação de Análise:

Quando $\nabla_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x}) = 0 \Rightarrow \mathbf{x} = \mathbf{x}^a$, a função custo variacional resolve essencialmente o mesmo problema que a Interpolação Ótima:

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^b + (\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H})^{-1}(\mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1})[\mathbf{y}^o - H(\mathbf{x}^b)]$$

Importância da Matriz $\mathbf{B}$

Incremento de Análise

Equação de Análise:

Quando $\nabla_{\mathbf{x}} J(\mathbf{x}) = 0 \Rightarrow \mathbf{x} = \mathbf{x}^a$, a função custo variacional resolve essencialmente o mesmo problema que a Interpolação Ótima:

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^b + (\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H})^{-1}(\mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1})[\mathbf{y}^o - H(\mathbf{x}^b)]$$

Aplicação do Incremento de Análise:

$$\mathbf{H} = [0, \ldots, 0, 1, 0, \ldots, 0]$$

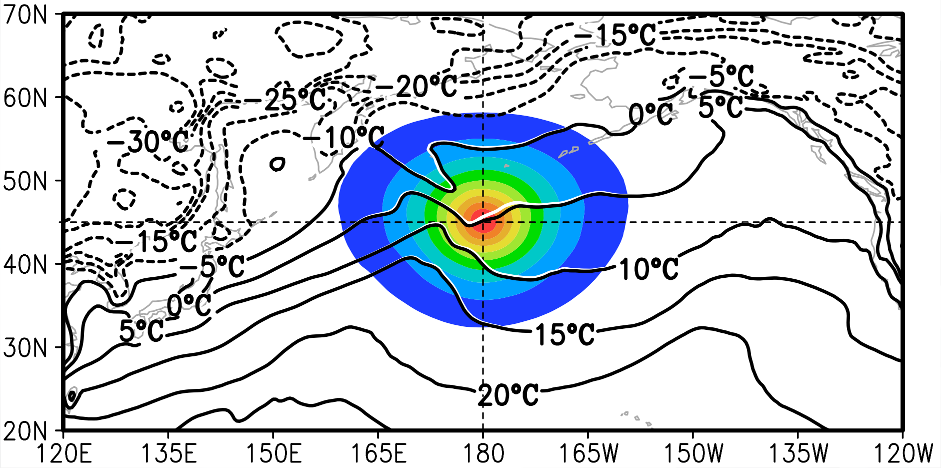
$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^b + (\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1}\mathbf{H})^{-1}(\mathbf{H}^T\mathbf{R}^{-1})[\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x}^b)]$$

$$\mathbf{x}^a - \mathbf{x}^b = \frac{\mathbf{B}\mathbf{H}^T[\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{x}^b)]}{\mathbf{R} + \mathbf{H}\mathbf{B}\mathbf{H}^T}$$

$$\mathbf{x}^a - \mathbf{x}^b \propto \mathbf{B}\mathbf{H}^T$$

Importância da Matriz B

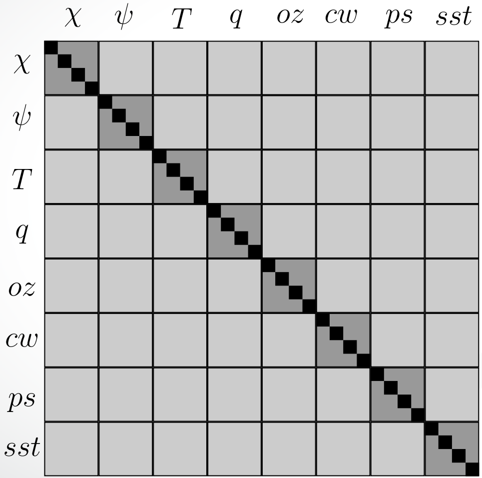
Incremento de Análise



Incremento de uma observação de temperatura.

Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$

Aspecto da Matriz $\mathbf{B}$



- Variâncias;
- Covariâncias;
- Autocovariâncias.

- Função de Corrente (ψ);
- Velocidade potencial (χ);
- Temperatura absoluta (T);
- Pressão em superfície (ps);
- Ozônio (oz);
- Conteúdo de água líquida (cw);
- Temperatura da superfície do mar (sst).

Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$
Método NMC

Considerações:

- O método **NMC** - *National Modeling Center* (PARRISH; DERBER, 1992), preconiza que a correlação espacial dos erros do modelo são semelhantes à correlação espacial das diferenças das previsões de (eg.) 48 e 24 horas;

Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$
Método NMC

Considerações:

- O método **NMC** - *National Modeling Center* (PARRISH; DERBER, 1992), preconiza que a correlação espacial dos erros do modelo são semelhantes à correlação espacial das diferenças das previsões de (eg.) 48 e 24 horas;
- **Suposição:** crescimento linear dos erros de previsão durante as primeiras horas (similar ao método de perturbação da previsão por conjuntos utilizando EOFs);

Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$
Método NMC

Considerações:

- O método **NMC** - *National Modeling Center* (PARRISH; DERBER, 1992), preconiza que a correlação espacial dos erros do modelo são semelhantes à correlação espacial das diferenças das previsões de (eg.) 48 e 24 horas;
- **Suposição:** crescimento linear dos erros de previsão durante as primeiras horas (similar ao método de perturbação da previsão por conjuntos utilizando EOFs);
- Exemplo par válido:
  GFCTNMC20131224002013122600F.fct.TQ0299L064 (48h)
  GFCTNMC20131225002013122600F.fct.TQ0299L064 (24h)

Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$

Outros Aspectos

Balanço e importância de ψ:

- Para contabilizar o balanço entre massa e vento, o GSI (*Gridpoint Statistical Interpolation*) utiliza a ψ e uma relação estatística linear entre ψ e as partes balanceadas das variáveis de controle do sistema (ψ, Tv_u, χ_u, ps_u, $rh_{q1,q2}$);

Balanço e importância de ψ:

- Para contabilizar o balanço entre massa e vento, o GSI (*Gridpoint Statistical Interpolation*) utiliza a ψ e uma relação estatística linear entre ψ e as partes balanceadas das variáveis de controle do sistema (ψ, Tv_u, χ_u, ps_u, $rh_{q1,q2}$);
- Projeção da função de corrente sobre a parte balanceada da Tv, χ e ps ($Tv_u = Tv - \mathbf{G}\psi$; $\chi_u = \chi - \mathbf{C}\psi$ e $ps_u = ps - \mathbf{W}\psi$). Exemplo:

$$Tv = Tv_b + Tv_u \implies Tv_u = Tv - Tv_b$$

$$\text{Com } Tv_b = \mathbf{G}\psi \implies Tv_u = Tv - \mathbf{G}\psi$$

$$\mathbf{G} = \frac{\langle \psi, Tv \rangle}{\langle \psi, \psi \rangle}$$

Balanço e importância de ψ:

- Para contabilizar o balanço entre massa e vento, o GSI (*Gridpoint Statistical Interpolation*) utiliza a ψ e uma relação estatística linear entre ψ e as partes balanceadas das variáveis de controle do sistema (ψ, Tv_u, χ_u, ps_u, $rh_{q1,q2}$);
- Projeção da função de corrente sobre a parte balanceada da Tv, χ e ps ($Tv_u = Tv - \mathbf{G}\psi$; $\chi_u = \chi - \mathbf{C}\psi$ e $ps_u = ps - \mathbf{W}\psi$). Exemplo:

$$Tv = Tv_b + Tv_u \implies Tv_u = Tv - Tv_b$$
$$\text{Com } Tv_b = \mathbf{G}\psi \implies Tv_u = Tv - \mathbf{G}\psi$$

$$\mathbf{G} = \frac{\langle \psi, Tv \rangle}{\langle \psi, \psi \rangle}$$

- ψ define boa parte do incremento de análise para Tv, χ e ps;

Balanço e importância de ψ:

- Para contabilizar o balanço entre massa e vento, o GSI (*Gridpoint Statistical Interpolation*) utiliza a ψ e uma relação estatística linear entre ψ e as partes balanceadas das variáveis de controle do sistema (ψ, Tv_u, χ_u, ps_u, $rh_{q1,q2}$);
- Projeção da função de corrente sobre a parte balanceada da Tv, χ e ps ($Tv_u = Tv - \mathbf{G}\psi$; $\chi_u = \chi - \mathbf{C}\psi$ e $ps_u = ps - \mathbf{W}\psi$). Exemplo:

$$Tv = Tv_b + Tv_u \implies Tv_u = Tv - Tv_b$$
$$\text{Com } Tv_b = \mathbf{G}\psi \implies Tv_u = Tv - \mathbf{G}\psi$$

$$\mathbf{G} = \frac{\langle \psi, Tv \rangle}{\langle \psi, \psi \rangle}$$

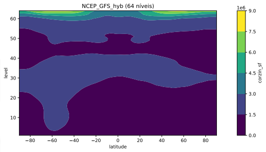
- ψ define boa parte do incremento de análise para Tv, χ e ps;
- $\mathbf{G}$, $\mathbf{C}$ e $\mathbf{W}$ contabilizam as correlações entre ψ e Tv, χ e ps respectivamente.

Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$

Outros Aspectos

Contribuição de ψ para Tv ($Tv = Tv_u + \mathbf{G}\psi$):

ψ

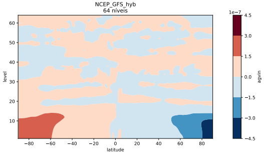


Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$

Outros Aspectos

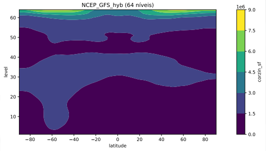
Contribuição de ψ para Tv ($Tv = Tv_u + \mathbf{G}\psi$):

$\mathbf{G}$



$\times$

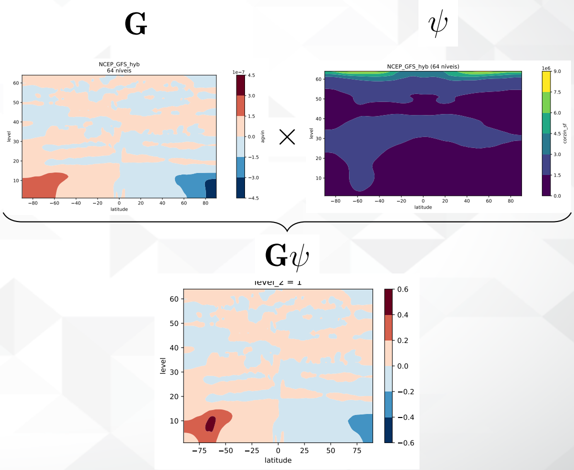
ψ



Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$

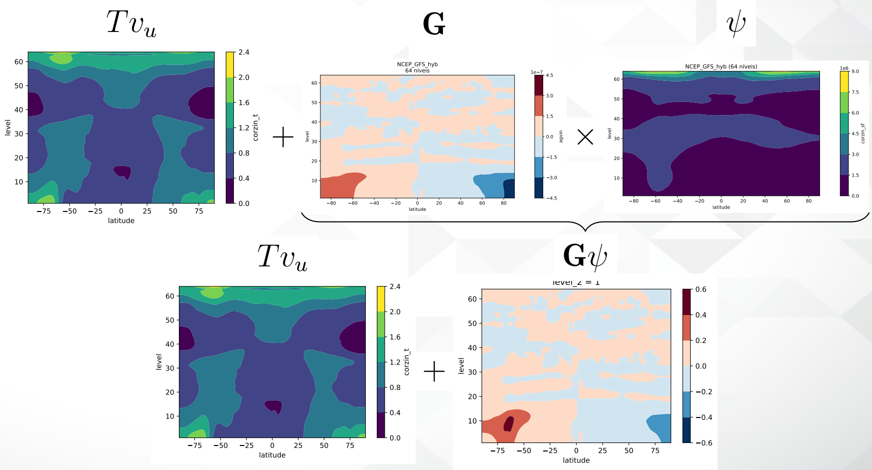
Outros Aspectos

Contribuição de ψ para Tv ($Tv = Tv_u + \mathbf{G}\psi$):



