



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

# Tendências de precipitação na Bacia do Rio Tietê - SP

Abordagem da atual crise nos reservatórios do  
Sistema Cantareira

**CAROLYNE BUENO MACHADO**

São José dos Campos, 2015

# Introdução

- **Mudanças nos padrões de precipitação.**

- ✓ Supressão da vegetação;
- ✓ Mudança no uso e cobertura do solo;
- ✓ Emissões de gás carbônico para atmosfera;
- ✓ Alteração do comportamento espectral da superfície.

# Introdução

**Crise hídrica inédita do Cantareira em 2014/2015!**

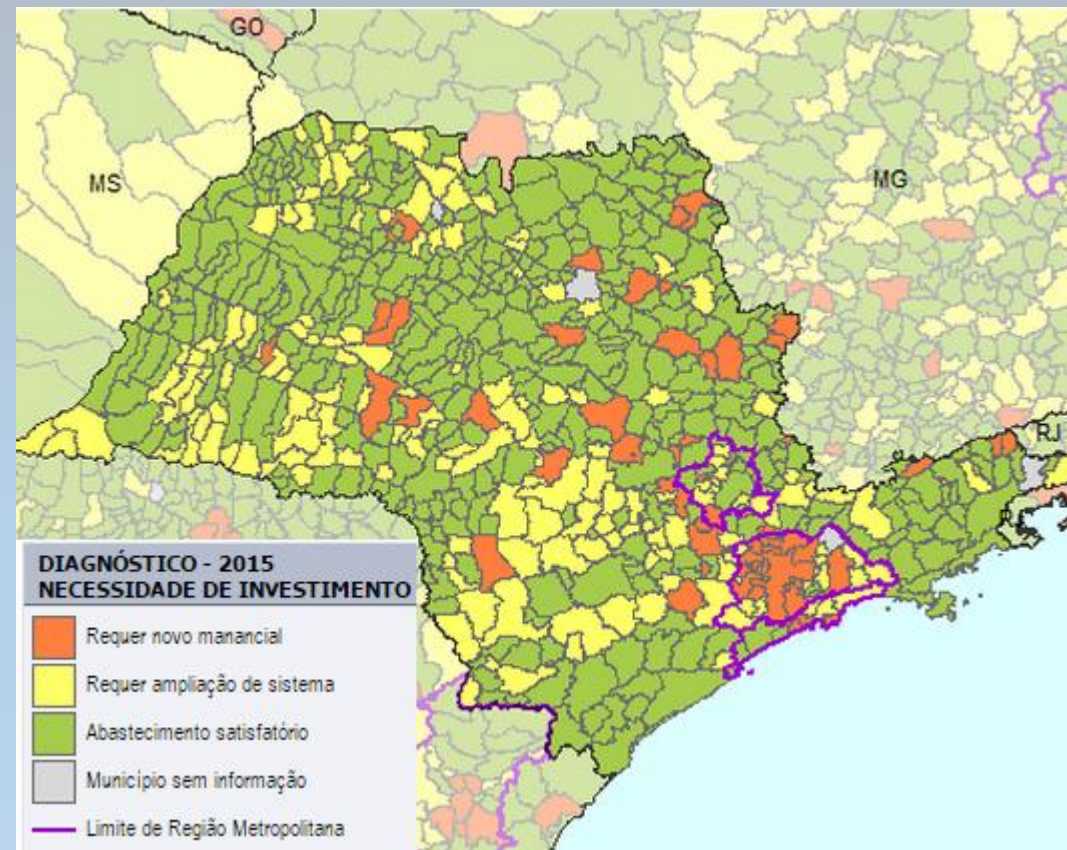
Grandes consequências!

- **Estresse hídrico no abastecimento público.**

- ✓ Sistema Cantareira - 2015 inicia com 7 % do volume (Sabesp, 2005);

- ✓ Consumo e desperdício;

- ✓ Baixa recuperação dos reservatórios.



# Problema

- Como caracterizar a atual crise hídrica na região metropolitana de São Paulo?
- Existe uma tendência de estiagem nos últimos anos que auxiliaria a prever o abaixamento nos reservatórios?
- Como verificar isso?

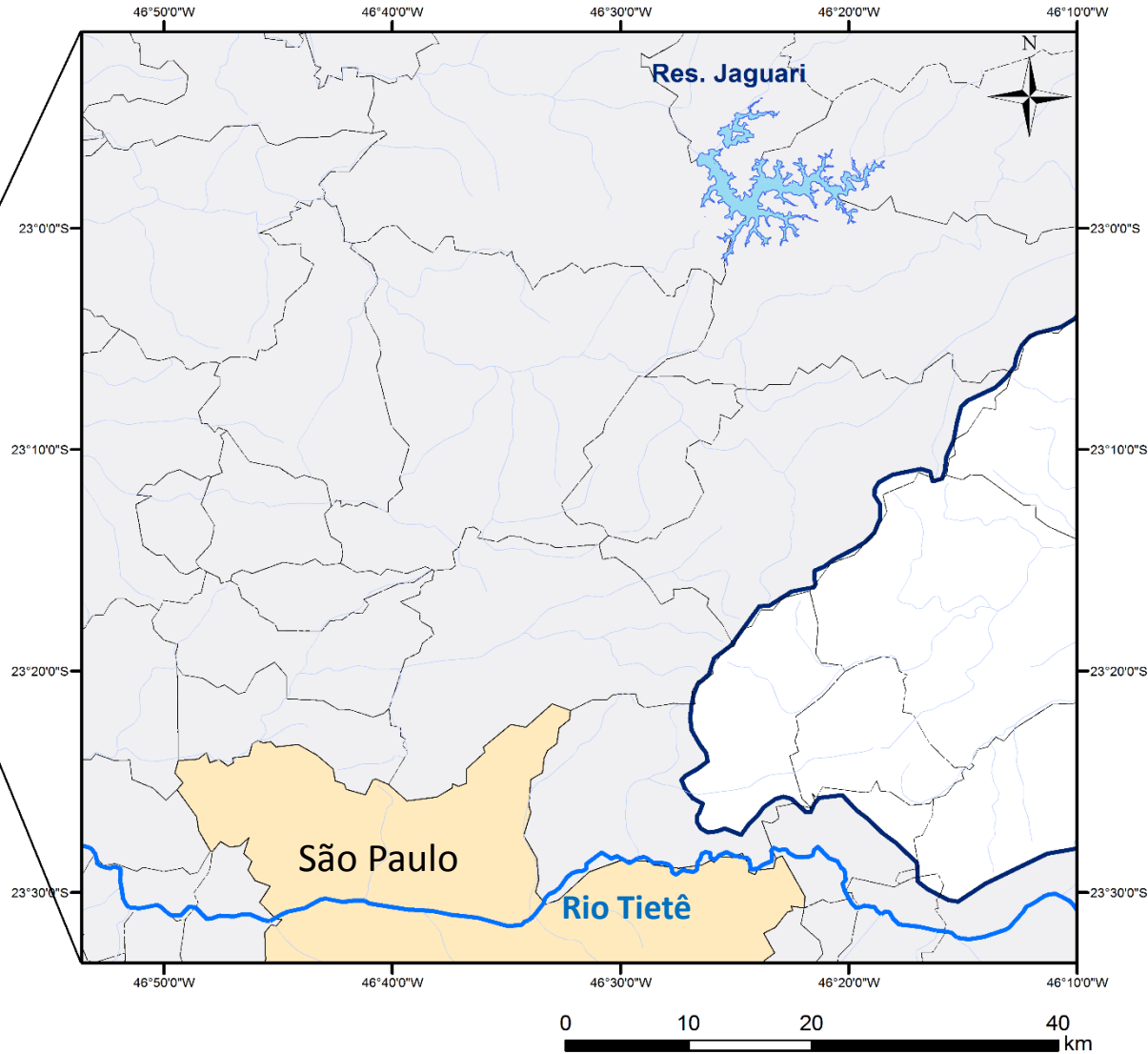
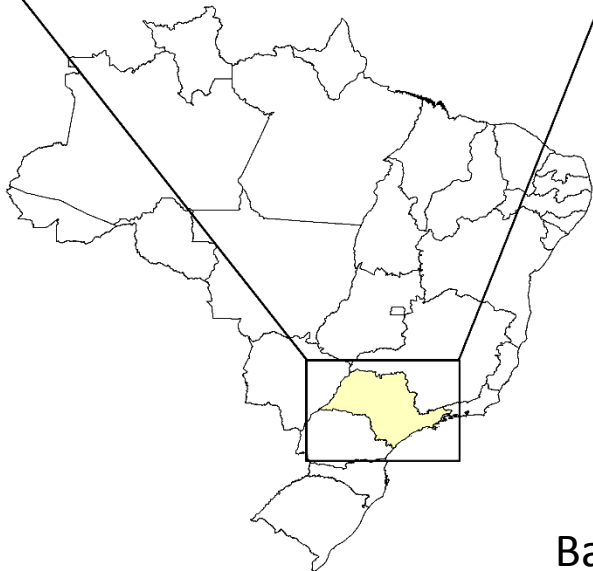
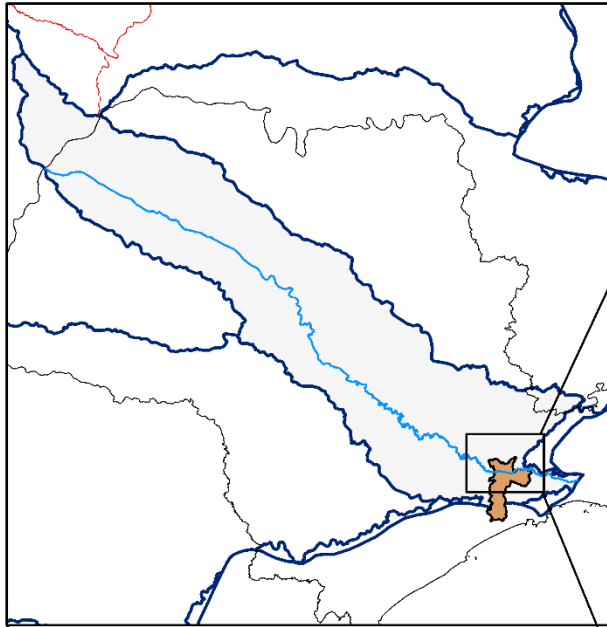
# Objetivo

- Avaliar o comportamento da precipitação na bacia do Tietê – SP de 2003 a 2014.
- Avaliar o comportamento das Represas Jaguari/Jacareí (principal do Sist. Cantareira) de 2003 a 2014.

Somente a precipitação  
pode explicar a crise  
hídrica?

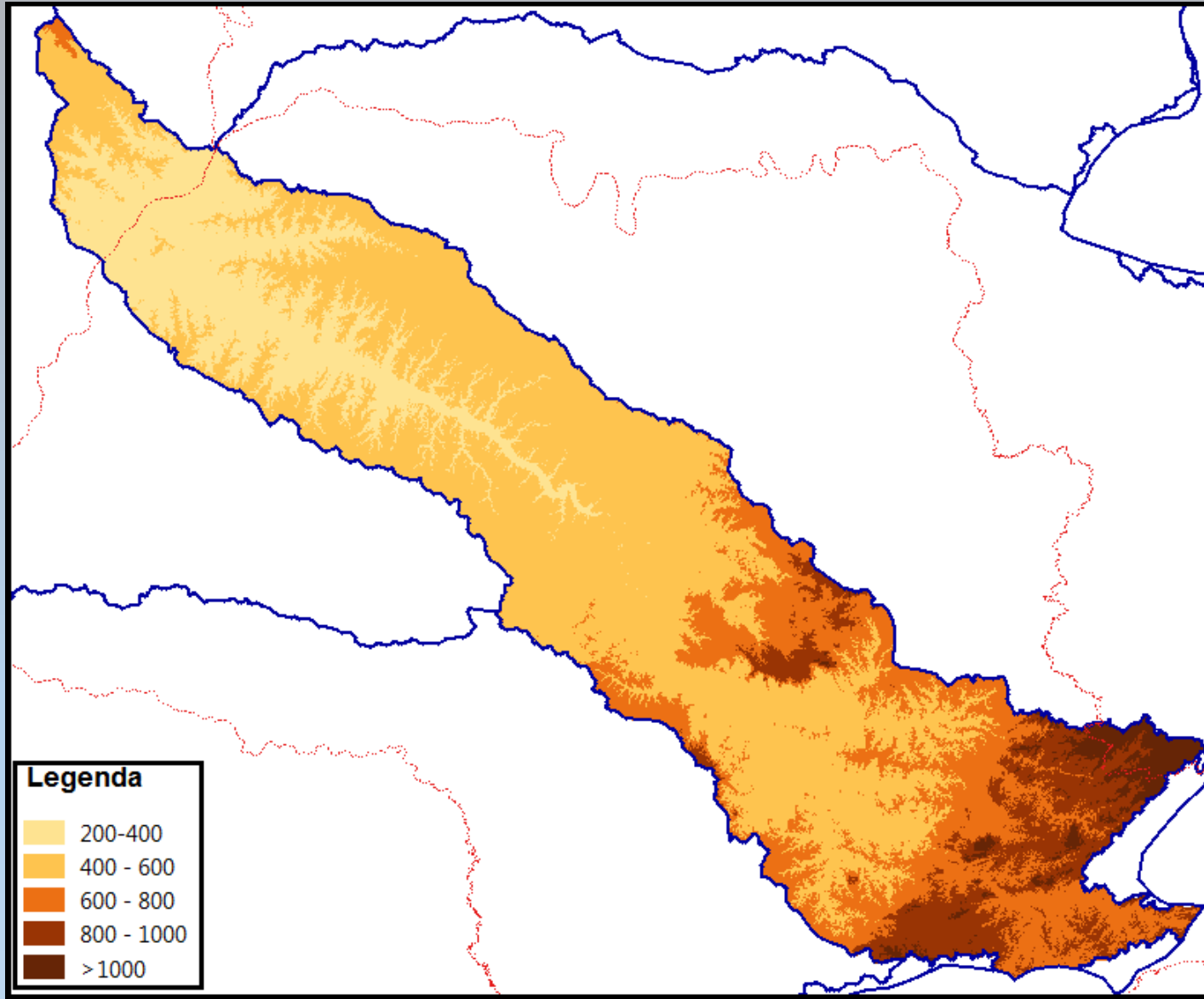
# Área de Estudo

Bacia do Rio Tietê



Bacia do Rio Tietê → Área de 84.120 km<sup>2</sup>

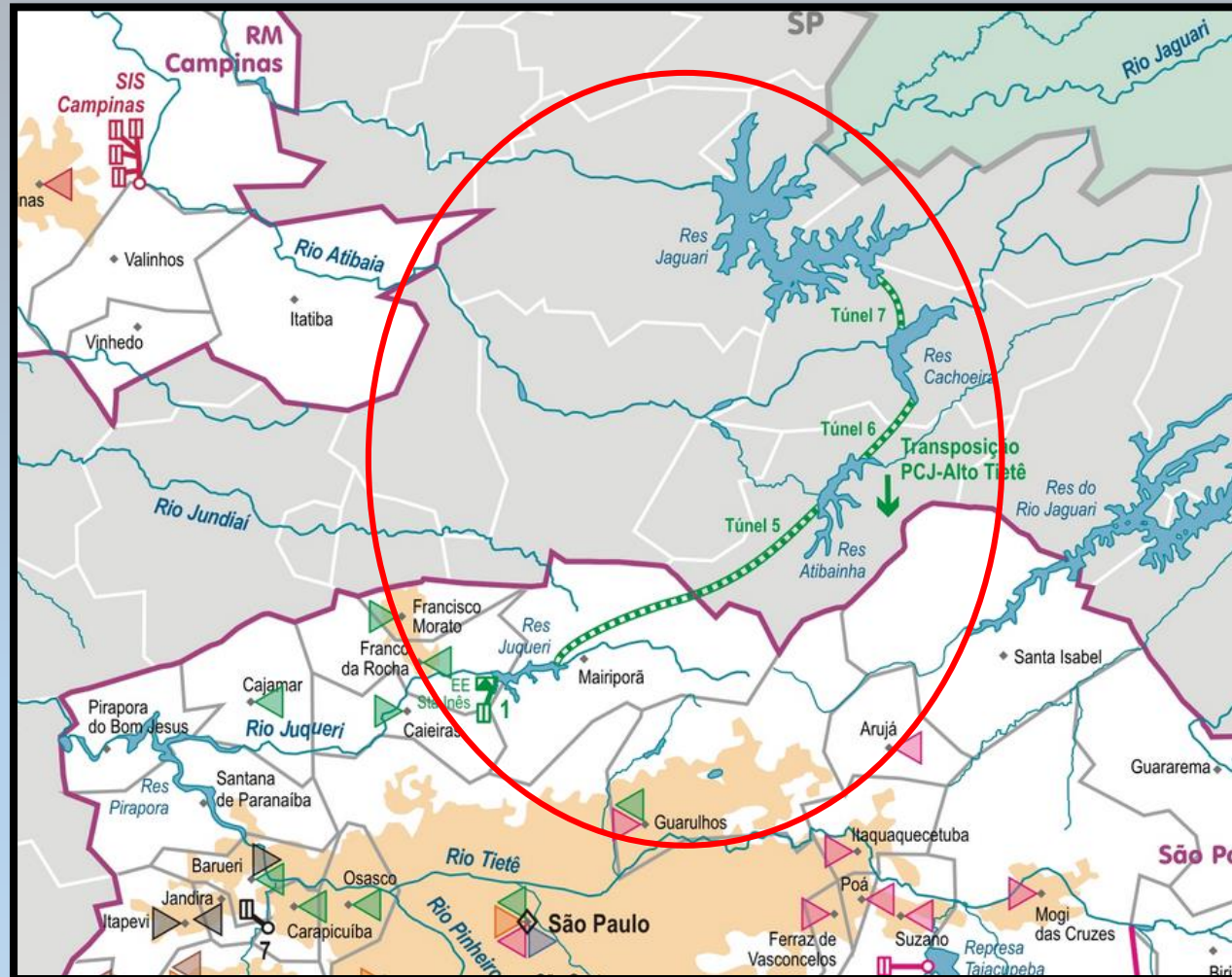
# Área de Estudo - topografia



# Área de Estudo

- Sistema Cantareira → Seis reservatórios, ligados por túneis e canais.

