

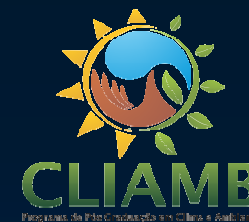
## 2ª Oficina de trabalho

Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos

“Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica em  
Mudanças Climáticas e seus Impactos sobre os  
Recursos Hídricos”

Apoio:





# Detecção do papel das mudanças climáticas e das condições de uso e ocupação do solo sobre a hidrologia da Bacia do Rio Paraná

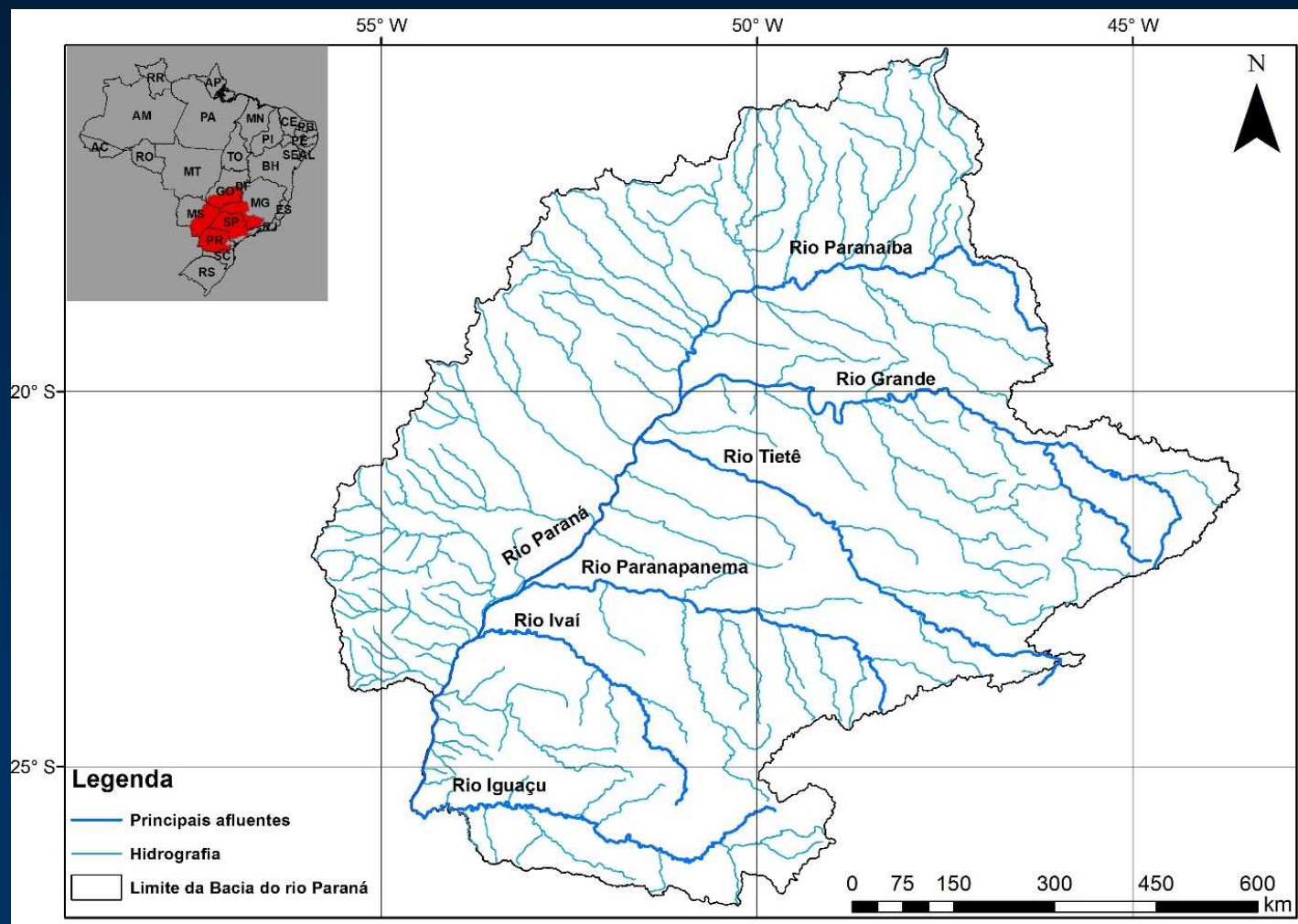
Edital 19/2015 CAPES – ANA

Edmilson Dias de Freitas  
(Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (IAG-USP))

Jorge Alberto Martins  
(Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - UTFPR)  
Rodrigo Augusto Ferreira de Souza  
(Programa Pós-Graduação em Clima e Ambiente - UEA)

# Projeto

Detecção do papel das mudanças climáticas e das condições de uso e ocupação do solo sobre a hidrologia da Bacia do Rio Paraná



## Objetivo da proposta:

Analisar o passado hidrológico recente e avaliar os potenciais cenários futuros para a Bacia do Paraná, partindo de elevado refinamento espacial e temporal dos dados em suas sub-bacias, para detectar mudanças e atribuir causalidade (variabilidade natural, mudança climática, mudança nas formas de uso e ocupação do solo).

## Metodologia:

- 1) Distribuição de frequência e intensidade dos eventos extremos (seca e inundação);
- 2) Papel dos fenômenos de grande escala sobre a ocorrência de eventos extremos;
- 3) Quantificar a contribuição do aumento de temperatura sobre a frequência, duração e intensidade de eventos extremos de seca e enchente nas sub-bacias do Paraná
- 4) Construir uma base de dados de uso e ocupação do solo integrada para toda a Bacia do Paraná a partir da metade do século XX - resolução espacial de 1km e temporal de 5 anos

## Metodologia:

- 5) Calibrar/validar um modelo hidrológico de grande bacia para as principais sub-bacias do Rio Paraná;
- 6) Analisar por sub-bacias como o ciclo hidrológico (em particular extremos) respondeu às mudanças nas formas de uso e ocupação do solo ocorridas a partir da segunda metade do século XX;
- 7) Avaliar por sub-bacias as diferenças nos cenários climáticos futuros previstos para a região - diferenças nas parametrizações e nas bases de dados de cobertura do solo;
- 8) Identificar técnicas para mensurar a vulnerabilidade das sub-bacias aos efeitos dos eventos extremos, incluindo a compreensão de como a dinâmica populacional humana contribui para a mesma.

# Foco Principal

- Contribuir para a gestão de recursos hídricos na Bacia do Rio Paraná através da Formação de Recursos Humanos nas três Universidades
  - Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
  - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
  - Universidade de São Paulo (IAG-USP)
- Bolsistas:
  - 2 Pós-Doutores (1 IAG + 1 UTFPR)
  - 3 Doutorandos (1 UEA + 2 IAG)
  - 5 Mestrandos (1 UEA+3 UTFPR + 1 IAG)

# Andamento dos Projetos de Pesquisa Associados

---





Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente – CLIAMB  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

## **Edital Mudanças do Clima e Recursos Hídricos n° 19/2015**

**Detecção do papel das mudanças climáticas e das condições de uso e ocupação do solo sobre a hidrologia da Bacia do Rio Paraná**

---

**Coordenador Local:** Prof. Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza  
**Colaborador local:** Profa. Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza  
**Mestranda:** Itamara Parente de Souza  
**Doutorando:** Wilmar Loaiza Céron

# Meta científica do Projeto Atividade Cliamb

...

**III.2 Identificar e quantificar qual o papel dos fenômenos de grande escala para a variabilidade temporal de eventos extremos de seca e cheia, por sub-bacias.**

...

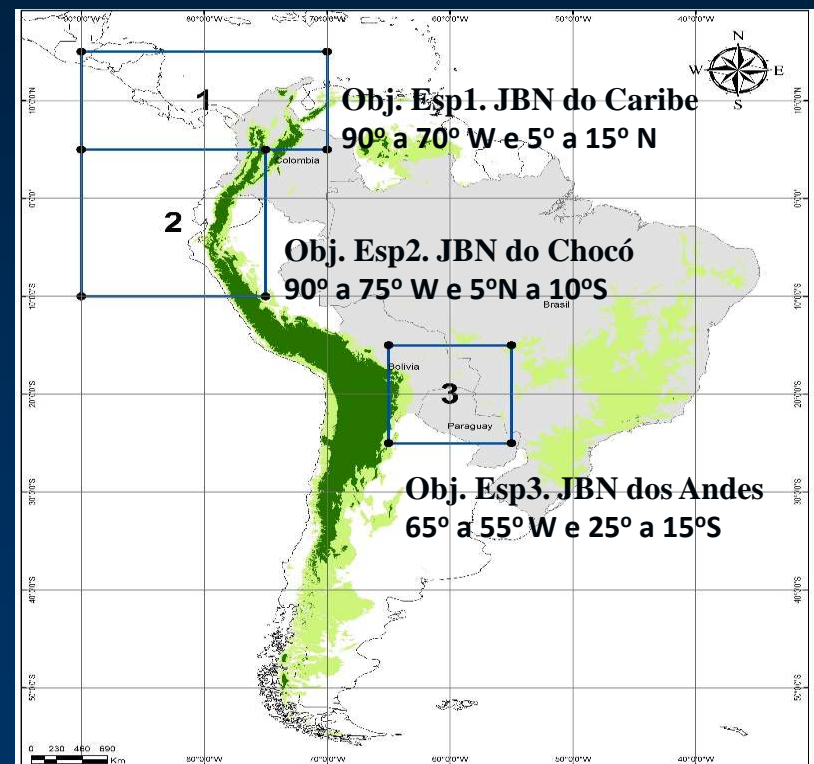
# Mestrado

## Itamara Parente de Souza

- Objetivo:
  - Estudar a variação sazonal da relação entre variabilidade interanual de precipitação com a TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico e a associação da precipitação com a vazão nas sub-bacias do Paraná.
- Atividades em Andamento:
  - Revisão literária dos principais escalas de variabilidades de interesse para a região da Bacia do Paraná;
  - Organização da base de dados de precipitação, vazão, TSM e índices climáticos;
  - Caracterização dos padrões de precipitação sobre a bacia do Paraná e suas relações com padrões de grande escala.

# Doutorado Wilmar Loaiza Céron

Estudar a variabilidade espaço-temporal da precipitação e as características oceano-atmosféricas que favorecem o transporte de umidade pelos Jatos de Baixos Níveis (JBN) em duas regiões da América do Sul, incluindo a bacia do Paraná .

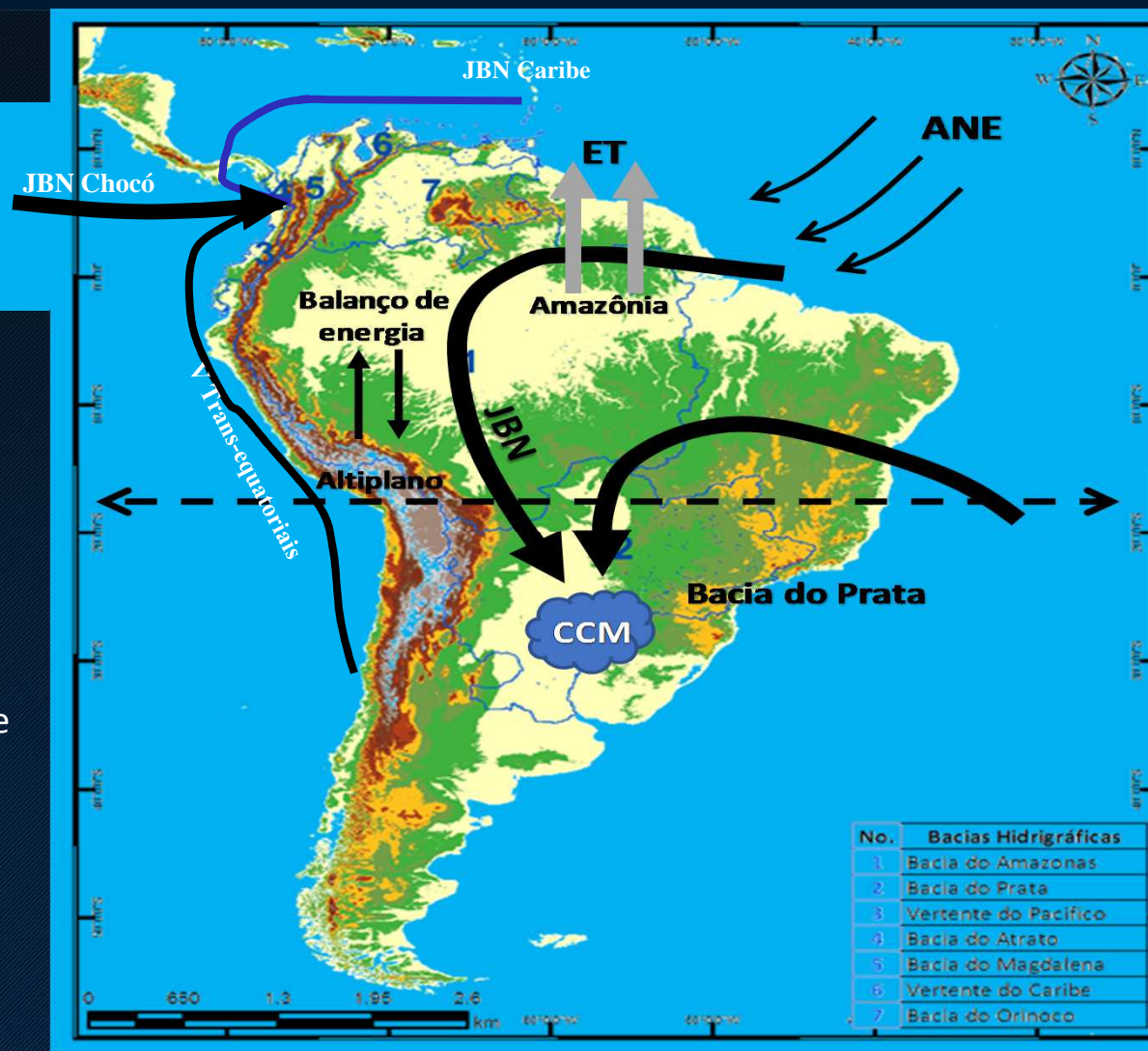


## Modelo conceitual do jato de baixos níveis (JBN)

JBN a leste dos Andes Meira, 2007; Marengo et al., 2004; Marengo e Soares, 2002; Marengo et al., 2002; Nascimento, 2016; Nicolini e Saulo, 2000, Martins et al., 2008

### JBN do Chocó e do Caribe

Poveda et al., 2014, 2006, 2001; Poveda e Mesa, 1999, 2000; Wang, 2007; Poveda, 1998; Rueda e Poveda, 2006.



# Questão científica

- Objetivo
  - Entender como as variabilidades associadas ao El Niño Oscilação do Sul, Oscilação Decadal do Pacífico e Oscilação do Atlântico Norte, afetam o comportamento espacial e temporal dos jatos de baixos níveis e modulam as precipitações em regiões da América do Sul, incluindo a bacia do Paraná.
- Atividades em andamento
  - Revisão literária sobre a variabilidade dos JBN sobre a América do Sul;
  - Apresentação do Aula de Qualificação – Setembro de 2017;
  - Organização da base de dados;
  - Caracterização de padrões;



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR

## **Edital Mudanças do Clima e Recursos Hídricos n° 19/2015**

**Detecção do papel das mudanças climáticas e das condições de uso e ocupação do solo sobre a hidrologia da Bacia do Rio Paraná**

---

Coordenador Local: Prof. Dr. Jorge Alberto Martins  
Colaborador local: Profa. Dra. Leila Droprinchinski Martins  
Mestrandos: Thais Fujita  
Marília Moreira de Eiras  
Anderson Paulo Rudke  
Pós-Doutorando: Marcos Vinícius Bueno de Moraes

# Dissertação de Mestrado

## Thais Fujita

### Modelagem Hidrológica da Região Hidrográfica do Paraná: uma análise por sub-bacias

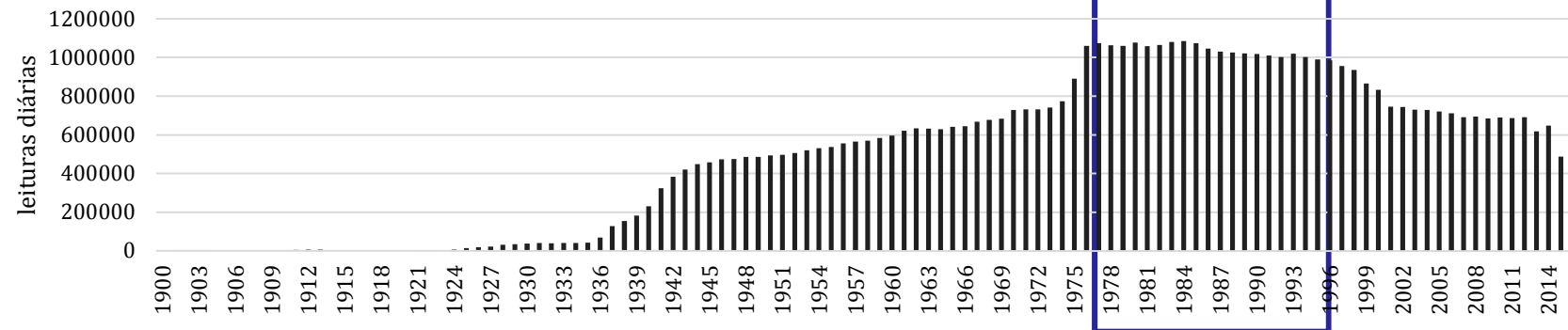
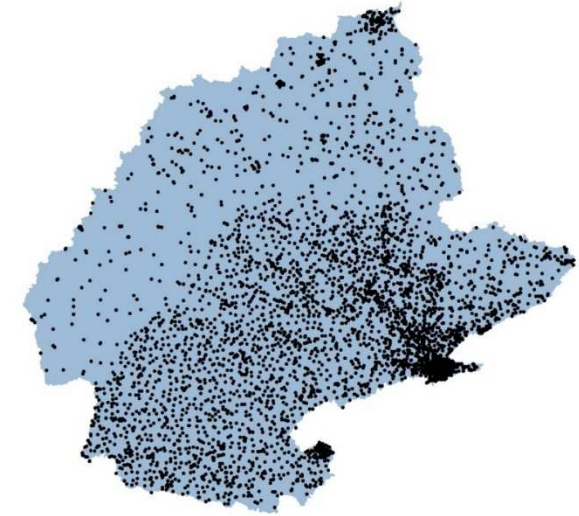
#### **Objetivo científico no qual se enquadra a dissertação**

III.5 Calibrar um modelo hidrológico de grande bacia para as principais sub-bacias do Rio Paraná.

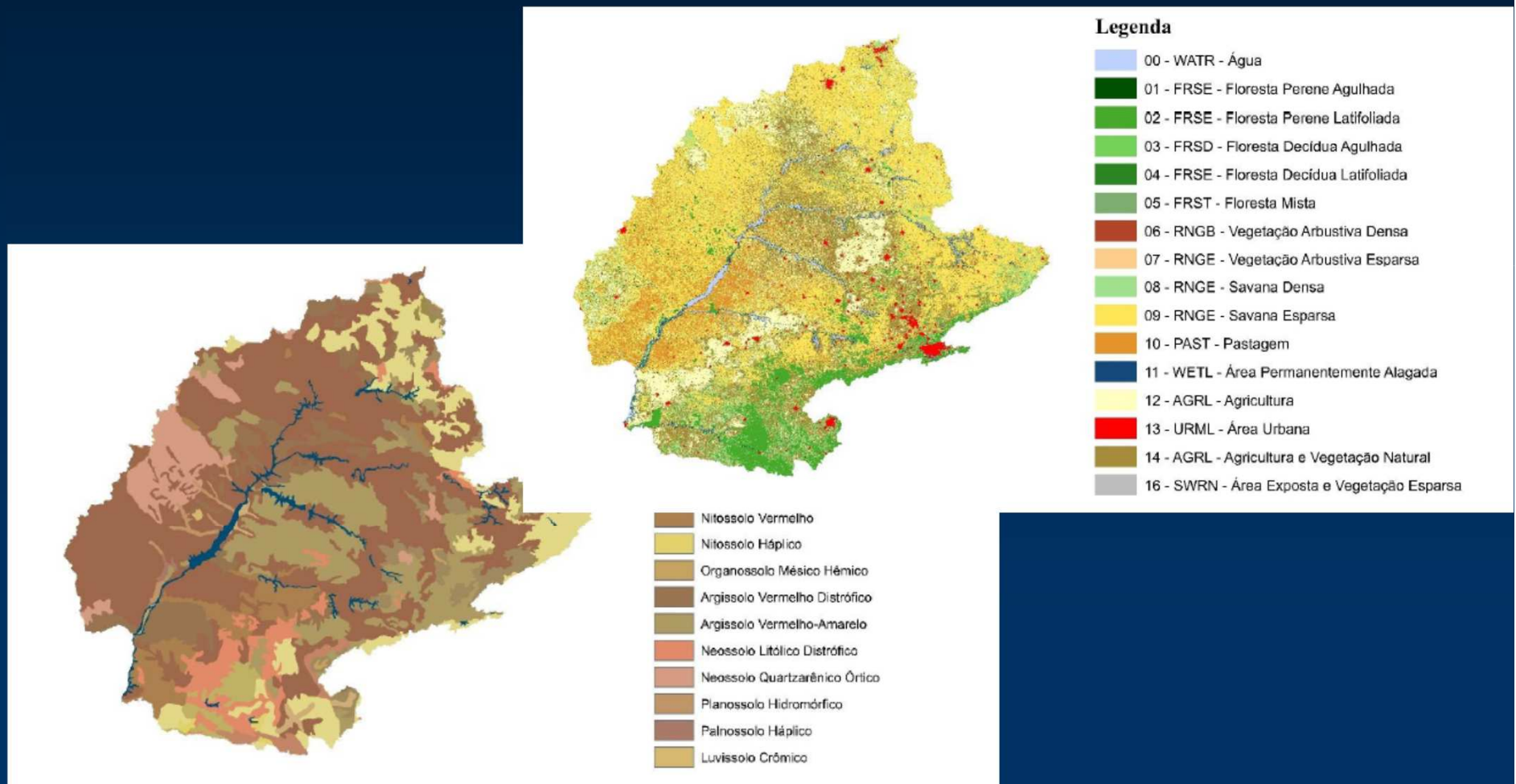


# ETAPA I - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS DADOS:

- 5175 ESTAÇÕES DISPONÍVEIS PARA DOWNLOAD NOS ESTADOS (PR, SP, SC, GO, MG e MS) QUE FAZEM PARTE DA BACIA
- 3296 DISPONÍVEIS PARA DOWNLOAD DENTRO DOS LIMITES  
(o número inventariado é maior) – este número varia no tempo



# ETAPA II – PREPARAÇÃO DE DADOS ADICIONAIS (Ex. VAZÃO, TIPO E COBERTURA DO SOLO)



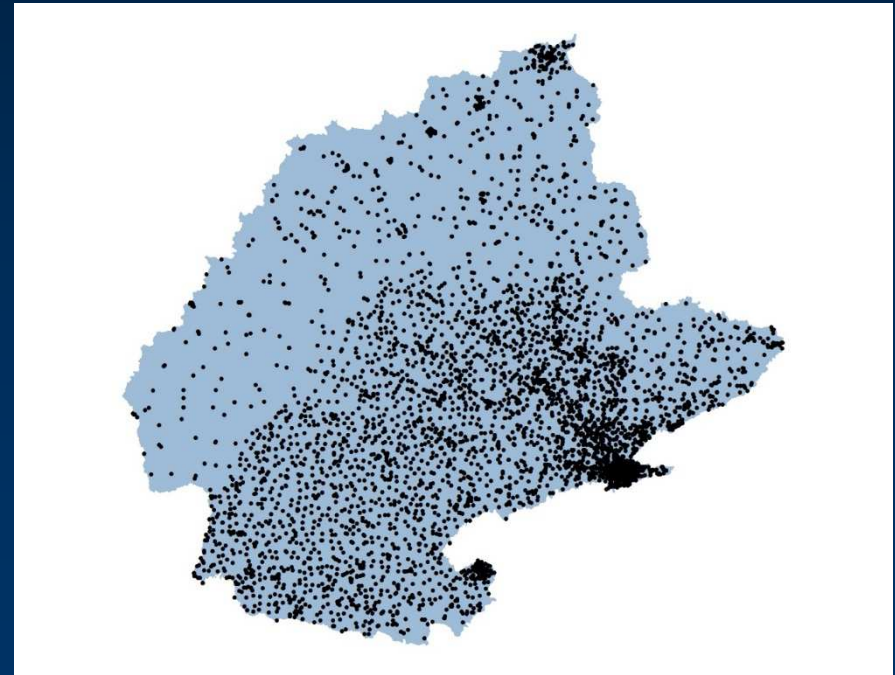
# Próximas etapas



1. Finalizar o processo de calibração para o Rio Ivaí;
2. Proceder com a validação;
3. Aplicar o processo de calibração/validação para outras sub-bacias
4. Avaliar como o efeito da densidade de estações varia espacialmente.

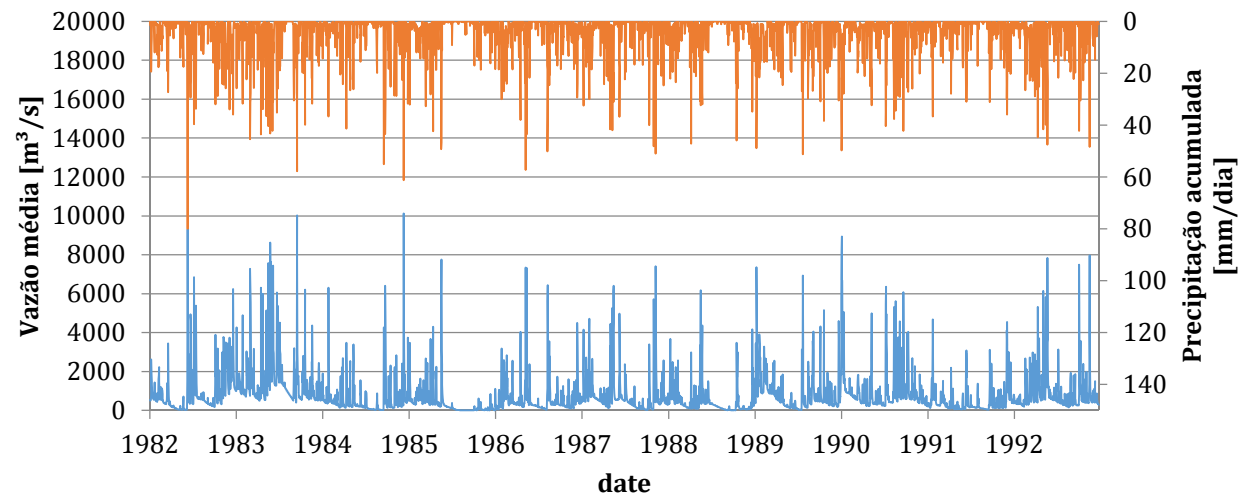
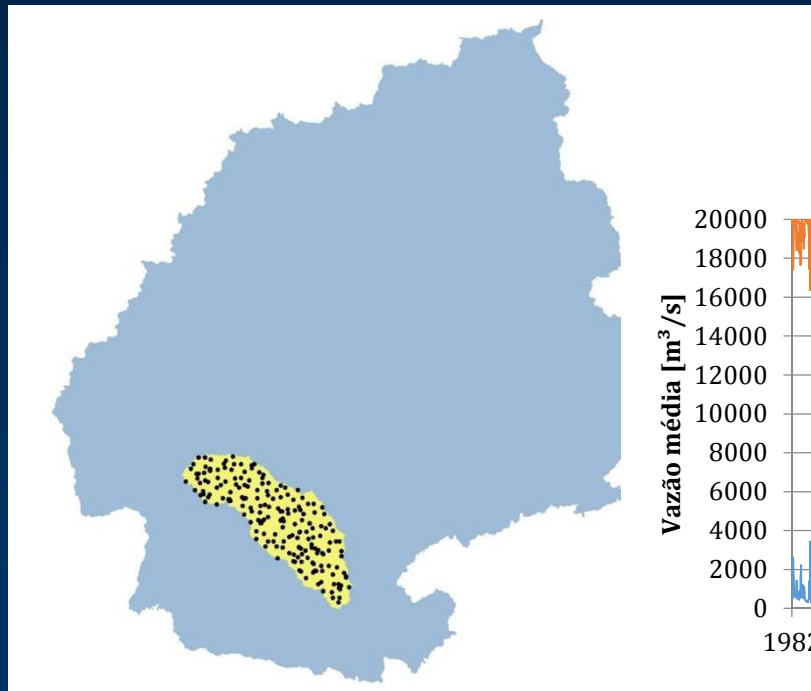
# QUESTÃO CIENTÍFICA RELEVANTE, APÓS QUALIFICAÇÃO DOS DADOS:

QUAL O IMPACTO DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL  
DA DENSIDADE DE ESTAÇÕES SOBRE O RESULTADO  
DA MODELAGEM HIDROLÓGICA?



# Metodologia para avaliação do efeito da densidade de estações

- REMOÇÃO DE ESTAÇÕES DE PRECIPITAÇÃO DE FORMA CONTROLADA;
- ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS POR MEIO DE INTERPOLAÇÃO;
- AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MÉDIO NAS MICRO-BACIAS;
- INSERÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO NO MODELO HIDROLÓGICO;
- AVALIAÇÃO DA RESPOSTA DA VAZÃO.



# Dissertação de Mestrado

## Marília Moreira de Eiras

### Valoração econômica dos serviços ambientais prestados pelos recursos hídricos da Bacia do Rio Tibagi

#### **Objetivo científico no qual se enquadra a dissertação**

III.8 Identificar técnicas para mensurar a vulnerabilidade e adaptá-las de maneira a compreender como a dinâmica populacional humana poderá acentuar ou diminuir os riscos aos efeitos dos eventos de ondas de calor, seca e enchente.

# Metodologia

**Valoração Ambiental - Conceito da Economia do Meio Ambiente: Atribuir valor monetário a ativos ambientais**

Benefícios do desenvolvimento de métodos de valoração:

Instrumentos objetivos para tomada de decisão;

Alocação eficiente e equitativa na aplicação de recursos públicos;

Garante a consciência no uso da água ao evidenciar financeiramente seu valor;

Contribui para os processos legais e promove a justa reparação de danos;

Torna as decisões de investimento mais seguras;

Fornece estimativas mais assertivas sobre o risco de dano ambiental;

Consolida água como um bem econômico, além de socioambiental.



# Metodologia

## ETAPA 1

### **Caracterização da Bacia Hidrográfica:**

- Identificação dos principais serviços ecossistêmicos prestados pelos Recursos Hídricos

## ETAPA 2

### **Valoração dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica:**

- Metodologia para valoração

## ETAPA 3

### **Definição do valor dos Recursos Hídricos:**

- Modelo matemático - Tratamento dos dados
- Montante em valores monetários

Fonte: Adaptado KOUNDOURI (2016).



# Metodologia

## Etapa I

### Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi:

- Sub-bacia da Região Hidrográfica do Paraná
- Subdividida em Alto e Baixo Tibagi
- Engloba 49 cidades do Paraná
- Abriga 1,9 milhões de habitantes
- Área de drenagem: 24.713 km<sup>2</sup>

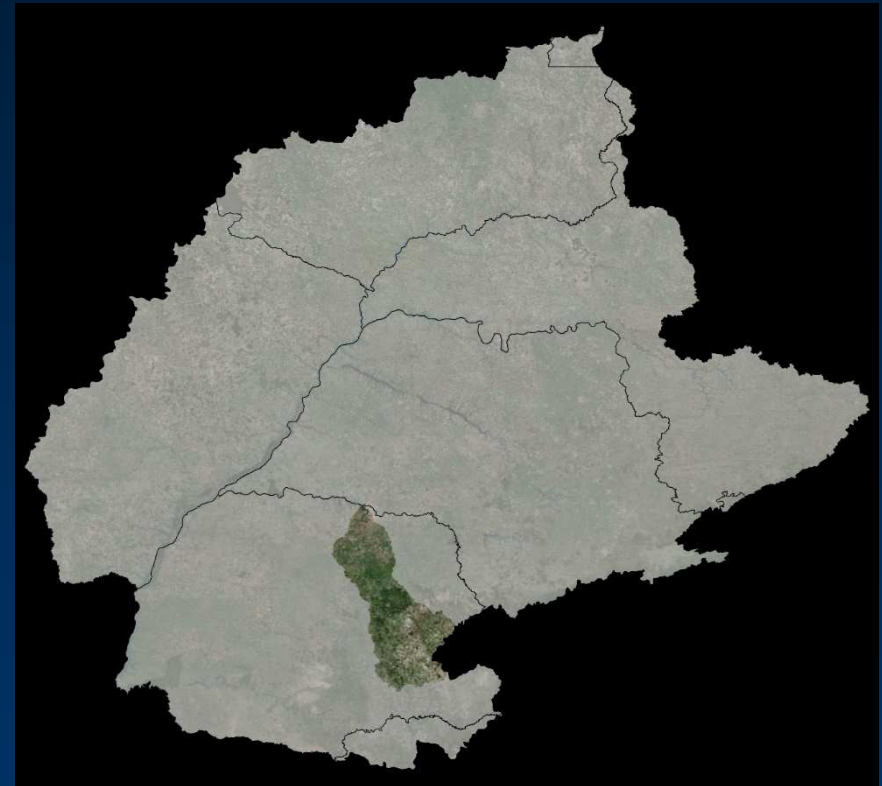


Figura 2: Mapa de localização Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi.

Fonte: PLANO DA BACIA DO TIBAGI (2015).

# Metodologia

## Etapa I

### Usos dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Tibagi

Abastecimento público

Aproveitamento hidrelétrico

Aquicultura

Captação industrial

Dessedentação de animais

Harmonia paisagística

Irrigação

Lançamento de efluentes

Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas

Proteção das comunidades aquáticas

Recreação de contato primário

Recreação de contato secundário

Tabela 1: Uso Recursos Hídricos Bacia do Rio Tibagi  
Fonte: PLANO DA BACIA DO TIBAGI (2015).

# Metodologia

## Etapa II

Bem de Valor  
de Uso Direto

- Usos a serem valorados (inicialmente):
- 1) Irrigação
- 2) Abastecimento Público
- 3) Uso hidrelétrico



Método de  
Valoração  
Contingente  
(MVC)

- Identificação da preferência de cada usuário



Disposição a  
Pagar (DAP)

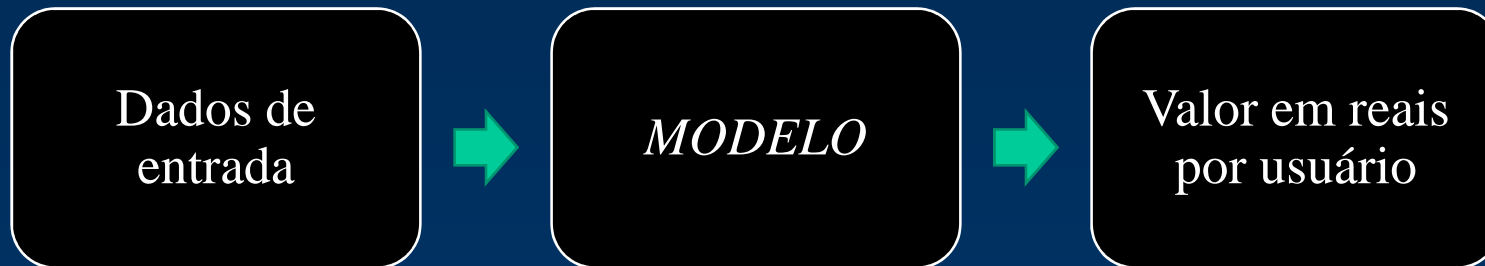
- Aplicação de questionários aos usuários:
- Inserção de dados socioeconômicos
- Resposta da disposição a pagar (DAP)

# Metodologia

## Etapa III

### Modelo matemático:

- Modelo matemático → Compilar os dados socioeconômicos com as respostas da DAP de cada indivíduo
- Método probabilístico



# Dissertação de Mestrado em andamento: Anderson Paulo Rudke

## Mapeamento da dinâmica do uso e cobertura do solo para a Região Hidrográfica do Rio Paraná

### **Objetivo científico no qual se enquadra a dissertação**

III.4 Construir uma base de dados de uso e ocupação do solo integrada para toda a Região Hidrográfica do Rio Paraná, com alta resolução espacial (1km) e temporal (5 anos), a partir da metade do século XX.

# Problema Principal

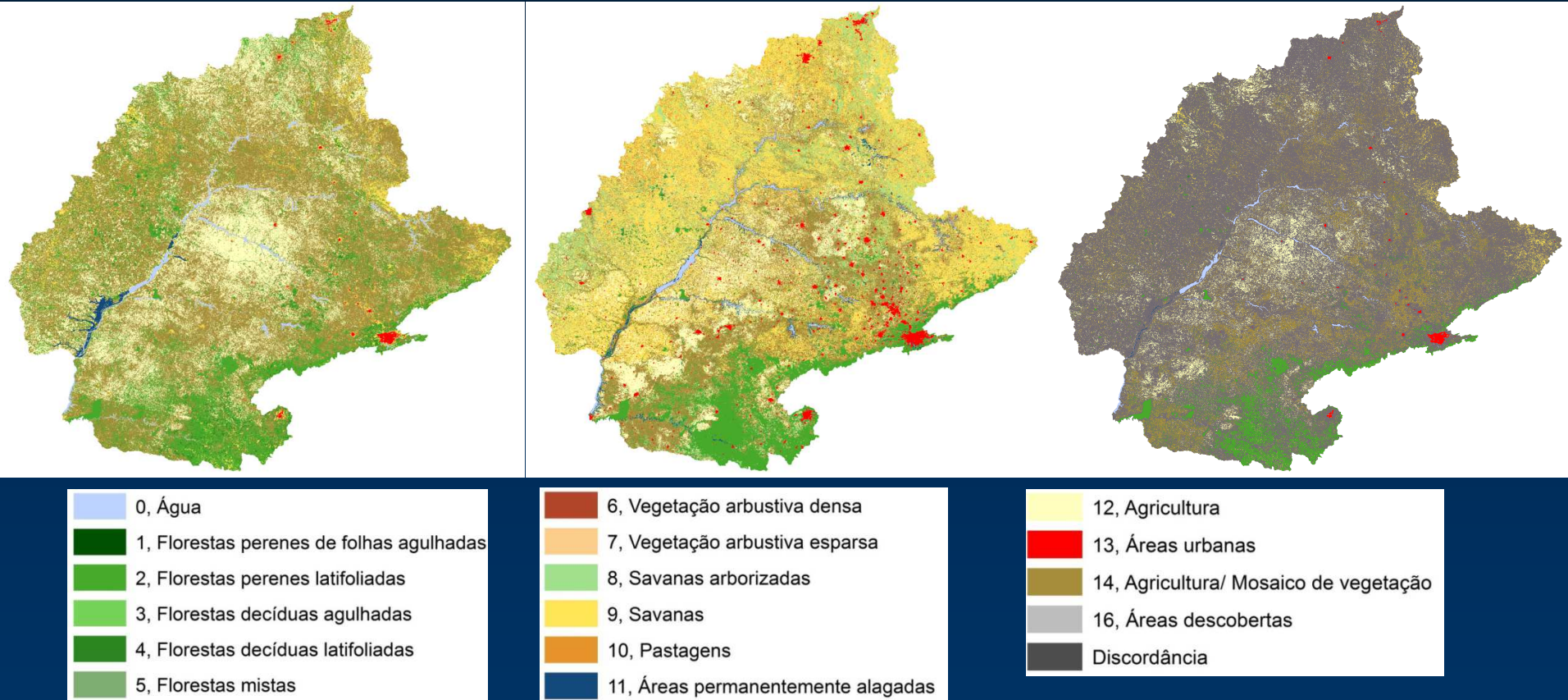
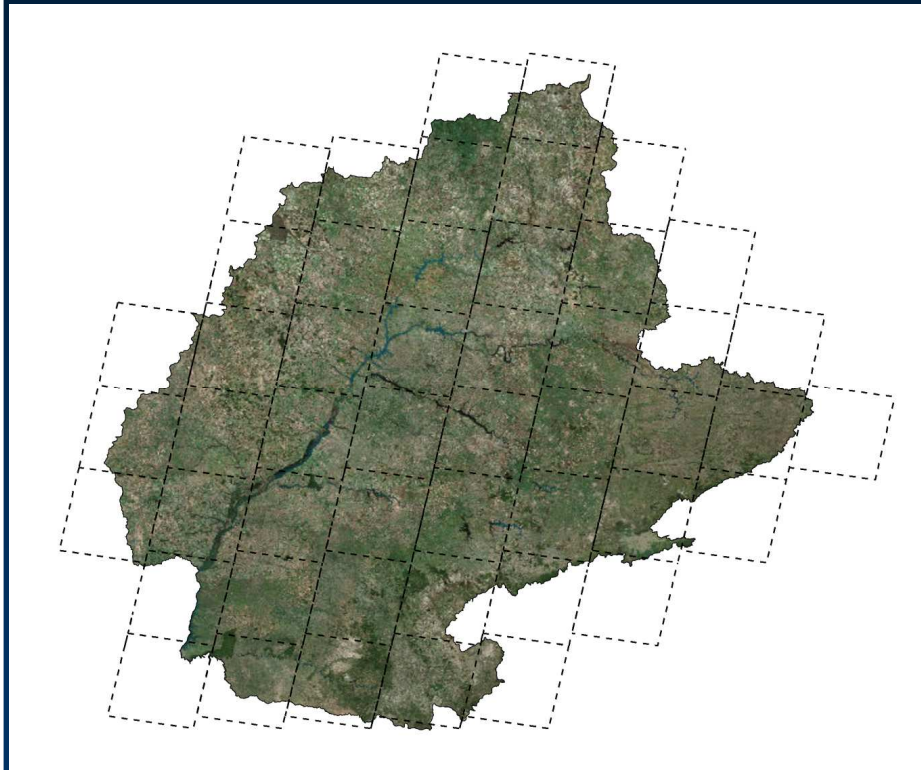


Figura 1 – Concordância entre os produtos globais de uso e ocupação do solo para a RHPR.

# Metodologia



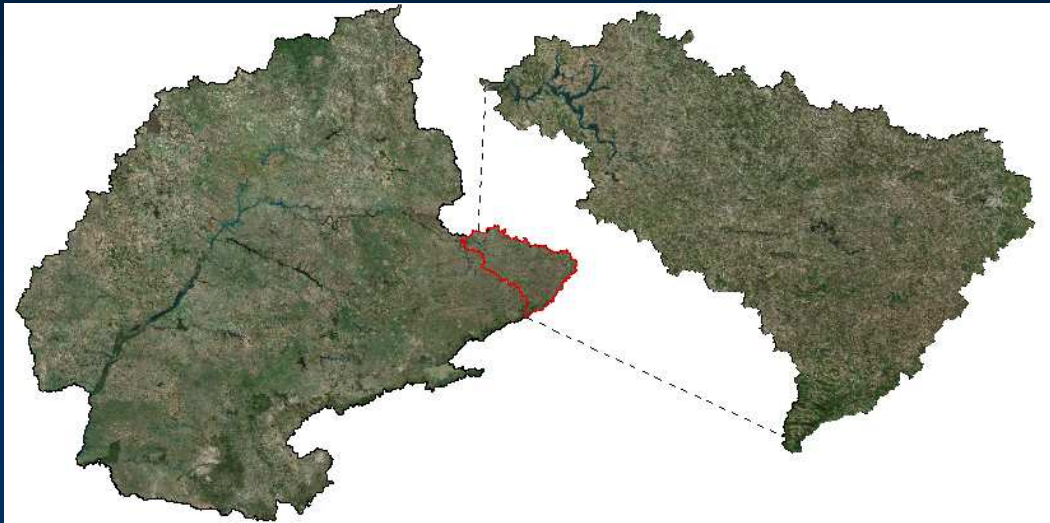
## 49 Cenas Landsat

Figura 2 – Distribuição das cenas Landsat utilizadas.



Figura 3 – Classes de uso e ocupação do solo abordadas no estudo.

# Metodologia



**Figura 4** - Localização da sub-bacia do alto Rio Grande (sub-bacia teste).

## Dados da sub-bacia teste:

- Área - 26.490km<sup>2</sup>;
- Classificação – 2010;
- Imagens Landsat – 5 cenas;
- Pontos de treinamento – 350;
- Pontos de validação – 94.



# Resultados Preliminares

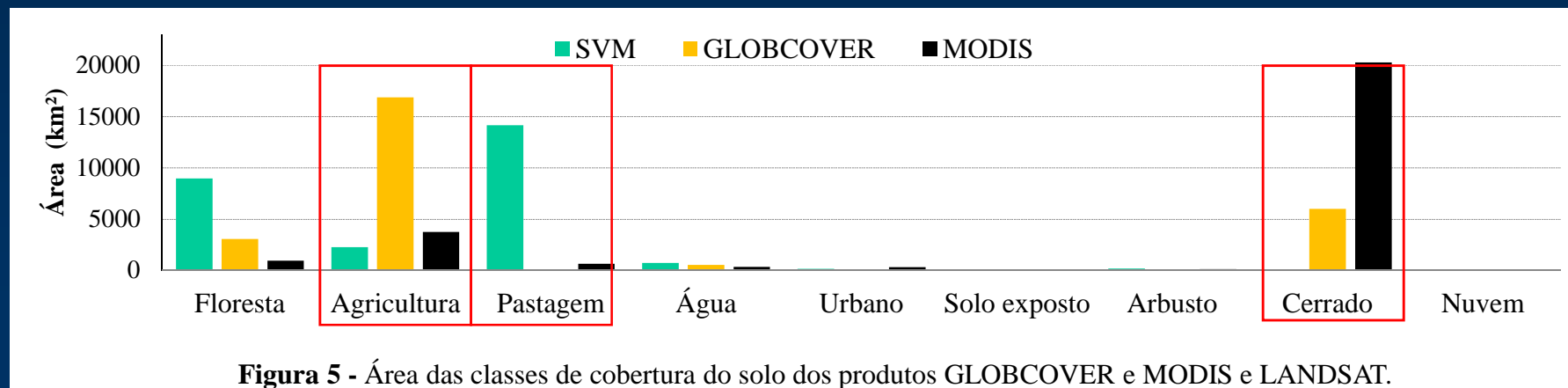
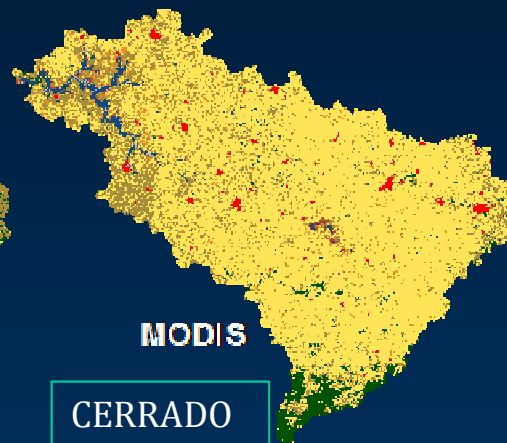
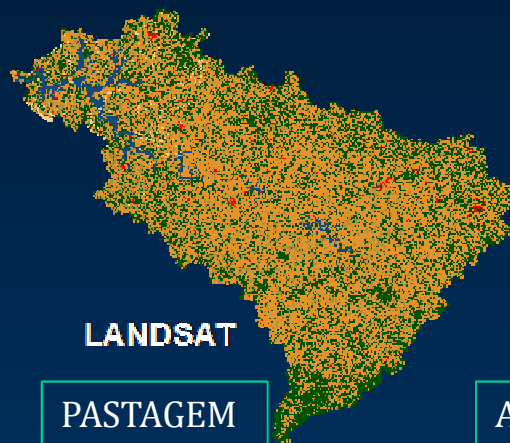


Figura 5 - Área das classes de cobertura do solo dos produtos GLOBCOVER e MODIS e LANDSAT.

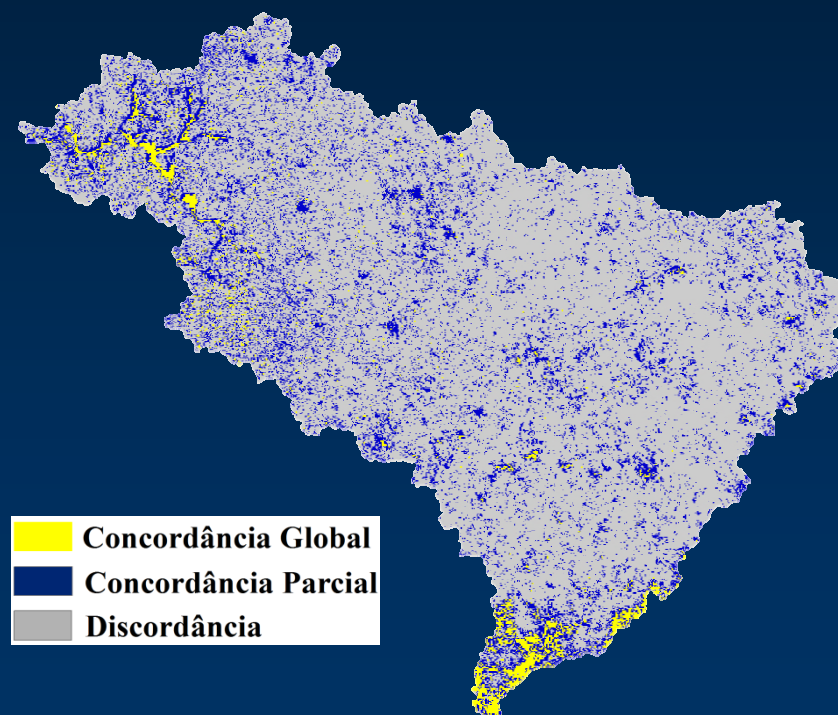
# Resultados Preliminares



# Resultados Preliminares

**Tabela 1** – Resultados da avaliação da acurácia.

	LANDSAT	GLOBCOVER	MODIS
Precisão Global	0,830	0,181	0,064
Índice Kappa	0,713	0,067	0,010



**Figura 5** - Concordância entre o produto LANDSAT e os produtos globais GLOBCOVER e MODIS.

# Próximas Etapas

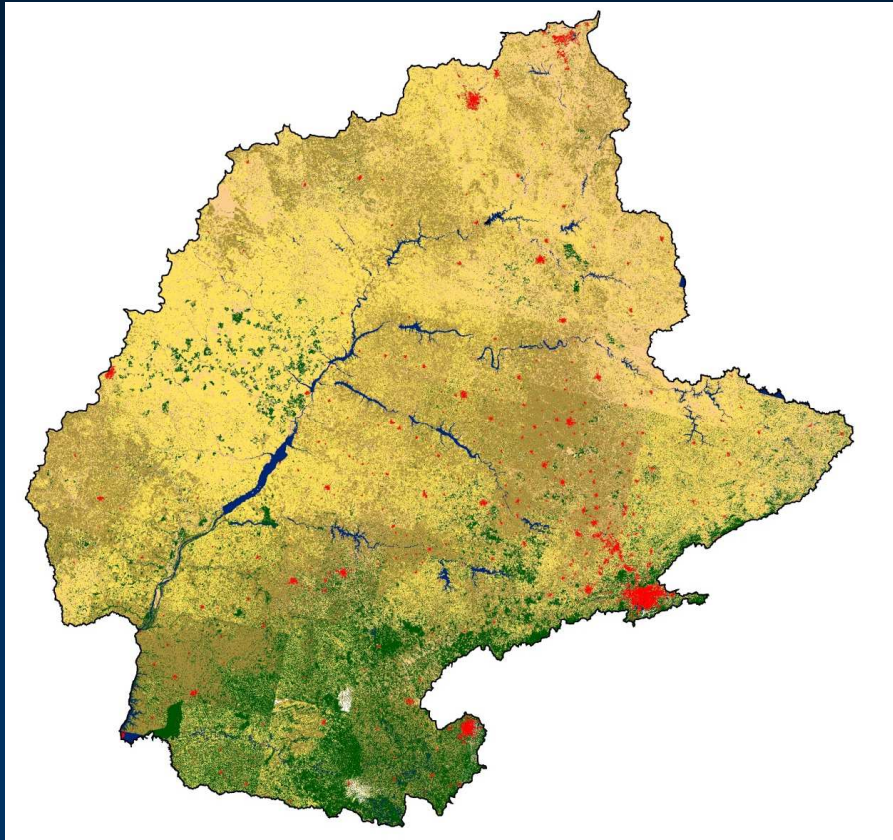


Figura 6 - Produto Landsat para o ano de 2015 em execução.

1. Concluir o produto de uso e ocupação para o ano de 2015 em toda a RHRP;
2. Gerar produto de uso e ocupação para o ano de 1985;
3. Validar os produtos;
4. Avaliar as alterações na cobertura do solo ao longo das três últimas décadas.<sup>3</sup>



Programa de Pós-Graduação em Meteorologia  
Universidade de São Paulo – USP  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG

## **Edital Mudanças do Clima e Recursos Hídricos n° 19/2015**

**Detecção do papel das mudanças climáticas e das condições de uso e ocupação do solo sobre a hidrologia da Bacia do Rio Paraná**

---

Coordenador Local: Prof. Dr. Edmilson Dias de Freitas  
Colaborador local: Prof. Dr. Ricardo Hallak  
Mestrando: Franco Cassol  
Doutorandos: Carolyne Bueno Machado  
Sameh Adib Abou Rafee  
Pós-Doutoranda: Eliane Barbosa Santos

# Mestrado Franco Cassol

- **Título:**  
Determinação das fontes de erros nas simulações numéricas de precipitação WRF na Bacia do Paraná
- **Objetivo:**  
Identificar possíveis fontes de erro visando a melhor acurácia dos resultados de simulações numéricas, diagnósticas e prognósticas.

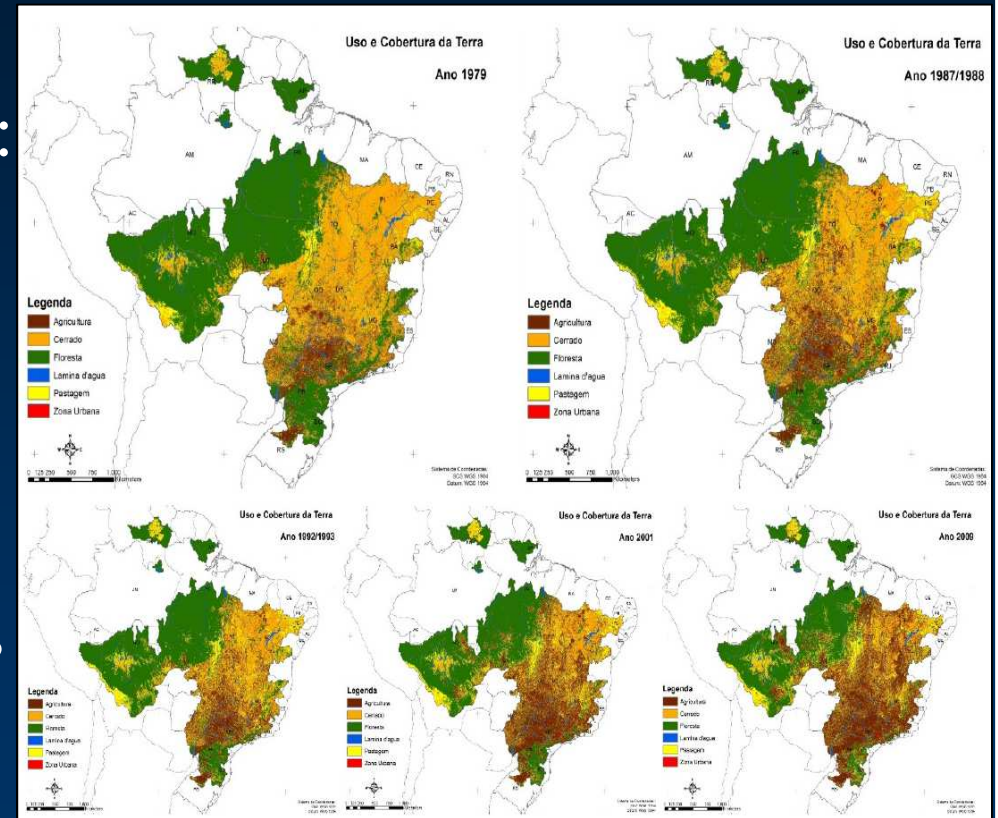
# Doutorado

## Carolyne Bueno Machado

- **Título:**  
Avaliação da sensibilidade do clima às mudanças no uso e cobertura da terra na bacia do Paraná: modelagem da vegetação original e da paisagem atual
- **Objetivo Geral:**  
Avaliar o impacto das mudanças históricas no uso e cobertura da terra da Bacia do Paraná na variabilidade do clima regional.

# Banco de Dados

- ✓ Mapeamentos já realizados:
  - Ruhoff e Risso (2017);
  - Leite et al. (2012);
- ✓ Reconstruções globais:
  - Ramankutty e Foley (1999);
  - Pongratz et al. (2008).

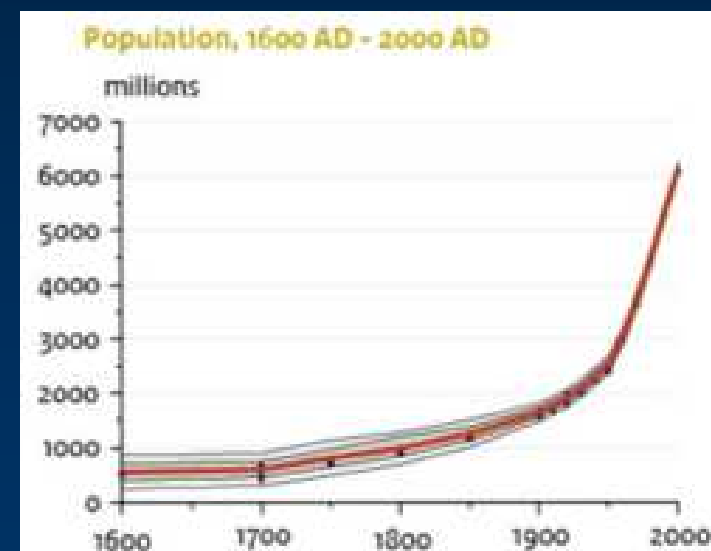
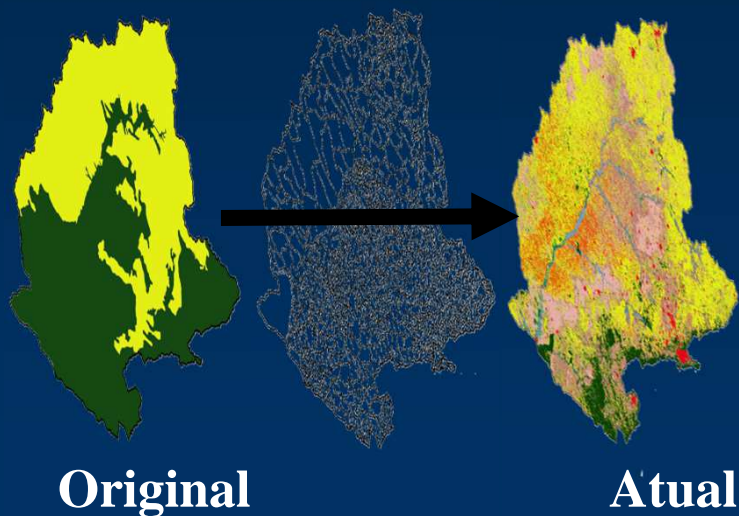


Fonte: Ruhoff e Risso (2017).



# Modelo de reconstrução

- ✓ Anos → 1640, 1740, 1840 (pode sofrer alteração);
- ✓ Utilizar a população como um proxy de expansão das áreas;
- ✓ População ~ produção agrícola.