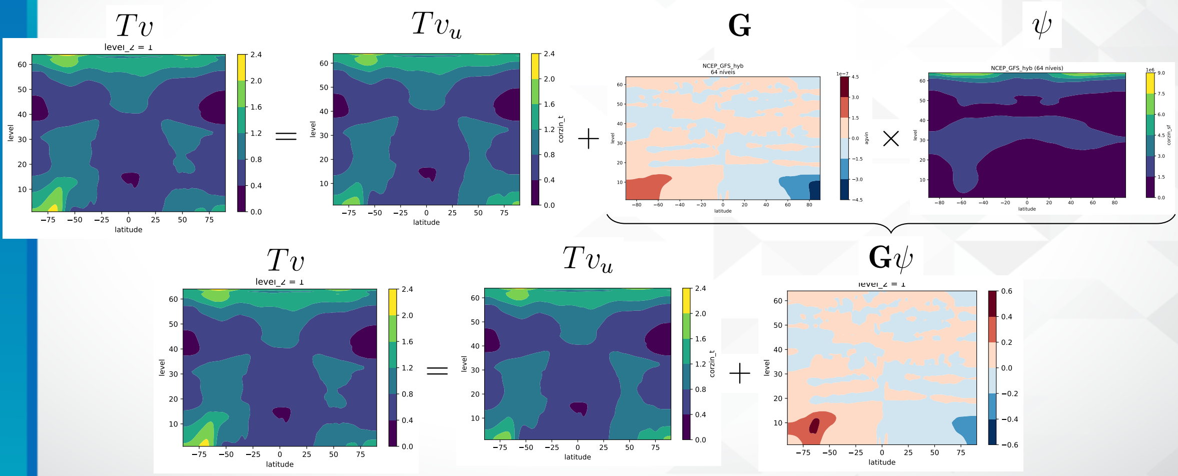
Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$
Outros Aspectos

Contribuição de ψ para Tv ($Tv = Tv_u + \mathbf{G}\psi$):



Cálculo da Matriz $\mathbf{B}$
Outros Aspectos

Contribuição de ψ para Tv ($Tv = Tv_u + \mathbf{G}\psi$):



Produção Técnica

- Artigo com a aplicação deste método NMC baseado no modelo BAM V0 (FIGUEROA et al., 2016): **"Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão Aplicada ao Sistema de Assimilação de Dados Global do CPTEC: Experimentos com Observação Única"** (BASTARZ; HERDIES; SAPUCCI, 2017);

Resultados

Produção Técnica

- Artigo com a aplicação deste método NMC baseado no modelo BAM V0 (FIGUEROA et al., 2016): **“Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão Aplicada ao Sistema de Assimilação de Dados Global do CPTEC: Experimentos com Observação Única”** (BASTARZ; HERDIES; SAPUCCI, 2017);
- </> Técnica para o cálculo da matriz $\mathbf{B}$ baseada no programa escrito pelo Dr. Daryl Kleist (NCEP) - podemos recalcular a matriz sempre que o modelo sofrer alterações;

Resultados

Produção Técnica

- Artigo com a aplicação deste método NMC baseado no modelo BAM V0 (FIGUEROA et al., 2016): **“Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão Aplicada ao Sistema de Assimilação de Dados Global do CPTEC: Experimentos com Observação Única”** (BASTARZ; HERDIES; SAPUCCI, 2017);
- </> Técnica para o cálculo da matriz $\mathbf{B}$ baseada no programa escrito pelo Dr. Daryl Kleist (NCEP) - podemos recalcular a matriz sempre que o modelo sofrer alterações;
- </> GSIBerror: pacote Python para a leitura, plotagem e comparação de matrizes de covariâncias compatíveis com o GSI no formato `.gcv` (BASTARZ, 2022);

Resultados

Produção Técnica

- Artigo com a aplicação deste método NMC baseado no modelo BAM V0 (FIGUEROA et al., 2016): **"Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão Aplicada ao Sistema de Assimilação de Dados Global do CPTEC: Experimentos com Observação Única"** (BASTARZ; HERDIES; SAPUCCI, 2017);
- Técnica para o cálculo da matriz $\mathbf{B}$ baseada no programa escrito pelo Dr. Daryl Kleist (NCEP) - podemos recalcular a matriz sempre que o modelo sofrer alterações;
- GSIBerror: pacote Python para a leitura, plotagem e comparação de matrizes de covariâncias compatíveis com o GSI no formato `.gcv` (BASTARZ, 2022);
  - Demonstração disponível: launch binder