- ✓ Maior sistema produtor de água da Região Metropolitana de São Paulo (54 %).
- ✓ 9 milhões de pessoas em mais de 10 municípios.
- ✓ Volume útil máximo de 973,9 bilhões de litros.



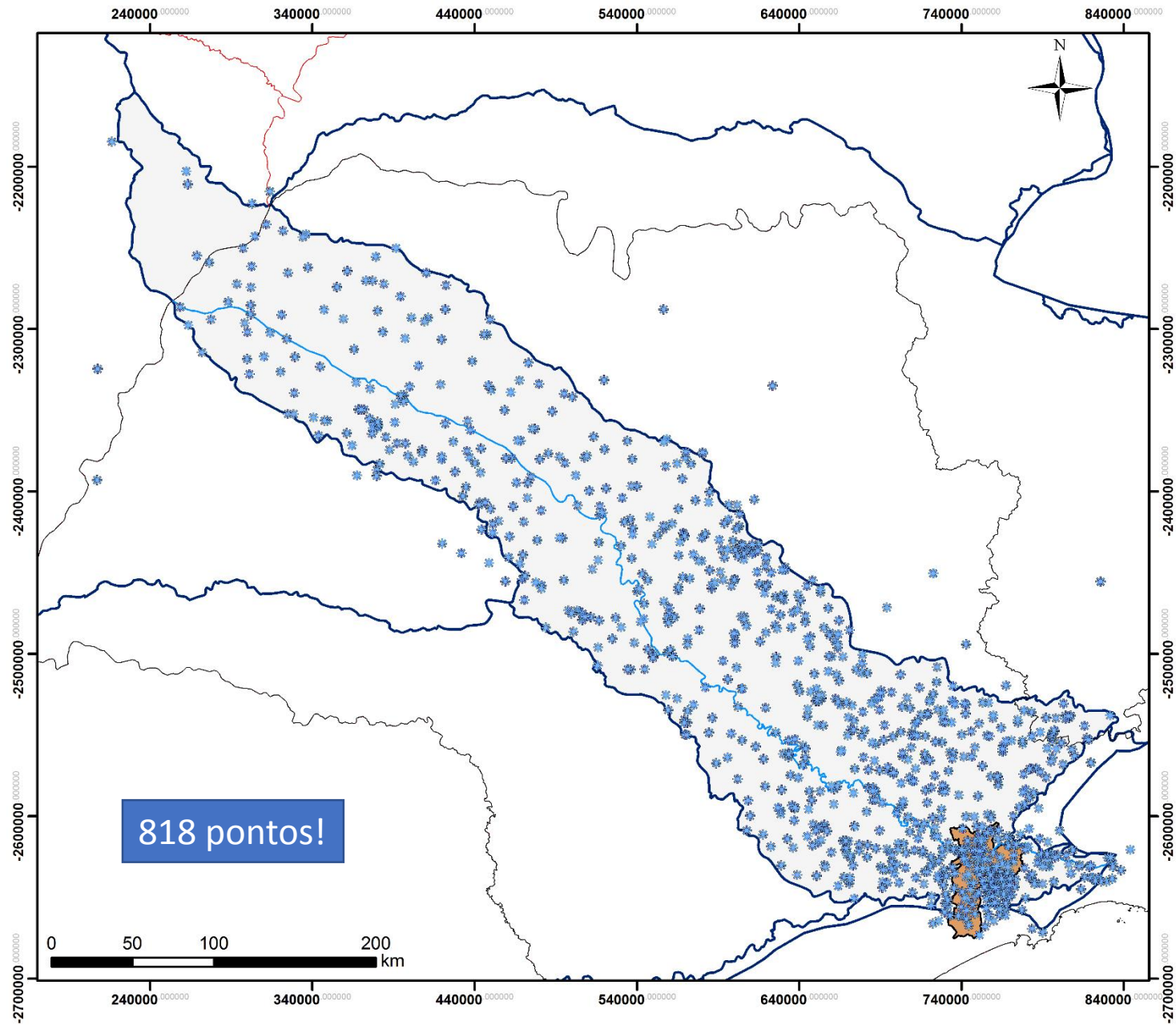
Fonte: Atlas de abastecimento Urbano (ANA)



# Materiais

- **Dados de precipitação – Portal Hidroweb ANA**
  - ✓ Inventário Hidro 1.2 -> Relação dos pontos com medição.
  - ✓ Consulta por bacia -> Estações pluviométricas.
  - ✓ Manejo de dados Hidroweb 4.6 -> Conversão dos dados.

# Estações Pluviométricas – Bacia do Rio Tietê

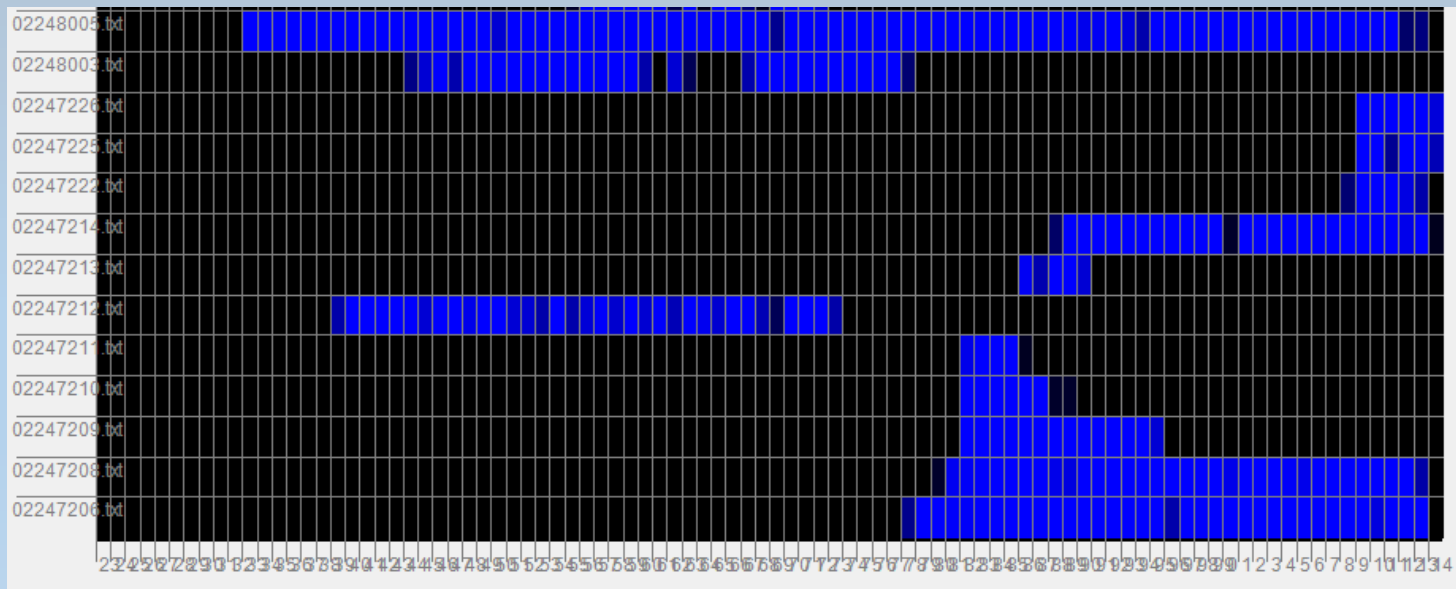


# Materiais

- **Déficit dos Reservatórios**
  - ✓ Imagens TM-Landsat 5 (2003 – 2011) – 30 m
  - ✓ Imagens LISS-Resourcesat (2012 – 2014) – 24 m
- Banda 5 – Infravermelho médio (1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$ )

# Metodologia

- **Precipitação na bacia do Tietê**
- ✓ Estações pluviométricas com chuvas diárias.
- ✓ Programação Fortran -> Chuva na estação chuvosa –DJF – de cada ano (2003 – 2014).

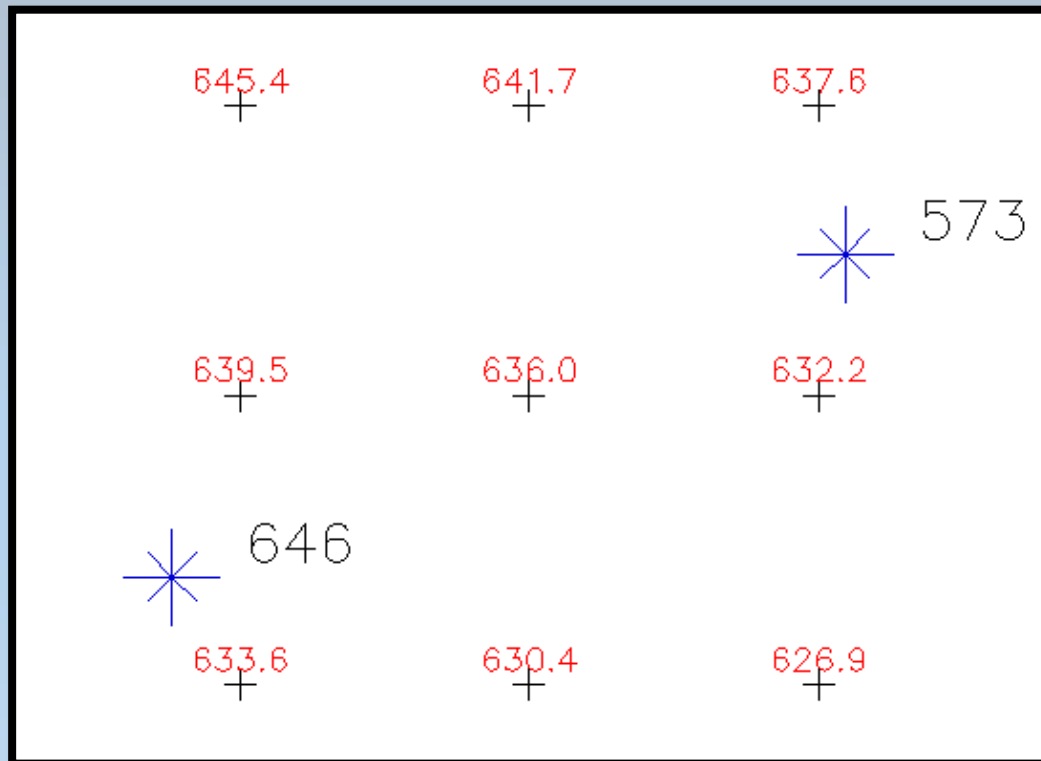


Tempo →

# Metodologia

- **Interpolação da precipitação para a bacia**

- ✓ Somatório de chuva sazonal nos pontos -> Grade retangular de precipitação (2003 – 2014).



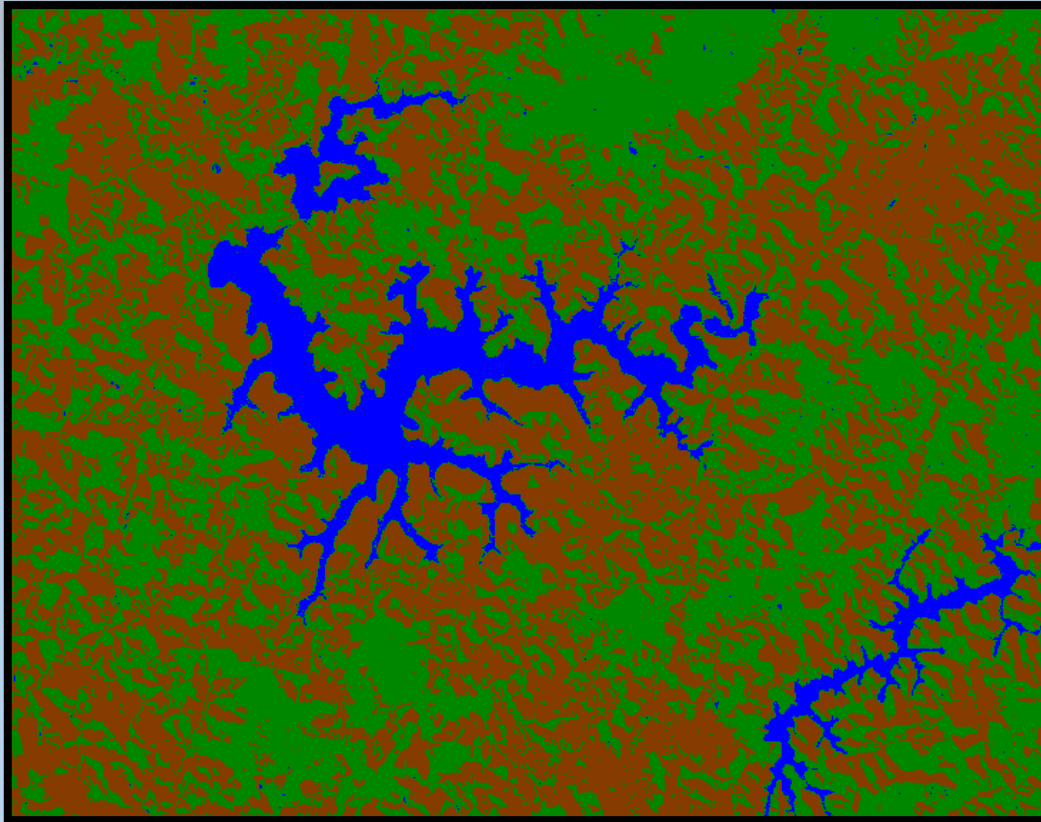
- ✓ Krigeagem Ordinária

- ✓ Média Ponderada

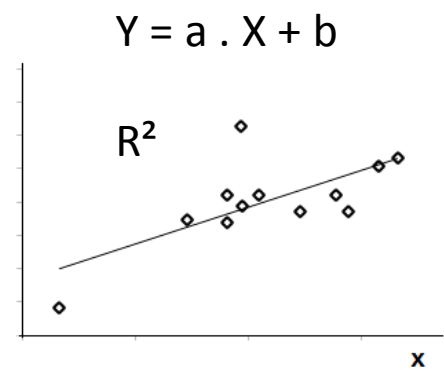
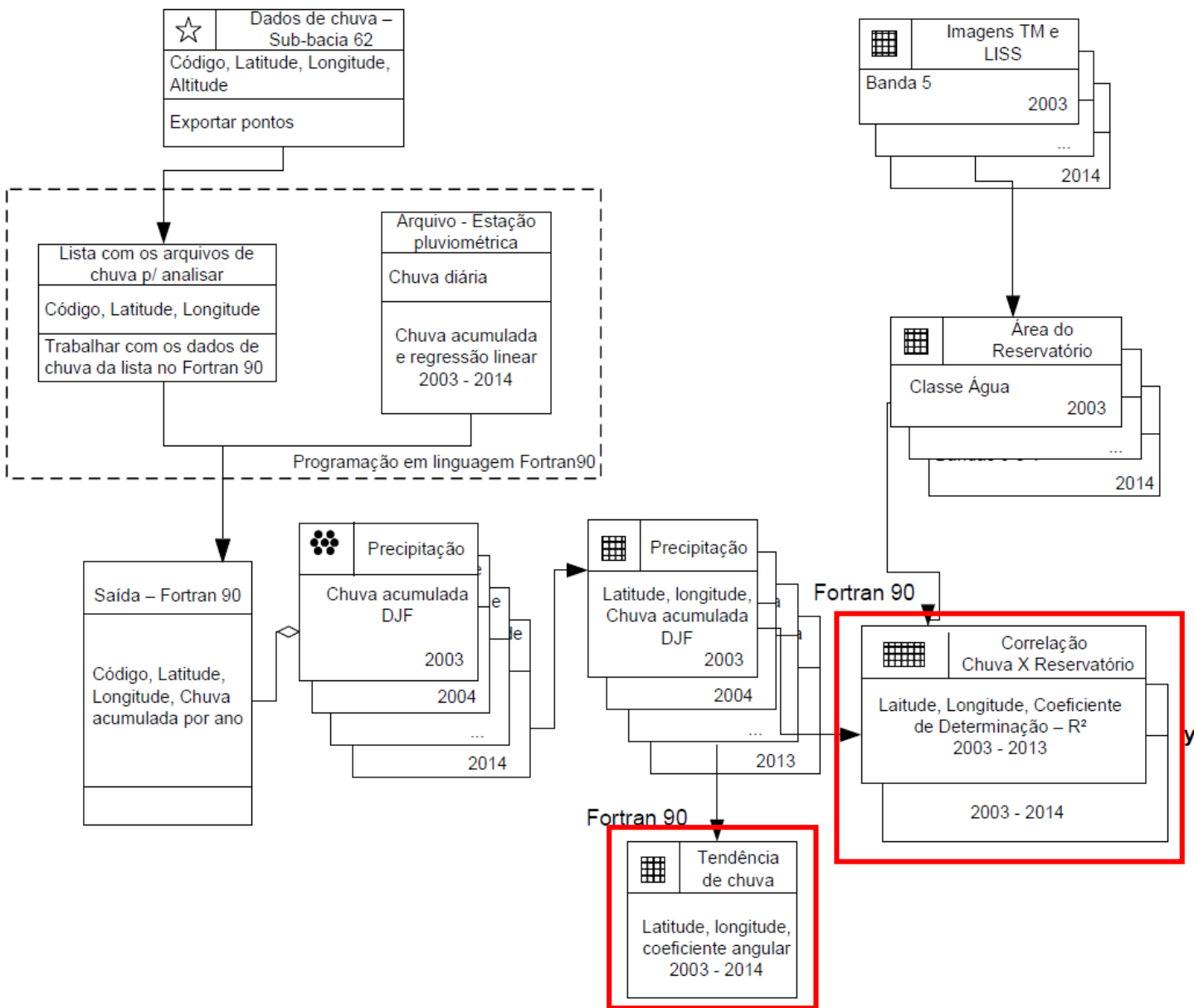
- ✓ Spline Mitasova

# Metodologia

- Classificação supervisionada por pixel.



