



# Funções de Impulso e Resposta aplicadas à modelagem de níveis freáticos em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani

unesp 



*Rodrigo L. Manzione*  
*UNESP/Ourinhos*

*Francisco F. N. Marcuzzo*  
*CPRM/GO*

*Edson C. Wendland*  
*EESC-USP/São Carlos*

**USP**



**E E S C**

**Escola de Engenharia  
de São Carlos**

PÓS-GRADUAÇÃO em ENGENHARIA



**HIDRÁULICA e  
SANEAMENTO**

PPG-SHS USP/SÃO CARLOS

# Introdução

## Projeto

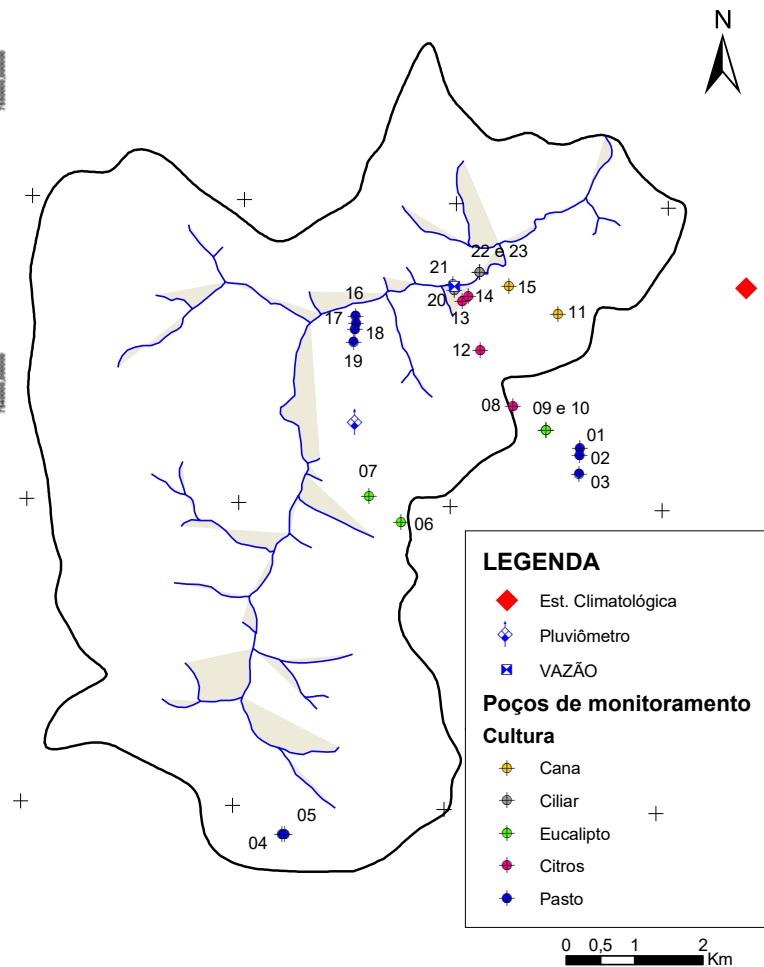
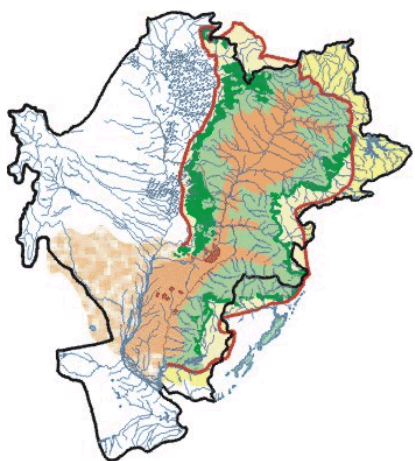
Monitoramento hidrológico em área de recarga do  
Aqüífero Guarani

Líder: Dr. Edson Wendland

Bacia do Ribeirão da Onça – Brotas (SP)