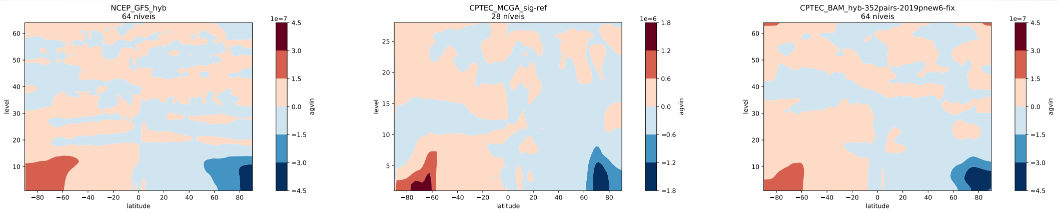
Resultados

Produção Técnica

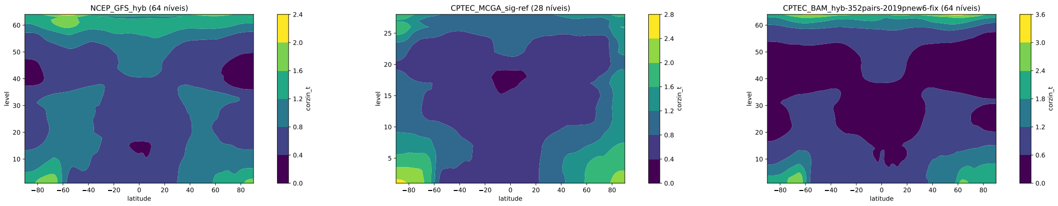
- Artigo com a aplicação deste método NMC baseado no modelo BAM V0 (FIGUEROA et al., 2016): **"Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão Aplicada ao Sistema de Assimilação de Dados Global do CPTEC: Experimentos com Observação Única"** (BASTARZ; HERDIES; SAPUCCI, 2017);
- </> Técnica para o cálculo da matriz $\mathbf{B}$ baseada no programa escrito pelo Dr. Daryl Kleist (NCEP) - podemos recalcular a matriz sempre que o modelo sofrer alterações;
- </> GSIBerror: pacote Python para a leitura, plotagem e comparação de matrizes de covariâncias compatíveis com o GSI no formato `.gcv` (BASTARZ, 2022);
  - Demonstração disponível: launch binder
- Preparação de uma matriz baseada no BAM V2.1.0 (em coordenada híbrida) para uso com o GSI na assimilação de dados (exemplo nos próximos slides).

Resultados

Exemplos Estruturas $\mathbf{B}$



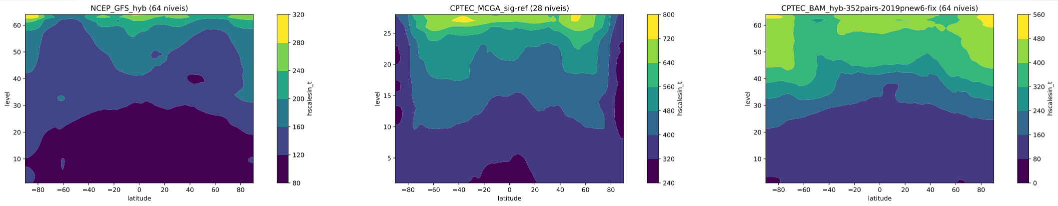
(a) Projeção da ψ no nível 0 sobre o perfil da parte balanceada da Tv ($Tv_b = \mathbf{G}\psi$).



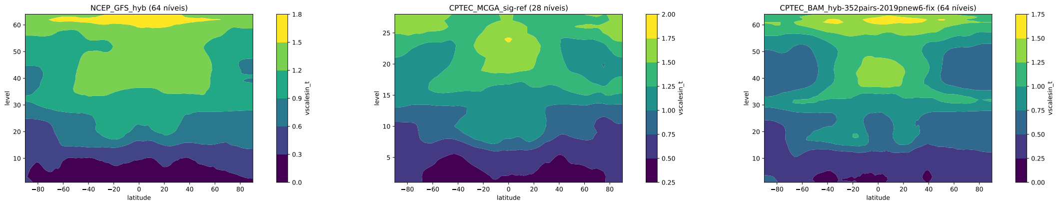
(b) Desvio-padrão da Tv.