# Fluxograma da metodologia



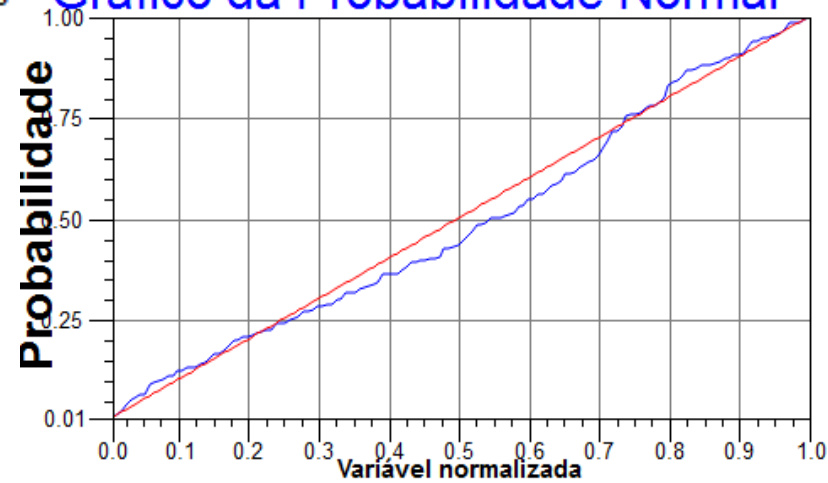
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003
- ✓ Análise exploratória

## ESTATÍSTICAS: 2003\_amostras

=> Número de Pontos .....	150
=> Número de Pontos Válidos ...	150
=> Média .....	651.68066549
=> Variância .....	16360.93184516
=> Desvio Padrão .....	127.90985828
=> Coeficiente de Variação ...	0.19627690
=> Coeficiente de Assimetria ..	0.34247270
=> Coeficiente de Curtose .....	2.82437484
=> Valor Mínimo .....	345.50000000
=> Quartil Inferior .....	562.10003662
=> Mediana .....	632.05004883
=> Quartil superior .....	741.29998779
=> Valor Máximo .....	1005.20007324

## Gráfico da Probabilidade Normal





# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003
- ✓ Geração do semivariograma

Geração de Semivariograma

PI Ativo: 2003\_amostras

Análise: Unidirecional Amostragem: Irregular

Opções: Semivariograma

PI de Cruzamento... Corte:

Parâmetros de Lag

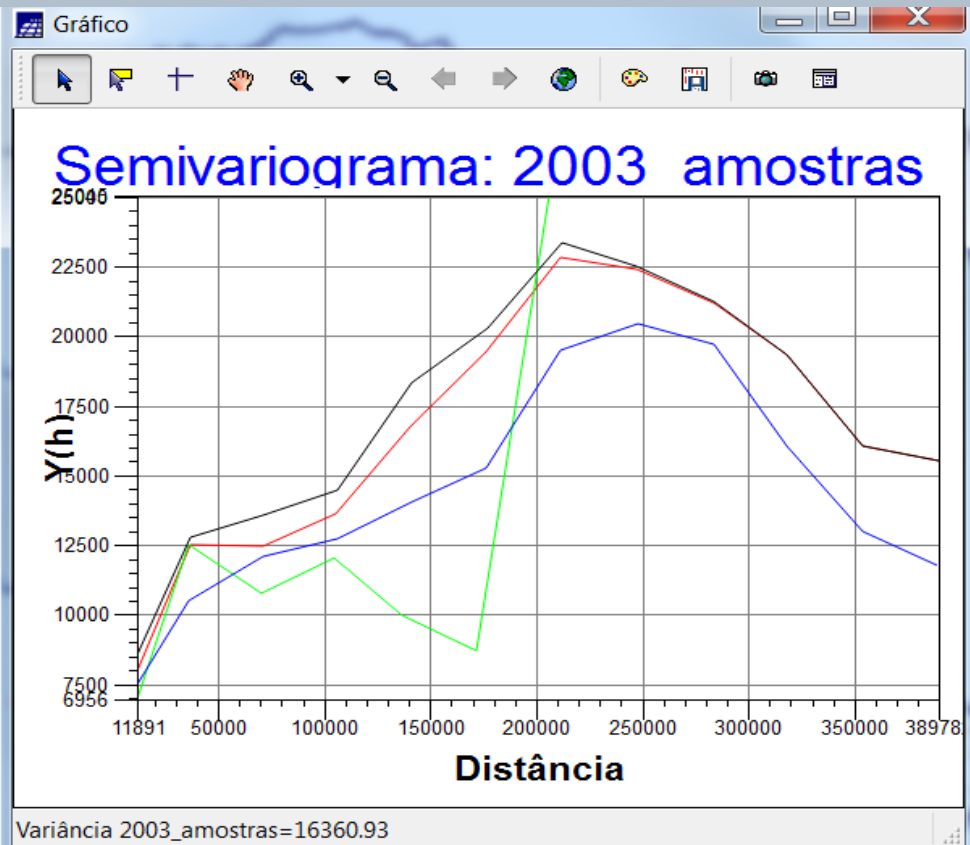
No. Lag: 10 Incremento: 35470.5 Tolerância: 17735.3

Parâmetros de Direção

<input checked="" type="checkbox"/>	1	Dir1: 0	Tol1: 90	Bw1: MAX
<input checked="" type="checkbox"/>	2	Dir2: 45	Tol2: 35	Bw2: MAX
<input checked="" type="checkbox"/>	3	Dir3: 90	Tol3: 35	Bw3: MAX
<input checked="" type="checkbox"/>	4	Dir4: 135	Tol4: 35	Bw4: MAX

Padronizar Resultado Numérico...

Executar Fechar Ajuda



# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003
- ✓ Geração do semivariograma

**Geração de Semivariograma**

PI Ativo: 2003\_amstras

Análise: Unidirecional Amostragem: Irregular

Opções: Semivariograma

PI de Cruzamento... Corte:

**Parâmetros de Lag**

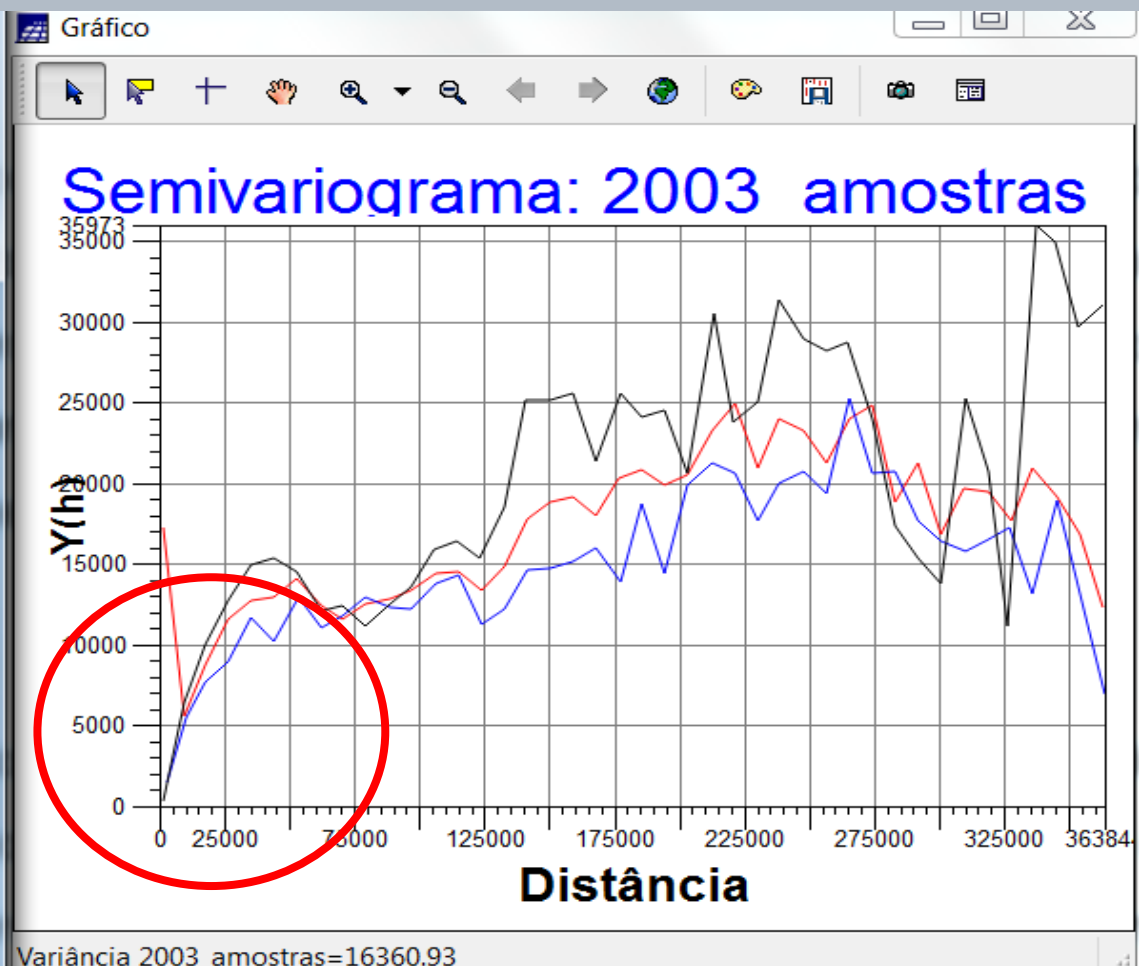
No. Lag: 40 Incremento: 8866 Tolerância: 4433

**Parâmetros de Direção**

<input checked="" type="checkbox"/>	1	Dir1: 0	Tol1: 90	Bw1: MAX
<input type="checkbox"/>	2	Dir2: 45	Tol2: 35	Bw2: MAX
<input checked="" type="checkbox"/>	3	Dir3: 90	Tol3: 35	Bw3: MAX
<input checked="" type="checkbox"/>	4	Dir4: 0	Tol4: 35	Bw4: MAX

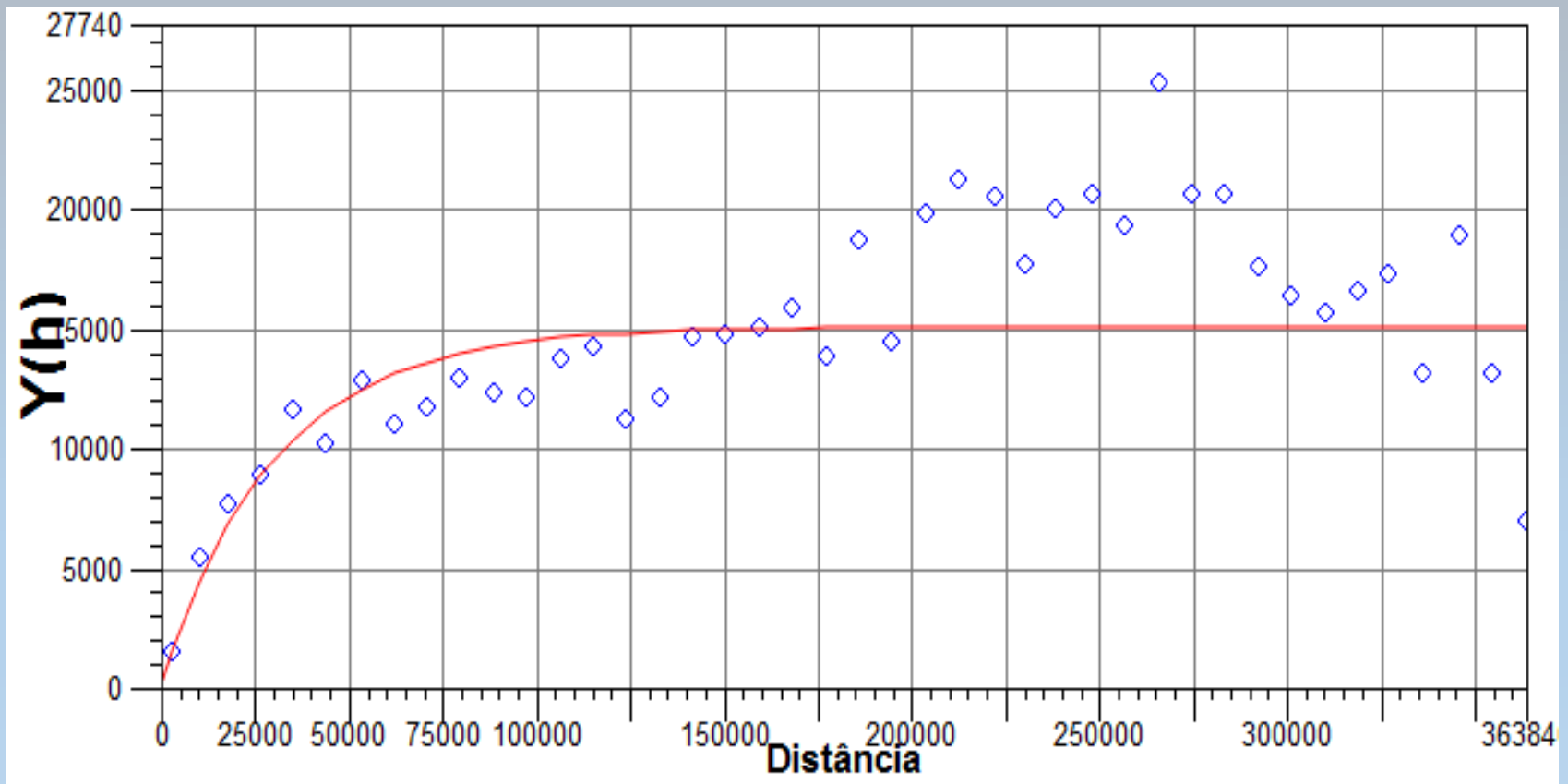
Padronizar Resultado Numérico...

