VIII Workshop de Águas Subterrâneas dos Comitês PCJ

Inovações na Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

Realização:

CT-AS Câmara Técnica de Águas Subterrâneas

COMITÊS PCJ

Apoio:

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

HIDRO LICENÇAS

UNIPER POÇOS TUBULARES

GENERAL WATER CUIDANDO DA SUA ÁGUA

SigeSp

Hidrostudio

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

Realização: CT-AS, Comitês PCJ
Apoio: PCJ, CT-Indústria, CT-MH, AgSolve, GeoAcqua, edisonda, Hidro Licenças, Unipar, General Water, SigeSp, Hidrostudio

Evoluções recentes em estudos hidrogeológicos com traçadores naturais

Edson Wendland
Universidade de São Paulo

15/11/2025

EESC · USP
SHS Departamento de Hidráulica e Saneamento
shs.eesc.usp.br

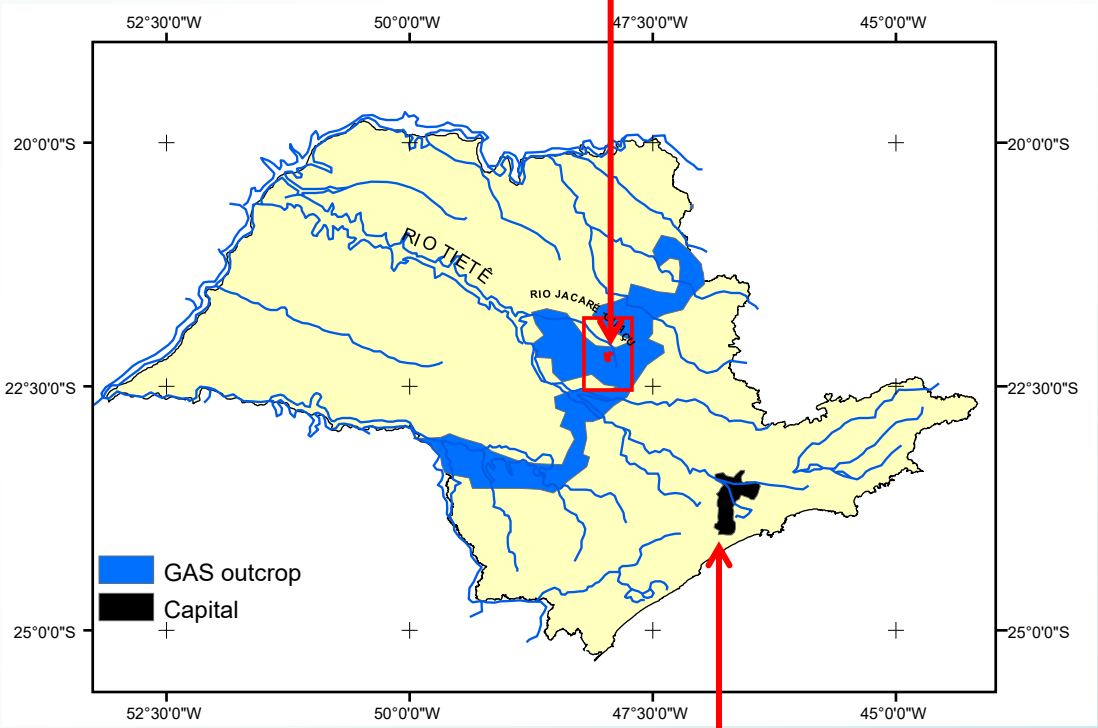
Conteúdo

- O objetivo da palestra é apresentar algumas novas ferramentas de investigação hidrogeológica, particularmente, o uso de traçadores naturais:

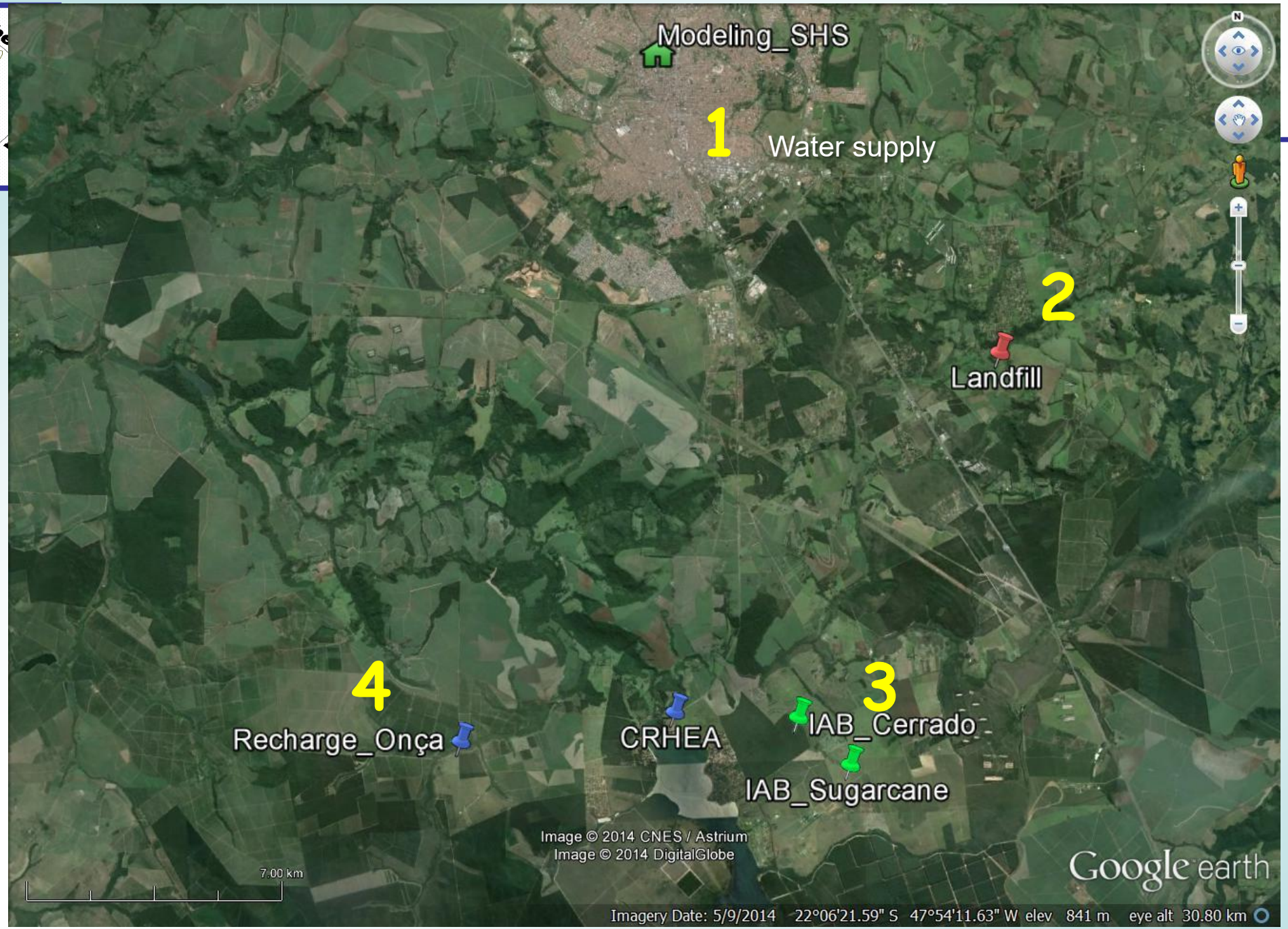
- Temperatura
- Isótopos
- Elementos terras raras (ETR ou REE, em inglês)

Grupo de pesquisa - LHC/EESC/USP

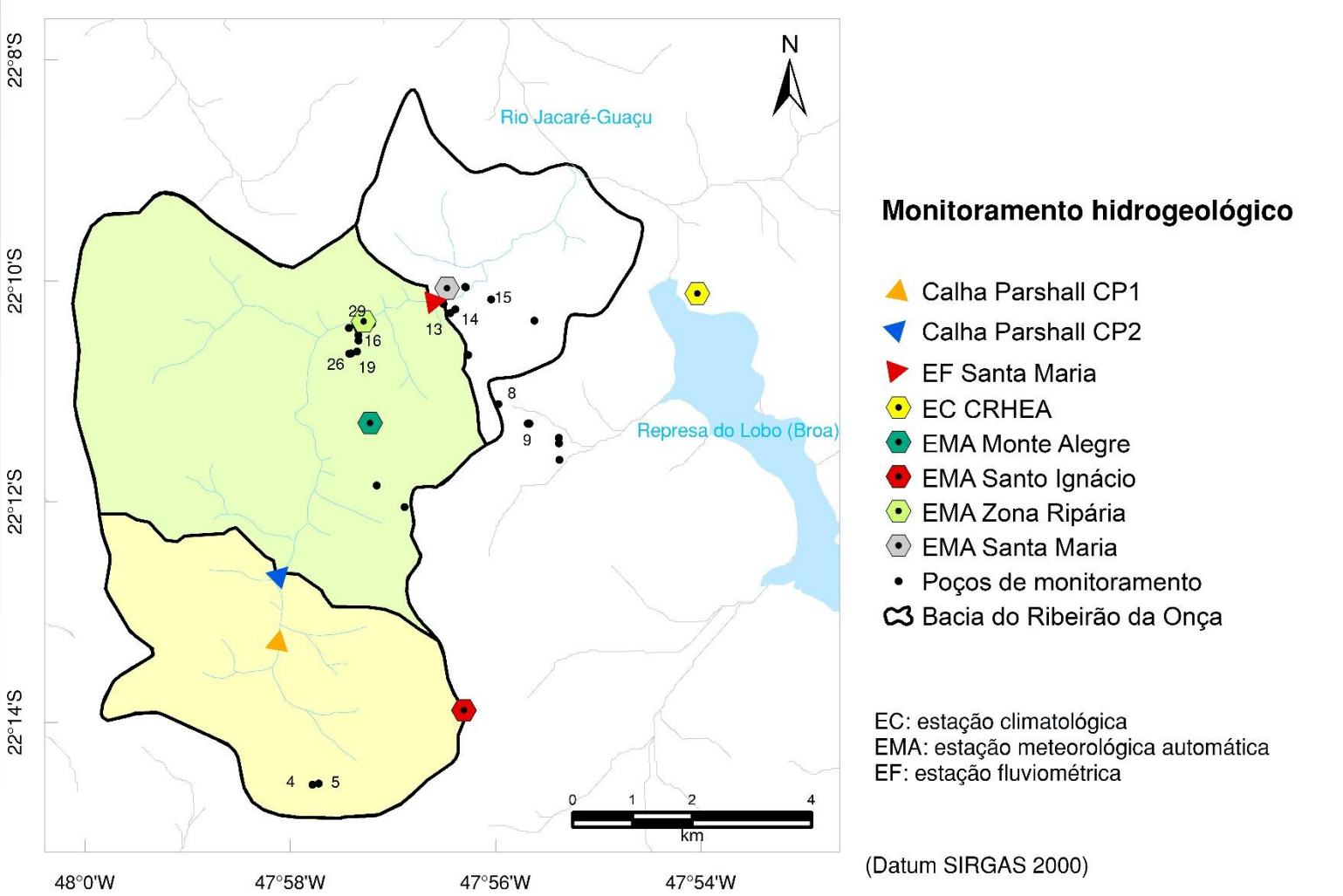
Área de estudo

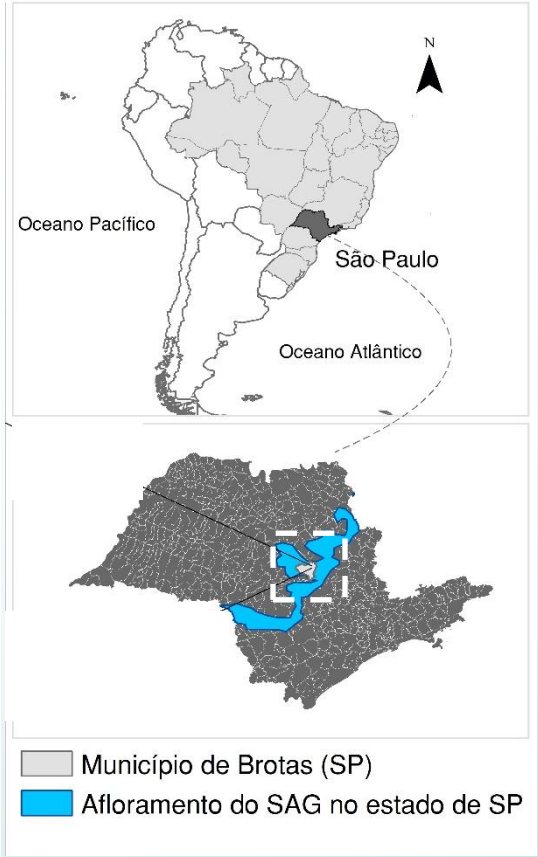


São Paulo - SP

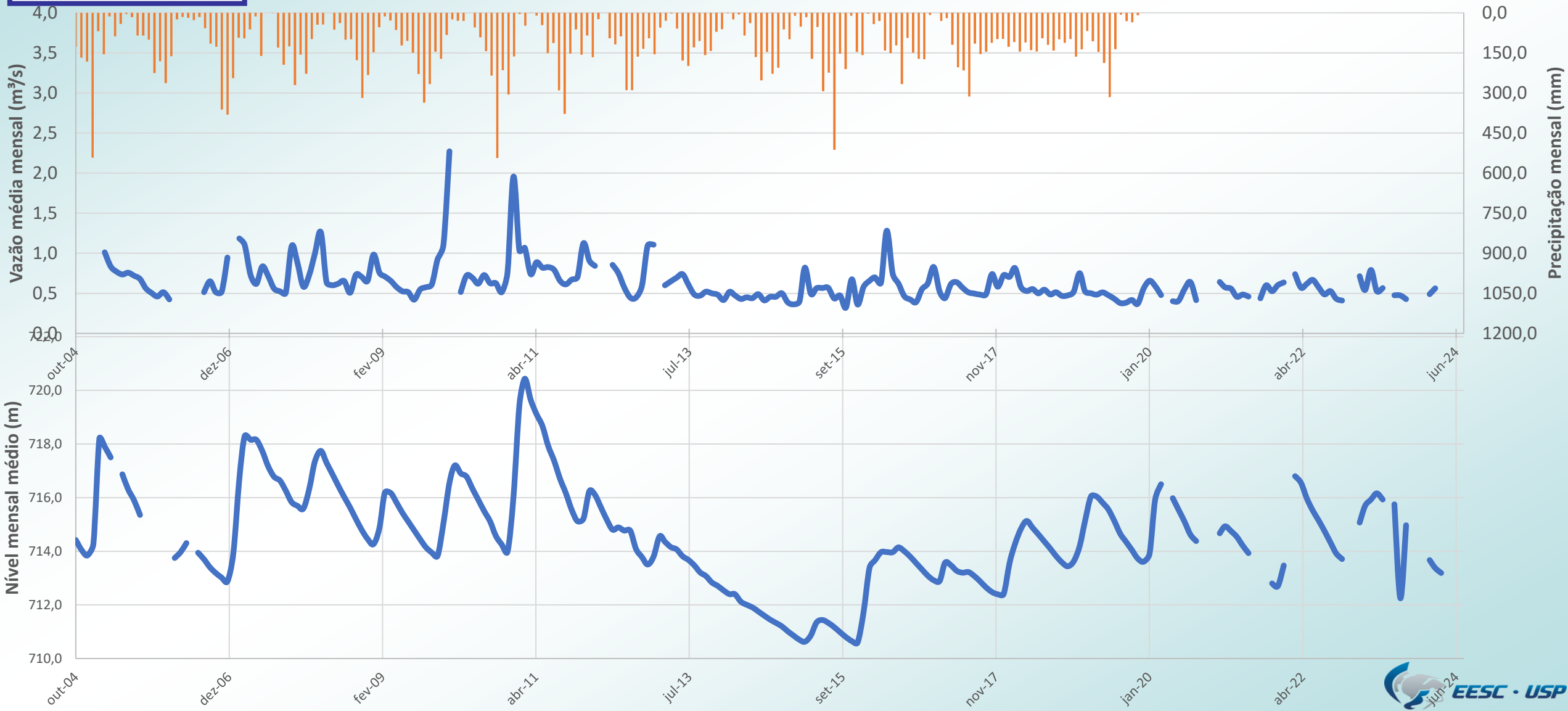

Modeling_SHS
1
Water supply
2
Landfill
4
Recharge_Onça
CRHEA
3
IAB_Cerrado
IAB_Sugarcane
Image © 2014 CNES / Astrium
Image © 2014 DigitalGlobe
7.00 km
Google earth
Imagery Date: 5/9/2014 22°06'21.59" S 47°54'11.63" W elev 841 m eye alt 30.80 km

BRO - Bacia do Ribeirão da Onça





Vazão e nível



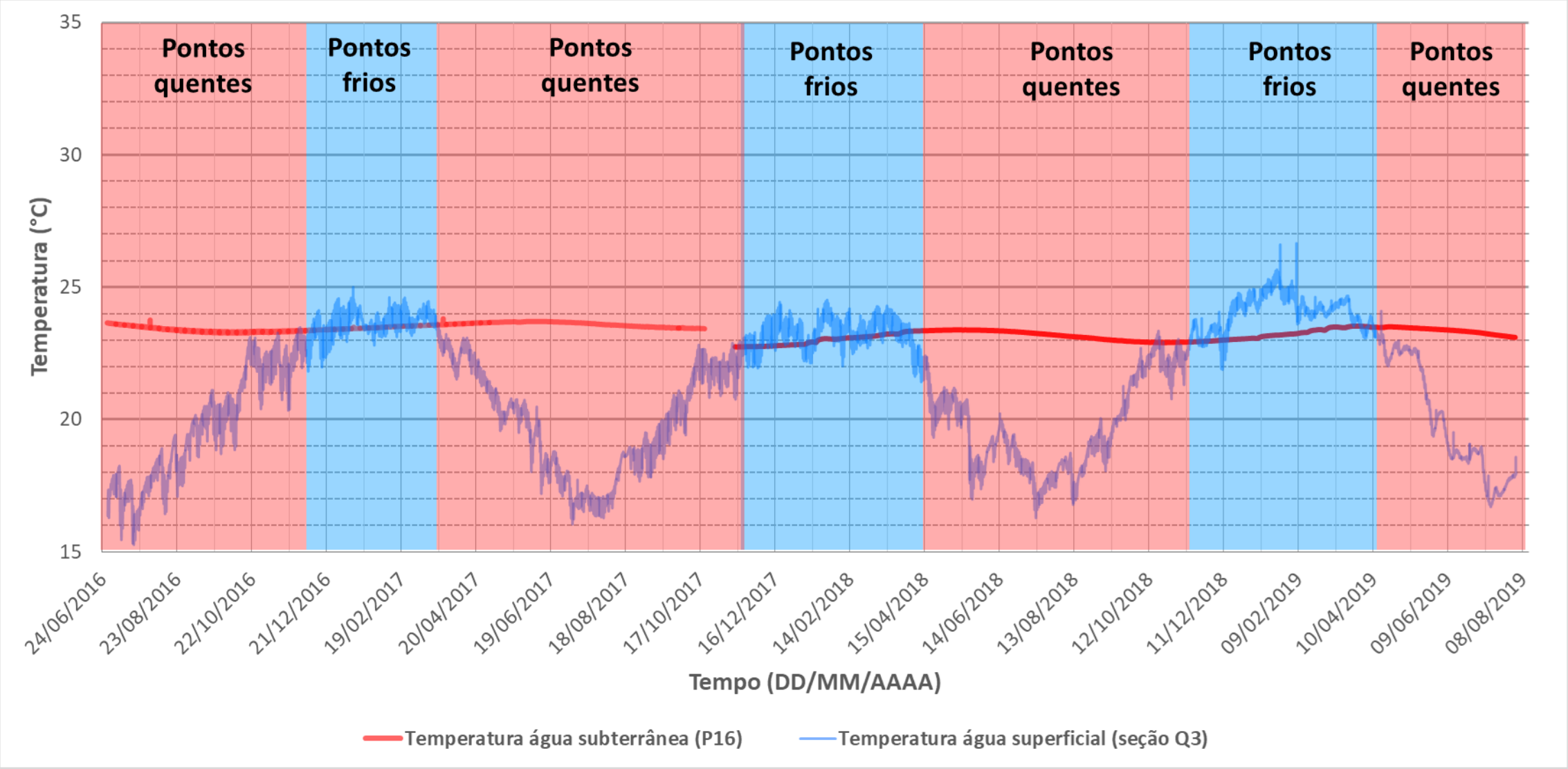
Uma contribuição ao estudo da interação rio-aquífero em áreas tropicais, utilizando a temperatura como traçador

Dr. Alan Reis, 2023

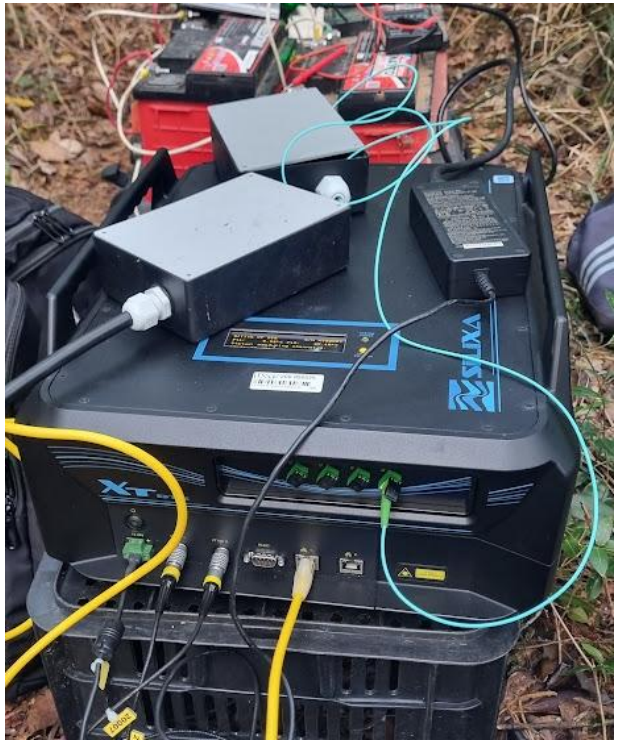
Webinar
Taller Uruguay
31 de outubro de 2024

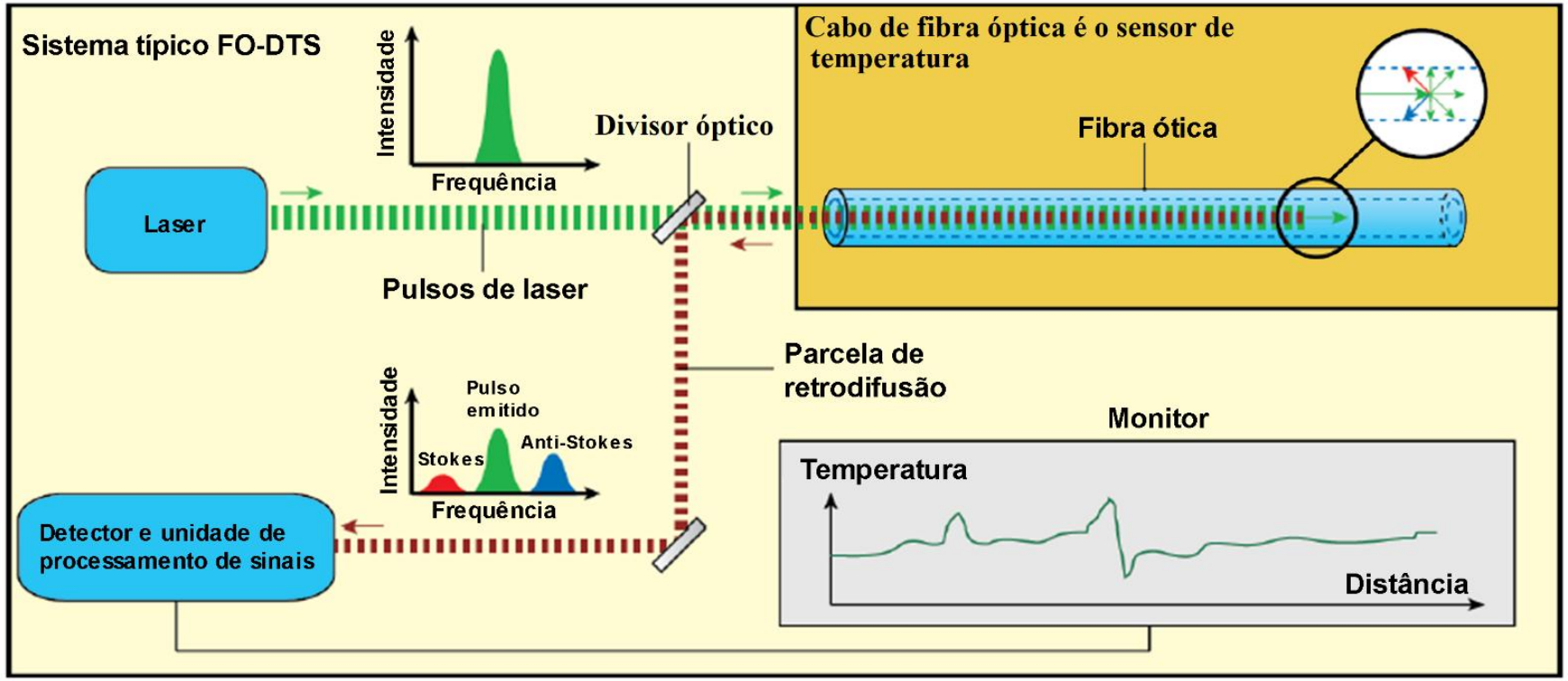
EESC · USP

TEMPERATURAS NA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA



DTS – DISTRIBUTED TEMPERATURE SENSOR





Suárez et al. (2011).

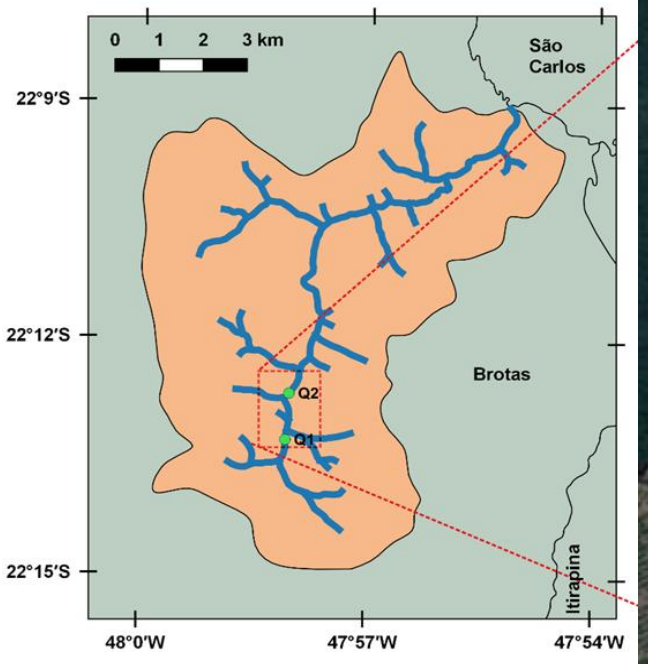
INSTALAÇÃO DA FIBRA

- Trecho entre as Calhas Parshall 1 e 2 (seções fluviométricas CP1 e CP2), distantes entre si 1300 metros;

  - Foram instalados 2 trechos de cabo:

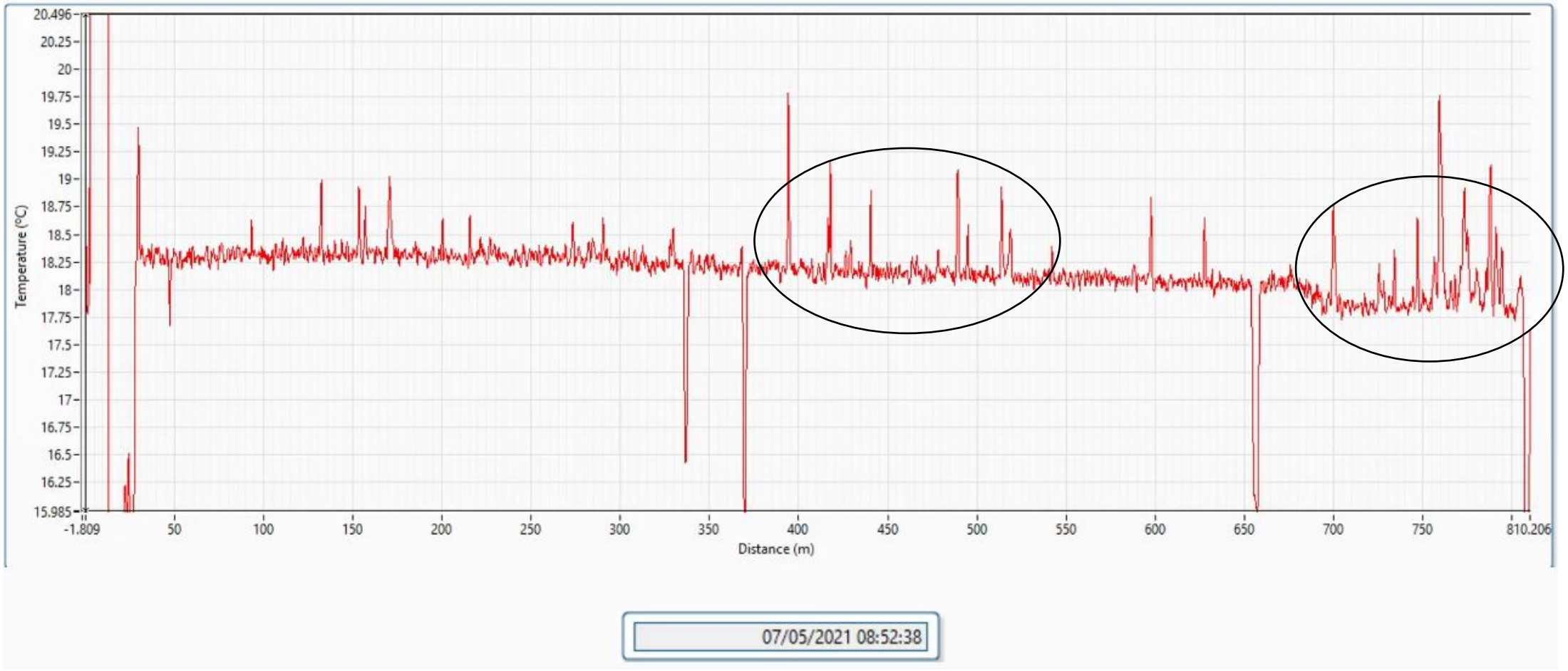
✓ Trecho de montante: 560 m (em verde na figura ao lado)

✓ Trecho de jusante: 805 m (em amarelo na figura ao lado)

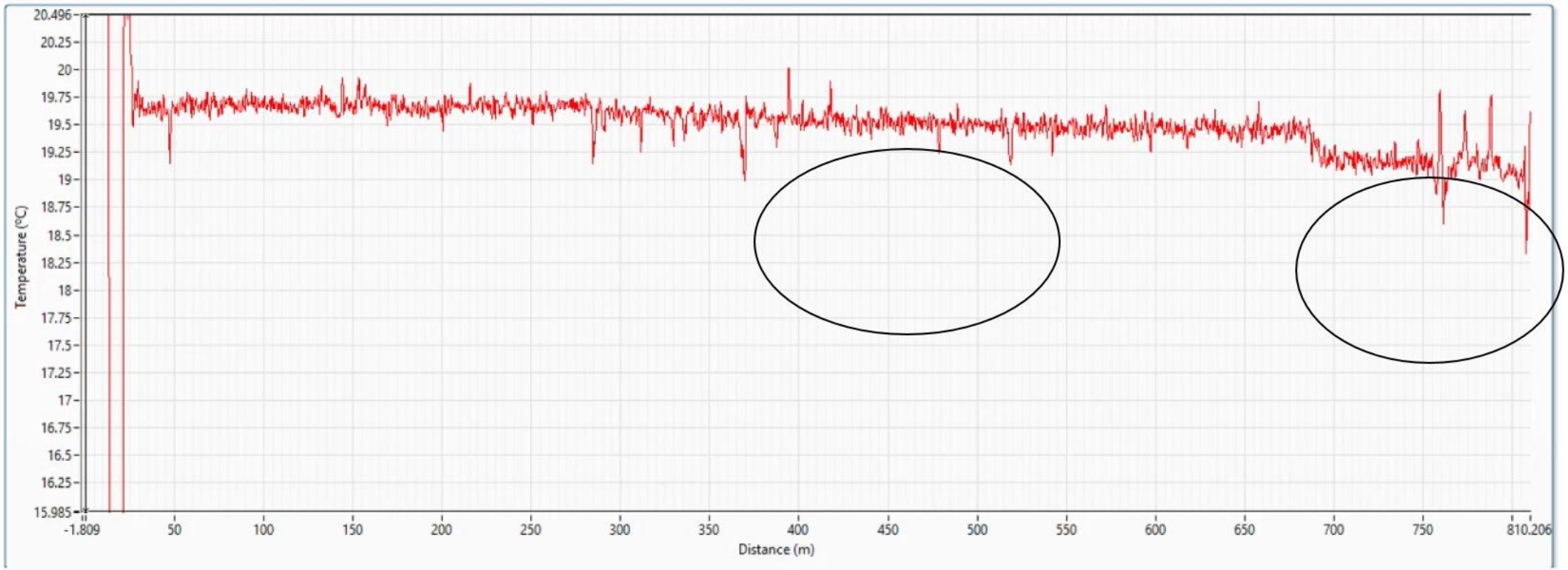


INSTALAÇÃO DA FIBRA

Medição de temperatura no leito do ribeirão – maio/2021



Medição de temperatura no leito do ribeirão – maio/2021



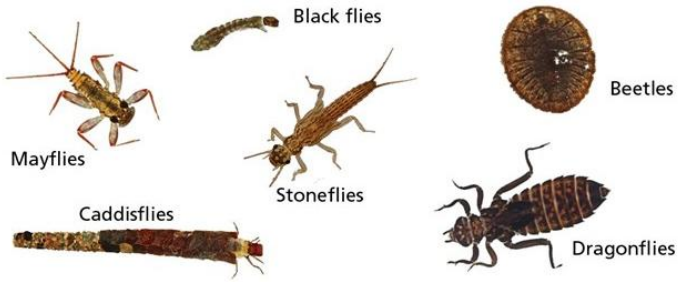
Estudo de detalhe na zona hiporreica

- We have conducted field surveys every season since 2023 with the following methods:

Main physical and chemical variables: pH, temperature, electric conductivity, turbidity, total dissolved solids and dissolved oxygen

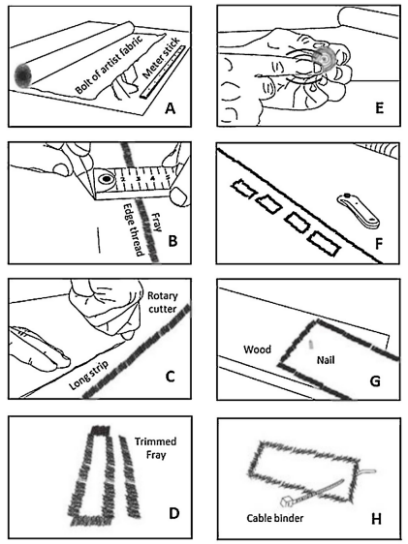
Key nutrientes: NO_3, NO_2, PTD, NH_4, NT, PT

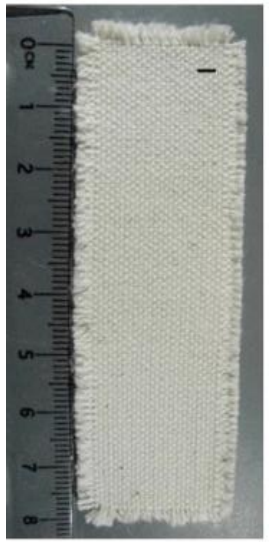
Macroinvertebrates
(D-frame aquatic net (250 µm))



Protocol of Environmental Characterisation Biota/FAPESP (Suriano, 2008).

Cotton-strip assays





Adapted from Tiegs et al. (2013).

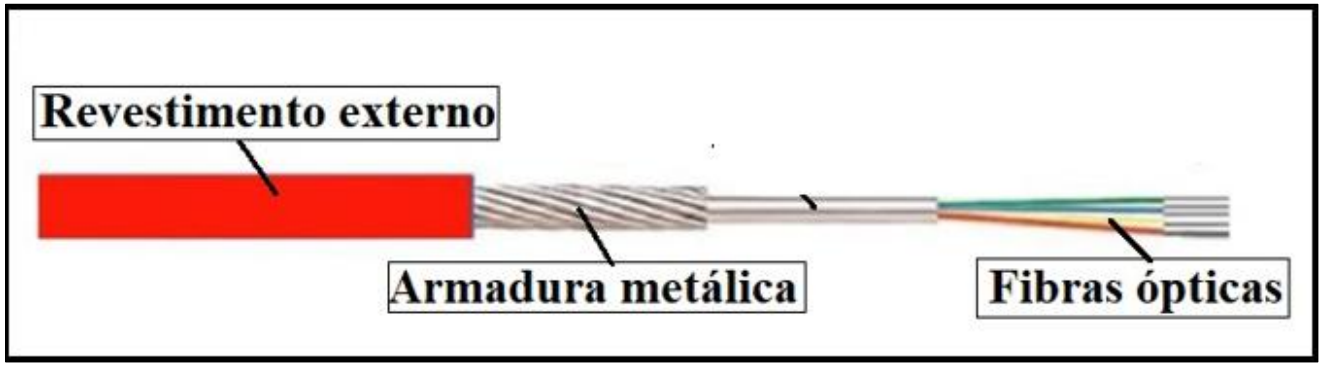
Estimativa da umidade do solo com fibras ópticas aquecidas: contribuições da experimentação em pequena escala

MSc. Luis Bertotto, 2023

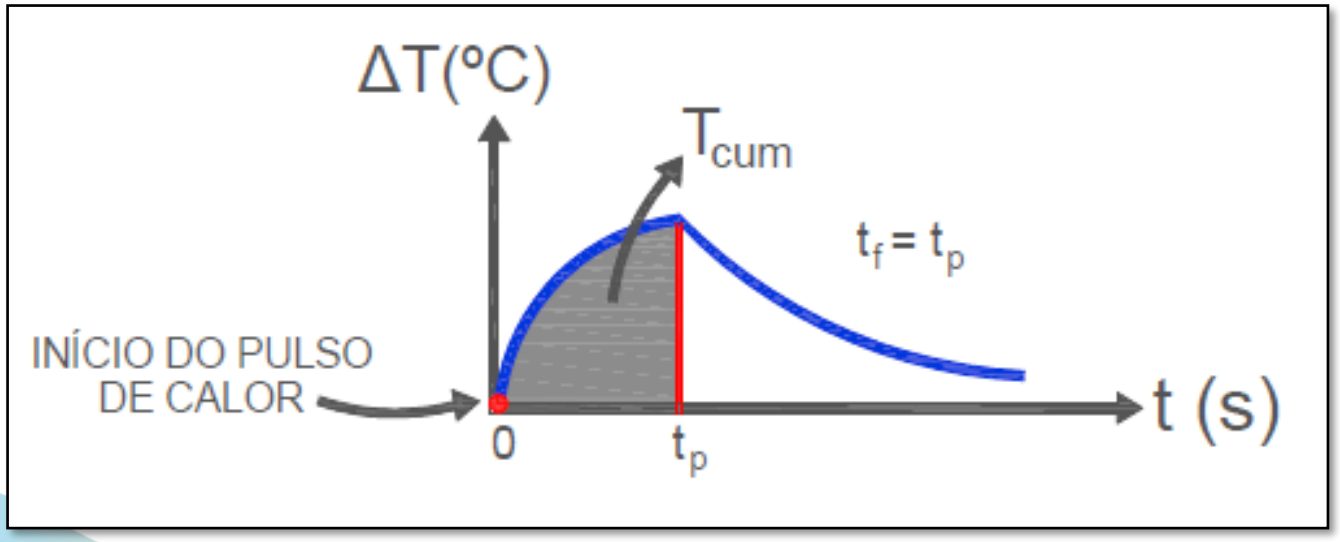
Webinar
Taller Uruguay
31 de outubro de 2024

EESC · USP

Introdução



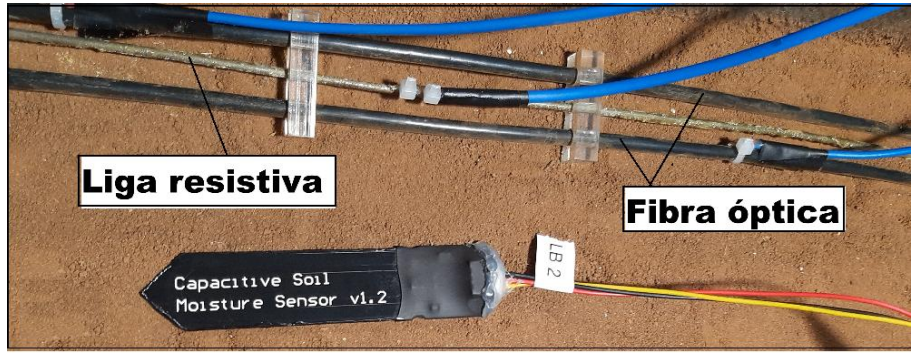
Cabo aquecido por corrente elétrica



Resfriamento pela umidade do solo

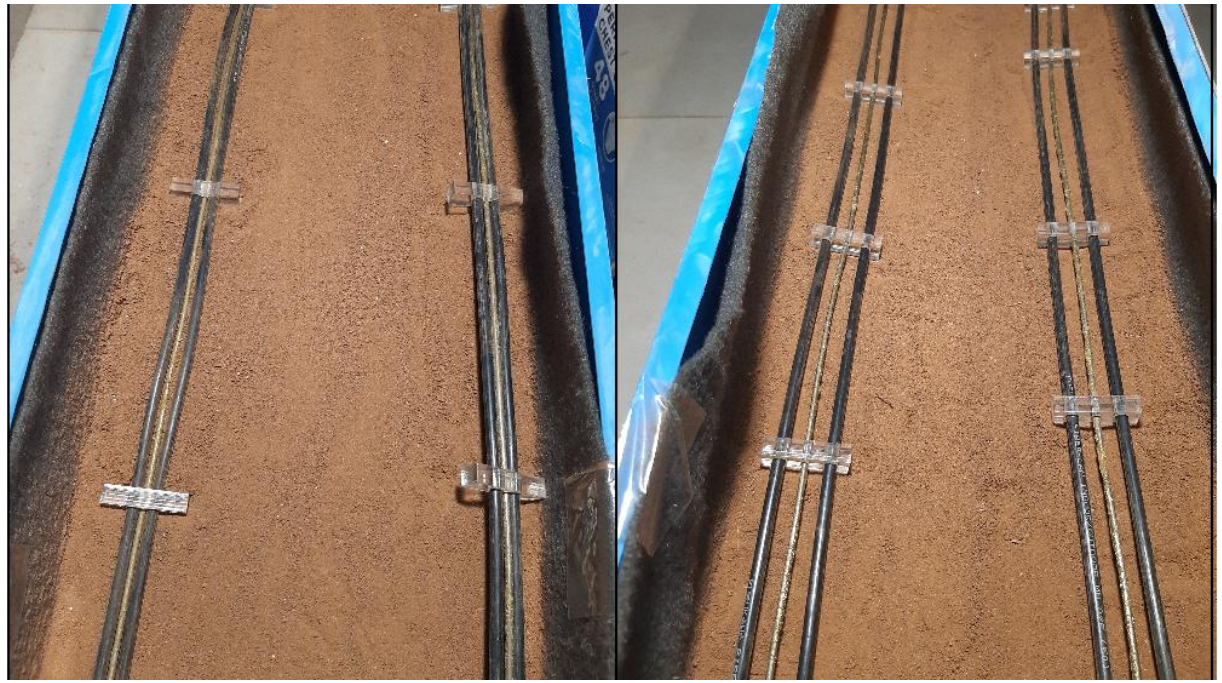
Materiais e Métodos

- Sistema de medição de temperatura;
- Sistema de aquecimento;
- Sistema de monitoramento da umidade do solo.



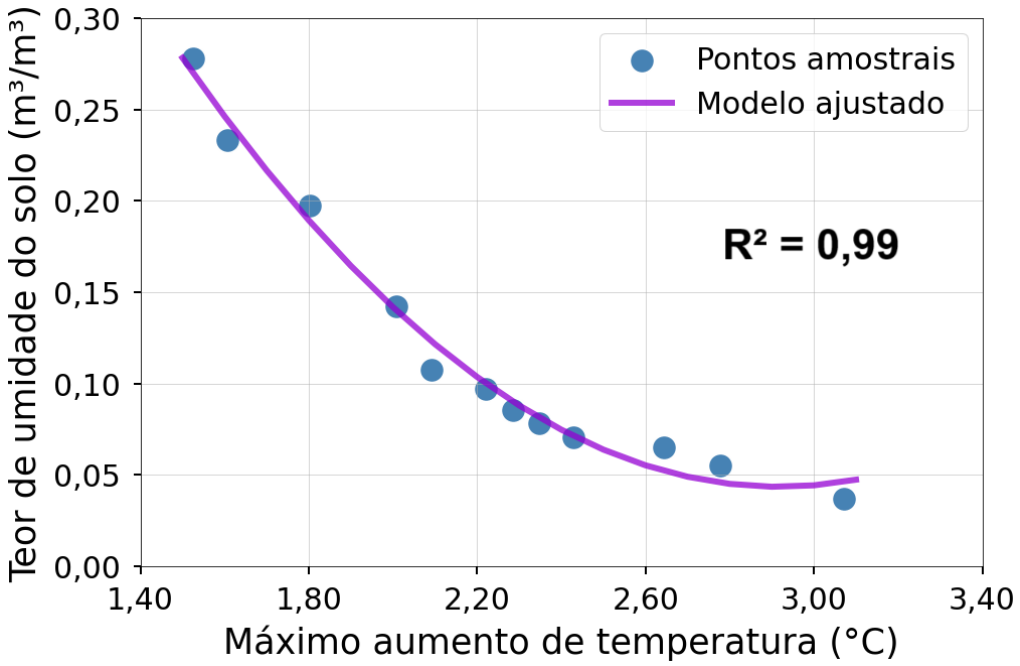
Materiais e Métodos

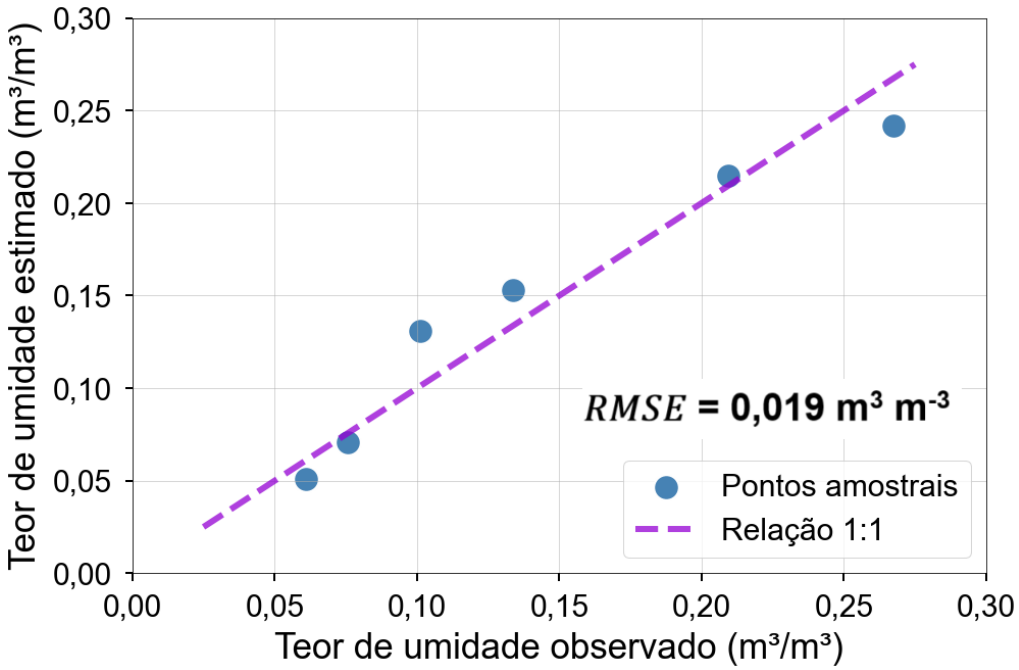
- Dois modelos físicos experimentais foram construídos;
- Solo com propriedades típicas de áreas tropicais.



Resultados e Discussão

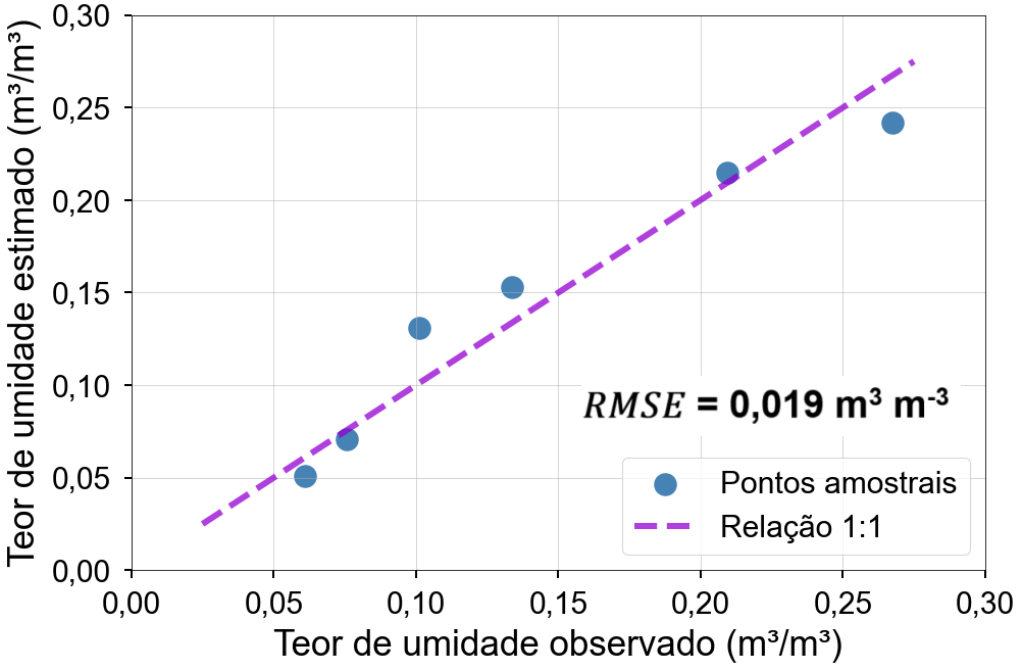
- **Abordagem da calibração direta.**

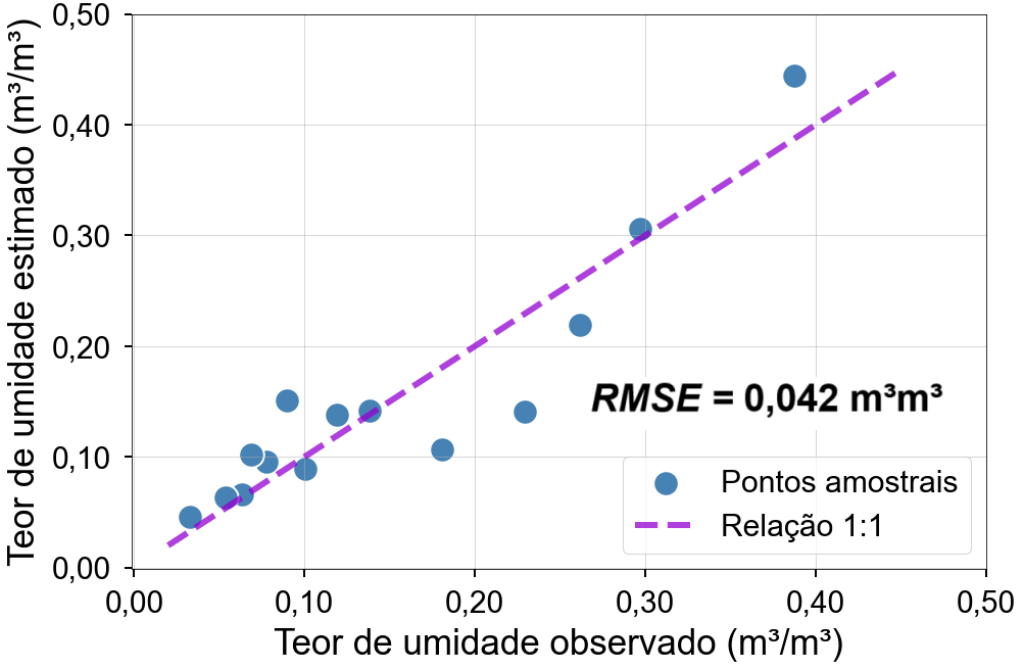




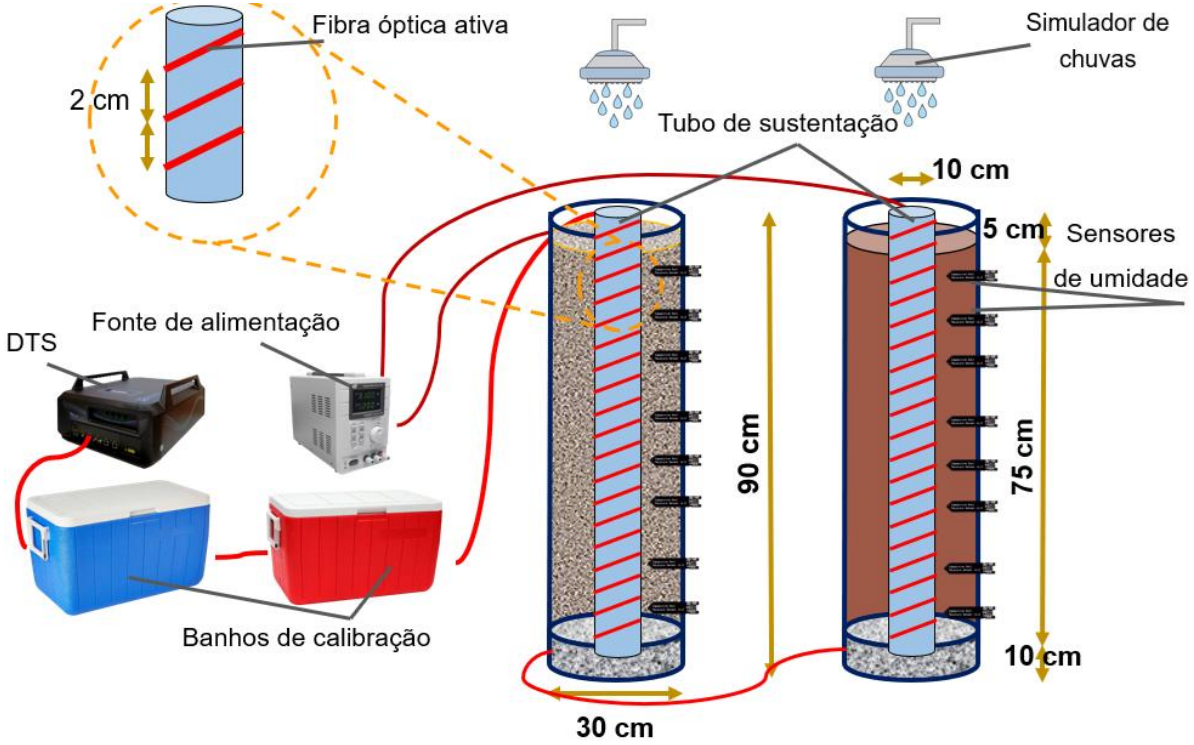
Resultados e Discussão

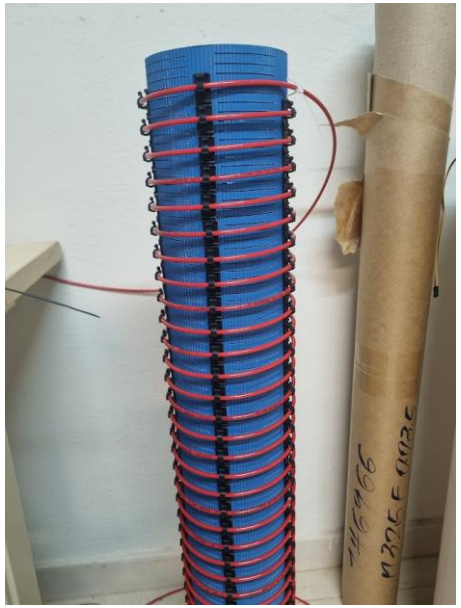
Abordagem da calibração direta **VS.** **Abordagem do calor específico**

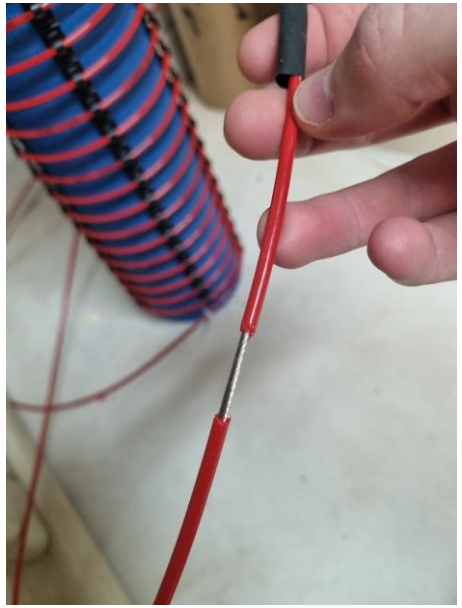




Próximos Passos







“Elementos terras-raras e isótopos estáveis na avaliação da origem das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público”

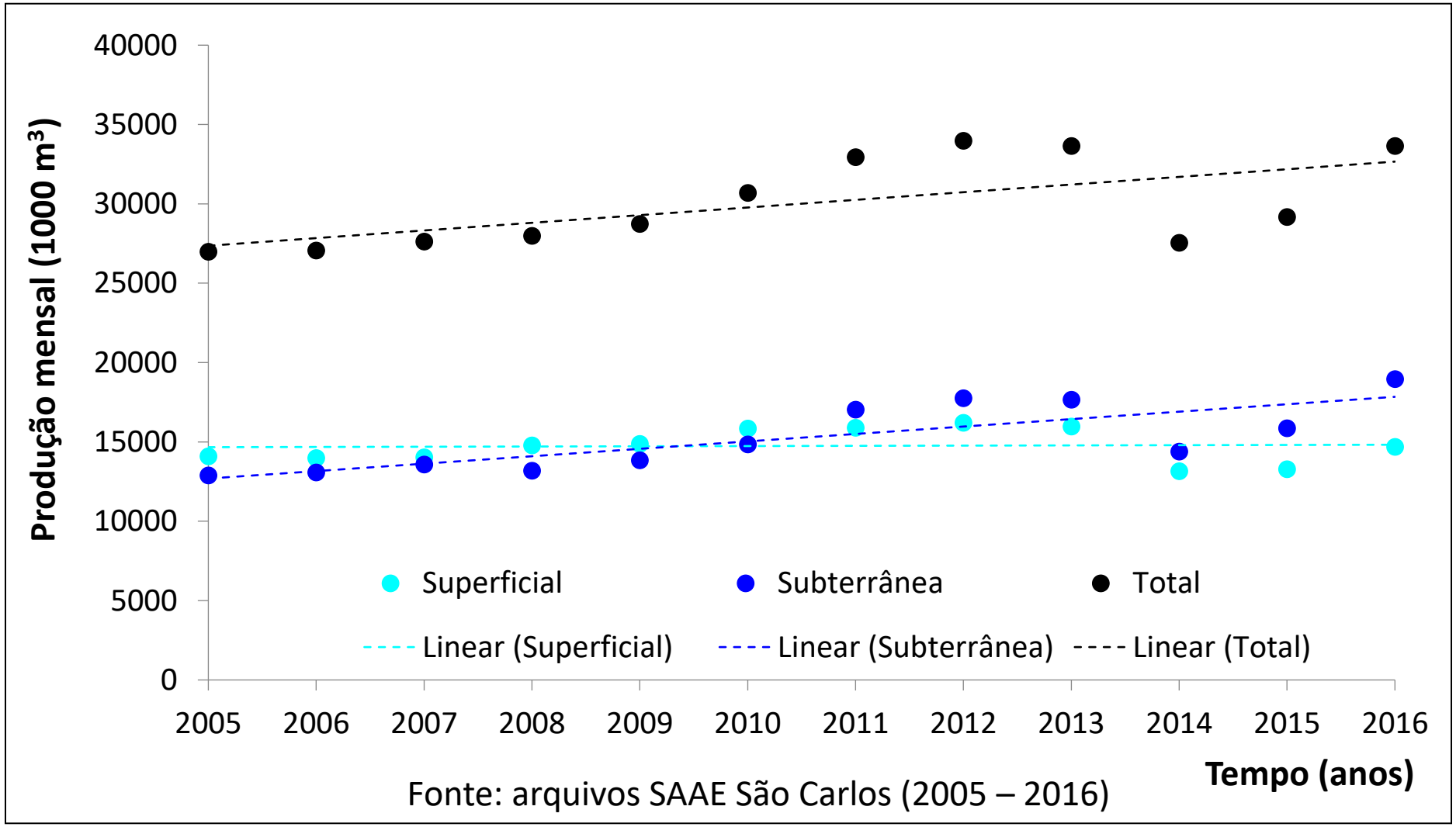
(CNPq Chamada Universal 427579/2016-3)

Cooperação SAAE São Carlos e USP

Dra. Camila Marcon de Carvalho Leite – PPGSHS

2019

Contextualização



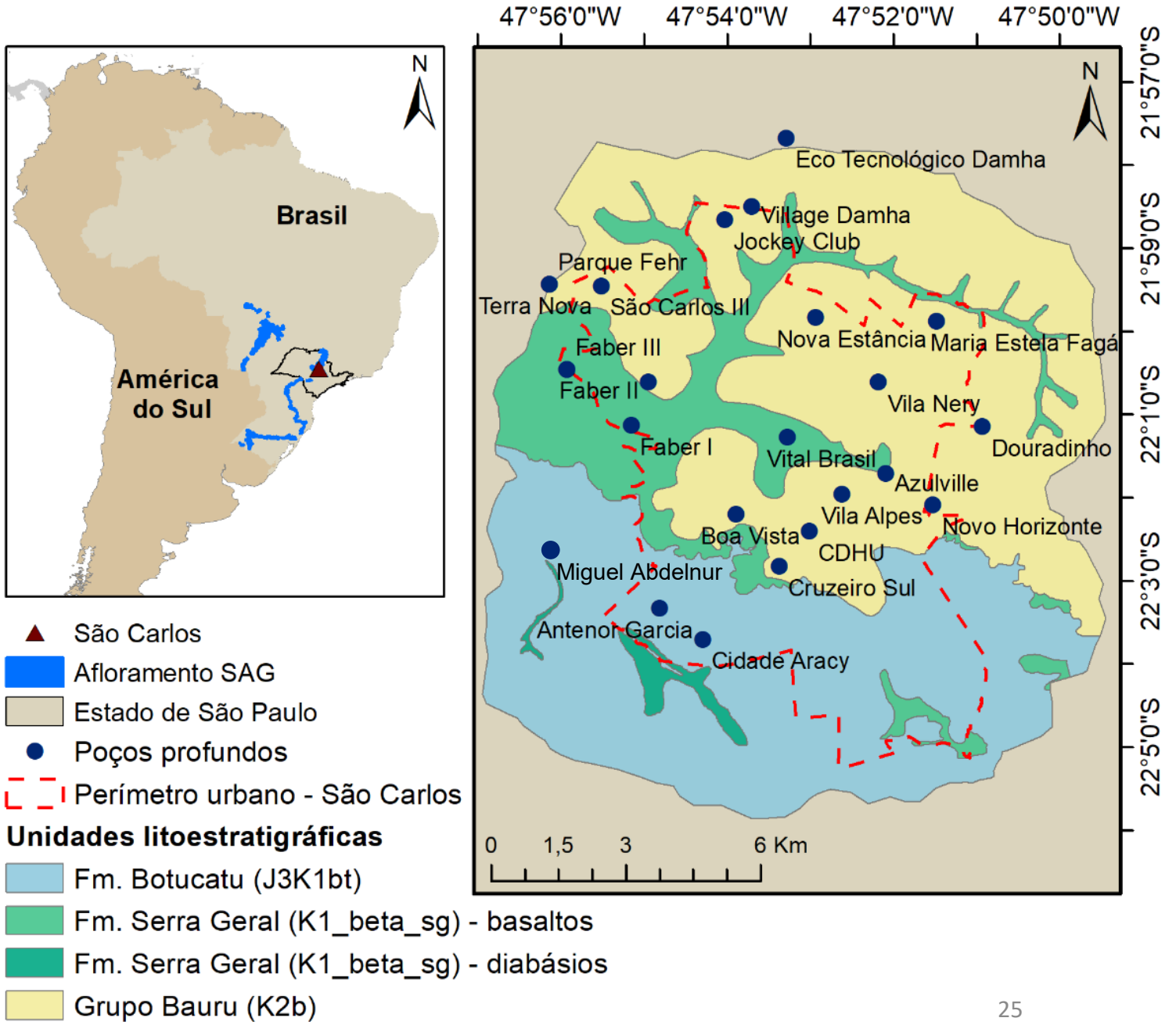
62%

38%

2025

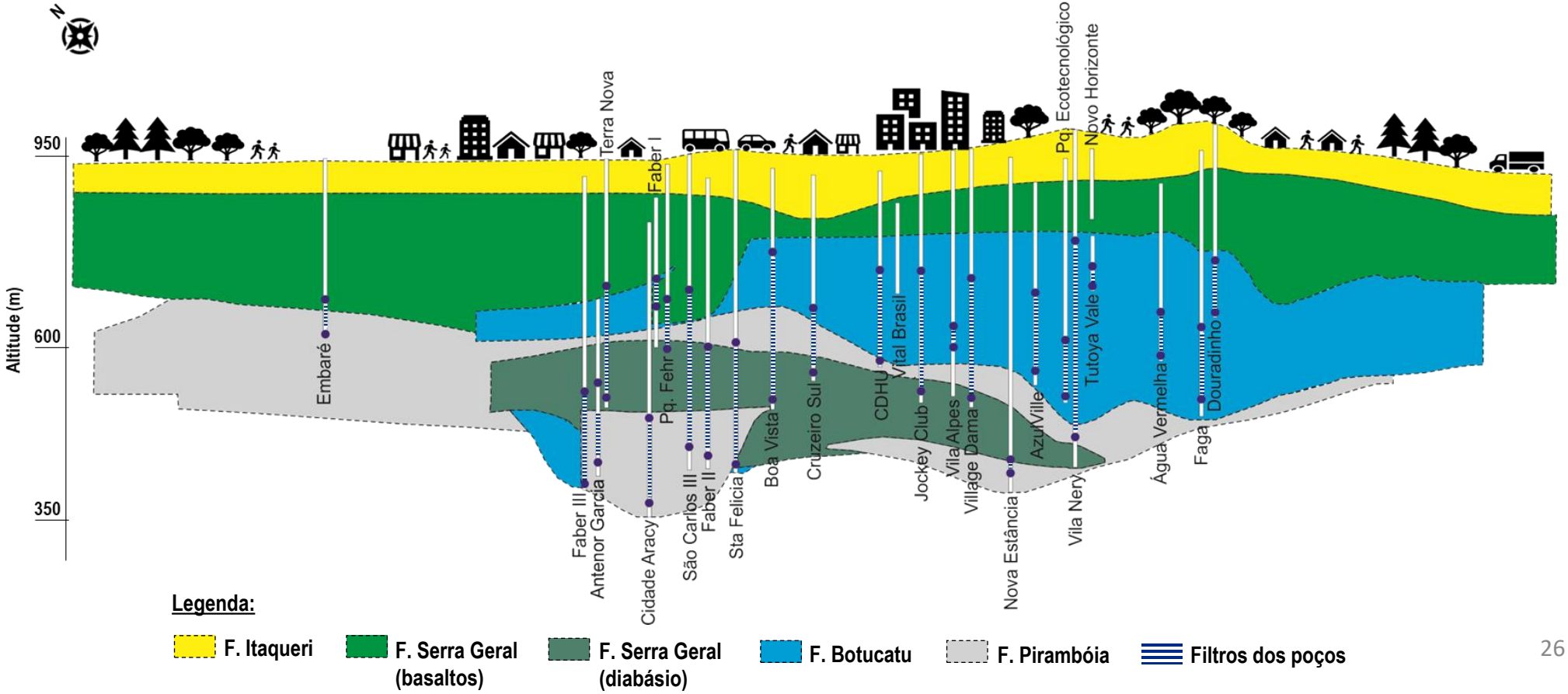
Área de Estudo

- Área urbana de São Carlos;
- Sistema Aquífero Guarani (SAG);
- Formações Geológicas;
- 32 Poços de Abastecimento público – SAAE;



Área de Estudo – Heterogeneidade Geológica

- As águas subterrâneas são provenientes principalmente do SAG;
- Apresentam composições hidroquímicas distintas;
- Possibilidade de **mistura** das águas subterrâneas.



Objetivos

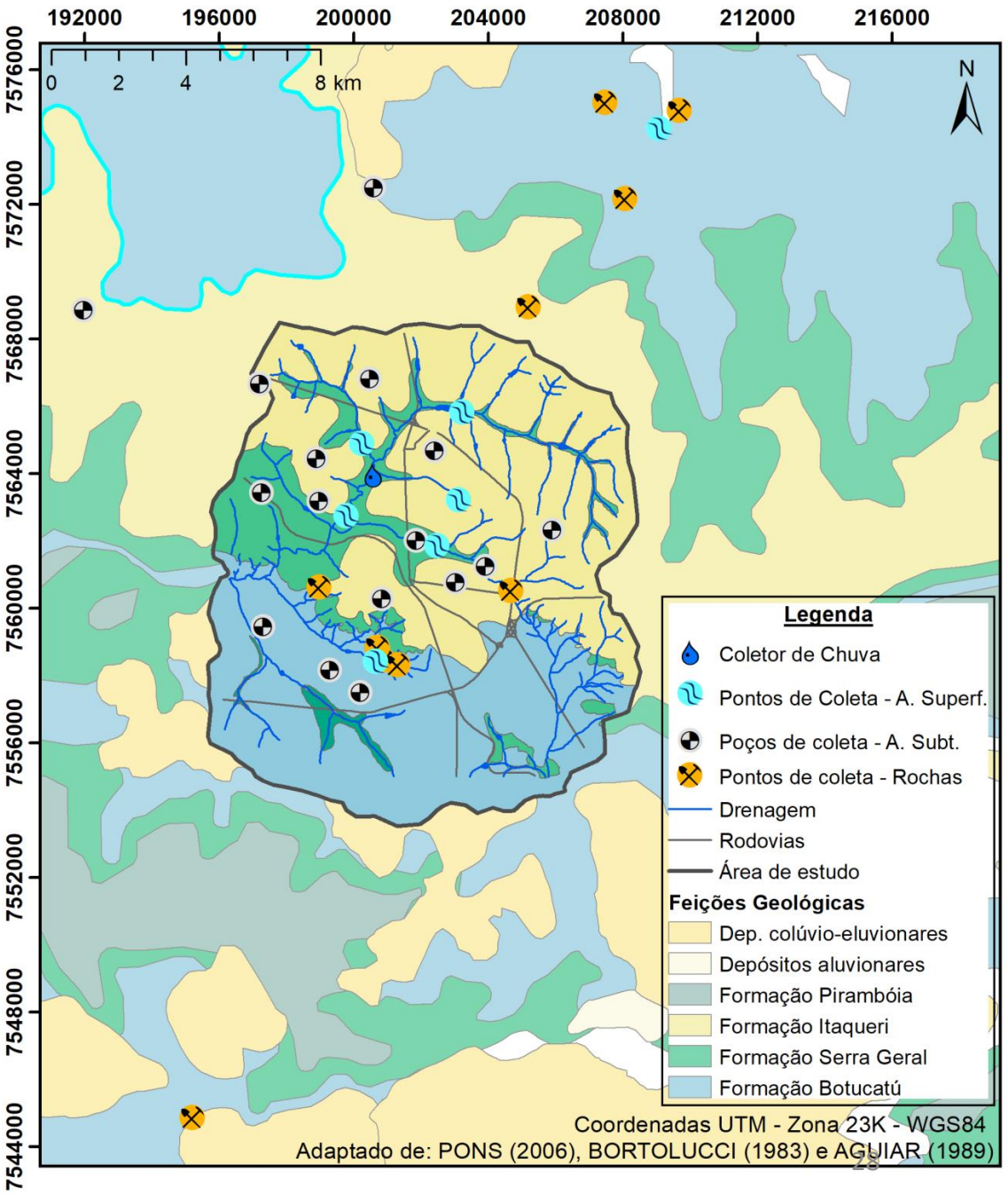
- Caracterizar e classificar as águas subterrâneas provenientes de diferentes formações;
- Identificar diferentes origens das águas subterrâneas utilizando traçadores naturais;
- Avaliar possíveis condições de mistura entre águas subterrâneas;
- Estimar idade relativa das águas subterrâneas.

Etapas de Campo

- **Águas Subterrâneas**: 8 campanhas de coleta

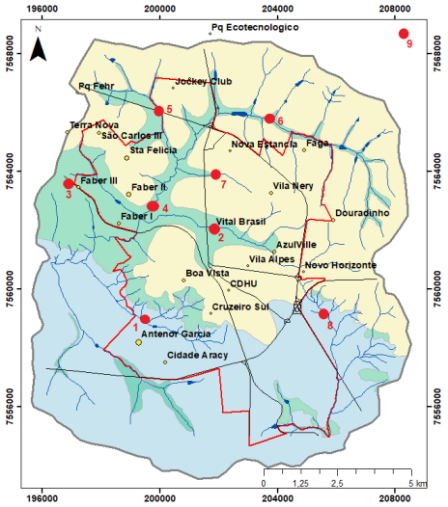
  (parâmetros medidos em campo: pH, CE, temperatura, Eh);
- **Águas Superficiais**

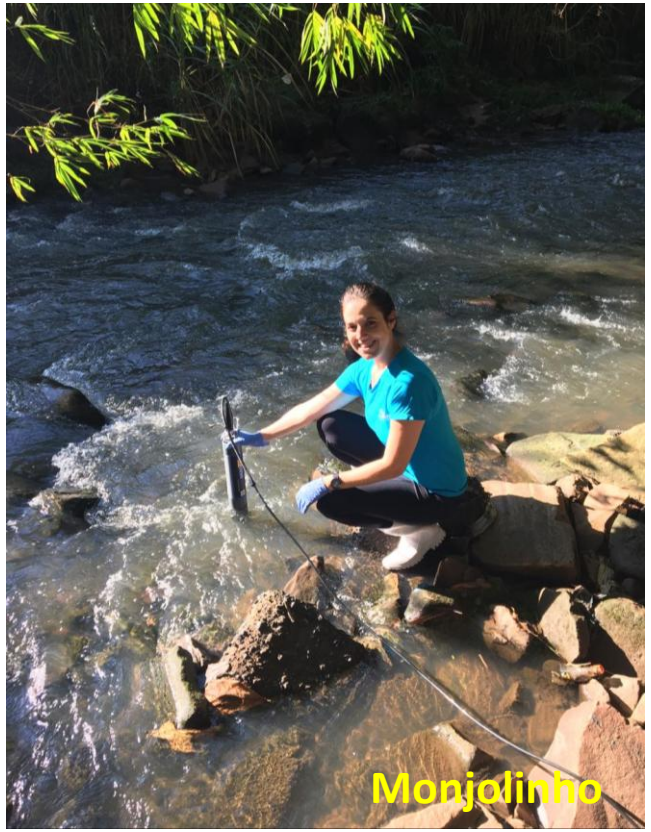
  (principais rios e córregos);
- Amostragem de **Rochas**;
- **Águas de Precipitação**: coletas mensais.



Etapa de Campo – Águas de precipitação
Coletor de chuvas

Etapa de Campo – Rios e córregos





Etapa de Campo – Águas Subterrâneas

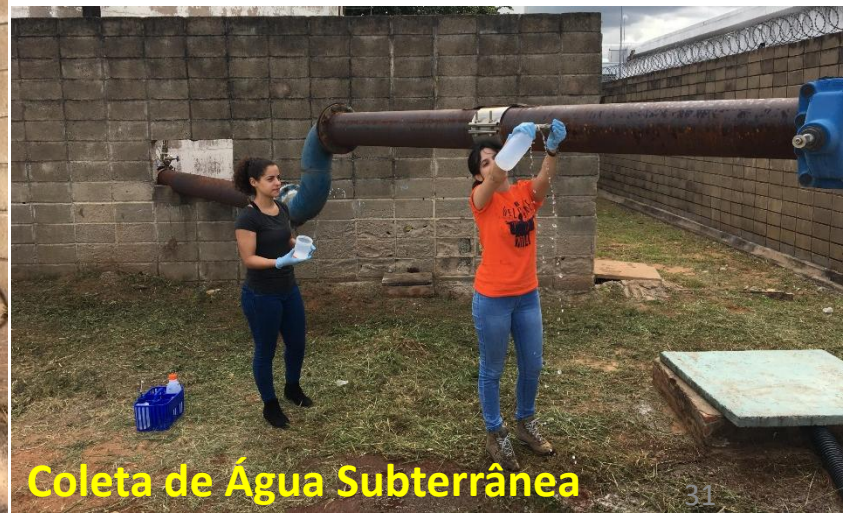
Poço Boa Vista

Mª Estela Fagá

Filtração em campo

Cidade Aracy

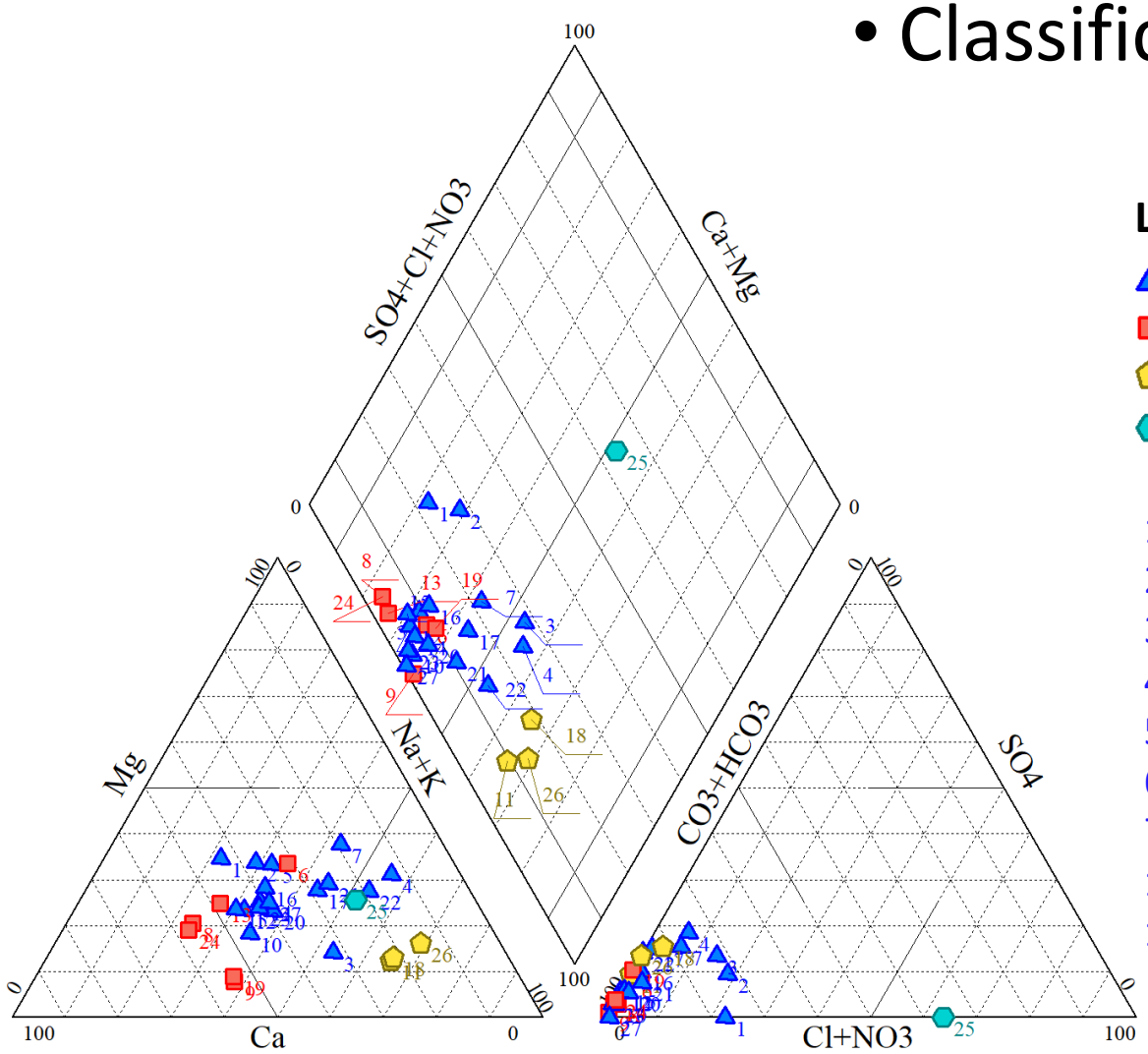
Sonda Multiparâmetros Faber II


Coleta de Água Subterrânea

Amostragem de Rochas

Resultados e Discussão - hidroquímica

- Classificação das águas subterrâneas



LEGENDA

- Mistas Bicarbonatadas
- Cálcicas Bicarbonatadas
- Sódicas Bicarbonatadas
- Sódica Cloretada

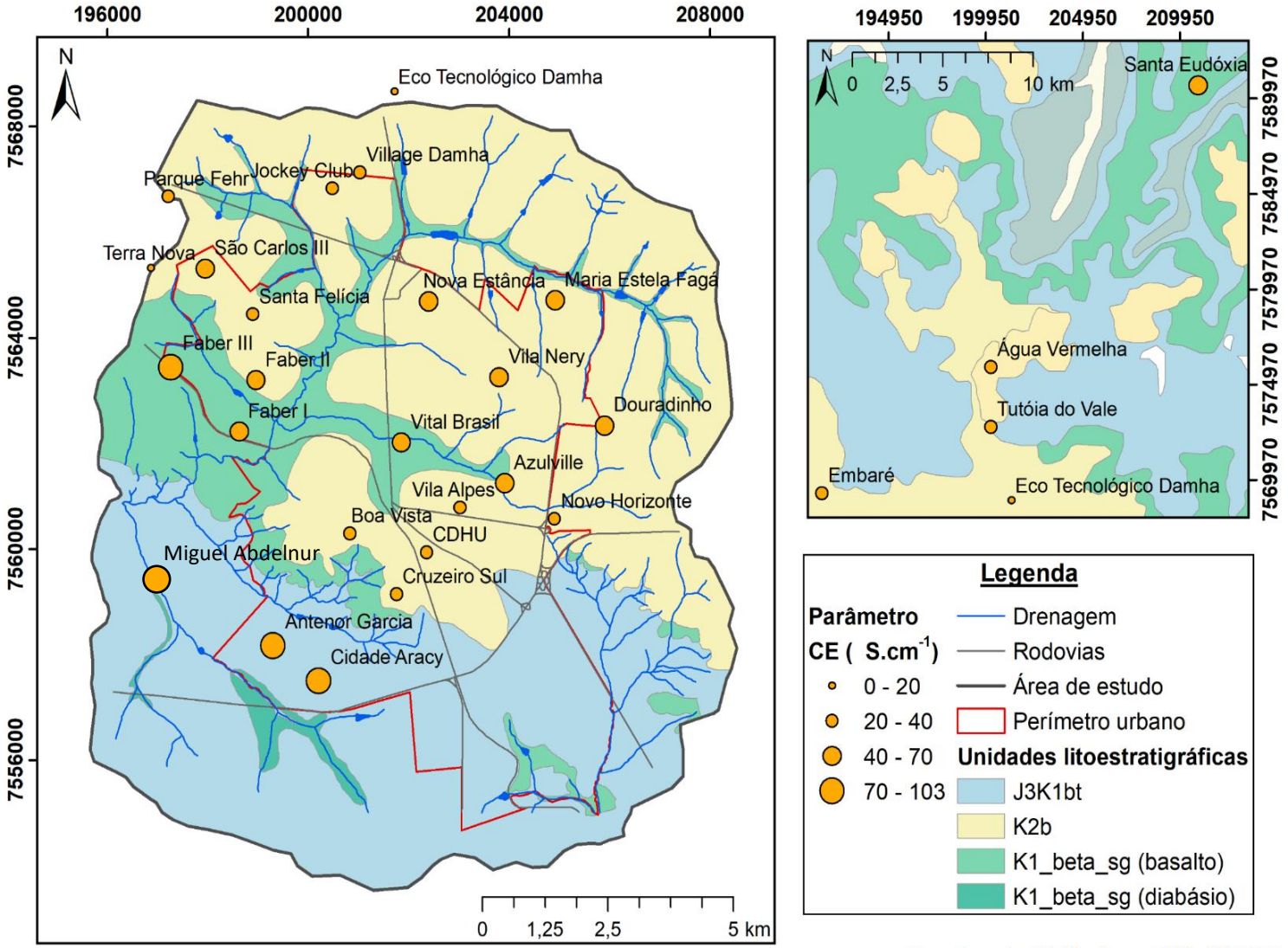
1 – Vital Brasil
2 – Azulville
3 – Vila Alpes
4 – CDHU
5 – Vila Nery
6 – Douradinho
7 – Novo Horizonte
10 – Boa Vista
12 – Faber I
14 – Faber II
15 – Santa Felícia
16 – São Carlos III
17 – Terra Nova
20 – Nova Estância
21 – Jockey Club
22 – Village Dahma
23 – Santa Eudóxia
27 – Maria Estela Fagá
8 – Cidade Aracy
9 – Antenor Garcia
13 – Faber III
19 – Embaré
24 – Água Vermelha
11 – Cruzeiro do Sul
18 – Parque Fehr
26 – Eco Tecnológico Dahma
25 – Tutóia do Vale

Resultados e Discussão

- Mapas de distribuição:

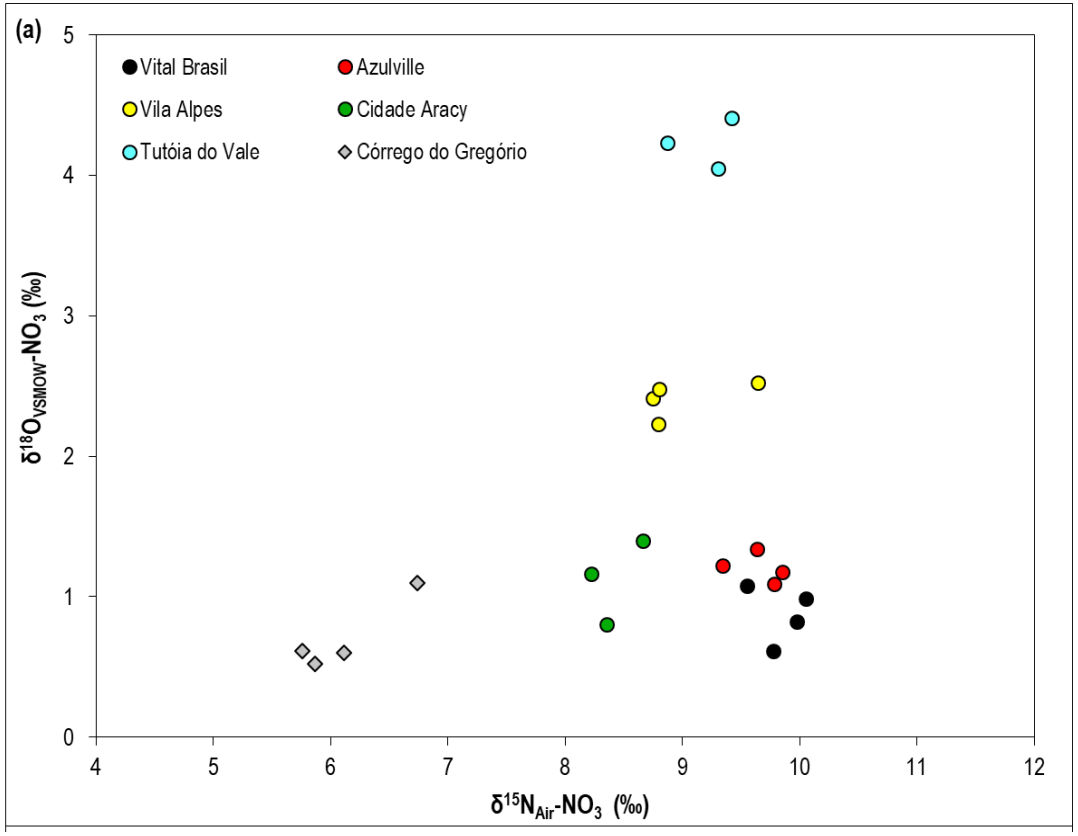
- Condutividade elétrica: mineralização das águas;

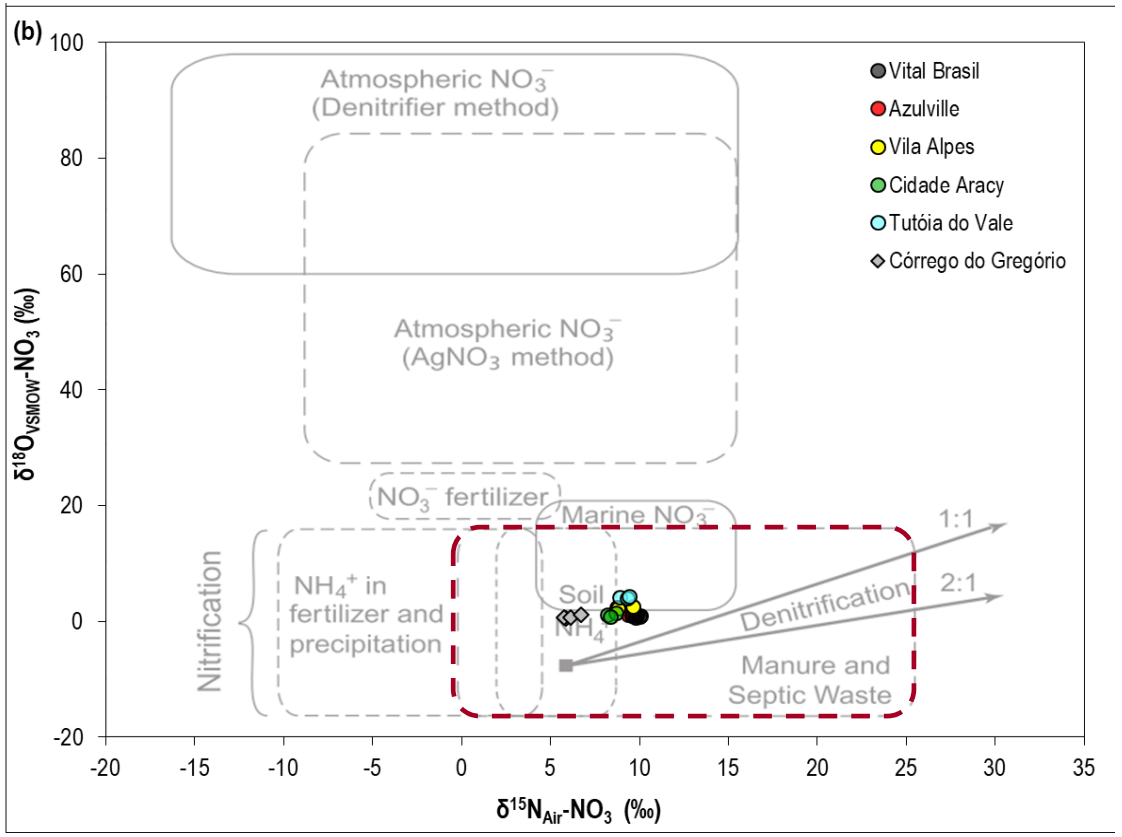
- Região Sul: águas mais mineralizadas;



Coordenadas UTM - Zona 23K - WGS84
Adaptado de: PONS (2006), BORTOLUCCI (1983) e AGUIAR (1989) e CPRM (2005)

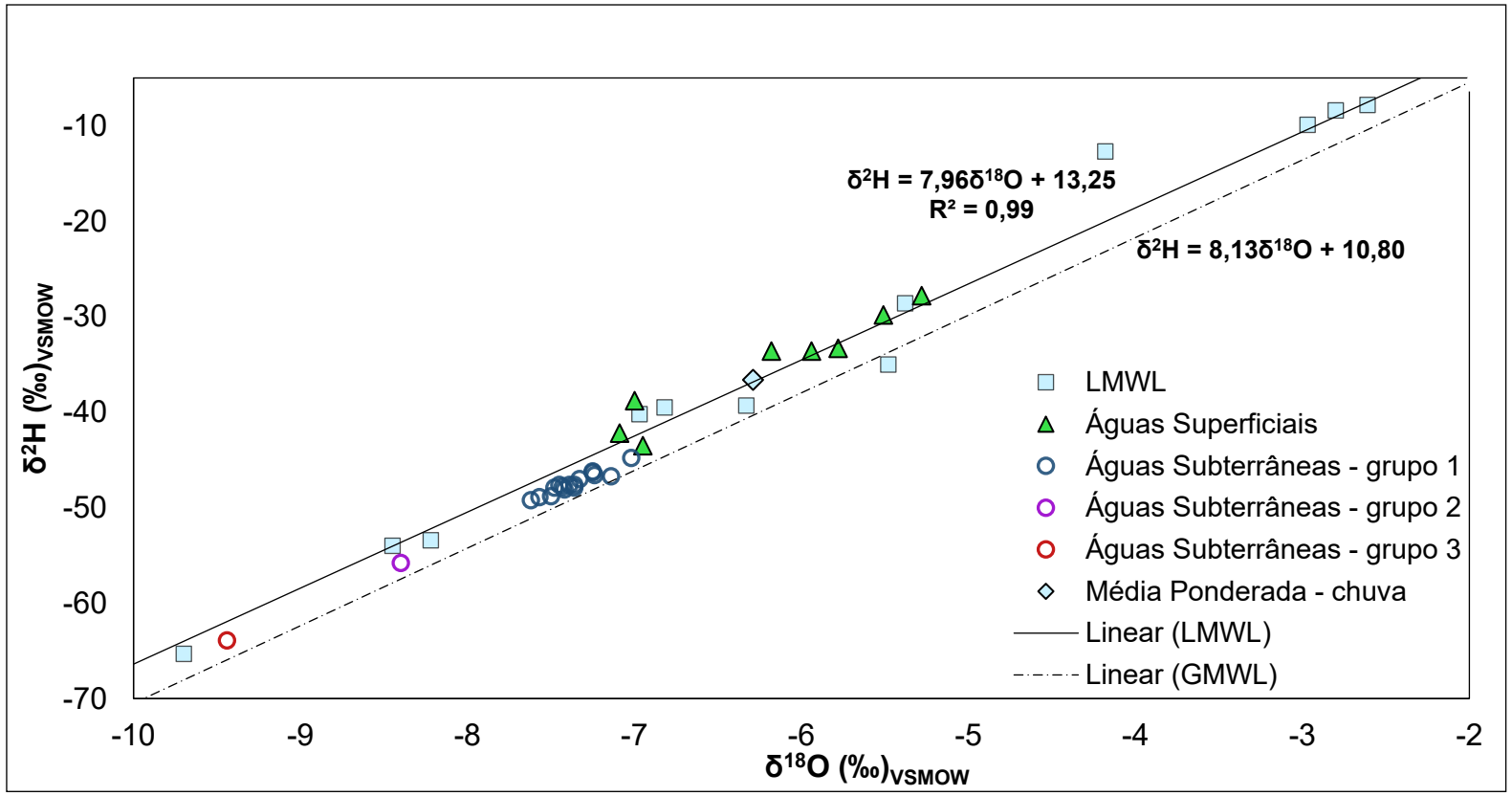
Resultados e Discussão – Traçador isotópico
Isótopos estáveis associados ao NO_3^-



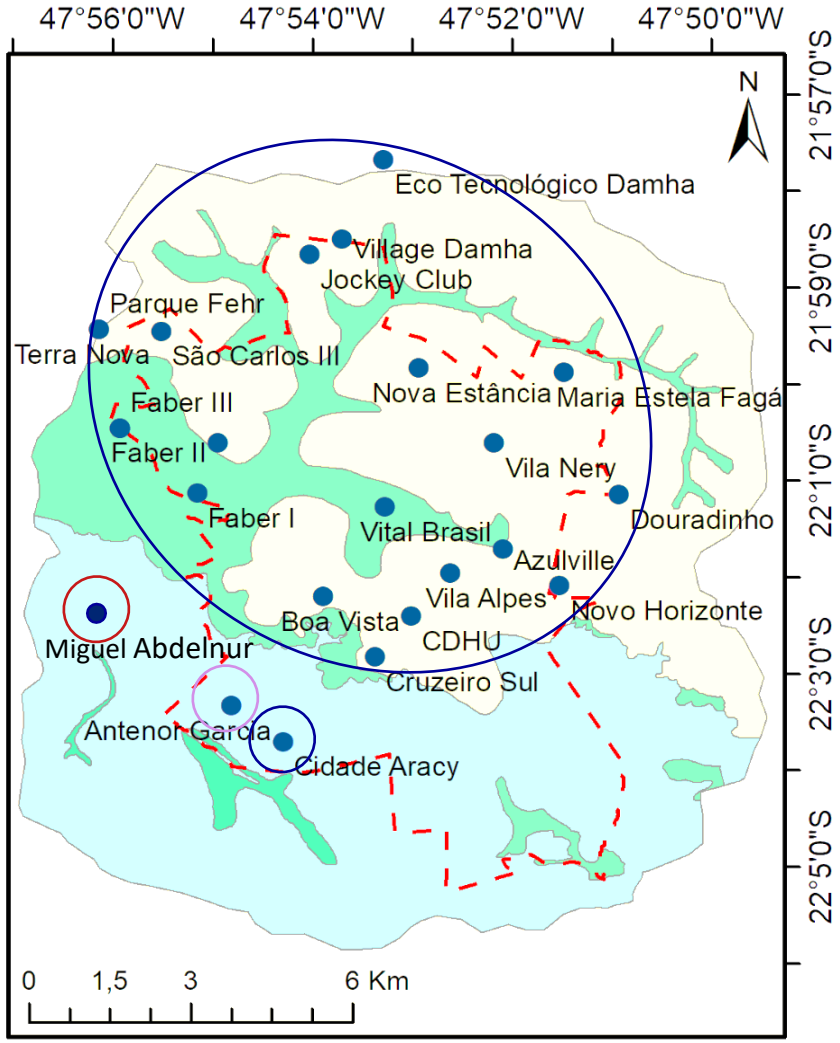


- Sinais isotópicos indicam fontes efluentes de **Fossas Sépticas;**
- Poços da região central **(Vital Brasil, Azulville e Vila Alpes)** – sinais isotópicos mais enriquecidos – relação com maiores concentrações de NO_3^-;

Resultados e Discussão – Traçador Meteórico
Isótopos Estáveis da Água



(Dados da GMWL são médias anuais de precipitação monitorados pela IAEA)



Grupo (I)
Águas meteóricas
Recarga água da chuva ???

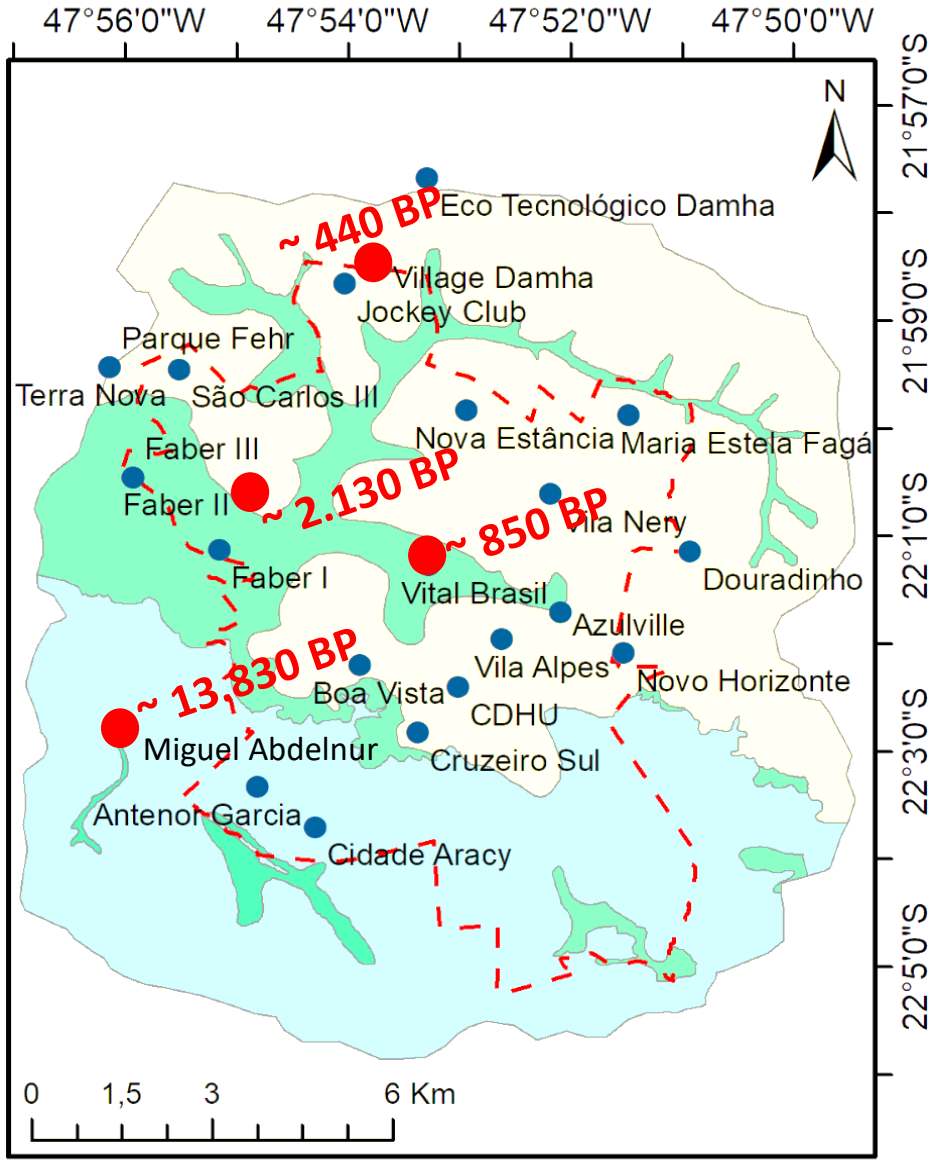
Grupo (II)
Poço Antenor Garcia
Caract. Intermediárias
Mistura ???

Grupo (III)
Poço Miguel Abdelnur
Águas mais depletadas
Mais antigas ???

Resultados e Discussão – Idade relativa

- Medida de radiocarbono equivalente (^{14}C) nas águas subterrâneas (4 pontos);
- Dados reportados em RCYBP – *"Radio Carbon Years Before Present"*

  "present: 1950";
- Amostras de águas subterrâneas apresentam diferentes idades relativas, indicando diferentes **condições de recarga, fluxo** e possibilidades de **mistura**.



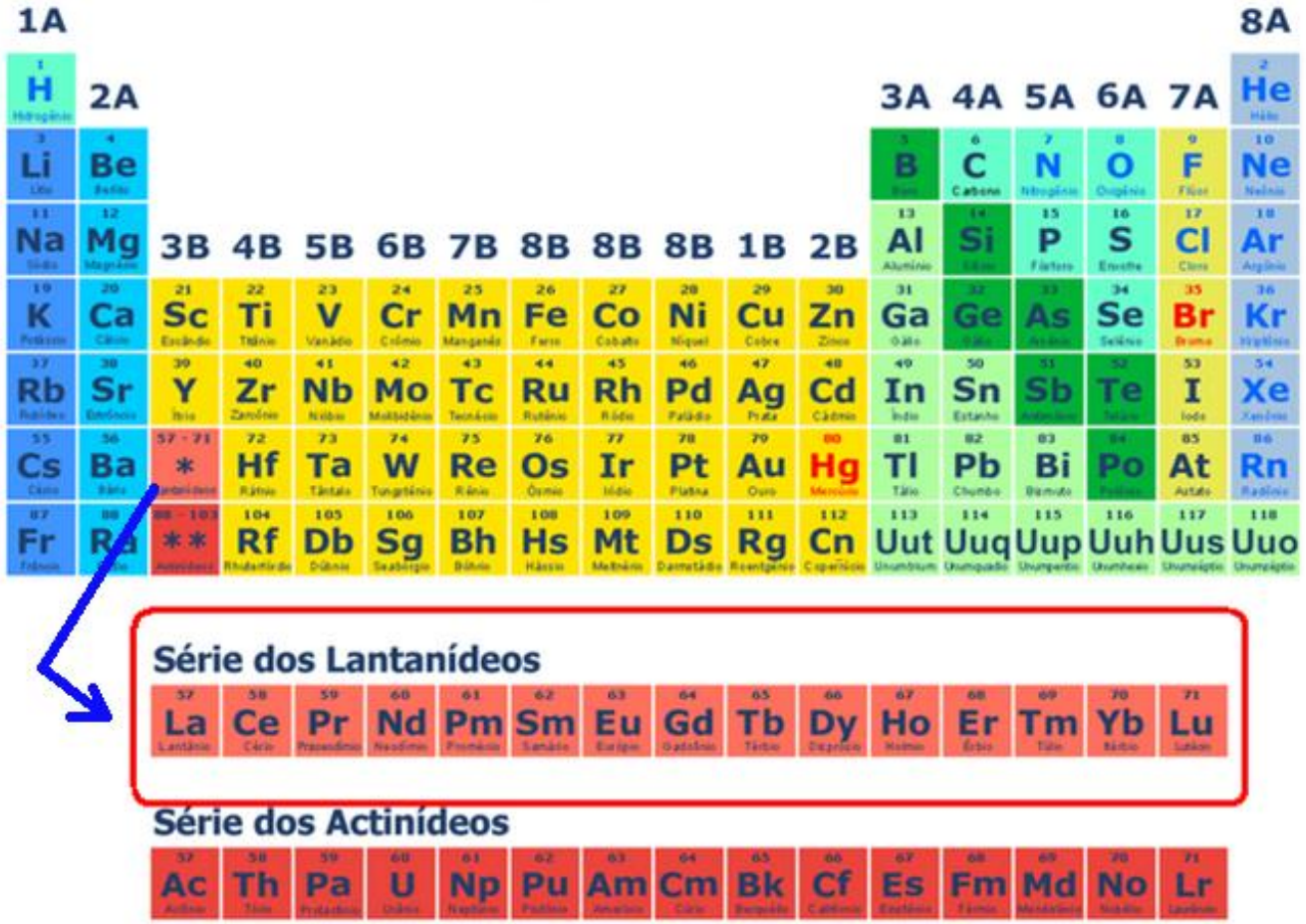
Resultados e Discussão – Traçador Geológico

- **ELEMENTOS TERRAS-RARAS** (ETR):
- Distribuição dos ETR no mundo;
- Série dos Lantanídeos;

Tabela. Reservas e produção mineral de ETR no mundo

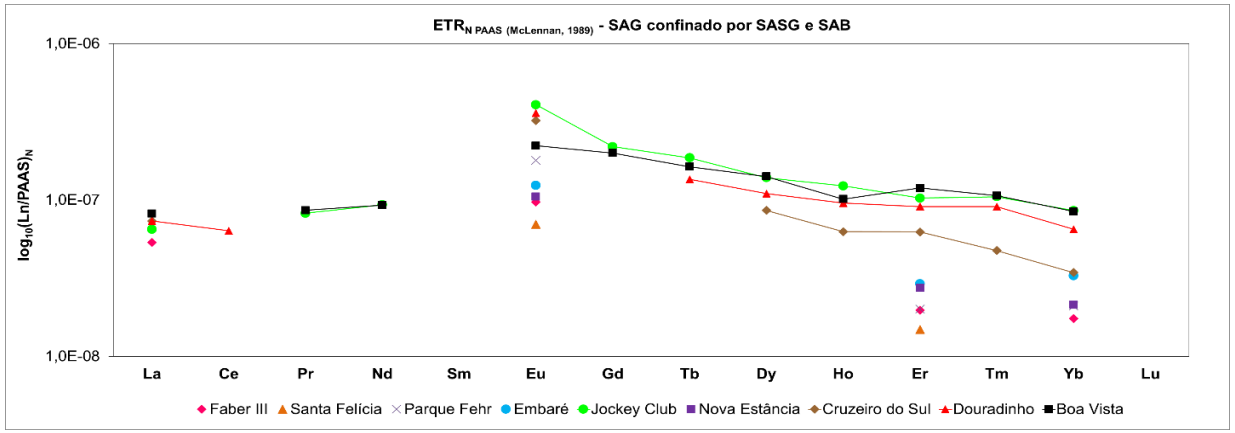
		Produção mineral	
Países	**Reservas**	**2017**	**2018**
	..... toneladas		
China	44.000.000	105.000	120.000
Brasil	22.000.000	1.700	1.000
Vietnã	22.000.000	200	400
Rússia	12.000.000	2.600	2.600
Índia	6.900.000	1.800	1.800
Austrália	3.400.000	19.000	20.000
EUA	1.400.000	-	15.000
Malásia	30.000	180	200
Myanmar	n.d.	n.d.	5.000
Burundi	n.d.	-	1.000
Tailândia	n.d.	1.300	1.000
Outros	4.400.000	-	-
Total mundial	116.130.000	131.780	168.000

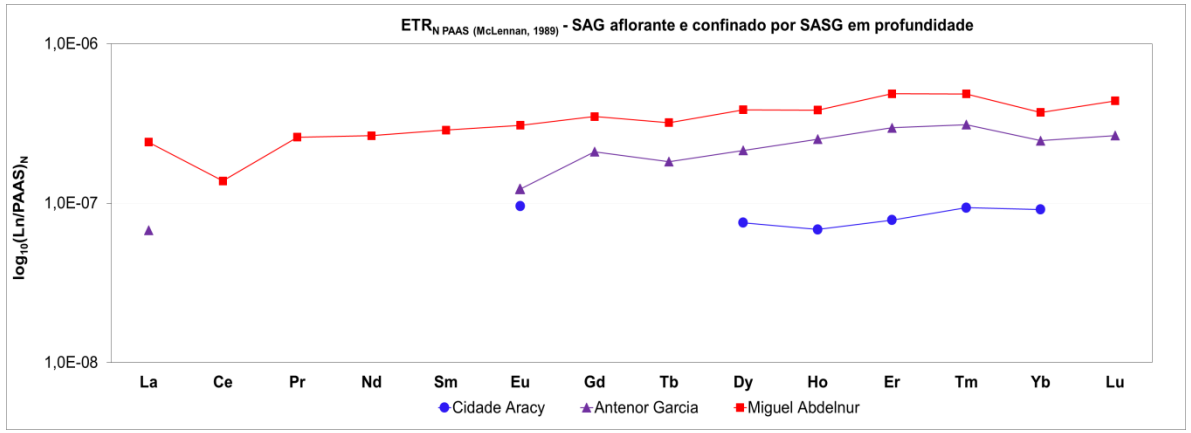
(Fonte: USGS, 2019)

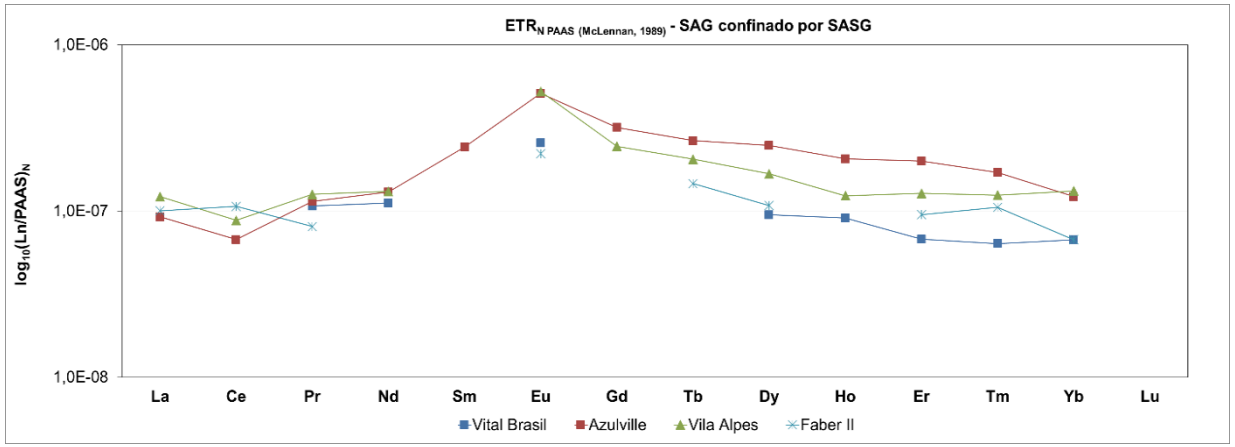


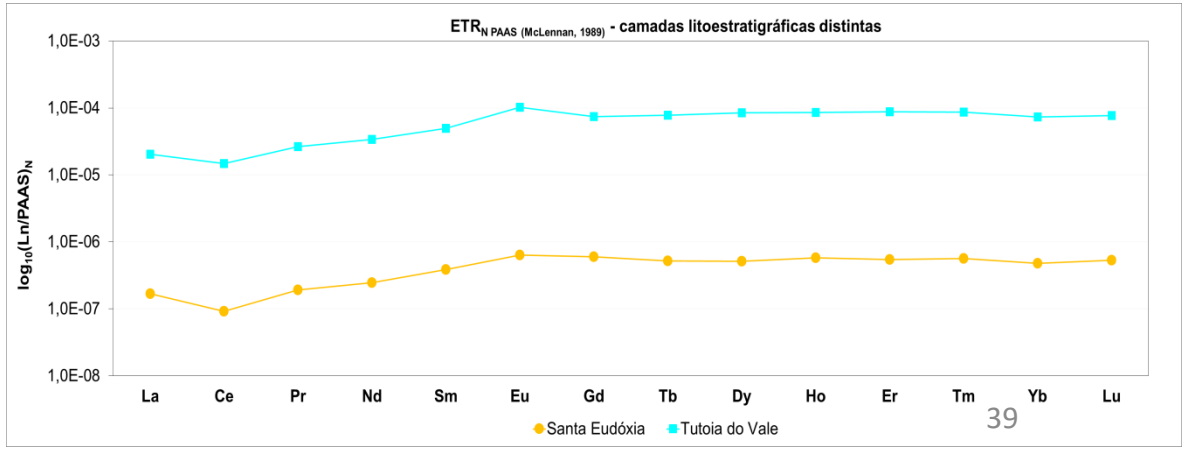
Resultados e Discussão – Traçador Geológico ETR

- Águas subterrâneas apresentam 4 comportamentos distintos de abundância e assinatura dos elementos terras-raras indicando diferentes formas de interação água-rocha, promovidas pelas condições de confinamento e características hidroquímicas.









Take home messages

- A temperatura da água pode ser usada como traçador da interação rio-aquífero e da umidade no solo;
- Isótopos estáveis podem indicar a idade, a origem da água e de eventuais fontes de contaminação;
- Elementos terras raras (ETR) podem indicar a interação da água com as rochas ou sedimentos percolados.

Agradecimentos

- Instituições colaboradoras:

COMITÊS PCJ

FAPESP

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

GEOCIÊNCIAS USP

IG

UNICAMP

SAAE
Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SÃO CARLOS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CÂMPUS DE RIO CLARO
unesp

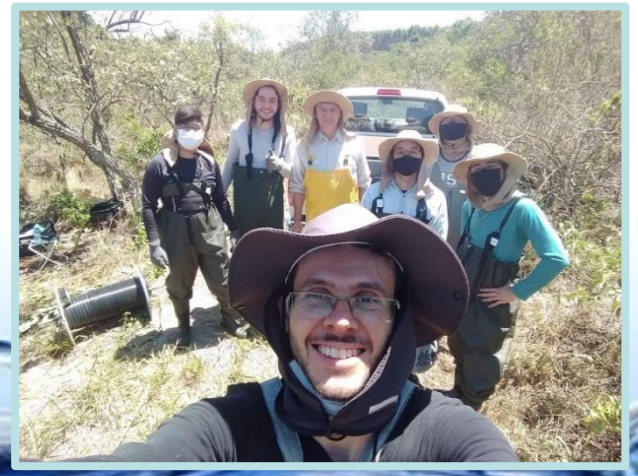
OKAYAMA UNIV.

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

DAEE
Araraquara

Team work



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

Realização: CT-AS, Comitês PCJ
Apoio: PCJ, CT-Indústria, CT-MH, AgSolve, GeoAcqua, edisonda, HIDRO LICENÇAS, Unipar, General Water, SigeSp, Hidrostudio

Evoluções recentes em estudos hidrogeológicos com traçadores naturais

Edson Wendland
Universidade de São Paulo

14/11/2025

EESC · USP
SHS Departamento de Hidráulica e Saneamento
shs.eesc.usp.br