Resultados

Exemplos Estruturas $\mathbf{B}$



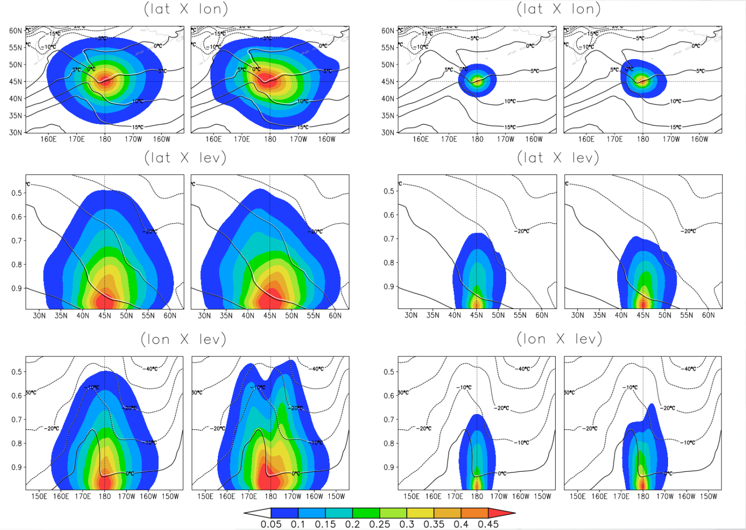
(a) Comprimento de Escala Horizontal da Tv.



(b) Comprimento de Escala Vertical da Tv.

Experimento Obs. Única:

Incrementos de T em 1000 hPa. À esquerda $\mathbf{B}$ CPTEC e à direita, $\mathbf{B}$ NCEP (DTC). Para cada matriz, testou-se a opção anisotrópica (BASTARZ; HERDIES; SAPUCCI, 2017).



JEDI - *Joint Effort for Data assimilation Integration*:

O JEDI é composto de vários frameworks que implementam partes específicas do sistema de assimilação, por exemplo:

- IODA - *Interface for Observation Data Access*;
- UFO - *Unified Forward Operator*;
- SABER - *System-Agnostic Background Error Representation*;

JEDI - *Joint Effort for Data assimilation Integration*:

O JEDI é composto de vários frameworks que implementam partes específicas do sistema de assimilação, por exemplo:

- IODA - *Interface for Observation Data Access*;
- UFO - *Unified Forward Operator*;
- SABER - *System-Agnostic Background Error Representation*;
- Repositórios estão concentrados no GitHub do JCSDA (*Joint Center for Satellite Data Assimilation*).

JEDI - *Joint Effort for Data assimilation Integration*:

O JEDI é composto de vários frameworks que implementam partes específicas do sistema de assimilação, por exemplo:

- IODA - *Interface for Observation Data Access*;
- UFO - *Unified Forward Operator*;
- SABER - *System-Agnostic Background Error Representation*;
- Repositórios estão concentrados no GitHub do JCSDA (*Joint Center for Satellite Data Assimilation*).

- participação na 7^a *JEDI Academy*, de 4-8 de Outubro de 2021 (online, João e Carlos).

SABER - *System-Agnostic Background Error Representation*:

O SABER implementa o BUMP (*Background error on Unstrucured Mesh Package*), que é uma biblioteca F90 onde estão disponíveis os métodos de cálculo da matriz $\mathbf{B}$:

- Funciona em qualquer grade (gaussiana, esférica-cubada, não-estruturada, oceânica, área limitada);
- Trabalha em grade mais grosseira, pois em geral, as estruturas representadas pela matriz de covariância são maiores do que a grade do modelo.

Dificuldades e Desafios
Algumas Questões

- Precisamos sempre atualizar a matriz $\mathbf{B}$? Com que frequência?

Dificuldades e Desafios

Algumas Questões ?

- Precisamos sempre atualizar a matriz $\mathbf{B}$? Com que frequência?
- É necessário uma grande quantidade de pares de previsão? Qual é a quantidade ideal que representa adequadamente a variabilidade espaço-temporal dos erros do modelo?

Dificuldades e Desafios

Algumas Questões

- Precisamos sempre atualizar a matriz $\mathbf{B}$? Com que frequência?
- É necessário uma grande quantidade de pares de previsão? Qual é a quantidade ideal que representa adequadamente a variabilidade espaço-temporal dos erros do modelo?
- A matriz $\mathbf{B}$ precisa estar na mesma resolução horizontal que o modelo operacional (na vertical sim!)?