Fonte: Goldewijk e Verburg (2002)

# Doutorado

## Sameh Adib Abou Rafee

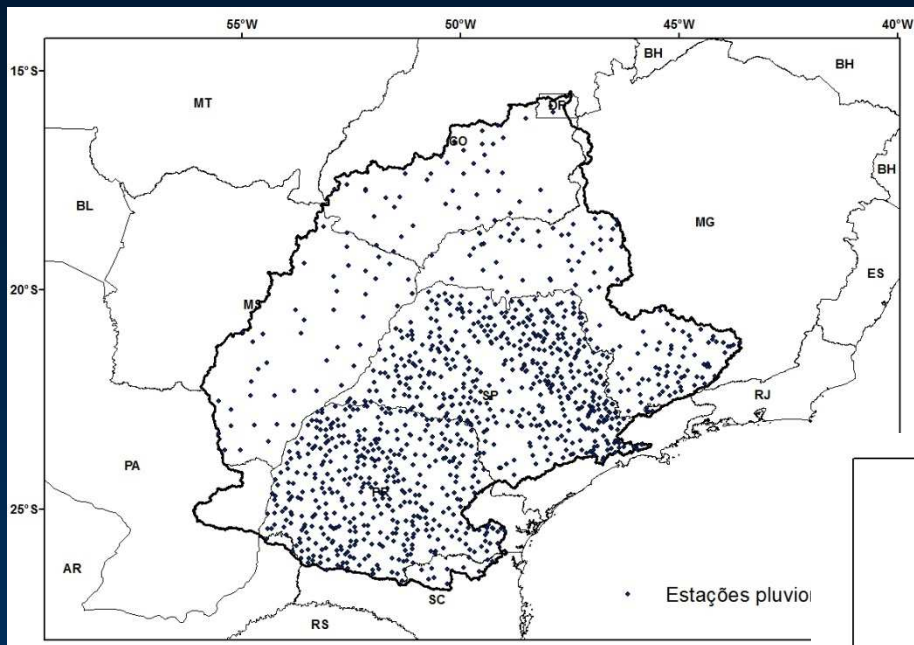
- **Título:**  
Avaliação do impacto das mudanças climáticas e do uso do solo sobre a bacia hidrográfica do rio Paraná
- **Objetivo Geral:**  
Avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas e do uso e ocupação do solo nas frequências de futuros eventos extremos de cheias e secas sobre a bacia hidrográfica do rio Paraná.

# Doutorado

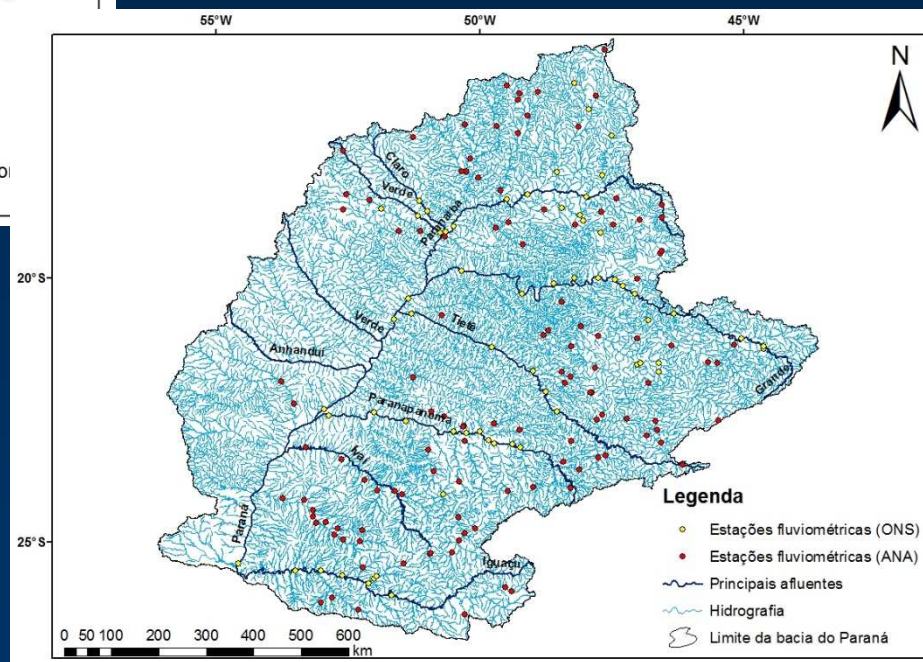
## Sameh Adib Abou Rafee

- **Título:**  
Avaliação do impacto das mudanças climáticas e do uso do solo sobre a bacia hidrográfica do rio Paraná
- **Específicos:**
- Calibrar e validar o modelo SWAT para as principais sub-bacias do rio Paraná, considerando o cenário de uso e ocupação do solo do início do século XXI;
- Desenvolver um modelo de uso e ocupação do solo a partir da combinação das premissas estabelecidas pelas famílias de cenários climáticos futuros do IPCC;
- Realizar experimentos numéricos de mudanças de uso e ocupação do solo com base nas premissas das famílias de cenários climáticos futuros;
- Quantificar os potenciais efeitos sobre a vazão do rio Paraná e seus tributários, em particular sobre os eventos de cheias e secas.

# Distribuição espacial das estações pluviométricas e fluviométricas (selecionadas)

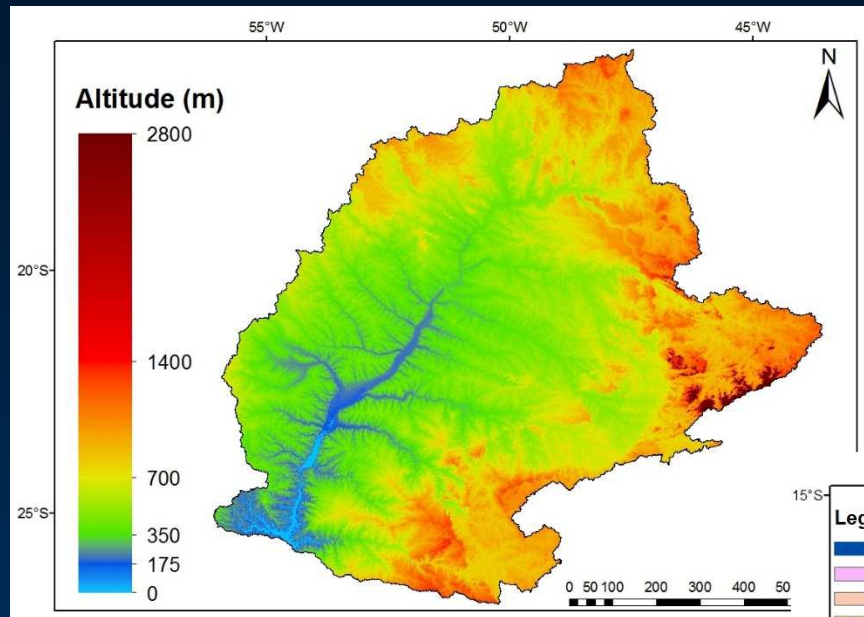


Fonte: ANA; DAEE.

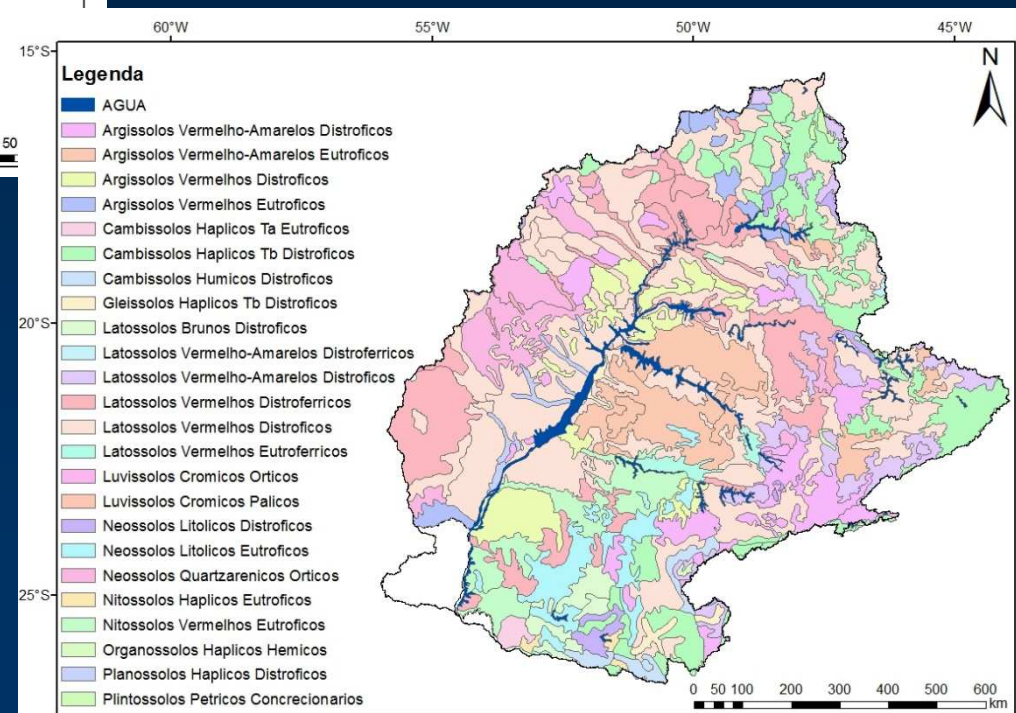


Fonte: ANA; DAEE; ONS

# Topografia e Tipo de Solo



Fonte: SRTM.



Fonte: EMBRAPA, 2011.

# Resultados Preliminares

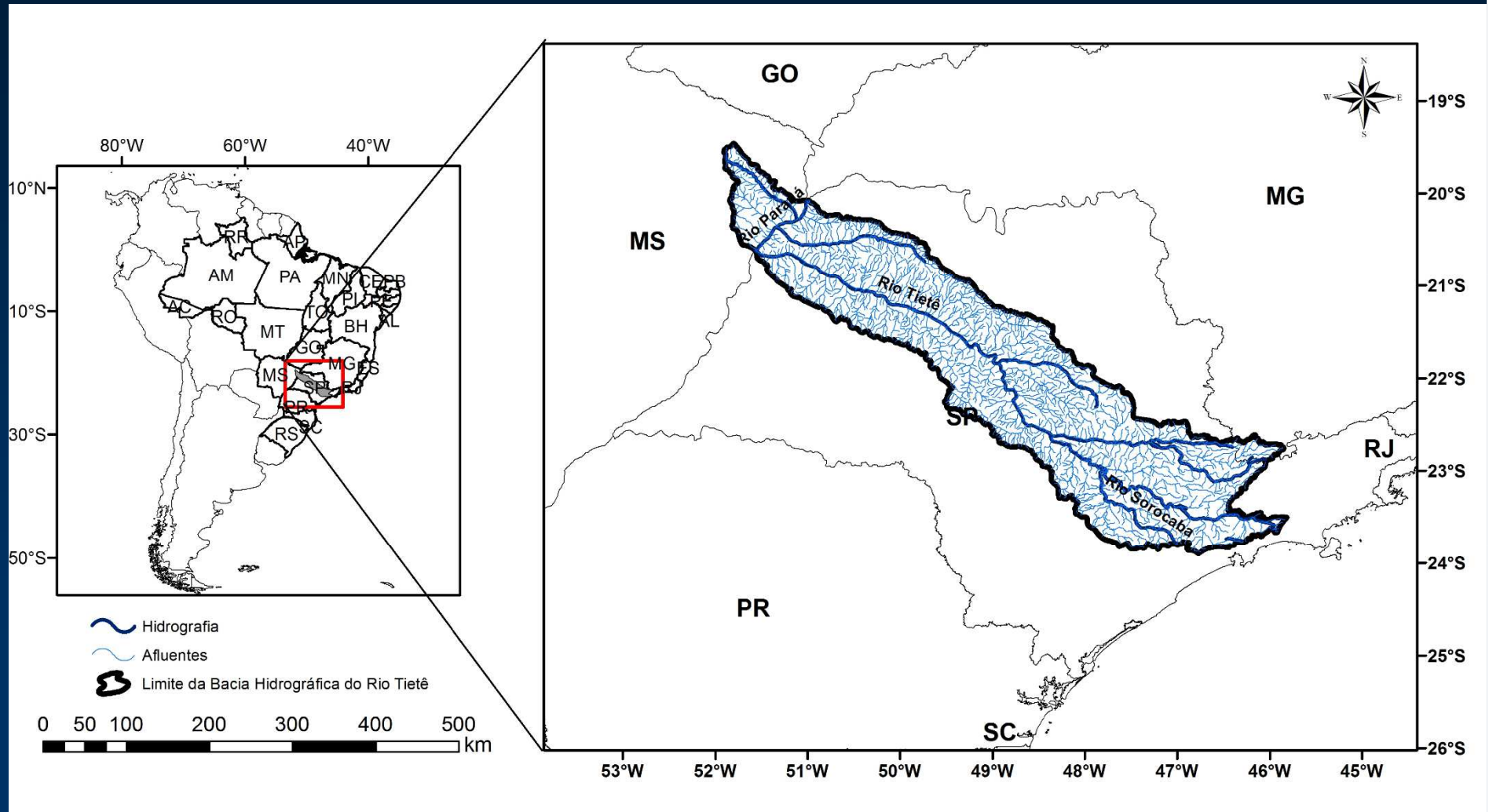
---

Análise de tendência de vazão e precipitação da  
bacia do rio Tietê

CBMET, 2016

# Materiais e métodos

- Área de estudo



# Resultados Preliminares

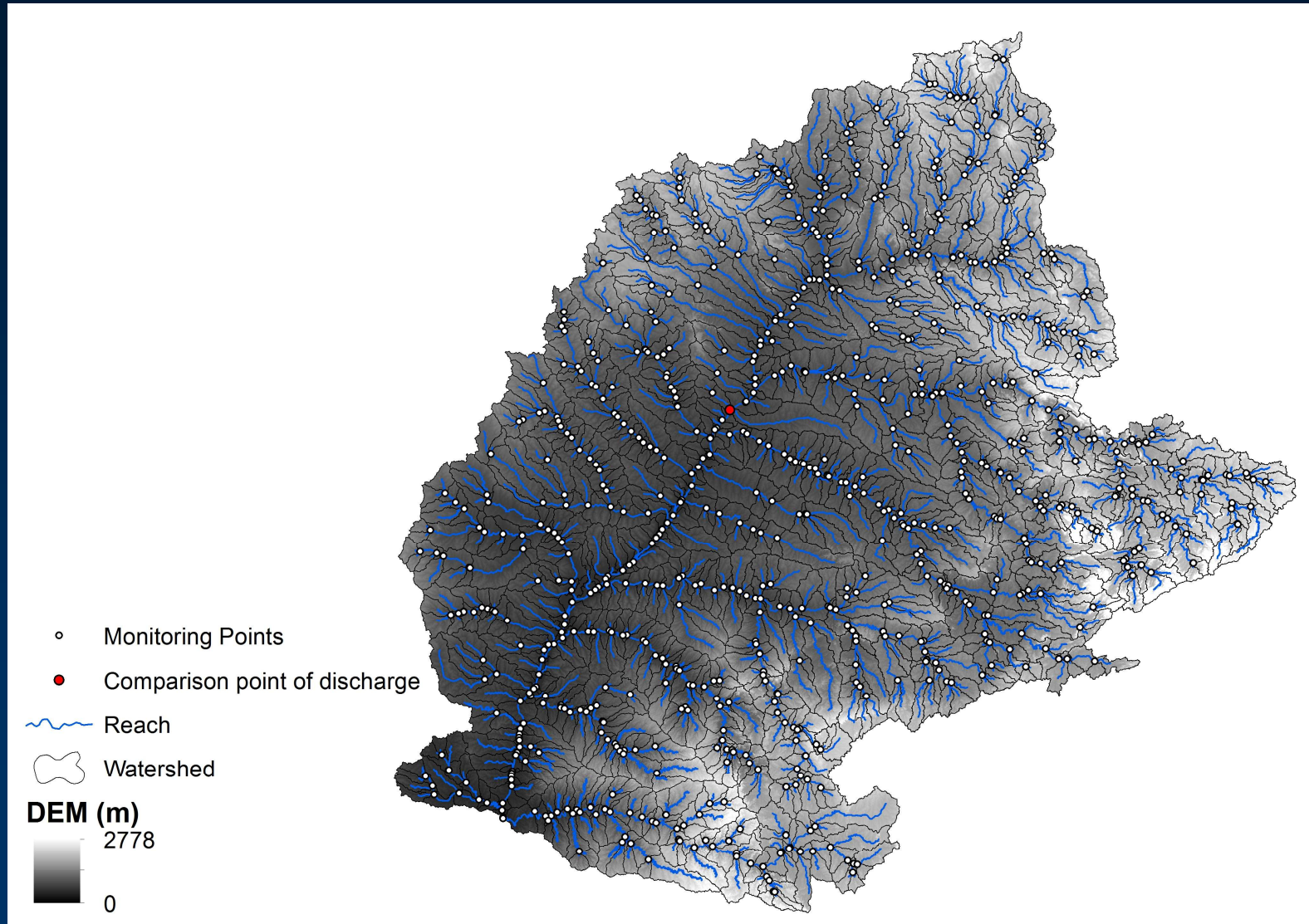
Analysis of spatial distribution of observed  
ground-based data and large scale modelling of  
the Paraná River Basin

SWAT, 2017

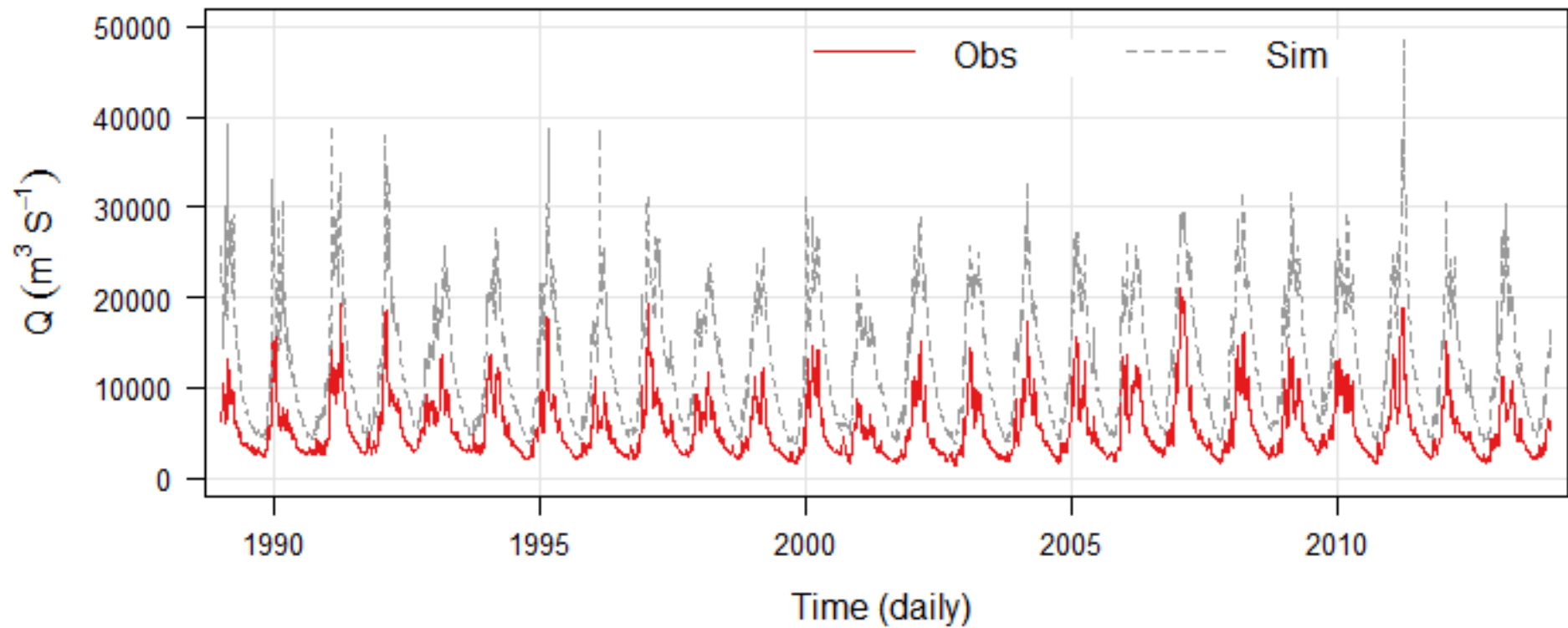
**SWAT**  
Soil & Water  
Assessment Tool



# Results and discussion



# Results and discussion



# Pós-Doutorado

## Dra. Eliane Barbosa Santos

- **Título:**  
EXTREMOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANÁ
- **Objetivo Geral:**  
Analisar o comportamento dos extremos climáticos (secas e enchentes) na bacia do rio Paraná e verificar se há uma tendência a cenários propícios à ocorrência desses eventos.

# Resultados

---

SANTOS, E. B.; FREITAS, E. D.; RAFEE, S. A. A.; MARTINS, L. D.; SOUZA, R. A. F.; HALLAK, R.; RUDKE, A. P.; FUJITA, T.; MARTINS, J. A. Influence of the El Niño - Southern Oscillation in dry and wet events over Paraná river basin, Brazil. To be submitted to Climate Dynamics. 2017.

# Resultados

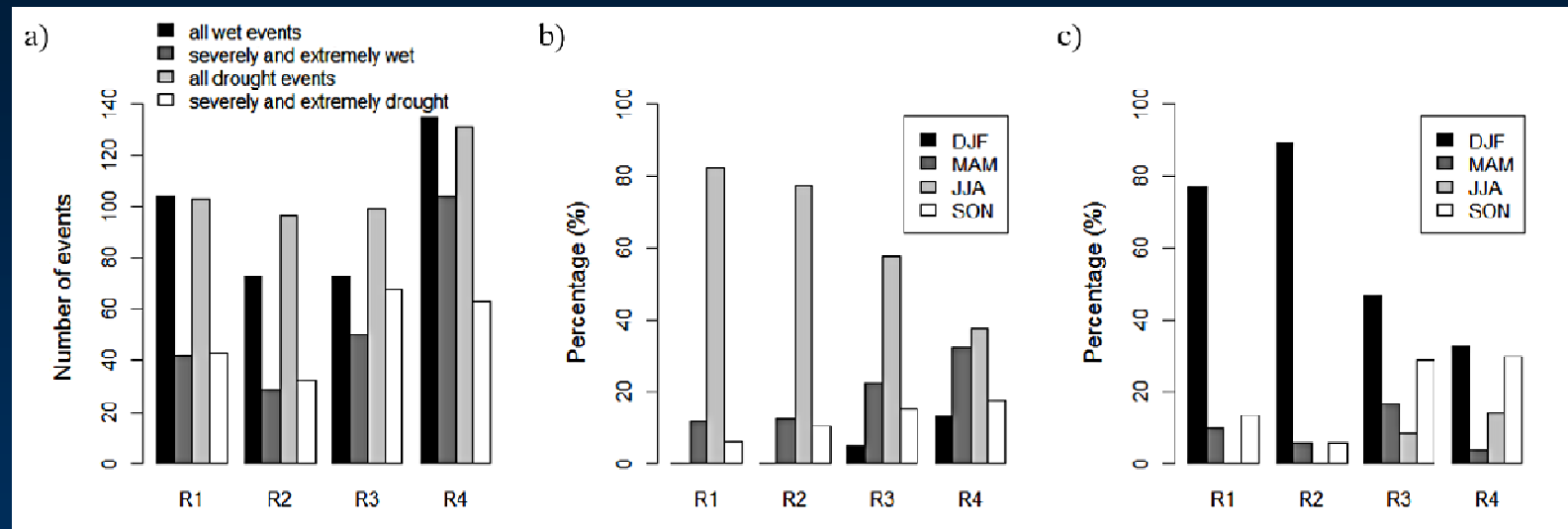


Fig. 5 (a) Number of dry and wet events in each region, (b) Percentage of the number of dry events (all dry events) separated by season of the year and (c) Percentage of the number of wet events (all wet events) separated by season of the year.

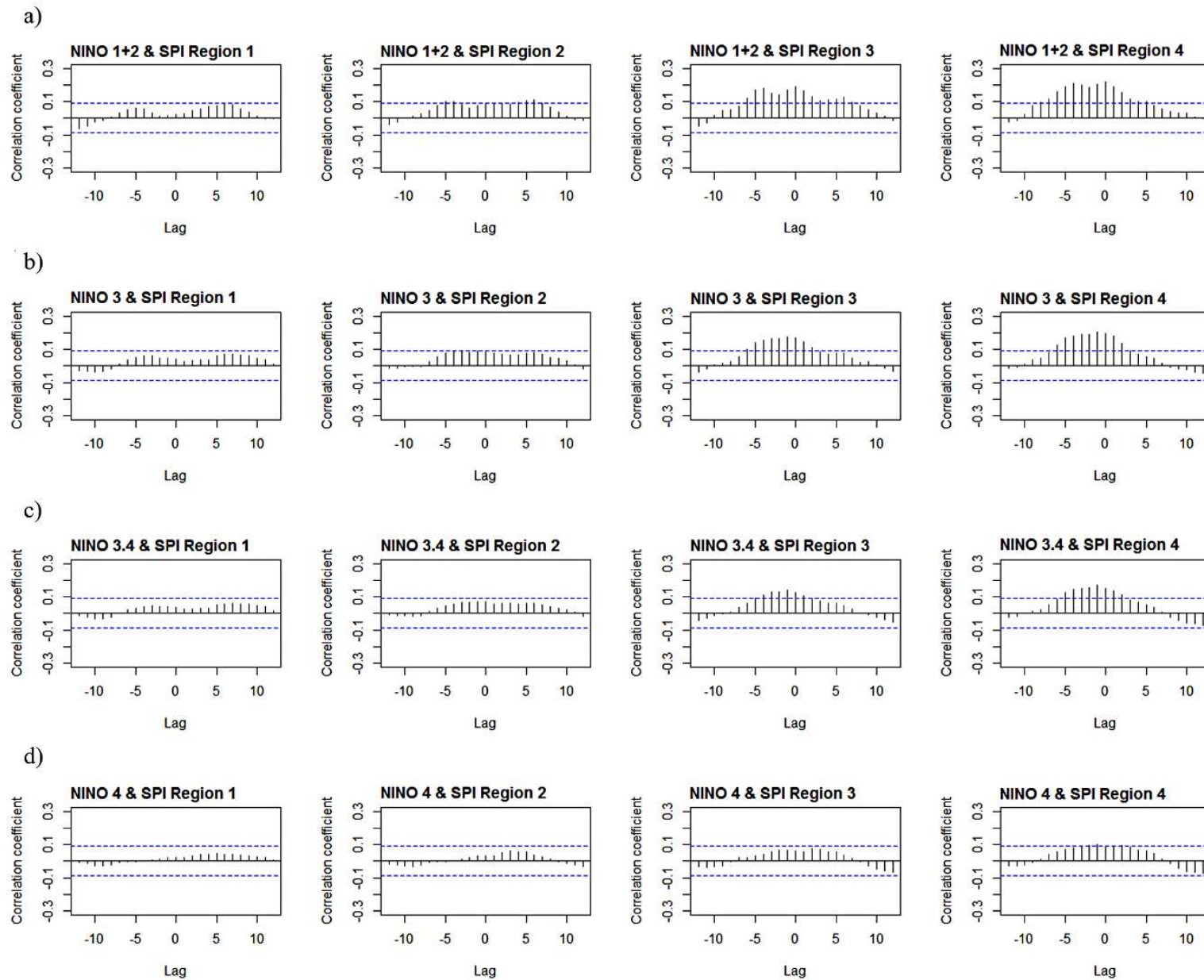


Fig. 6 Cross-correlation among the SPI of the sub-regions and the climate indices: (a) Niño 1+2, (b) Niño 3, (c) Niño 3.4 and (d) Niño 4. The dotted lines represent at 5% significance level.

# Space correlation among the climate indices and the SPI: dry period

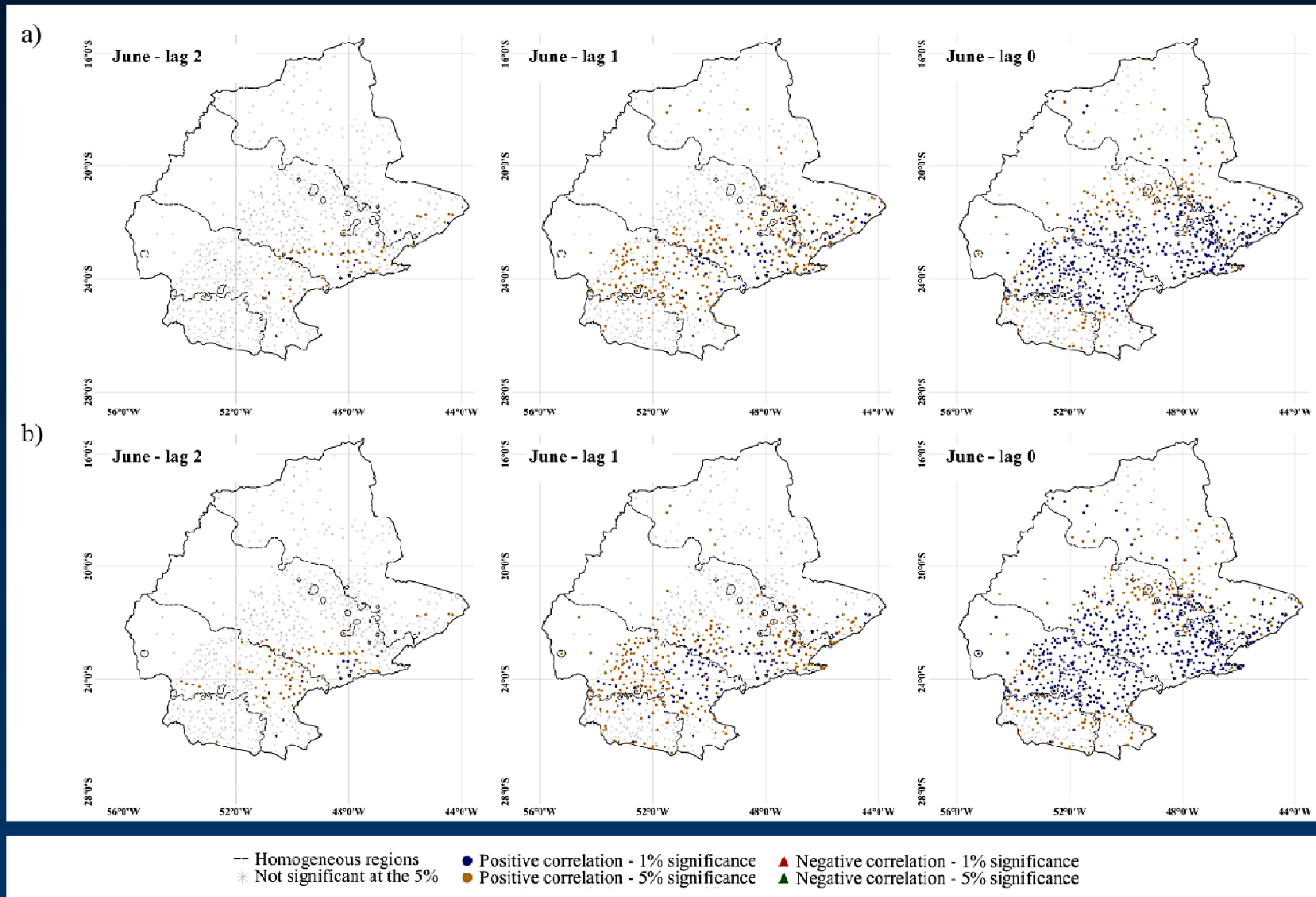


Fig. 7 Space correlation among the SPI in June and the climate indices: (a) Niño 1+2, (b) Niño 3, (c) Niño 3.4 and (d) Niño 4.

## Space correlation among the climate indices and the SPI: dry period

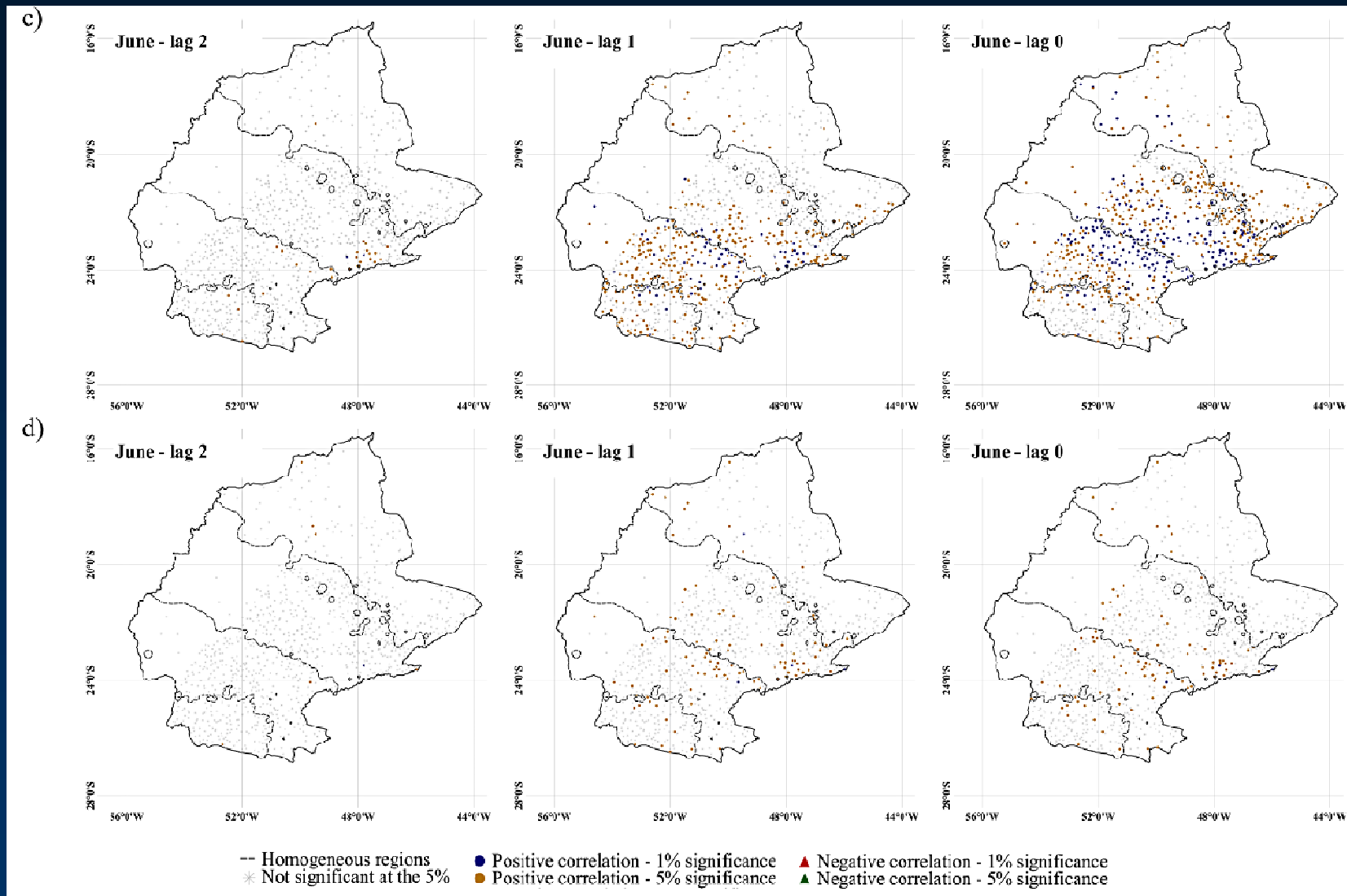


Fig. 7 Space correlation among the SPI in June and the climate indices: (a) Niño 1+2, (b) Niño 3, (c) Niño 3.4 and (d) Niño 4 (continuation).



# Conclusions

- ✓ Both 2 and 4 sub-regions spatial mean precipitation series presented coherent results with the reality (individual station time series), in which near points present similar behavior in the regime of rains.
- ✓ The subdivision of these homogeneous regions of precipitation is consistent with the systems operating in the region.
- ✓ The highest occurrence of the dry events was observed in the austral winter.
- ✓ The highest occurrence of the wet events was observed in the austral summer.
- ✓ The southern Paraná (R4) is the region with the highest number of selected dry and wet events.

# Conclusões

- ✓ The results obtained with the correlations suggests that the dry conditions is associated with the ENSO:
  - In June - in the north of Paraná (R3) and in São Paulo (R2)
  - In July - southern Paraná
- ✓ The indices Niño 1+ 2 and Niño 3, located in the east equatorial Pacific, presented the highest coefficients.
- ✓ The correlations with significant coefficients at 5% and 1% were positives, showing an direct relationship.
  - ✓ As the ENSO phenomenon is characterized by anomalies, positive (El Niño) or negative (La Niña), this result suggests that o El Niño (La Niña) contributes to the excess (lack) of rainfall in the region.

# Considerações Finais

- ✓ O projeto está em fase inicial
- ✓ Os estudantes estão, na maior parte do tempo, dedicados à disciplinas e exames de qualificação ou proficiência em língua estrangeira;
- ✓ Entretanto, diversos resultados já foram obtidos e tem sido divulgados em reuniões nacionais e internacionais
- ✓ No próximo período, considerando o grande número de resultados já obtidos, pretendemos realizar um evento local, para apresentação e discussão de resultados e planejamento para a continuidade do projeto
- ✓ Os resultados estão sendo colocados em página específica do projeto

Obrigado

---

[www.master.iag.usp.br/parana/index.html](http://www.master.iag.usp.br/parana/index.html)

contato

efreitas@model.iag.usp.br