

Integração de modelos espaciais e temporais para predições de níveis freáticos extremos em bacias hidrográficas

Rodrigo L. Manzione
UNESP/Ourinhos

Francisco F. N. Marcuzzo
CPRM

Edson C. Wendland
EESC-USP/São Carlos



Outline

Projeto – Monitoramento Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Monitoramento e predição de níveis extremos

Abordagem estocástica

Incertezas associadas

Análise dos erros

Mapas fisicamente embasados

Análise de risco

Conclusões

Projeto

Monitoramento de níveis freáticos em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Bacia do Ribeirão da Onça Brotas (SP)





Por que monitorar níveis freáticos?

Planejamento do uso do solo

- Potencial
- Meio ambiente

Órgãos gestores

- Gestão de recursos hídricos

Agricultura

- Fazendas e agroindústrias

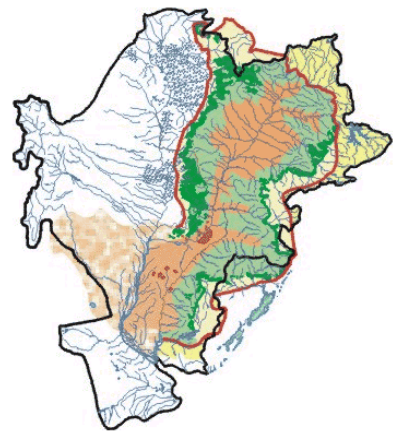
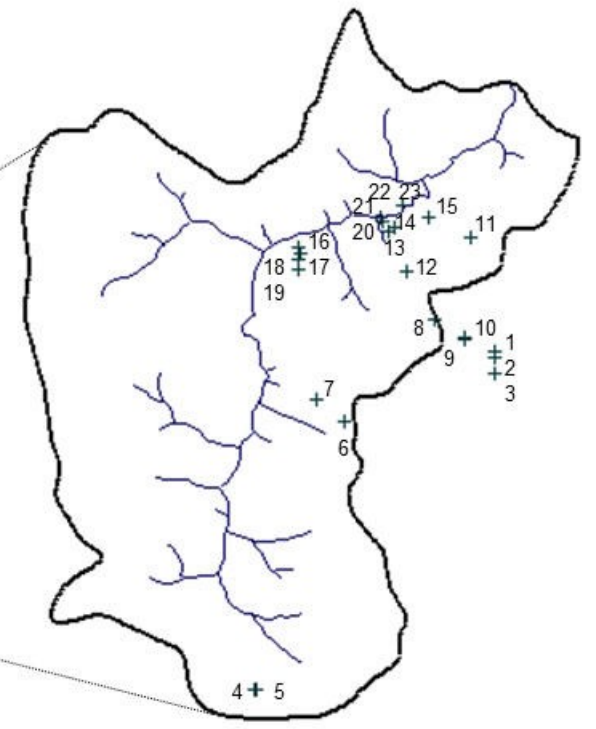
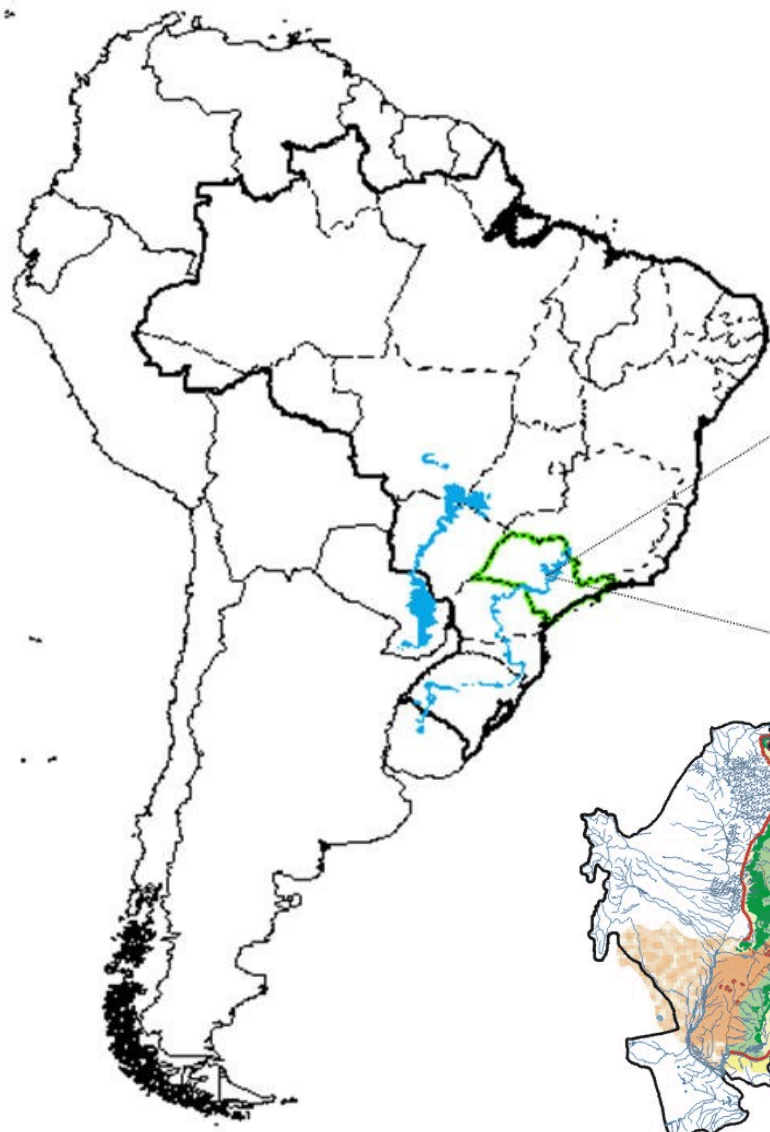


Predição de níveis extremos







Uso sustentável das águas subterrâneas

Recarga

Oferta/demanda



LEGENDA

-  Área de afloramento SAG
-  Limite estadual
-  Estado de São Paulo
-  Poços de monitoramento
-  Bacia do Ribeirão da Onça
-  Ribeirão da Onça



Bacia do Ribeirão da Onça

Típica bacia do interior do Estado de São Paulo

Diferentes usos do solo – cana-de-açúcar, citros, reflorestamentos com eucalipto, pastagens, soja, matas de galerias

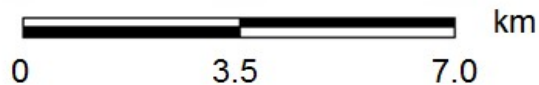
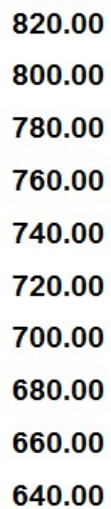
Diferentes demandas hídricas

Pouca vegetação natural

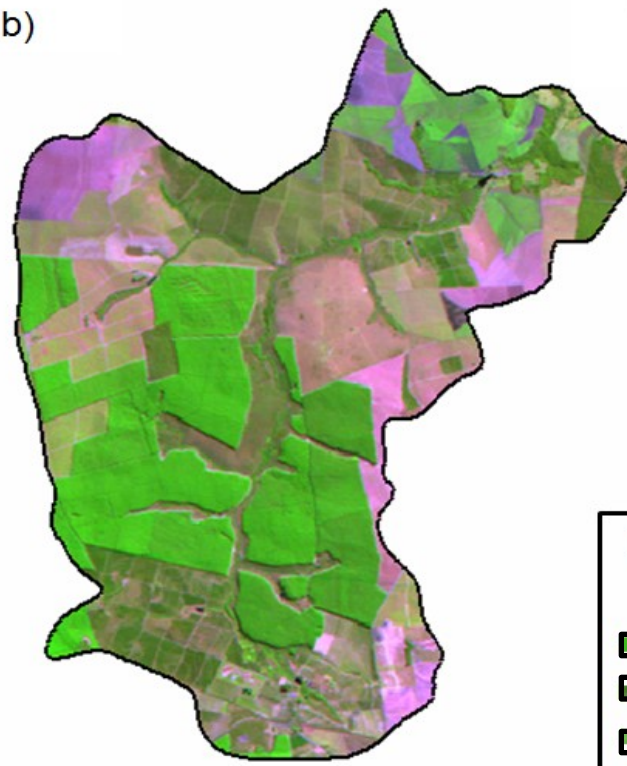
a)



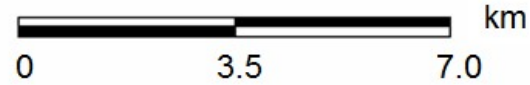
**GROUND
SURFACE
ELEVATION
(m asl)**



b)