Executar Fechar Ajuda



# Resultados

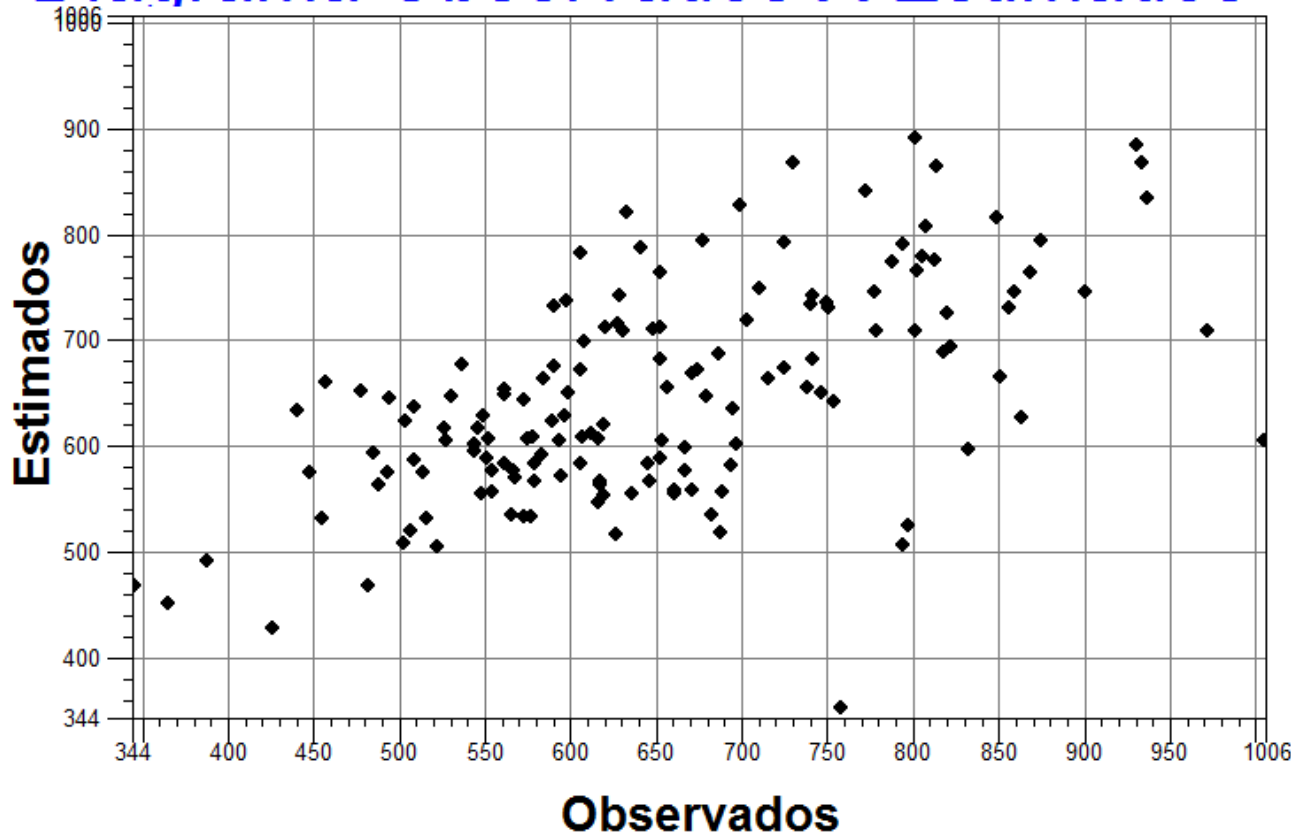
- Interpolação da precipitação → 2003
- ✓ Ajuste do semivariograma (90° de anisotropia)



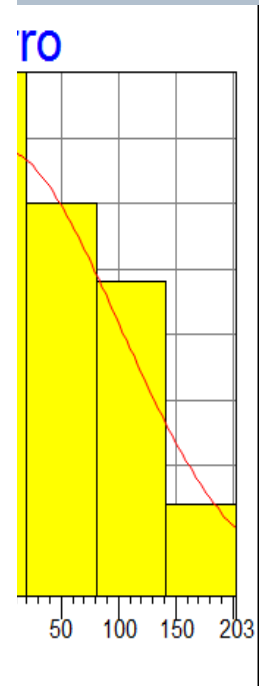
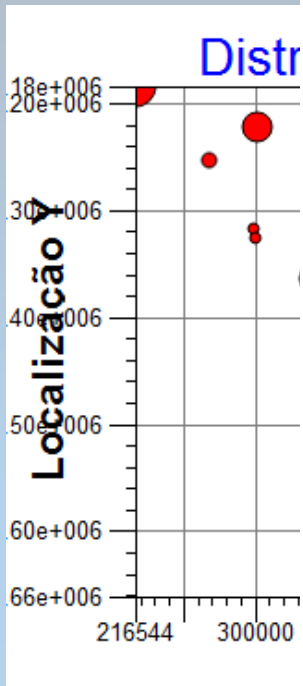
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003
- ✓ Validação do modelo

## Diagrama Observados X Estimados



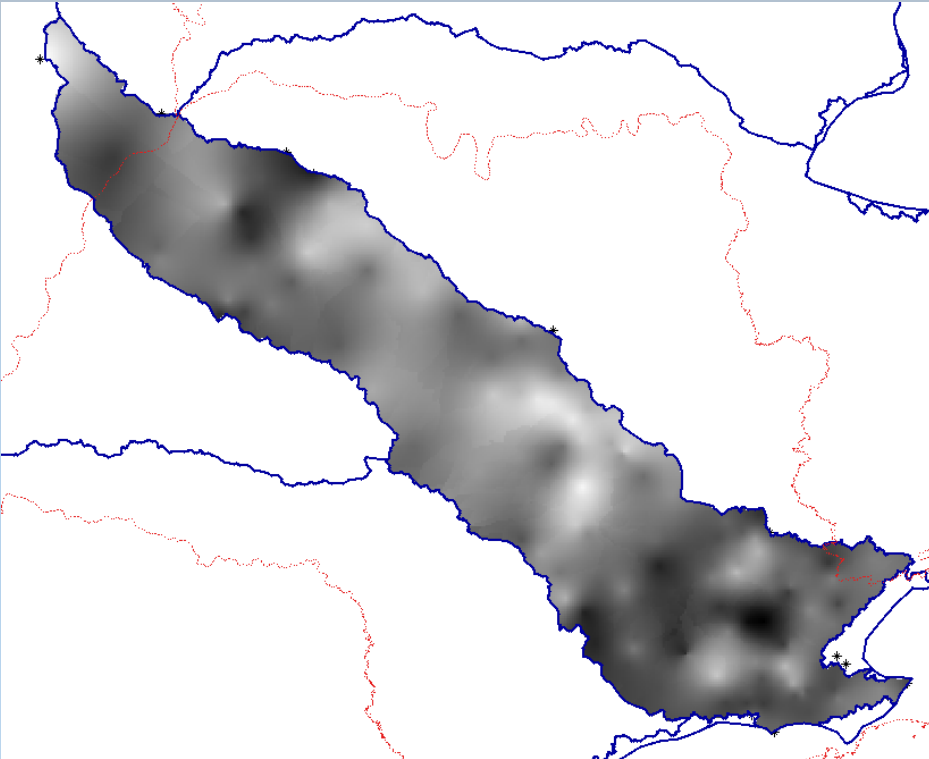
Coef.de Correlação Pearson=0.585052



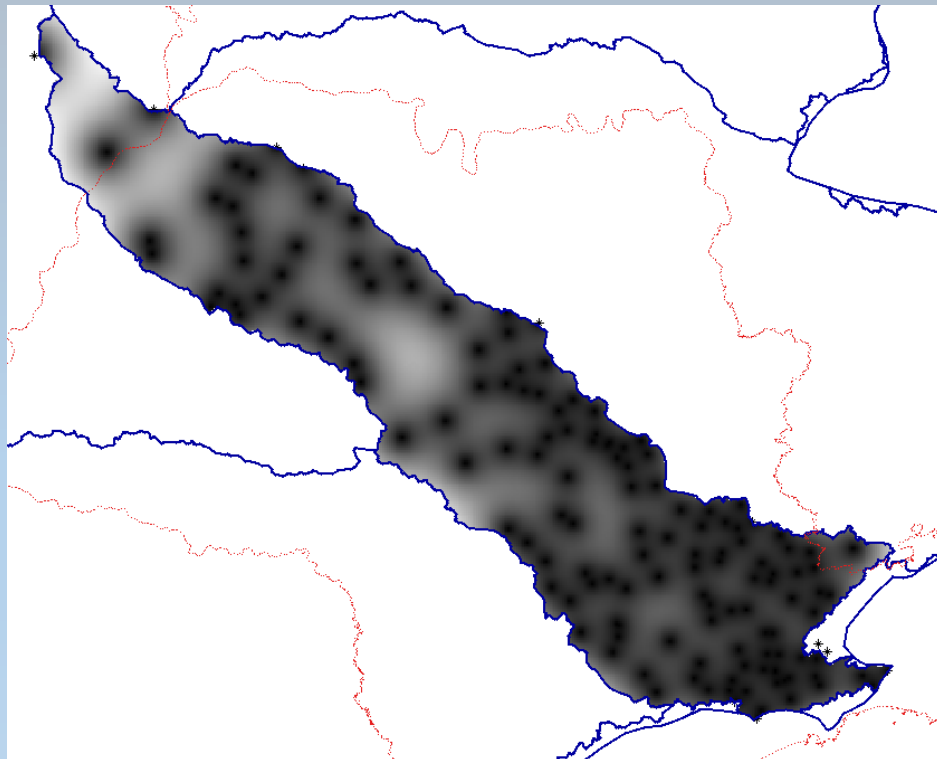
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003
- ✓ Krigeagem Ordinária

Krigeagem



Variância



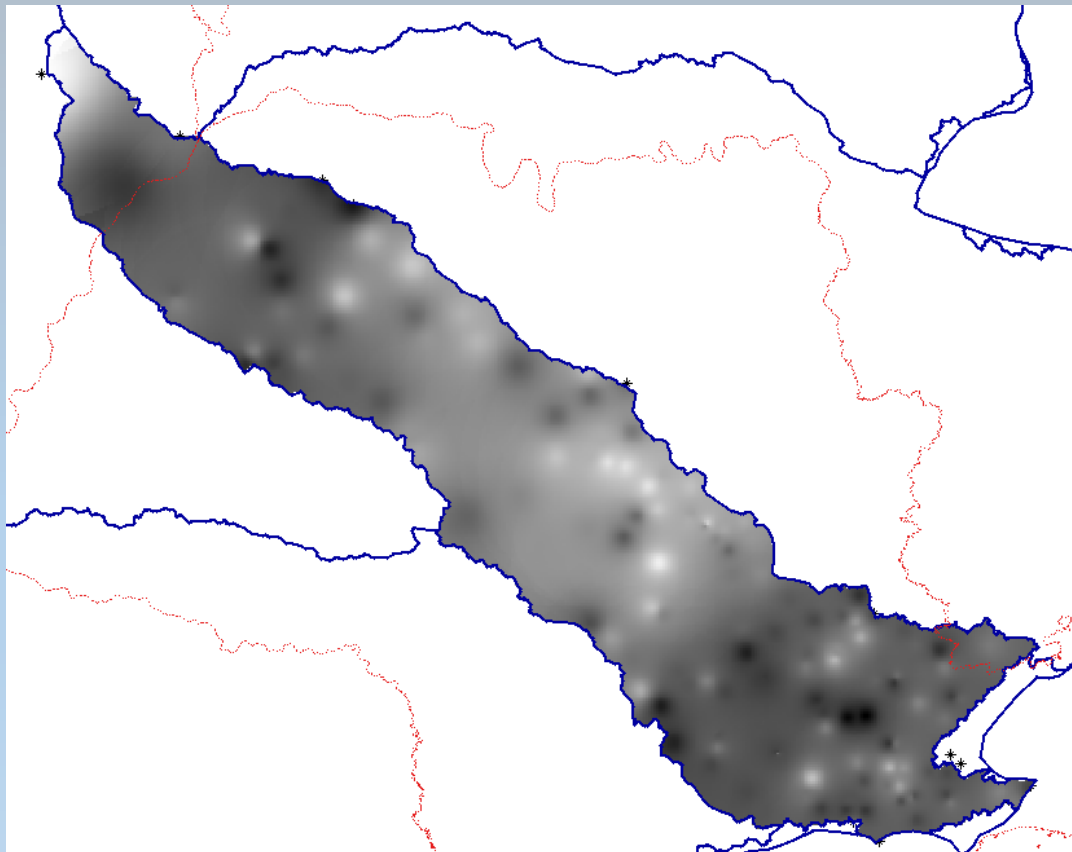
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003

✓ Média ponderada

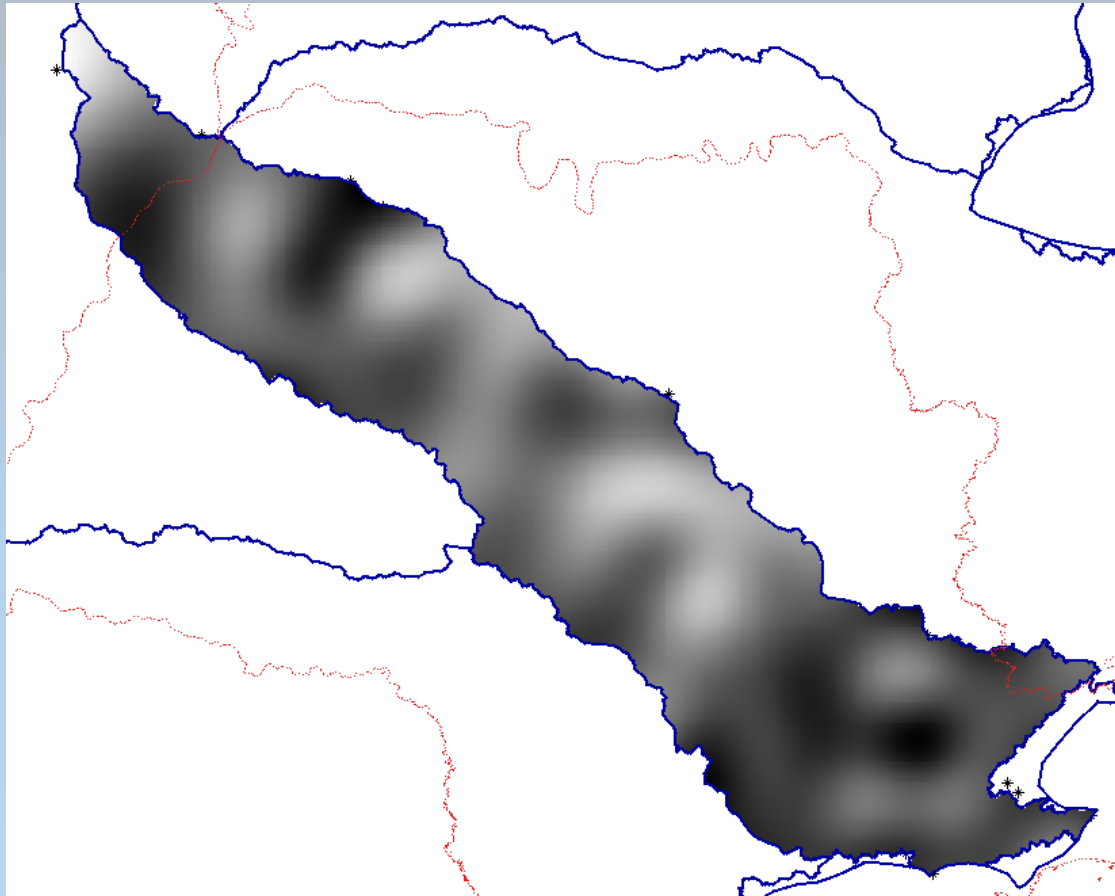


Raio → Alcance do semivariograma



# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003
- ✓ Interpolador Spline Mitasova



# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003
- ✓ Validação dos 3 métodos de Interpolação

Método	Interpolador	Média do Erro	Desvio	Correlação de Pearson	Erro mínimo	Erro máximo	Coef. Curtose
Geoestatístico	Krigeagem Ordinária	-5,4	135,7	0,34	-542,0	224,7	6,13
Determinístico Local	Média Ponderada	-8,6	129,6	0,36	-499,8	237,0	5,73
Determinístico Global	Spline Mitasova	-9,2	132,4	0,37	-502,5	262,4	5,14

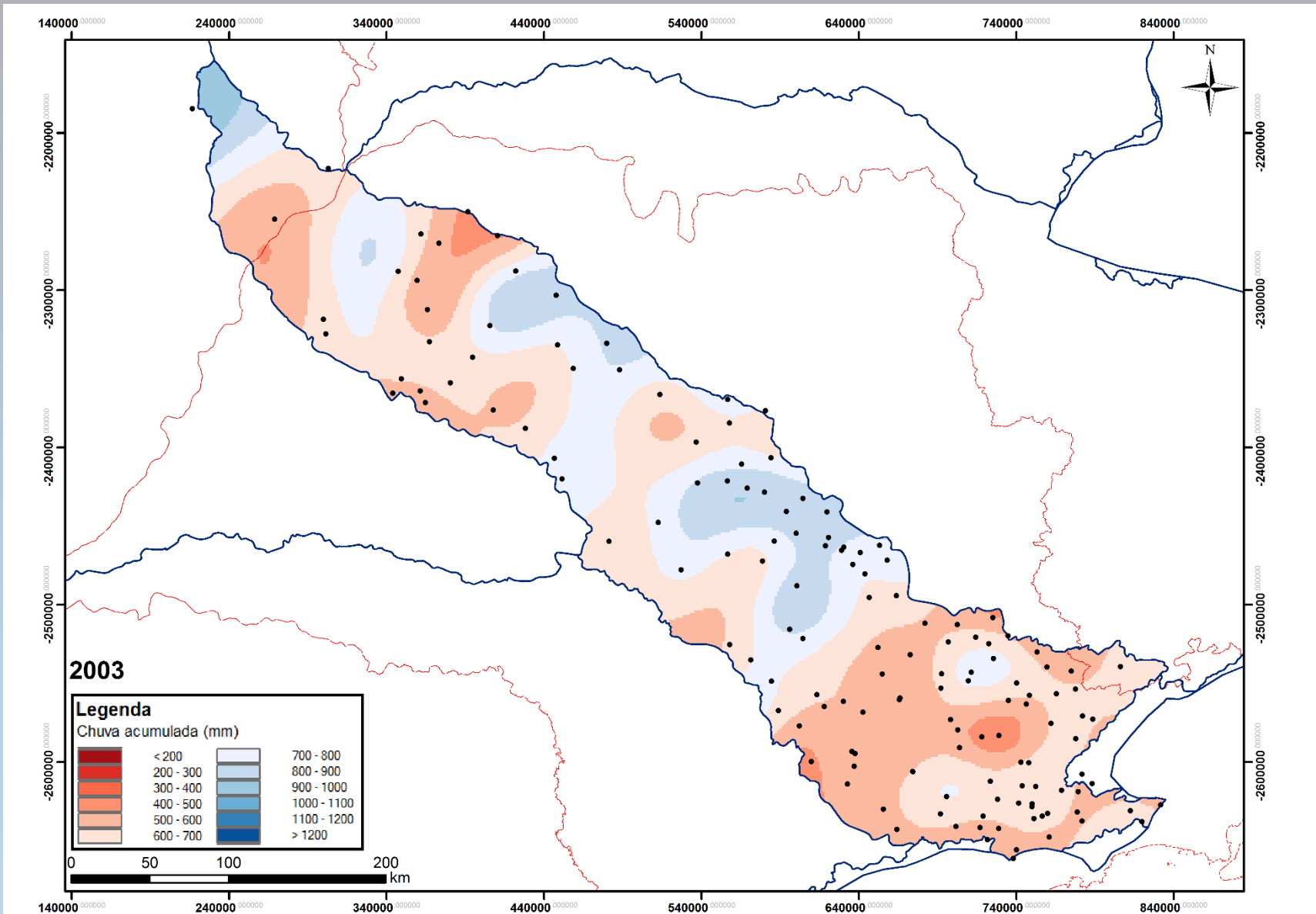


Ajuste próximo, melhor suavização e mais prático!