Monitoramento desde 2004 em 23 poços







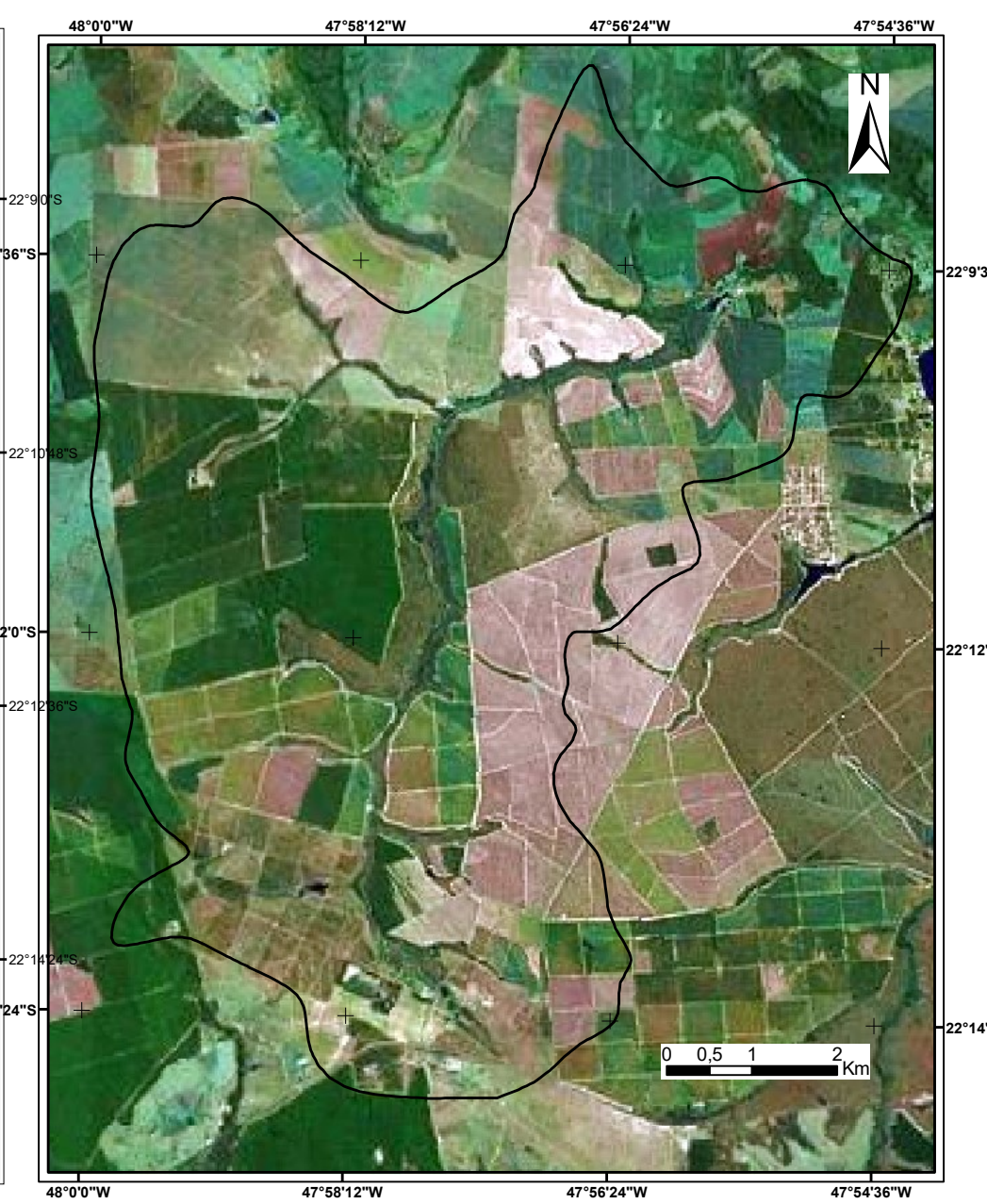
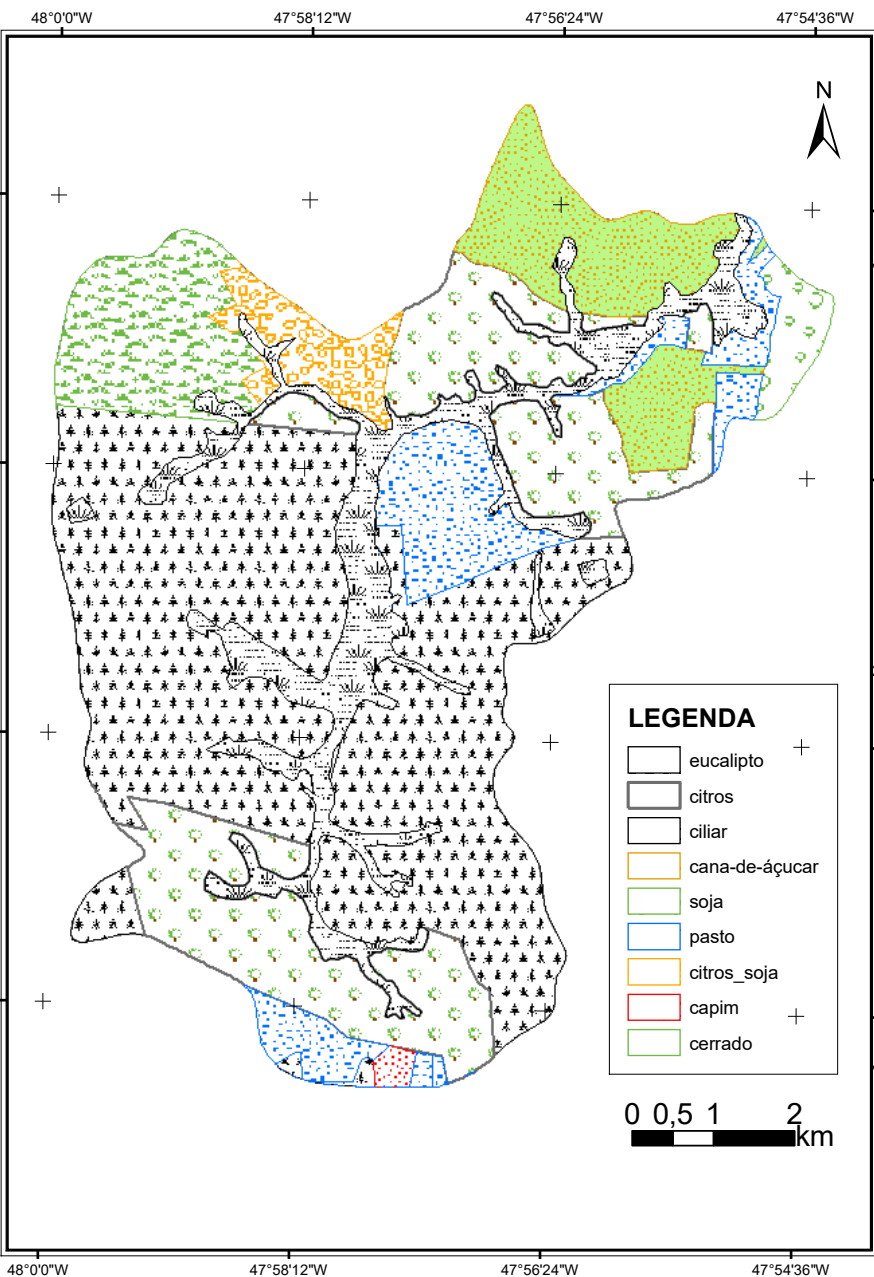
# Bacia do Ribeirão da Onça

Diferentes usos do solo

Diferentes demandas hídricas

Pouca mata ciliar

Típica microbacia encontrada no interior do Estado de SP





# Bacia do Ribeirão da Onça

Monitoramento quinzenal

23 poços

Alguns poços e linígrafo com dataloggers

Medição de vazão em uma transeção do rio









# Bacia do Ribeirão da Onça

## Séries de dados climáticos

- Na bacia
- CREHA/USP desde 1974







# Projeto de cooperação USP/UNESP

Início de 2008 - Projeto semelhante ao do meu doutorado

Pós-doutorado – Desafio de trabalhar com os mesmos métodos em área de afloramento do SAG e validar a técnica para realidades brasileiras

Meio de 2008 - Projetos aprovados e convocação pela UNESP

Estágio probatório RDIDP - Estabelecimento de um convênio de cooperação entre as Universidades

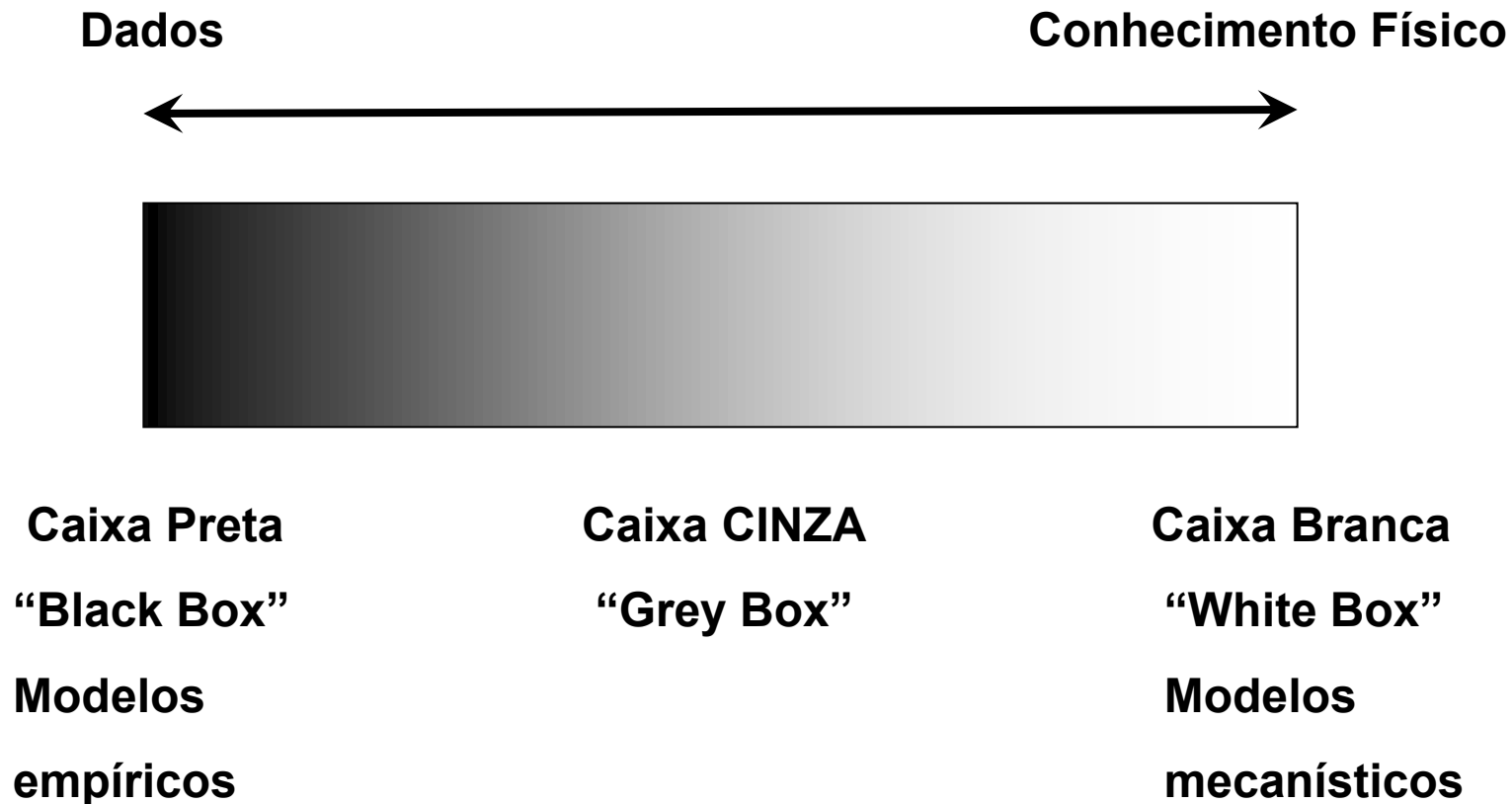
# Método

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

- Predefined Impulse Response Function In Continuous Time
- Modelo baseado em séries temporais
  - Função de transferência de ruído estocástico (TFN-model)
- Explica oscilações de níveis freáticos
- Variáveis de entrada
  - Níveis freáticos
  - Precipitação
  - Evapotranspiração Potencial
- Variável de saída –  $h$  (metros)

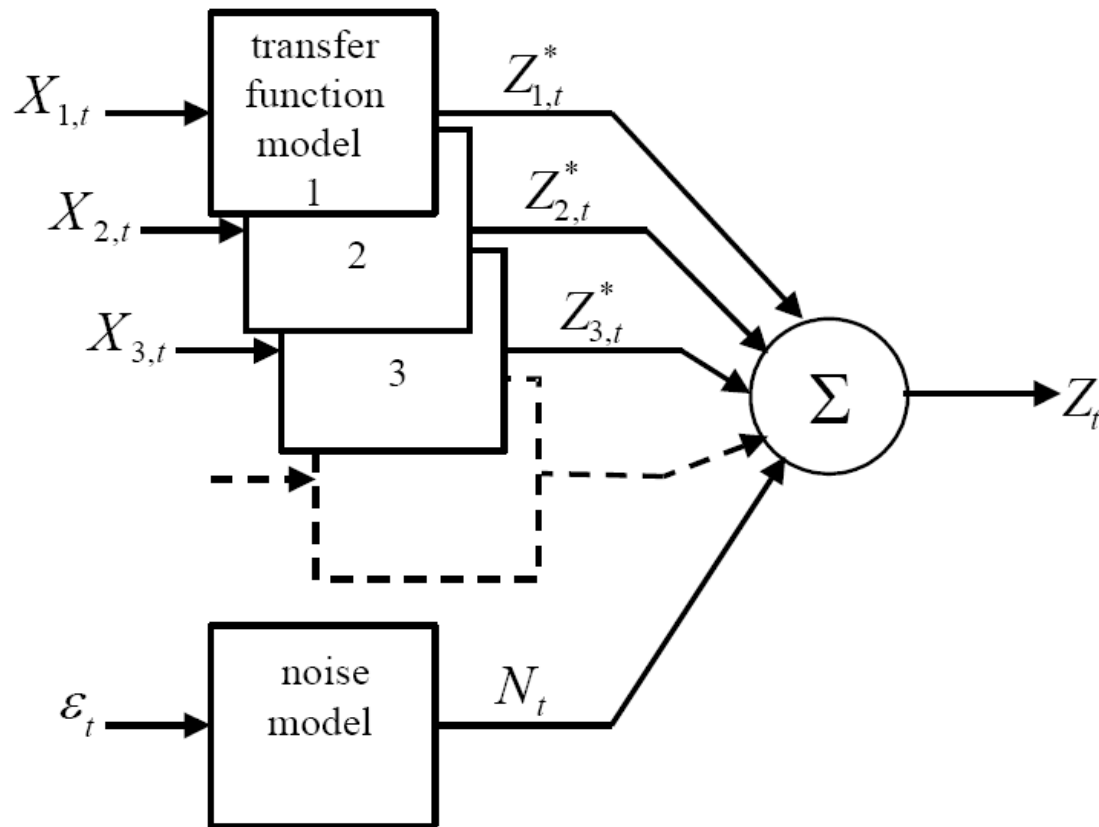
# Physical based TFN-model

“Modelo de função de transferência de ruído fisicamente embasado”



# Modelagem de séries temporais

## Transfer Function Noise (TFN) models



Representação esquemática de um modelo de função de transferência de ruído

# PIRFICT model

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

onde:

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

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

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

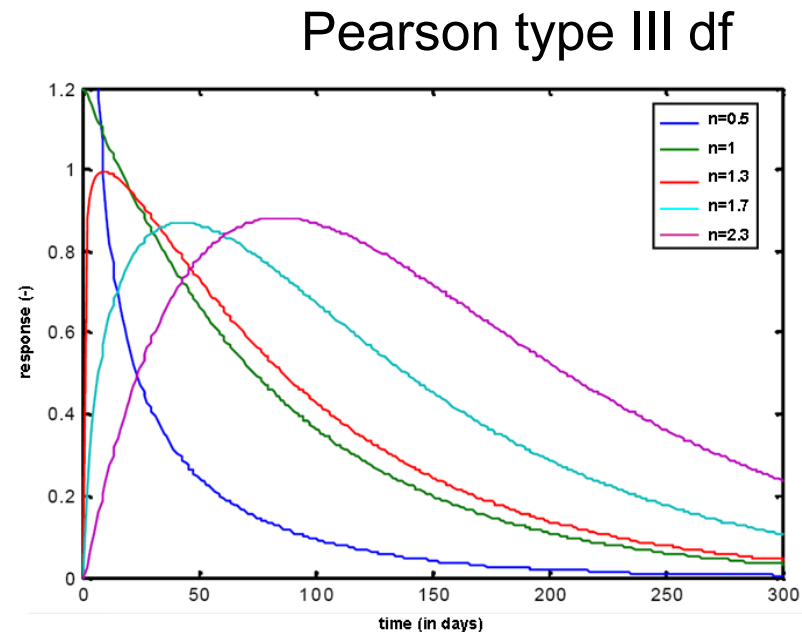


# PIRFICT model

Dinâmica física do meio aquifero

Função de Impulso-Resposta

