



SEMANA INTERNACIONAL PAULISTA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
SÃO PAULO INTERNATIONAL GROUNDWATER WEEK
19-22 março de 2025

GESTÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Vinicius Boico

Eng. Ambiental, MSc e PhD



19/03/2025

SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Contexto regional

Aquífero:

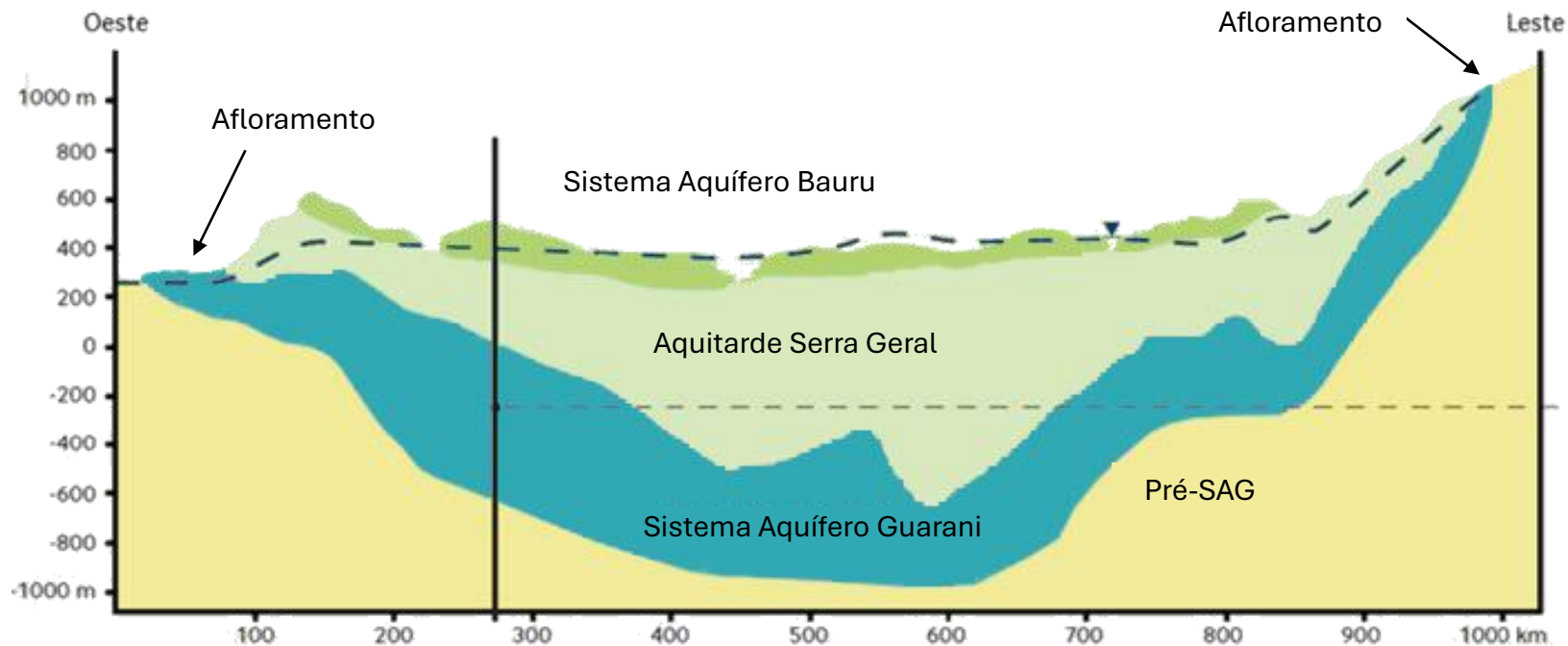
formação geológica capaz de armazenar e transmitir água em quantidade significativa

Aquífero livre:

- superfície freática como limite superior
- diretamente conectado com a atmosfera
- recarga direta por infiltração da chuva

Aquífero confinado:

- Contido entre camadas impermeáveis
- Água sob pressão



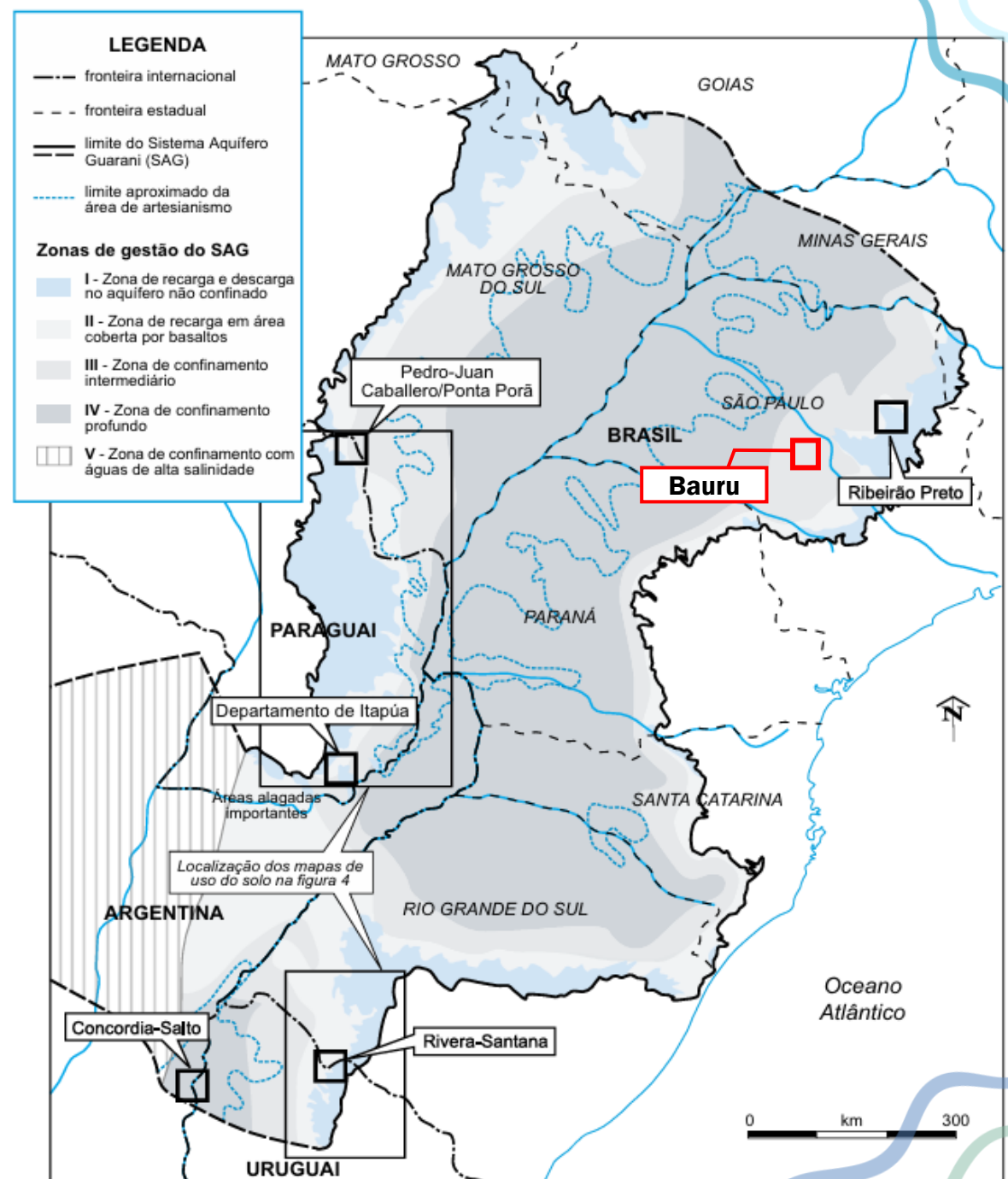
SAG: Sistema regionalmente contínuo de rochas sedimentares

Perfil do SAG com indicação das camadas confinantes. Adaptado do PAE (2009)

SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Contexto regional

- Abrange 1,1 milhão km²
- **Brasil (68%)**, Argentina (21%), Paraguai (8%) e Uruguai (3%)
- Espessura média de 250 m
- Transmissividade de 50-1200 m²/d
- Profundidades superiores a 1000 m
- Recarga pode ocorrer:
 - na zona de afloramento (infiltração direta e rios influentes)
 - Fluxo descendente através de fraturamentos
- Funciona como
 - **Aquífero livre**, fluxo mais rápido
 - **Aquífero confinado**, fluxo muito lento (~0,5 m/ano), águas fósseis (recarregadas há mais de 30 mil anos)
 - **Aquífero salino**



SISTEMA AQUÍFERO GUARANI

Contexto regional

- Volume água armazenado: $\sim 30.000 \text{ km}^3$ (OAS, 2009)
- Recarga que contribui ao fluxo regional: $\sim 0,6 \text{ km}^3/\text{ano}$ (Gonçalves et al., 2020)
- Extração global de $1,04 \text{ km}^3/\text{ano}$ (OAS, 2009)