**LAND USES
08-july-2008**





Bacia do Ribeirão da Onça

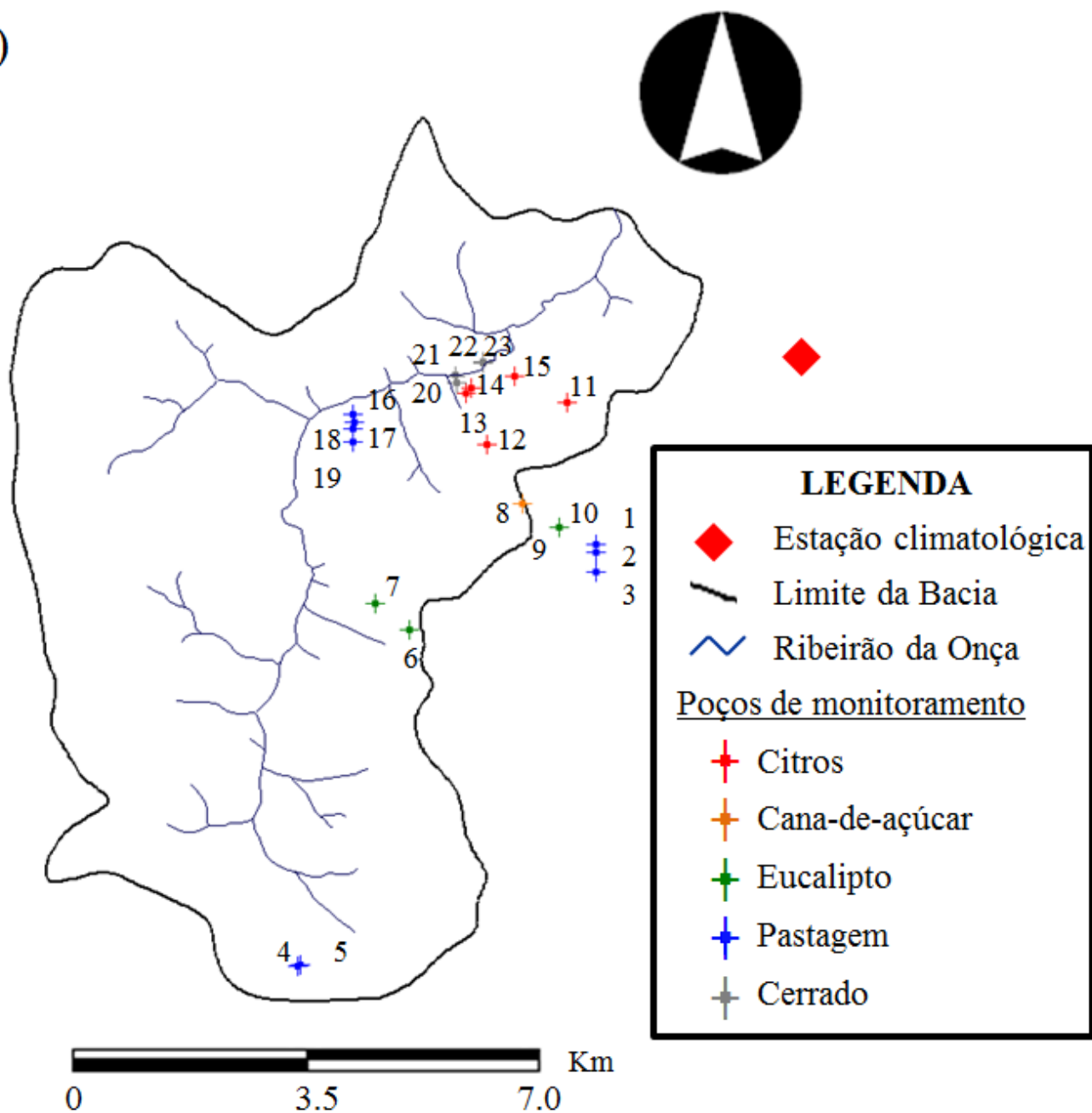
Monitoramento quinzenal

23 poços

Alguns com *dataloggers*

Dados climáticos desde 1974

a)











Incertezas na modelagem

Incertezas relativas aos dados

- Aquisição de dados (sensores, níveis)
- Transcrição de dados de campo

Incertezas associadas aos modelos

- Modelos de séries temporais
- Estrutura espacial

Modelagem estocástica

Simulação do modelo PIRFICT

Input series

- 30 anos de precipitação e evapotranspiração

Roda o modelo 1000 vezes

Seleção de datas relevantes específicas

- Calculo PDF
- Seleção de percentis

Modelagem da estrutura espacial

Análise geoestatística

- Informações auxiliares e sua estrutura de correlação espacial caracterizadas pelo semivariograma

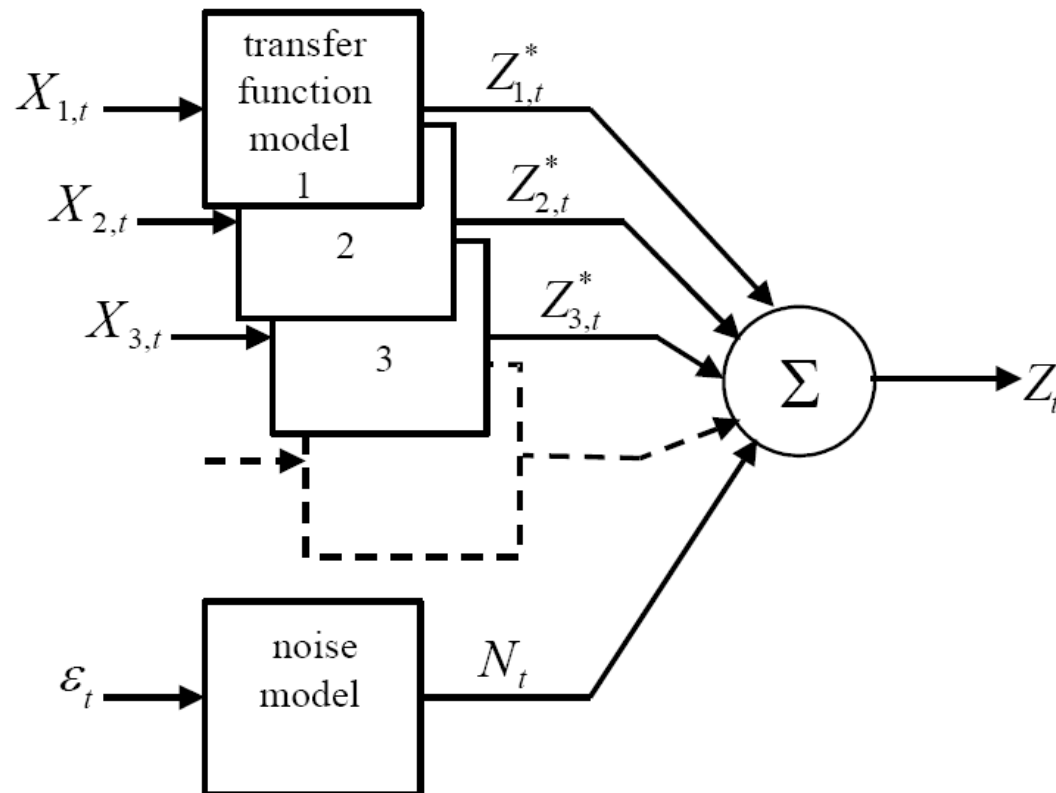
Modelagem de séries temporais

PIRFICT model (Von Asmuth et al., 2002)

- Predefined Impulse Response Function In Continuous Time
- Explica flutuações nos níveis freáticos
- Inputs
 - Níveis do lençol
 - Precipitação
 - Evapotranspiração
- Output– h (metros)

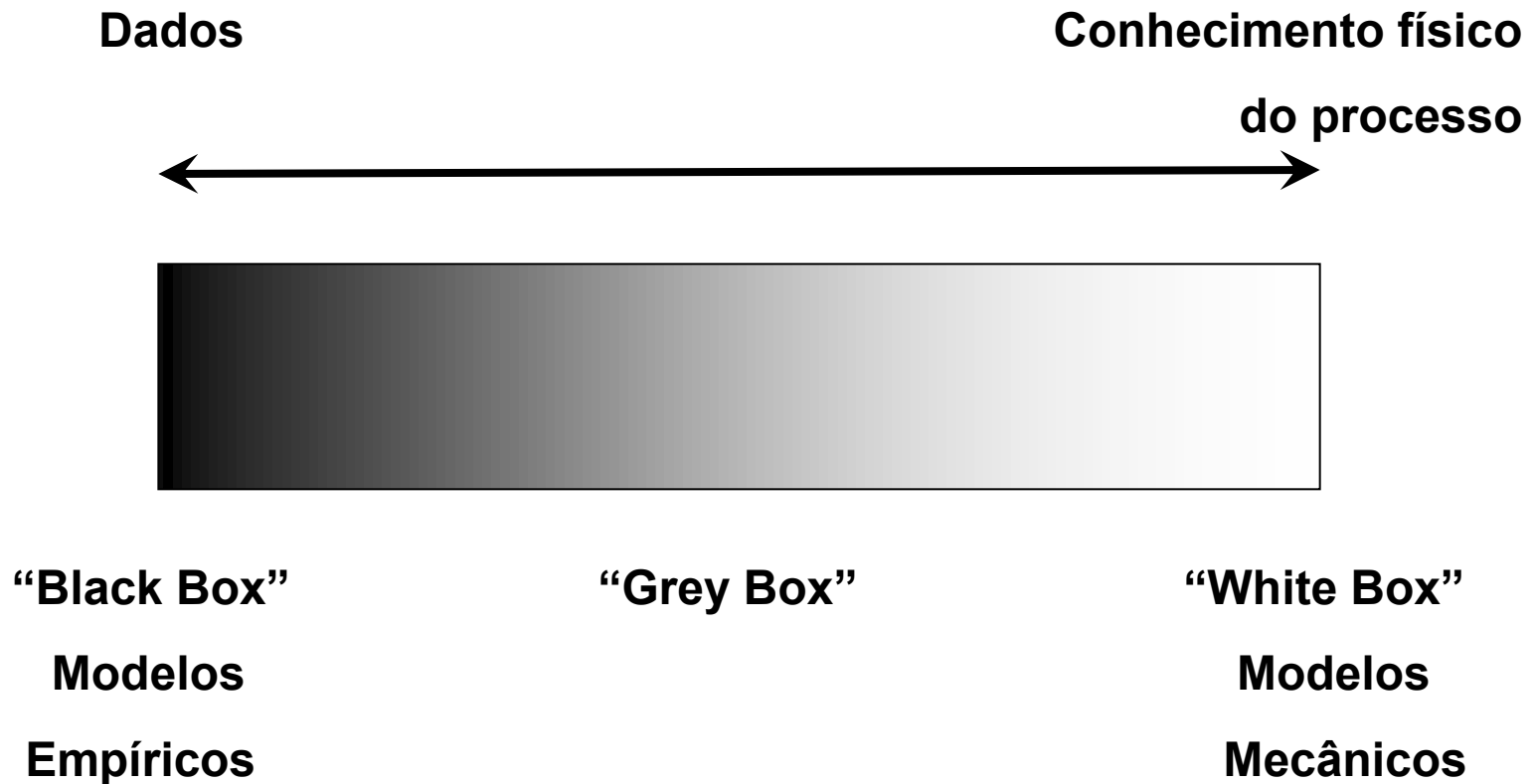
Modelagem de séries temporais

Função de transferência de ruído (TFN model)



Representação esquemática de um modelo de função de transferência com ruído adicionado.

TFN-model com bases físicas



PIRFICT-model (Von Asmuth et al., 2002)

TFN model contínuo

Filtra sinais das séries de entrada, transformando-os em sinais de saída

Pearson III d.f.

- Função de impulso-resposta (IR)
- Natureza flexível
- Capaz de modelar a resposta de diferentes sistemas aquíferos

Modelo PIRFICT

$$h(t) = h^*(t) + d + r(t)$$

onde...

$$h^*(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) \theta(t - \tau) \partial \tau$$

$$r(t) = \int_{-\infty}^t \phi(t - \tau) \partial W(\tau)$$

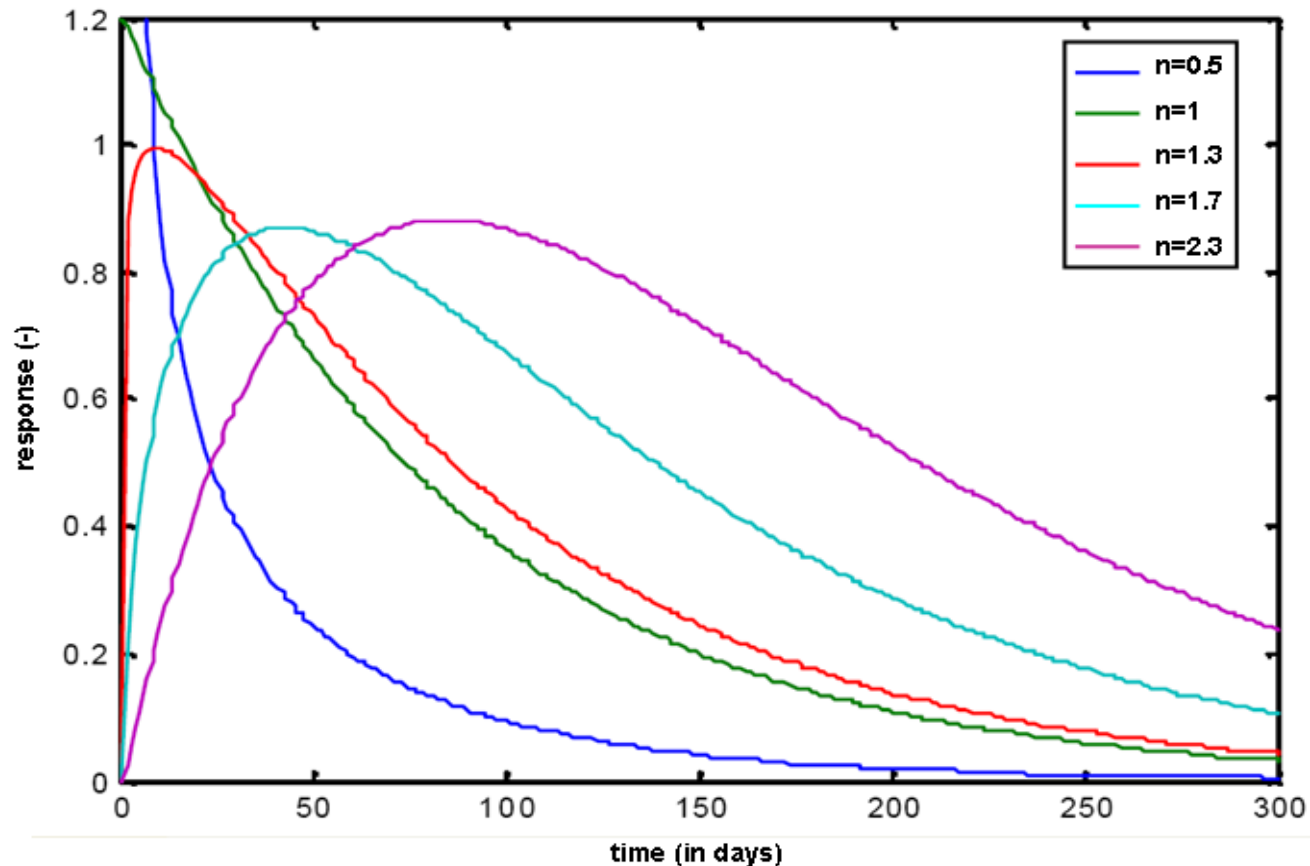
Fatores
dinâmicos

$$d = \frac{\sum_{i=0}^N h(t_i)}{N} - \frac{\sum_{i=0}^N h^*(t_i)}{N} - \frac{\sum_{i=0}^N r(t_i)}{N}$$

Função IR

$$\theta(t) = A \frac{a^n t^{n-1} e^{-at}}{\Gamma(n)}$$

$$\phi(t) = \sqrt{2\alpha\sigma_r^2} e^{-\alpha t}$$



Formatos que a função Pearson type III df pode apresentar
($n = [0.5, 1, 1.3, 1.7, 2.3]$, $A = n \times 100$, $a = 0.01$)

Modelagem espacial

CALCULA PRIMEIRO/INTERPOLA DEPOIS – CF/IL

KRIGAGEM UNIVERSAL

- Usa informação auxiliar como preditor

$$\text{EX: } ALF(x_0) = \beta_0 + \beta_1 \cdot EV(x_0) + e(x_0)$$

Onde: ALF é a altura do lençol freático;

EV é a tendência da elevação; e

e é o resíduo com média zero espacialmente correlacionado

Analizando erros

Modelo de séries temporais

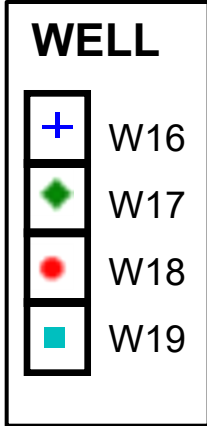
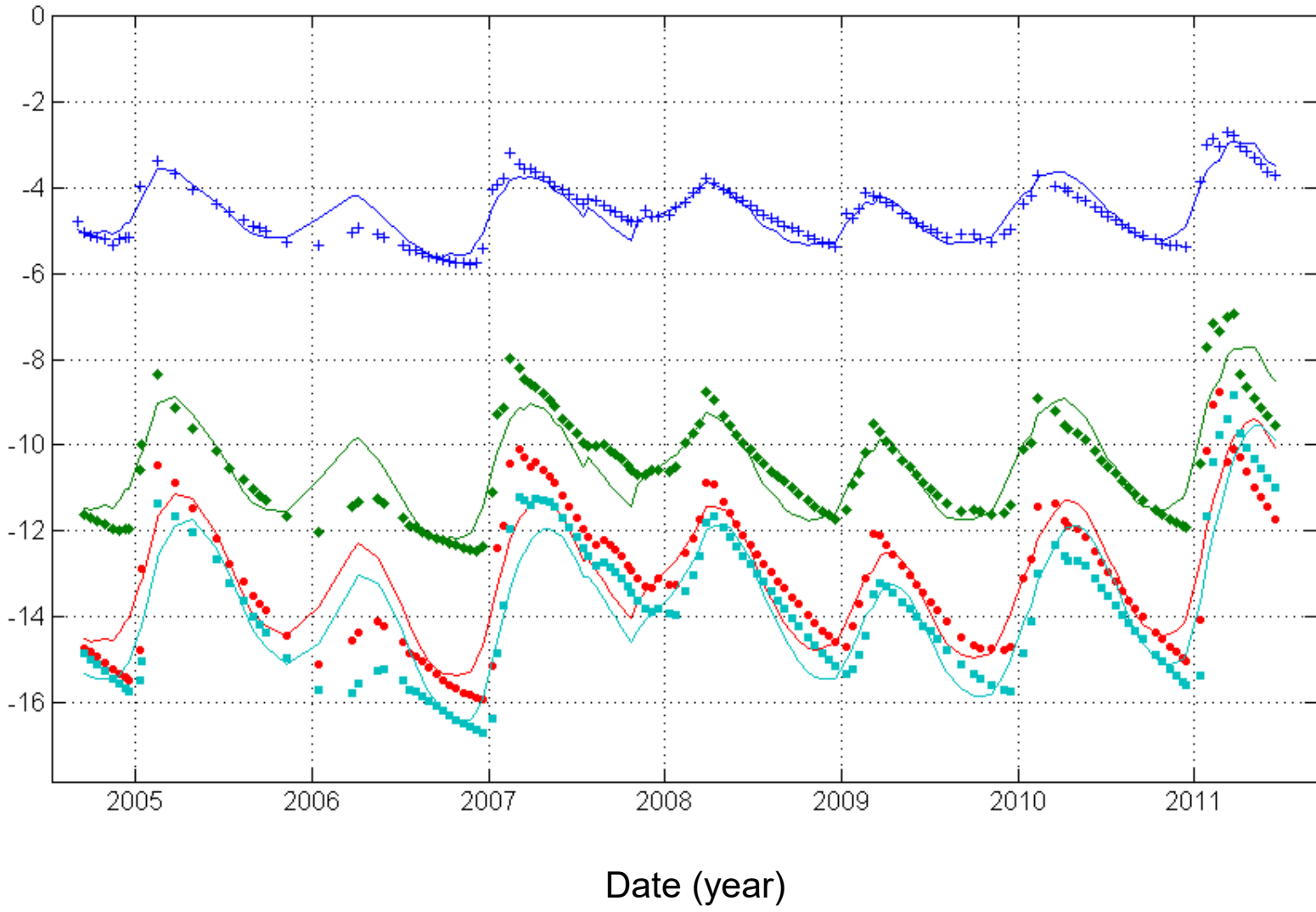
- EVP (explained variance percentage)
- RMSE (root mean square error)
- RMSI (root mean square innovations)

$$v(t) = \int_{t-\Delta t}^t \phi(t - \tau) \partial W(\tau)$$

Modelo geoestatístico

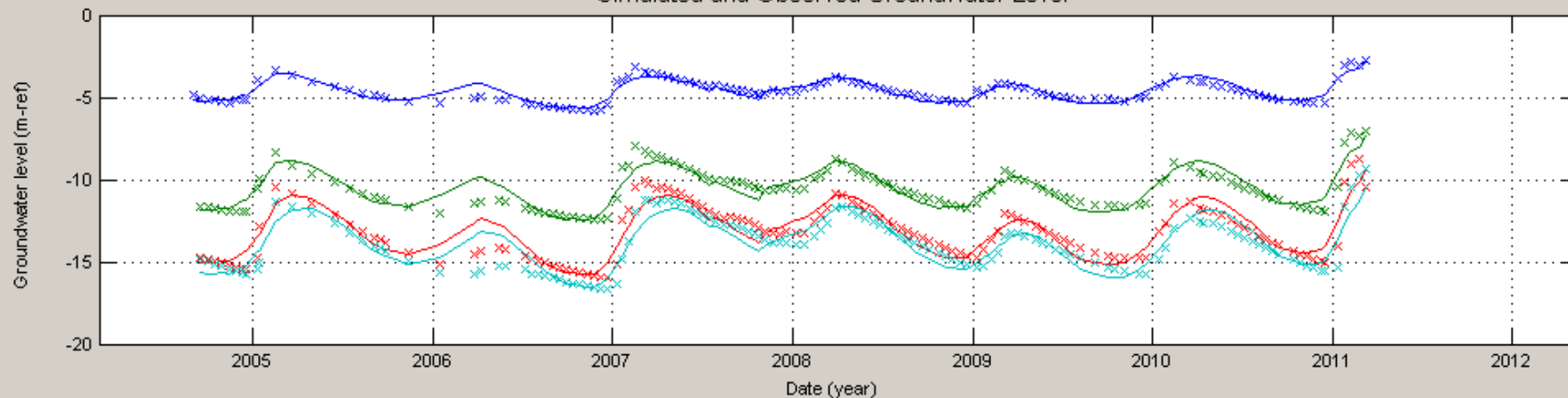
- Validação cruzada
- Variância da krigagem

Groundwater level (m below ground surface)

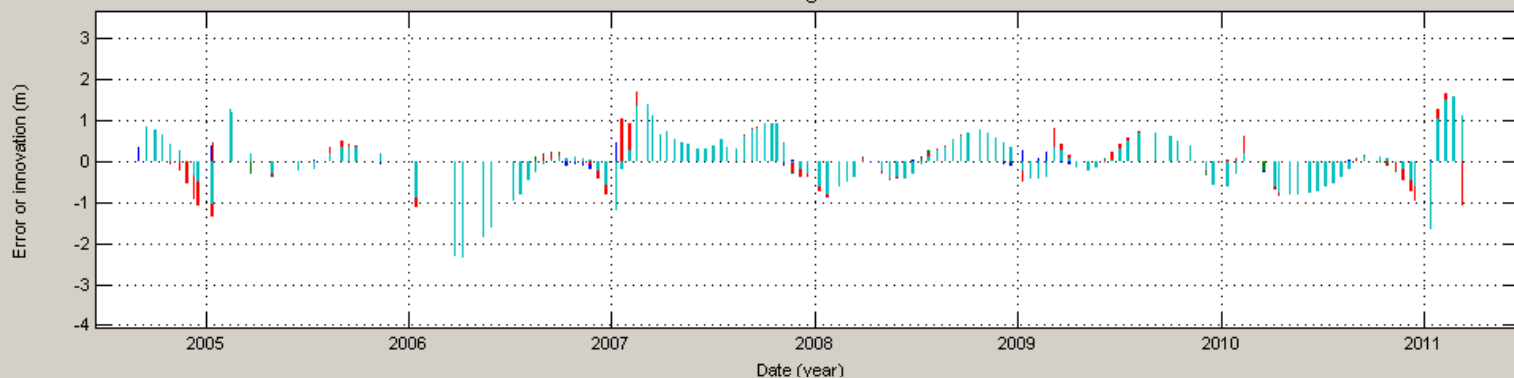


	Min	1 st Q	Med	3 rd Q	Max	Mean	SD
R^2_{adj}	69.3	75.5	79.9	85.1	94.0	80.0	6.56
RMSE	0.13	0.32	0.66	0.90	1.37	0.65	0.35
RMSI	0.13	0.26	0.50	0.73	1.27	0.52	0.29

Simulated and Observed Groundwater Level



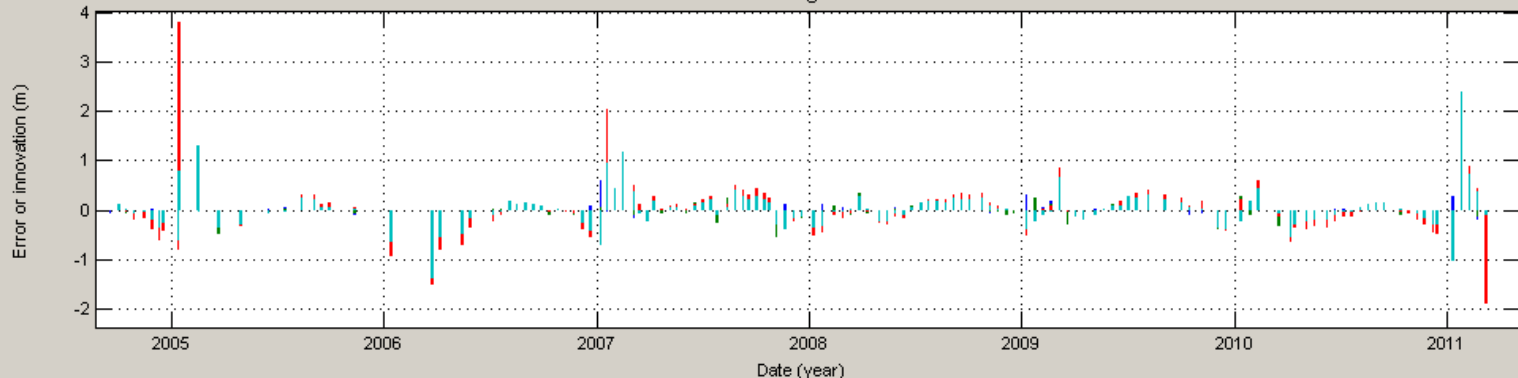
Error Diagnostics



Error diag.

- Residuals
- Innovations
- Autocorrel.

Error Diagnostics

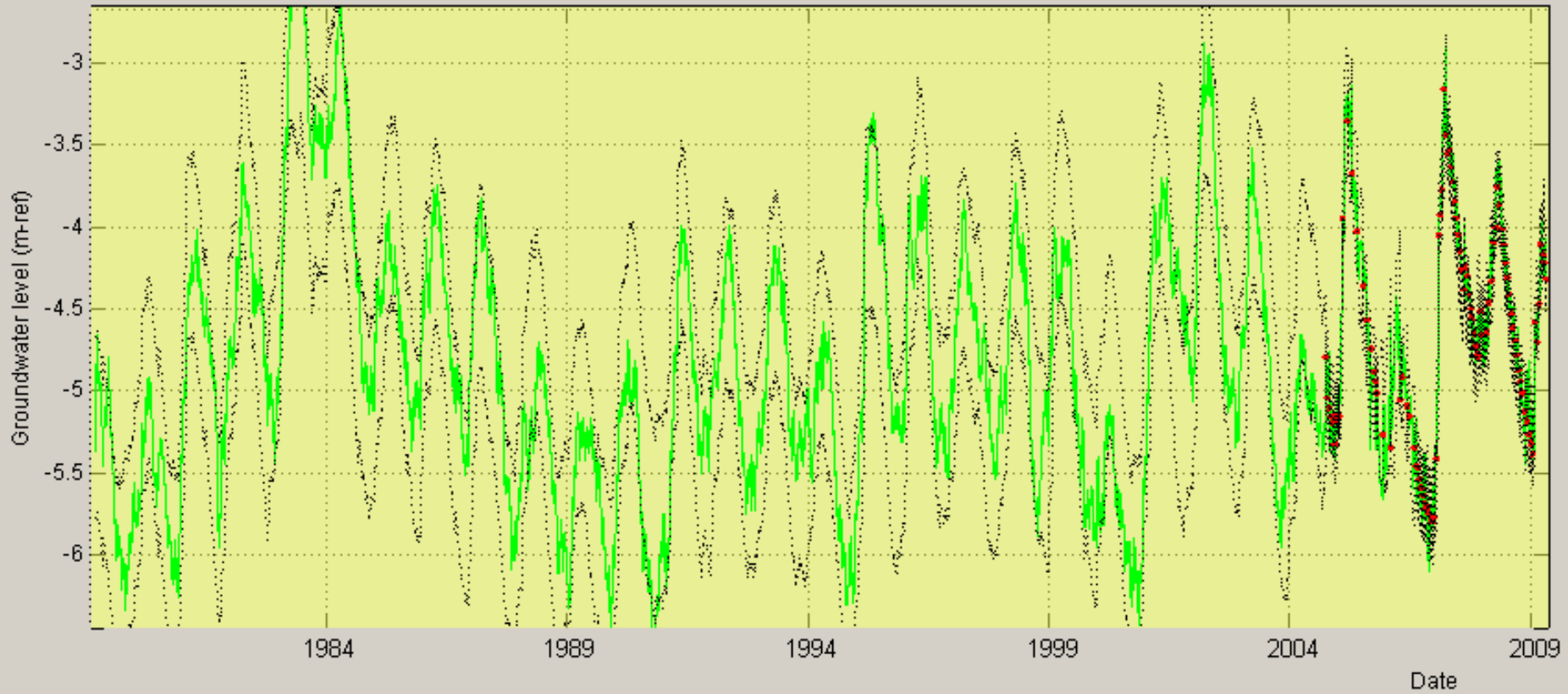


Error diag.

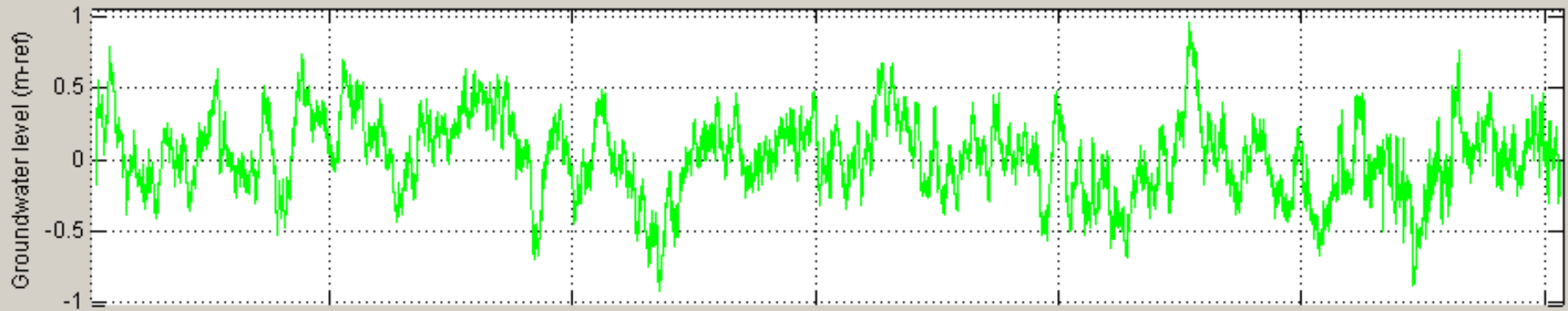
- Residuals
- Innovations
- Autocorrel.



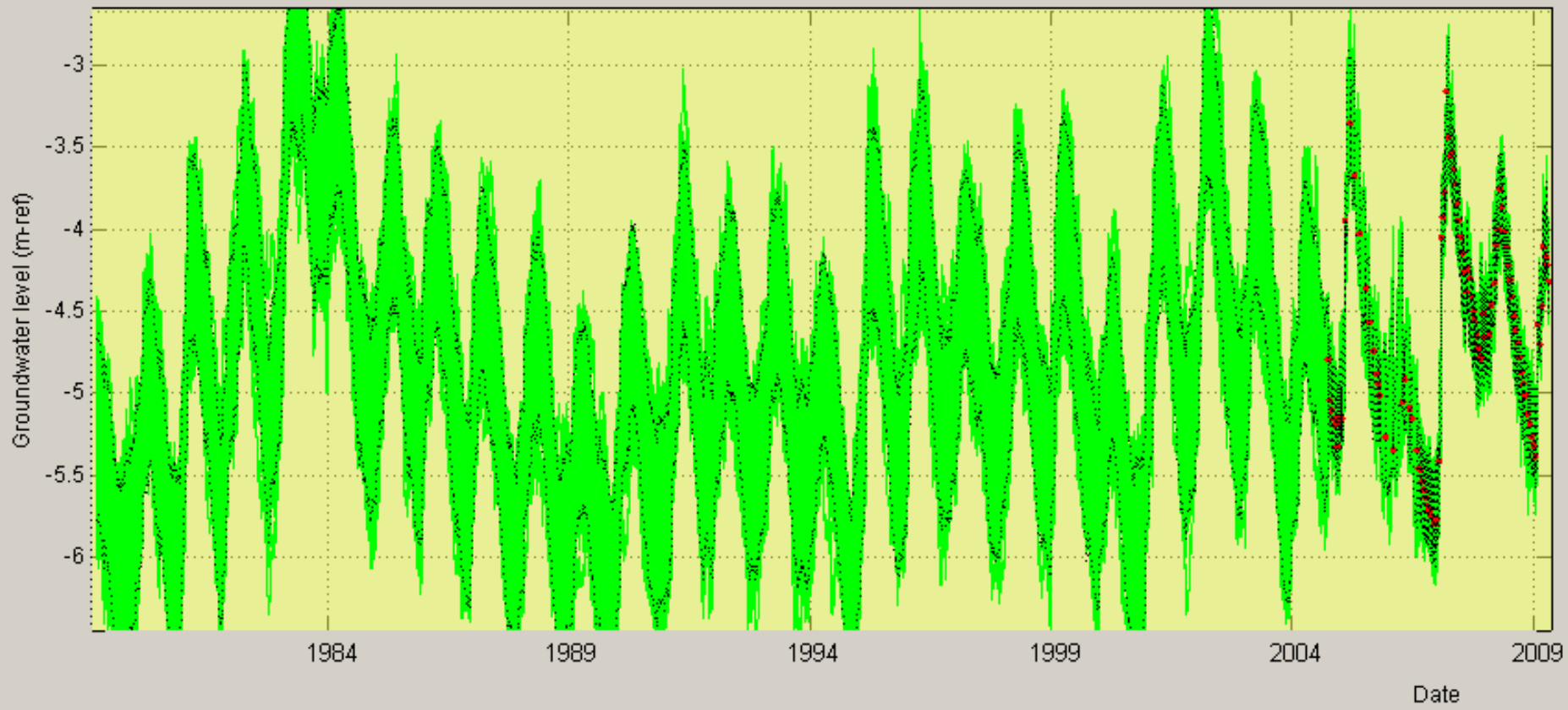
Data and Simulation of Series P16_16



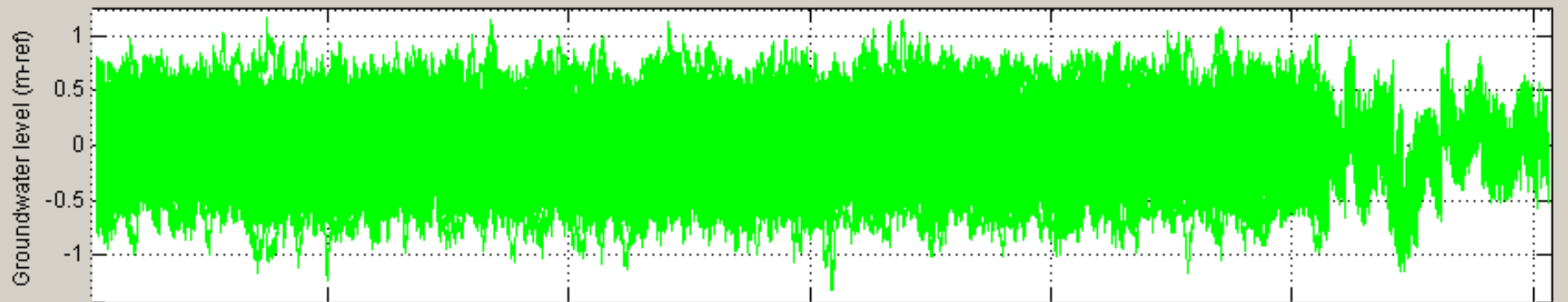
Stochastic simulation



Data and Simulation of Series P16_16



Stochastic simulation



Avaliação do risco – altura do lençol

Seleção de uma data

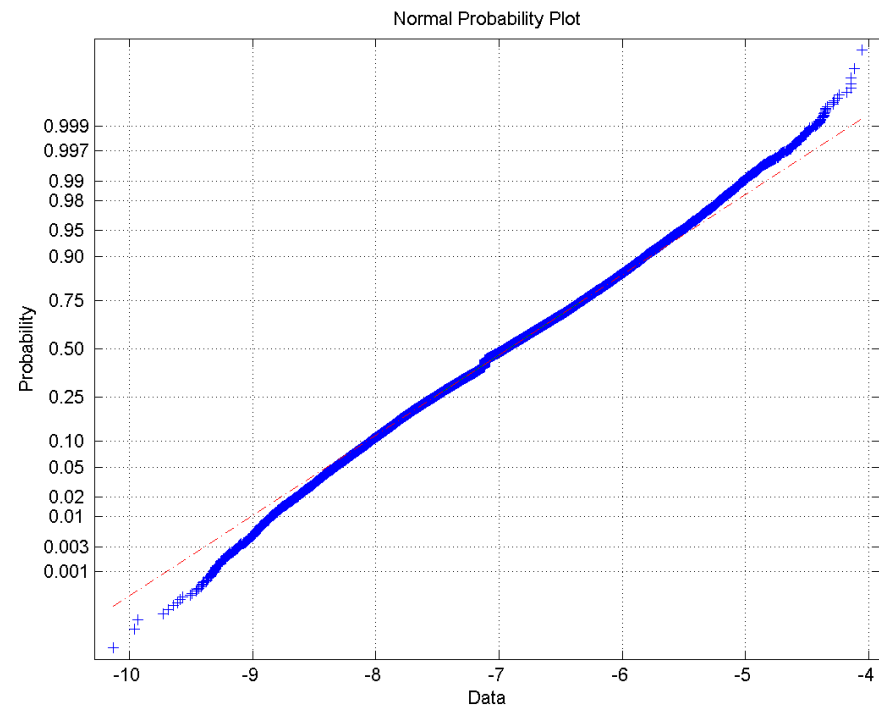
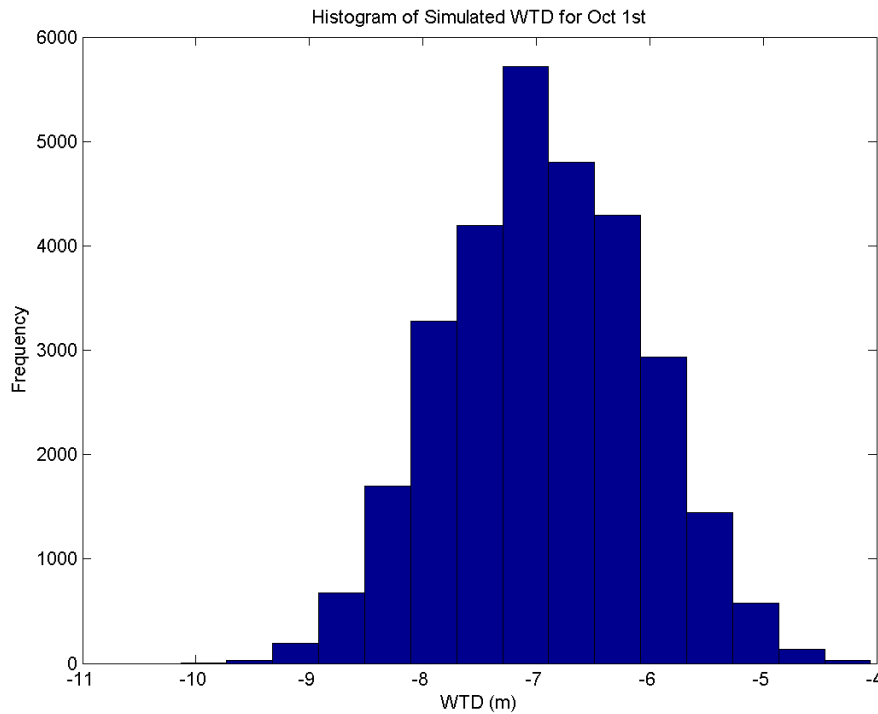
- Começo dos plantios
- Fim da estação chuvosa