- Flexível
- Bom ajuste para diferentes dinâmicas de aquiferos

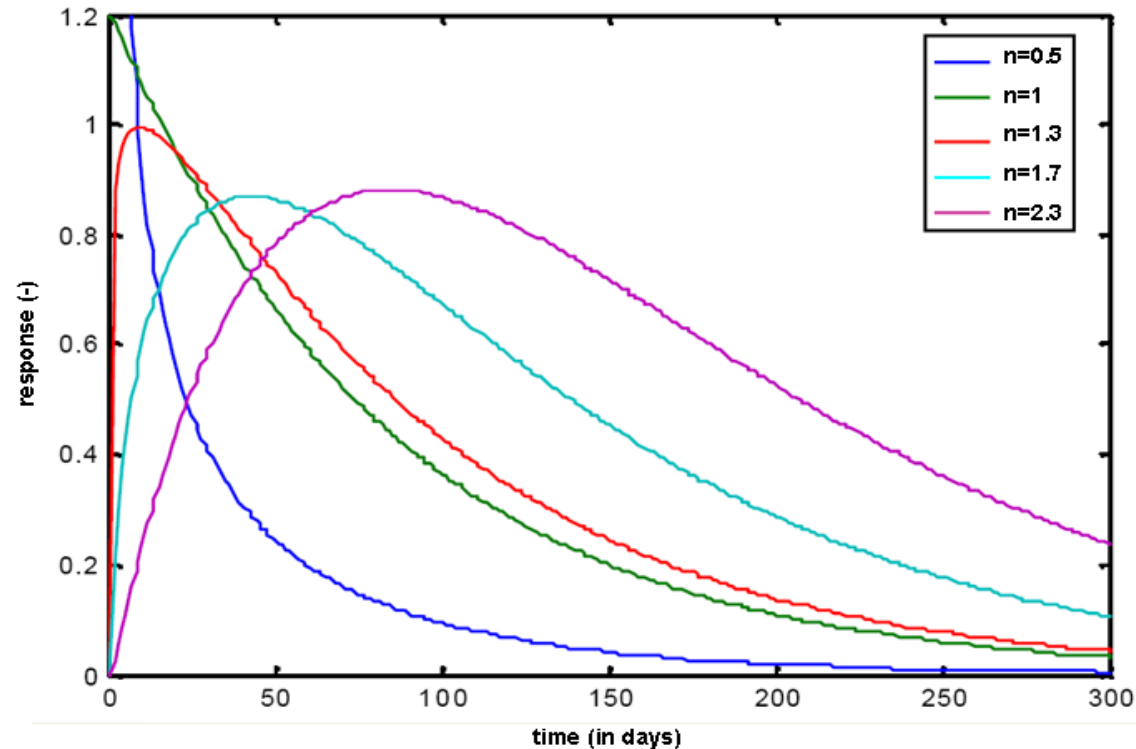


# PIRFICT model

Análogo a um hidrograma unitário

Parâmetros da função IR podem ser interpretados fisicamente

- Porosidade
- Condutividade hidráulica
- Memória do sistema



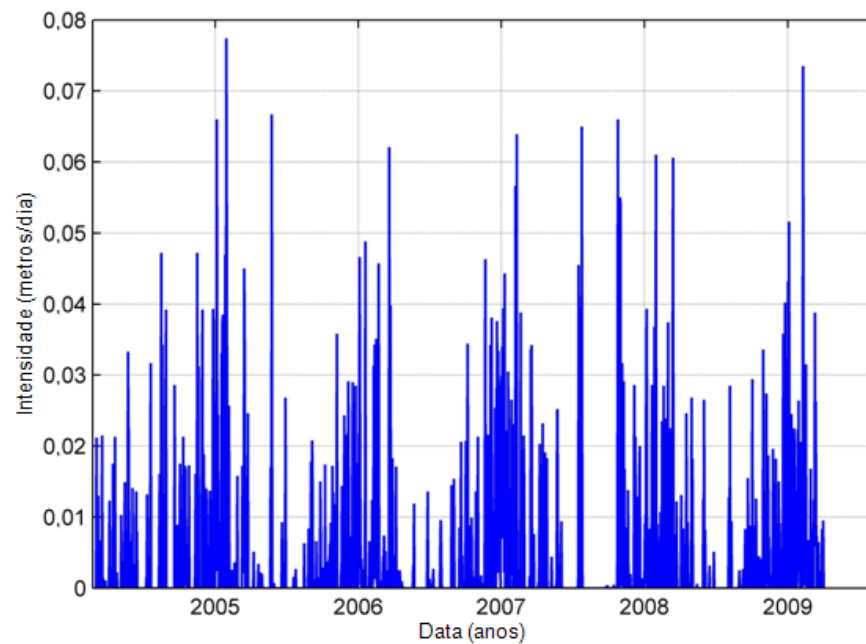
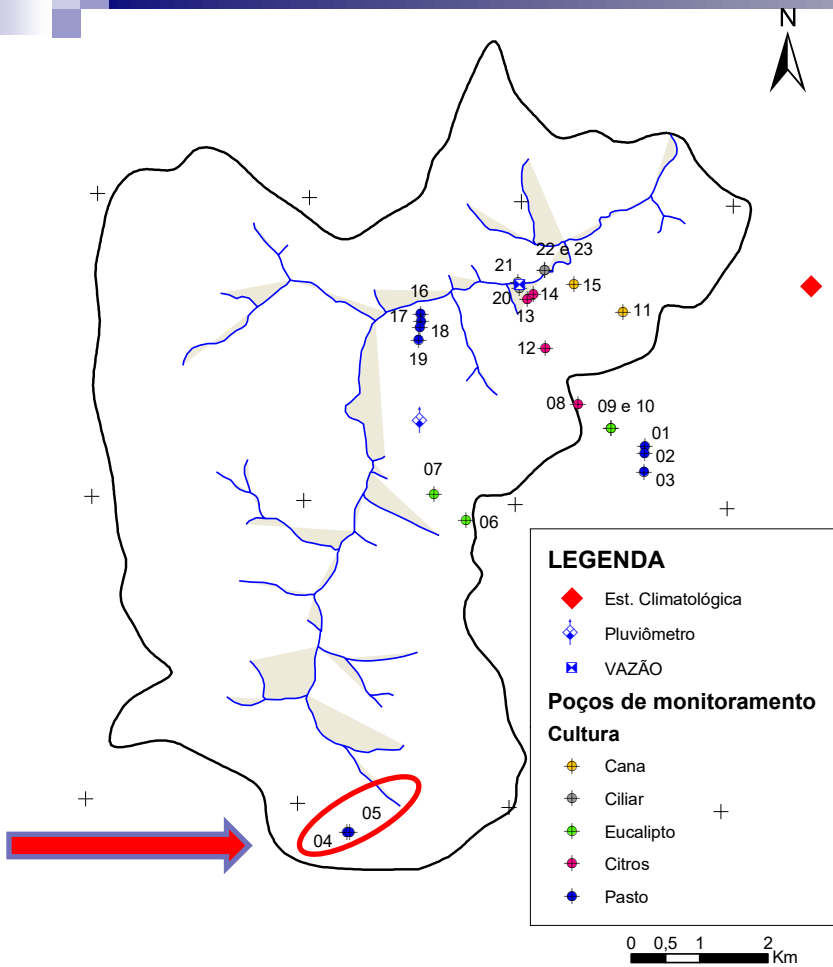


# Objetivos desse trabalho

Verificar a aplicação do modelo PIRFICT na compreensão dos processos de recarga do Aquífero Guarani