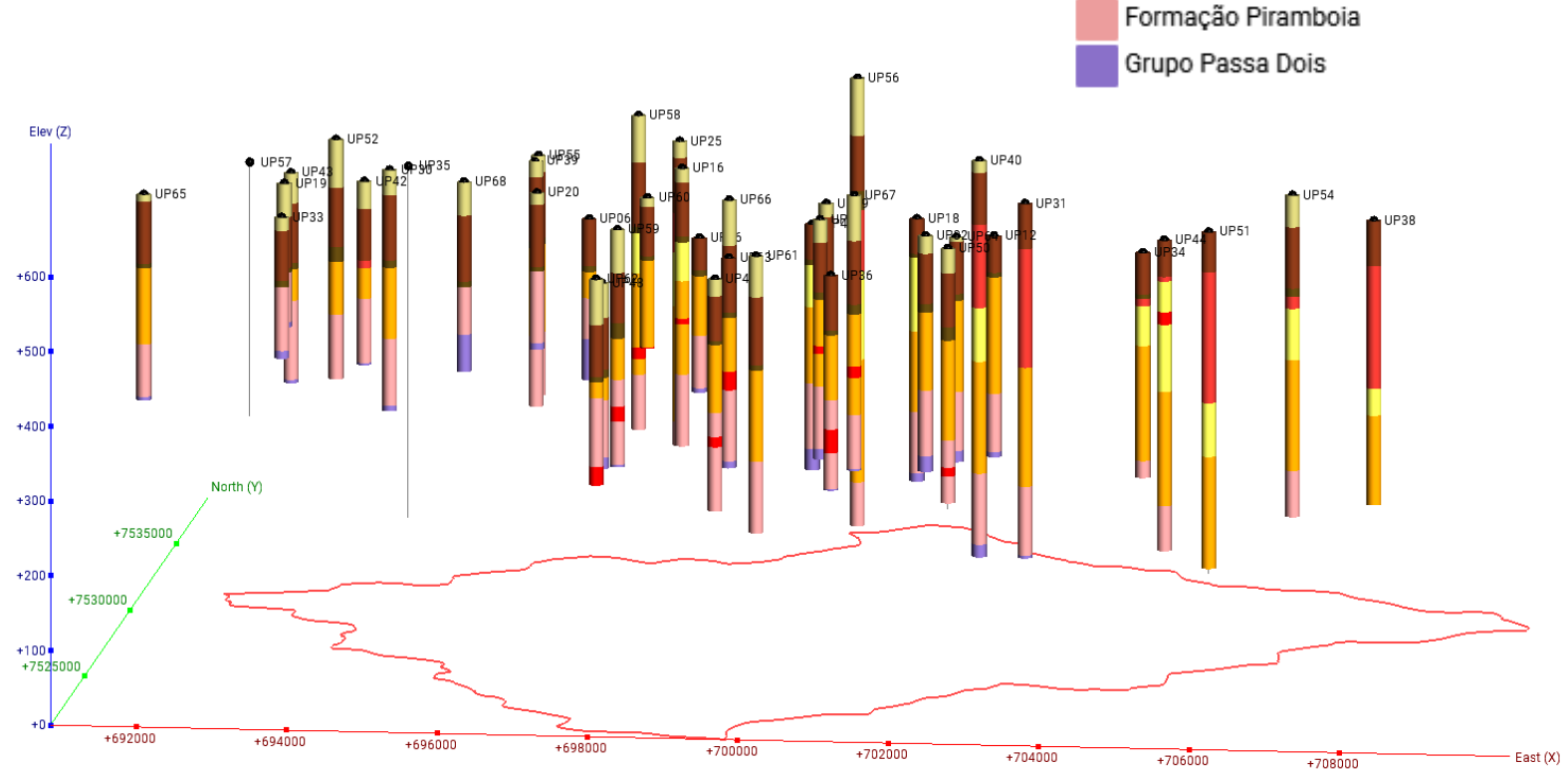
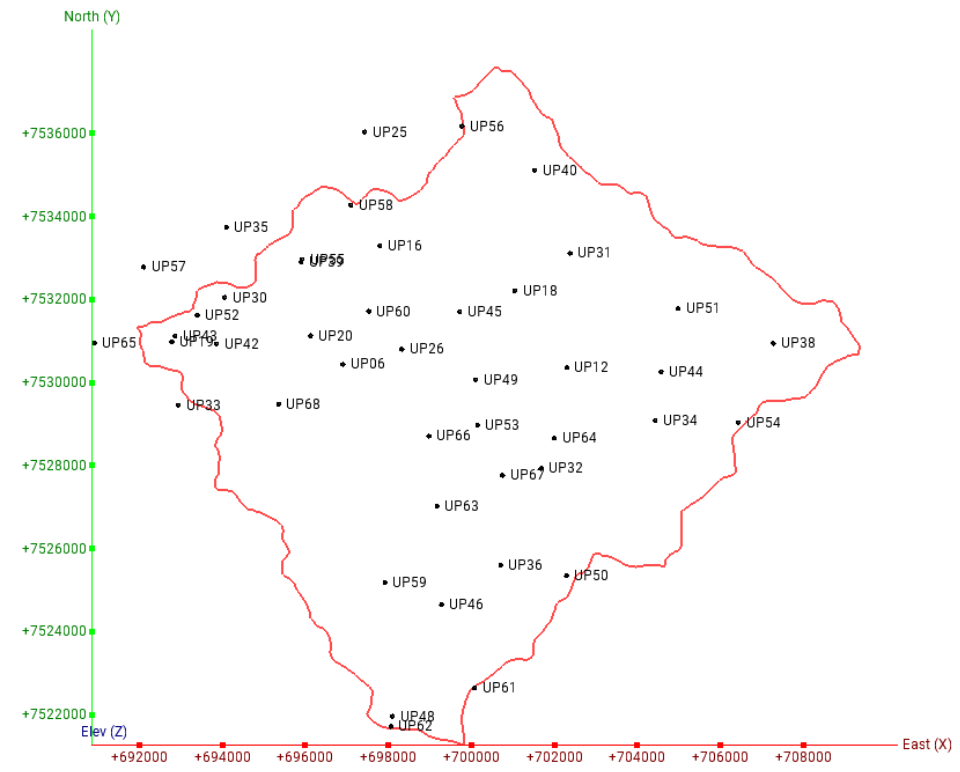
- 80% para abastecimento público
- Balanço hídrico regional é favorável, **impactos** podem ser locais (Gonçalves et al., 2020)

SISTEMA AQUÍFERO GUARANI - Brasil

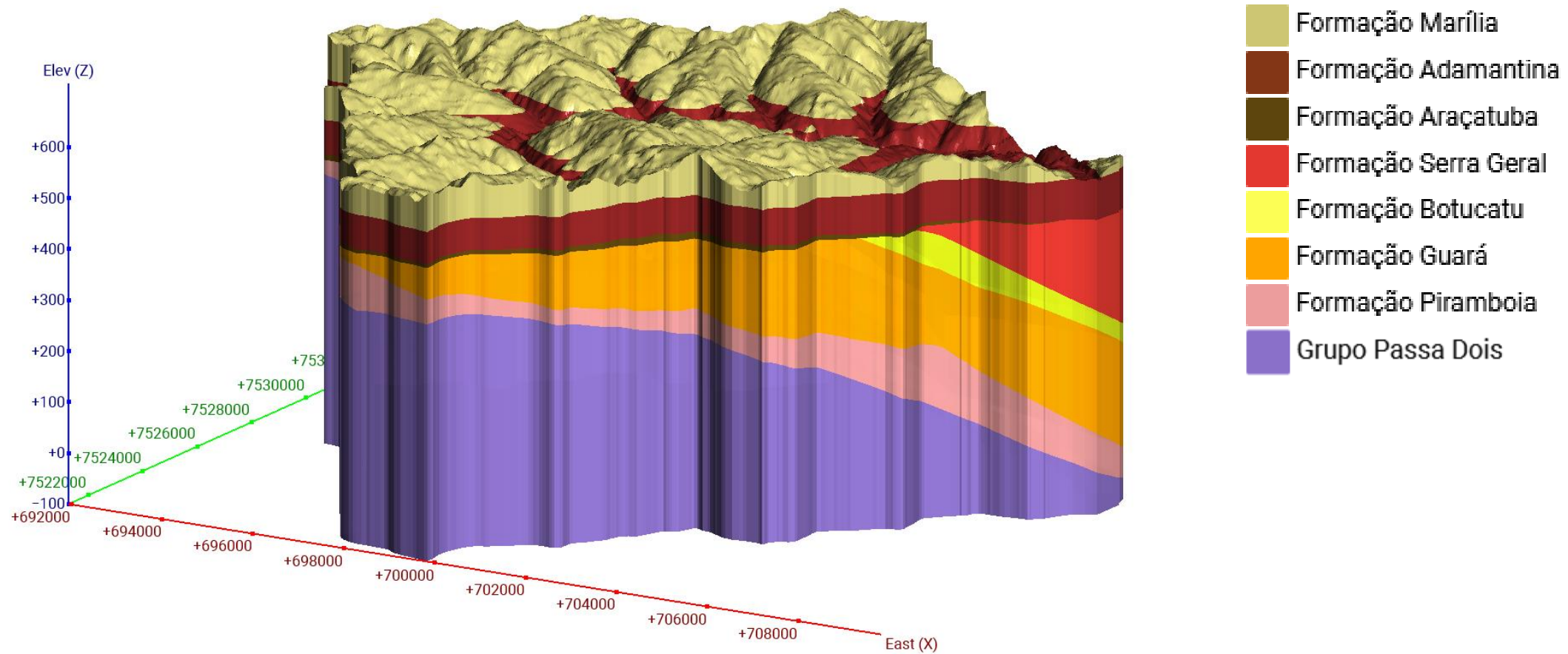
- No Brasil, a gestão das águas do SAG é **estadual: outorga e cobrança** (SP Águas)
- No Estado de São Paulo, a exploração é crescente, devido a:
 - alta demanda associada ao **aumento demográfico**
 - capacidade econômica de perfurar poços
 - boa **produtividade dos poços** na região (transmissividades de até 1.200 m³/d) (Hirata e Foster, 2020).
- Diversas cidades de porte médio de São Paulo são abastecidas total ou parcialmente pelo SAG, como **Ribeirão Preto, Bauru, São José do Rio Preto, São Carlos, Franca, Sertãozinho e Matão** – **todas estão crescendo!!**

SISTEMA AQUÍFERO GUARANI em Bauru

- Formação Marília
- Formação Adamantina
- Formação Araçatuba
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu
- Formação Guarú
- Formação Piramboia
- Grupo Passa Dois

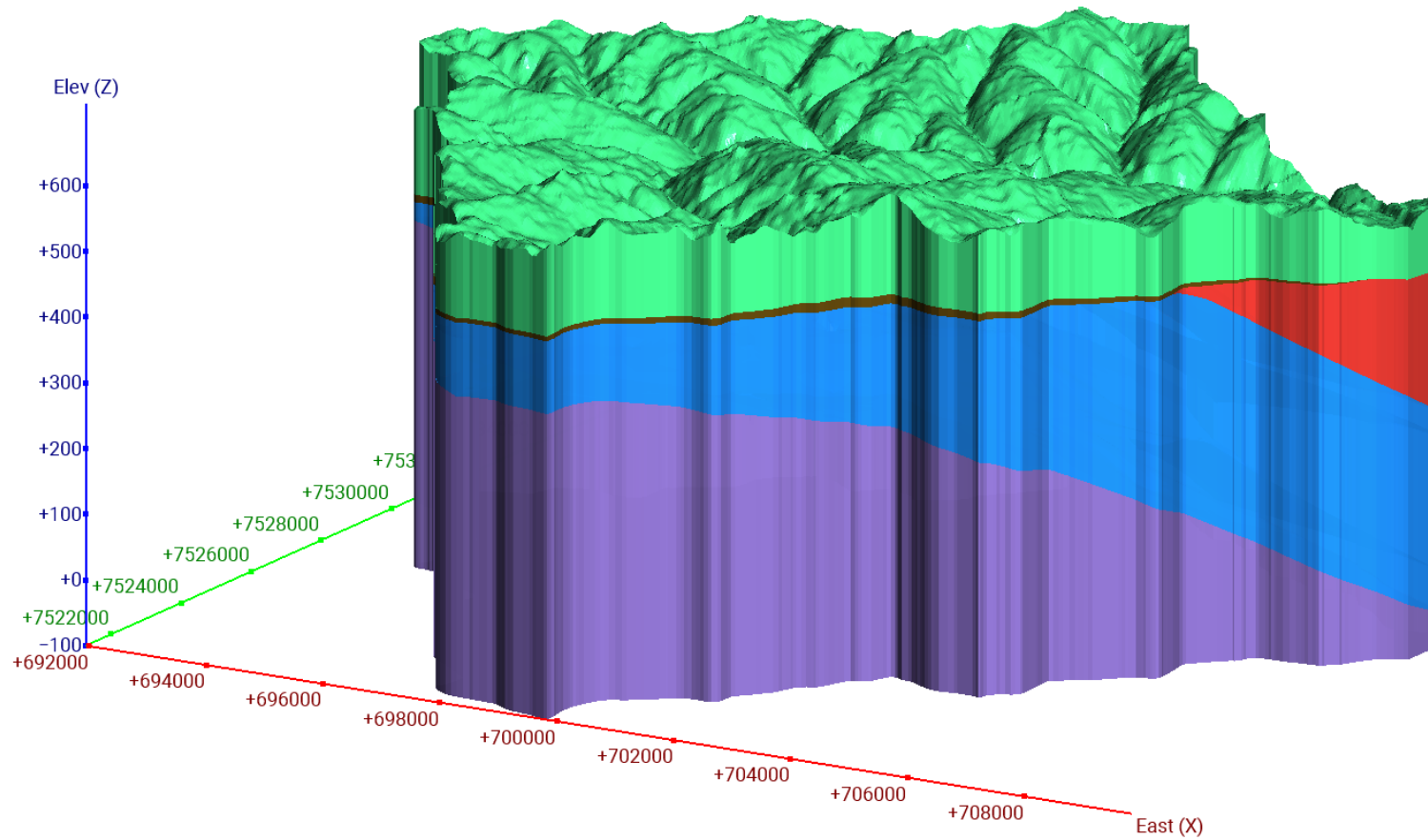


SISTEMA AQUÍFERO GUARANI em Bauru



Feito no Leapfrog Works 2024

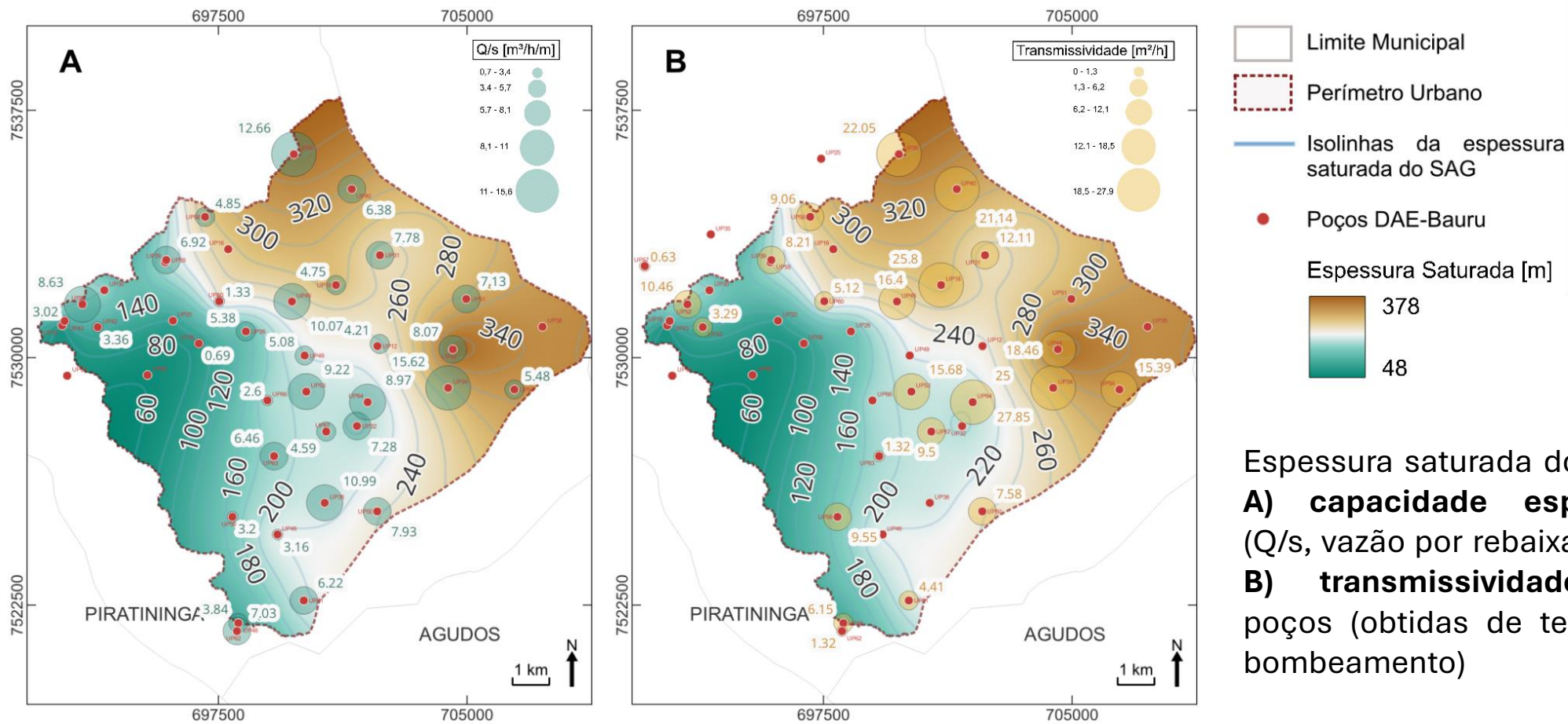
SISTEMA AQUÍFERO GUARANI em Bauru



- Sistema Aquífero Bauru (SAB)
- Aquitarde Araçatuba
- Aquitarde Serra Geral
- Sistema Aquífero Guarani (SAG)
- Aquitarde Passa Dois

Feito no Leapfrog Works 2024

SISTEMA AQUÍFERO GUARANI em Bauru

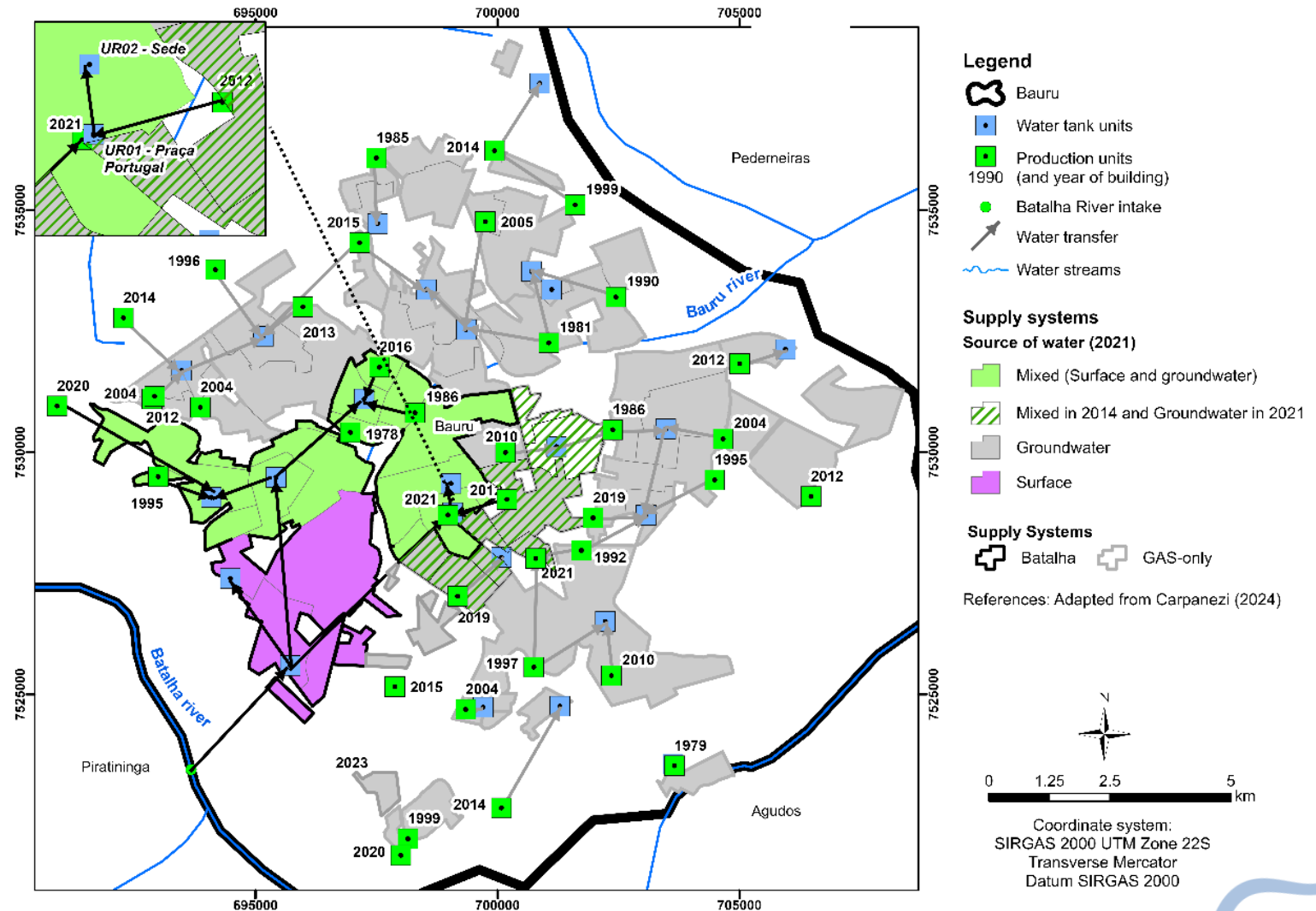


Espessura saturada do SAG e
A) capacidade específica (Q/s , vazão por rebaixamento)
B) transmissividade dos poços (obtidas de testes de bombeamento)

Maiores valores de T e Q/s → **maiores espessuras saturadas** → área confinada pelos basaltos → presença Formação Botucatu → mais eficientes hidráulicas (mais produtivas)

SAG E O ABASTECIMENTO PÚBLICO DE BAURU

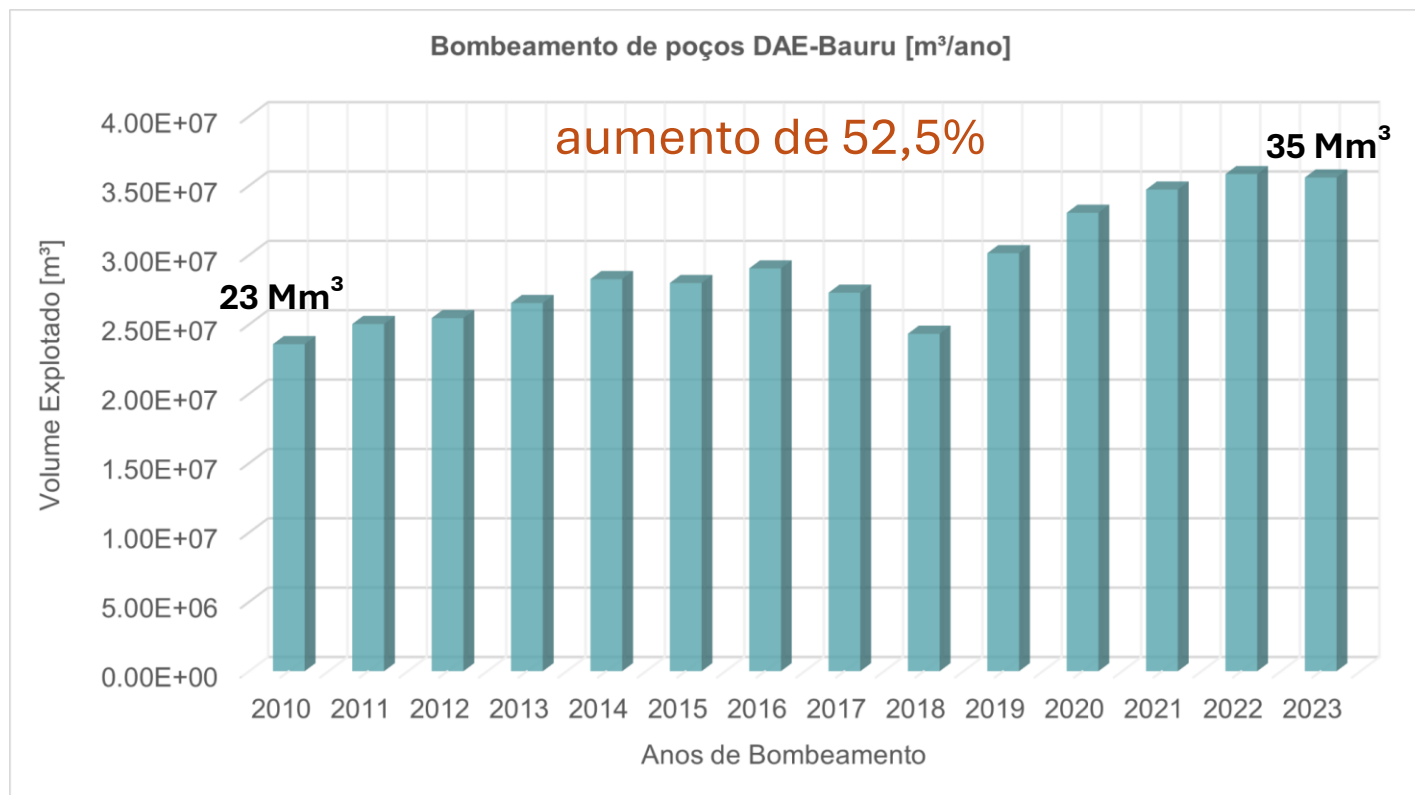
- 41 poços do DAE (~140 m³/h por poço)
 - Abastecimento público
- Aprox. 80 poços privados (~10 m³/h por poço)
 - Indústria
 - Comércio
 - Agroindústria
 - Condomínios residenciais
- Número crescente de poços e extração
- Associado à expansão da cidade e vulnerabilidade do Rio Batalha



Fonte: Barbati et al. (under review)