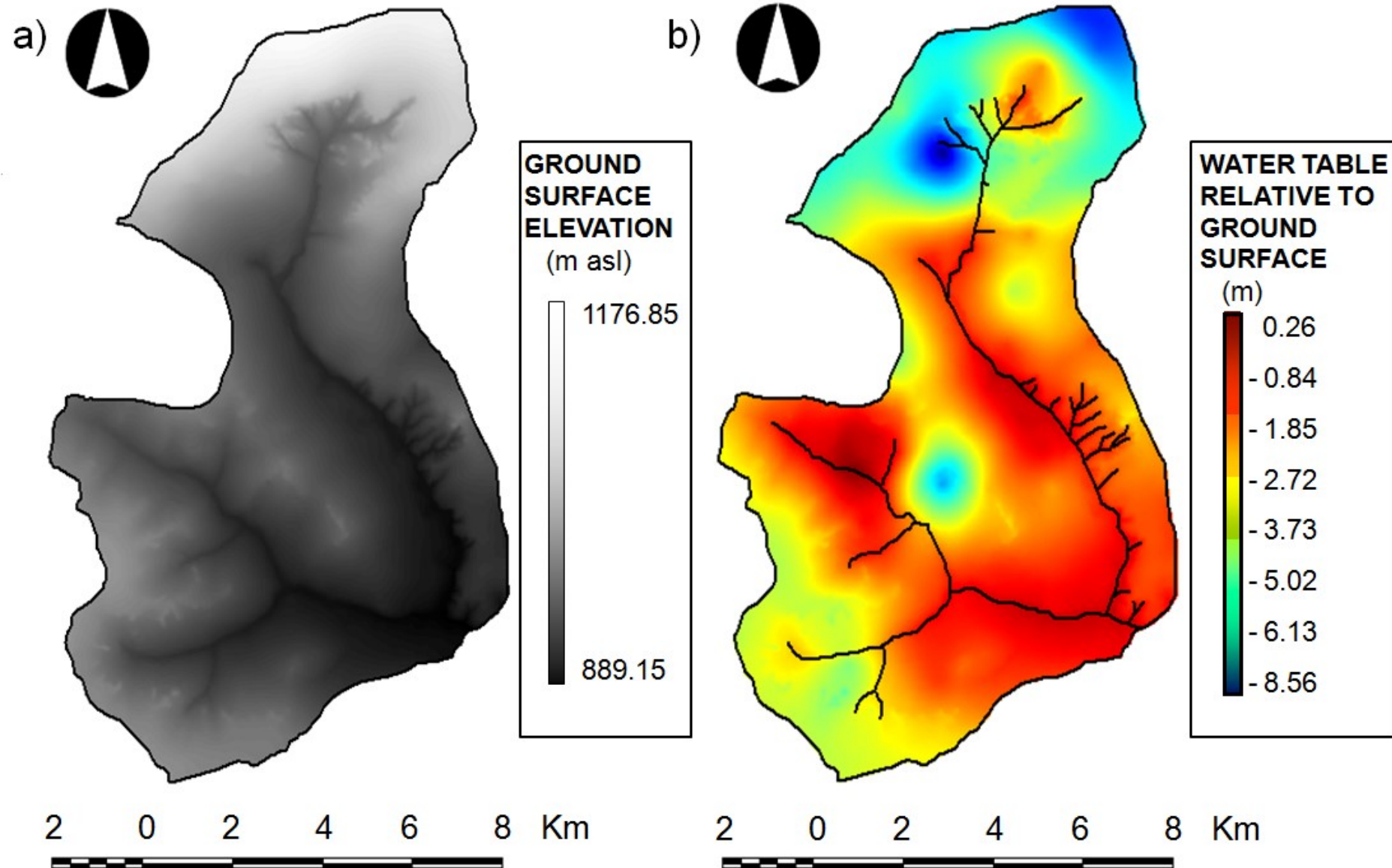
Riscos

- Falta de água
 - (P=0,05)
 - Limite: profundidade do poço
- Níveis superficiais
 - (P=0,95)
 - Limite: 0,5m



Simulação do modelo PIRFICT





Map of WTDs levels (meters) at April 30 that will be exceeded with 95% (right) 5% of probability (left).

Áreas de risco

Manziona et al. (2010) – Hydrogeology J



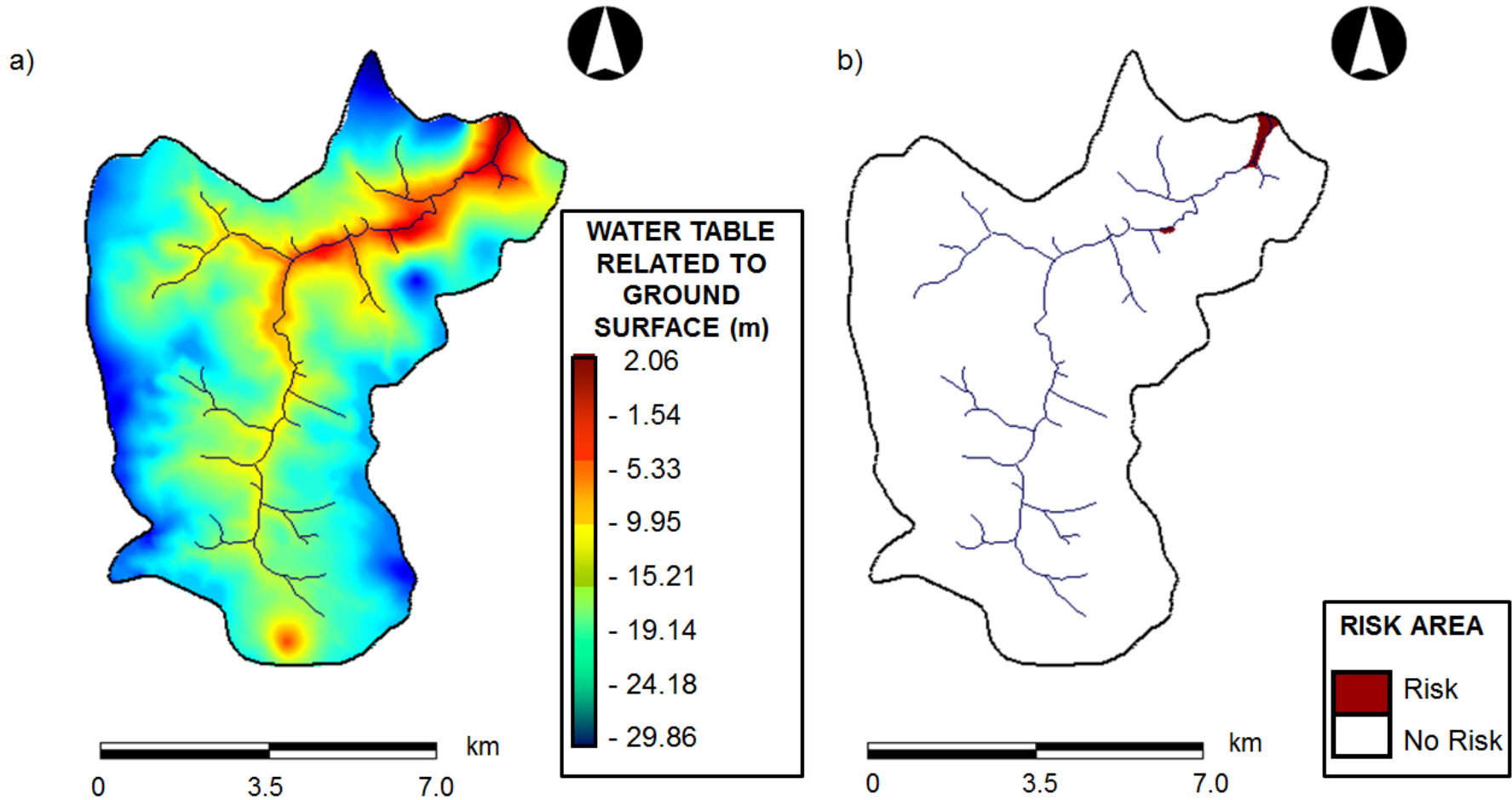
2 0 2 4 6 8 Km

2 0 2 4 6 8 Km

Areas with risks of shallow water table depths at Apr 30.