Estabelecer a relação entre séries de níveis freáticos e séries de precipitação e evapotranspiração potencial para determinar a dinâmica do sistema aquífero por funções de impulso e resposta

Primeiras análises em dois poços, locados na mesma área, sob mesmo uso do solo (pastagem), mas com profundidades diferentes

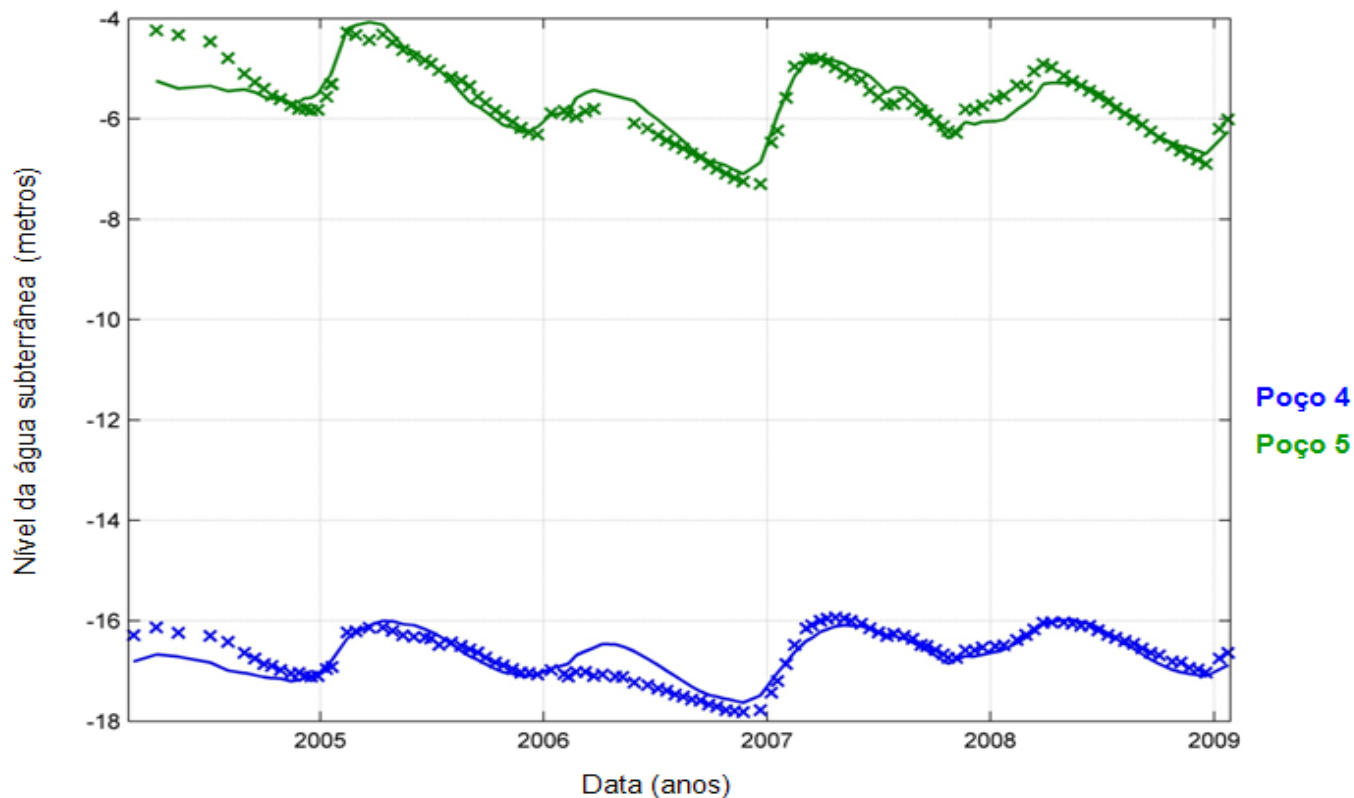


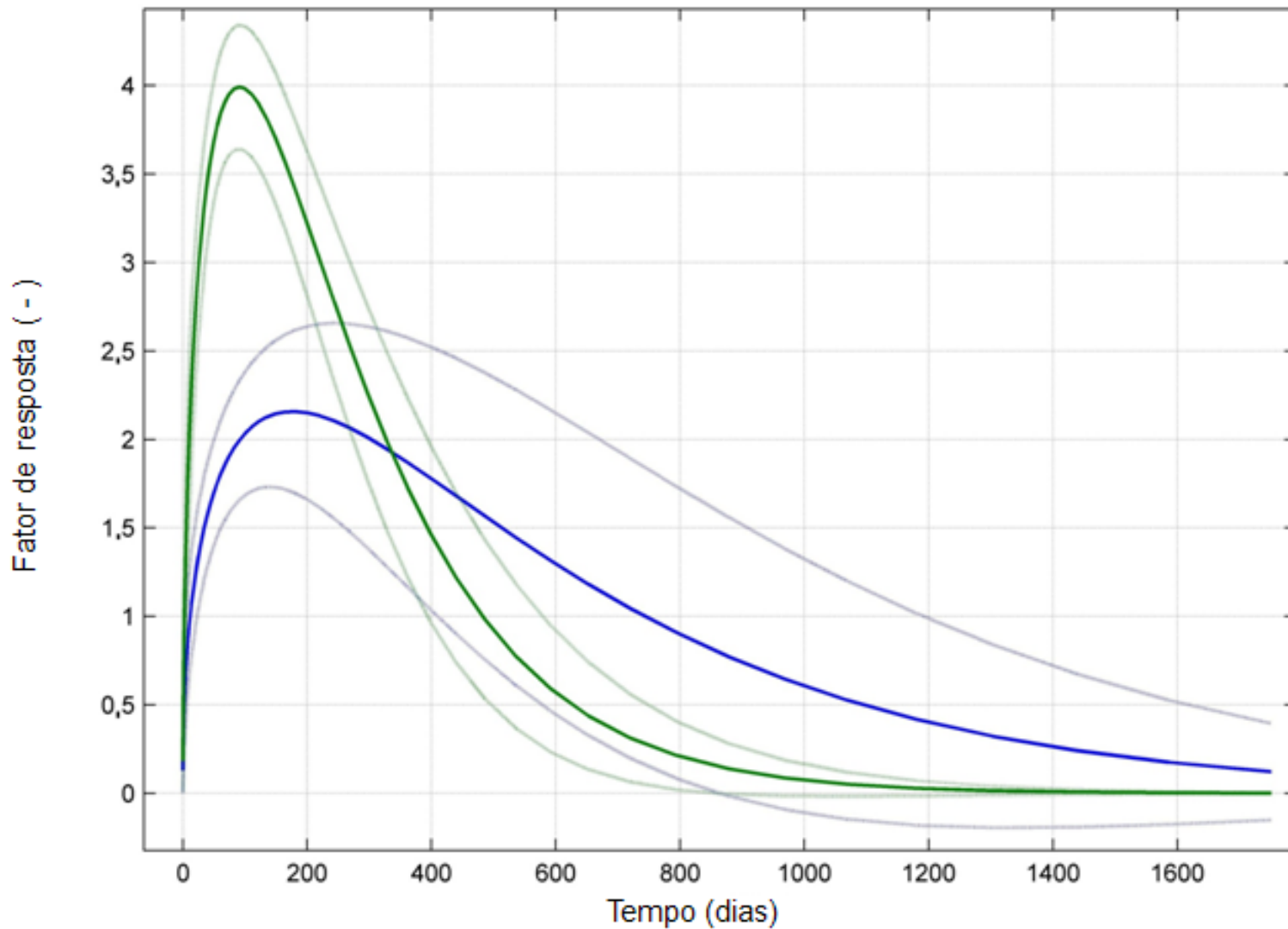
Séries de precipitação de 02 de março de 2004 a 04 de abril de 2009.

## Resultados da calibração do modelo PIRFICT para os poços 4 e 5

	$R^2$	RMSE	RMSI	$A$	$a$	$n$
Poço 4	75,51	0,240	0,083	1724 (560)	0,0025 (0,0008)	1,435 (0,075)
Poço 5	85,00	0,274	0,120	1453 (160)	0,0058 (0,0009)	1,528 (0,077)

$R^2$ =percentual da variância explicada pelo modelo; RMSE=raiz do erro quadrático médio (m);  $A$ =resistência à drenagem (dias);  $a$ = coeficiente de armazenamento no solo (1/dias);  $n$ =tempo de convecção/dispersão (dias)





Poço 4

Poço 5

Funções de impulso e resposta ajustadas para os poços 4 e 5

# Conclusões

O modelo PIRFICT mostrou-se eficaz na modelagem de séries temporais de níveis freáticos em função das séries observadas e das séries exógenas de precipitação e evapotranspiração potencial.

As funções de impulso e resposta calculadas caracterizaram a dinâmica do sistema aquífero quanto à espessura do meio poroso que a água enfrenta para que haja resposta nos níveis.

O método demonstra potencial para modelagem de níveis em áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani, assim como aplicações em outros domínios aquíferos livres.



# Estudos futuros:

Validação dos coeficientes do modelo

Ensaio de infiltração a campo

Mapeamento do risco

Para cada poço, pode-se mapear os níveis críticos para as datas específicas selecionadas

Variabilidade espacial acessada através de técnicas geoestatísticas com integração de modelo digital de terreno e imagens de satélite na predição espacial



# AGRADECIMENTOS

FAPESP (processo 2009/05204-8)

CNPq (processo 152033/2008-4)



Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico



# Obrigado pela atenção

Sugestões, dúvidas, críticas, novas parcerias...

[manzione@ourinhos.unesp.br](mailto:manzione@ourinhos.unesp.br)