

Assimilação de dados próximo à superfície

João Gerd Zell de Mattos
INPE/CGCT/DIMNT

PGMET
03 de dezembro de 2025

O Estado Atual da Atmosfera

“A atmosfera muda o tempo todo”

A atmosfera está sempre mudando — temperatura, ventos, nuvens, umidade... tudo evolui a cada minuto.



O SISTEMA TERRESTRE

Em modelagem numérica as diferentes “esferas” podem ser representadas por elementos discretos

ATMOSFERA



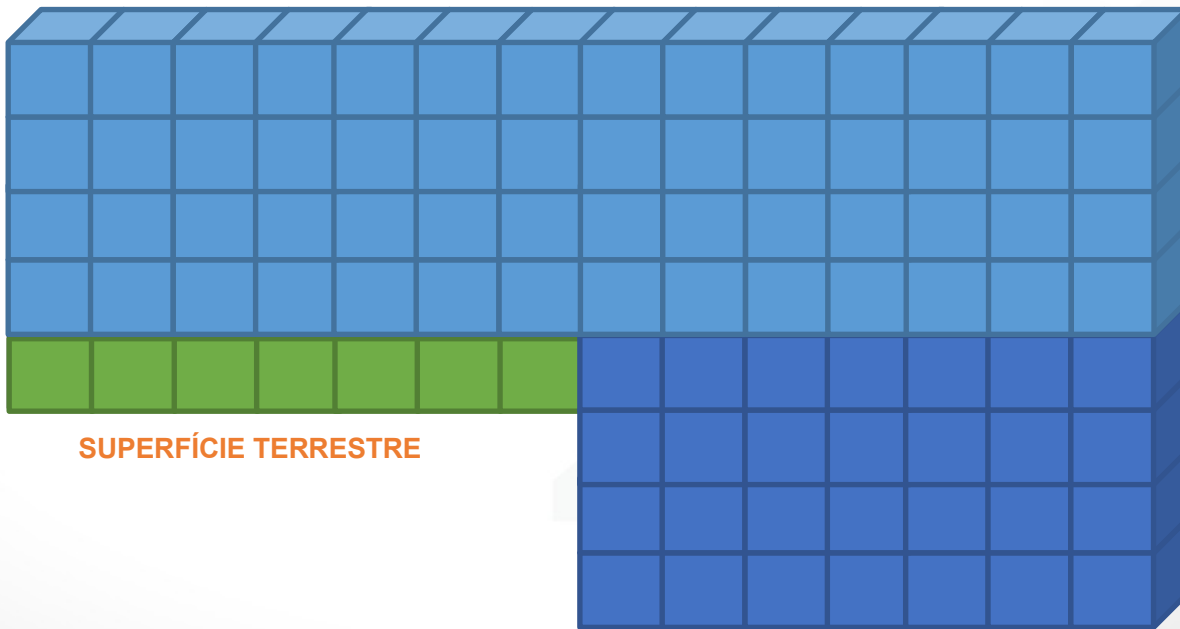
SUPERFÍCIE TERRESTRE

OCEANO

O SISTEMA TERRESTRE

Em modelagem numérica as diferentes “esferas” podem ser representadas por elementos discretos

ATMOSFERA



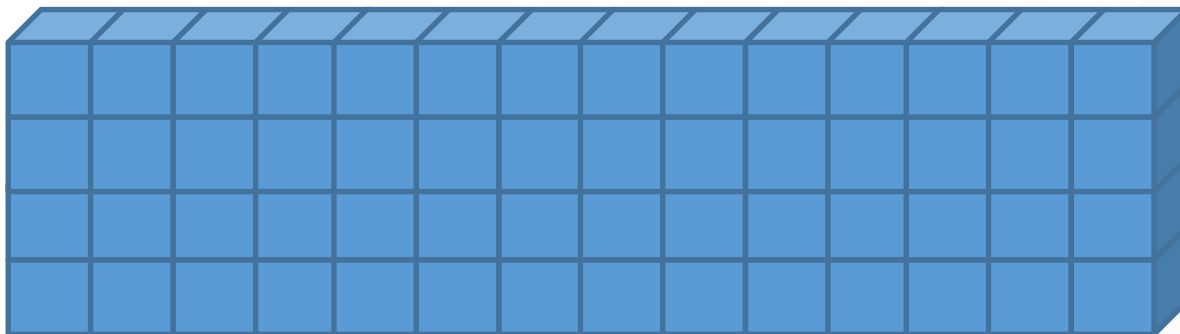
SUPERFÍCIE TERRESTRE

OCEANO

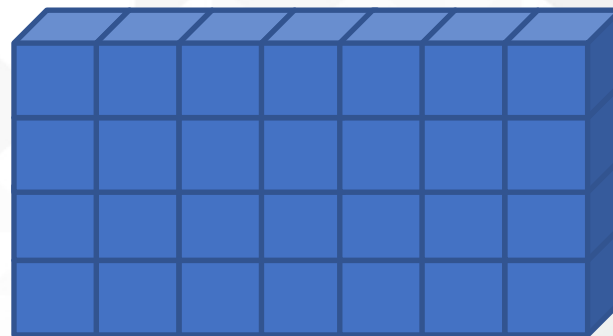
O SISTEMA TERRESTRE

Em modelagem numérica as diferentes “esferas” podem ser representadas por elementos discretos

ATMOSFERA



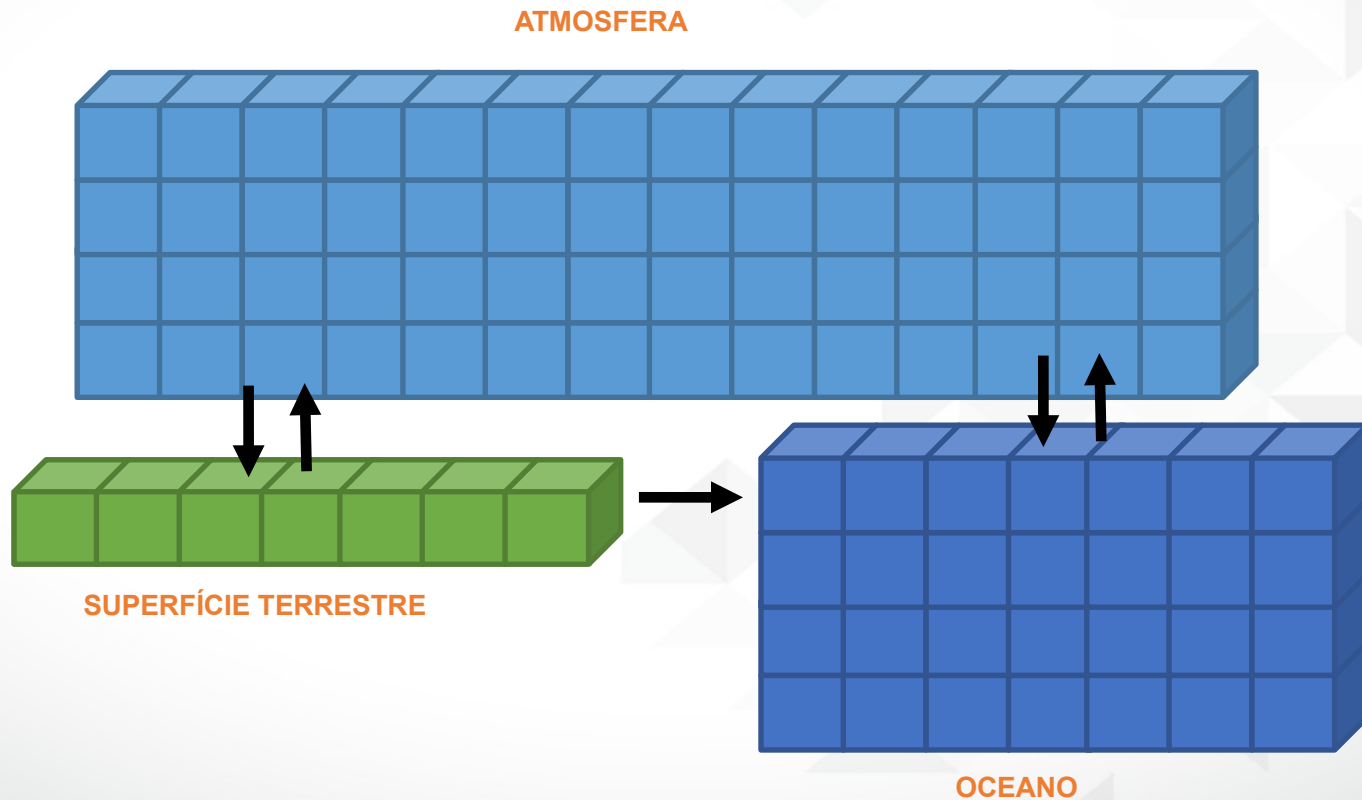
SUPERFÍCIE TERRESTRE



OCEANO

O SISTEMA TERRESTRE

Atmosfera, superfície e oceano são modelados separadamente...



Assimilação de Dados no Sistema Terrestre

Os componentes do Sistema Terrestre (atmosfera, superfície continental e oceanos) são modelados separadamente, como vimos.

Da mesma forma, a assimilação de dados pode ser aplicada:

- ➡ em cada componente individualmente
- ➡ ou de forma acoplada, integrando todo o Sistema Terrestre.

Esse é o caminho dos sistemas modernos...
mas isso fica para uma próxima apresentação.

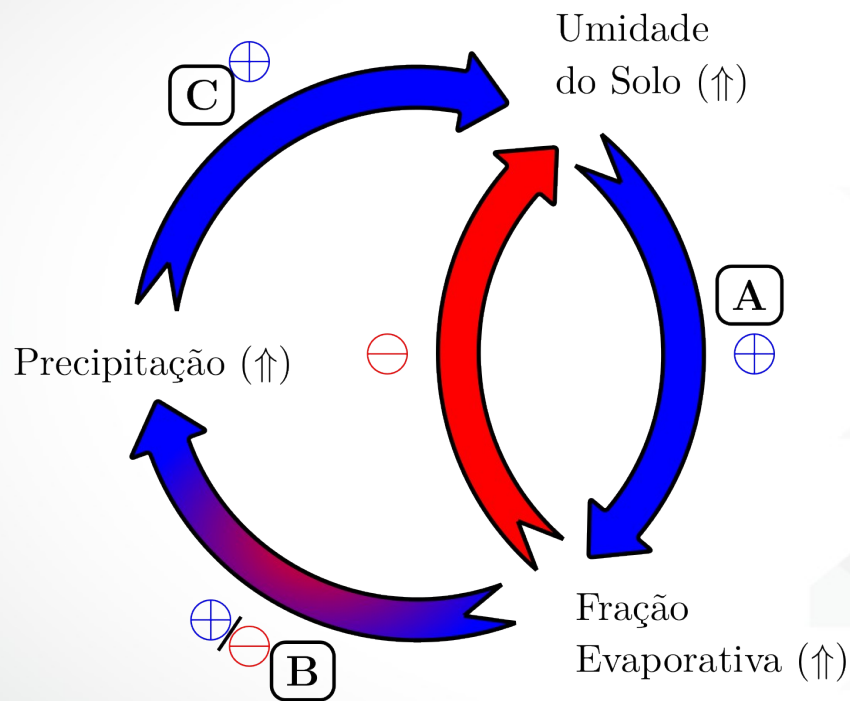
INTRODUÇÃO: Modelo de Superfície

- Modelos de superfície representam a condição de fronteira inferior e a componente terrestre do ciclo hidrológico no Modelo Atmosférico;
- Modelos de superfície sofreram diversas evoluções nas últimas décadas:
 - Múltiplas camadas do solo, levando em consideração textura do solo, escoamento superficial, infiltração variável
 - Parametrização da Neve (densidade, albedo)
 - Parametros da Vegetação (Leaf Area Index)
 - Heterogeneidades, parametrizações em escala de sub-grade
 - Ciclo do carbono e o link com os fluxo de superfície ...

Variáveis Prognósticas dos Modelos de Superfície

- Temperatura do Solo
- Umidade do Solo
- Neve

INTRODUÇÃO: Modelo de Superfície



Seneviratne et al. (2010)

- **Umidade do Solo**

Fonte de informação para previsão de precipitação (Koster, 2000)

Evapotranspiração controlada pela umidade do solo

Baixos níveis de umidade do solo

Evapotranspiração controlada pela atmosfera

Altos níveis de umidade do solo

Guo et al. (2006)

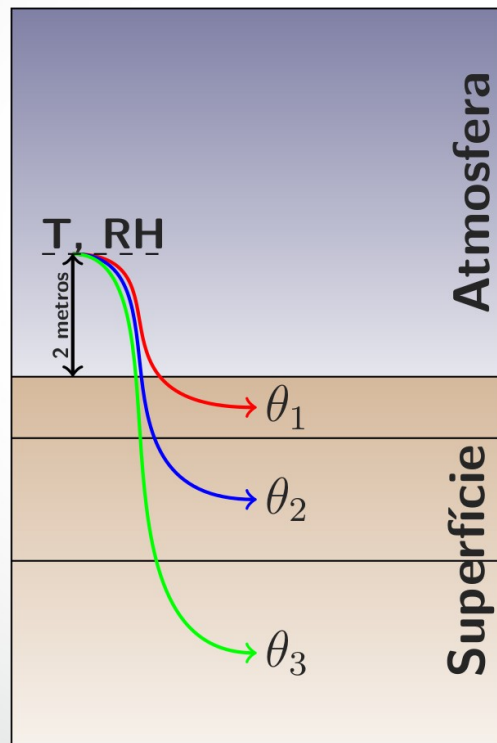
INTRODUÇÃO: Modelo de Superfície

As interações entre a superfície e a atmosfera não são completamente entendidas

- Falta de Observações
- Estudos com modelos numéricos
 - Modelos Imperfeitos
- Inicialização da Umidade do Solo

INTRODUÇÃO: Modelo de Superfície

(Mafouf et al. 1991)
Variáveis Próximas à superfície

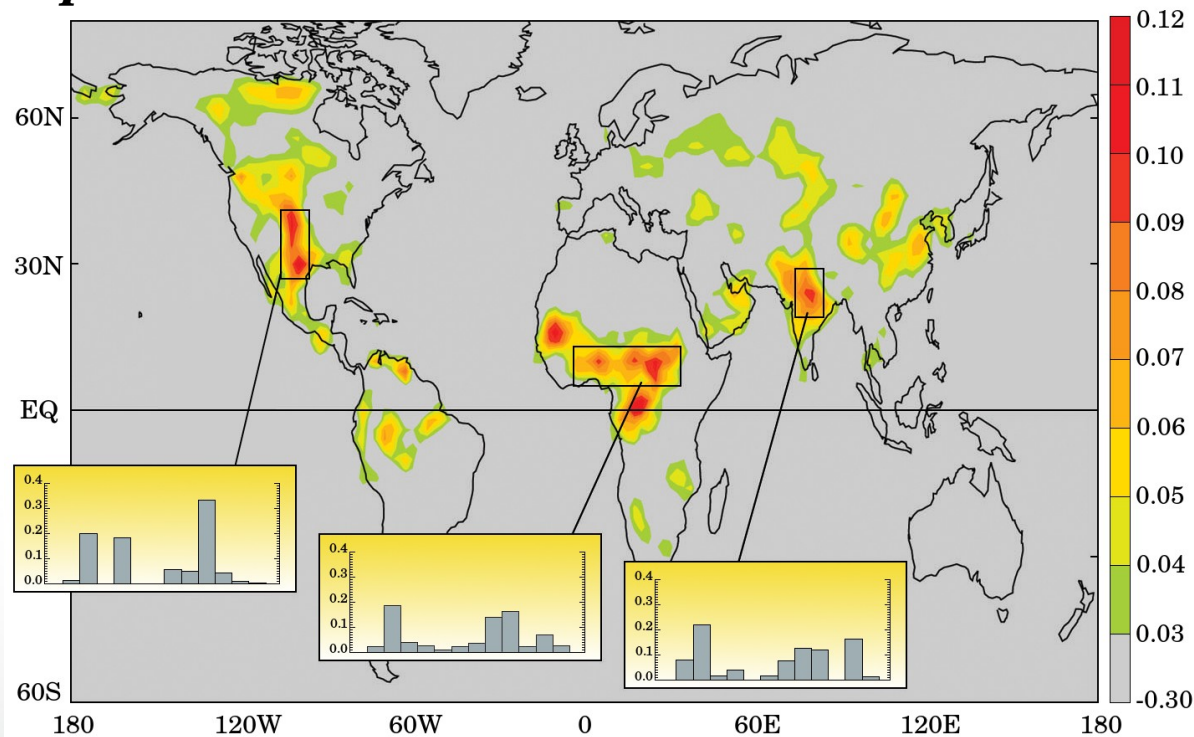


- Duas Metodologias
 - Variacional
 - Sequencial
- Relaciona os erros das variáveis a 2 metros com a umidade do solo
- Compensa os vieses dos modelos atmosférico e de superfície

INTRODUÇÃO: Modelo de Superfície

Koster *et al.*, 2004; Koster *et al.*, 2006 (GLACE)

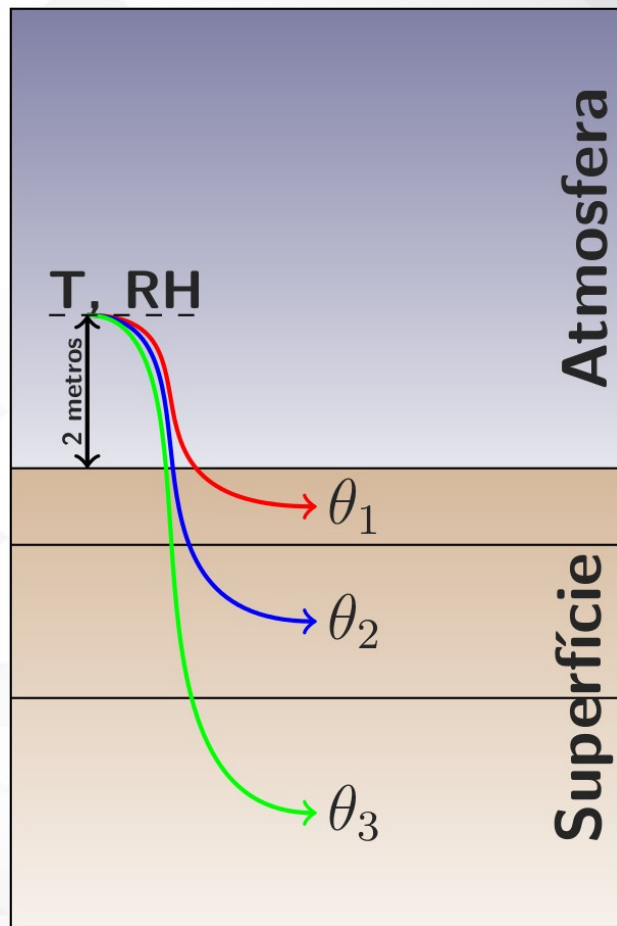
- **“Hot spots”**



Assimilação de Umidade do Solo

- Utiliza-se Interpolação Ótima (OI) => computacionalmente barata
- Realizada regressão linear múltipla => relacionar erros de variáveis atmosféricas com correções de umidade do solo;

$$\theta^a = \theta^p + K \left[y - H(\theta^p) \right]$$



- Análise univariada de T_{2m} e rH_{2m} ;

- Matrizes de Covariância do erro:

- **O** : entre pares de observação
- **B** : background entre pares de observação
- **b** : background entre o ponto de obs i e modelo j

- **I** : Matriz Identidade

Coeficientes

$$\begin{aligned}\sigma_o^{rH} &= 10\% \quad ; \quad \sigma_b^{rH} = 5\% \\ \sigma_o^T &= 2K \quad ; \quad \sigma_b^T = 1.5K\end{aligned}$$

(Mahfouf, 1991)

Interpolação Ótima

$$X_j^a = X_j^b + \Delta X_j^a$$

$$\Delta X_j^a = \sum_{i=1}^N W_i \times \Delta X_i$$

$$(B+O)W=b$$

$$O=\sigma_o^2 \times I$$

$$B(i_1, i_2) = \sigma_b^2 \times \exp\left(\frac{-1}{2} \left[\frac{r_{i_1, i_2}}{d}\right]^2\right)$$

$$b(i, j) = \sigma_b^2 \times \exp\left(\frac{-1}{2} \left[\frac{r_{i, j}}{d}\right]^2\right)$$

Assimilação de Umidade do Solo

Coeficientes Ótimos

$$\alpha = \frac{\sigma_{\theta}}{\varphi \sigma_p^T} \left\{ \left[1 + \left(\frac{\sigma_a^{rH}}{\sigma_b^{rH}} \right)^2 \right] \rho_{T,\theta} - \rho_{rH,T} \rho_{rH,\theta} \right\} F_1 F_2 F_3$$

$$\beta = \frac{\sigma_{\theta}}{\varphi \sigma_p^{rH}} \left\{ \left[1 + \left(\frac{\sigma_a^T}{\sigma_b^T} \right)^2 \right] \rho_{rH,\theta} - \rho_{rH,T} \rho_{T,\theta} \right\} F_1 F_2 F_3$$

$$\phi = \left[1 + \left(\frac{\sigma_a^T}{\sigma_b^T} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{\sigma_a^{rH}}{\sigma_b^{rH}} \right)^2 \right] - \rho_{T,rH}^2$$

Valores Iniciais

Coeficiente	Valor
$\rho_{T,\theta 1}$	-0.82
$\rho_{T,\theta 2}$	-0.92
$\rho_{T,\theta 3}$	-0.90
$\rho_{rH,\theta 1}$	0.83
$\rho_{rH,\theta 2}$	0.93
$\rho_{rH,\theta 3}$	0.91
σ_b^T	1.25K
σ_b^{rH}	9.5%
ρ_{rHT}	-0.99

(ECMWF, 2010)

Assimiação de Umidade do Solo

$$F_1 = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \tanh \left[\lambda (\mu_M - 0.5) \right] \right\}$$

$$F_2 = \begin{cases} 0 & \tau_r < \tau_r^{\min} \\ \frac{\tau_r - \tau_r^{\min}}{\tau_r - \tau_r^{\max}} & \tau_r^{\min} < \tau_r < \tau_r^{\max} \\ 1 & \tau_r > \tau_r^{\max} \end{cases}$$

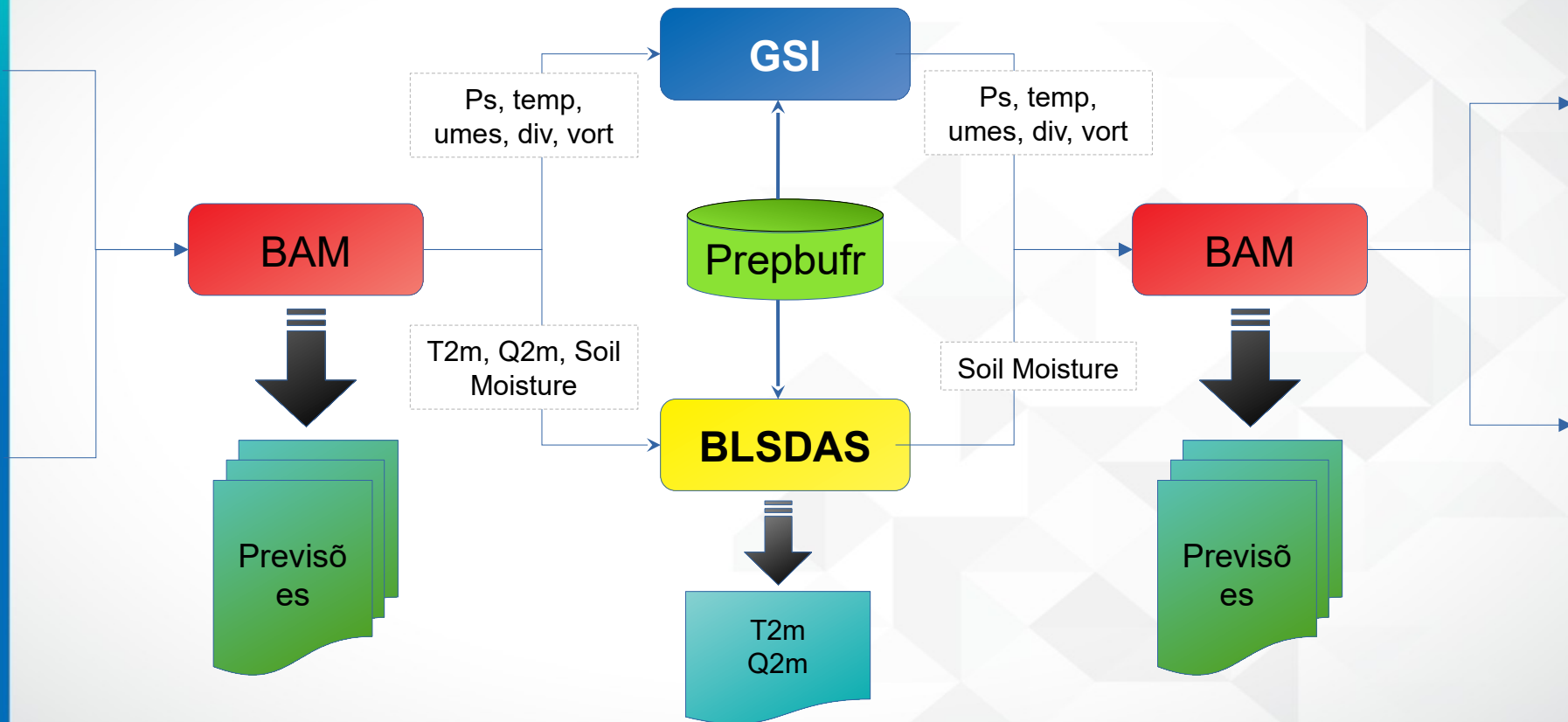
$$F_3 = \begin{cases} 0 & Z > Z_{\max} \\ \left(\frac{Z - Z_{\max}}{Z_{\min} - Z_{\max}} \right)^2 & Z_{\min} < Z < Z_{\max} \\ 1 & Z < Z_{\min} \end{cases}$$

$$\tau_r = \left(\frac{\langle R_g \rangle}{S_o \mu_M} \right)^{\mu_M}$$

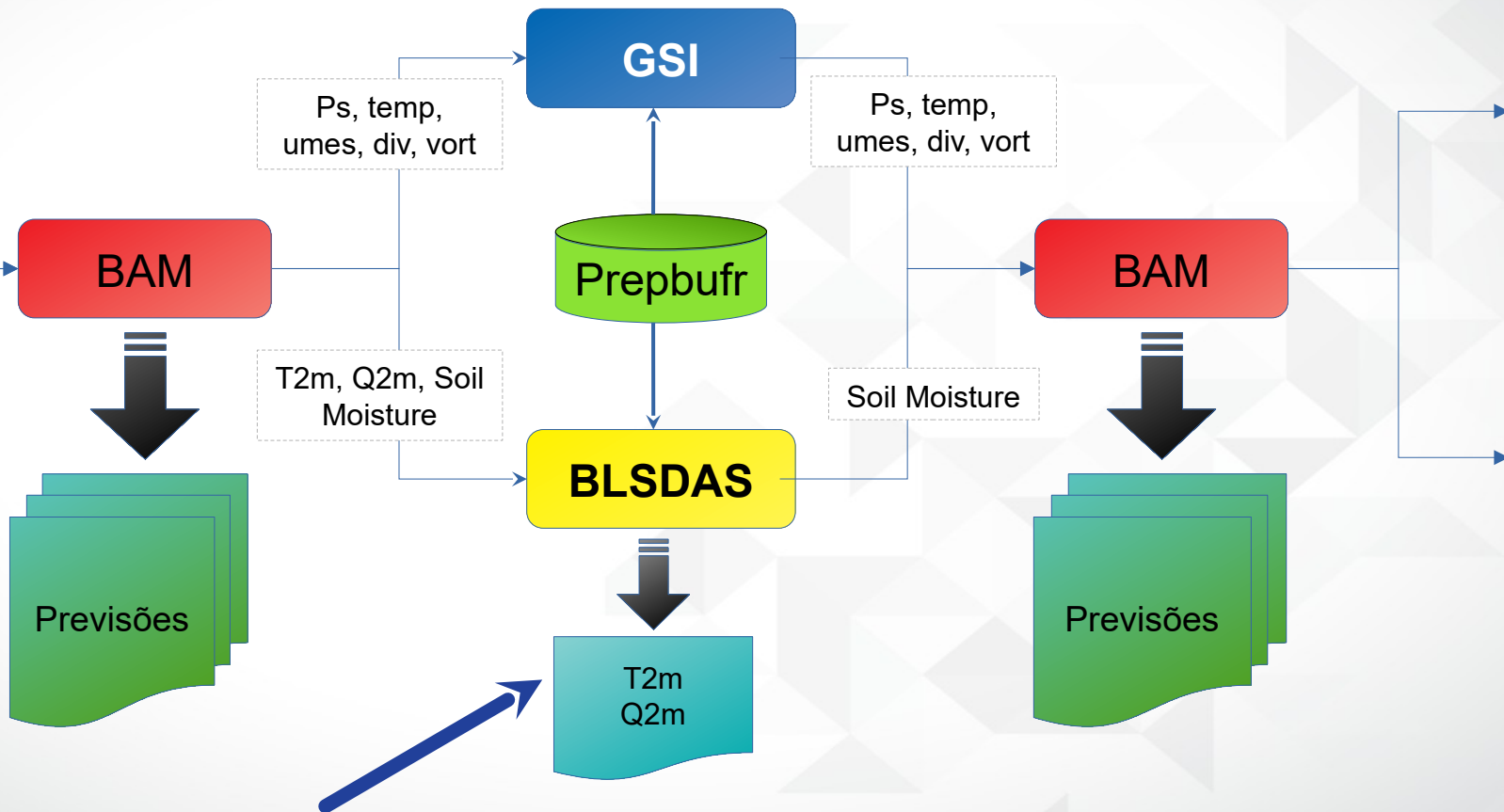
μ_M	Ângulo Zenital Médio
τ_r	Transmitância Atmosférica
S_o	Constante Solar
R_g	Radiação Solar Média
Z	Topografia do Modelo

λ	=	7
τ_r^{\min}	=	0.2 ; τ_r^{\max} = 0.9
Z_{\min}	=	500m ; Z_{\max} = 3000m

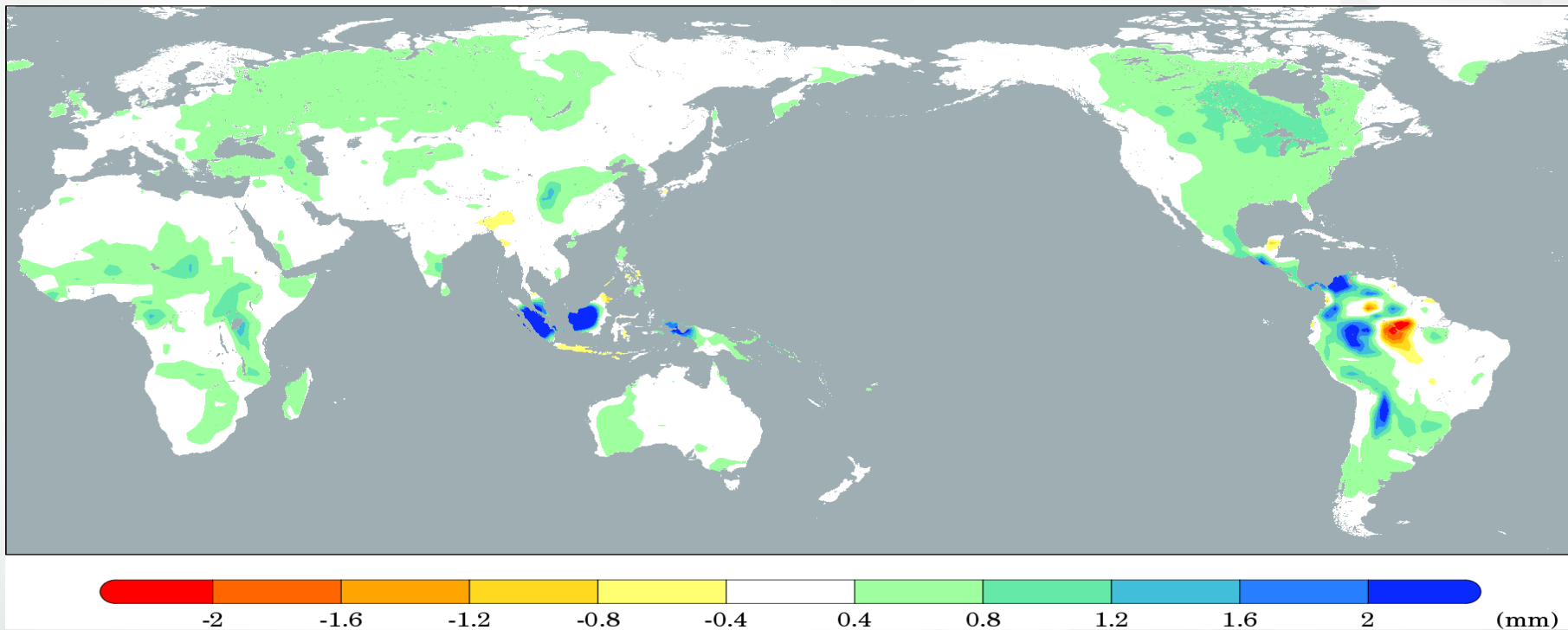
Assimilação de Umidade do Solo



Assimilação de Umidade do Solo

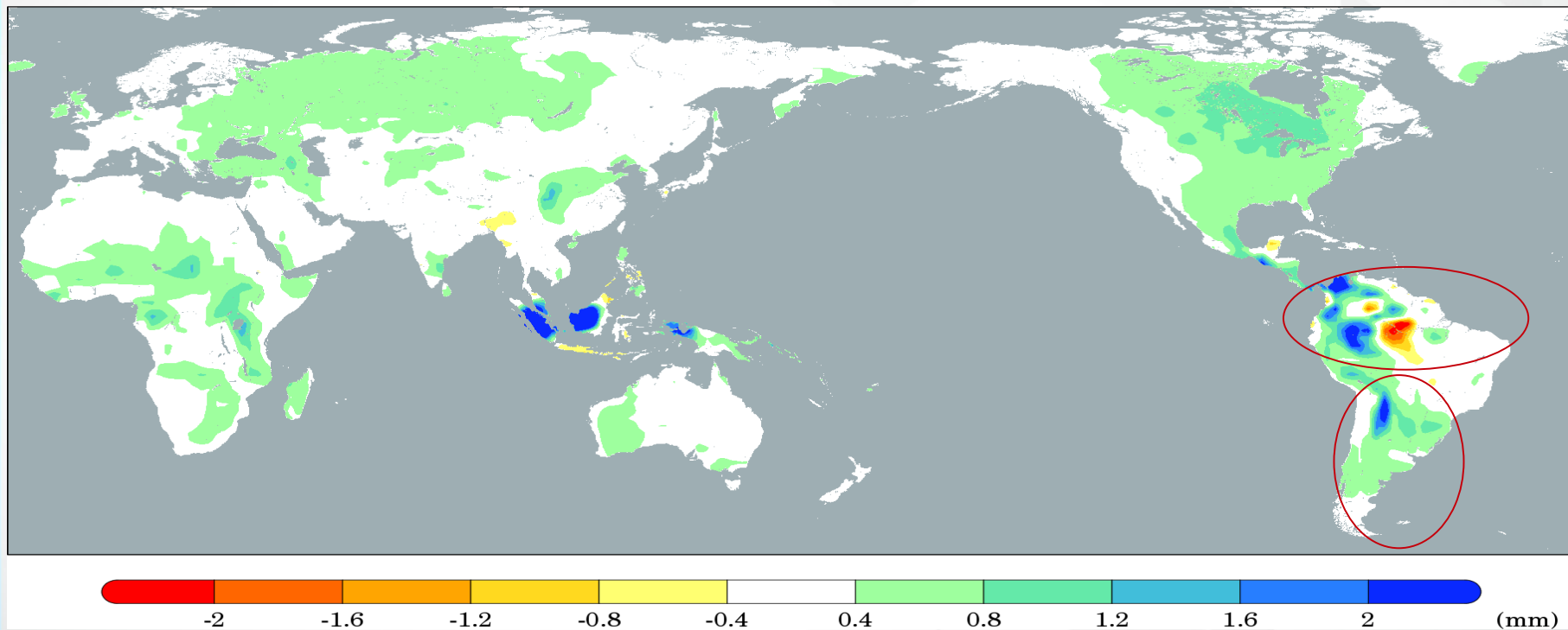


Assimiação de Umidade do Solo



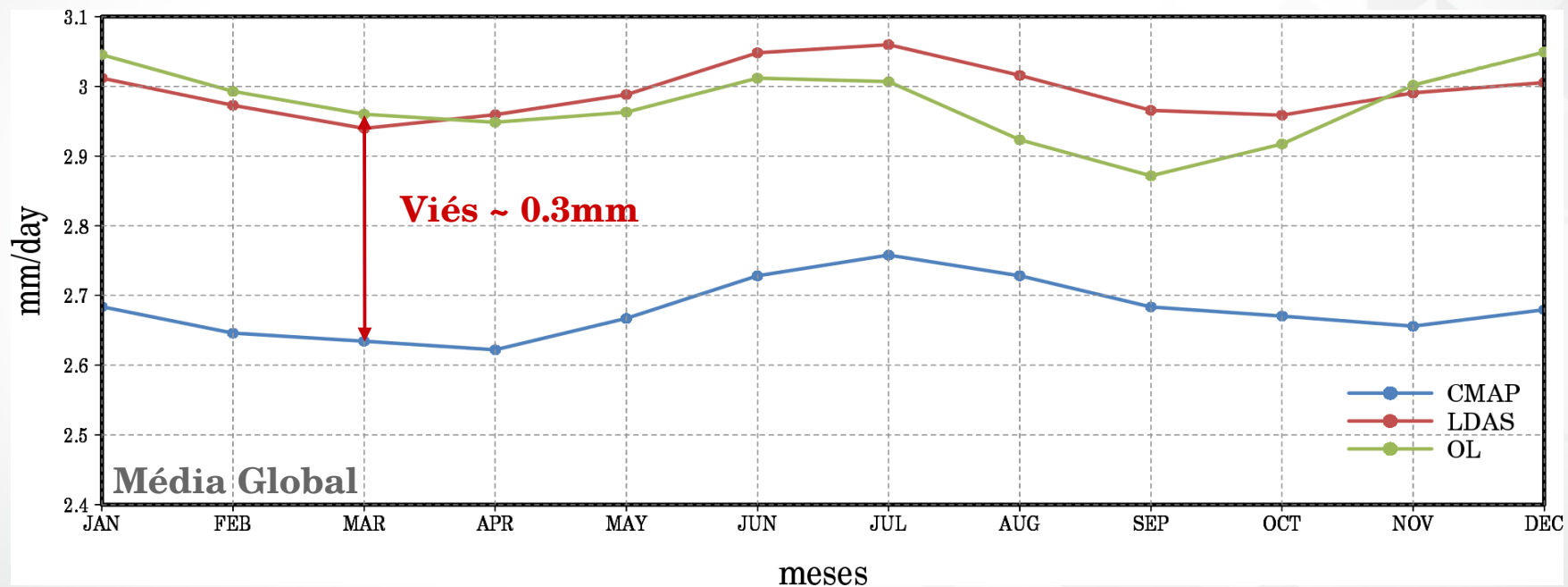
médio entre os anos 1998-2014

Assimiação de Umidade do Solo



médio entre os anos 1998-2014