Áreas de risco

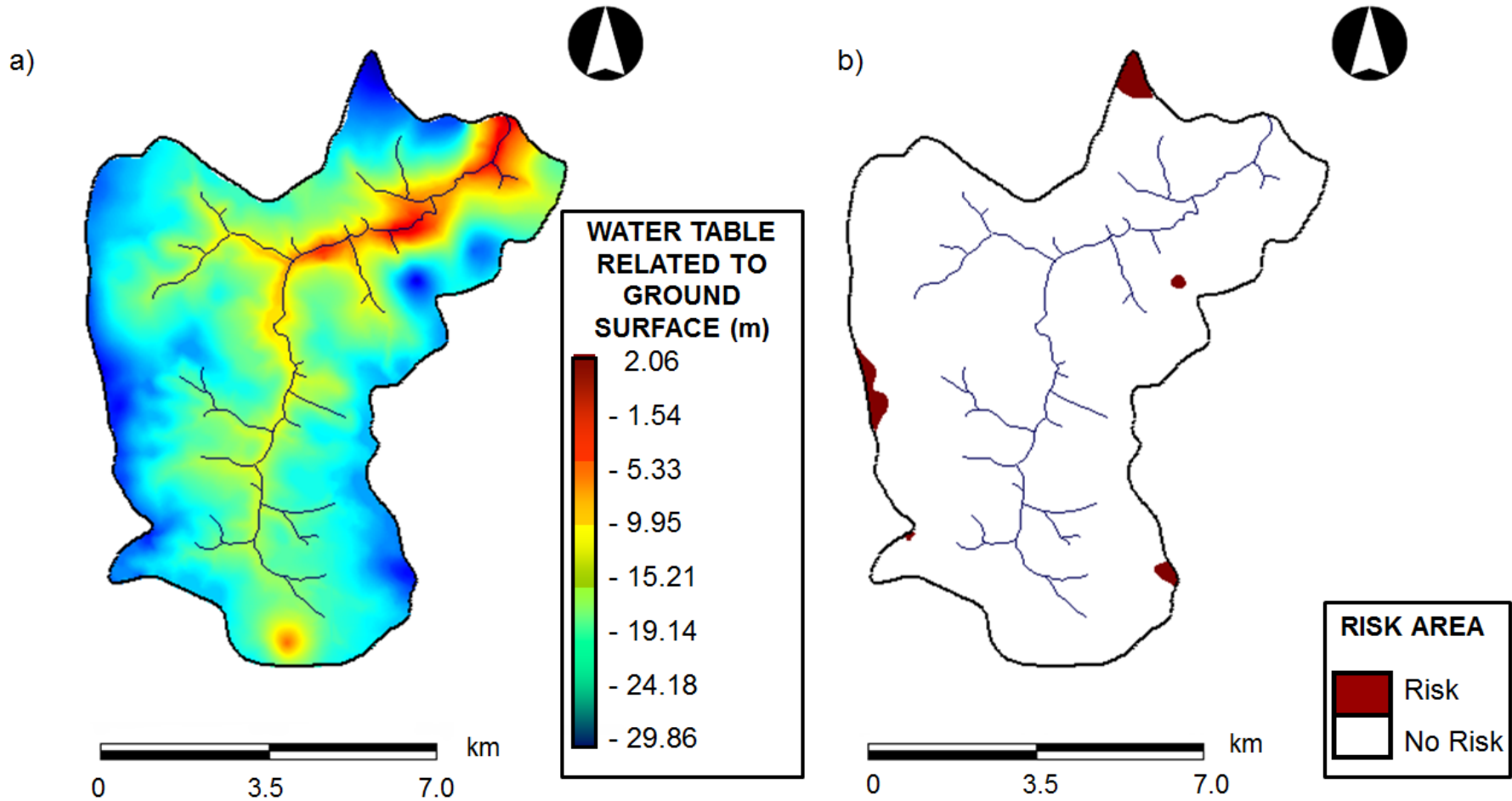
Manziona et al. (2012) – Hydrogeology J



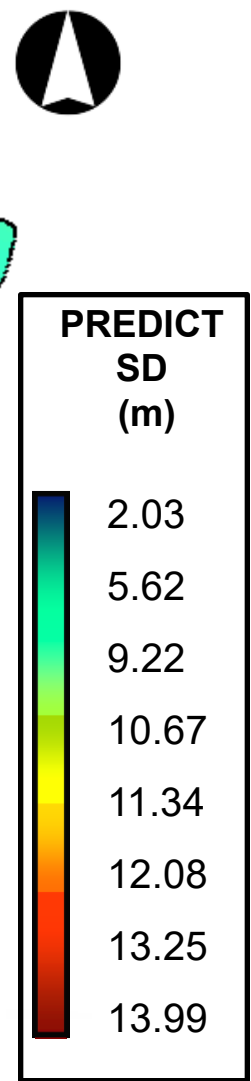
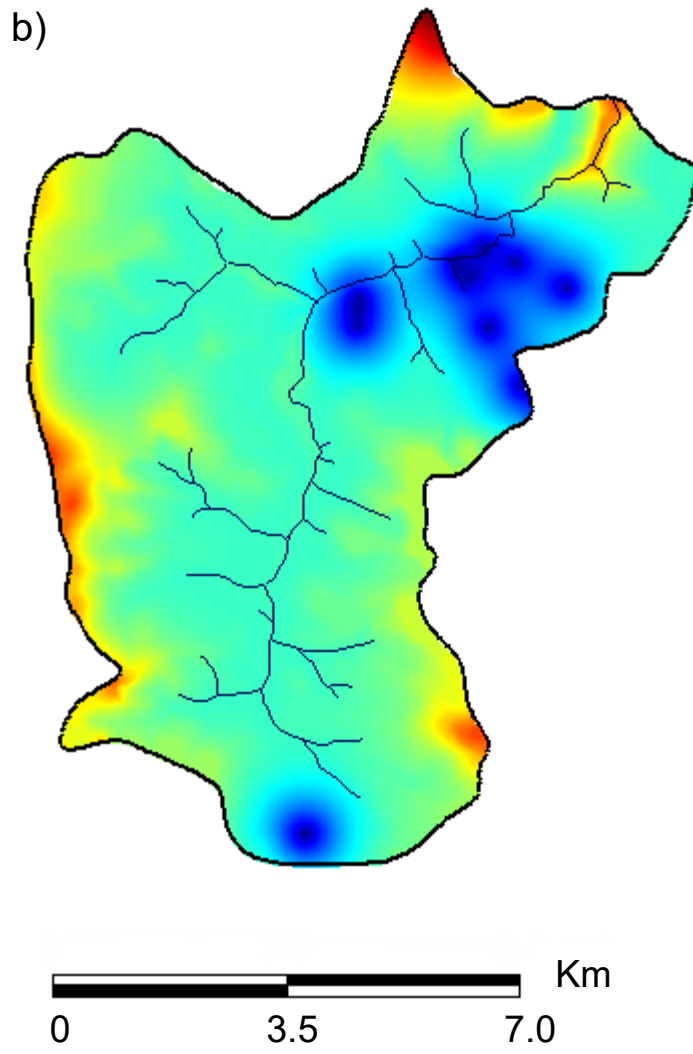
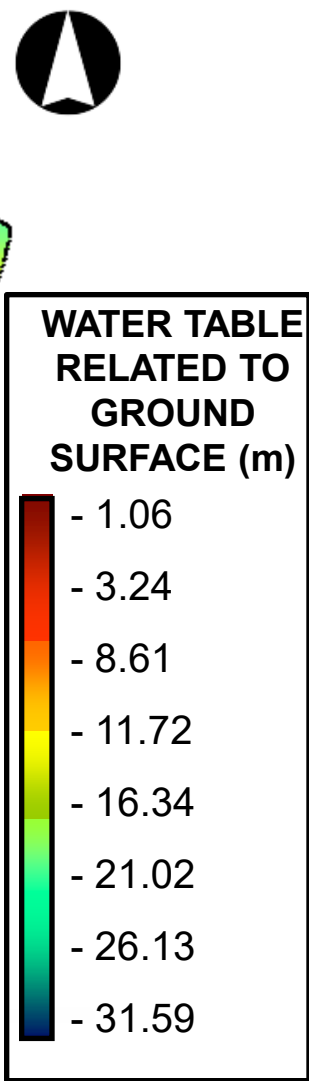
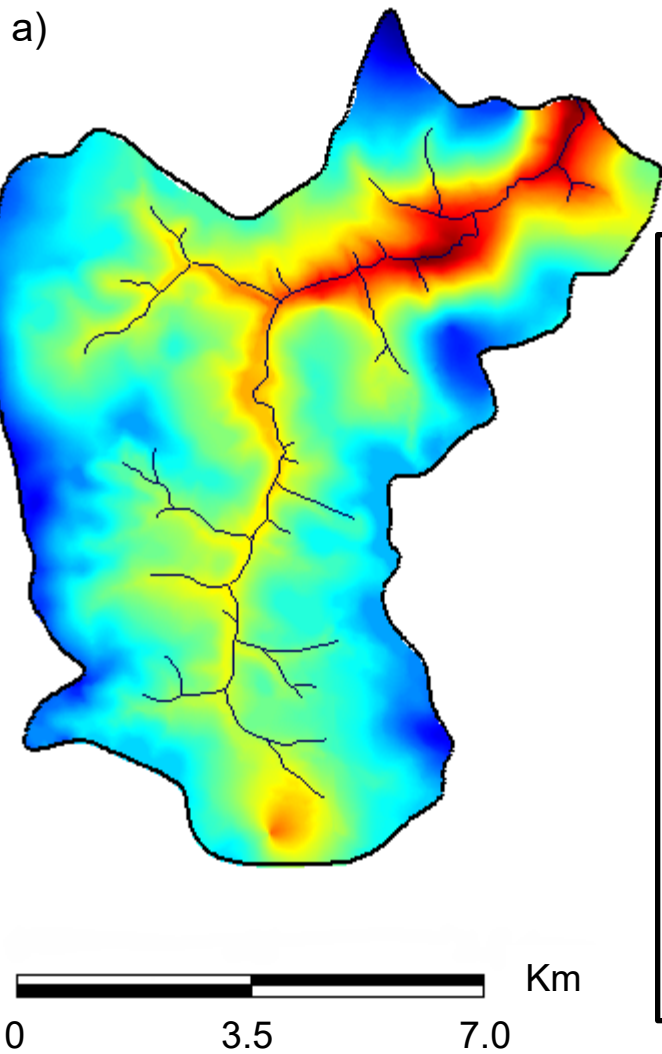
Areas with risks of shallow water table depths at March 18.

Áreas de risco

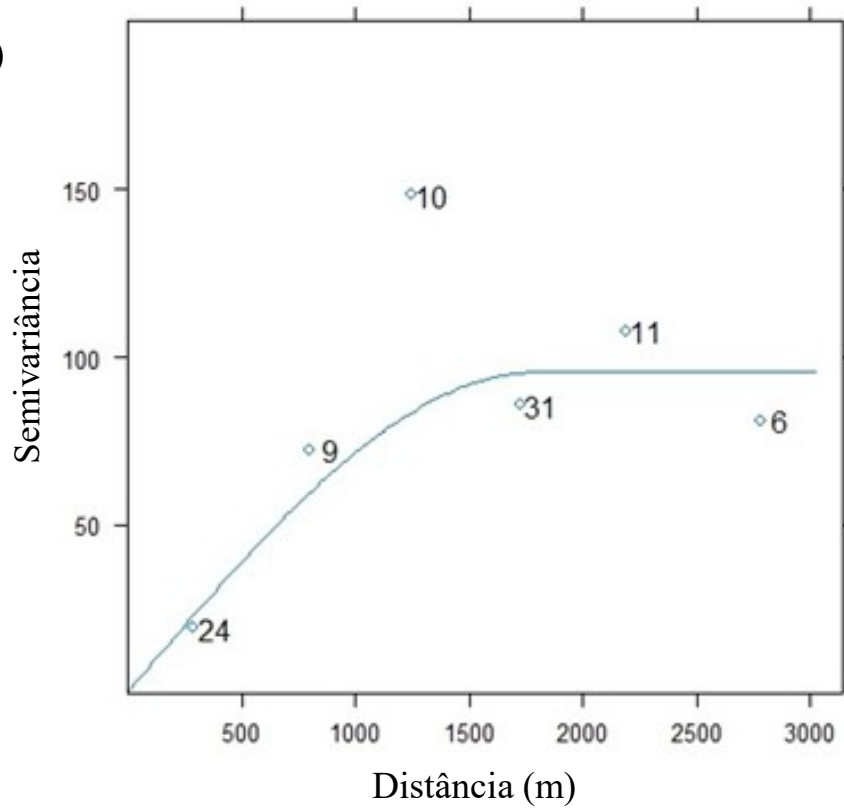
Manziona et al. (2012) – Hydrogeology J



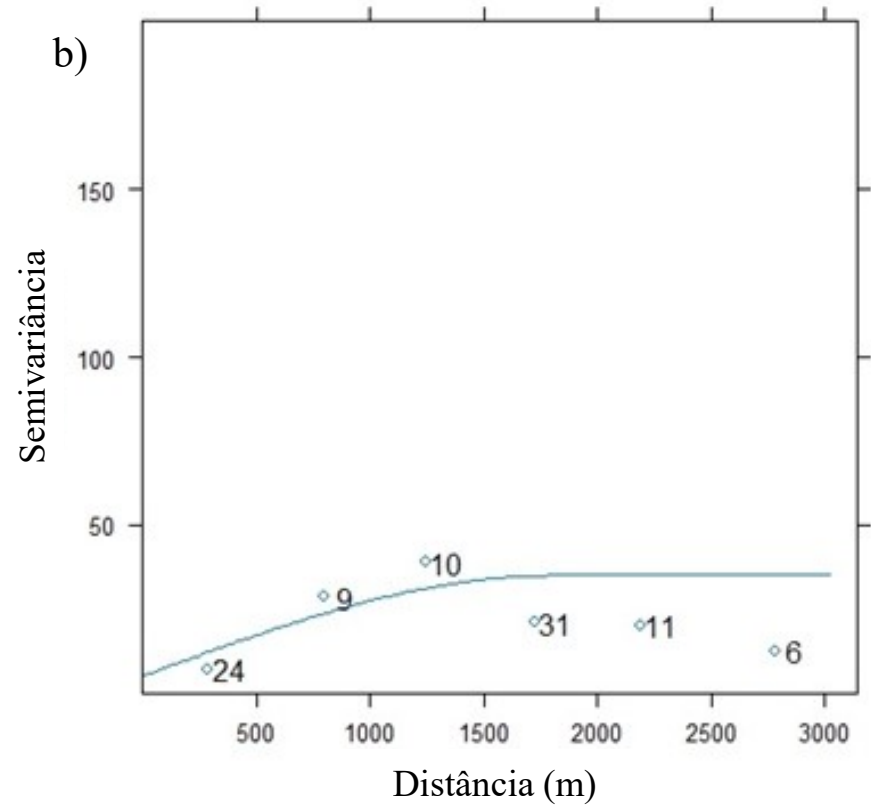
Areas with risks of water shortage at October 12.

