

Nº 180062

### **Sistema de suporte à decisão como soluções integrada para crises hídricas em cidades resilientes**

**Carlos Tadeu de Carvalho Gamba**

*Palestra apresentada no Workshop fr  
Águas Subterrâneas dos Comitês  
PCJ, 8., 2025, Rio Claro. 29 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.  
**PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
S/A - IPT  
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou  
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970  
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901  
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

[www.ipt.br](http://www.ipt.br)



# VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:

**CT-AS**  
Câmara Técnica de  
Águas Subterrâneas



Apoio:

**PCJ**  
Agência das Bacias PCJ

**CT-Indústria**  
Câmara Técnica de Uso e  
Conservação de Água na Indústria

**CT-MH**  
Câmara Técnica de  
Monitoramento Hidrológico

**AgSolve**  
**GeoAcqua**

**edisonda**  
EDISONDA SISTEMAS

**HIDRO**  
LICENÇAS

**UNIPER**  
POÇO TESOURO

**GENERAL WATER**  
CUIDANDO DA SUA ÁGUA  
com excelência em cada gota

**Sigesp**

**Hidrostudio**  
engenheiros



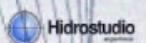
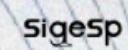
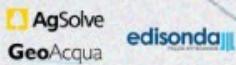
## VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:



Apoio:



# Sistema de Suporte à Decisão como solução integrada para crises hídricas em cidades resilientes

Carlos Gamba

UNESP/Rio Claro – Novembro de 2025

# Apresentação

O SACRE é um dos maiores projetos de pesquisa em recursos hídricos superficiais e subterrâneos atualmente em curso no Brasil.



O Projeto objetiva reduzir a vulnerabilidade de cidades e do campo às crises de água, intensificadas pelas mudanças climáticas globais.

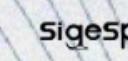
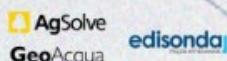
# Objetivos do Projeto SACRE

- Aumentar a resiliência às mudanças climáticas globais, buscando soluções tecnológicas, naturais e de manejo;
- Entender como as cidades modificam a geoquímica e a hidráulica de aquíferos;
- Avaliar como as mudanças climáticas globais afetam as águas subterrâneas;
- Estabelecer as melhores práticas e soluções para proteção de aquíferos, além de propor alternativas de gestão.

Realização:



Apoio:



# Parceiros do SACRE

Lideranças institucionais na gestão dos recursos hídricos subterrâneos do país:

- Universidades nacionais e internacionais;
- Agências de governo;
- Apoio formal do governo do Estado de São Paulo e do Canadá.





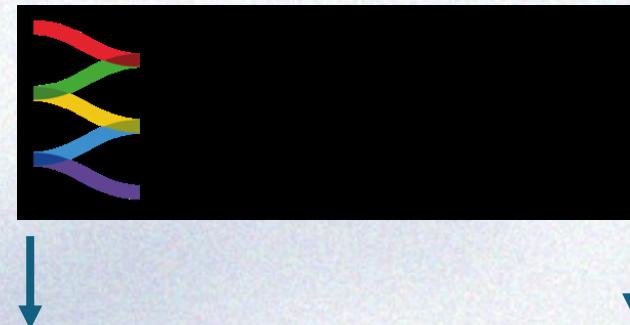
# A ideia central do projeto SACRE

Desenvolvimento  
tecnológico e  
científico

Políticas  
Públicas

Formação de  
recursos humanos  
de alto nível

Comunicação  
social



**A ideia é desenvolver pesquisas e tecnologias originais, que subsidiem e gerem políticas públicas, por meio de estudos-piloto, formação de recursos humanos de alto nível (mestrado, doutorado e pós-doutorado) e comunicação social.**



# VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

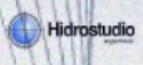
Realização:



Apóio:



Sigesp



## SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

CARACTERIZAÇÃO  
E AVALIAÇÃO DE  
IMPACTO

Compreender a quantidade e  
qualidade da água nos aquíferos  
e rios e impactos dos problemas  
na sociedade

SOLUÇÕES

Soluções: Aumento da  
disponibilidade de água, fontes  
alternativas, uso conjuntivo e  
remediação de aquíferos