SAG E O ABASTECIMENTO PÚBLICO DE BAURU

Poços públicos ativos

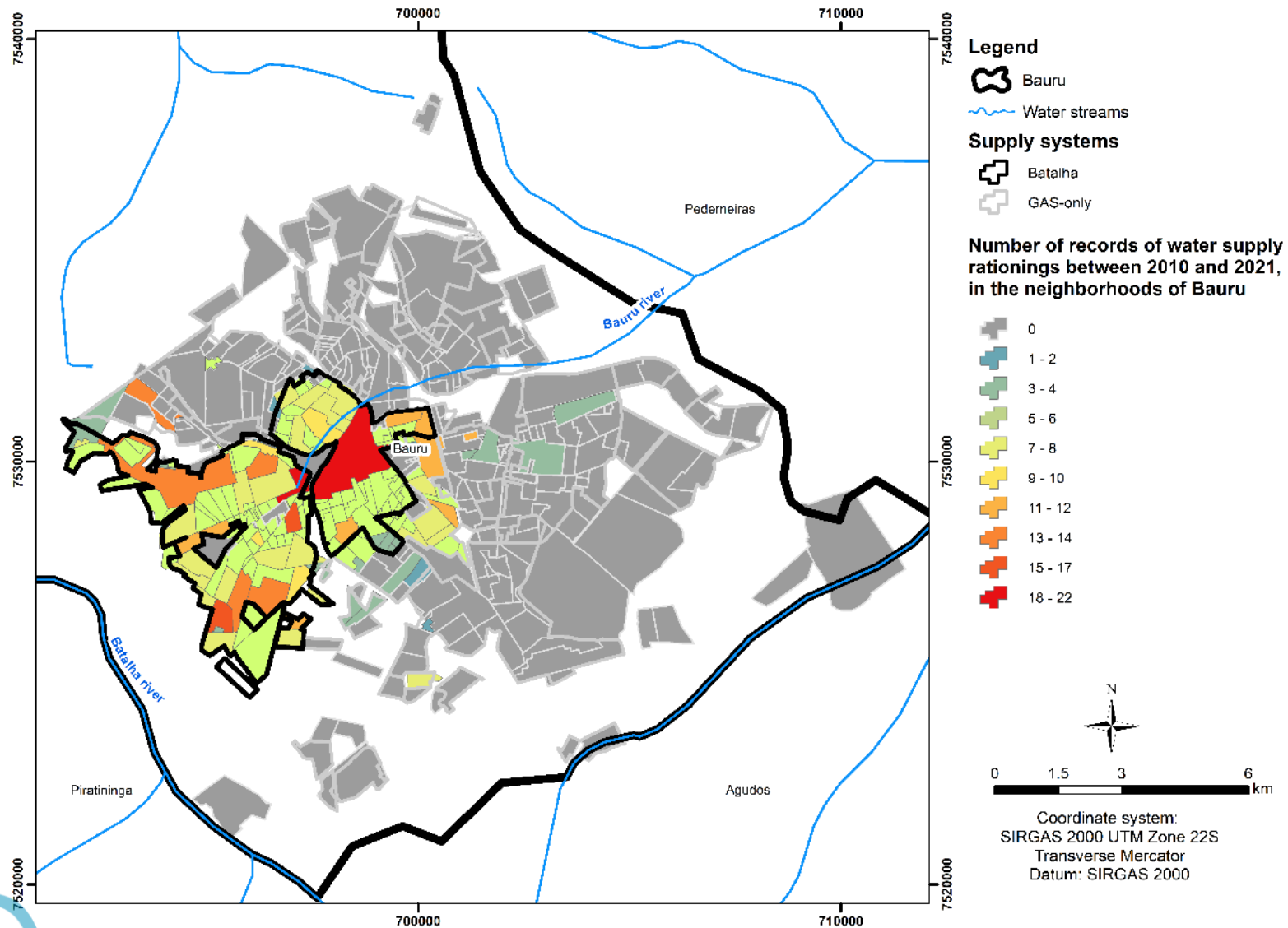


Volume explotado dos poços públicos ativos do SAG (medidos)

Poços privados ativos

- Extração de **2,0 a 2,4 Mm³/ano**
- Aumento de 21%

SAG E O ABASTECIMENTO PÚBLICO DE BAURU



SAG agrega resiliência ao sistema.

Interrupções curtas, associadas a questões operacionais.

- ex.: queima de bomba

IMPACTOS DO USO DO SAG EM BAURU

Aumento de custo de operação

Quanto mais profundo o nível, maior **demanda de energia das bombas**

Custos de energia: **mais de 60%** do custo de produção de água subterrânea do DAE!

Perda de performance

REBAIXAMENTOS: bombas passam a operar fora do ponto ótimo, gerando **perda de eficiência e vazão**

Pode **reduzir o tempo de vida útil** do conjunto motor-bomba

Necessidade de ajustes operacionais

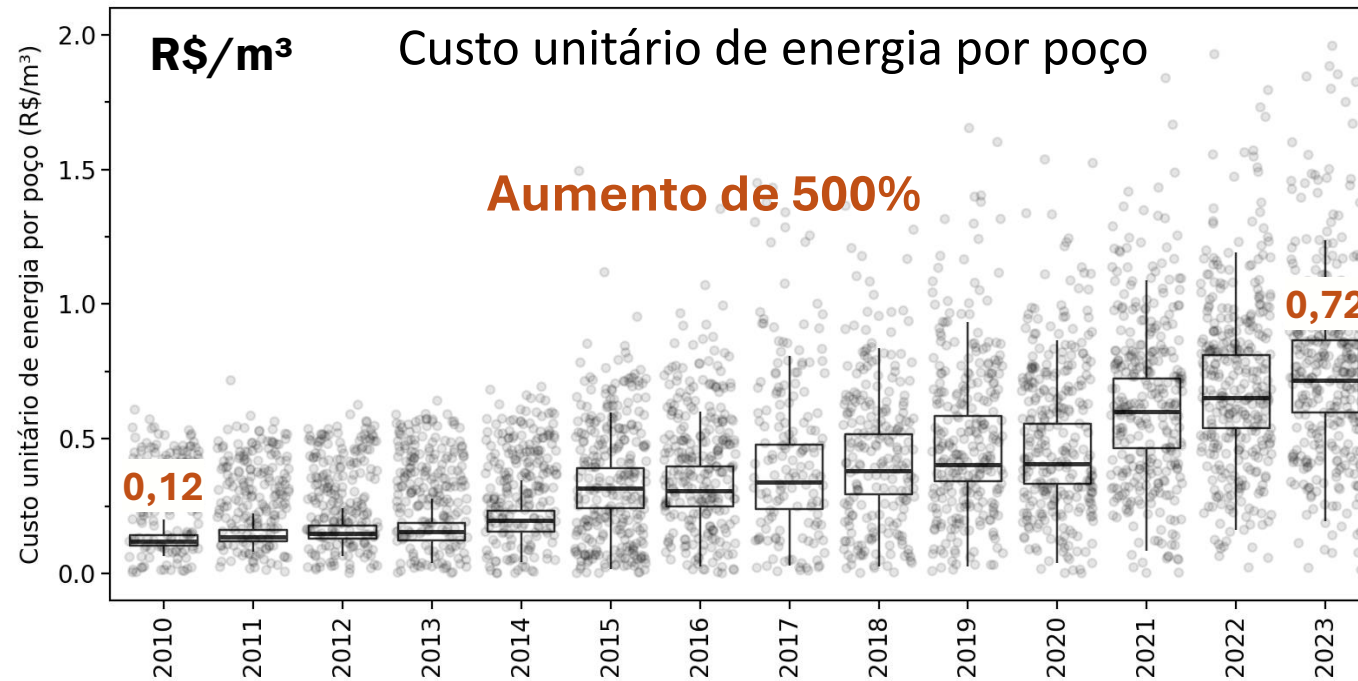
Aumento da profundidade de bombas e troca de bombas

Mais custos de **manutenção e intervenções técnicas**

Rörig et al. (2024)

IMPACTOS DO USO DO SAG EM BAURU

Em Bauru, custos de energia crescentes já são observados!



Fonte: Rörig et al. (no prelo)

mediana dos poços do DAE
(valores corrigidos pela inflação)

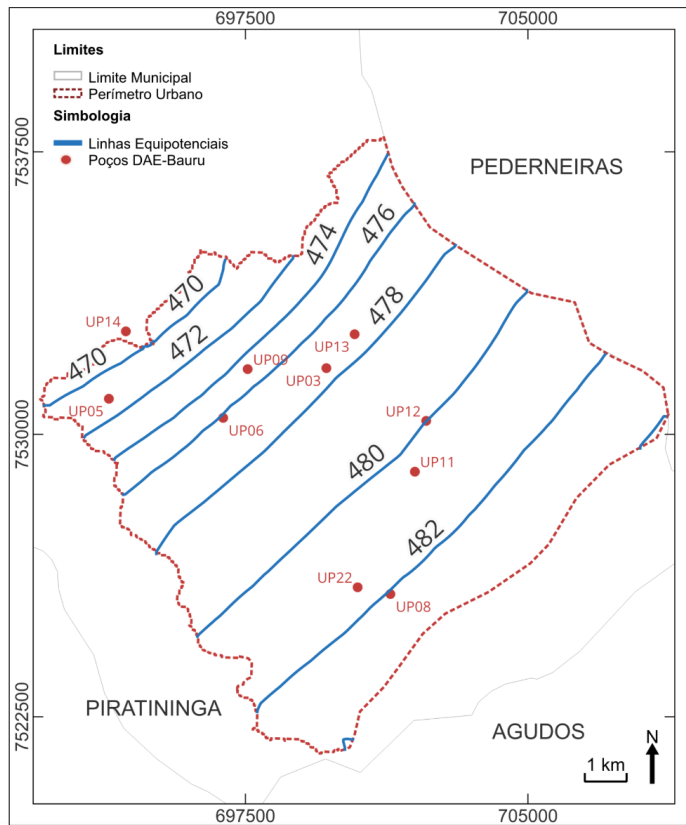
- Análise individual: 34 de 44 poços no período tiveram tendência de aumento de custos
- Aumento também associado ao incremento real das tarifas.

