

# Webinar Fontes Renováveis Variáveis

Contribuições para modelagem das fontes renováveis variáveis  
no planejamento e operação do SIN



## *Séries Temporais de Longo Prazo para Suporte a Prognóstico de Geração Fotovoltaica e Eólica no SIN*

GT METODOLOGIA  
28/10/2020

Coordenação: CCEE

Assessoria Técnica:

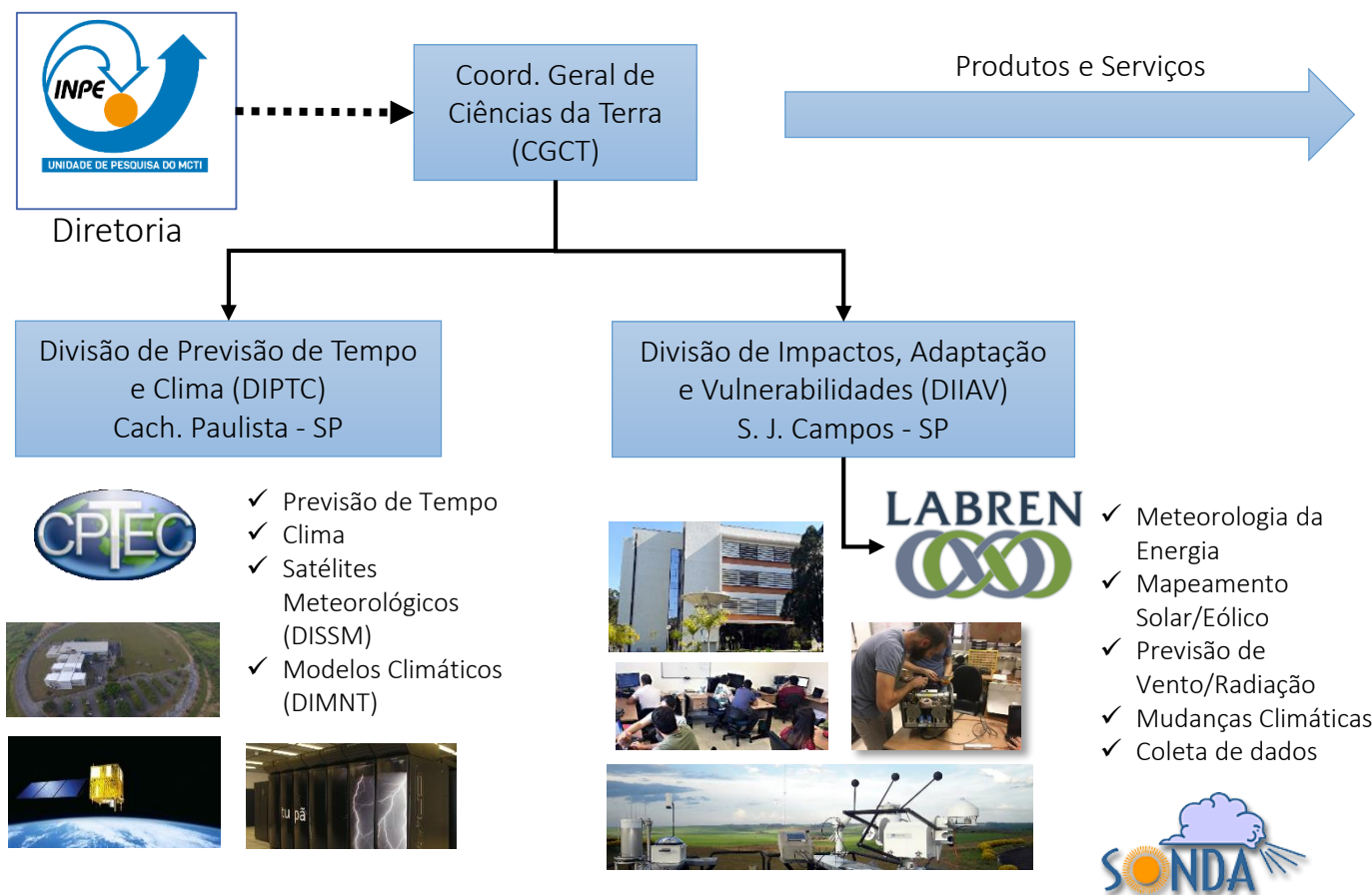


# Agenda

- O INPE como provedor de dados geoespaciais
- Motivação
- Séries de longo prazo de irradiação solar (fotovoltaica)
- Séries de longo prazo de vento em superfície (eólica)
- Importância da estrutura espaço-temporal das séries na quantificação da incerteza

# INPE: Estrutura e Serviços

- O INPE enquanto órgão ligado ao MCTI fornece produtos e serviços a diversos ministérios



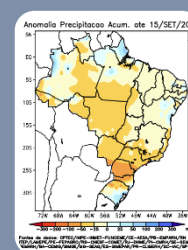
## Meio Ambiente

- Desmatamento
- Queimadas
- Mudanças Climáticas



## Agricultura

- Área de cultivos
- Uso e cobertura do solo
- Previsão climática



## Energia

- Previsão Numérica de Tempo
- Precipitação acumulada
- Dados Climáticos

# Por quê séries de longo prazo são necessárias?

## ❑ Motivação

- NEWAVE: Planejamento de longo-prazo => estimativa confiável dos parâmetros estatísticos de geração => Séries mais longas
- Diferentemente do recurso hidráulico (ENAs), não há consenso quanto aos métodos de construção de séries históricas e vento e irradiação solar

## ❑ Opções:



# Séries de longo prazo de irradiação solar

## Proposta:

### BRASIL-SR: Modelo Satelital desenvolvido pelo INPE

- Dados públicos
- Resolução: ~15 minutos
- Períodos de 1999 a 2017 (em breve 2020)
- Utilizado em diversos mapeamentos desde 1998
- Calibrado para o Brasil (503 estações)