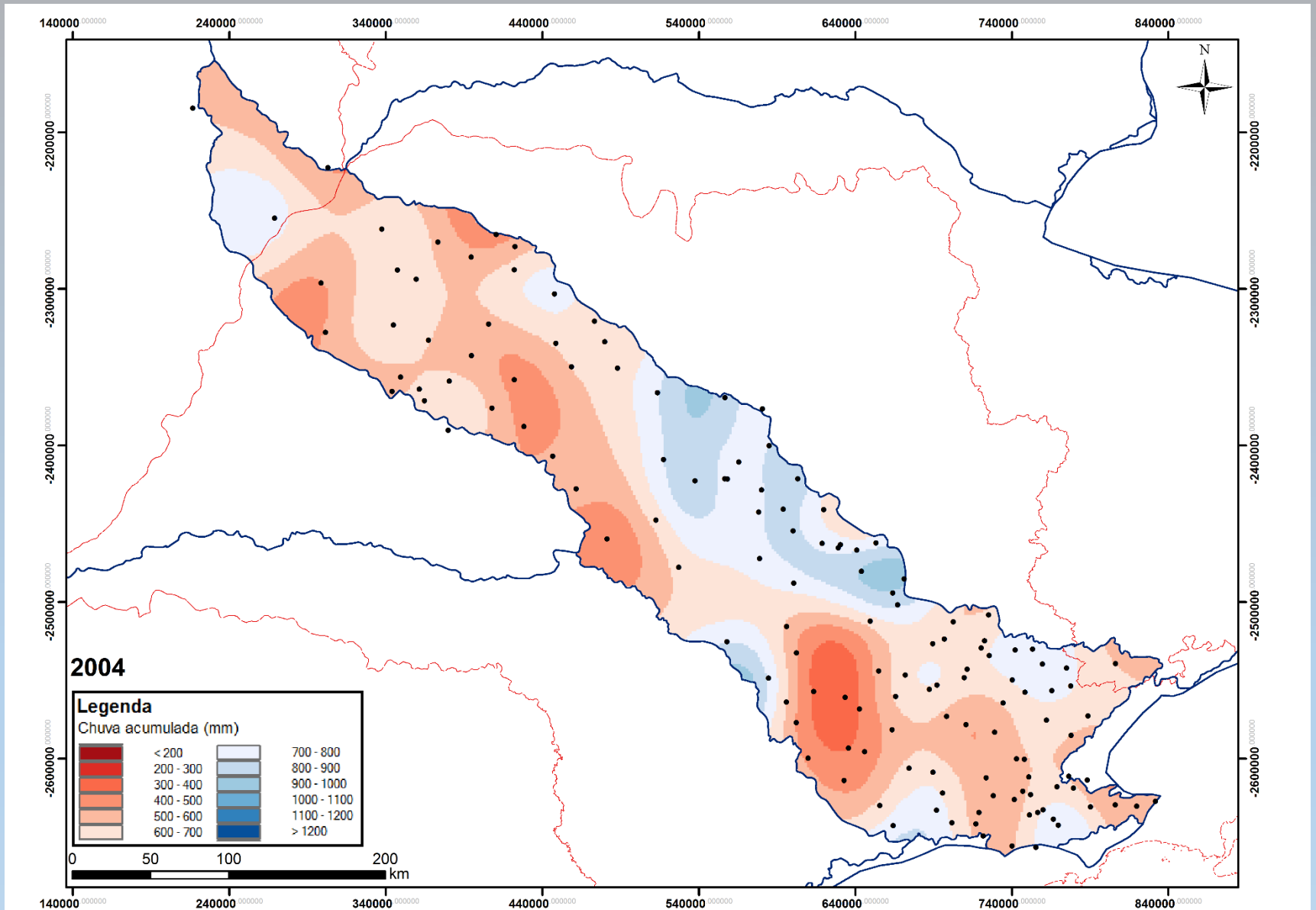
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



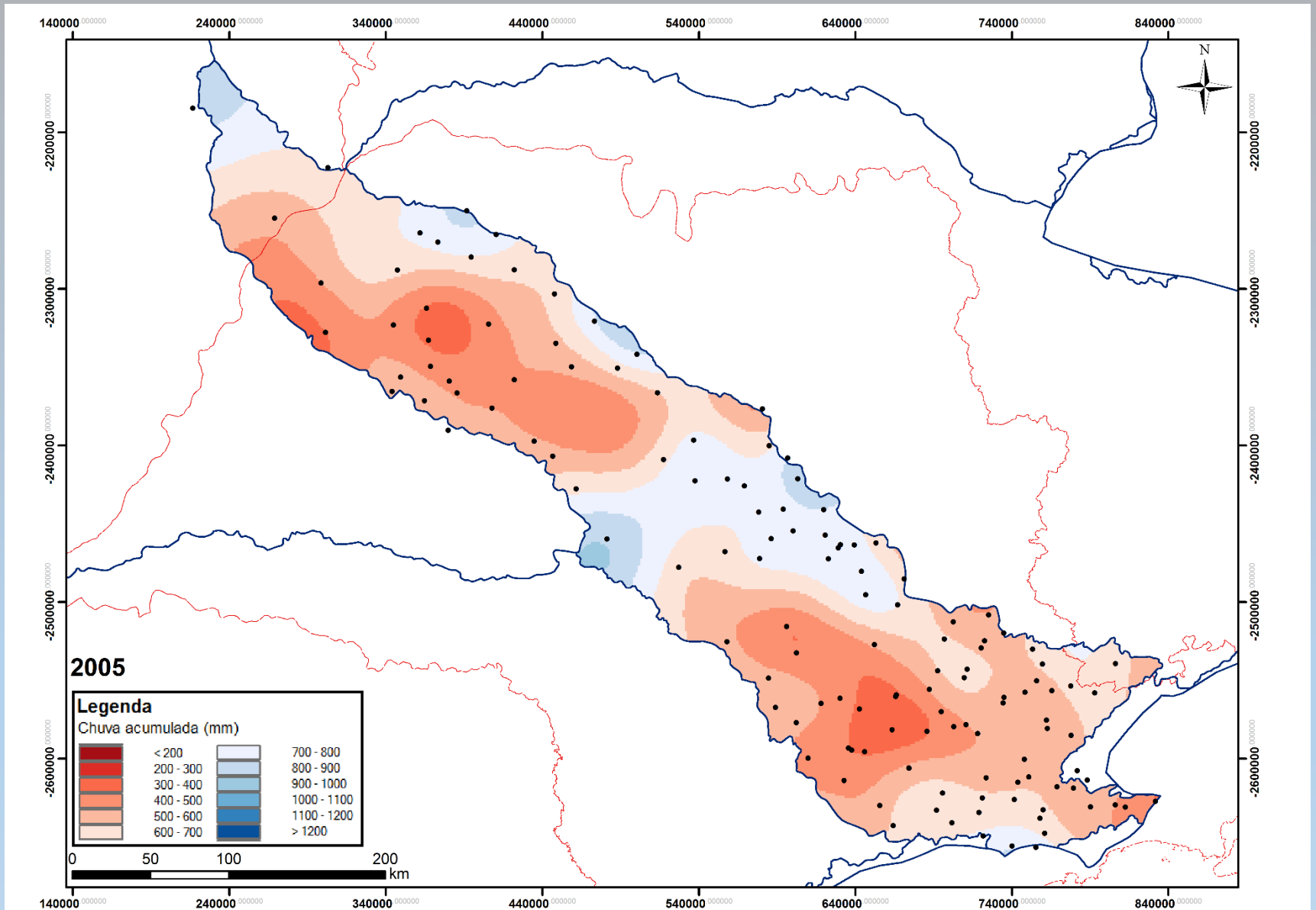
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



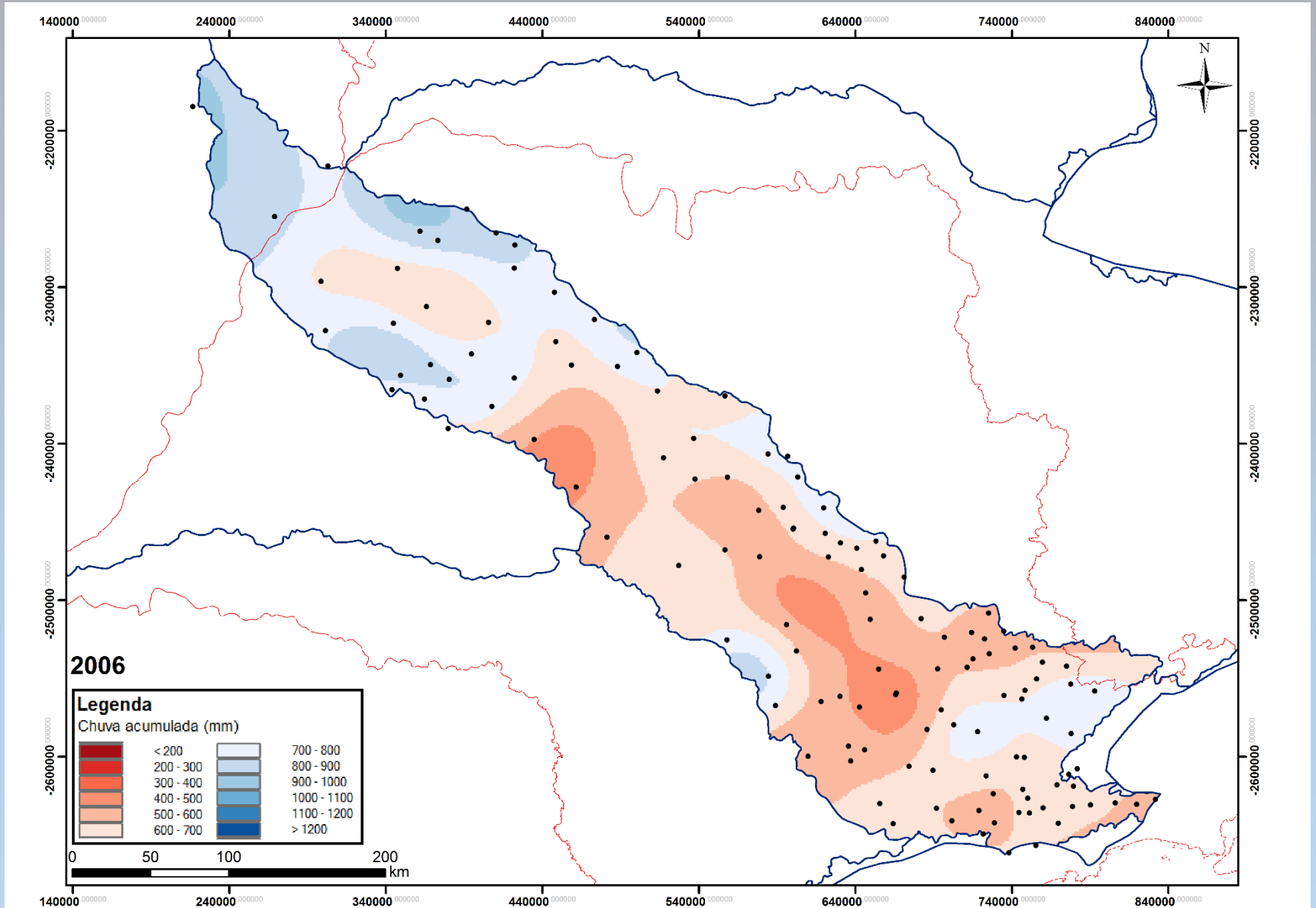
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



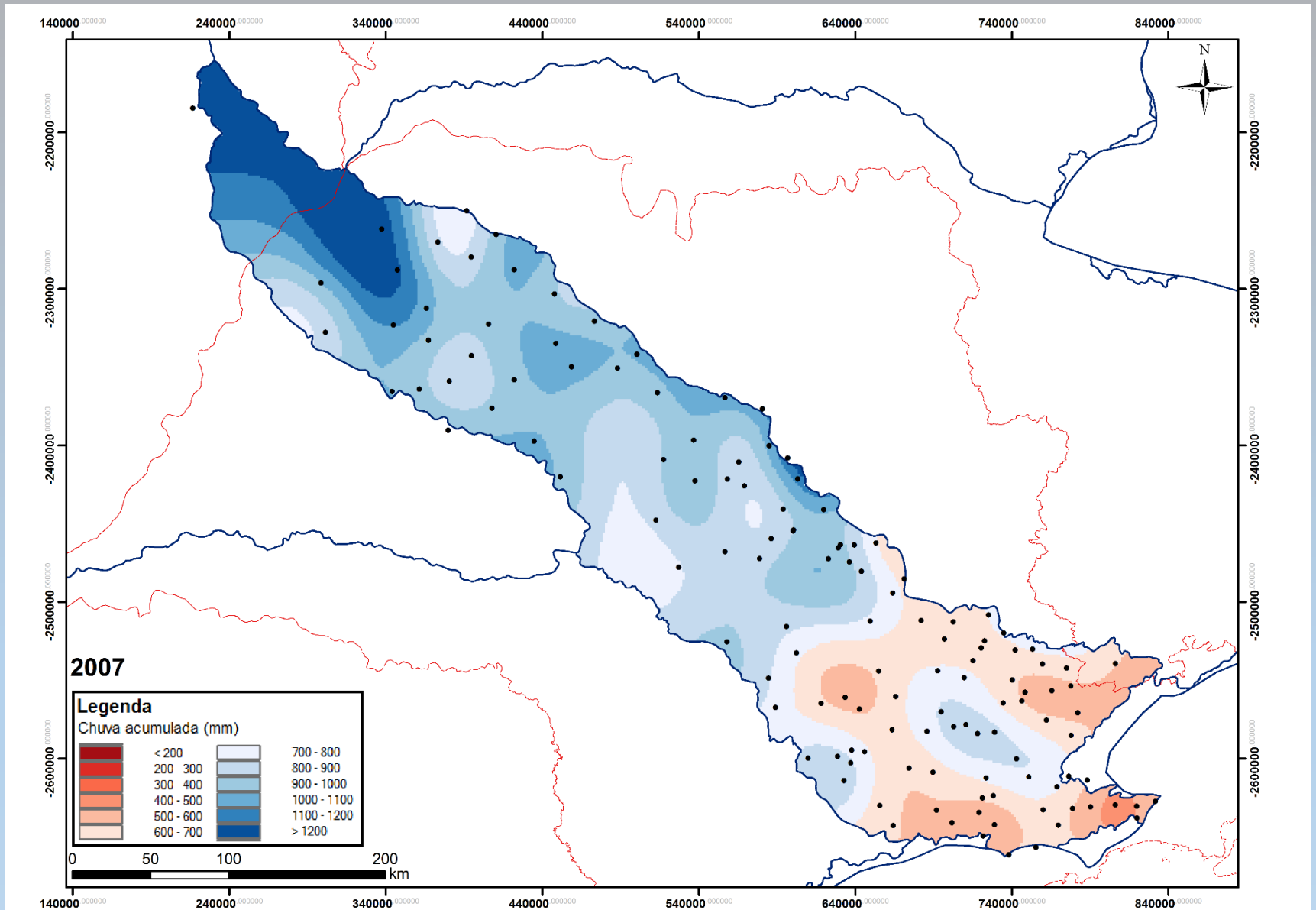
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