INTEGRAÇÃO

Modelagem de águas superficiais  
e subterrâneas

## SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

+ SOLUÇÕES DE GESTÃO

Custos e benefícios de  
soluções alternativas

Avaliação da  
efetividade das  
soluções propostas

## SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO

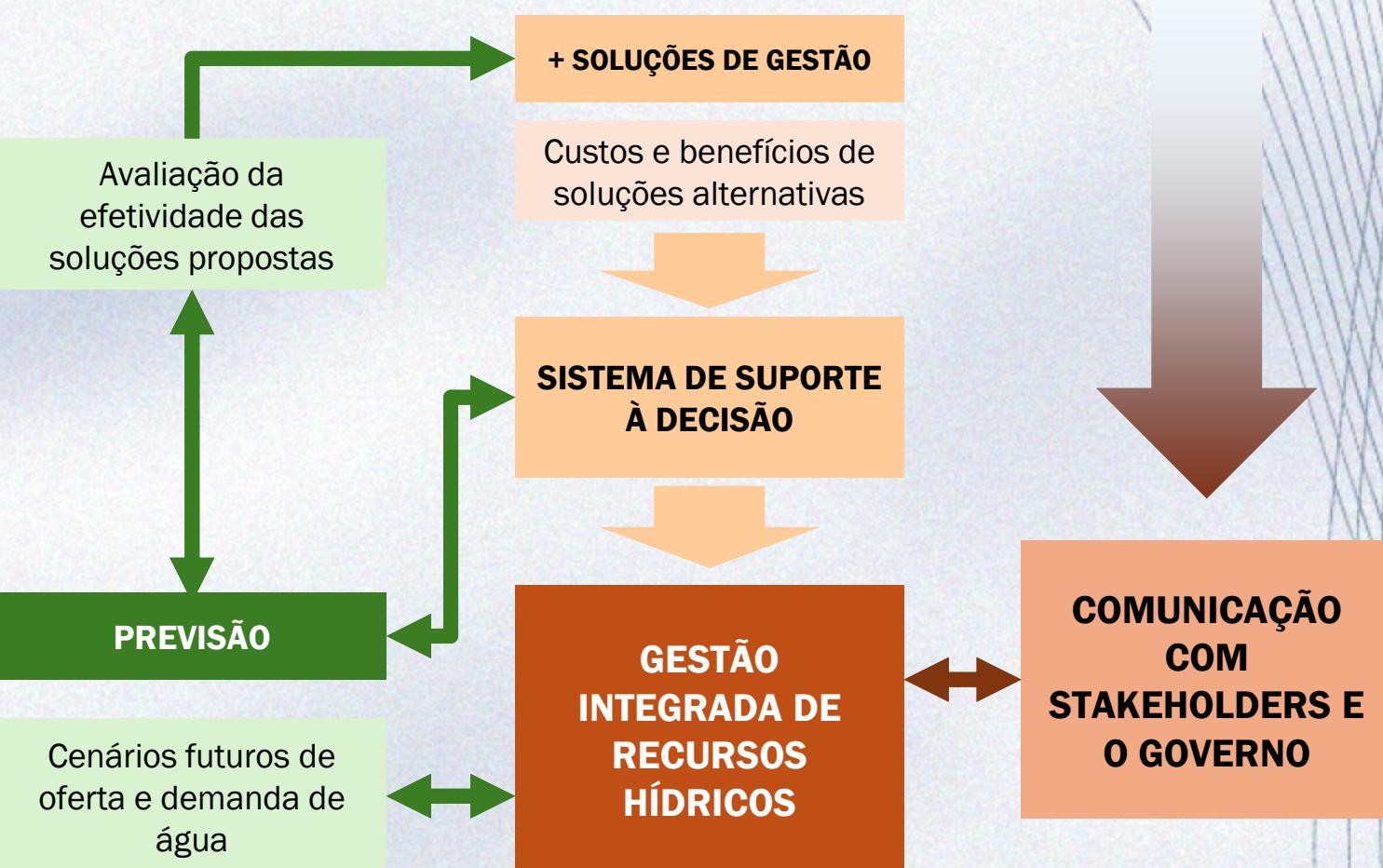
## GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS

### PREVISÃO

Cenários futuros de  
oferta e demanda de  
água

## INFORMAÇÃO

## COMUNICAÇÃO COM STAKEHOLDERS E O GOVERNO

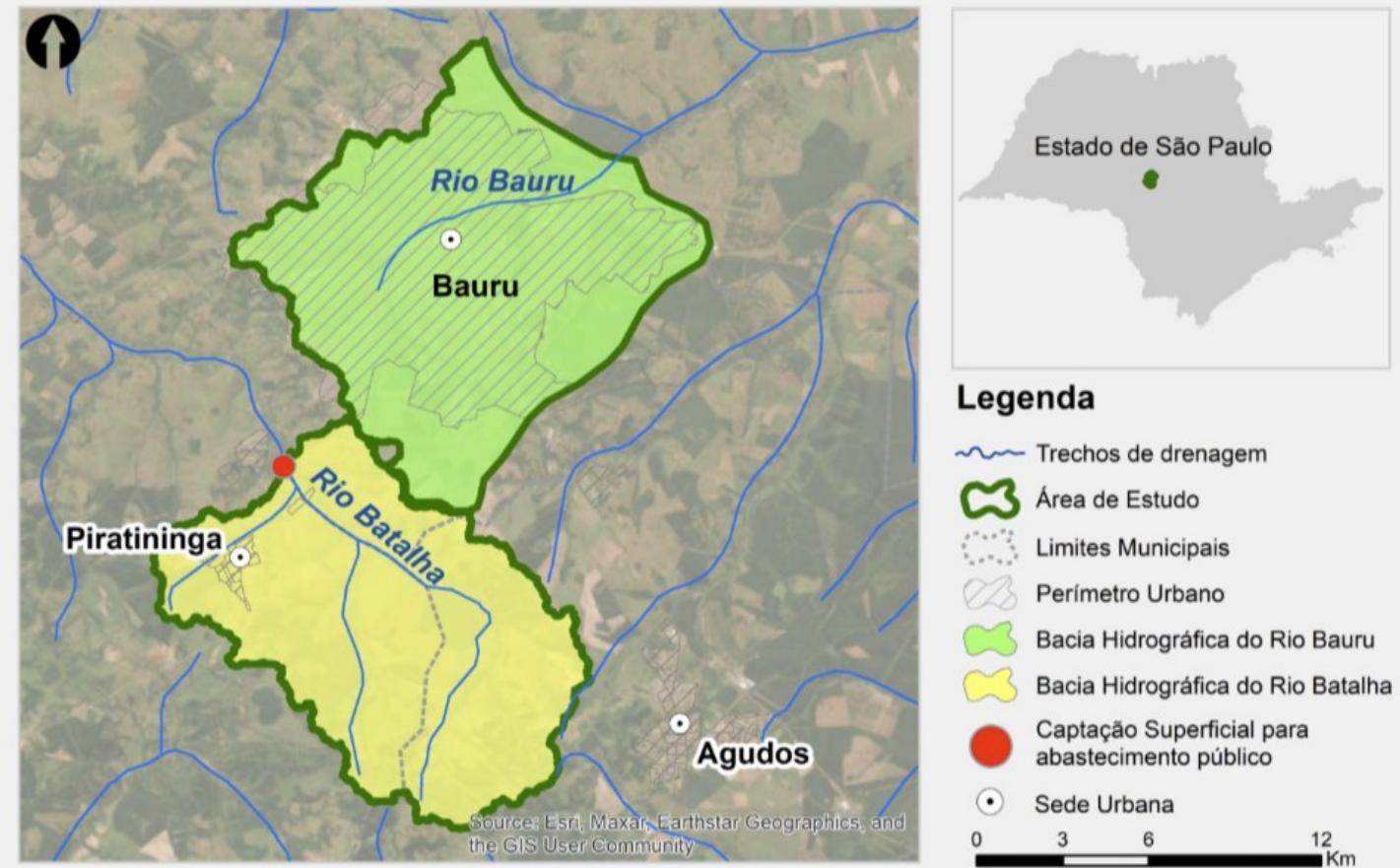


# Produtos do Projeto SACRE

- **Estudos piloto:** tecnologias de aumento de disponibilidade hídrica
  - Recarga de aquíferos
  - Sistema de filtração em margem de rio
  - Remediação de aquíferos contaminados
- Desenvolvimento de modelos hidrológicos
  - Bacia do Batalha
  - Sistemas Aquíferos Guarani e Bauru
- Avaliação do potencial das tecnologias na escala de município
  - Modelos, viabilidade e custos

# Área de estudo do SACRE

- Três municípios:**  
Bauru (área urbana e rural),  
Piratininga (área urbana e  
rural) e Agudos (área rural)
- Duas UGHRIIs:**
  - ✓ 13 - Tietê-Jacaré (área  
urbana de Bauru: Rio Bauru)
  - ✓ 16 - Tietê-Batalha (parte alta  
do Rio Batalha, captação  
superficial de Bauru)



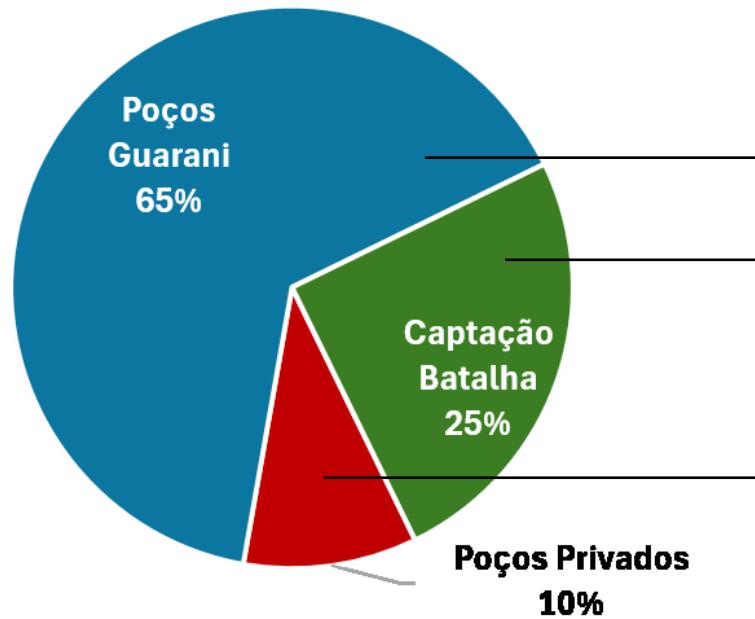
# A cidade de Bauru

- 390 mil habitantes
- Um importante centro econômico regional
- Vulnerável à intensificação dos problemas de mudanças climáticas que prolongam a seca





# Abastecimento de água em Bauru



## Principais usos:

- Residencial (86%)
- Comercial (9%)
- Indústria e demais usos (5%)

**Poços Guarani ~ 1200 L/s**

- + 40 poços (2010-2023)
- Produção **aumentou** 50%

**Captação no Batalha: 350-400 L/s**

- Pequena lagoa de regularização de vazão
- Produção **reduziu** ~20% (2010-2023)

**Poços privados: 100-115 L/s**

- + 570 poços mapeados
- Produção **aumentou** ~50% (2010-2023)

# Cenário atual na cidade de Bauru

## ESTIAGEM

### Afeta o Rio Batalha:

- bacia pequena ( $125 \text{ km}^2$ )
- Pouca capacidade de reservação
- Redução do bombeamento no período seco