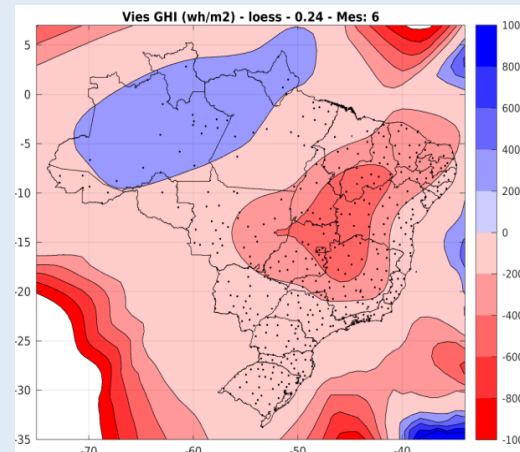
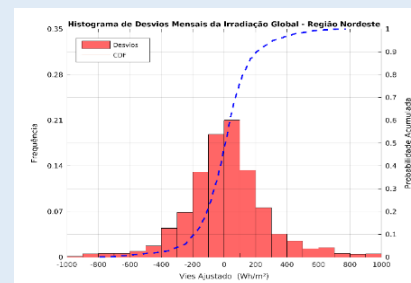
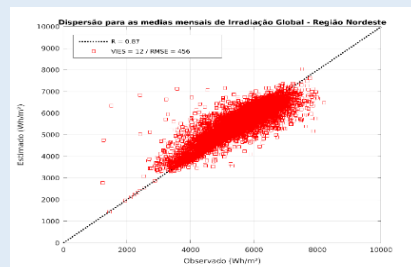
### Validação Diária GHI

- RMSE < 10%
- ME < 0.5%

### Validação Mensal GHI

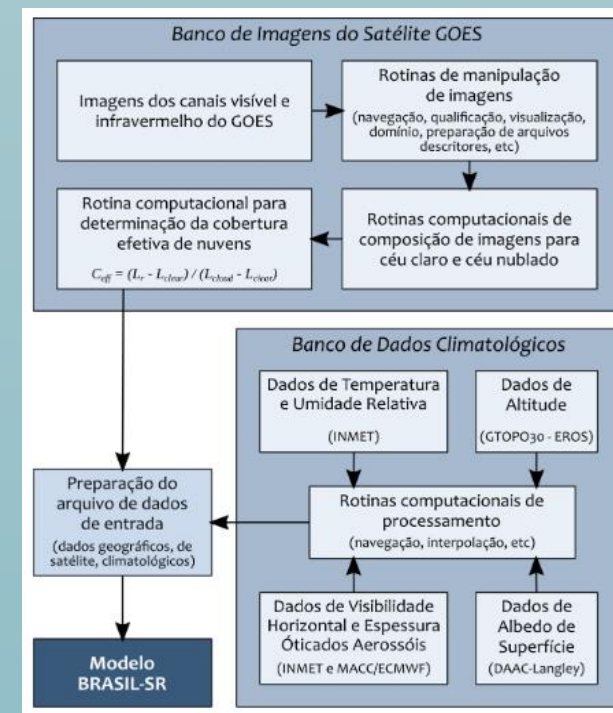
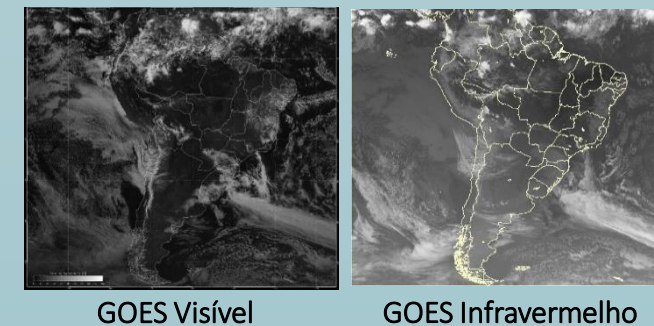
- RMSE < 7%
- ME < 0.2%

Validação realizada sobre conjunto de dados independente (20% do total)



Calibração mensal do modelo satelital utilizando medições

## Modelo Brasil-SR – Fluxograma Simplificado

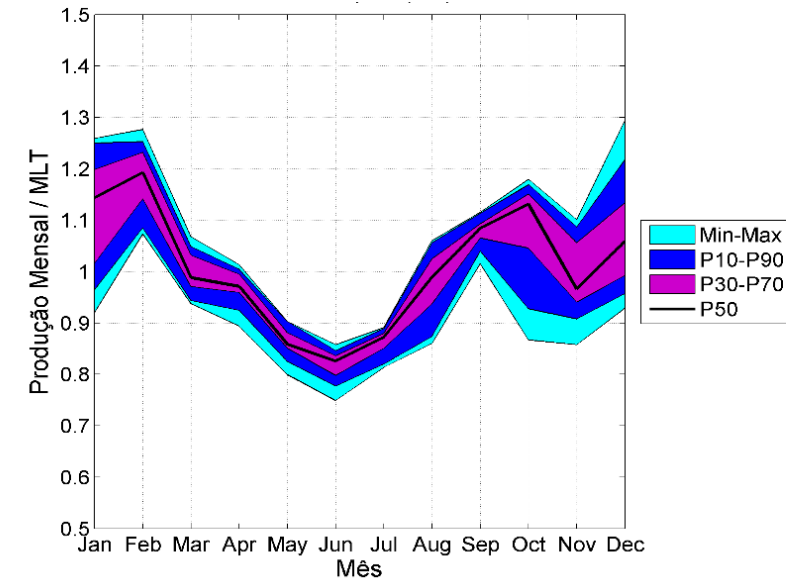
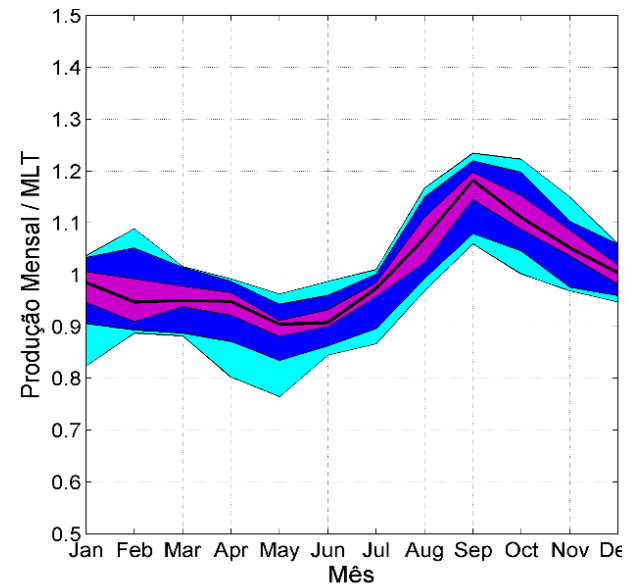
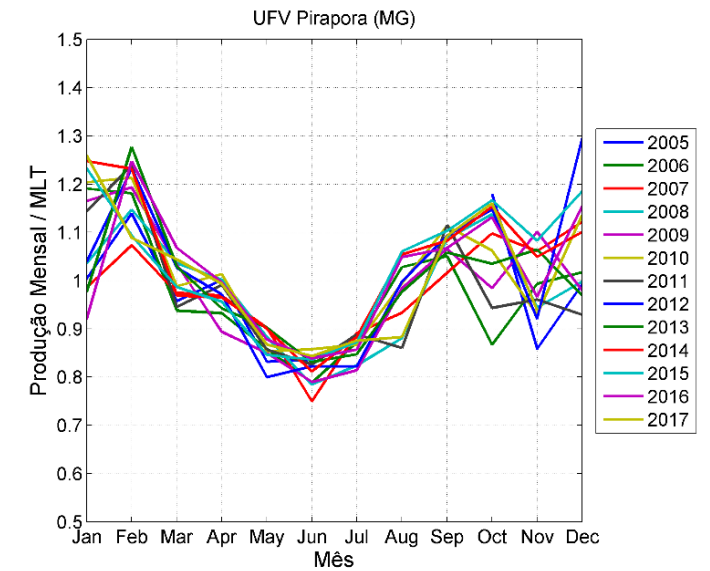
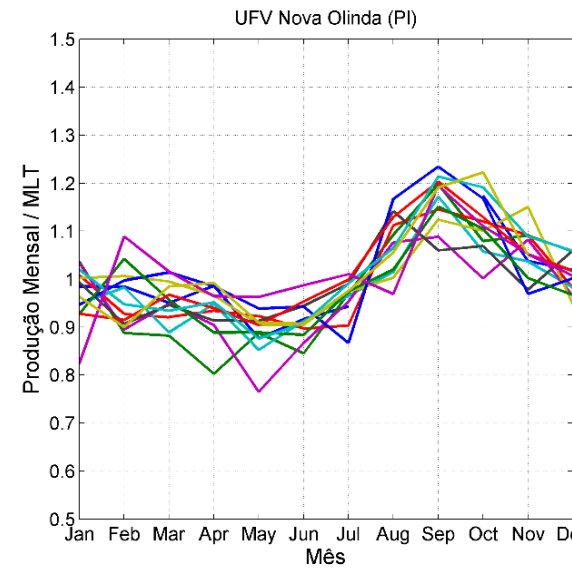




# Séries de longo prazo de irradiação solar

## Exemplo:

- Séries mensais
  - ✓ UFV Pirapora (MG)
  - ✓ UFV Nova Olinda (PI)
- Suporte a construção de cenários para planejamento de longo-prazo (NEWAVE)
- Para horizontes mais curtos (DECOMP) a previsão solar pode ser útil no horizonte de 10 dias



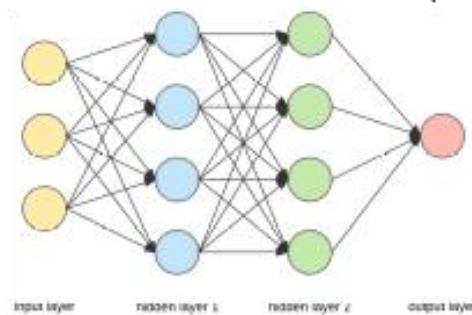
Geração probabilística mensal normalizada pela MLT para a UFV Nova Olinda (PI) e UFV Pirapora (MG) obtidas a partir do histórico 2005 a 2017.

# Previsões de curto-prazo de irradiação solar

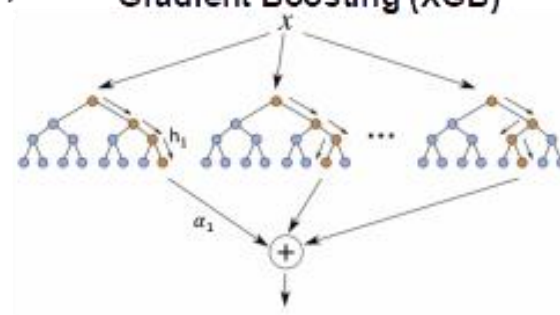


Regressão linear *stepwise*  
(REG)

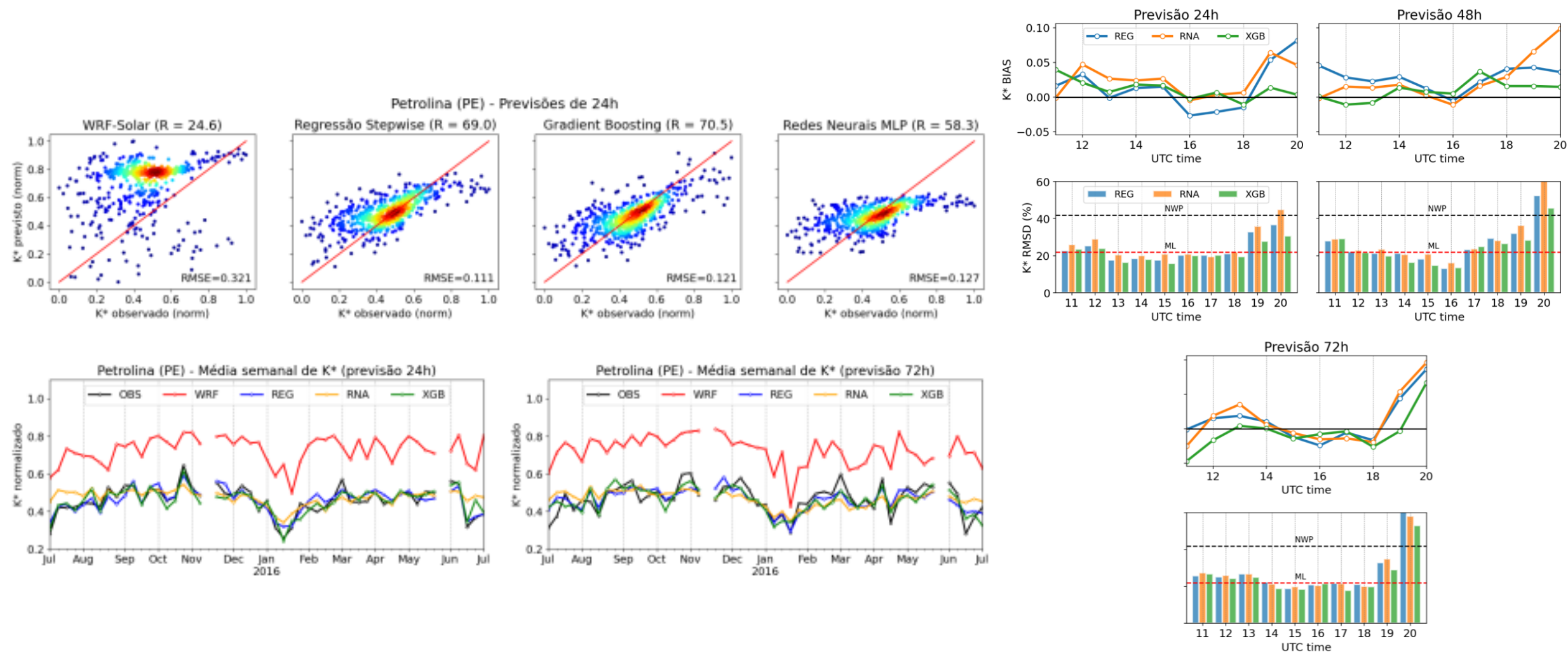
Redes Neurais Artificiais (RNA)



Árvores de Decisão com  
Gradient Boosting (XGB)



# Previsões de curto-prazo de irradiação solar



Blaga et al. (2019); doi: 10.1016/j.pecs.2018.10.003; RMSD de + 1700 artigos  
NWP (modelos atmosféricos); ML - Machine Learning

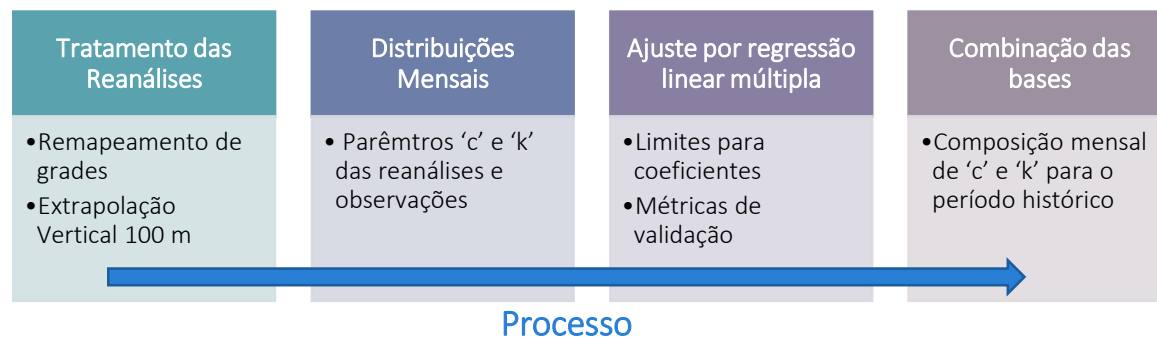


# Séries de longo prazo de vento a 100 m

## ❏ Proposta:

### ➤ Reanálises Combinadas<sup>1</sup> por modelo linear (MDL)

- Dados públicos (ERA5 + MERRA-2 + CFSR)
- Calibradas para o Brasil (84 estações: Aeroportos + Torres Anemométricas)
- Objetivo:
  - Maximizar correlação na escala mensal (forçantes climáticas)
  - Minimizar erros na distribuição de frequência intrasazonal (C e K de Weibul)

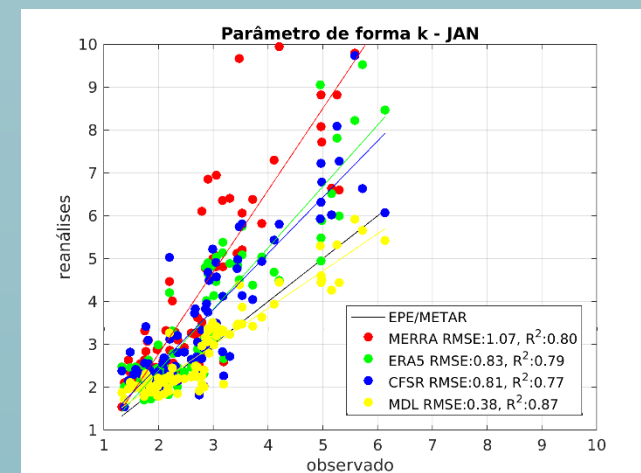
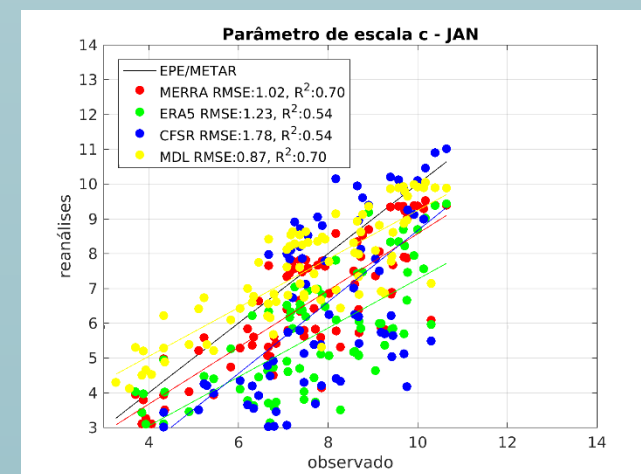


<sup>1</sup> Base de dados desenvolvida no âmbito do projeto “Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestruturas (CSI)” cooperação GIZ/MMA/INPE/EPE (Jan/2020)

## Método construção do MDL:

Regressão linear múltipla em escala mensal do fator de escala 'c' e forma 'k' de Weibull

$$MDL = b1 + b2 * x1 + b3 * x2 + b4 * x3 \sim OBS$$



Fonte: Relatório CSI (GIZ/INPE)

# Séries de longo prazo de vento a 100 m

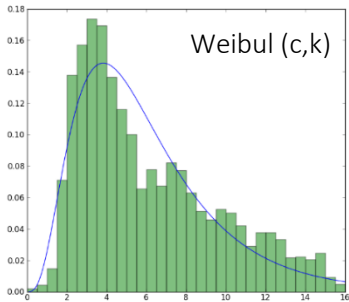
## ❑ Resultado das regressões :

- MDL apresenta desempenho superior a qualquer da reanálises individuais
- MERRA-2 representa melhor variabilidade sazonal/interanual
- ERA5 representa melhor variabilidade intramensal/horária
- Métricas de Erro Mensal:
  - Escala c: RMSE < 1 m/s | R ~ 0.80\*
  - Escala k: RMSE < 0.5 m/s | R ~ 0.82\*

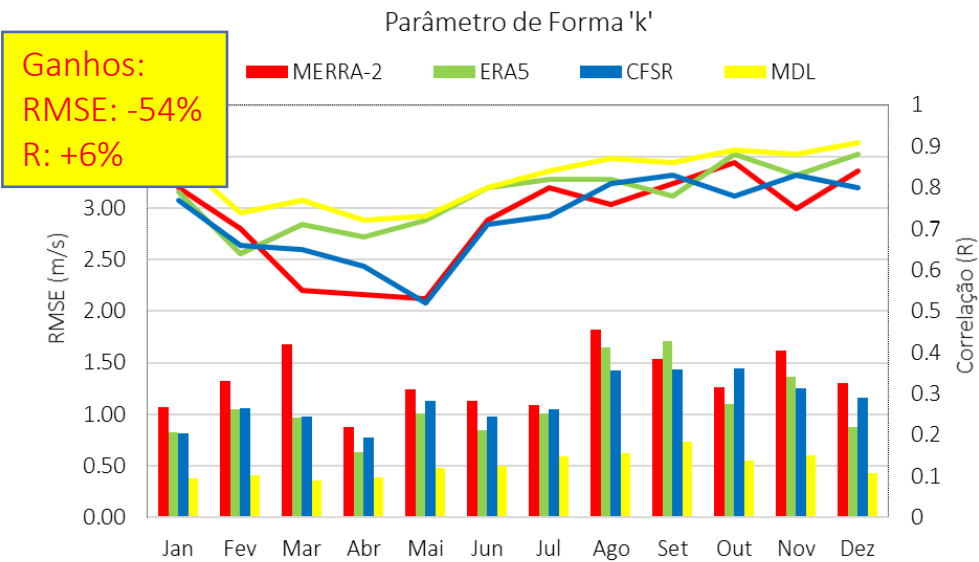
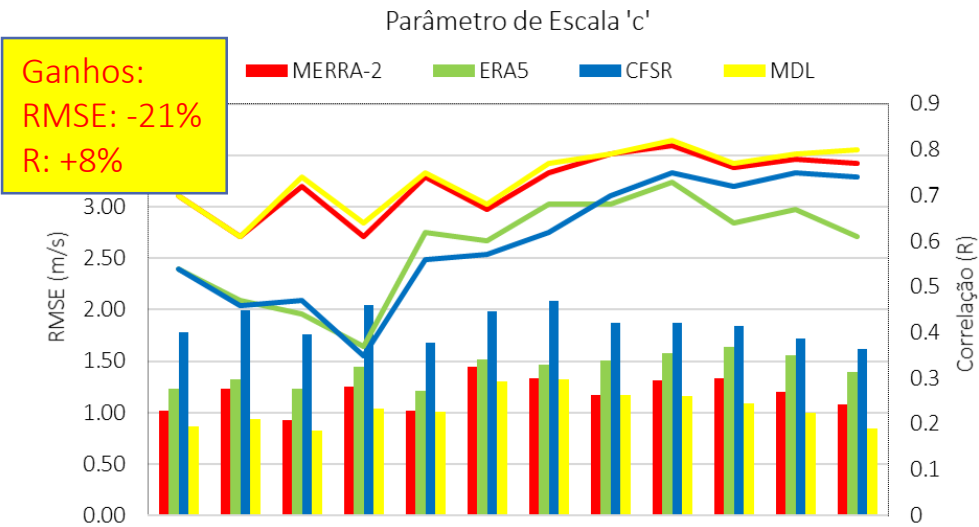
\* Correlações incluem amostras no espaço e no tempo portanto diferem de valores encontrados tipicamente na literatura para correlações temporais locais para diversas reanálises

Reanálises	Período utilizado	Resolução espacial	Resolução temporal
ECMWF/ERA5	1979-2017	~ 30 km	1 hora
NASA/MERRA-2	1980-2017	~ 50 km	1 hora
NCEP/CFSR	1979-2017	~ 30 km	1 hora