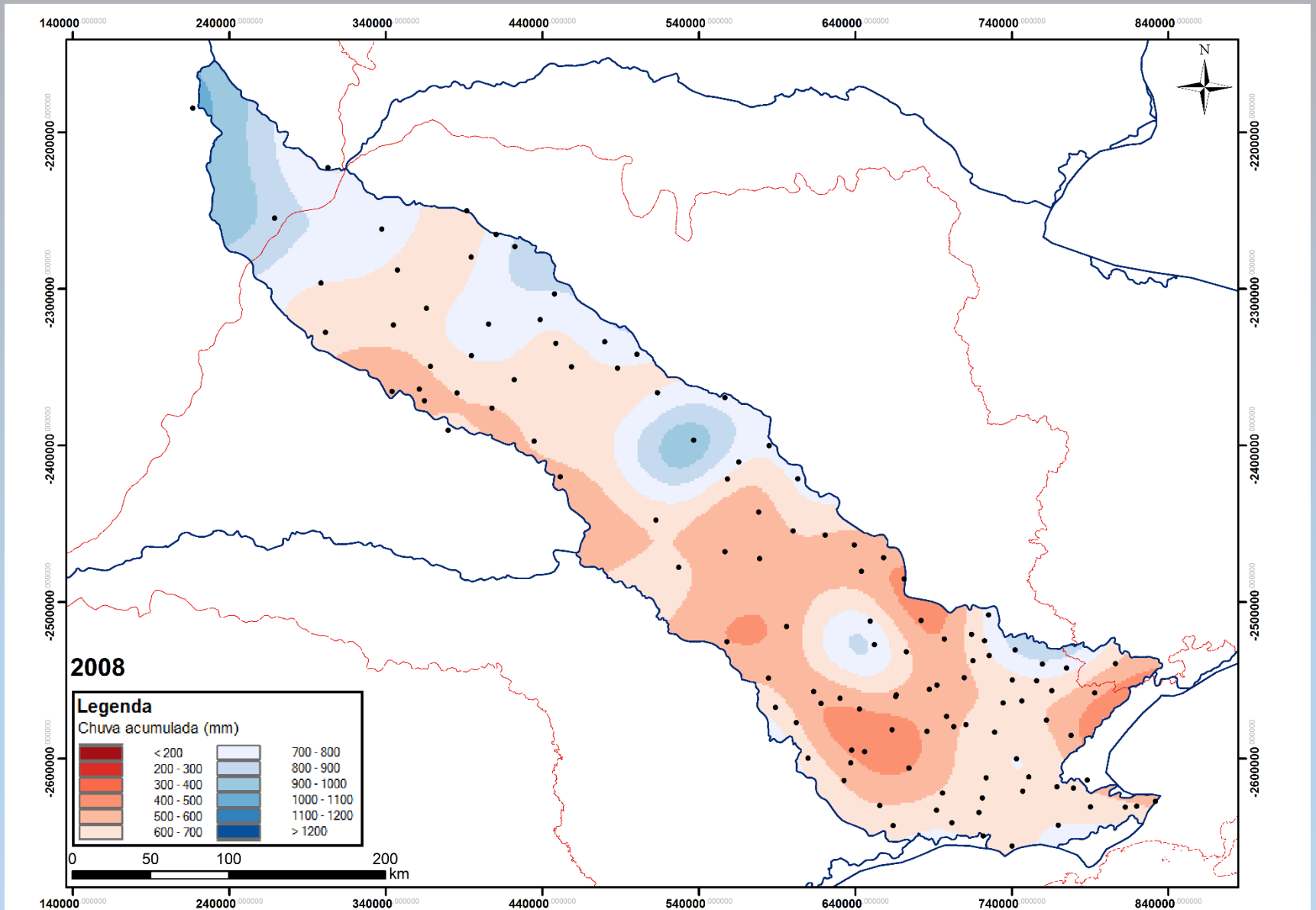
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



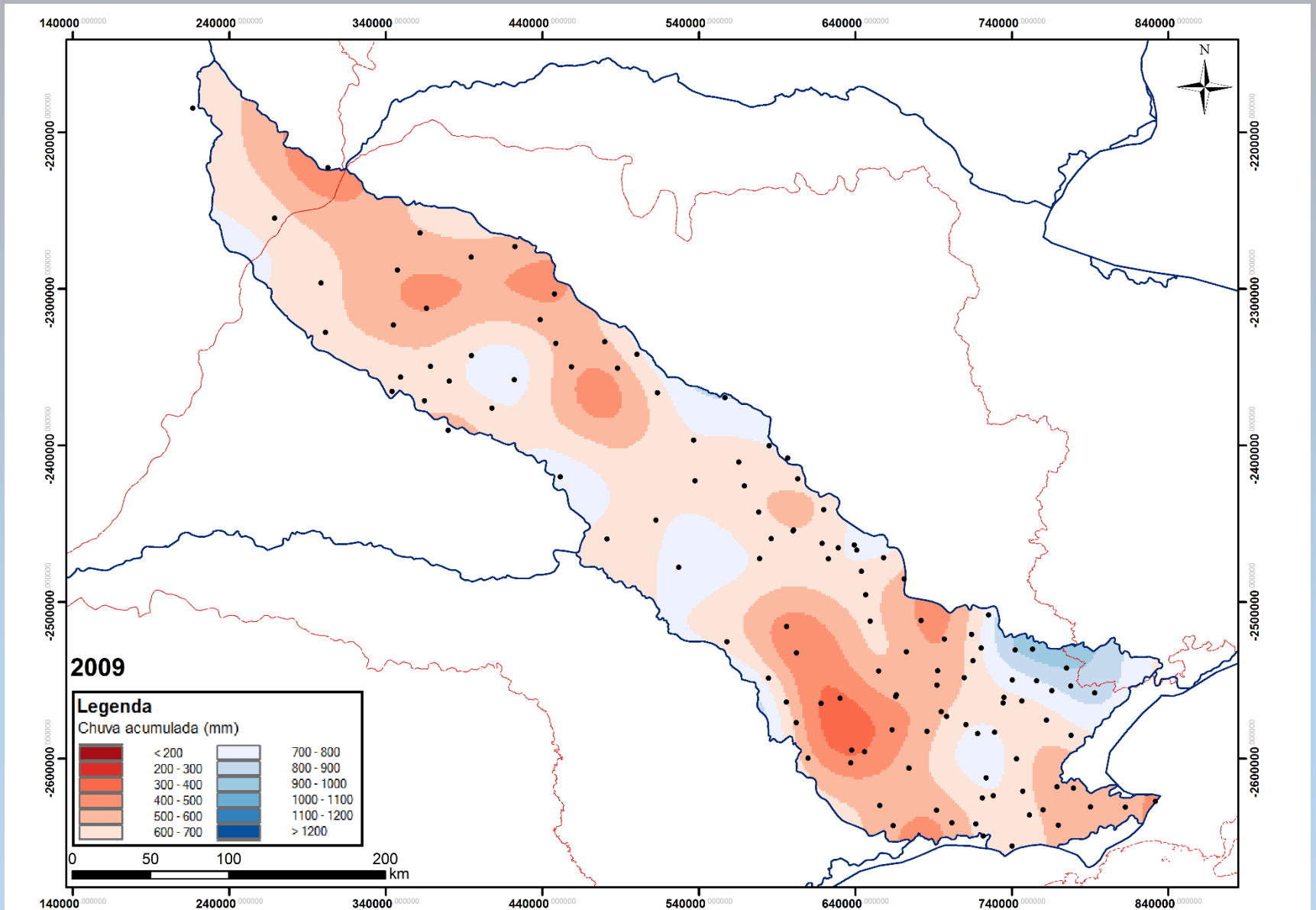
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



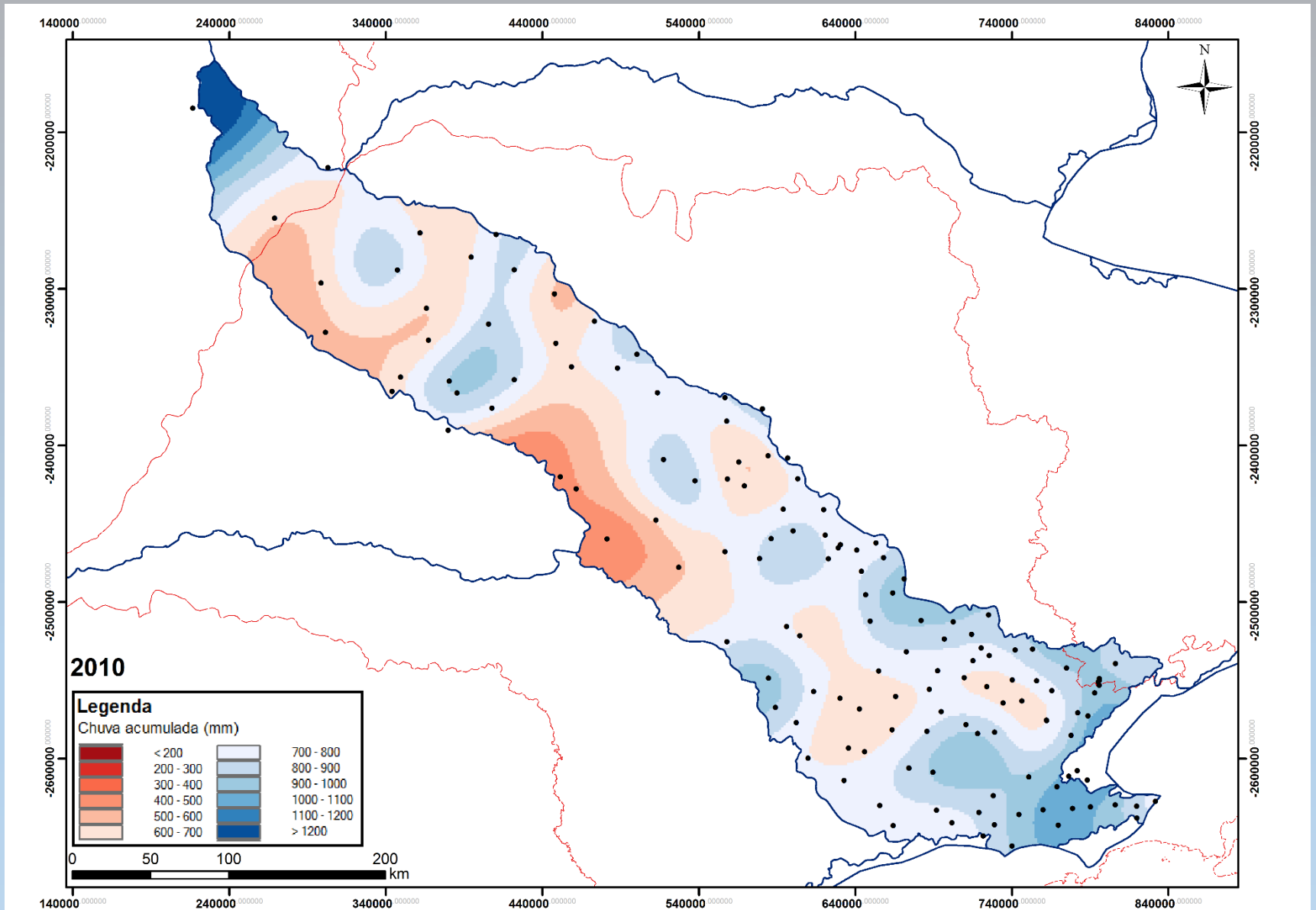
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



# Resultados

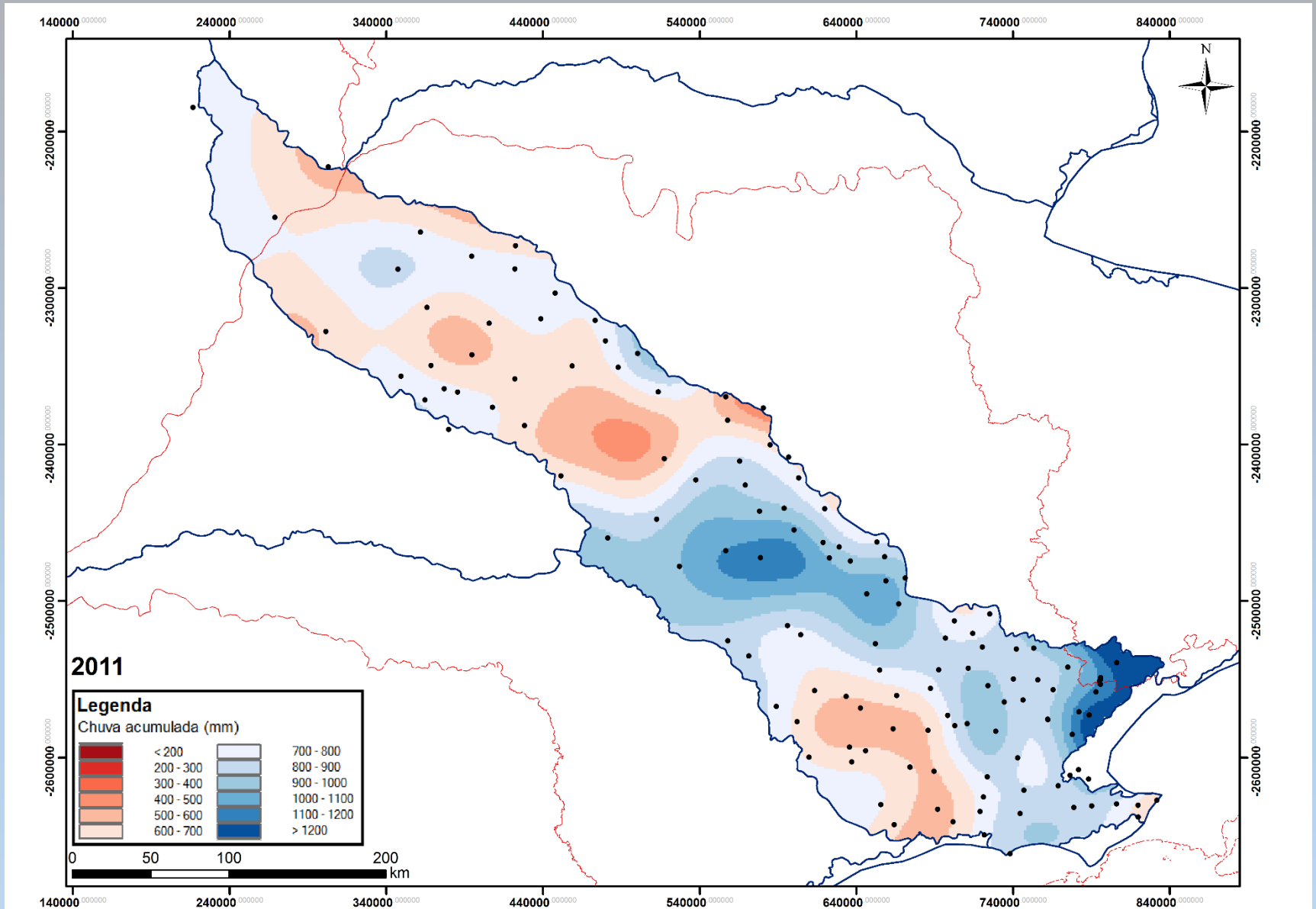
- Interpolação da precipitação → 2003-2014





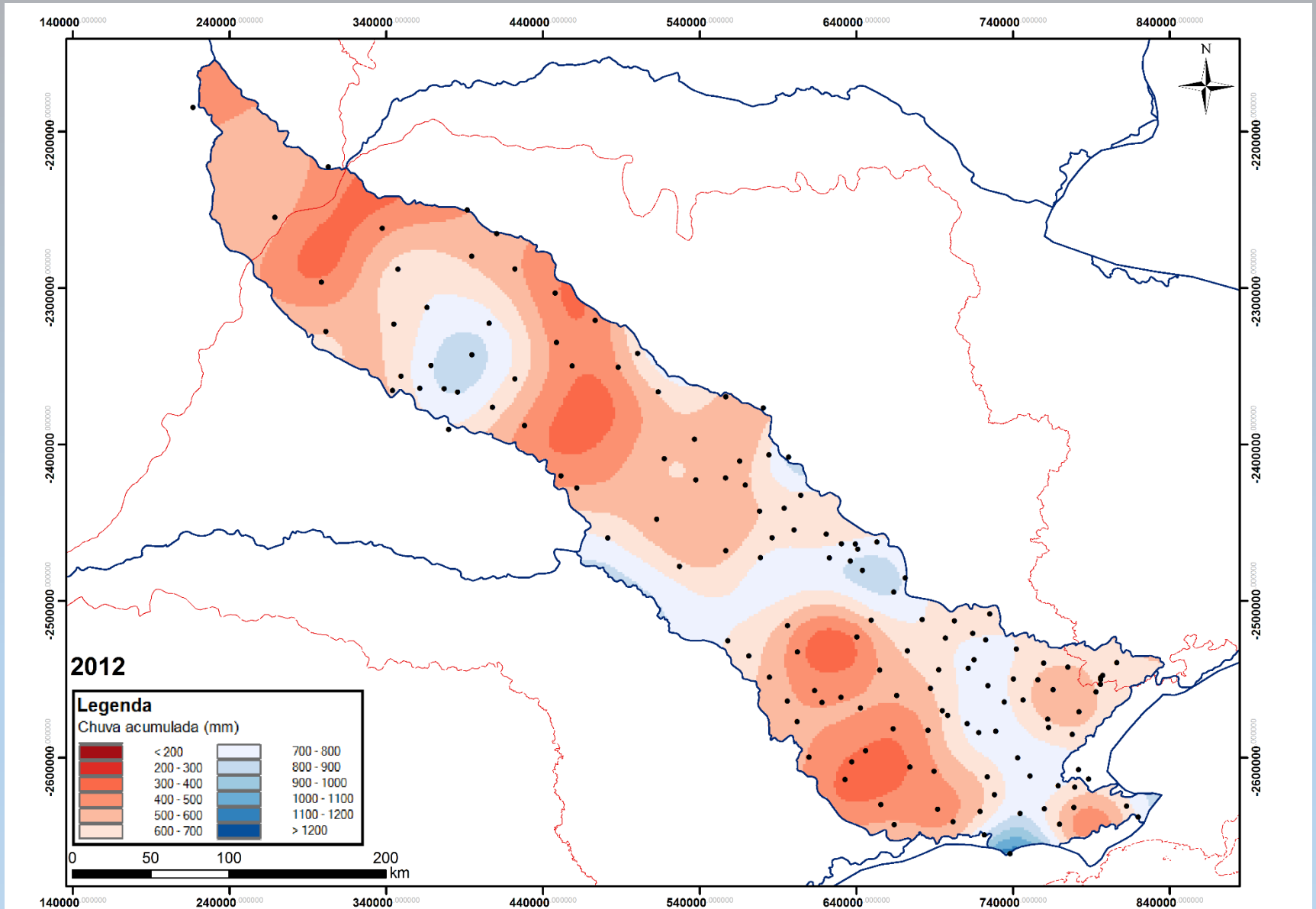
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