MODELAGEM DO SAG em Bauru

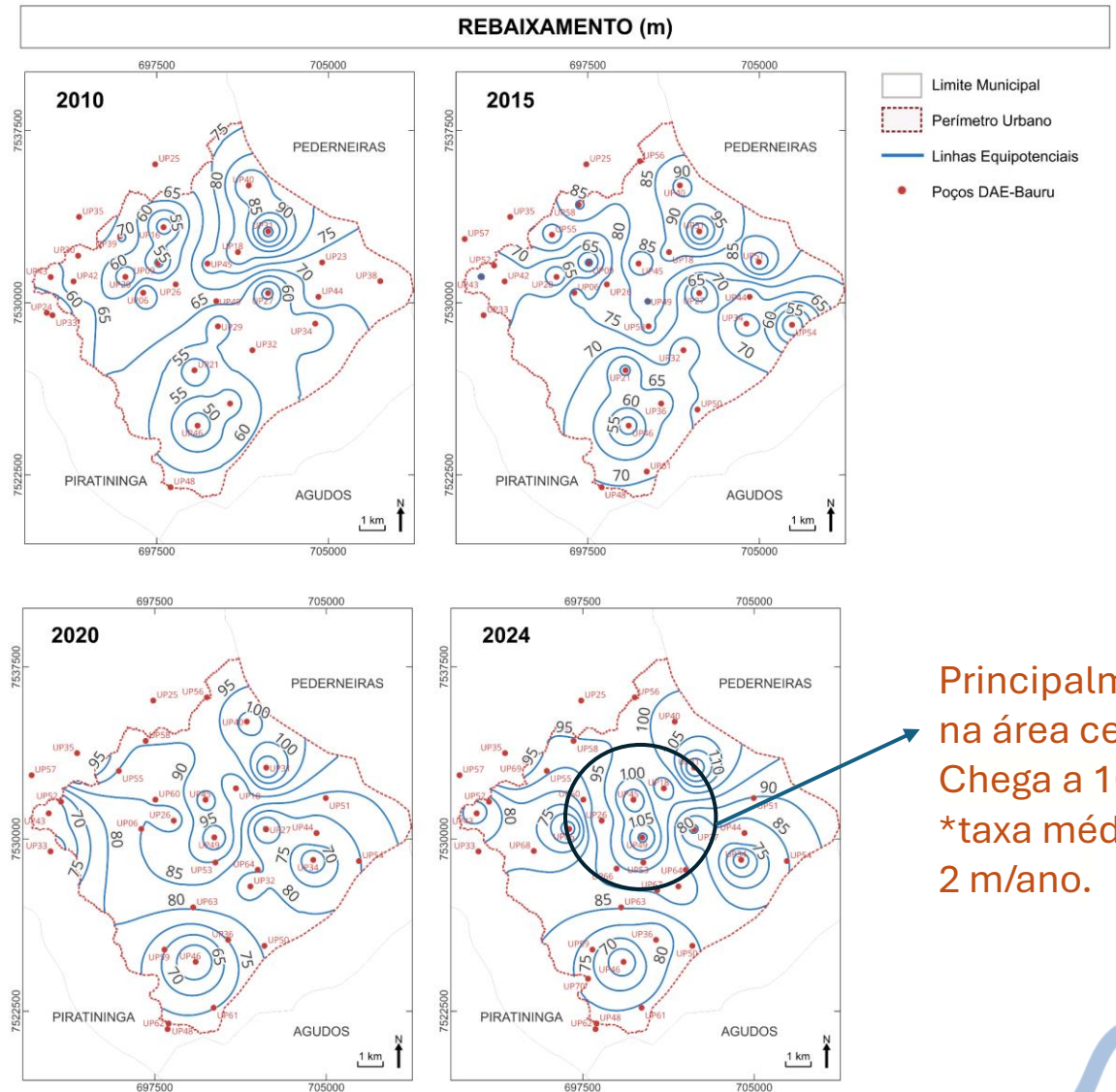
A modelagem de águas subterrâneas:

- ✓ Representa a dinâmica do fluxo de água subterrânea
- ✓ Avalia impactos da extração de água e da recarga
- ✓ Identifica áreas vulneráveis à contaminação
- ✓ Permite testar cenários de gestão e políticas públicas
- ✓ Auxilia na tomada de decisões

MODELAGEM DO SAG em Bauru

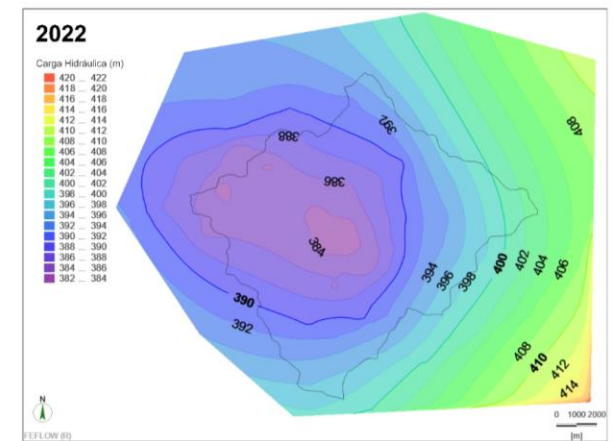
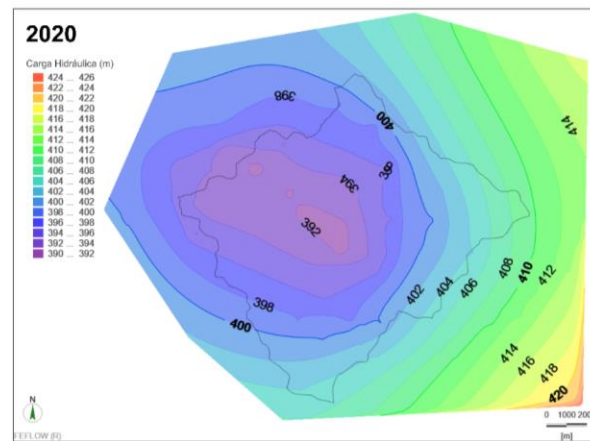
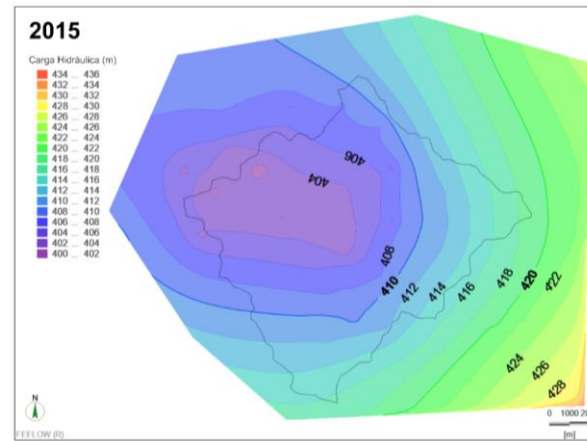
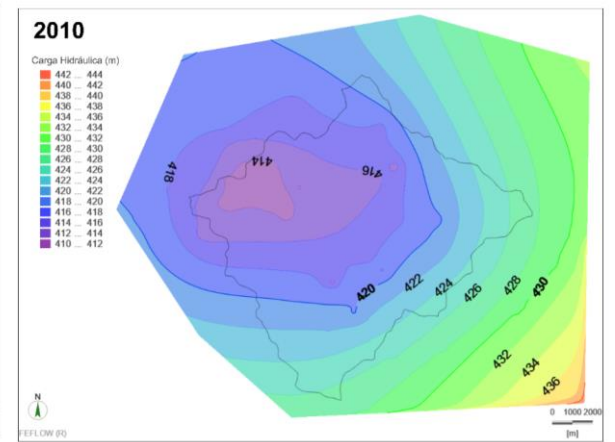
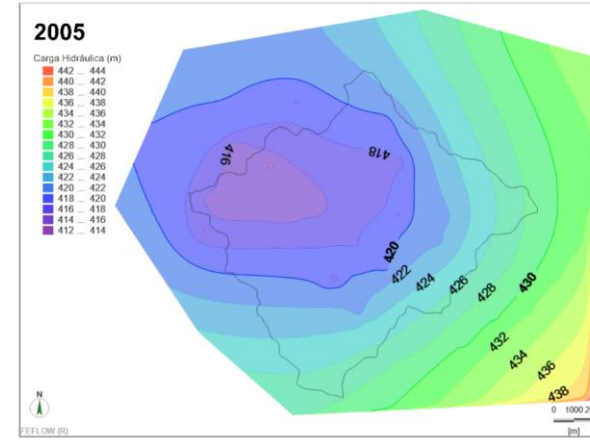
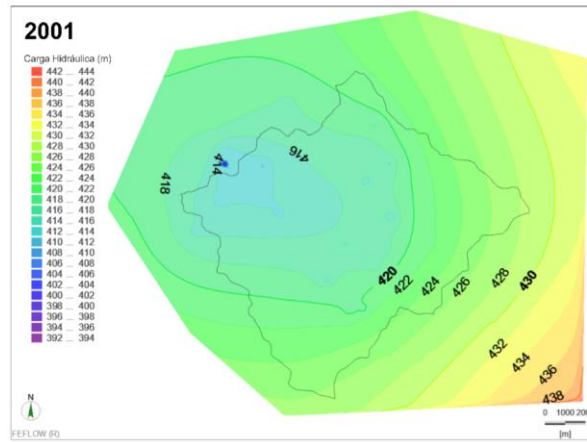
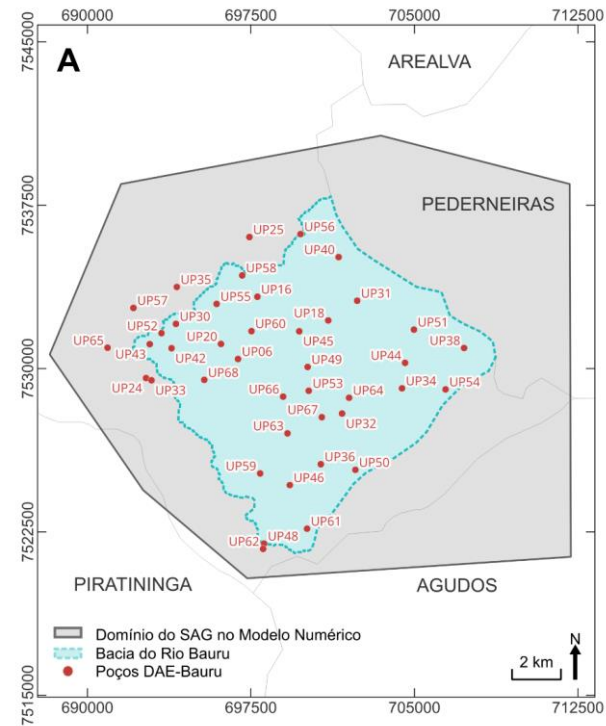