Assimilação de Umidade do Solo



médio entre os anos 1998-2014

Assimilação de Umidade do Solo

Correlação

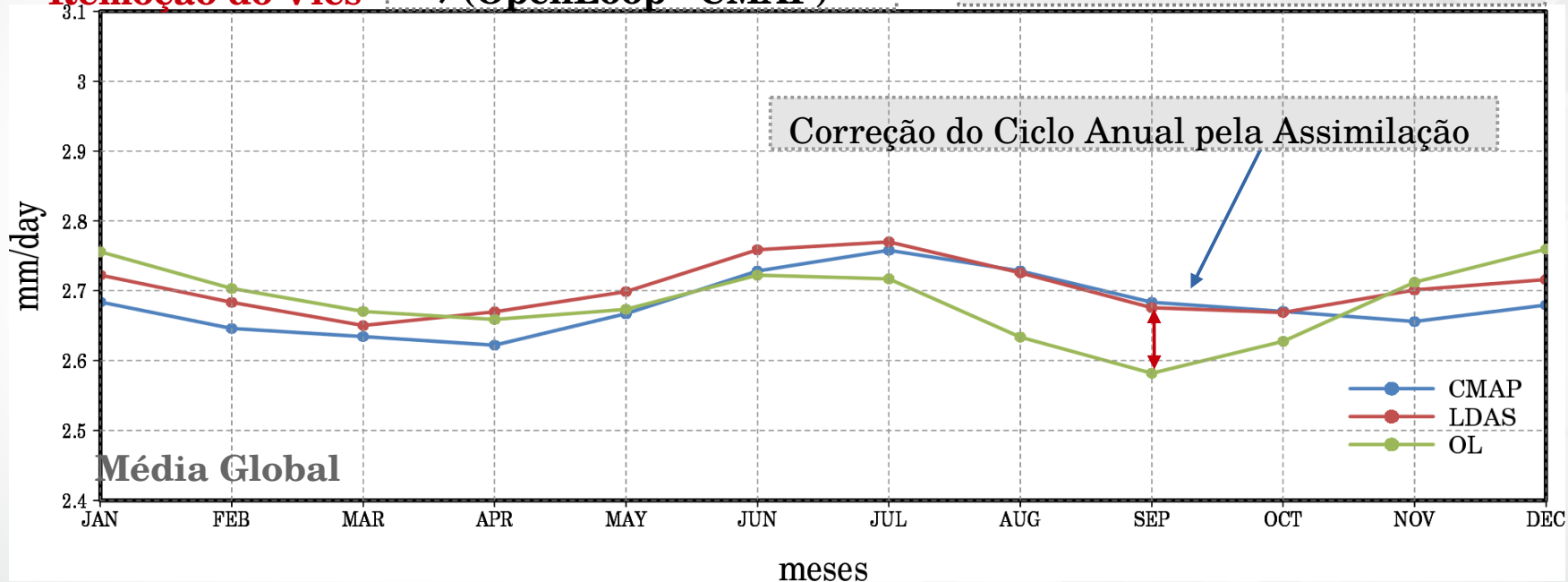
Sem Assimilação de Dados = 0.44

Com Assimilação de Dados = 0.80

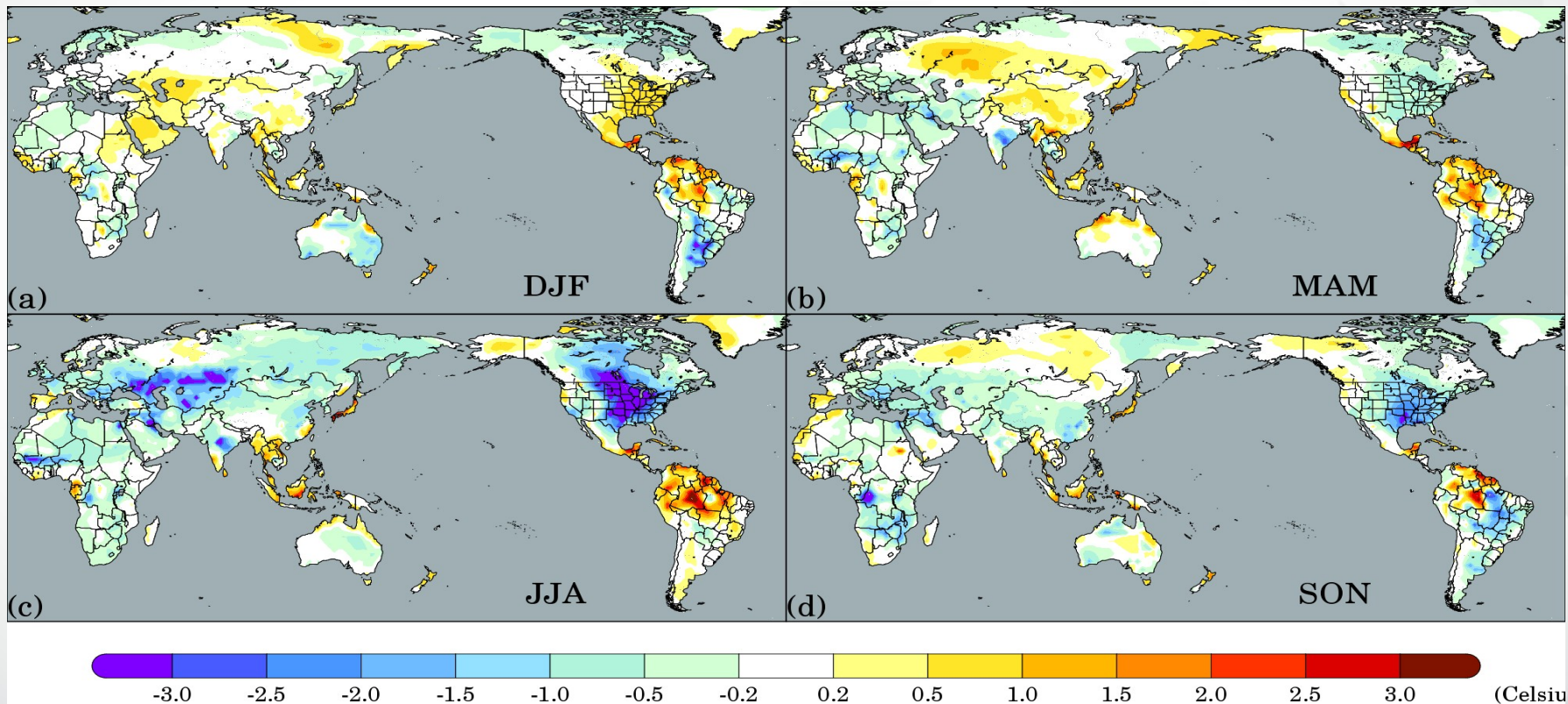
Remoção do Viés

→ (OpenLoop - CMAP)

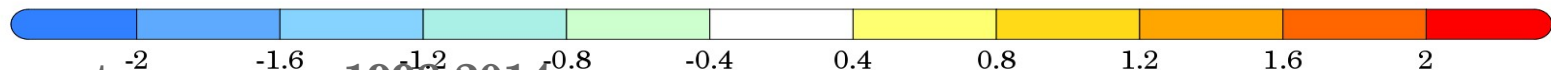
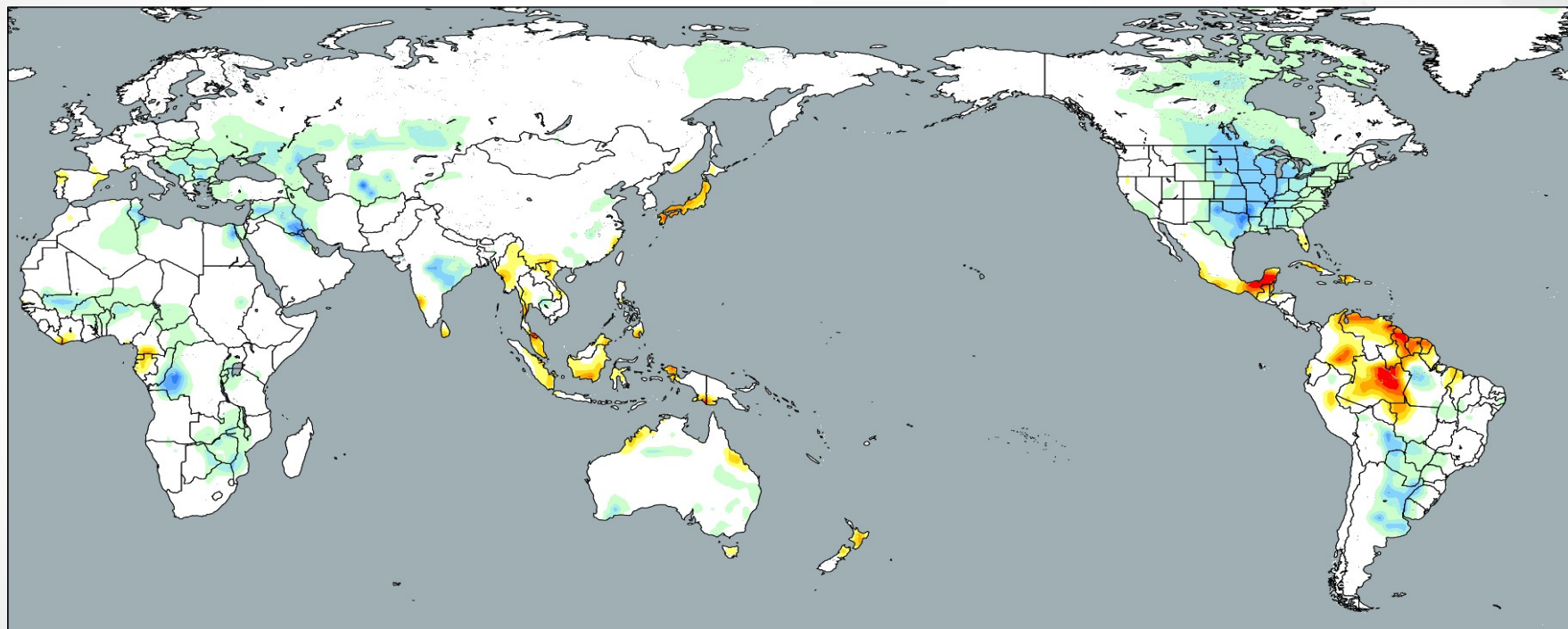
Correção do Ciclo Anual pela Assimilação