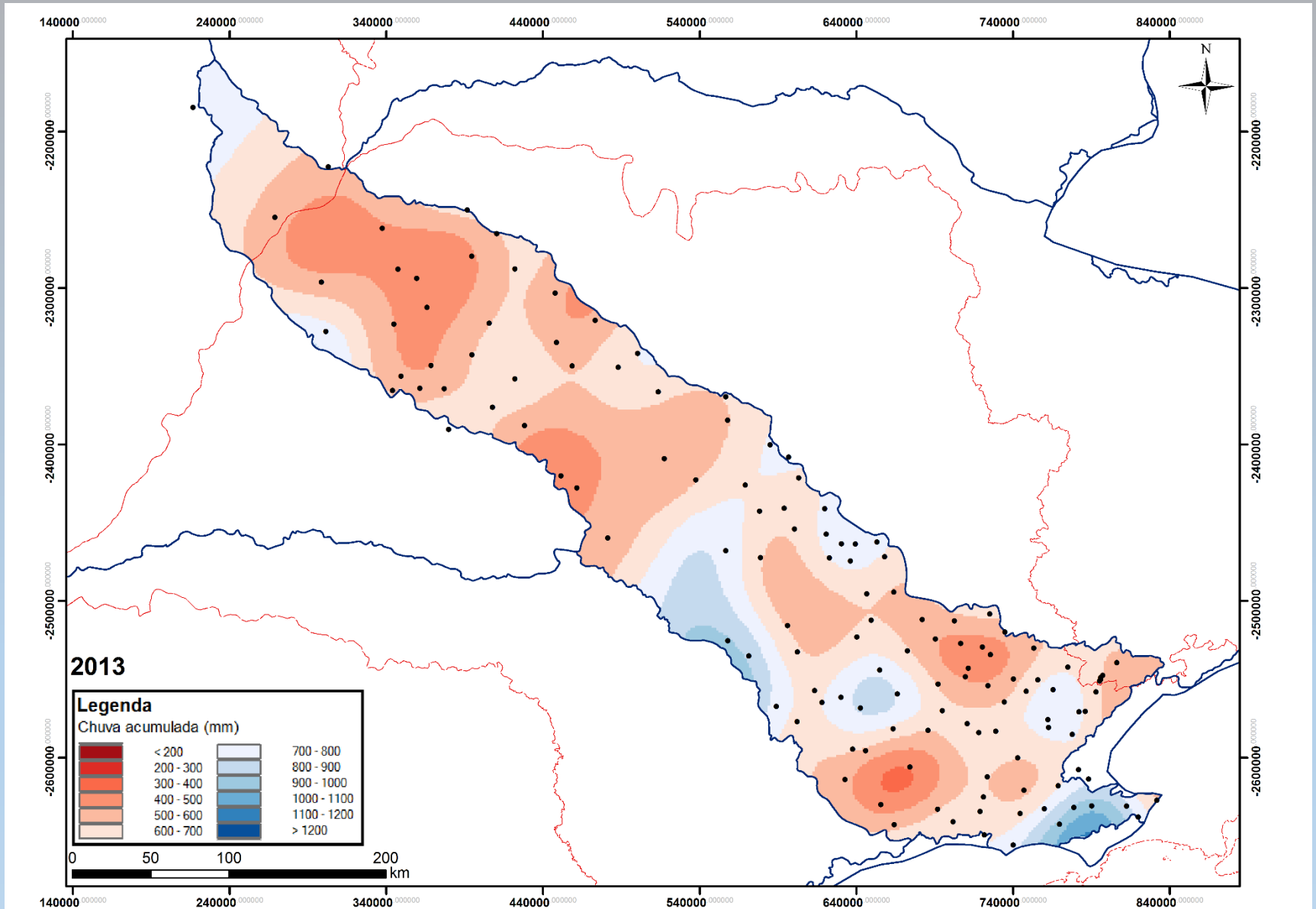
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



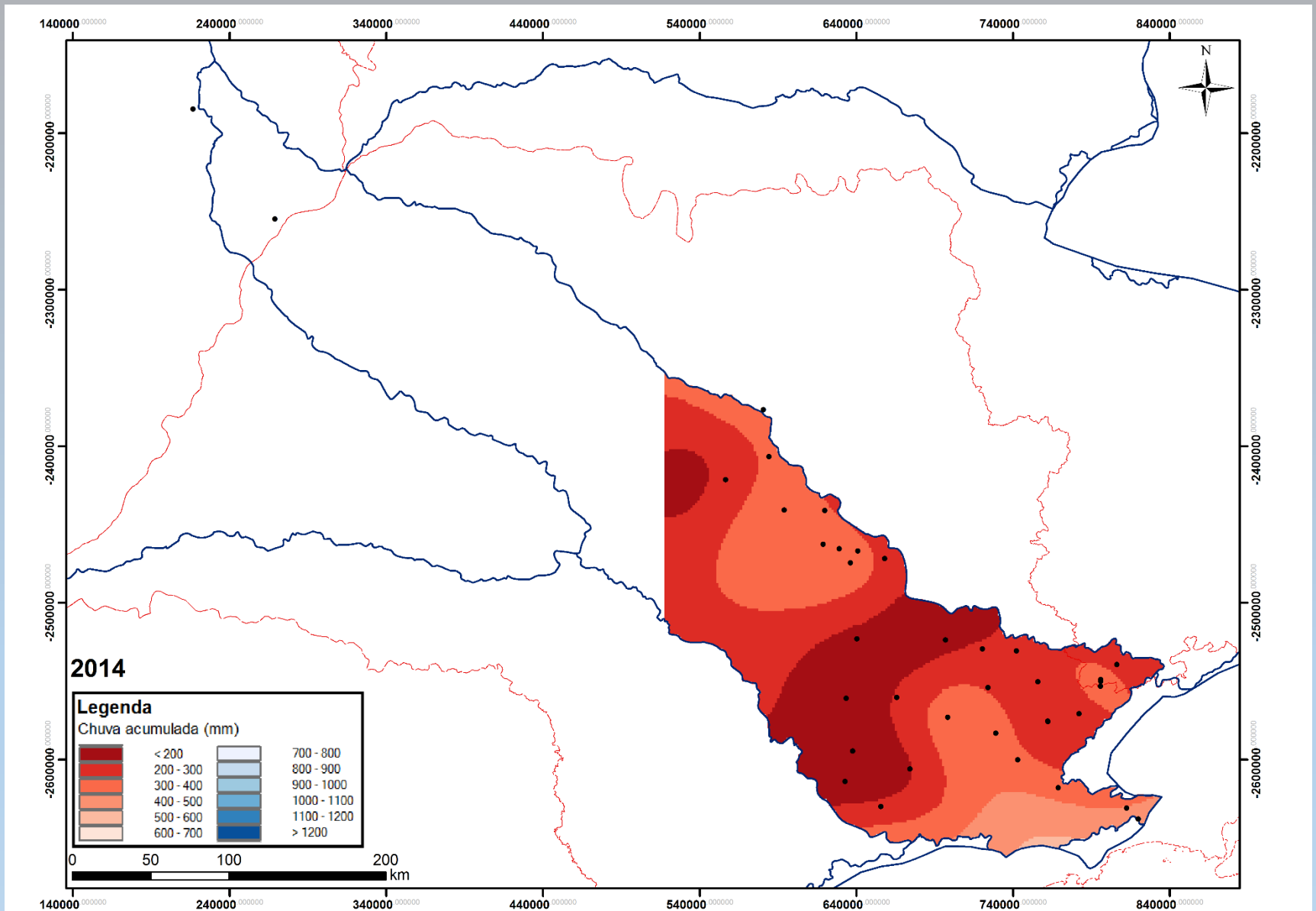
# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



# Resultados

- Interpolação da precipitação → 2003-2014



# Resultados

- Validação da interpolação → 2003-2014

Ano	Média grade	Média teste	Média do Erro	R <sup>2</sup>	Erro mínimo	Erro máximo
2003	664.7	668.2	-9,19	0,14	-502,7	262,4
2004	633.3	662.4	-12,47	0,45	-486,2	194,3
2005	590.6	590.3	0,49	0,44	-423,7	310,5
2006	665.3	619.1	26,87	0,24	-217,8	235,5
2007	868.9	747.7	35,61	0,71	-144,3	304,5
2008	662.8	636.3	3,80	0,34	-617,5	267,1
2009	616.4	634.4	-14,02	0,50	-305,2	202,3
2010	750.9	832.4	-31,47	0,14	-361,5	446,2
2011	774.3	819.7	-0,06	0,38	-227,5	263,3
2012	583.5	616.9	16,84	0,18	-271,1	498,1
2013	615.6	651.8	-13,90	0,18	-734,9	397,8
2014	324.3	307.2	-5,05	0,48	-122,9	127,4

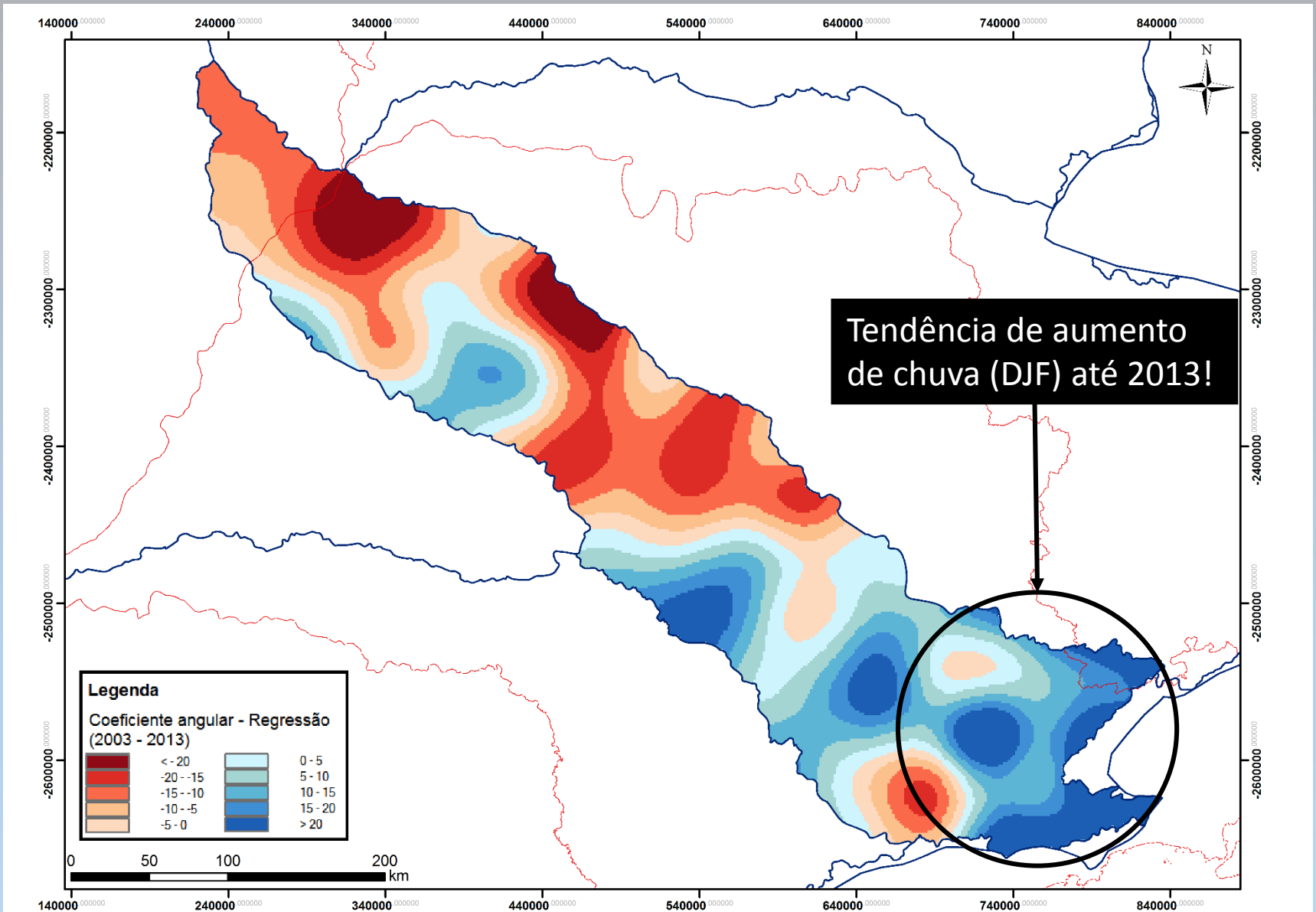
# Resultados

- Validação da interpolação → 2003-2014

Ano	Média grade	Média teste	Média do Erro	R <sup>2</sup>	Erro mínimo	Erro máximo
2003	664.7	668.2	-9,19	0,14	-502,7	262,4
2004	633.3	662.4	-12,47	0,45	-486,2	194,3
2005	590.6	590.3	0,49	0,44	-423,7	310,5
2006	665.3	619.1	26,87	0,24	-217,8	235,5
2007	868.9	747.7	35,61	0,71	-144,3	304,5
2008	662.8	636.3	3,80	0,34	-617,5	267,1
2009	616.4	634.4	-14,02	0,50	-305,2	202,3
2010	750.9	832.4	-31,47	0,14	-361,5	446,2
2011	774.3	819.7	-0,06	0,38	-227,5	263,3
2012	583.5	616.9	16,84	0,18	-271,1	498,1
2013	615.6	651.8	-13,90	0,18	-734,9	397,8
2014	324.3	307.2	-5,05	0,48	-122,9	127,4

# Resultados

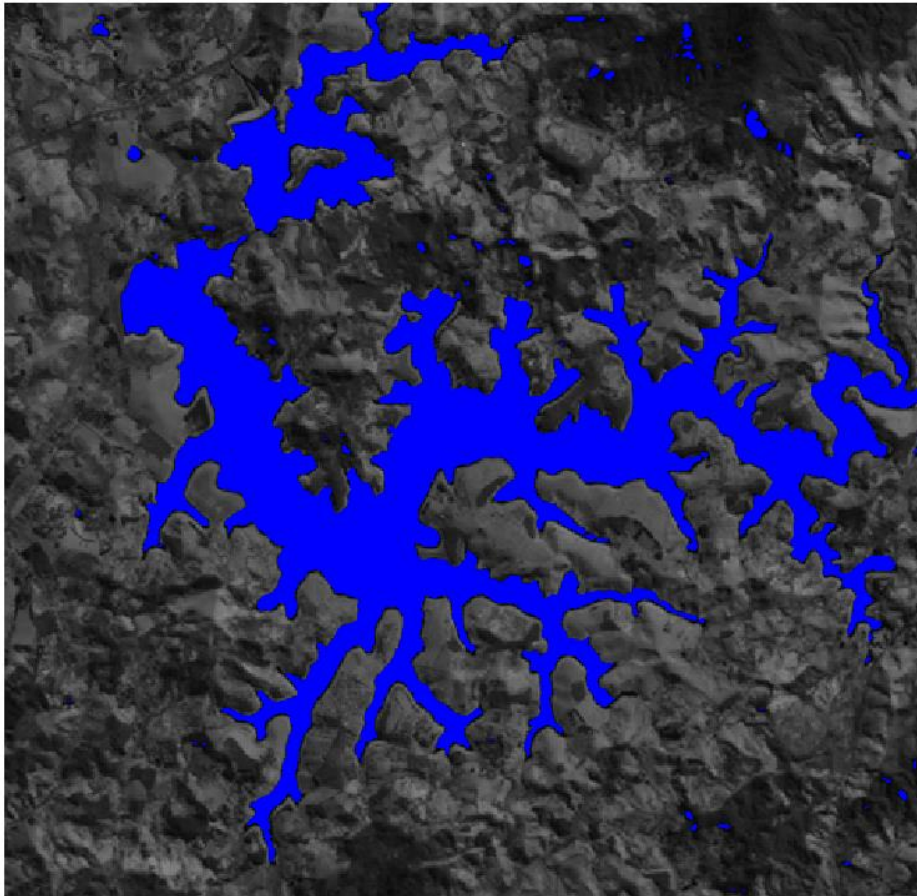
- Tendência da precipitação → 2003-2013 (Regressão Linear)