Conjuntos de Reanálises Atmosféricas utilizadas



Parâmetros de escala e forma de Weibull mensais

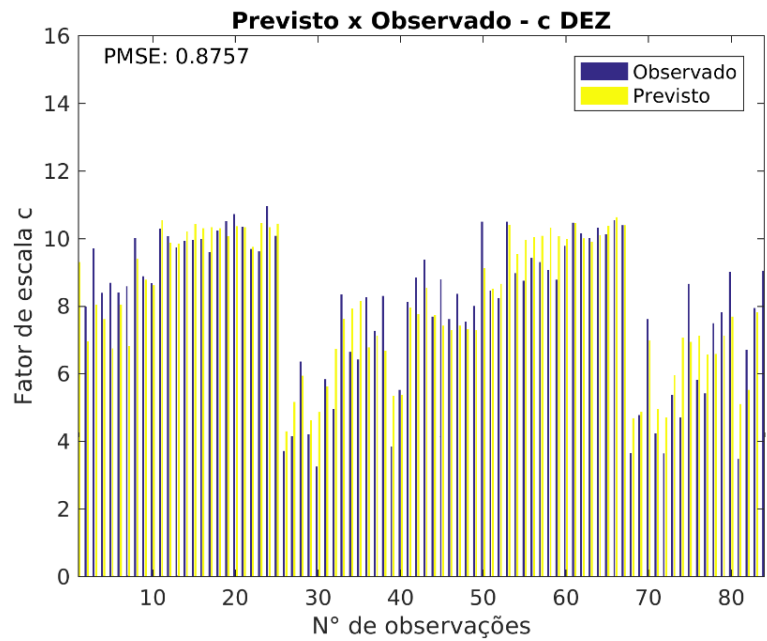


Métricas de desempenho RMSE e coef. Correlação para simulações mensais dos parâmetros de escala e forma a partir de reanálises individuais e combinadas. Correlações dadas por linhas contínuas

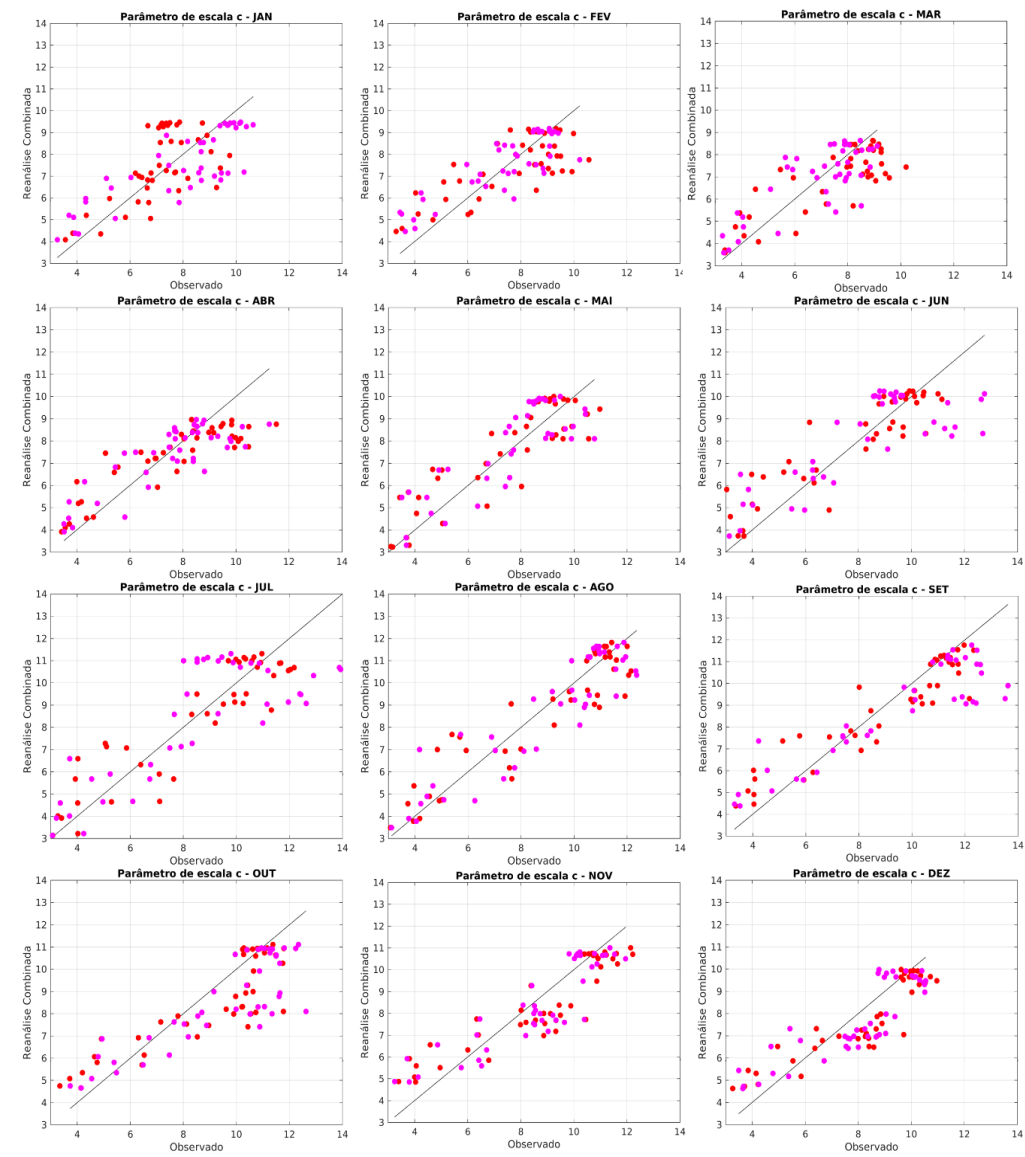
# Séries de longo prazo de vento a 100 m