Dificuldades e Desafios
Algumas Questões

- Precisamos sempre atualizar a matriz $\mathbf{B}$? Com que frequência?
- É necessário uma grande quantidade de pares de previsão? Qual é a quantidade ideal que representa adequadamente a variabilidade espaço-temporal dos erros do modelo?
- A matriz $\mathbf{B}$ precisa estar na mesma resolução horizontal que o modelo operacional (na vertical sim!)?
- Para a operação: tratamento de sst, oz e cw;

Dificuldades e Desafios

Algumas Questões

- Precisamos sempre atualizar a matriz $\mathbf{B}$? Com que frequência?
- É necessário uma grande quantidade de pares de previsão? Qual é a quantidade ideal que representa adequadamente a variabilidade espaço-temporal dos erros do modelo?
- A matriz $\mathbf{B}$ precisa estar na mesma resolução horizontal que o modelo operacional (na vertical sim!)?
- Para a operação: tratamento de sst, oz e cw;
- Uma forma de atualizar a matriz $\mathbf{B}$ é através de um sistema que envolva o ensemble (e.g., 3DEnVar) ou mesmo o 4DVar;

Dificuldades e Desafios

Algumas Questões ?

- Precisamos sempre atualizar a matriz $\mathbf{B}$? Com que frequência?
- É necessário uma grande quantidade de pares de previsão? Qual é a quantidade ideal que representa adequadamente a variabilidade espaço-temporal dos erros do modelo?
- A matriz $\mathbf{B}$ precisa estar na mesma resolução horizontal que o modelo operacional (na vertical sim!)?
- Para a operação: tratamento de sst, oz e cw;
- Uma forma de atualizar a matriz $\mathbf{B}$ é através de um sistema que envolva o ensemble (e.g., 3DEnVar) ou mesmo o 4DVar;
- Uma média móvel pode ser uma alternativa para o caso 3DVar ou mesmo o 3DEnVar?

Dificuldades e Desafios

Algumas Questões ?

- Precisamos sempre atualizar a matriz $\mathbf{B}$? Com que frequência?
- É necessário uma grande quantidade de pares de previsão? Qual é a quantidade ideal que representa adequadamente a variabilidade espaço-temporal dos erros do modelo?
- A matriz $\mathbf{B}$ precisa estar na mesma resolução horizontal que o modelo operacional (na vertical sim!)?
- Para a operação: tratamento de sst, oz e cw;
- Uma forma de atualizar a matriz $\mathbf{B}$ é através de um sistema que envolva o ensemble (e.g., 3DEnVar) ou mesmo o 4DVar;
- Uma média móvel pode ser uma alternativa para o caso 3DVar ou mesmo o 3DEnVar?
- Para o **MONAN**: não necessariamente todas as covariâncias são/serão tratadas da mesma forma (superfície terrestre pode ser mais simples do que a atmosférica - isso depende da complexidade da componente e do próprio sistema de assimilação de dados).

Referências Bibliográficas

BASTARZ, C. F. *GSIBerror: Uma classe para ler e plotar os records da matriz B do Gridpoint Statistical Interpolation (GSI)*. 2022. Disponível em: <https://github.com/GAD-DIMNT-CPTEC/GSIBerror>.

BASTARZ, C. F.; HERDIES, D. L.; SAPUCCI, L. F. Matriz de covariâncias dos erros de previsão aplicada ao sistema de assimilação de dados global do cptec: Experimentos com observação Única. *Revista Brasileira de Meteorologia [online]*., v. 32, n. 3, p. 459–472, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/8LQNdCV9jJM9whJdpkDLfCh/abstract/?lang=pt>.

FIGUEROA, S. N. et al. The brazilian global atmospheric model (bam): Performance for tropical rainfall forecasting and sensitivity to convective scheme and horizontal resolution. *Weather and Forecasting*, American Meteorological Society, Boston MA, USA, v. 31, n. 5, p. 1547 – 1572, 2016. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/31/5/waf-d-16-0062_1.xml>.

PARRISH, D. F.; DERBER, J. The national meteorological center's spectral-statistical interpolation analysis system. *Monthly Weather Review*, v. 120, p. 1747–1763, 1992. Disponível em: <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/11449>.

INPE

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS