

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



VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:

CT-AS
Câmara Técnica de
Águas Subterrâneas



Apoio:



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

CT-MH
Câmara Técnica de
Monitoramento Hidrológico

 **AgSolve**
GeoAcqua

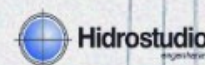
edison da
PROJETOS E SISTEMAS



UNIPER
POÇOS TUBULARES



Sigesp





**VIII Workshop de
Águas Subterrâneas**
dos Comitês PCJ
Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:

CT-AS
Comitê Técnico de
Águas Subterrâneas



Apoio:



CT-Indústria
Comitê Técnico de Água e
Indústria

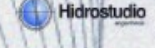
CT-MH
Comitê Técnico de
Monitoramento Hidrológico

AgSolve
GeoAcqua

edison da



Sigesp



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.



SACRE
soluções integradas de água
para cidades resilientes

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.

Parceiros do SACRE

Lideranças institucionais na gestão dos recursos hídricos subterrâneos do país:

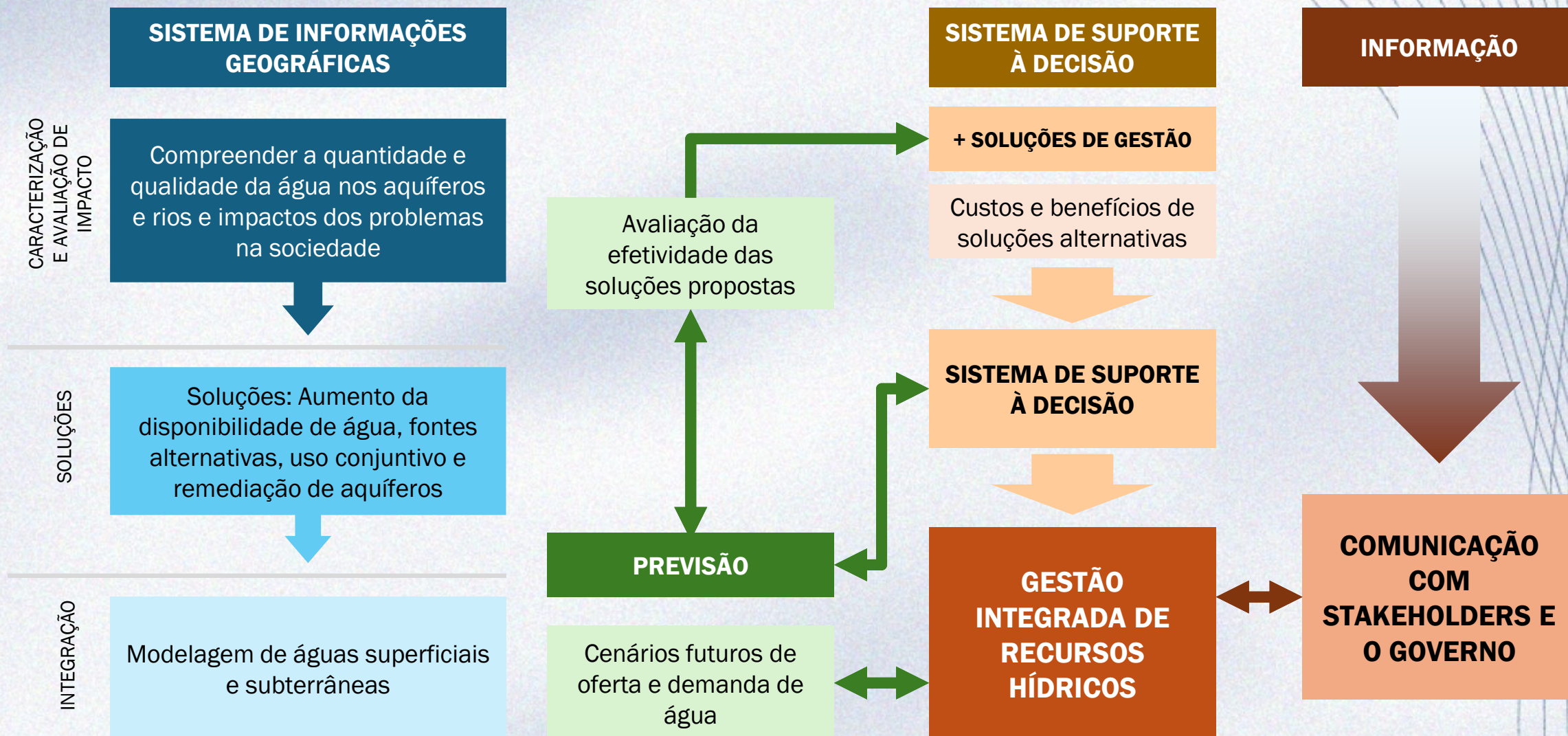
- Universidades nacionais e internacionais;
- Agências de governo;
- Apoio formal do governo do Estado de São Paulo e do Canadá.



A ideia central do projeto SACRE



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.

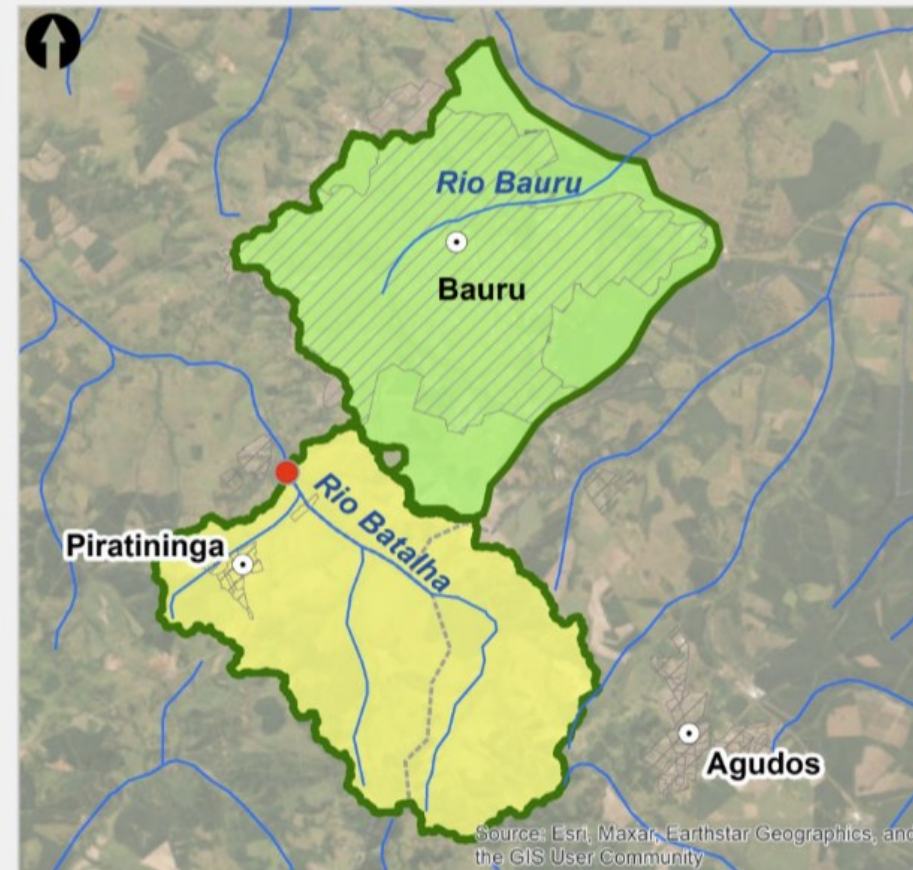


Produtos do Projeto SACRE



- **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 UGHRIs:**
 - ✓ 13 - Tietê-Jacaré (área urbana de Bauru: Rio Bauru)
 - ✓ 16 - Tietê-Batalha (parte alta do Rio Batalha, captação superficial de Bauru)



Legenda

-  Trechos de drenagem
 -  Área de Estudo
 -  Limites Municipais
 -  Perímetro Urbano
 -  Bacia Hidrográfica do Rio Bauru
 -  Bacia Hidrográfica do Rio Batalha
 -  Captação Superficial para abastecimento público
 -  Sede Urbana
- 0 3 6 12 Km

A cidade de Bauru

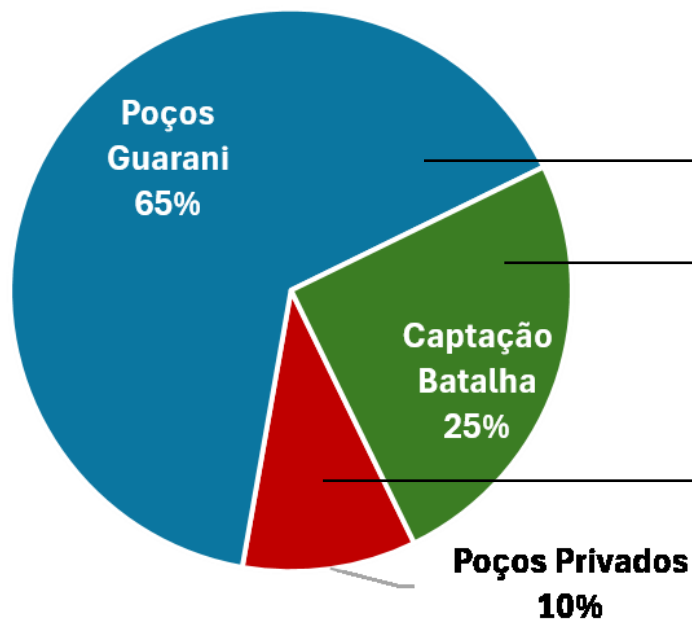
- 390 mil habitantes
- Um importante centro econômico regional
- Vulnerável à intensificação dos problemas de mudanças climáticas que prolongam a seca



Rio Batalha em outubro de 2024



Abastecimento de água em Bauru



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)

Principais usos:

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

Cenário atual na cidade de Bauru

ESTIAGEM

Afeta o Rio Batalha:

- bacia pequena (125 km²)
- Pouca capacidade de reservação
- Redução do bombeamento no período seco

INFRAESTRUTURA

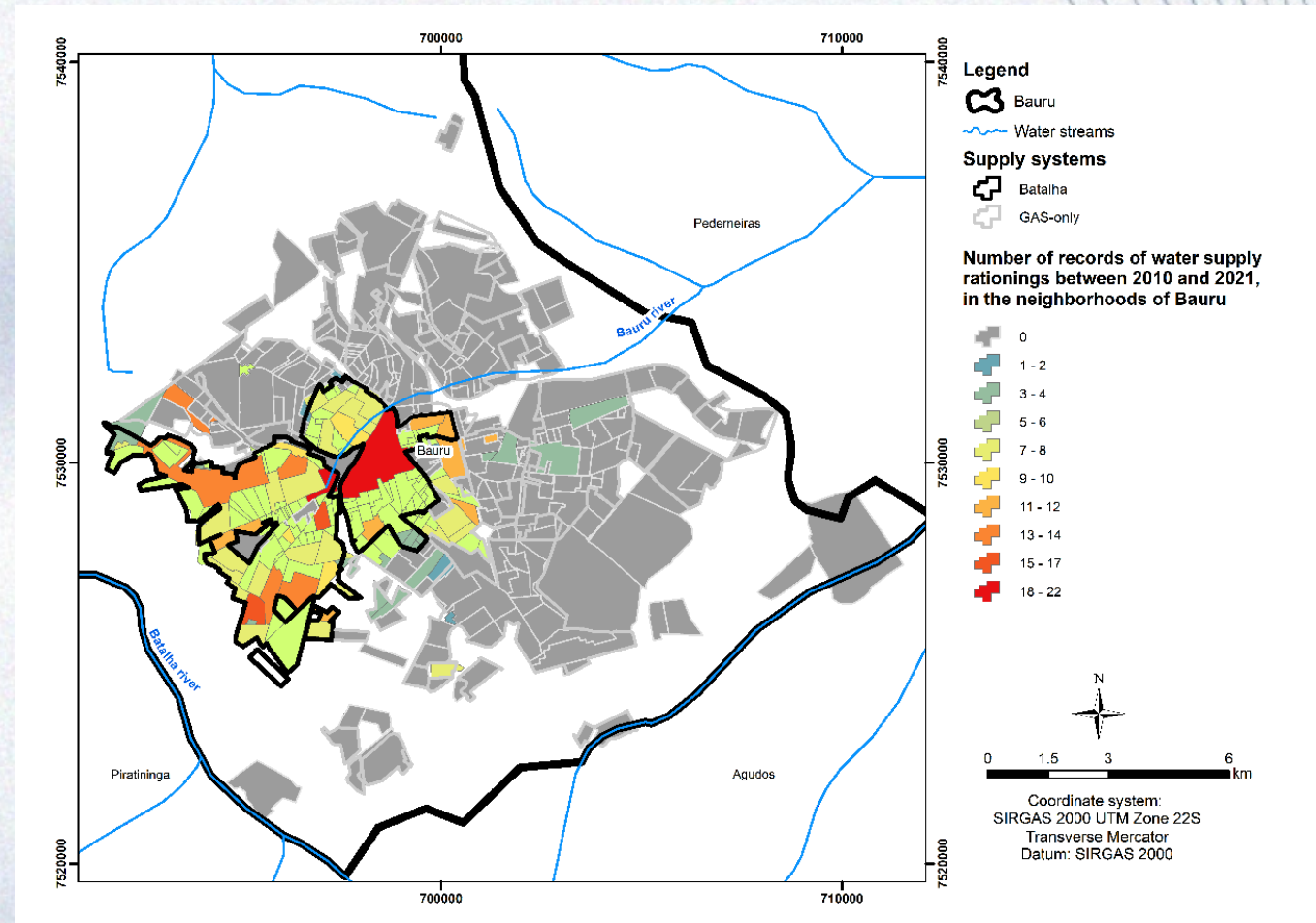
- Alto índice de perdas (>35%)
- Dificuldade de atender a região do Batalha com águas subterrâneas

GESTÃO

- **Consumo de água:** ↑ na bacia do Alto Rio Batalha
- **Uso e ocupação do solo:** ↑ 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 (águas 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 barraginhas (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)

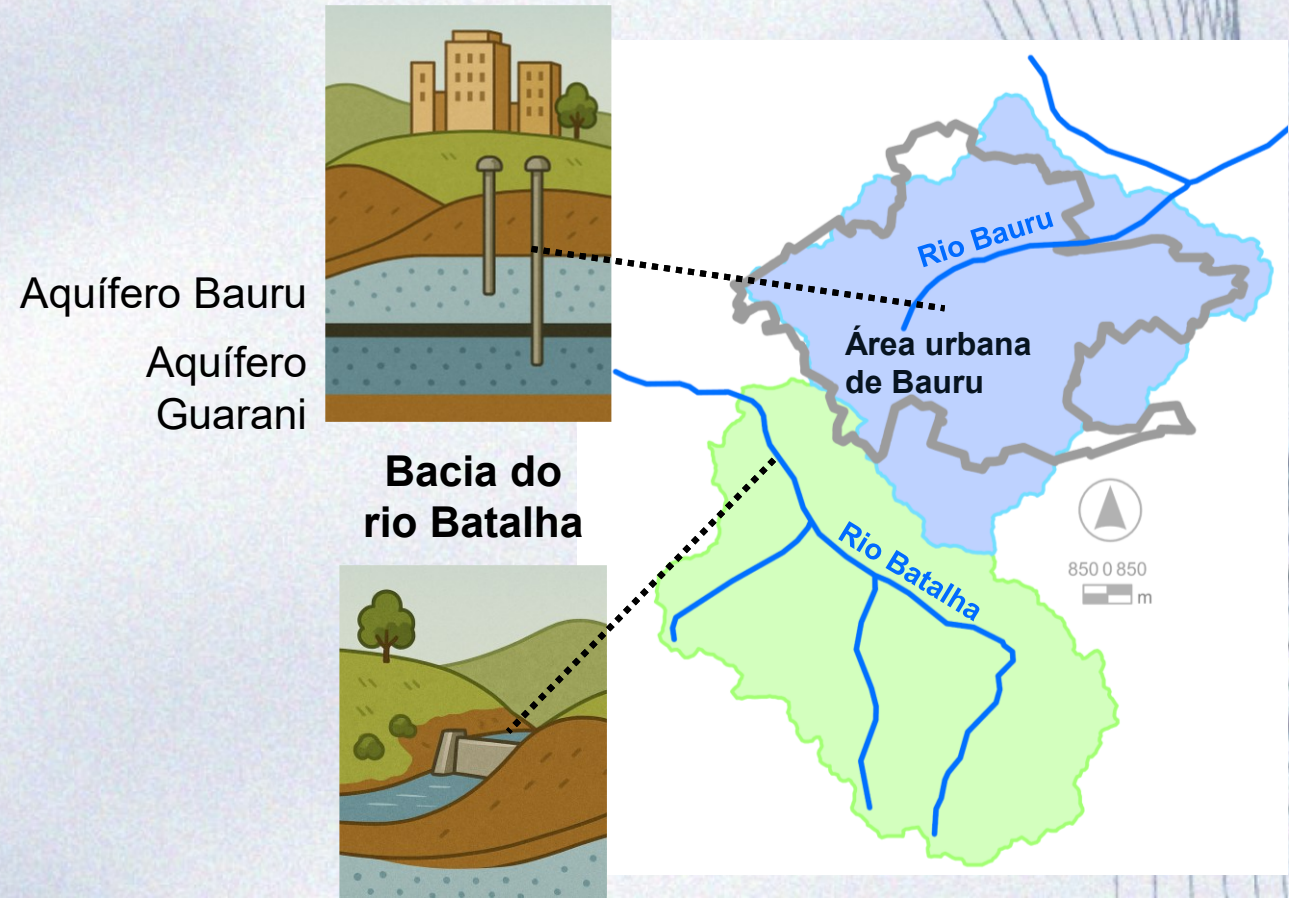
** Soluções avaliadas em modelos hidrológicos

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



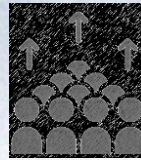
Elaboração de cenários

- 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



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

Quais as melhores soluções para cada cenário?

Proposição de ferramentas de gestão | WP5

Métodos econômicos e políticos de gestão dos recursos hídricos

Objetivos:

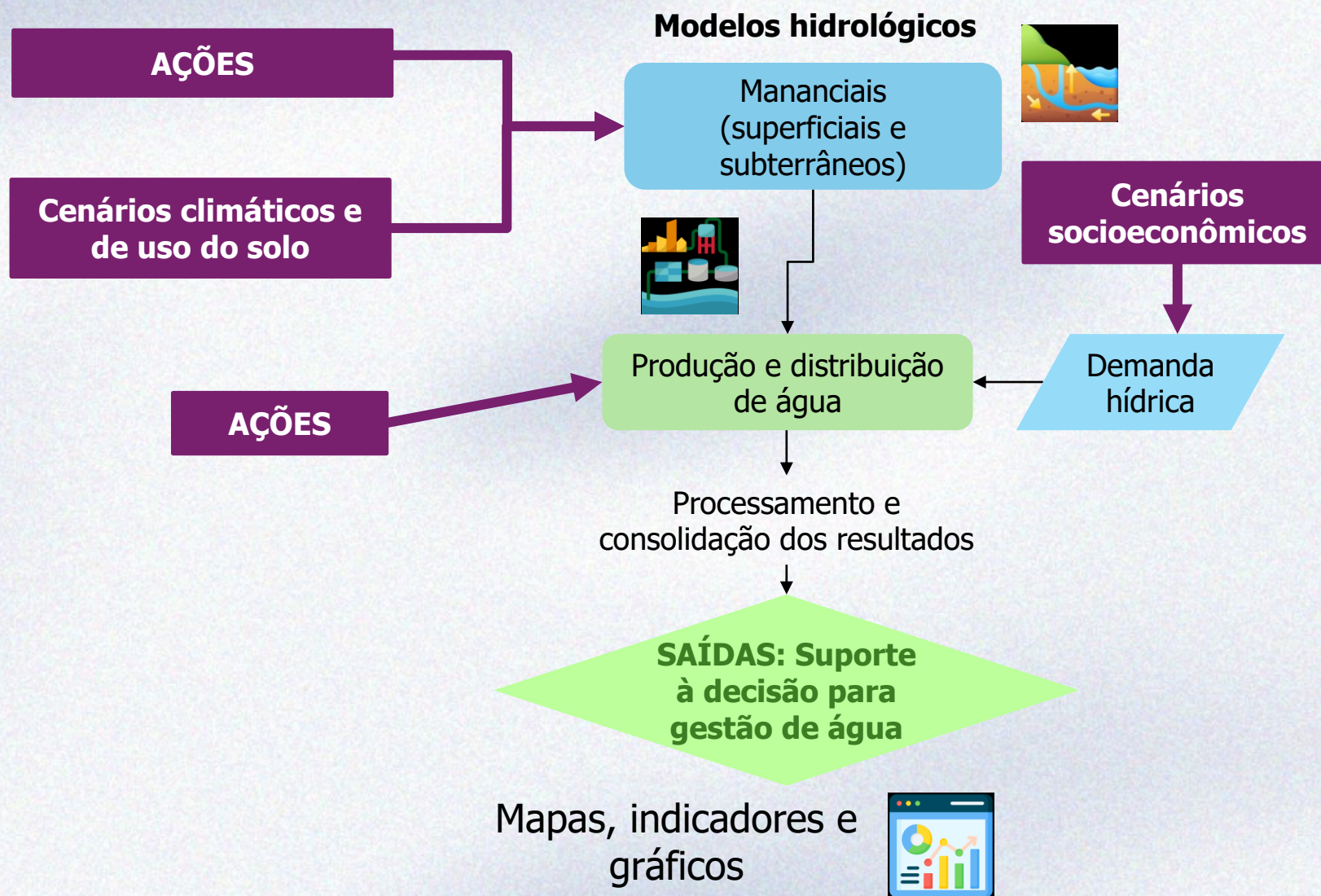
- Desenvolver um conjunto apropriado de métodos, ferramentas e instrumentos de **política hidroeconômica**, integrados em uma plataforma, para apoiar e incentivar a implementação de estratégias sustentáveis de uso e gestão da água que melhorem a segurança hídrica.



**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.



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

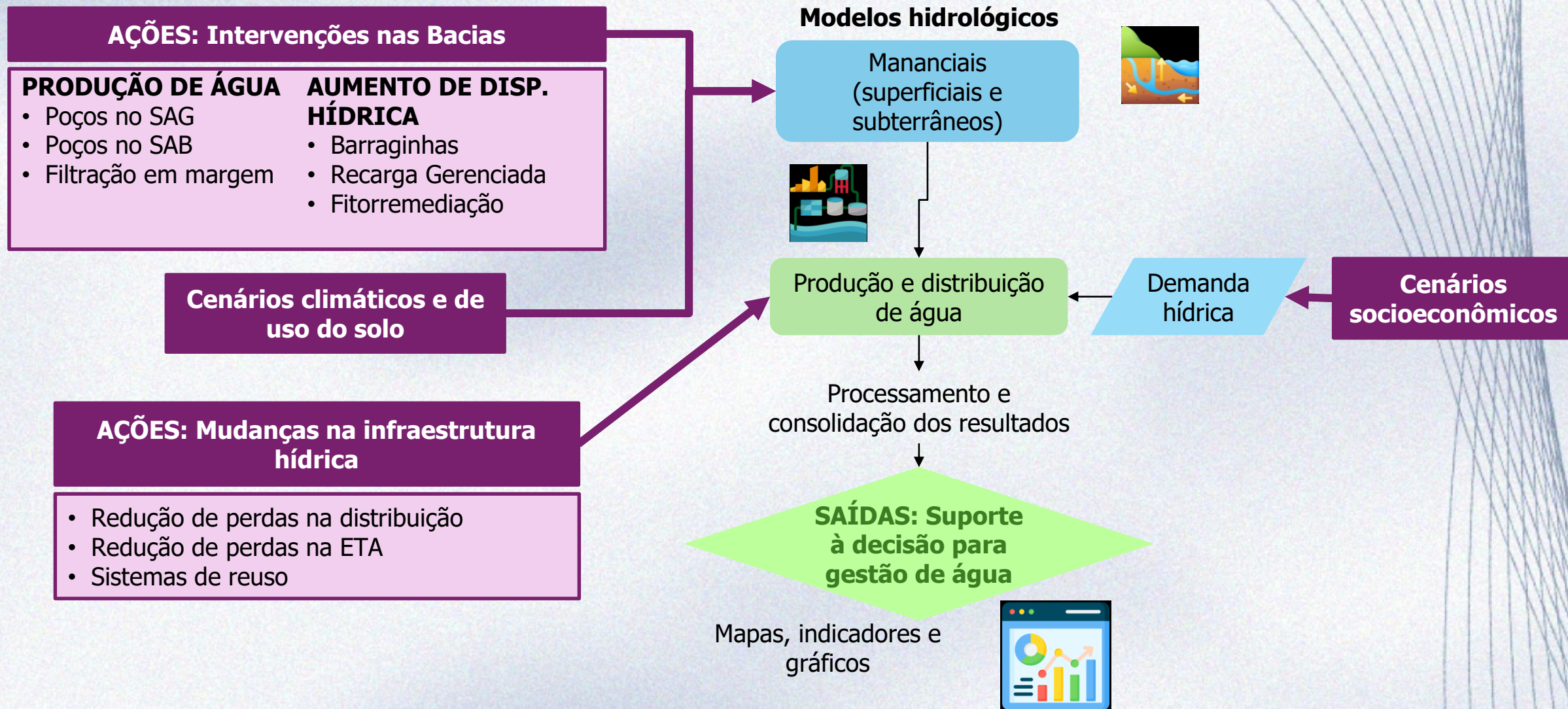


Execução do
modelo de
otimização:
minimizar
custo e incluir
restrições
ambientais

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%

Cenários

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

PROCESSAMENTO



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

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

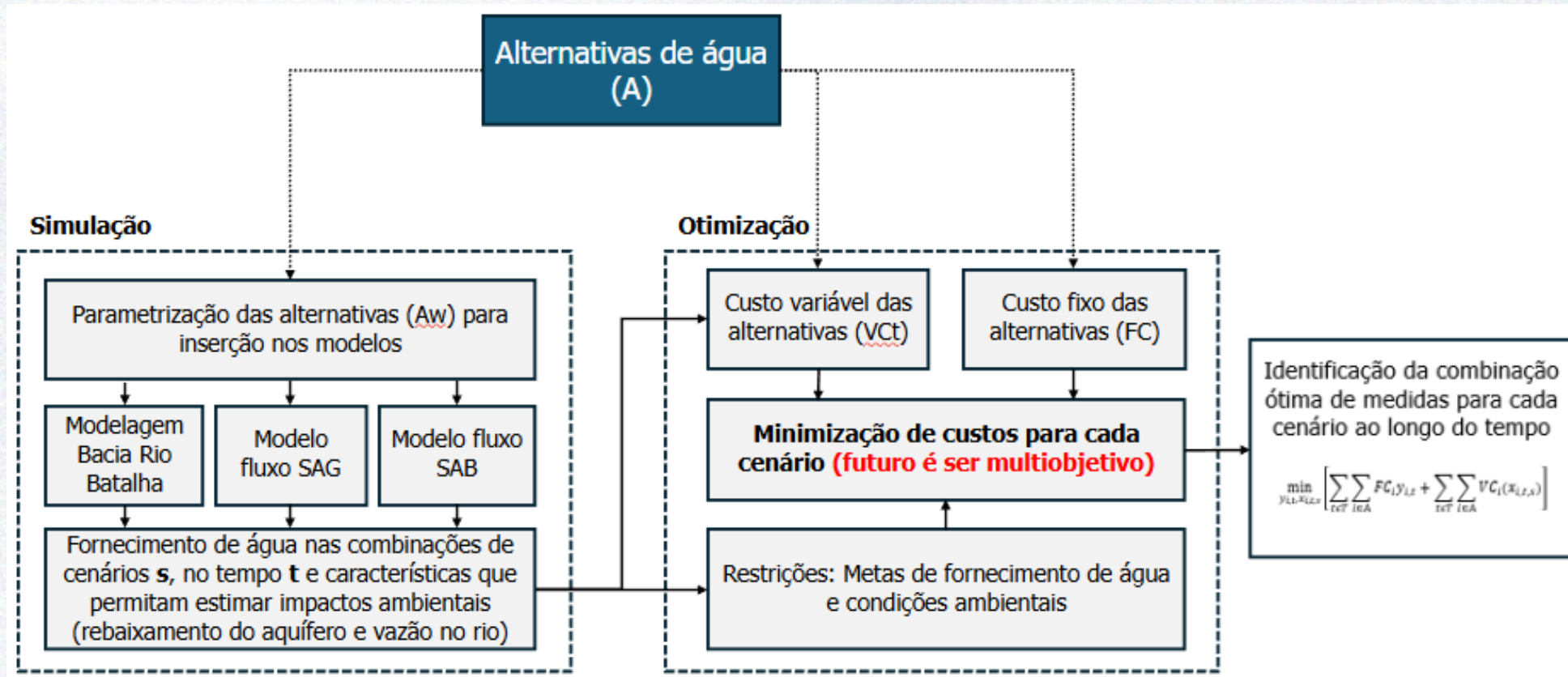
Como funciona essa Otimização no SSD

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

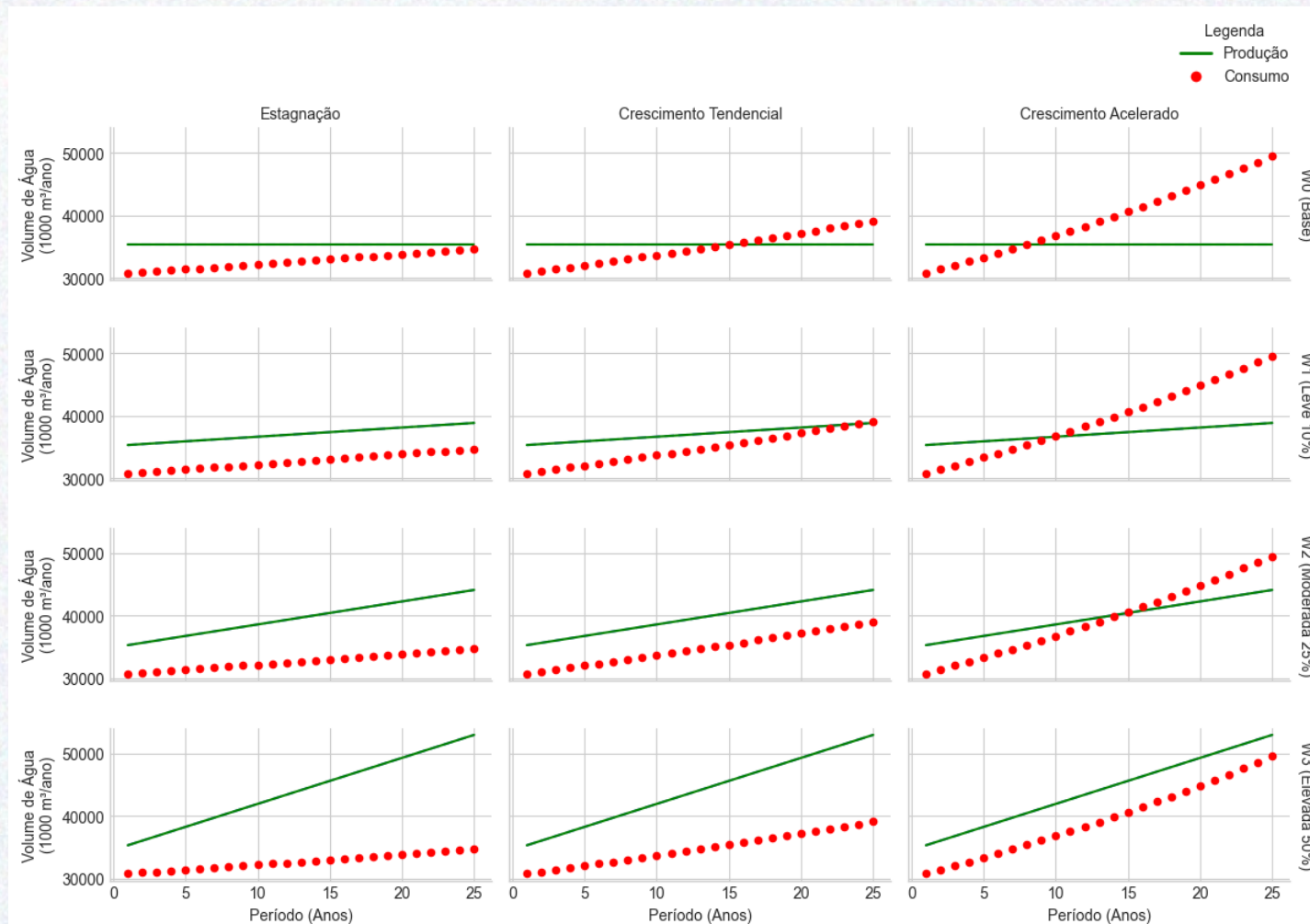
- Solicita-se, por exemplo, uma expansão do sistema: “Aumente em 50% a produção de água no município, no horizonte de 30 anos”;
- O algoritmo retorna a combinação ótima de alternativas (menor custo fixo + variável) para atender a esse pedido;
- Depois, comparamos esse aumento de produção com vários cenários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



Otimização integrada ao SSD



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:

CT-AS
Comitê Técnico de
Águas Subterrâneas



Apoio:



CT-Indústria
Comitê Técnico de Água e
Indústria

CT-MH
Comitê Técnico de
Monitoramento Hidrológico

AgSolve
GeoAcqua

edison da



Univesp



Sigesp

Hidrostudio

Obrigado!

Carlos Gamba

carlosgamba@ipt.br