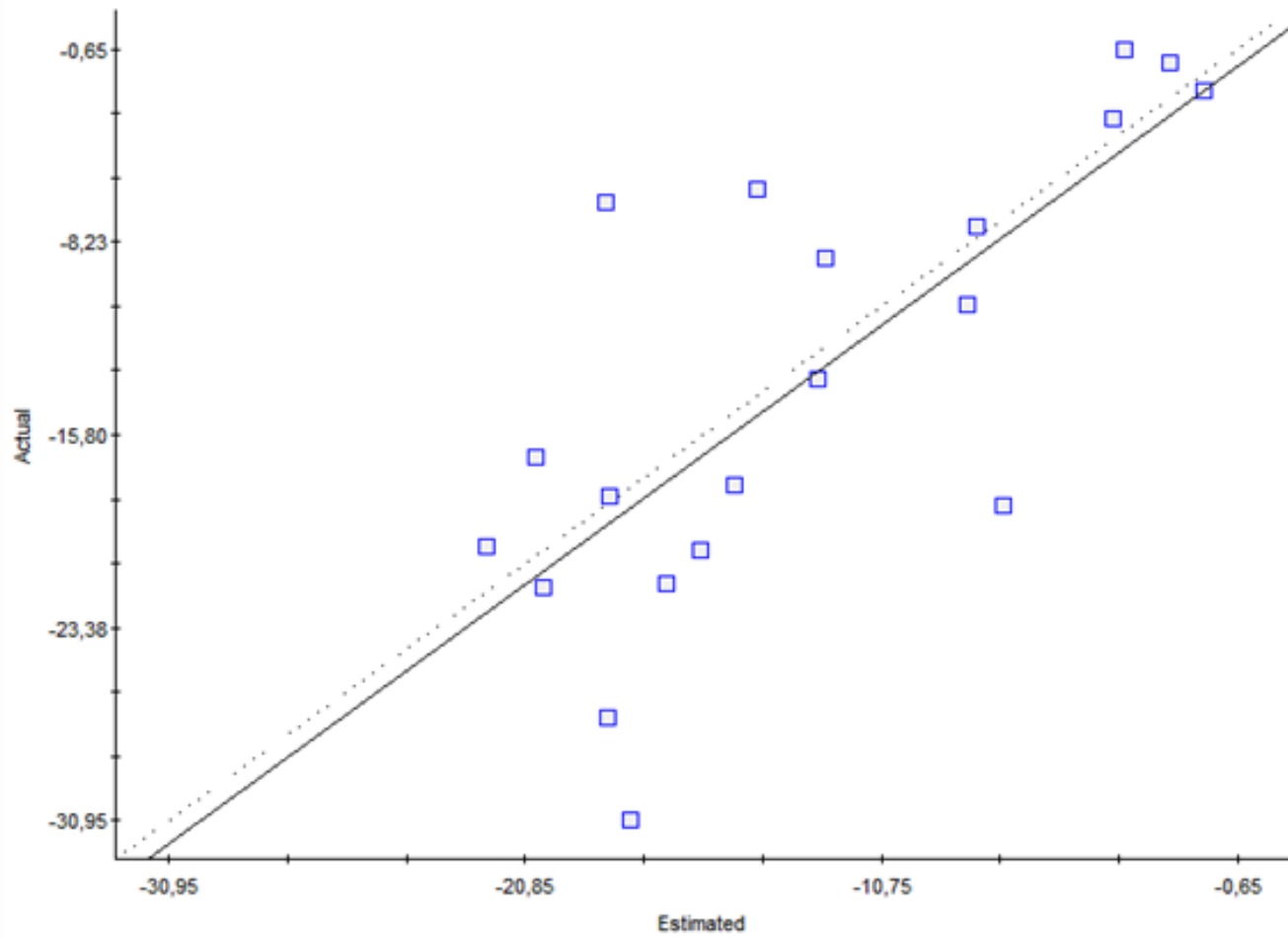


a)



b)

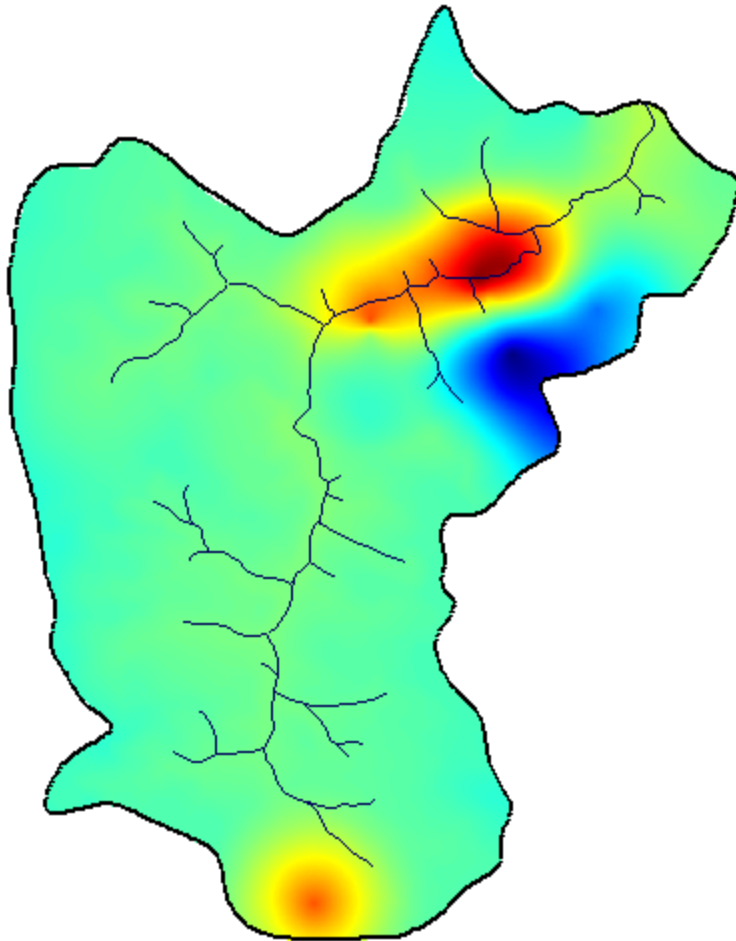




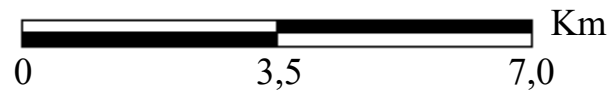
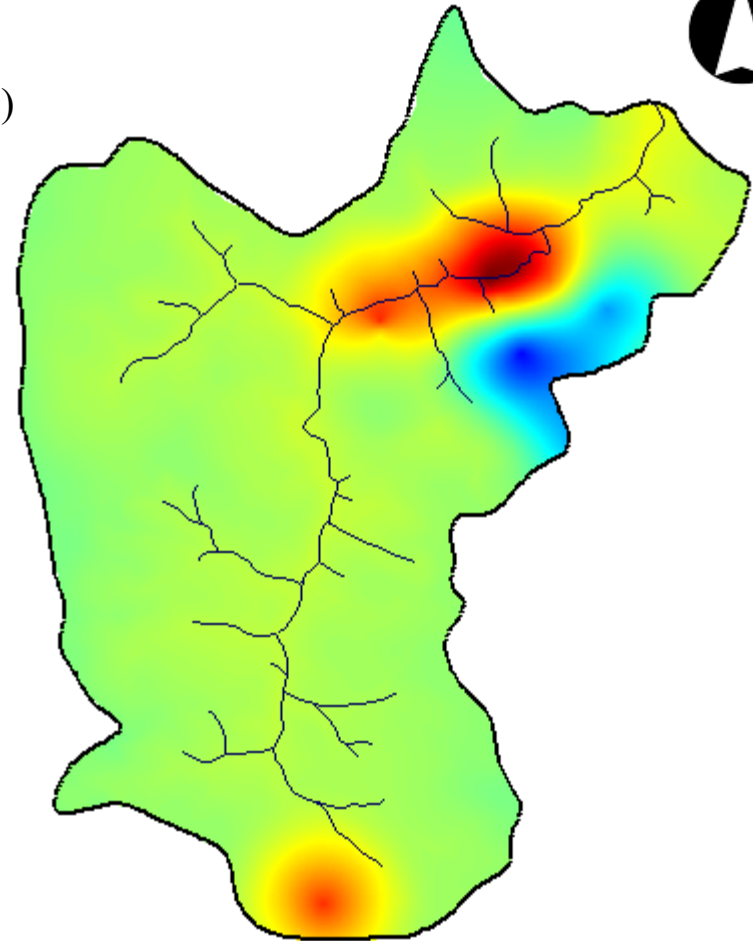
Manziona et al. (2012) – PAB



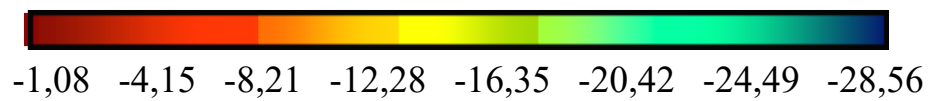
a)



b)



Nível freático em relação à superfície (m)



Conclusões

Problemas complexos exigem modelos complexos

O entendimento dos erros associados a modelagem pode auxiliar no processo de tomada de decisão

- Planejamento e gestão de recursos hídricos e apoio ao processo de tomada de decisão em políticas de médio-longo prazo

Interpolação com informações auxiliares

- Melhora a estimativa de dados escassos
- Incorpora sentido físico (elevação, usos...)

Próximos passos

- Integrar dimensões S-T e aumentar a escala de trabalho

AGRADECIMENTOS

FAPESP (Projetos 2009/05204-8 e 2011/11484-3)



manziona@ourinhos.unesp.br