Escoamento “estacionário” do SAG –
 potenciometria teórica dos níveis estáticos da
 década de 1980.



Principalmente
 na área central.
 Chega a 105 m!
 *taxa média de
 2 m/ano.

MODELAGEM DO SAG em Bauru



Evolução da potentiometria nas simulações do SAG

Modelo de fluxo elaborado no FEFLOW 8.0

Fluxo lateral (head-dependent flux boundary); $K_v = 5K_h$; Regime transiente

MODELAGEM DO SAG em Bauru

Rebaixamento do SAG simulado sob condições de exploração futuras (2034)

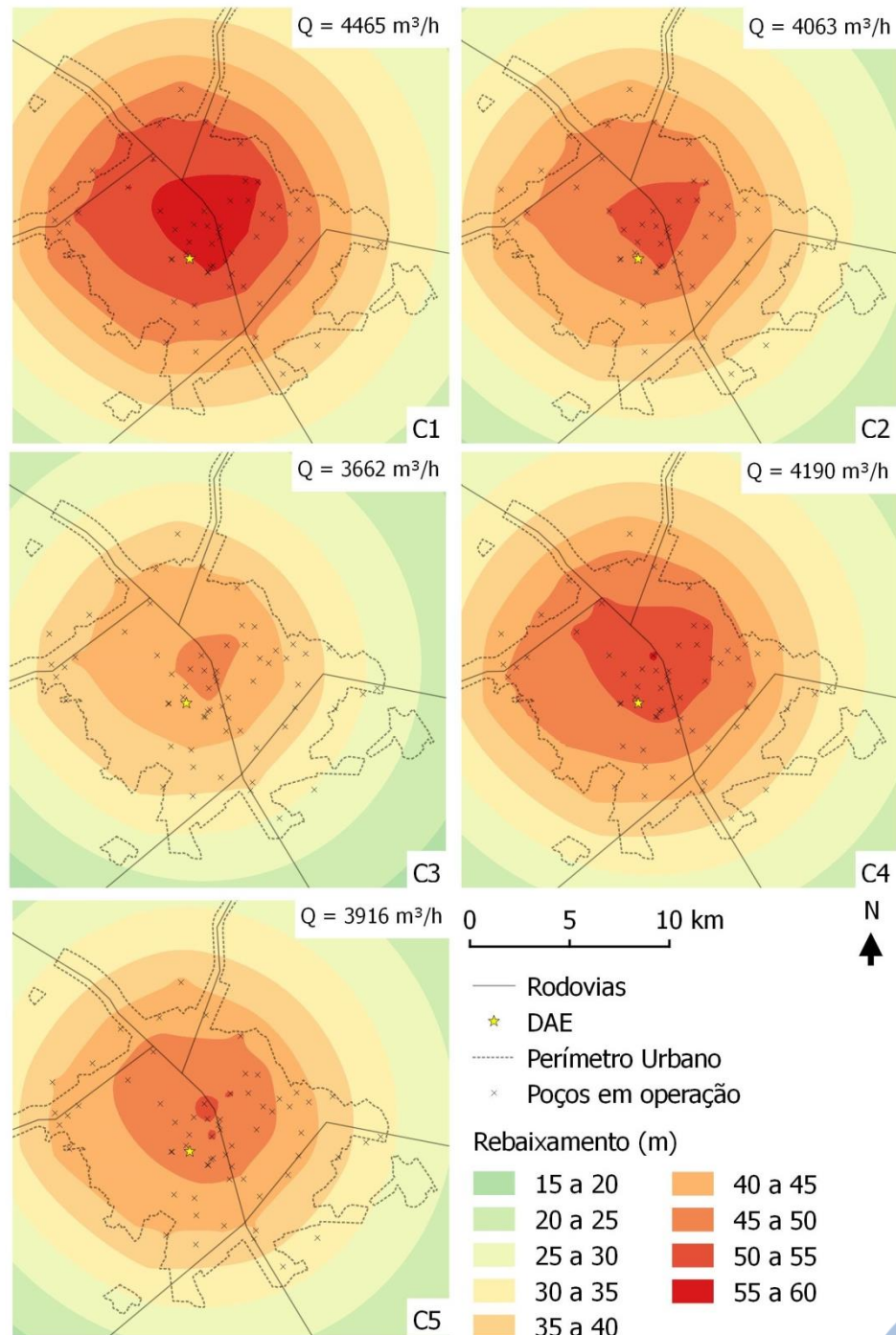
C1 Exploração dos poços prevista pelo DAE

C2 Redução da vazão em 10%

C3 Redução da vazão em 20%

C4 Redução da vazão em 10% na área crítica

C5 Redução da vazão em 20% na área crítica



O EXEMPLO DE RIBEIRÃO PRETO: SAG depletado

CBH-PARDO estabeleceu **zonas de restrição e controle do uso da água subterrânea** na área urbana e de expansão urbana de Ribeirão Preto

Zona 1 (Área urbana na **zona interna do cone de rebaixamento**):

