

Monitoramento da Ionosfera em Quase Tempo Real a partir de Redes GNSS NTRIP

Claudinei Rodrigues de Aguiar
Paulo de Oliveira Camargo

Sumário

- Considerações Iniciais
- Grade Ionosférica
- Alguns Resultados
- Considerações

Histórico

- Mod_Ion (Camargo, 1999) (1995 a 1999): aplicações em pós processamento;
- Estudos do Filtro de Kalman (Camargo, 2001);
- Mod_Ion_FK (Aguiar, 2005) - (2003 a 2005): Mod_Ion + Filtro de Kalman; alterações na função de modelagem; controle de qualidade;
- Rede GNSS-SP (2006 - atual): disponibilidade de dados em tempo real;

Histórico

- Grade Ionosférica e GIVE (atual):
 - Esforço pioneiro
 - Utiliza o filtro Kalman
 - Estima as tendências interfrequências
 - Controle de qualidade por arco de satélites
 - Opção de não considerar a ionosfera como uma simples camada

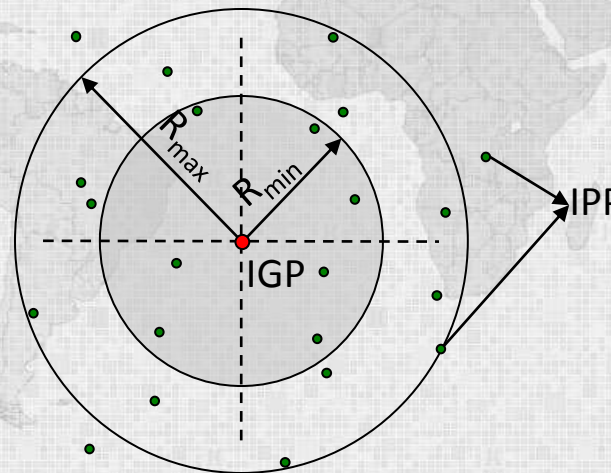
Grade Ionosférica

- Calculo do atraso ionosférico para cada IPP:

$$I_{1r}^s = \frac{(PS_2 - PS_1)_r^s}{\gamma - 1} - \frac{c(ds_P^s + dr_P)}{\gamma - 1}$$

$$\sigma_i^2 = \frac{\epsilon_{PS}^2 + \epsilon_{IFB}^2}{sf(el)^2} \left[1 + 0,3e^{-(el/40)^2} \right]$$

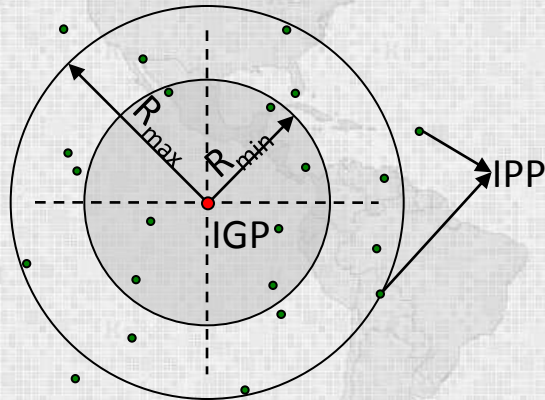
GIVE



- Raio de Busca: determina os IPPs que são utilizados para estimar o atraso ionosférico do IGP;
- $R_{max} = 2100$ km para o WAAS;
- $R_{min} = 250$ km (raio de busca inicial);
- $R_{max} = 1000$ km (melhor para a região equatorial);

Grade Ionosférica

- Geração da Grade Ionosférica e do GIVE



Se $n \text{ IPPs} > 7$ – Função quadrática

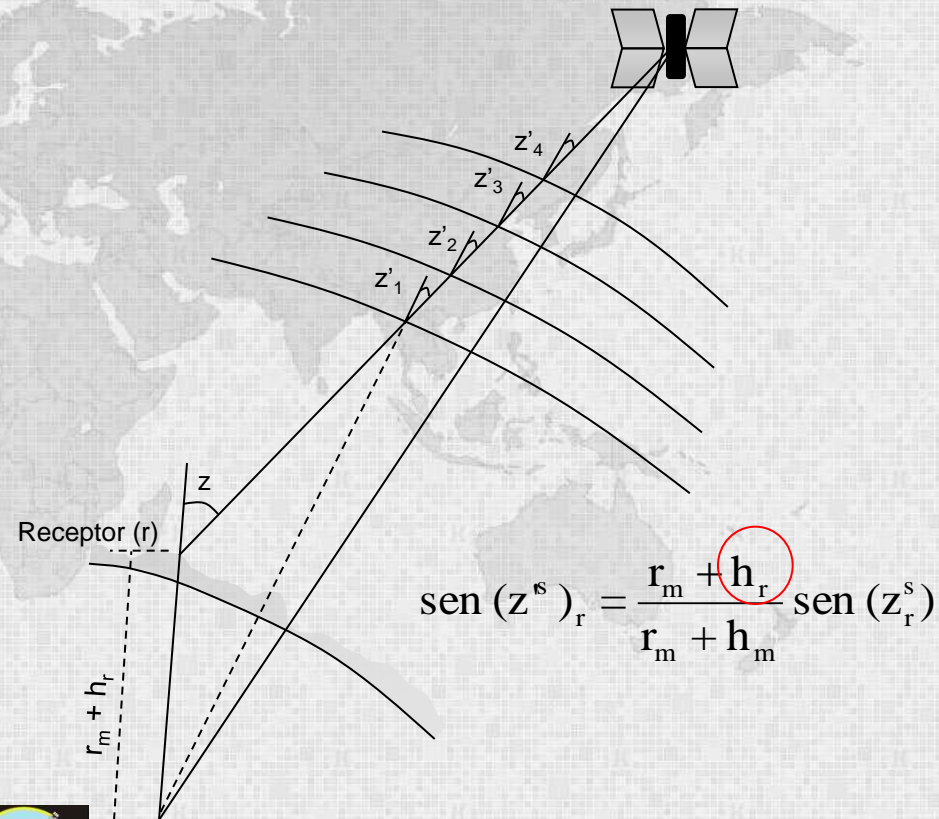
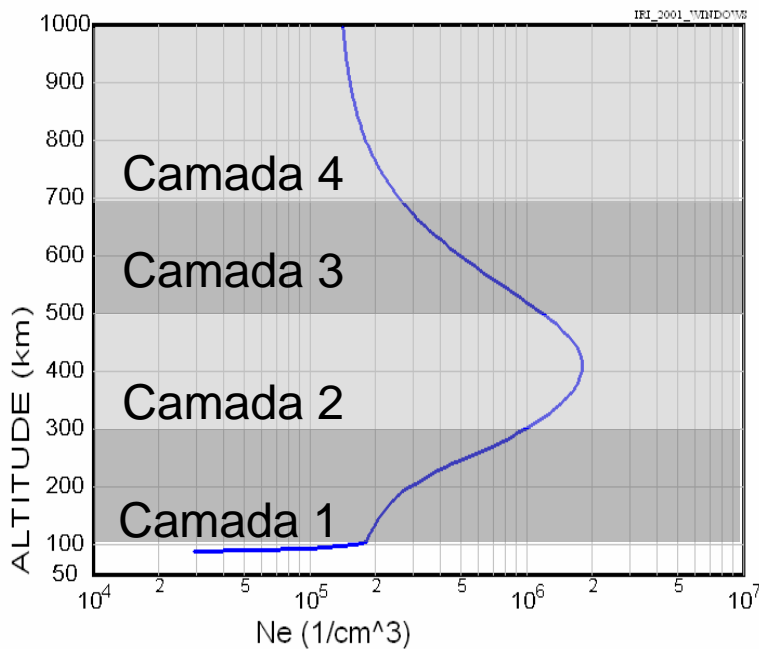
Se $5 \leq n \text{ IPPs} \leq 7$ – Aproximação do plano de 1ª ordem

Se $2 \leq n \text{ IPPs} \leq 4$ – Inverso do quadrado da distância

Se $n \text{ IPPs} = 1$ – vizinho mais próximo para futuras aproximações no filtro de Kalman.

Grade Ionosférica

- Modelo Decomposto



Grade Ionosférica

- Cálculo do GIVE: propagação de erros

Observação:
$$\sigma_i^2 = \frac{\varepsilon_{PS}^2 + \varepsilon_{IFB}^2}{sf(el)^2} \left[1 + 0,3e^{-(el/40)^2} \right]$$

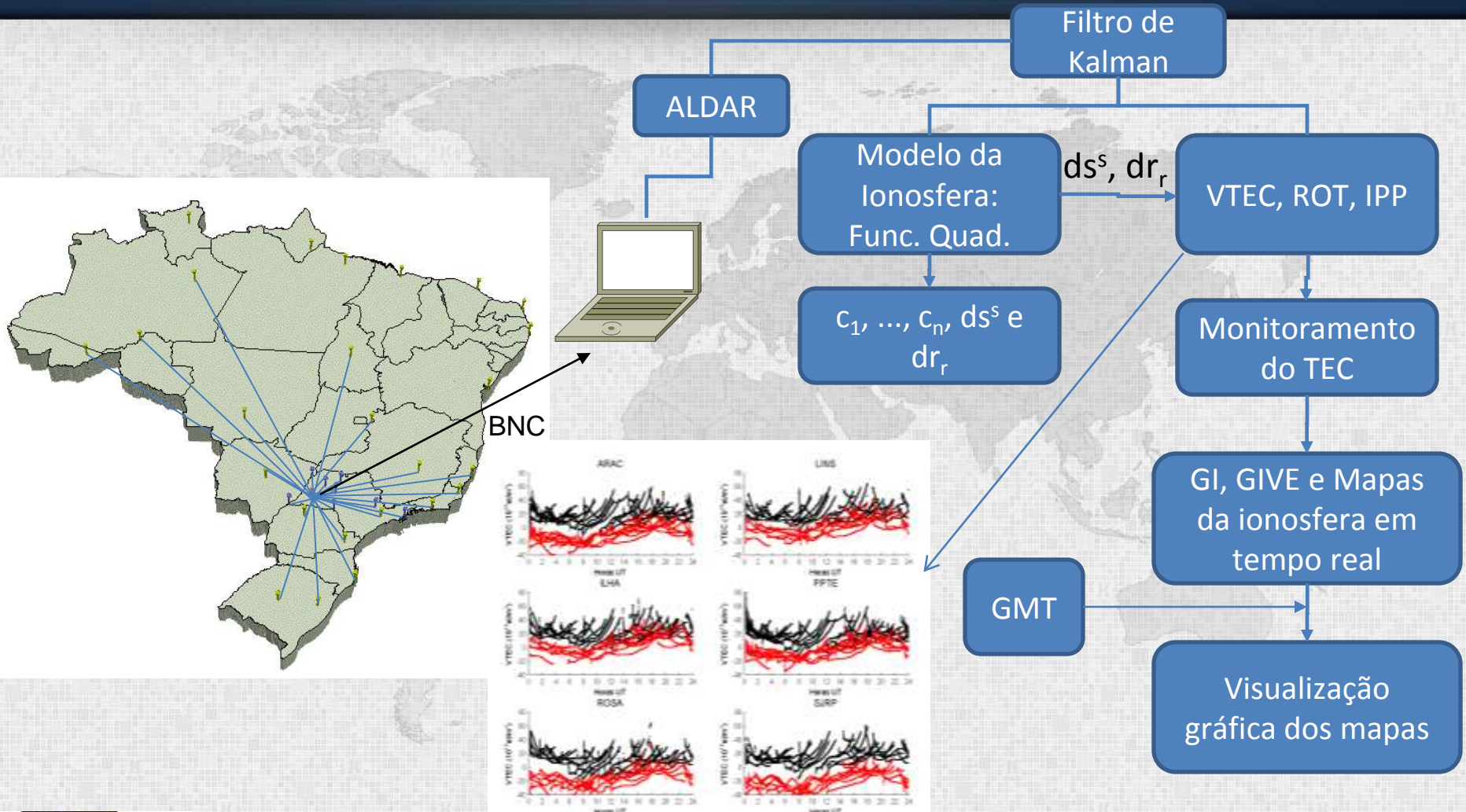
Grd. Decomp.:
$$\left(\sigma_i^2 \right)_j = fc_j^2 \sigma_i^2$$

Relaxamento:
$$\varepsilon_j^2 = \frac{\left(\sigma_i^2 \right)_j}{\Delta},$$



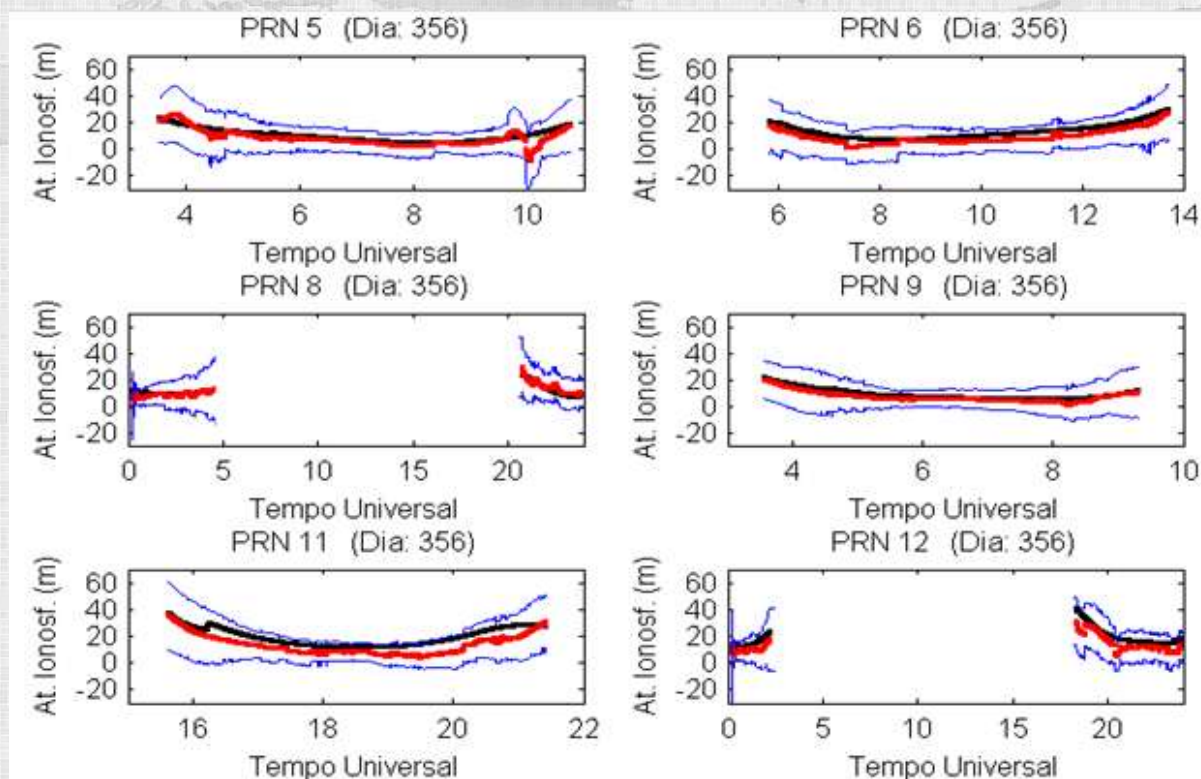
$$GIVE = 3,29 / \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{\varepsilon_j^2} \right), \text{ para } 99,9\% .$$

Processamento



Alguns Resultados

- IG_I versus $I_{REFER\hat{E}NCIA}$: grade decomposta



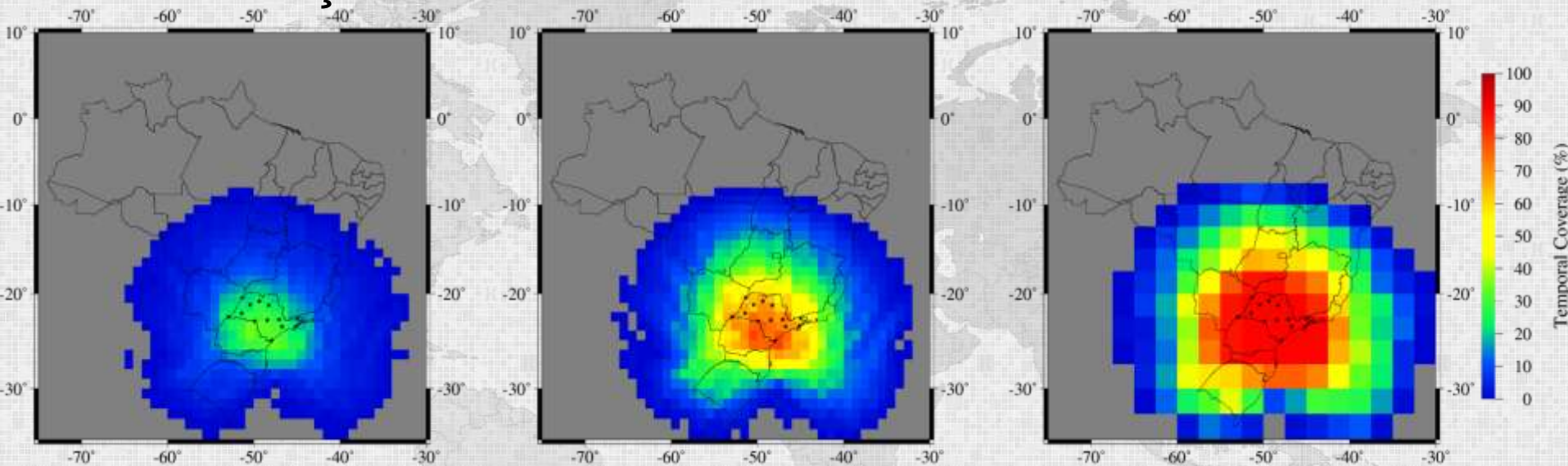
- I_{PPTE}
- $I_{DGrd_r.25}$
- Limite de erro

Alguns Resultados

- Modelos de simples camadas e de grade decomposta:
 - resultados similares para ângulos $>$ de 30° ;
 - para baixos ângulos o modelo de grade decomposta sofre menos influência do gradiente espacial do TEC.
- Em períodos de alto gradiente espacial do TEC e sob condições de distúrbios na ionosfera, os melhores resultados são obtidos ao aplicar a grade decomposta.
- Para períodos de baixa atividade solar e de baixo gradiente espacial do TEC o modelo de simples camada pode ser usado.

Alguns Resultados

- Simulação GPS/GLONASS:

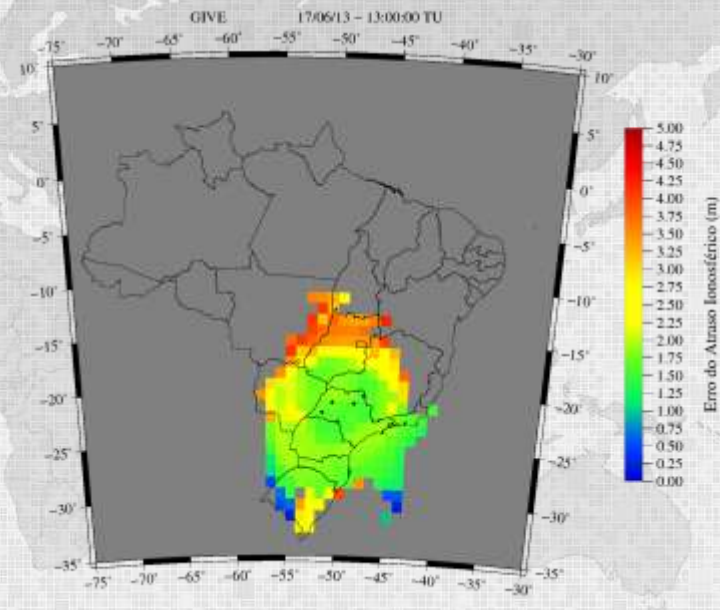
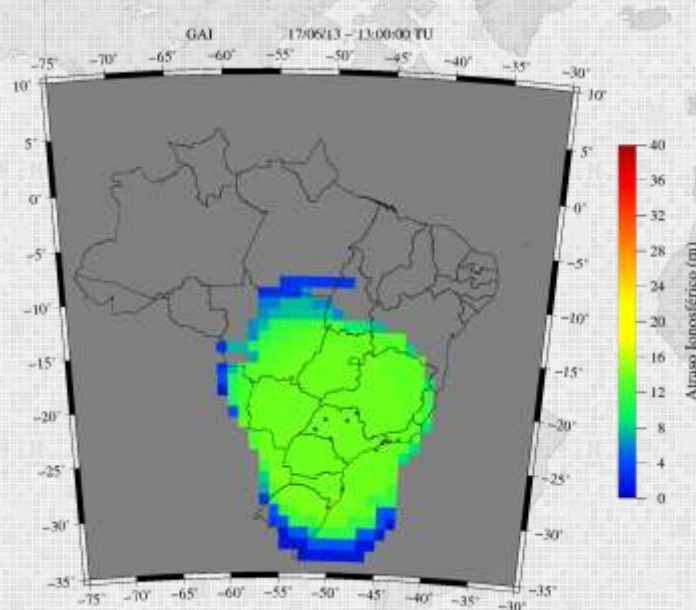


- Resolução da grade:

- densidade e distribuição das estações de referência
- comportamento espacial e temporal do TEC.
- Qual resolução adotar?

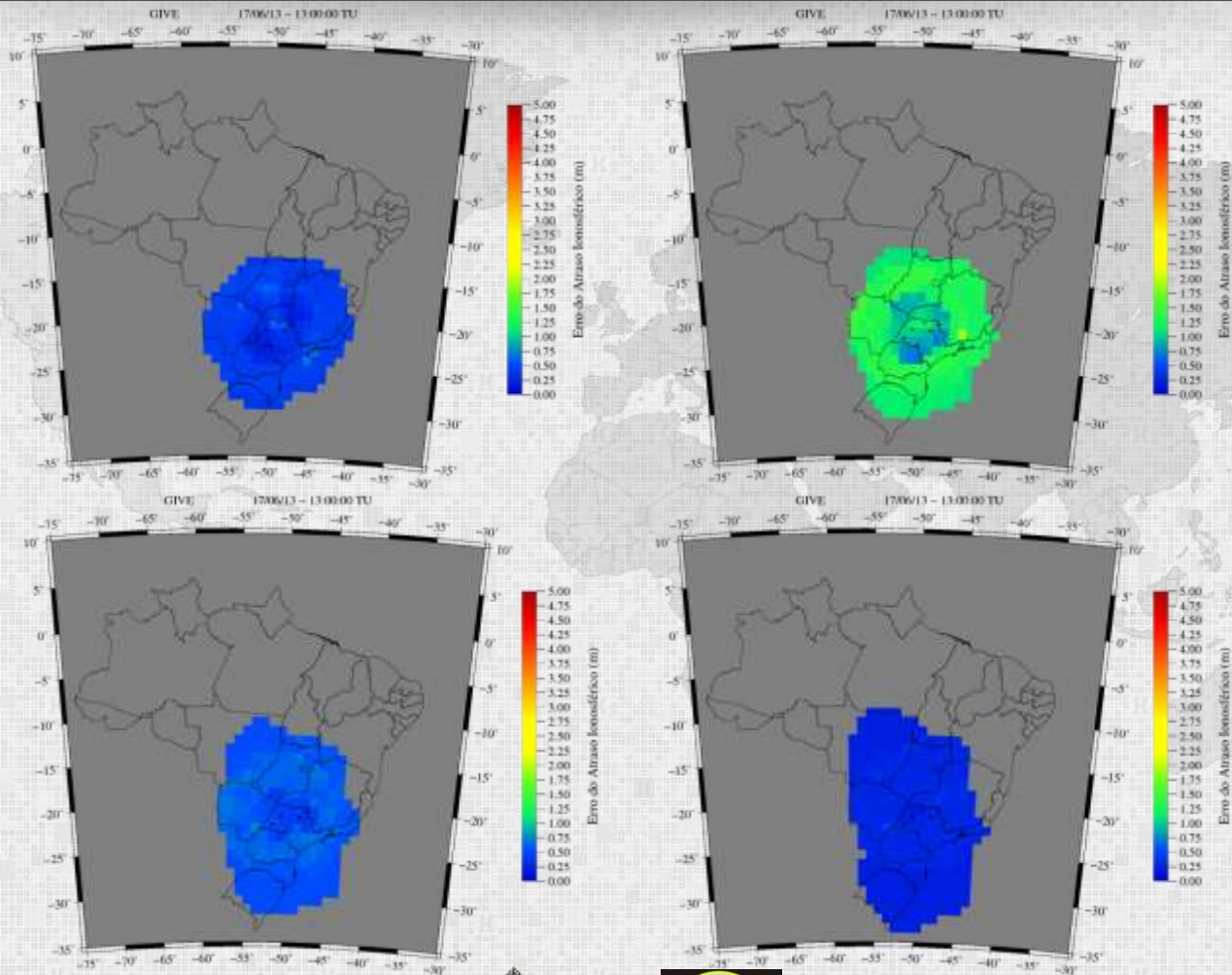
Alguns Resultados

- Modelo de simples camada



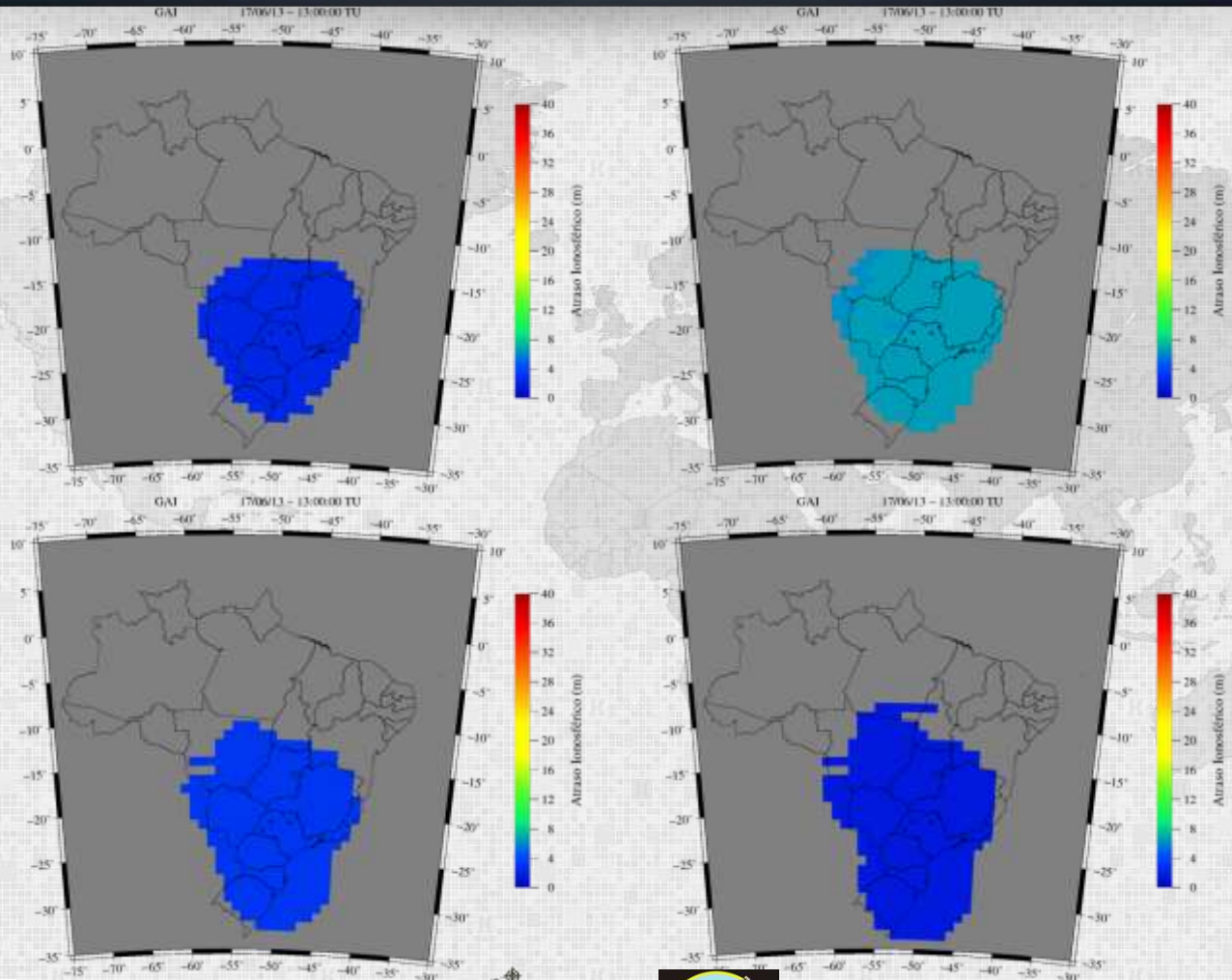
Alguns Resultados

GIVE

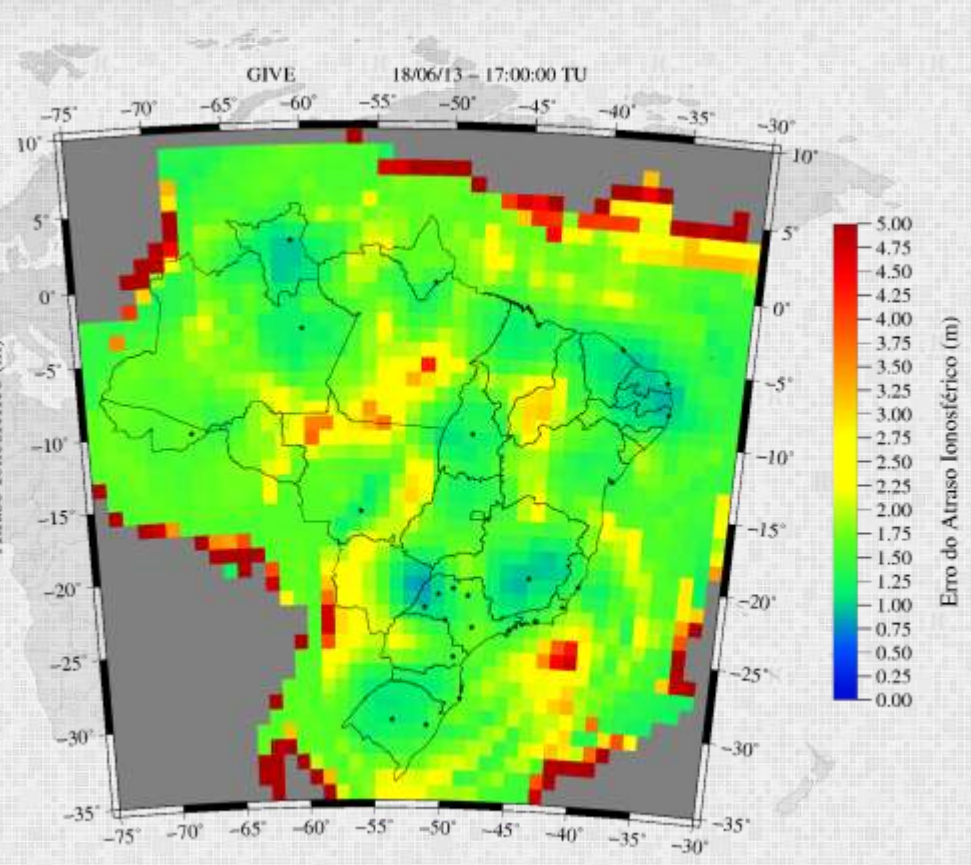
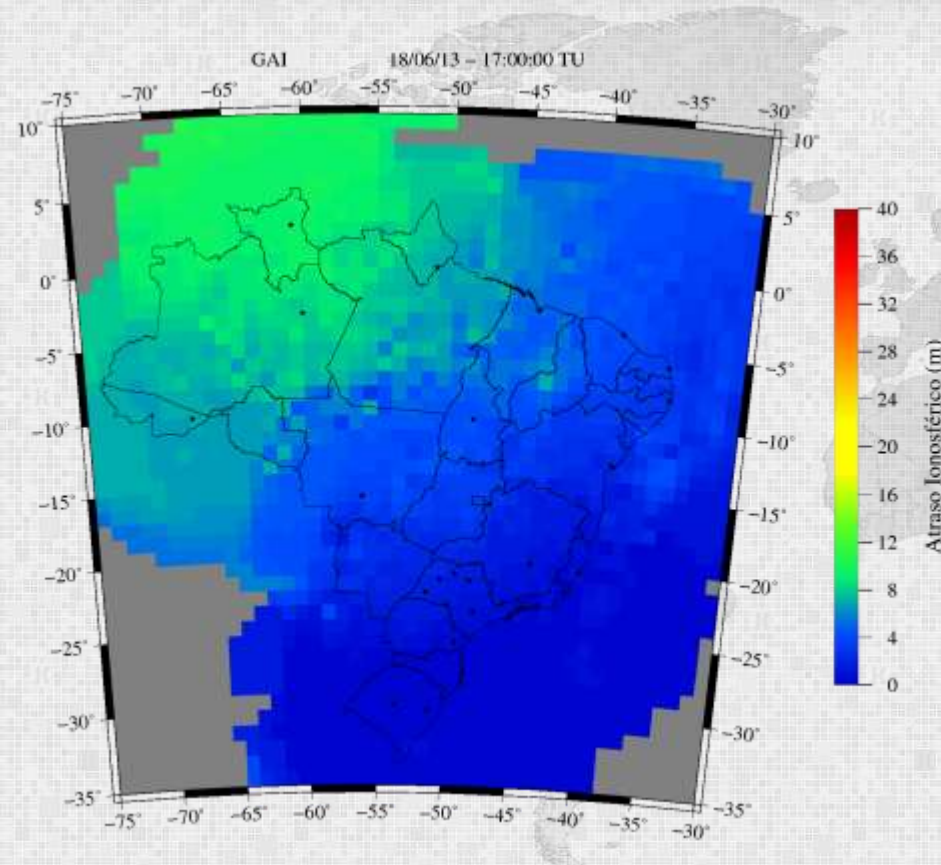


Alguns Resultados

GAI

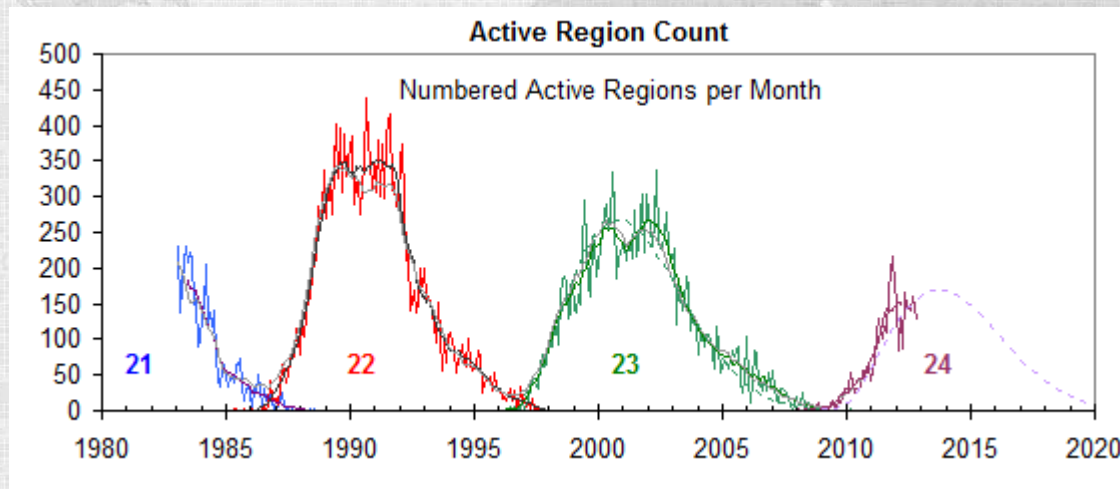


Alguns Resultados



Considerações

- Perspectivas:
 - Número cada vez maior de estações
 - Simplificação no processo de modelagem



Considerações

- Modelo de Grade Decomposta:
 - Estudo de uma função para a distribuição vertical do TEC.
- Estimativa da tendência interfrequência:
 - Melhorar a acurácia das estimativas
 - Controle de qualidade

Considerações

- Atualizações (versão instável):
 - Arquivos IONEX:
 - resolução temporal: 10 minutos
 - Resolução espacial: não definido
 - Processamento contínuo (resolvido)
 - Ampliação do número de estações processadas simultaneamente (de 180 para 800)
 - Reestruturação do código

Obrigado pela Atenção!!