## INFRAESTRUTURA

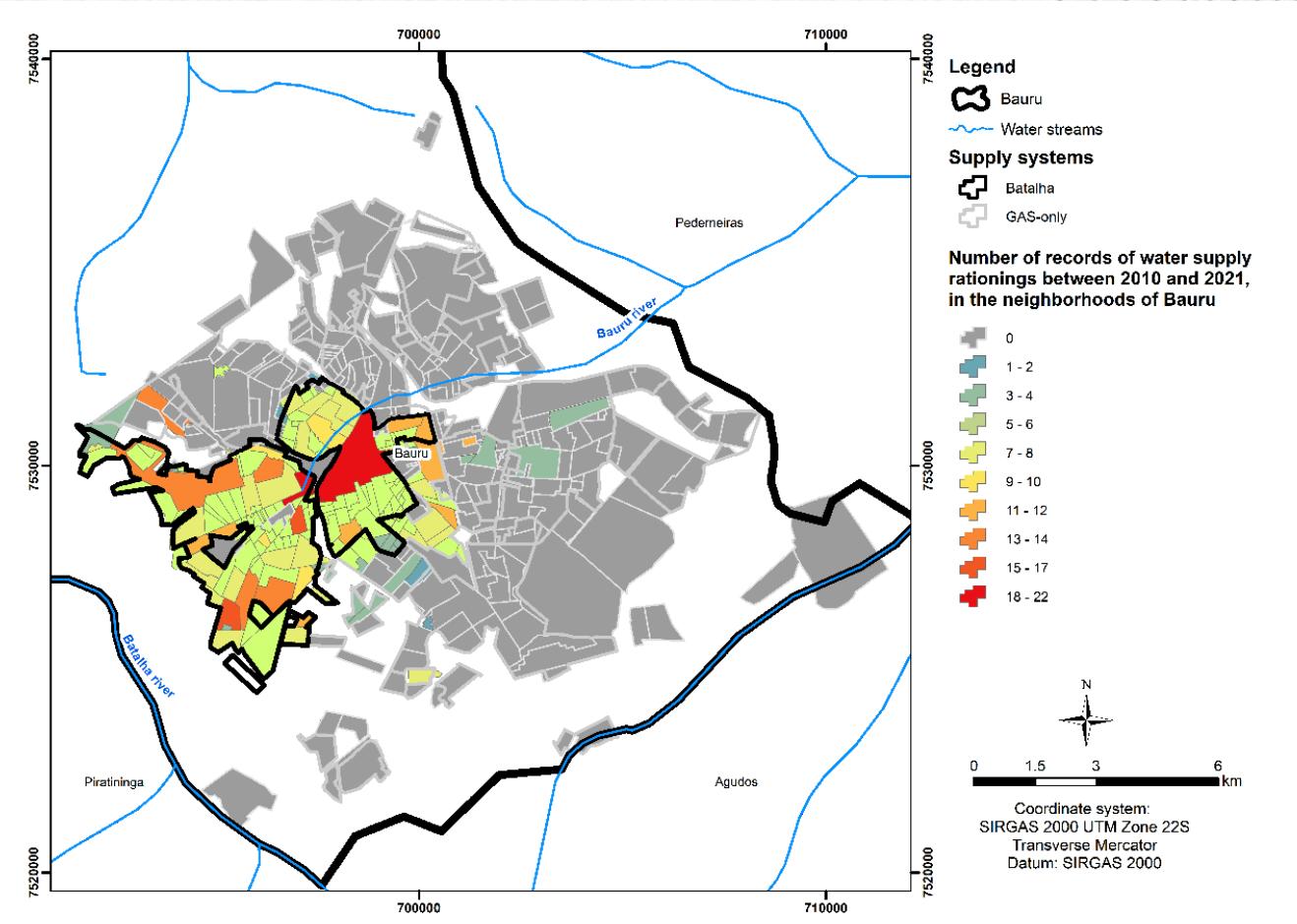
- Alto índice de perdas ( $>35\%$ )
- Dificuldade de atender a região do Batalha com águas subterrâneas

## GESTÃO

- **Consumo de água:**  $\uparrow$  na bacia do Alto Rio Batalha
- **Uso e ocupação do solo:**  $\uparrow$  silvicultura de eucaliptos
- **Alocação de água** aos usos prioritários
- **Lacuna de informação** sobre captações na bacia

# Onde/como ocorre a crise?

- A crise hídrica ocorre na região do Batalha (redução de produção a partir da captação superficial, associada à estiagem)
- O Departamento de Água e Esgoto (DAE) responde à redução de produção com rodízios no abastecimento
- Nas regiões atendidas somente por poços no SAG, não há crise – mas pode haver um déficit generalizado no futuro



# Questões relevantes identificadas

## Quantidade de água

- Redução de vazões na captação no Rio Batalha em estiagens;
- Alto nível de perdas de água no abastecimento de Bauru;
- Regiões em Bauru afetadas por falhas de abastecimento (rodízio e solicitações de caminhão-pipa);
- Aumento das retiradas no Sistema Aquífero Guarani (água não-renováveis, recarga leva mais de 30 mil anos)

## Qualidade de água

- Contaminação do Sistema Aquífero Bauru por **nitrato**, metais pesados, hidrocarbonetos e solventes clorados, devido a vazamentos na rede de esgoto e outras fontes poluidoras;
- Lançamento de esgotos domésticos in natura em rios na área urbana de Bauru;
- Assoreamento e eutrofização na parte alta do Rio Batalha;

## Gerenciamento e demais questões

- Irregularidade na perfuração de poços particulares: boa parte sem outorga, embora haja cadastro do DAE;
- Construção de condomínios em loteamentos na região da APA do Rio Batalha.