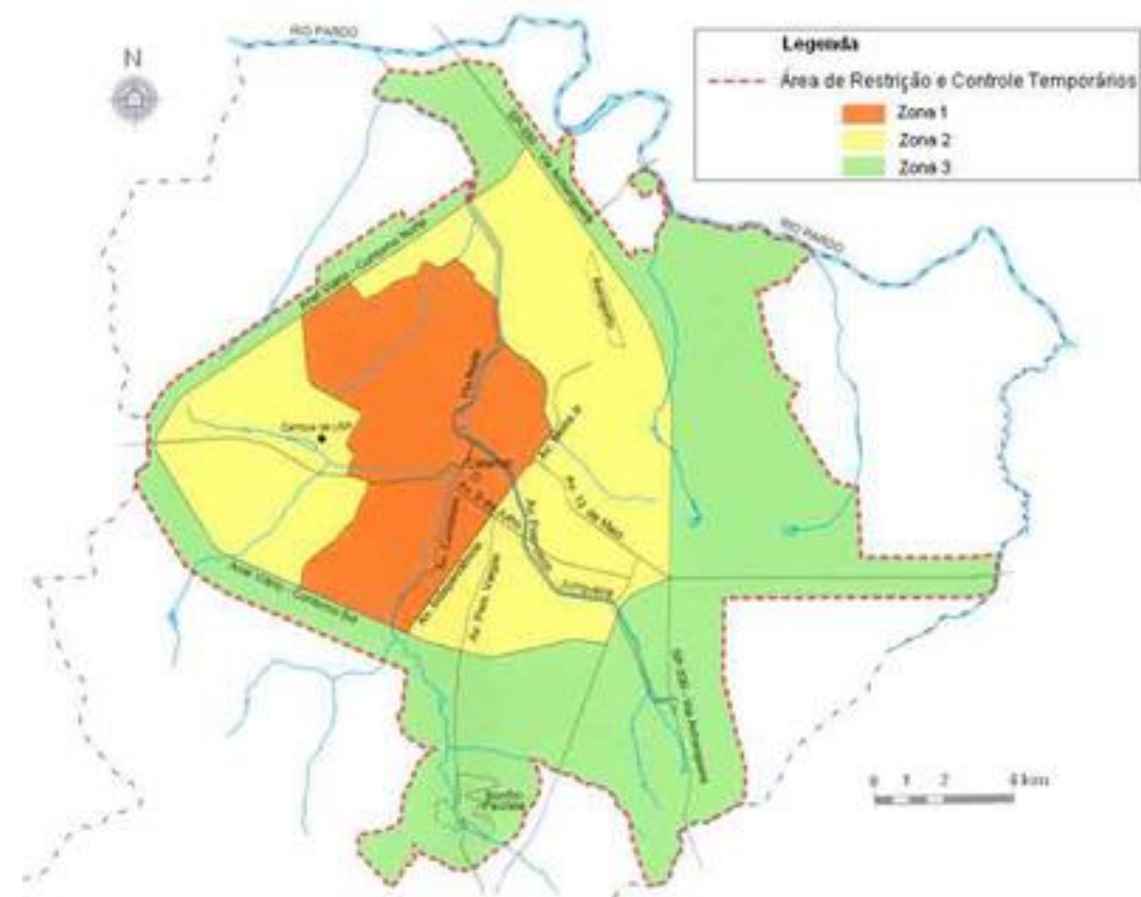
- apenas substituição de poços públicos

Zona 2 (Área urbana adensada):

- apenas substituição de privados
- novos públicos respeitando distância de 1000 metros

Zona 3 (Área de expansão urbana):

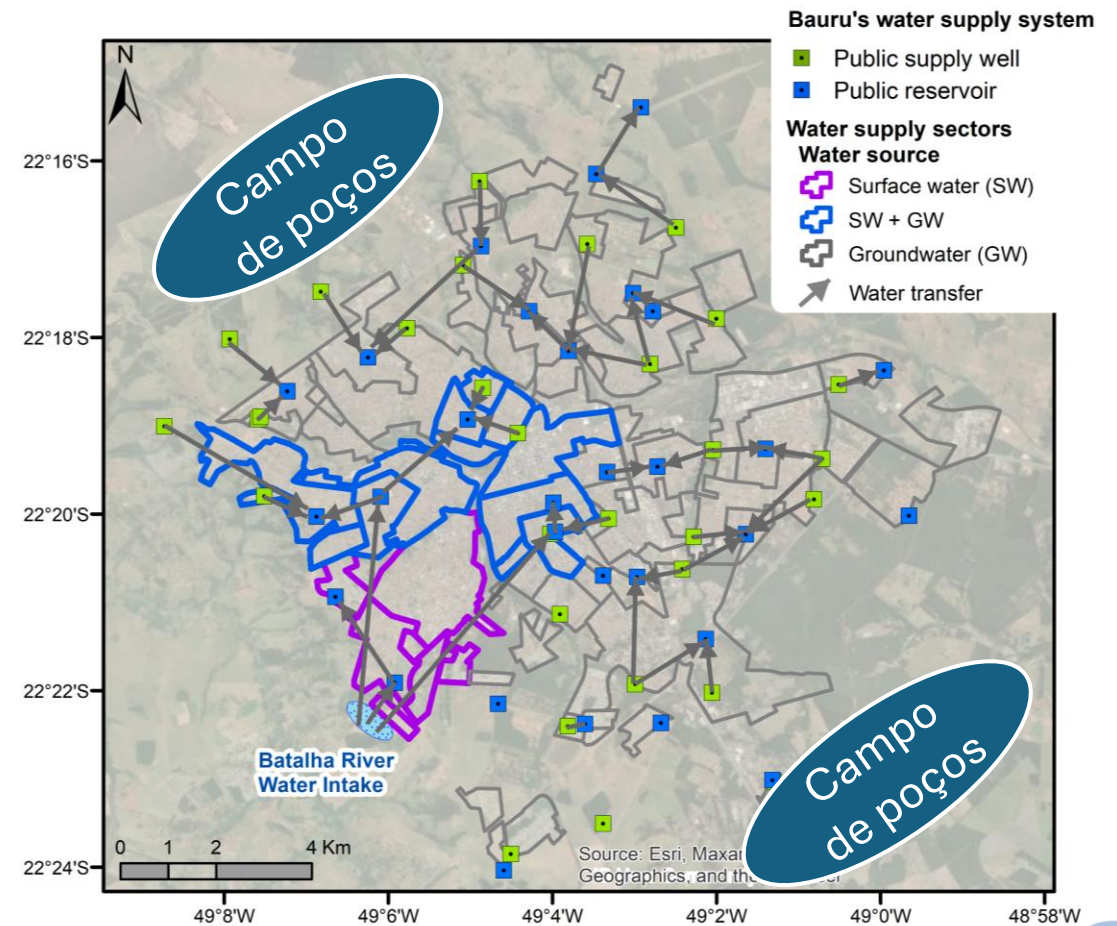
- novos poços respeitando distância de 1000 metros



Porém, rebaixamentos continuam ocorrendo!

SOLUÇÕES PARA AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

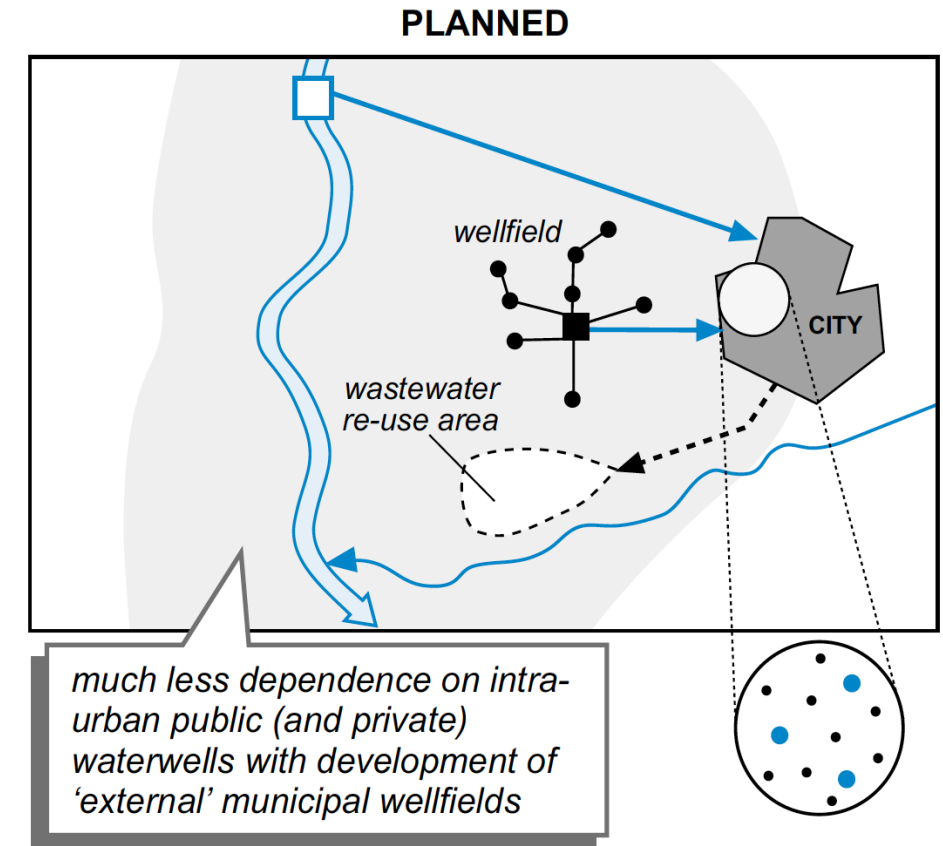
- Construção de um campo de poços fora da área urbana
- realocação de poços para melhorar sua eficiência (menores custos)
- Potencial hídrico pode ser avaliado por modelagem numérica



Adaptado de Barbati et al. (under review)

SOLUÇÕES PARA AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

- Criar um modelo integrado de gestão de recursos hídricos que permita a alocação de água aos diversos usos e suas prioridades
- Utilização de um Sistema de Suporte à Decisão
- ordenamento do território e do controle das atividades agrícolas
- **Reduzir demanda:** incentivos financeiros e política tarifária de água



SOLUÇÕES PARA AUMENTAR A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

- Recarregar o Aquífero Bauru
- Fitorremediação
- Tratamento de aquíferos contaminados com nitrato usando barreiras reativas
- Sistema de Filtragem de Margem (RBF) para poços próximos a rios aproveitando sua grande disponibilidade instantânea



Barreira de superfície para infiltração de água e aumento do fluxo de base do rio



SEMANA INTERNACIONAL PAULISTA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
SÃO PAULO INTERNATIONAL GROUNDWATER WEEK

Vinicius Boico
viniciuscti@gmail.com



19/03/2025