Diferença Média Sazonal de Temperatura à 2 metros



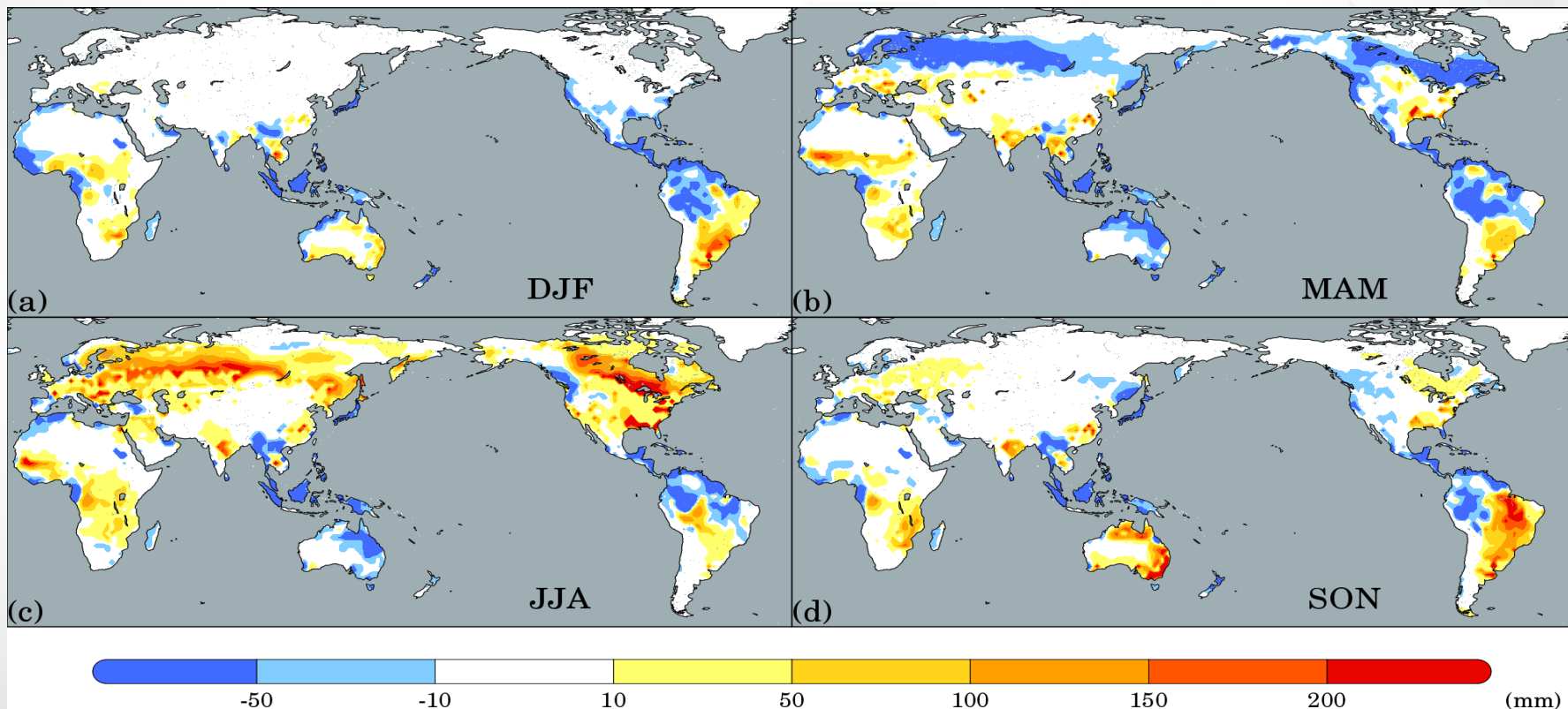
Diferença Média Anual de Temperatura à 2 metros



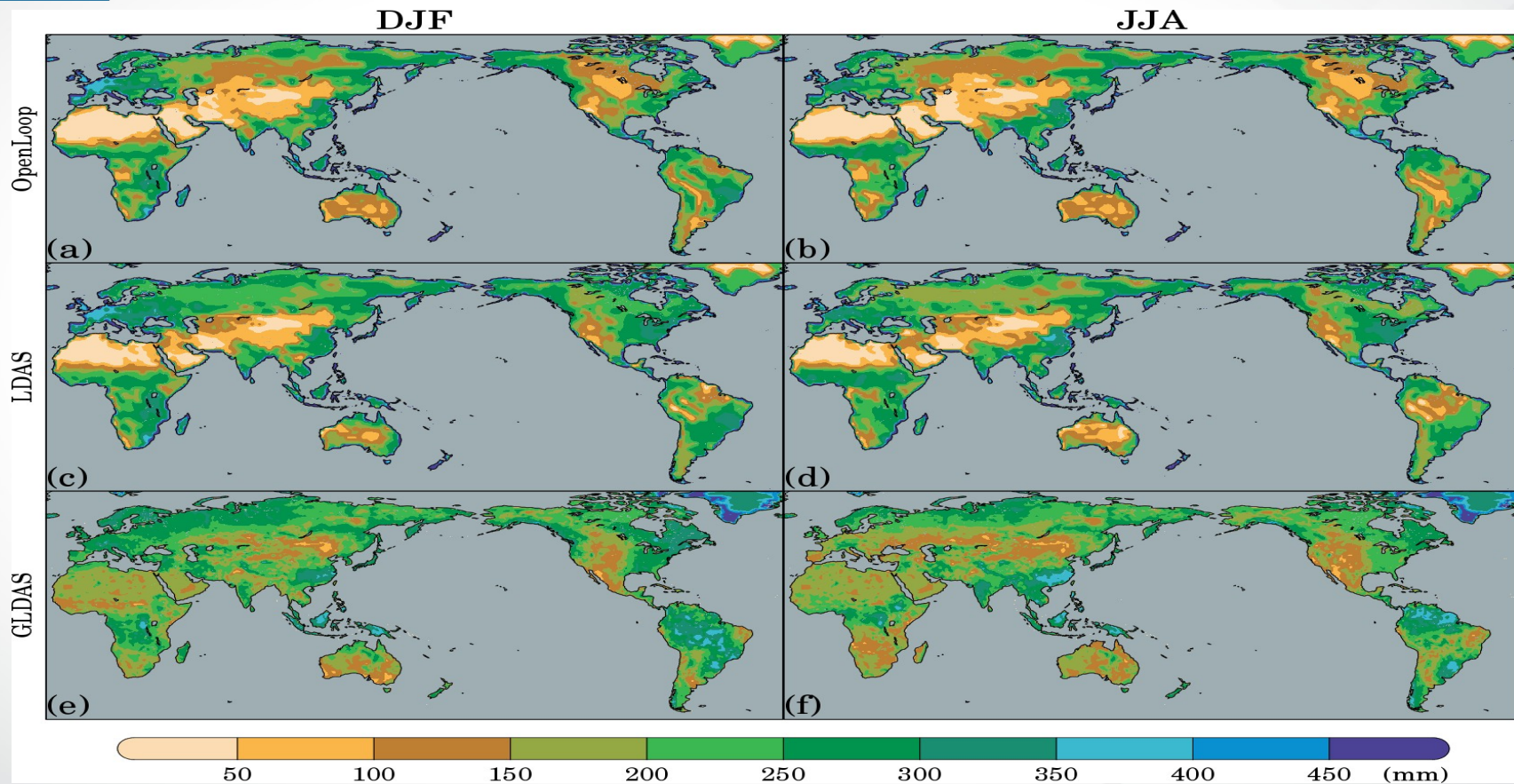
médio entre os anos 1998-2014

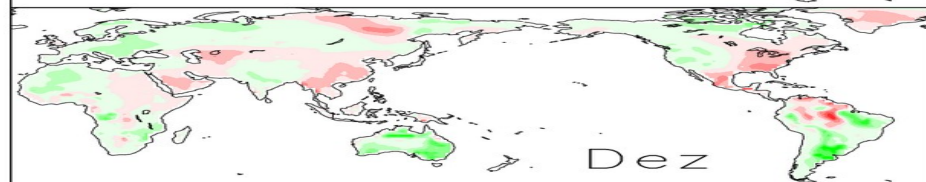
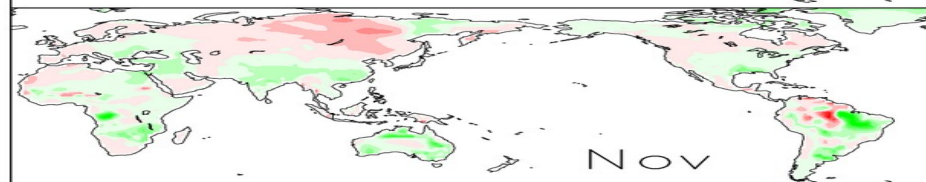
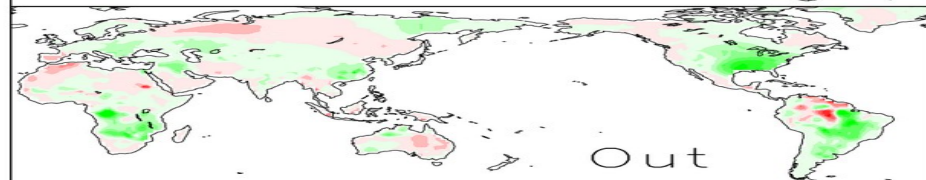
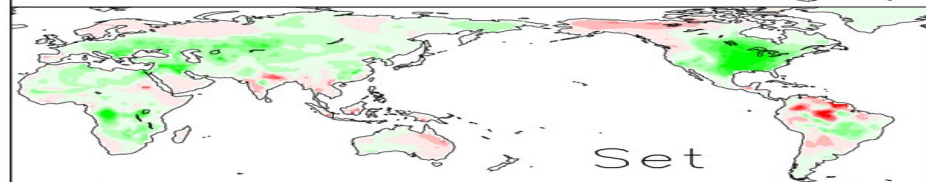
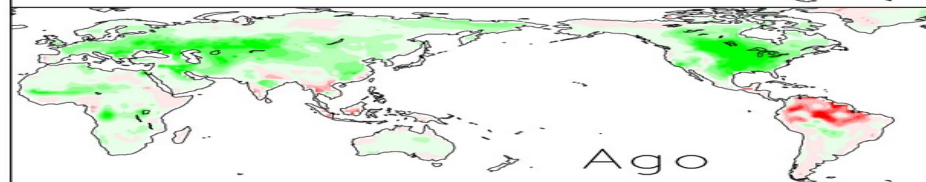
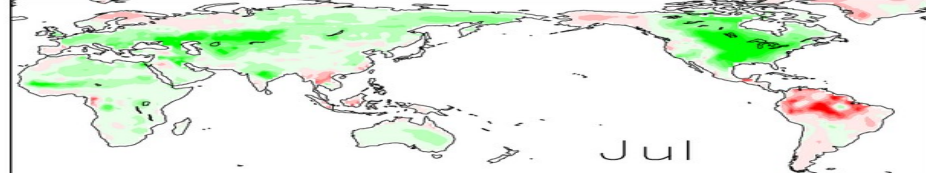
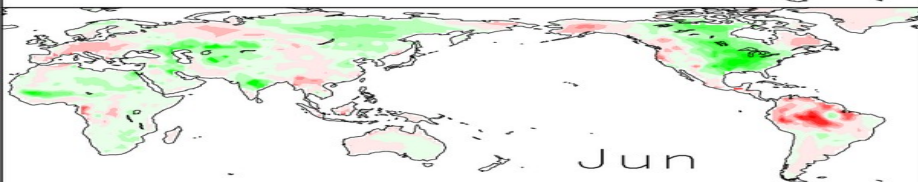
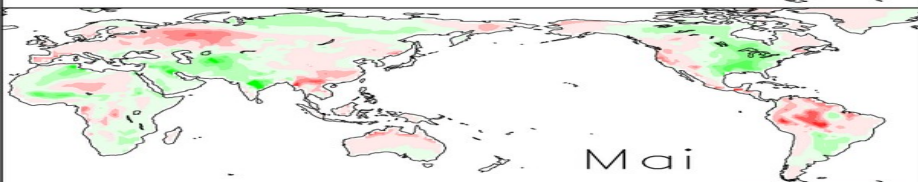
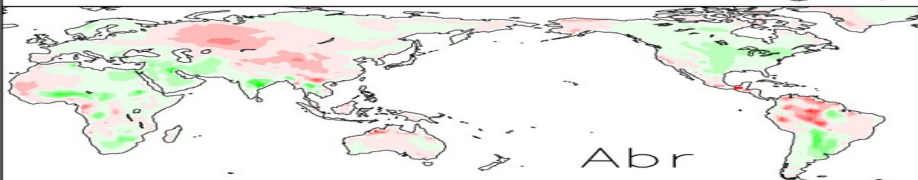
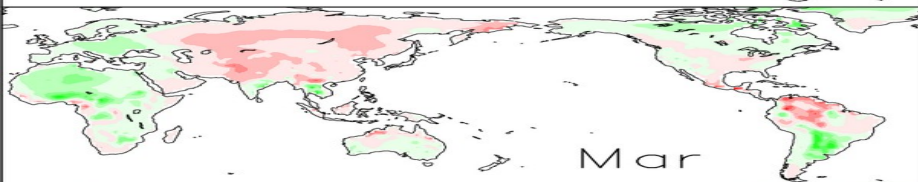
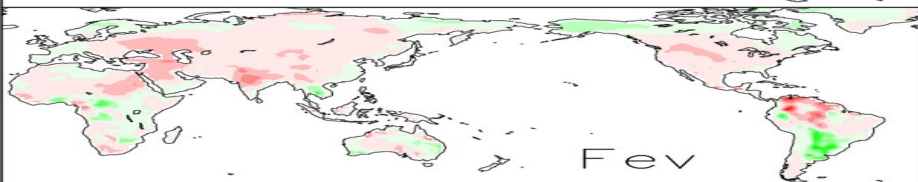
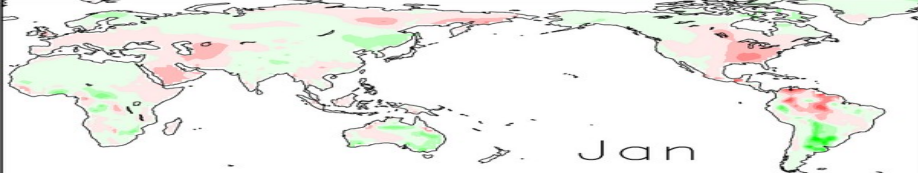
(Celsius)

Diferença Média Sazonal da Umidade do Solo



Média Sazonal da Umidade do Solo





Obrigado !