**■ Premissas e Limitações:**

- Resolução espacial ainda é limitante para análises locais ( $L < 30\text{km}$ )
- Parâmetros mensais são mais adequada para geração agregada por agrupamento de usinas eólicas ou por subsistema



Comparação entre o parâmetro de escala 'c' simulado e observado por estação/amostra

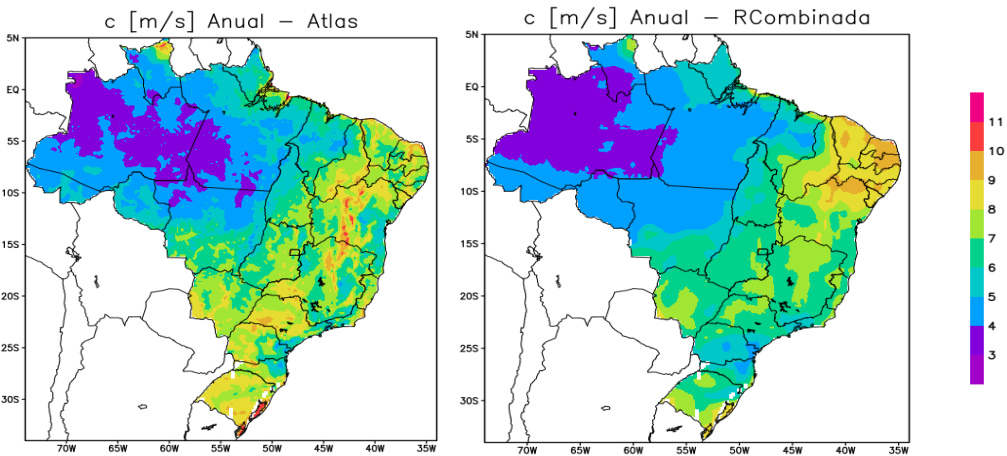


Dispersão entre parâmetro 'c' simulado e observado para as reanálises combinadas (MDL)

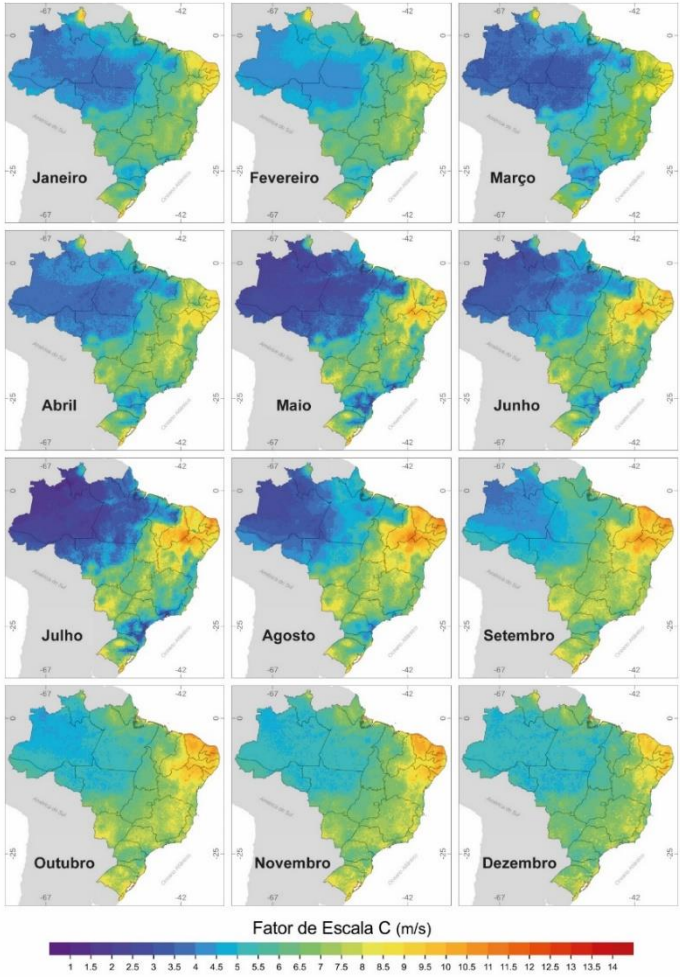
# Séries de longo prazo de vento a 100 m

## ■ Médias de Longo Prazo (MLT)

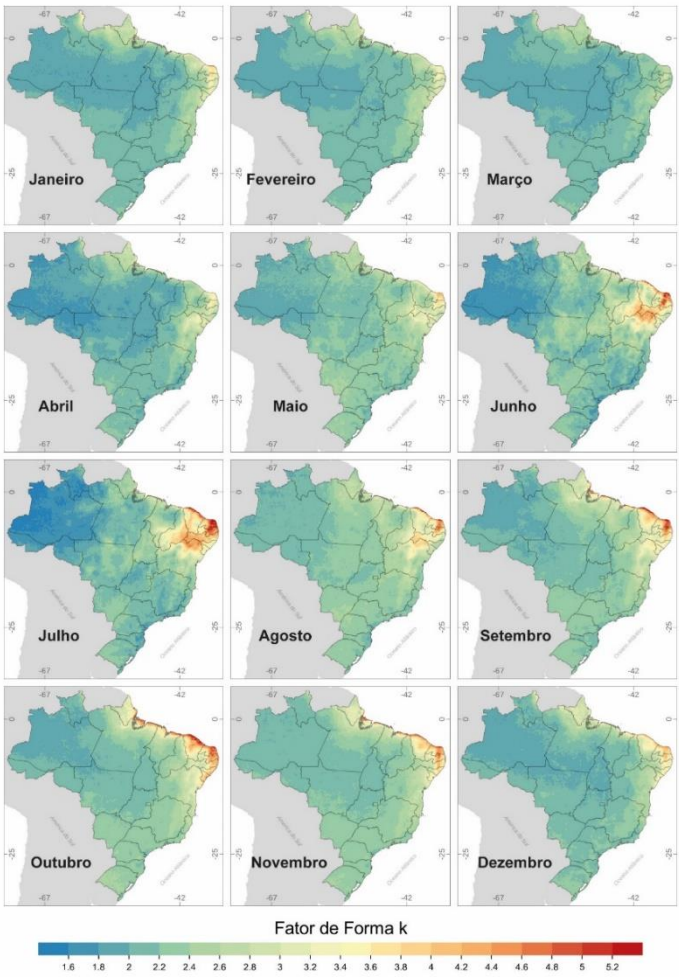
- Fator de forma e escala para  $h = 100\text{ m}$  (mensal)
- Variação sazonal coerente com observações
- Amplitude de valores dentro dos limites físicos
  - Regiões de  $k$  e  $c$  elevado se mostram mais extensas do que o observado devido à limitações de resolução das reanálises