# Soluções passíveis de implementação

## Quantidade de água

- Modernização da ETA Batalha e do sistema de tratamento dos resíduos gerados na ETA (maior capacidade de tratamento);
- Nova captação no Rio Batalha (~22 km a jusante, maior vazão captada);
- Medidas de redução de perdas (reais e aparentes), com setorização de redes de abastecimento;
- Perfuração de novos poços de captação.

## Qualidade de água

- Coleta e tratamento de esgotos sanitários;
- Remediação de áreas contaminadas (aterro municipal, por exemplo);
- Práticas de conservação de solo e água na parte alta da bacia do Rio Batalha;
- Restauração florestal de nascentes, matas ciliares e áreas degradadas;
- Melhorias na disposição de resíduos sólidos urbanos;

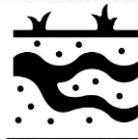
## Gerenciamento e demais questões

- Fiscalização, cadastramento e regularização de usuários de poços particulares;
- Aumento do monitoramento de qualidade e quantidade de água;
- Implementação de sistema de telemetria nos poços e reservatórios pelo DAE em Bauru;
- Capacitação e Educação Ambiental.



# Ações e soluções do SACRE

Avaliar e desenvolver ações para melhoria da quantidade e qualidade de água



## Bacia do Rio Batalha

- Sistema de barragens (recarga artificial de aquíferos)\*, \*\*
- Programas de PSA
- Ampliação e alteamento de reservatórios na regularização do rio\*\*



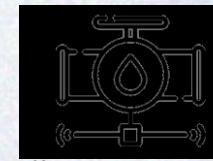
## Sistema Aquífero Guarani

- Manutenção dos poços atuais\*
- Aumento de poços na área urbana\*
- Campos de poços na área rural\*
- Recarga Gerenciada\*



## Bacia do Rio Bauru

- Filtração em margem como pré-tratamento para abastecimento (RBF)
- Fitorremediação para aumentar recarga\*
- Uso integrado dos poços privados no Sistema Aquífero Bauru (autoabastecimento) e redução da demanda do sistema de abastecimento público



## Gestão da demanda

- Controle e redução de perdas

\* Estudo piloto (campo)

\*\* Soluções avaliadas em modelos hidrológicos



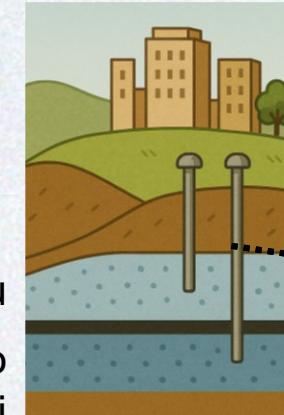
# Modelagens em desenvolvimento no SACRE

- Modelos de fluxo em desenvolvimento (SACRE):
  - Bacia do Rio Batalha (fluxo superficial e subterrâneo + alocação)
  - Sistema Aquífero Guarani (fluxo)
  - Sistema Aquífero Guarani (fluxo e transporte de nitrato)

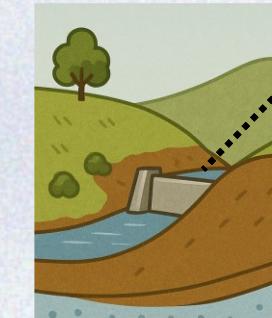
Modelos estão sendo desenvolvidos com código aberto

Bacia do rio Bauru

Aquífero Bauru  
Aquífero Guarani



Bacia do  
rio Batalha



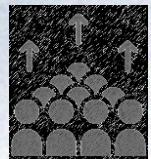
# Elaboração de cenários

- Os cenários são relevantes para avaliar quão robustas e resilientes são as ações
- Modelos são usados para avaliar incertezas



## Mudanças climáticas

- SSP-245 'Middle of the Road' Intermediário
- SSP-585 'Fossil fuel development' Pessimista



## Expansão demográfica

- Estagnação
- Crescimento tendencial
- Crescimento acelerado

**Quais as melhores soluções para cada cenário?**



## Uso e ocupação da terra

- Uso e ocupação atual mantidos
- Evolução de acordo com a série histórica

## Captações na Bacia Alto do Rio Batalha

- Manutenção das captações
- Aumento das captações



# Proposição de ferramentas de gestão | WP5

## Métodos econômicos e políticos de gestão dos recursos hídricos

### Objetivos:

- Desenvolver um conjunto apropriado de métodos, ferramentas e instrumentos de **política hidroeconômica**, integrados em uma plataforma, para apoiar e incentivar a implementação de estratégias sustentáveis de uso e gestão da água que melhorem a segurança hídrica.



**SISTEMA DE SUPORTE  
À DECISÃO (SSD)**

# Sistema de Suporte à Decisão (SSD)

- Sistema computacional de apoio a tomada de decisão sobre gestão de recursos hídricos;
- Integra dados e modelos baseados em ciência e experiência local;
- Proposta em desenvolvimento;
- A ser aprimorado junto aos gestores e outros stakeholders.



# VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:



Apoio:



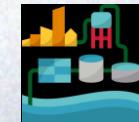
## AÇÕES

Cenários climáticos e  
de uso do solo

## AÇÕES

## Modelos hidrológicos

Mananciais  
(superficiais e  
subterrâneos)



## Cenários socioeconômicos

Produção e distribuição  
de água

Demanda  
hídrica

Processamento e  
consolidação dos resultados

**SAÍDAS: Suporte  
à decisão para  
gestão de água**

Mapas, indicadores e  
gráficos



## Perguntas que queremos responder:

- O que acontece com a cidade na ausência de investimentos futuros?**
- Para um cenário x, qual conjunto de ações consegue garantir a provisão de água?**
- O conjunto de ações y é robusto a uma série de cenários futuros?**



# Sistema de Suporte à Decisão (SSD)

## ENTRADA

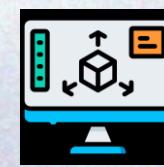


- Estratégia de expansão da produção de água e da redução de perdas

### Cenários

- Climáticos
- Demográficos
- Uso e ocupação do solo

## PROCESSAMENTO

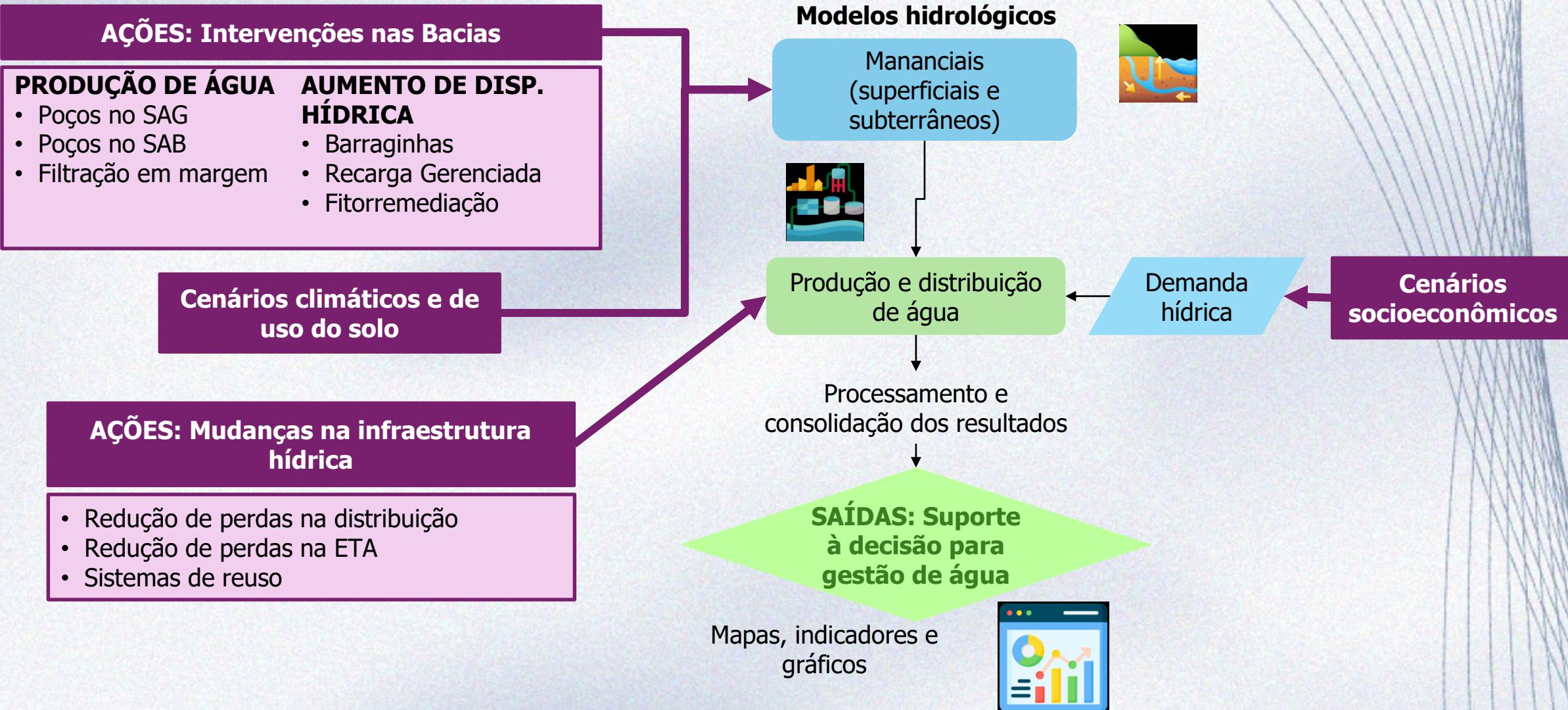


Execução do modelo de otimização:  
minimizar custo e incluir restrições ambientais

## SAÍDA



- Combinação de soluções de abastecimento
- Visualização gráfica e mapas
- Indicadores
  - Consumo
  - Déficit
  - Vazão no rio
  - Rebaixamento
  - Custos





# Sistema de Suporte à Decisão (SSD)

## ENTRADA



- Aumento da produção em 25%
- Redução de perdas para 25%

## PROCESSAMENTO

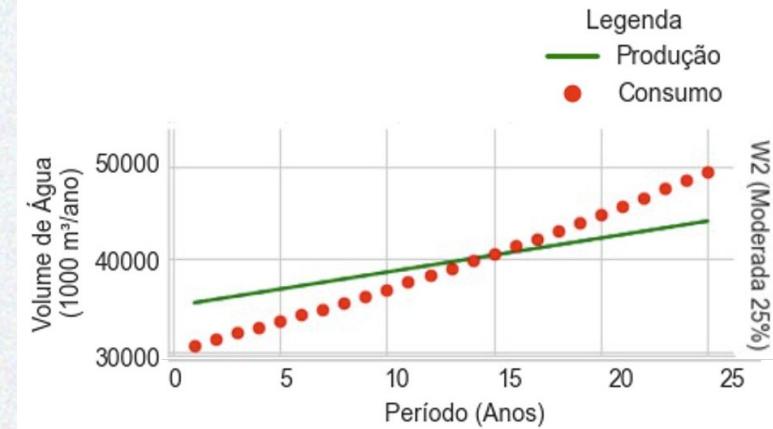


Execução do modelo de otimização:  
minimizar custo e incluir restrições ambientais

## Cenários

- Cenário climático pessimista
- Crescimento populacional: 1,5% a.a.
- Aumento da silvicultura (tendência atual)

## SAÍDA



- **Estratégia:** campos de poços + barraginhas
- **Investimento:** R\$ X mi
- Evita o déficit até 2040
- **Redução das vazões captadas no manancial superficial**
- **Rebaixamento do aquífero:** + 1 m/ano

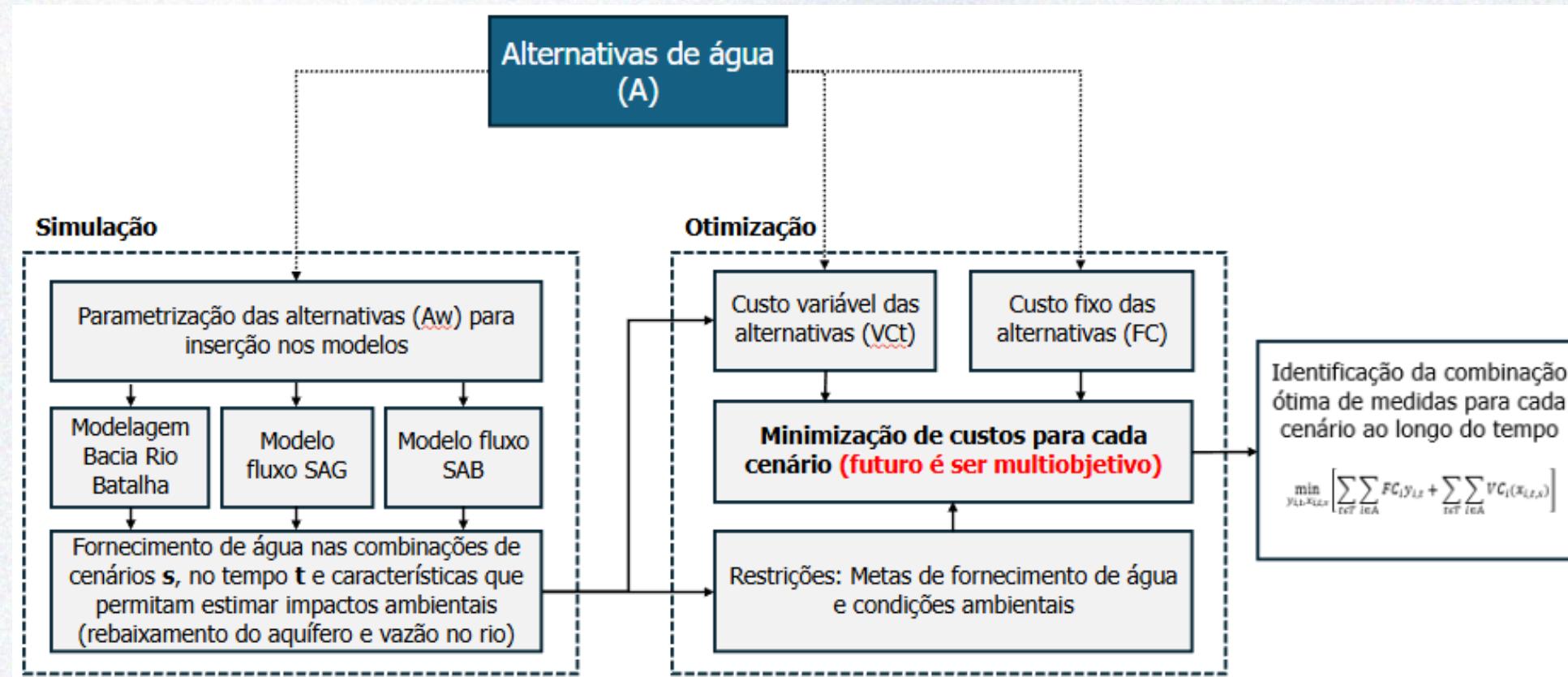
# Como funciona essa Otimização no SSD

O que o algoritmo de otimização que vem sendo proposto faz?

- Solicita-se, por exemplo, uma expansão do sistema: “Aumente em 50% a produção de água no município, no horizonte de 30 anos”;
- O algoritmo retorna a combinação ótima de alternativas (menor custo fixo + variável) para atender a esse pedido;
- Depois, comparamos esse aumento de produção com vários cenários de demanda, para ver o desempenho da estratégia.



# Otimização integrada ao SSD





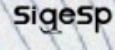
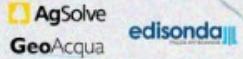
## VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

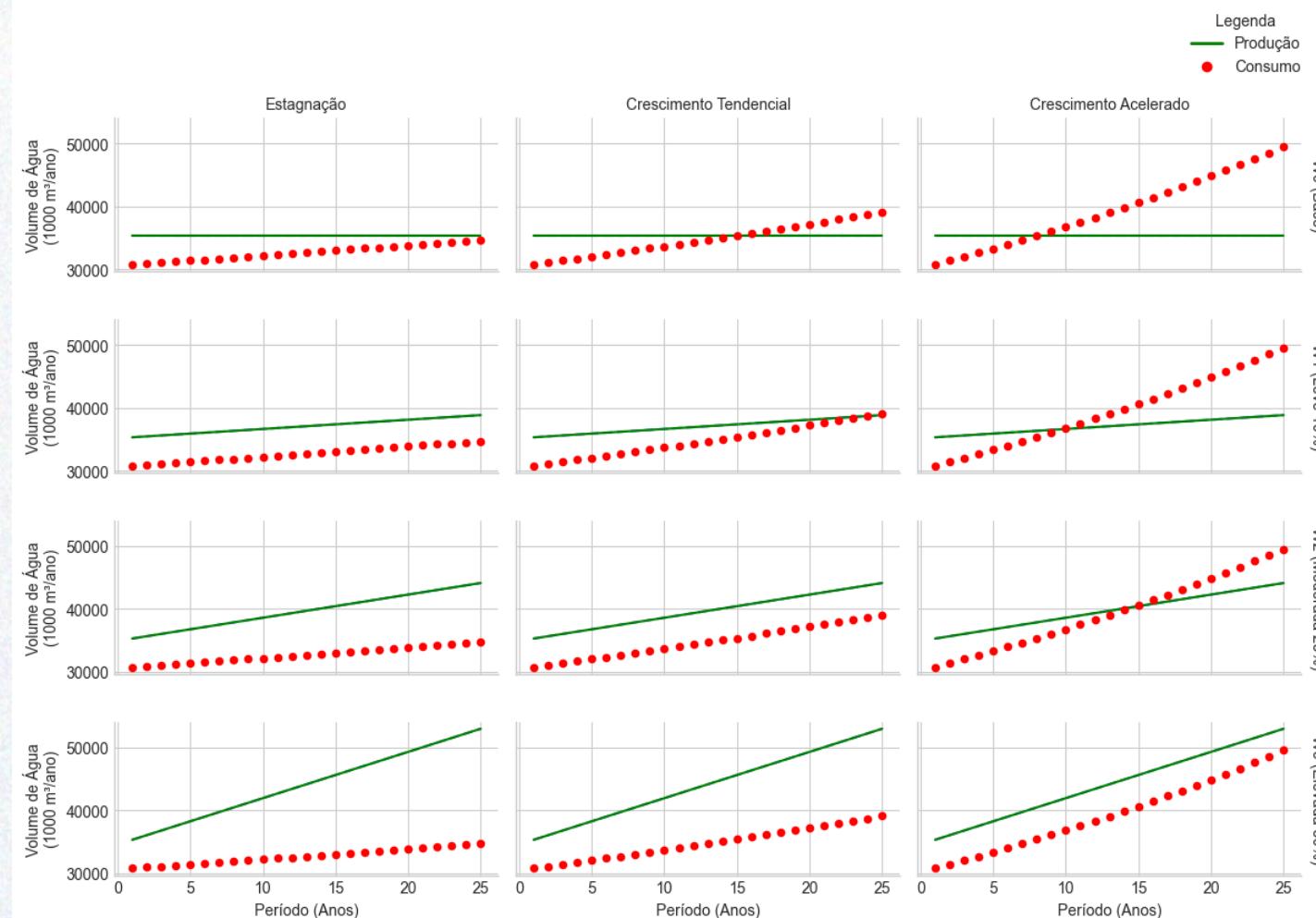
Realização:



Apoio:



# Implementação da otimização proposta



# Questões a serem resolvidas

- Que tipo de informações são mais relevantes para a tomada de decisão? Quais são as lacunas? Todas as variáveis utilizadas realmente importam para o decisor?
- A otimização é a melhor de analisar e gerar soluções?
- Qual o grau de conhecimento da população em relação ao problema de abastecimento de água e qual seria a melhor solução para os usuários?
- Como diferentes stakeholders visualizam os problemas e as soluções?



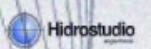
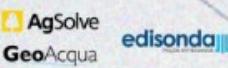
## VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:



Apoio:



# Obrigado!

Carlos Gamba  
[carlosgamba@ipt.br](mailto:carlosgamba@ipt.br)