# Resultados

- Análise das cotas volumétricas → Área do Reservatório

2003



2014



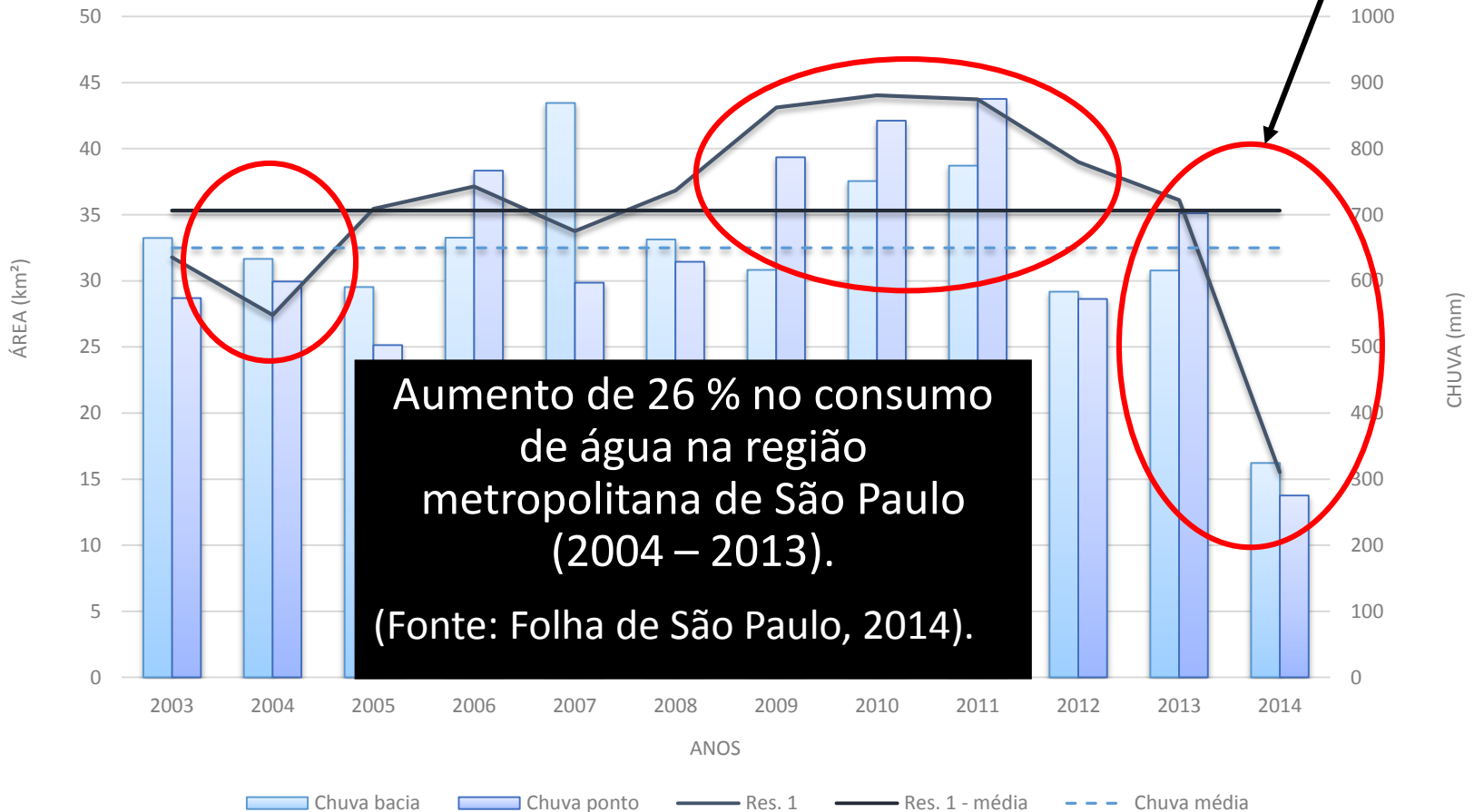


# Resultados

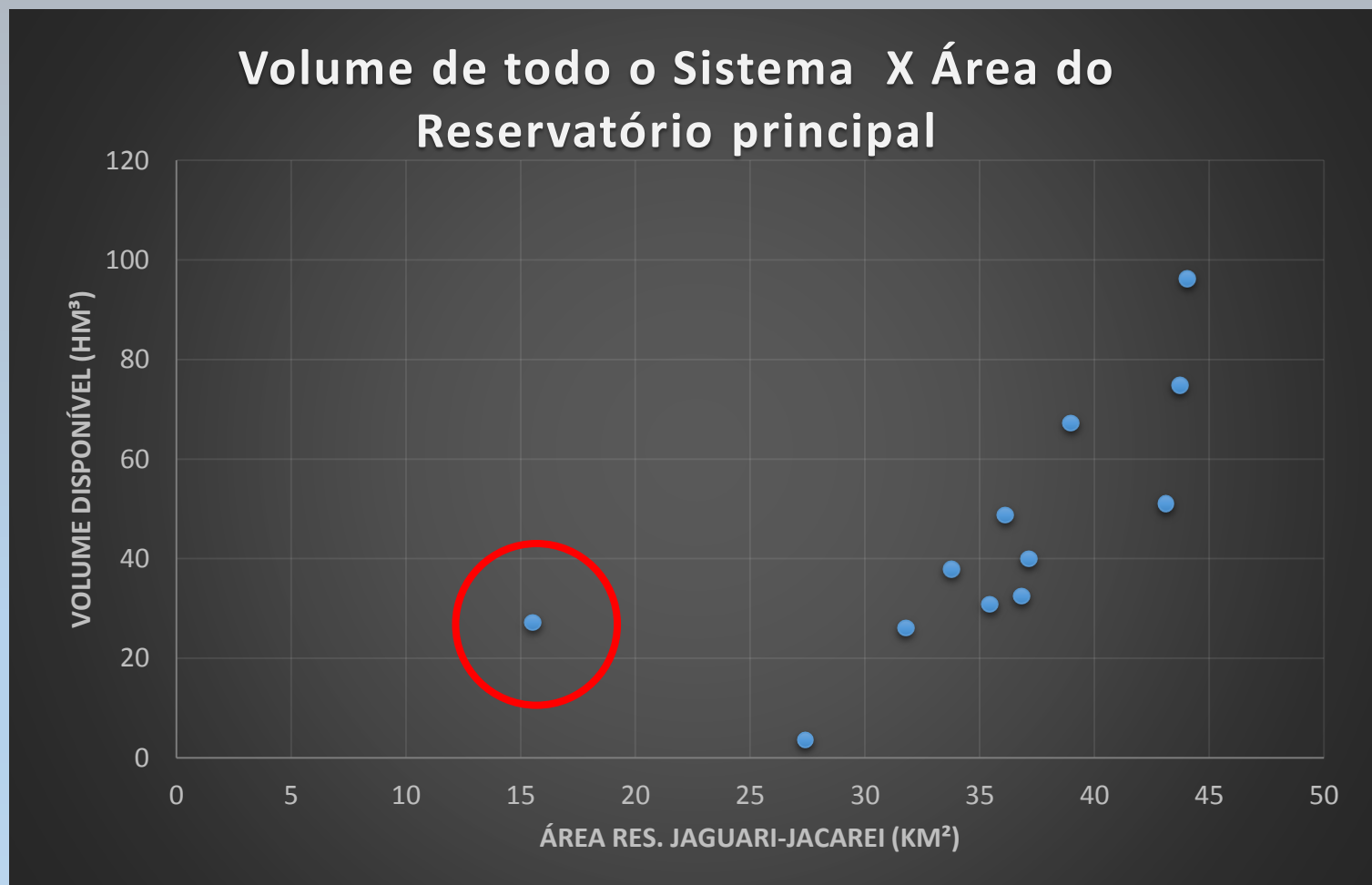
- Análise das cotas volumétricas

Queda de 44% da área de 2013 para 2014!

## Chuva X Reservatório Jaguari (2003 - 2014)



# Resultados



Fonte: Sabesp, 2015.

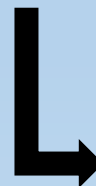
# Resultados

- Precipitação X Reservatório → Análise espacial
- ✓ **Em quais áreas da bacia a chuva acumulada apresenta maior correlação com o reservatório?**

<u>Área do reservatório</u>
2003
2004
2005
·
·
·
2014



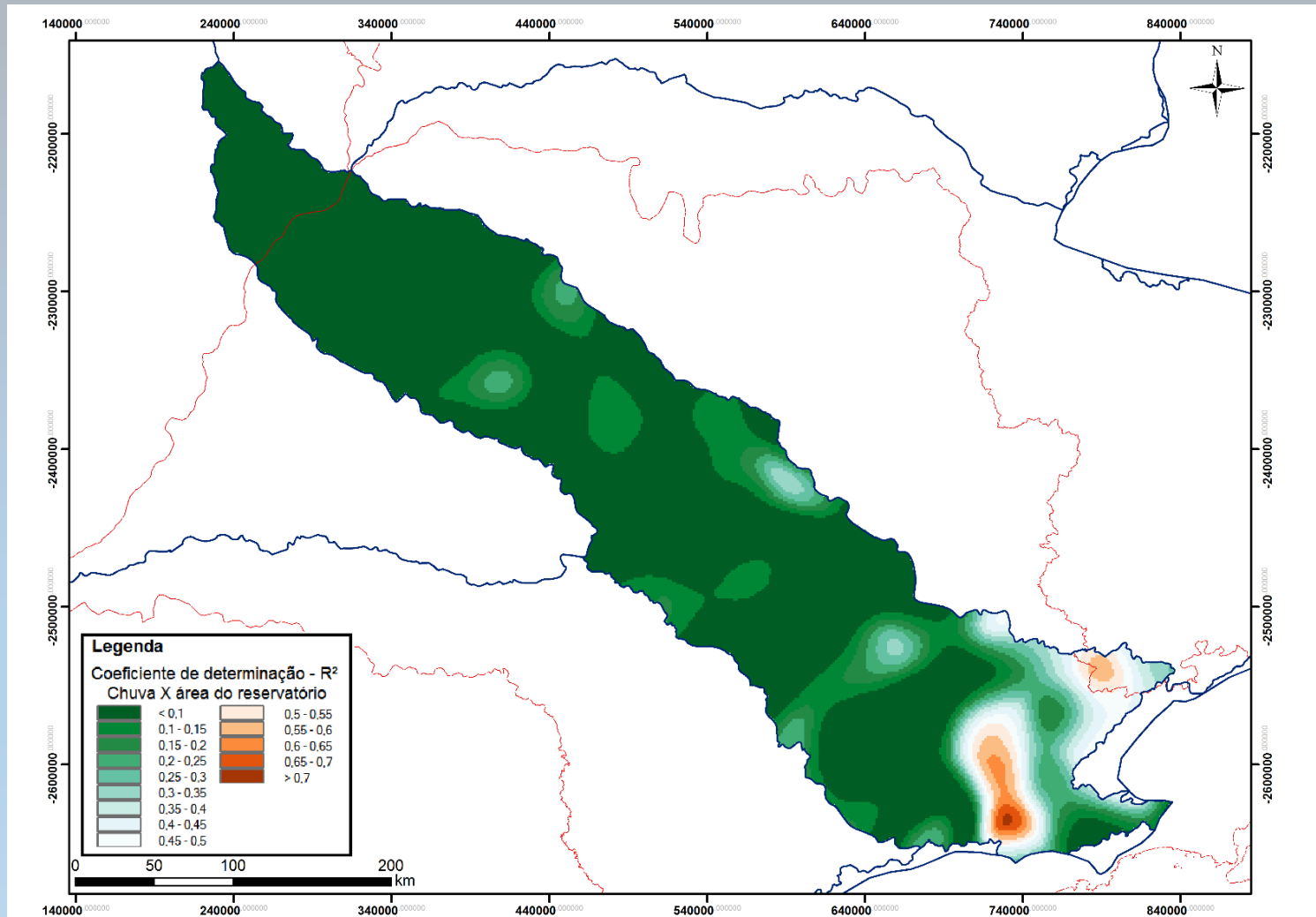
<u>Célula da Grade de chuva</u>
2003
2004
2005
·
·
·
2014



Coeficiente de Determinação ( $R^2$ )  
 $0 < R^2 < 1$

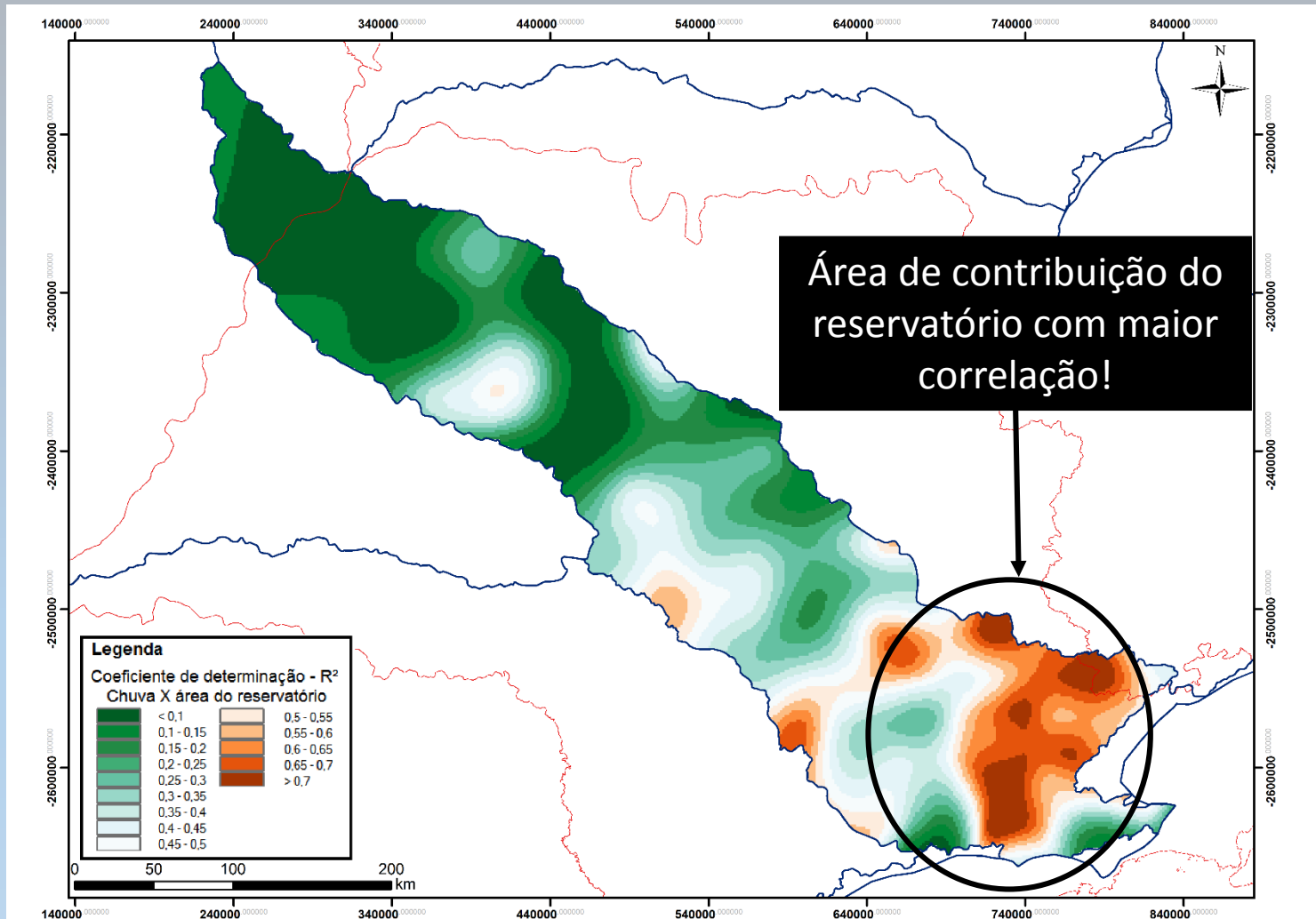
# Resultados

- Precipitação X Reservatório → 2003 - 2013



# Resultados

- Precipitação X Reservatório → 2003 - 2014



# Considerações

- ✓ Grande correlação da chuva com o reservatório (2014).
  - Área de contribuição
- ✓ Não foi observada tendência de estiagem até 2013.
- ✓ 2014 foi um ano anômalo!
- ✓ Avaliações de fatores favoráveis à estiagem.

# Considerações

- ✓ Outras regiões com índices mais baixos de precipitação.
- ✓ Tendência de estiagem – médio e baixo Tietê.
- ✓ Planejamento!
  - Oferta e demanda.

Obrigada!