Comparação entre o padrão espacial do parâmetro de escala 'c' do Atlas Eólico Brasileiro (2001) (esquerdo) e as reanálises combinadas (direita)



Mapa final do parâmetro de escala 'c' climatológico das reanálises combinadas (MDL)



Mapa final do parâmetro de forma 'k' climatológico das reanálises combinadas (MDL)



# Estrutura espaço-temporal das séries

## □ Motivação

- Variabilidade mensal do recurso solar/eólico é **dependente do clima**
- Anomalias climáticas apresentam tipicamente **estrutura espacial extensa** ( $\sim 100 - 1000$  km) => região de correlações positivas
- Pelo balanço de massa e energia, anomalias positivas e negativas **tendem a se compensar** em um sistema terrestre em equilíbrio => regiões de correlações negativas

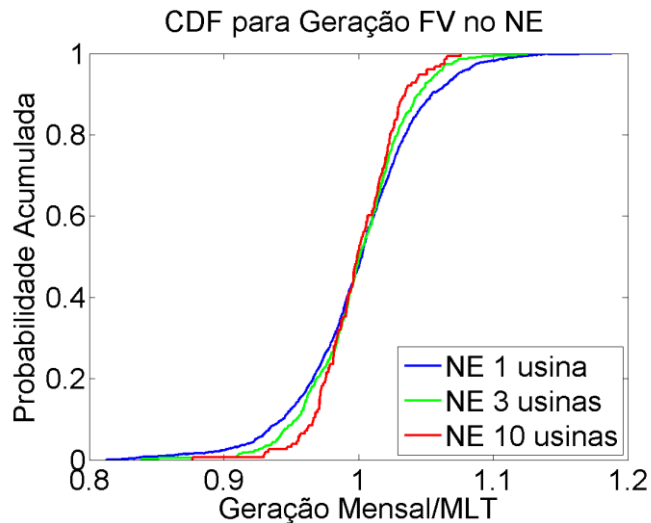
## □ Impactos

- **Correlações positivas:** aumentam a dispersão da geração agregada => maior vulnerabilidade a extremos (maior risco)
- **Correlações negativas:** reduzem esta dispersão e consequentemente o risco



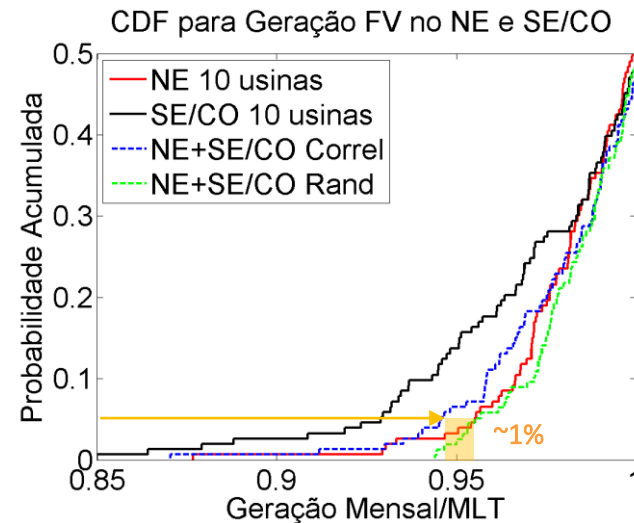
Correlograma entre anomalias anuais de irradiação solar entre subsistemas (2005-2015)

Subsistema	N	NE	SE/CO	S
N	1	0.87	0.80	-0.44
NE		1	0.80	-0.37
CO			1	-0.29
S				1



Exemplo hipotético ilustra 20 UFV distribuídas entre o NE e SE/CO

Distribuição espacial de usinas reduz dispersão da geração



A geração agregada entre subsistemas (ex: NE e SE/CO) é sensível à correlação entre as séries históricas. Neste exemplo a diferença entre utilizar séries correlacionadas e não-correlacionadas é da ordem de  $\sim 1\%$  da MLT



## Considerações finais

- O INPE/LABREN pode fornecer dados climáticos para o planejamento do SIN.
  - Séries solares históricas: a partir do modelo BRASIL-SR.
  - Séries eólicas históricas: a partir do conjunto de reanálises combinadas (MERRA-2+ERA5+CFSR)
  - Modelo de previsão solar de curto prazo (GFS+WRF+XGB): INPE pode colaborar no desenvolvimento do método a ser adaptado para primeira semana operativa do DECOMP.
- A calibração da curva de potência para UFV e EOL estáser realizada após agrupamento de usinas.
- Correlações temporais entre agrupamentos de UFV e EOL devem ser preservados na construção de cenários sintéticos para simulação da operação do sistema (NEWAVE).
  - Modelos autoregressivos multivariados podem ser úteis neste sentido.



*Contato:*  
*[www.labren.ccst.inpe.br](http://www.labren.ccst.inpe.br)*  
*[labren@inpe.br](mailto:labren@inpe.br)*

*Coordenação do GT Metodologia*  
*[gtmet.cpamp@ccee.org.br](mailto:gtmet.cpamp@ccee.org.br)*

Assessoria Técnica:

