



WORKSHOP - GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS

Interação Água Superficial e Subterrânea no Sistema Aquífero Urucuia

Chang, Hung Kiang
LEBAC/UNESP



Interação Água Superficial e Subterrânea no Sistema Aquífero Urucuia

BASE DE DADOS

- Consórcio ENGECORPS/WALM (Contrato nº 015/ANA/2011)
- UNESP/LEBAC (TCCs / 2013-2014)

Levantamentos Geológicos de Campo

Levantamento e Cadastramento de Poços

Levantamentos Geofísicos (ER, TDEM, GRAV)

Levantamentos Flúvio-Pluviométricos

Análises Químicas e Isotópicas das Águas

Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos

Modelo Conceitual e Simulação Numérica



Sistema Aquífero Urucuia:

Sub-bacia Urucuia

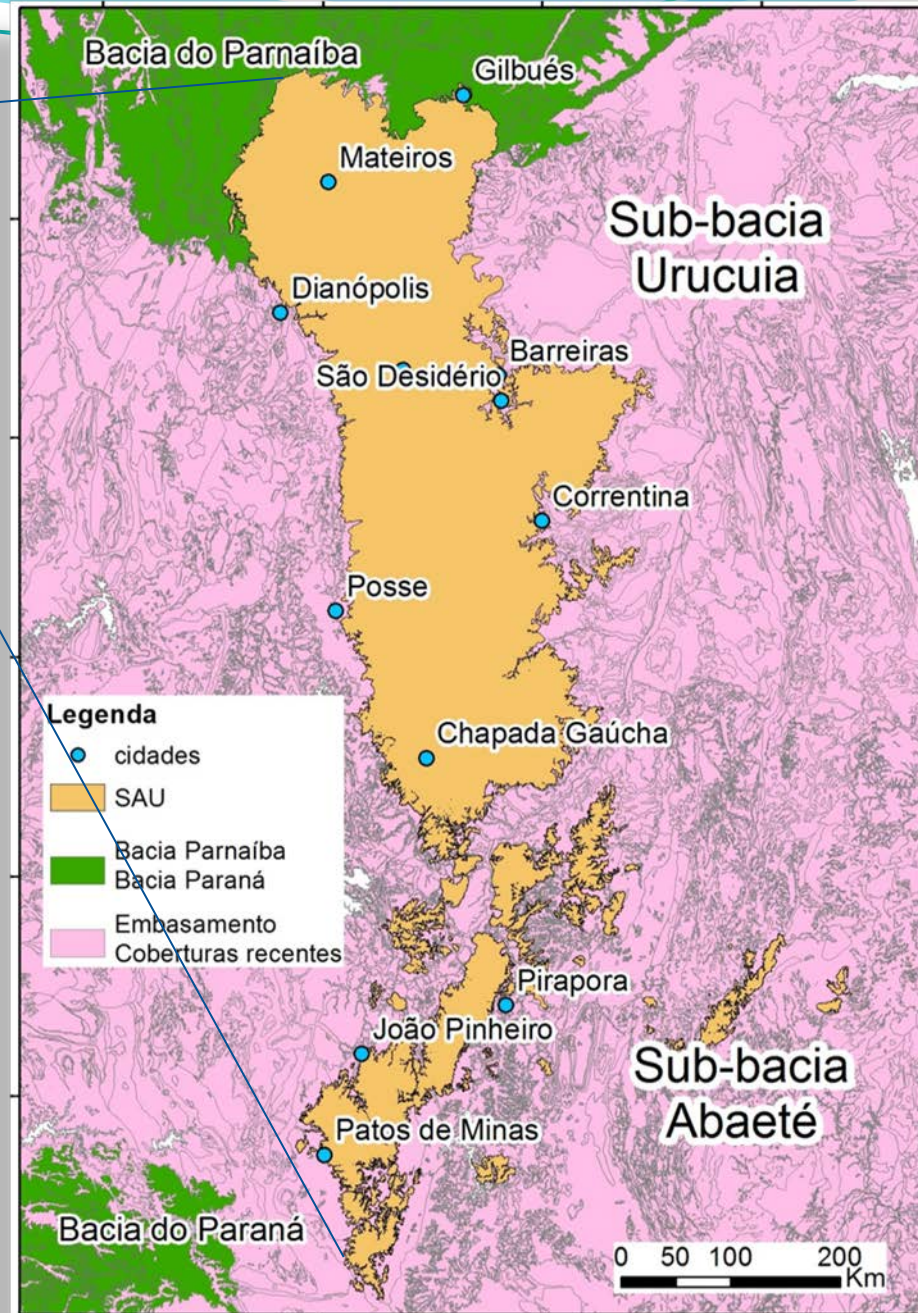
- **Grupo Urucuia**

Sub-bacia Abaeté

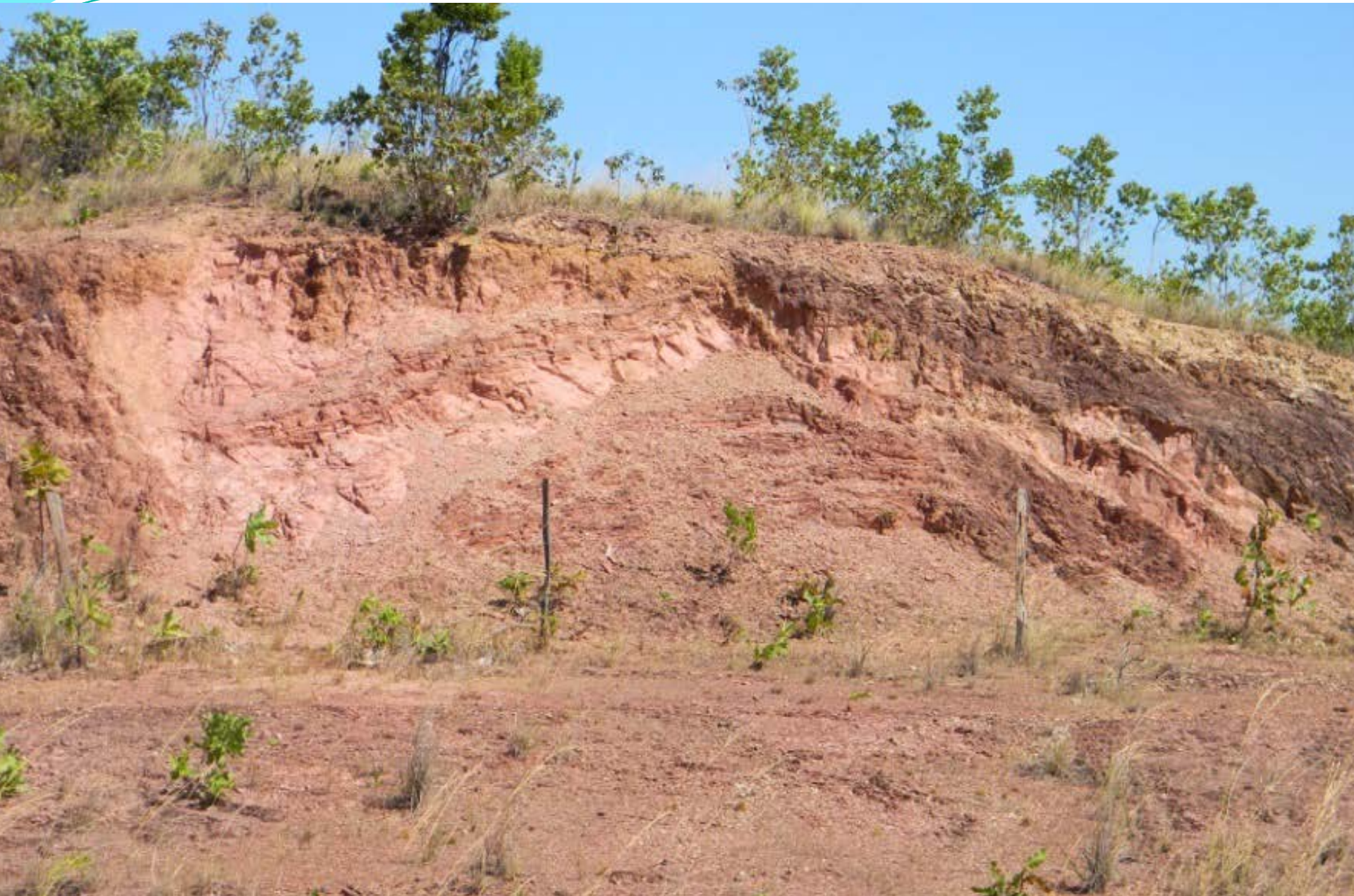
- **Grupo Areado**

Substrato do aquífero

- **Metassedimentos**
- **Bacia do Parnaíba**















Levantamentos Geológicos de Campo

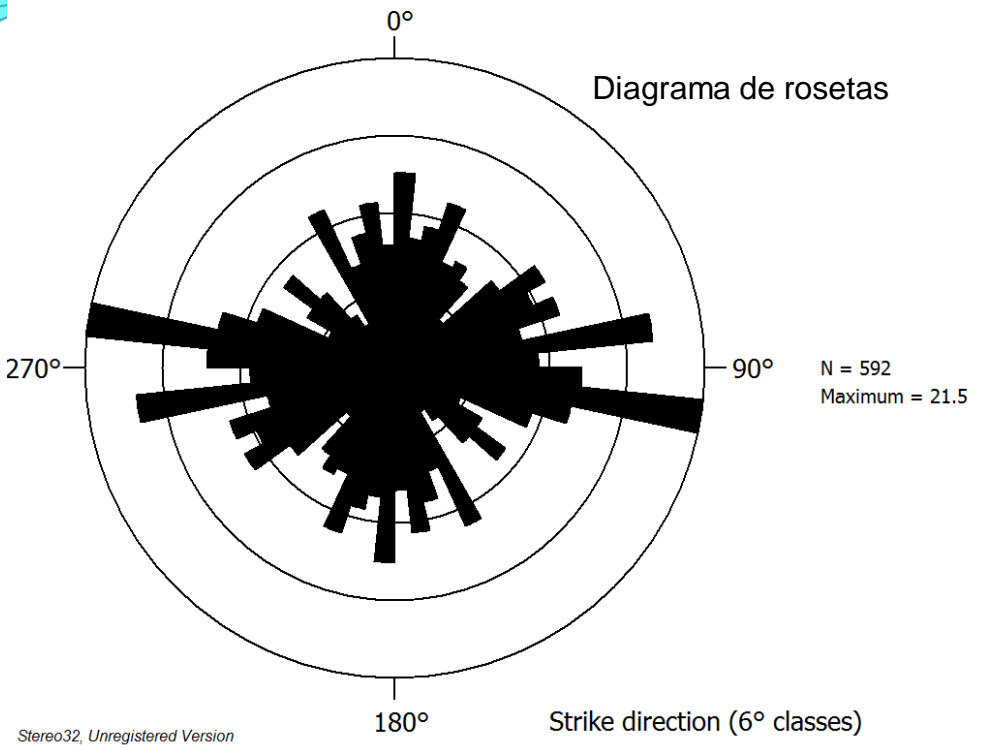
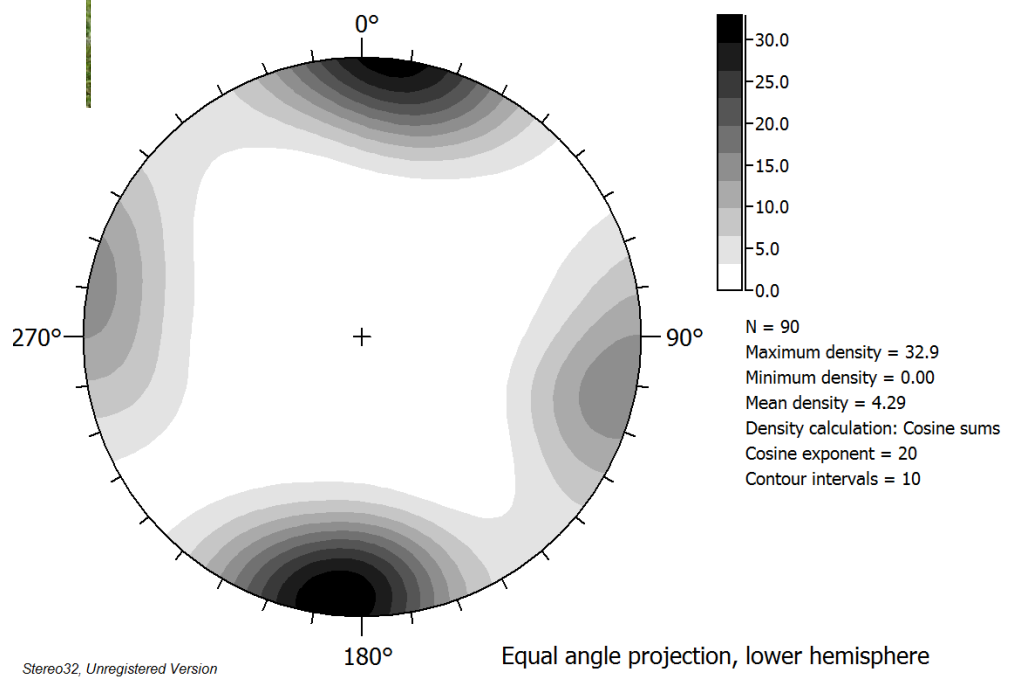
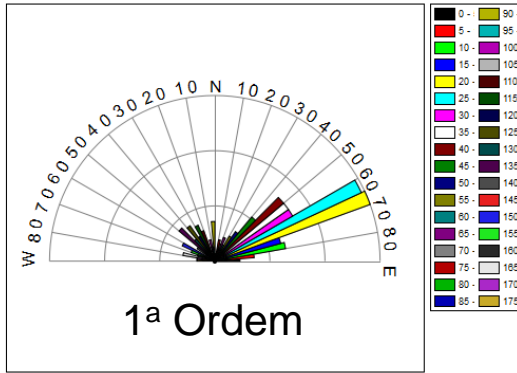


Diagrama de Schmitd-Lambert

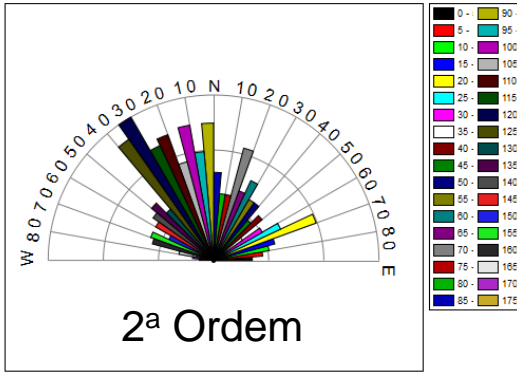




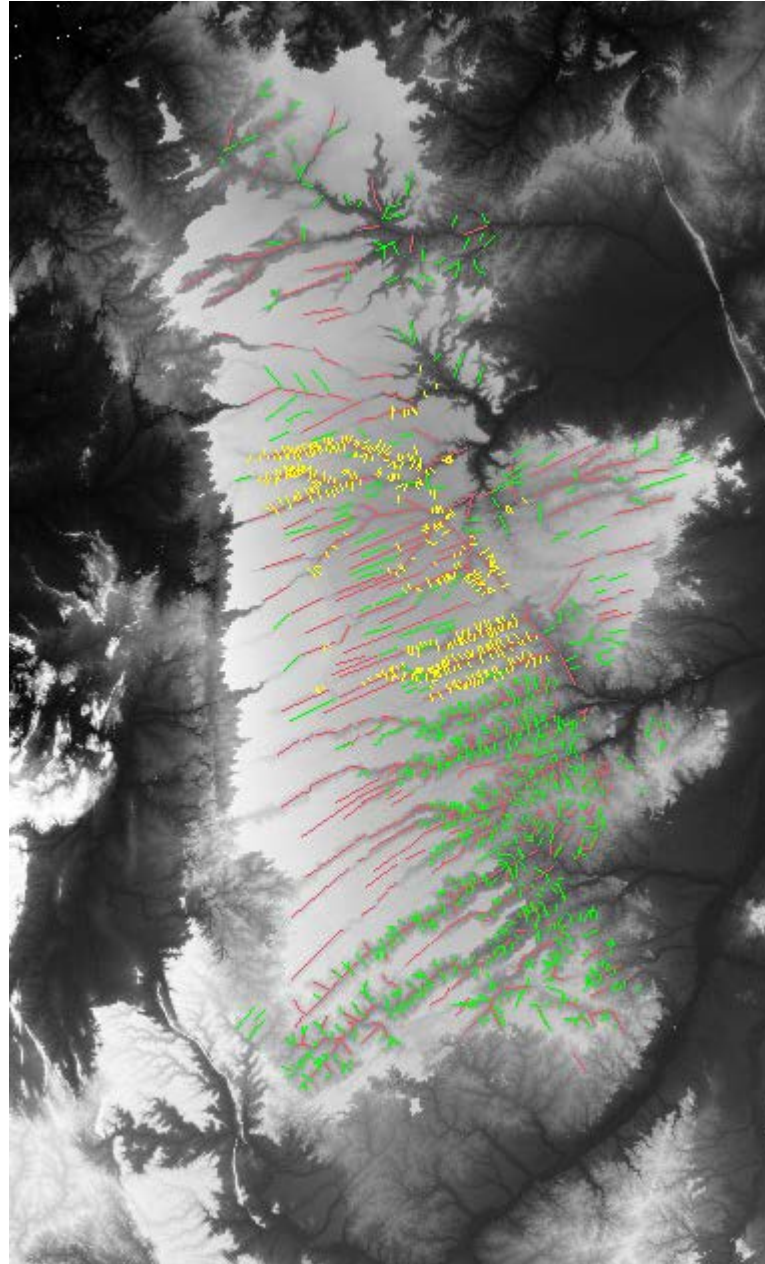
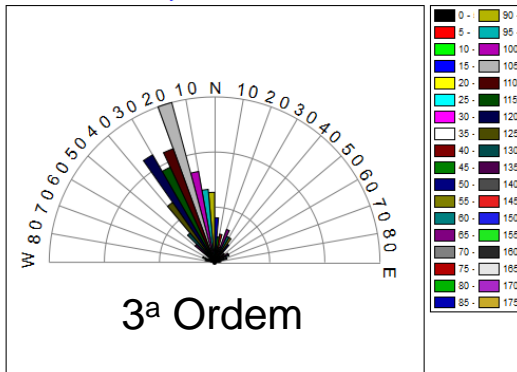
Frequência Absoluta



Frequência Absoluta



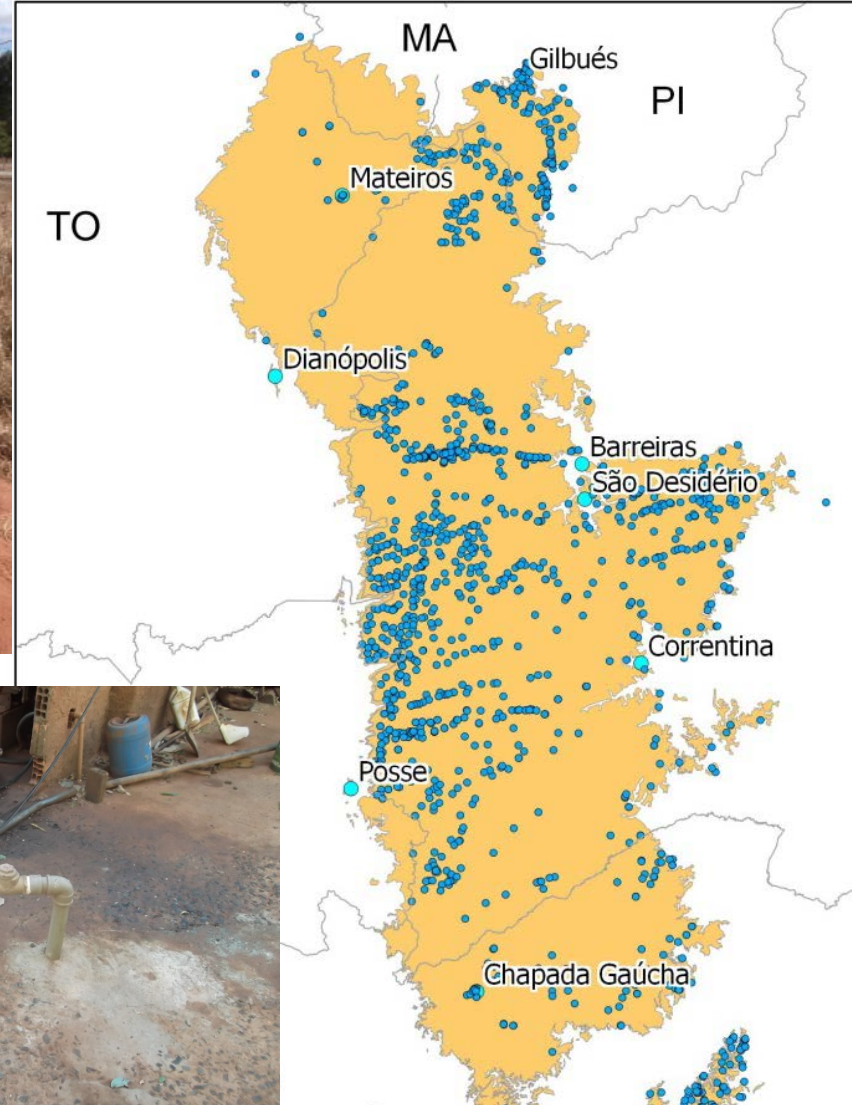
Frequência Absoluta



- 1ª Ordem
- 2ª Ordem
- 3ª Ordem



Levantamento e Cadastramento de Poços





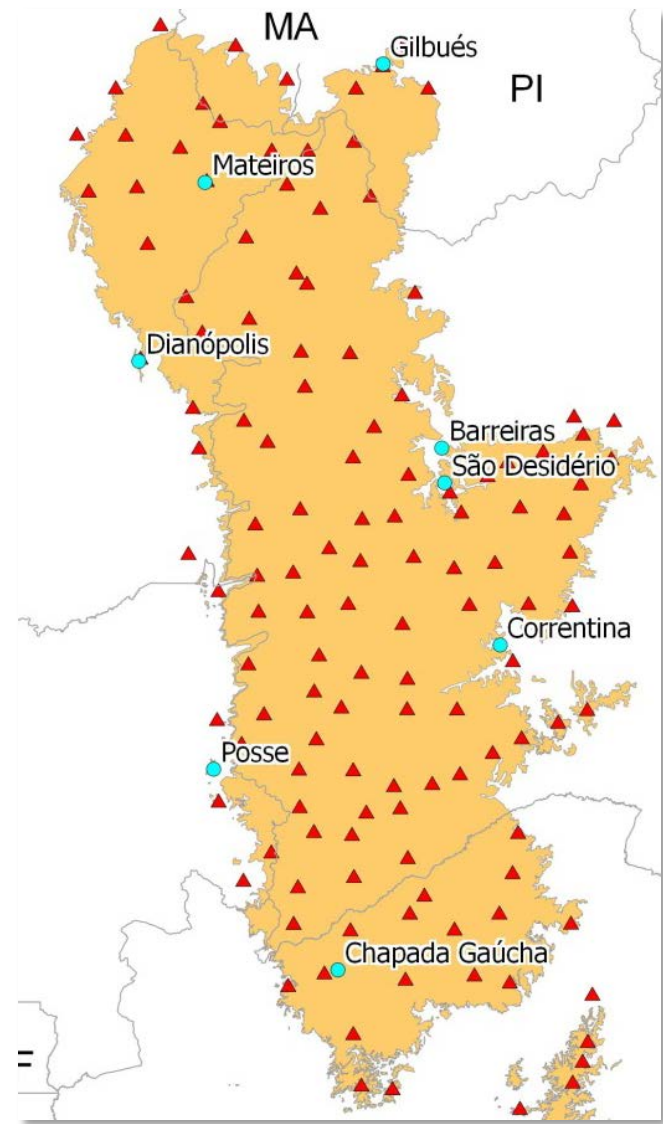
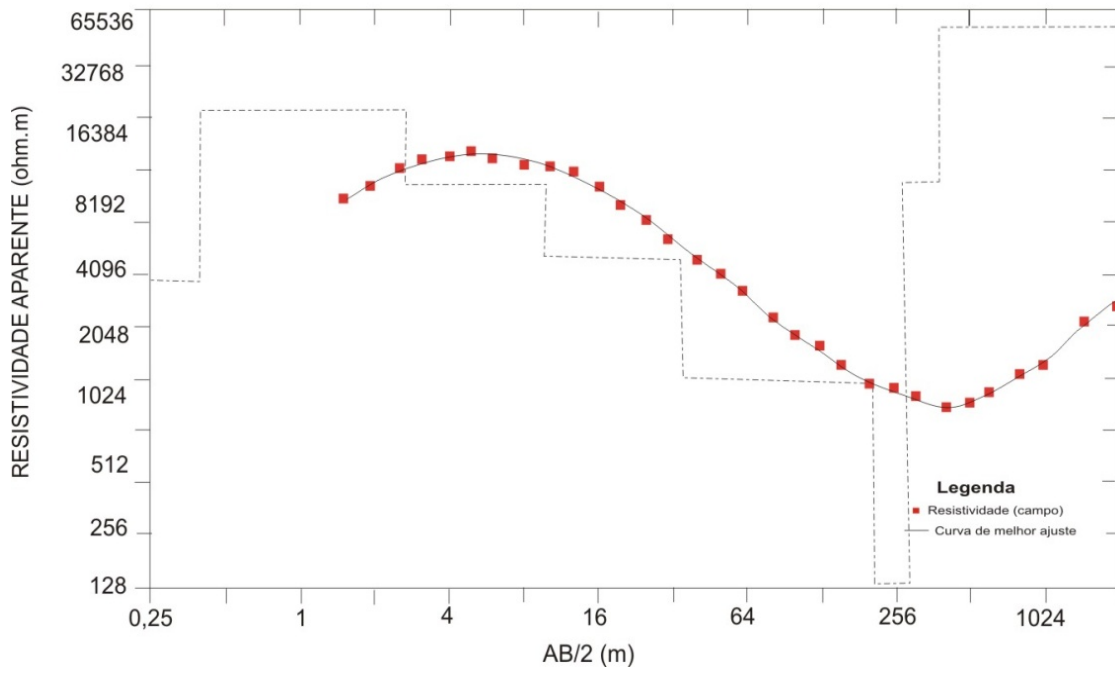
Levantamentos Geofísicos

- 145 Sondagens SEVs

SEV

PAR-04

Erro(%): 4,87

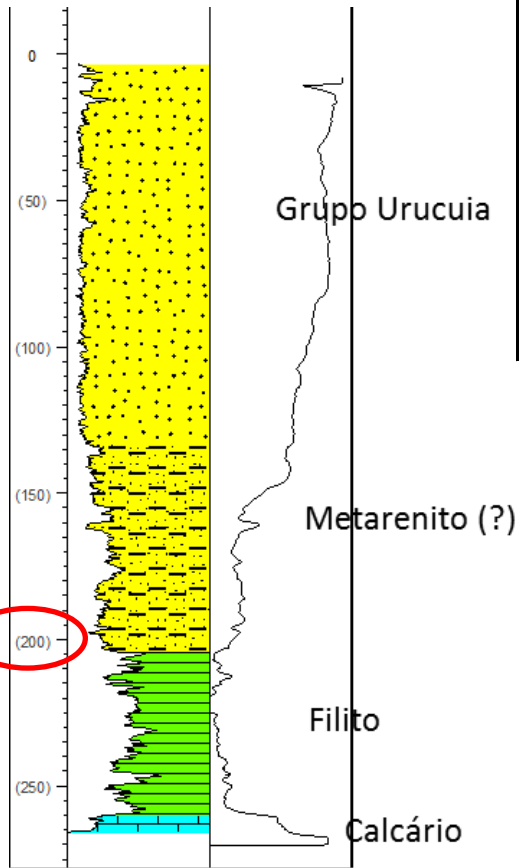




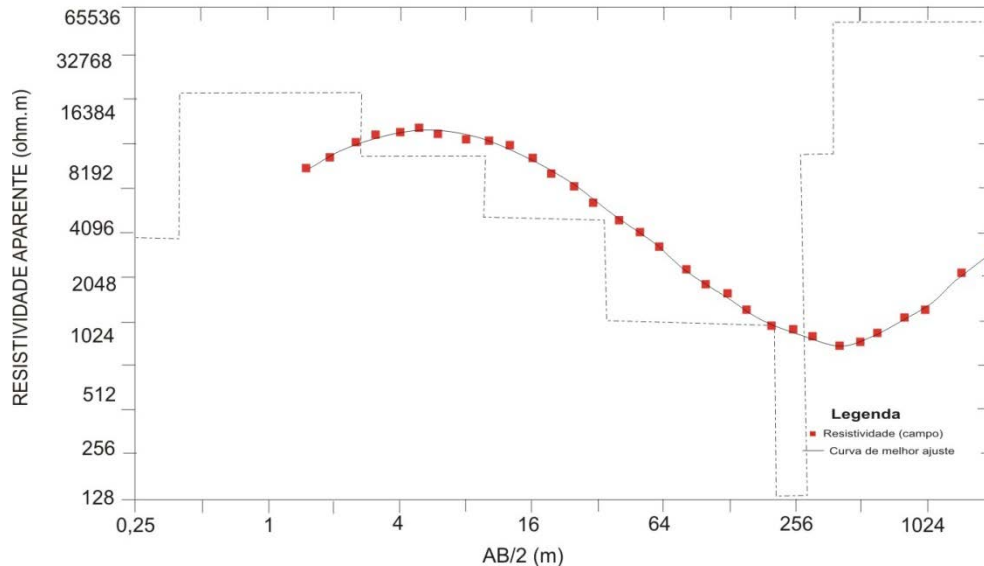
Levantamentos Geofísicos

Correlação dos Ensaio Geofísicos

SEV: PAR-04		Cota: 691,000			
Nível	ρ (ohm.m)	Espessura (m)	Prof. ao Topo (m)	Cota do Topo (m)	Descrição do material
1	3.452,00	0,40	0,00	691,00	sed. arenoso
2	22.078,00	2,30	0,40	690,60	
3	9.851,80	7,15	2,70	688,30	
4	4.478,90	25,15	9,85	681,15	
5	1.198,00	180,00	35,00	656,00	sed. arenoso
6	129,30	64,00	215,00	476,00	Embasamento/argila
7	10.477,00	88,20	279,00	412,00	Embasamento
8	53.175,00	Ind	367,20	323,80	
NA = 35,00					



Poço Perdizes

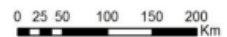
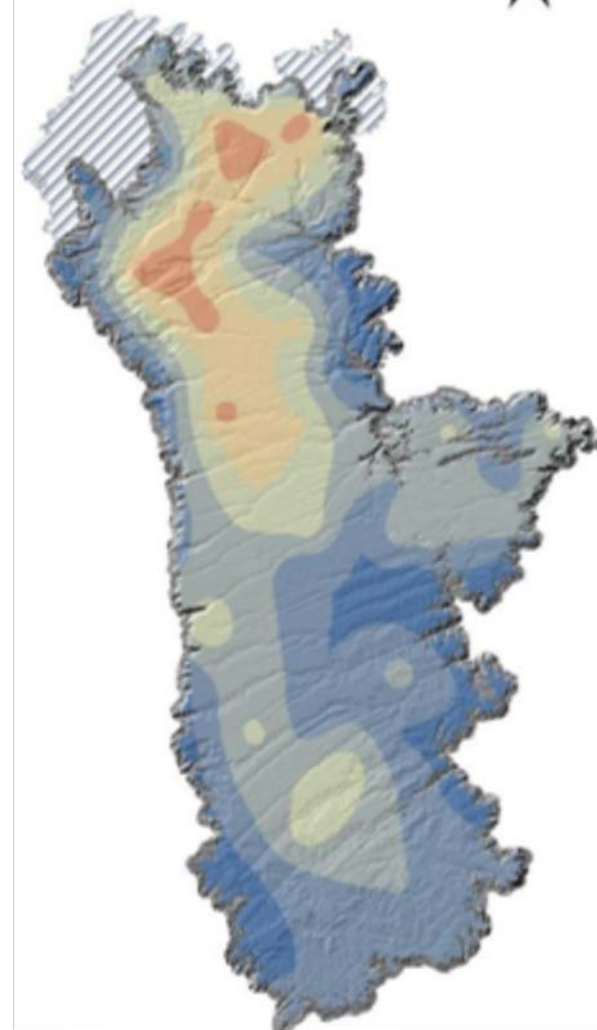
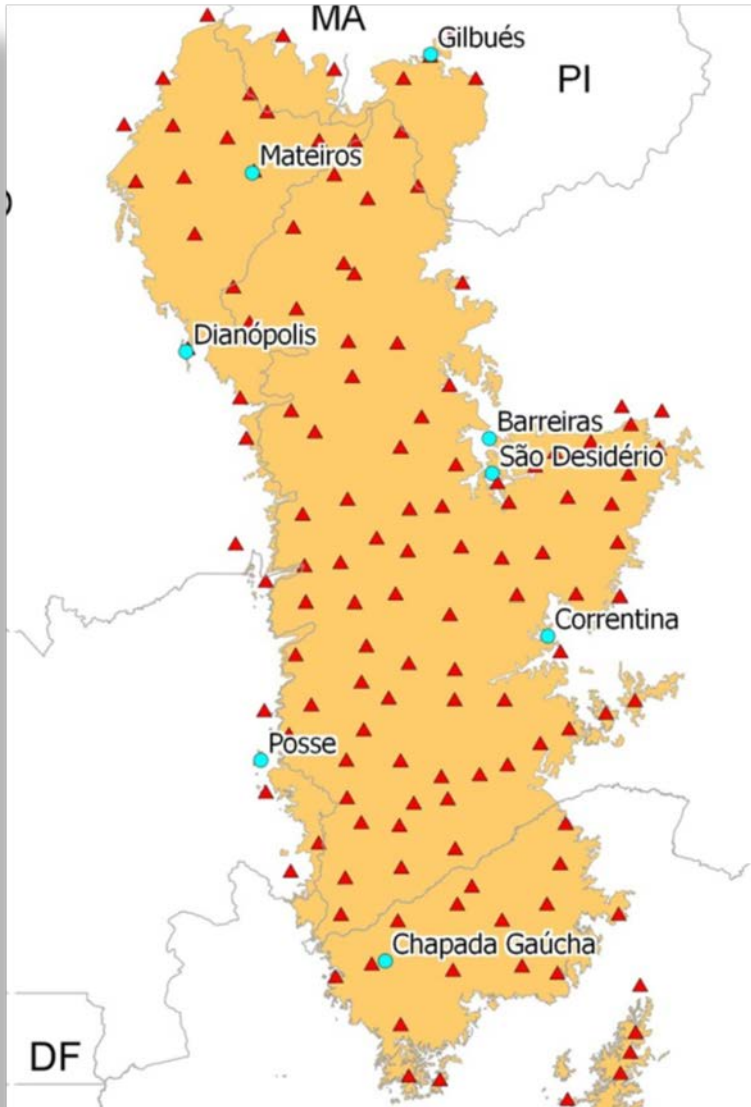


Legenda
 ■ Resistividade (campo)
 — Curva de melhor ajuste



Levantamentos Geofísicos

Espessura do SAU

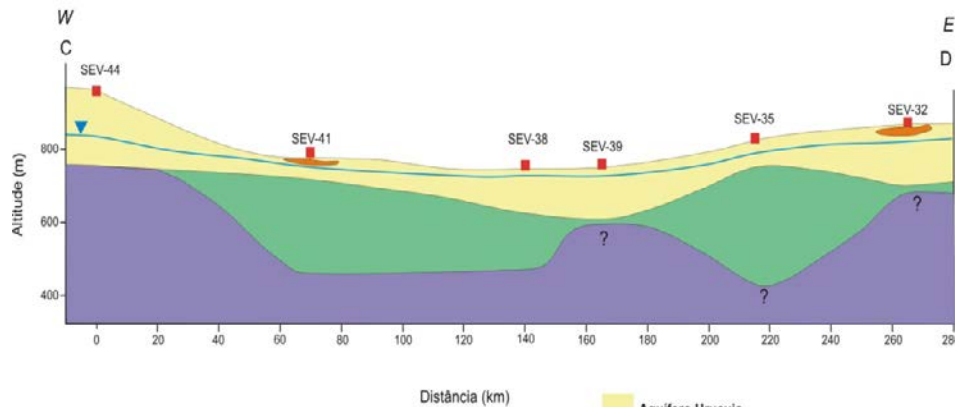
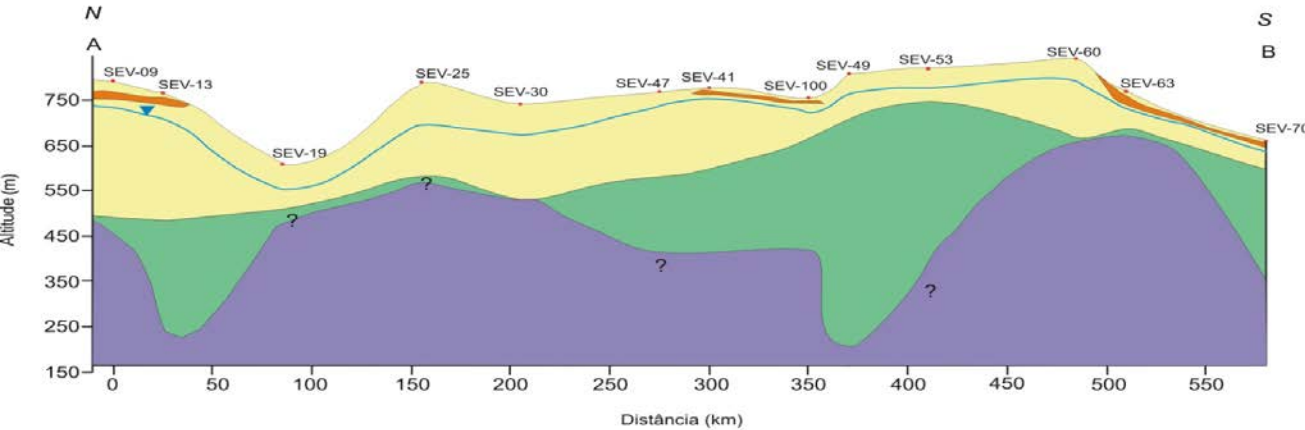


Legenda

Subbaía_Urucua

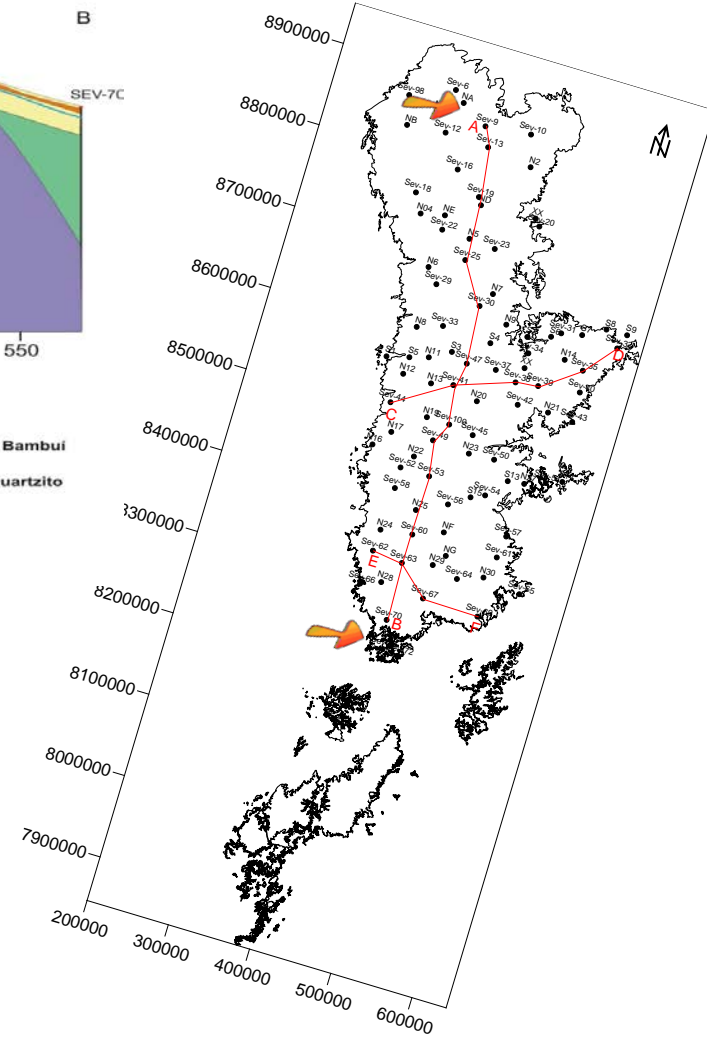


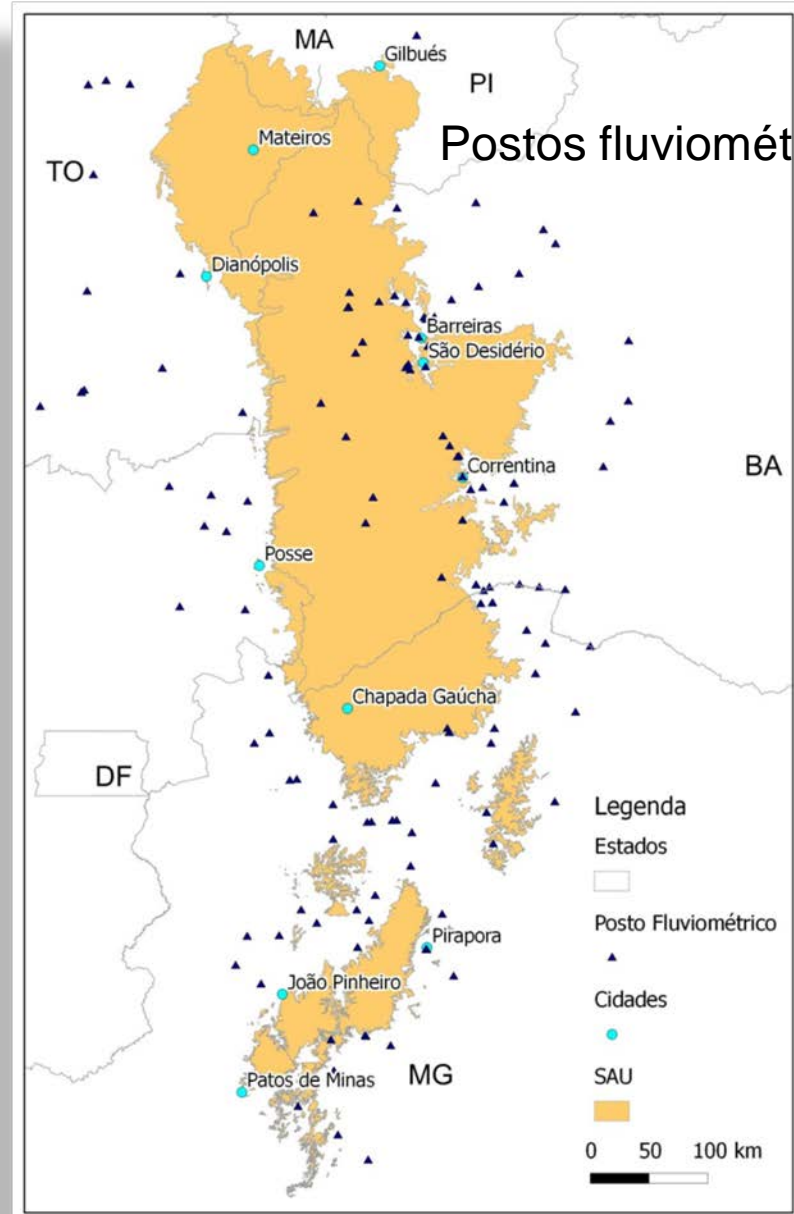
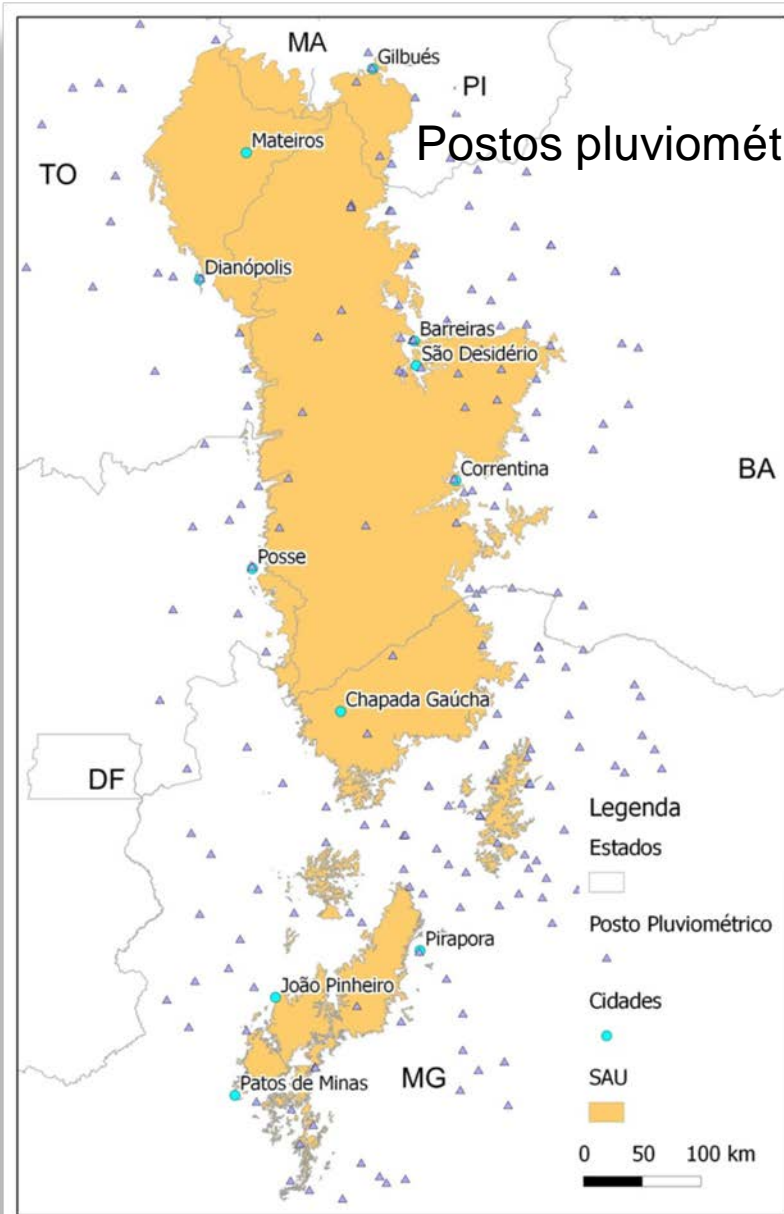
Seções Geométricas



Distância (km)

- Aquífero Uruçuia
- Embassamento - Metassedimentos do Grupo Bambuí
- Embassamento - Rocha Gnáissica/Calcário/Quartzito
- Níveis conglomeráticos/silicificados
- nível d'água
- abaixo da ? - informação inferida

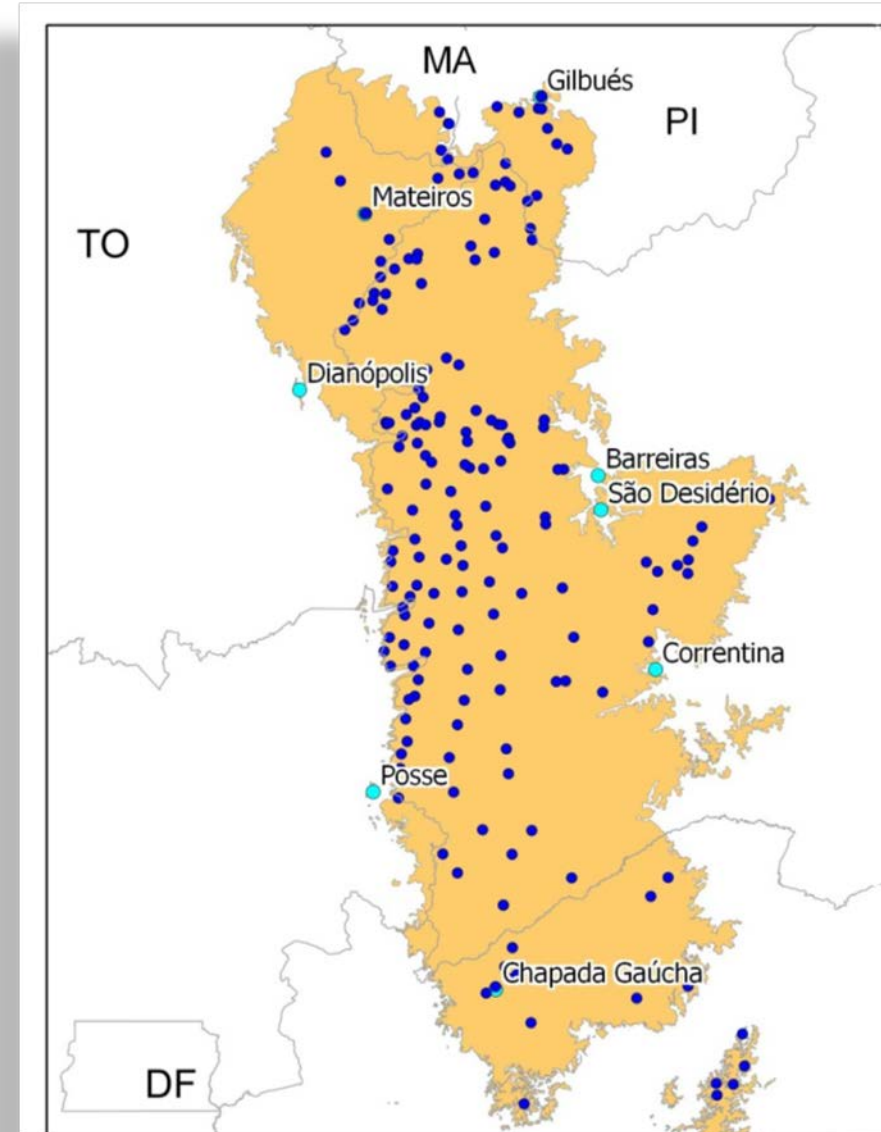






Análises Químicas e Isotópicas

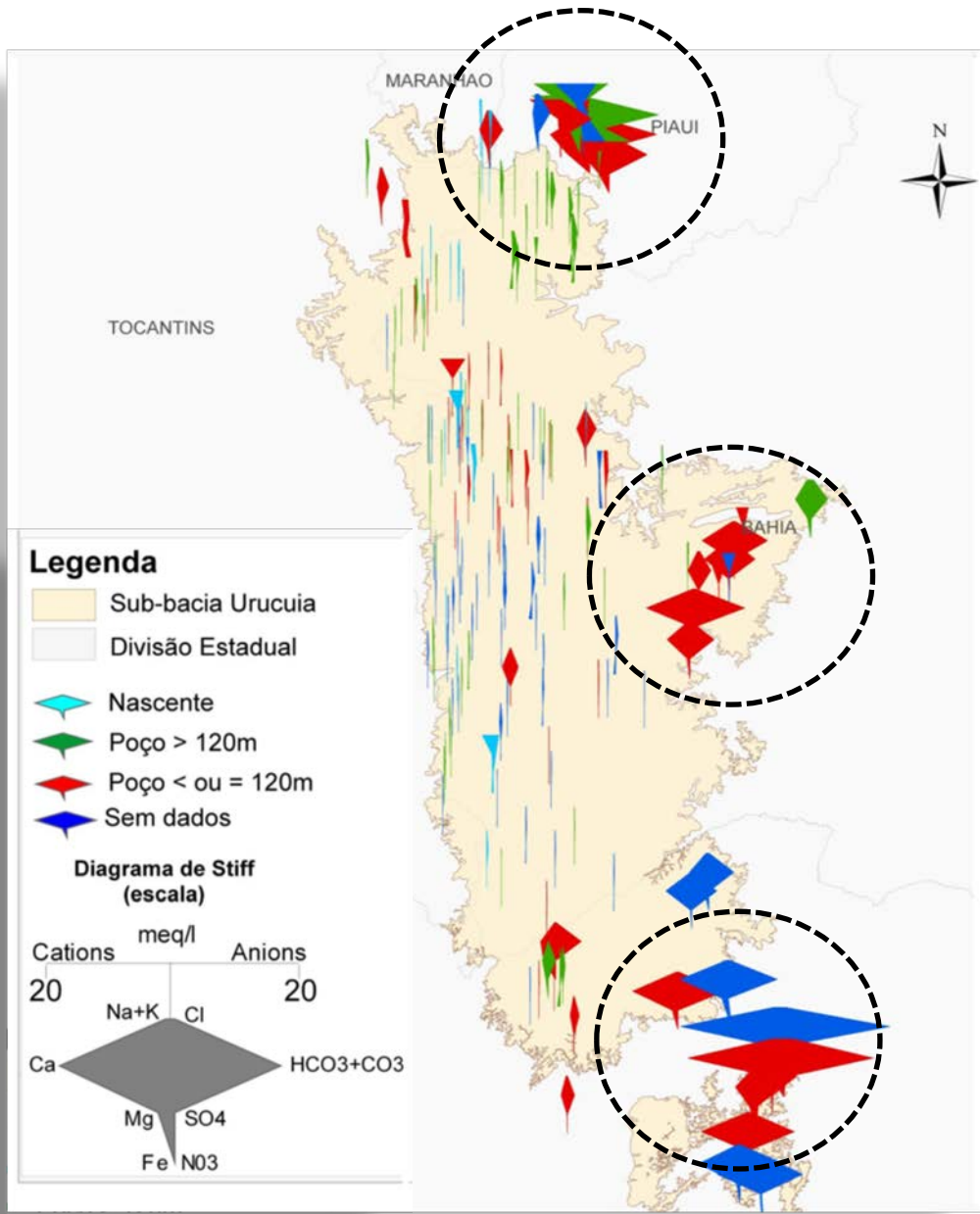
- 203 amostras de água subterrânea
- 40 de Deutério e ^{18}O ;
- 25 de Trítio;
- 15 de ^{14}C





Diagramas de Stiff

- Águas menos salinas nas porções central e oeste da Sub-bacia Urucuia
- Águas mais salinas nas bordas leste, nordeste e sudeste da Sub-bacia Urucuia



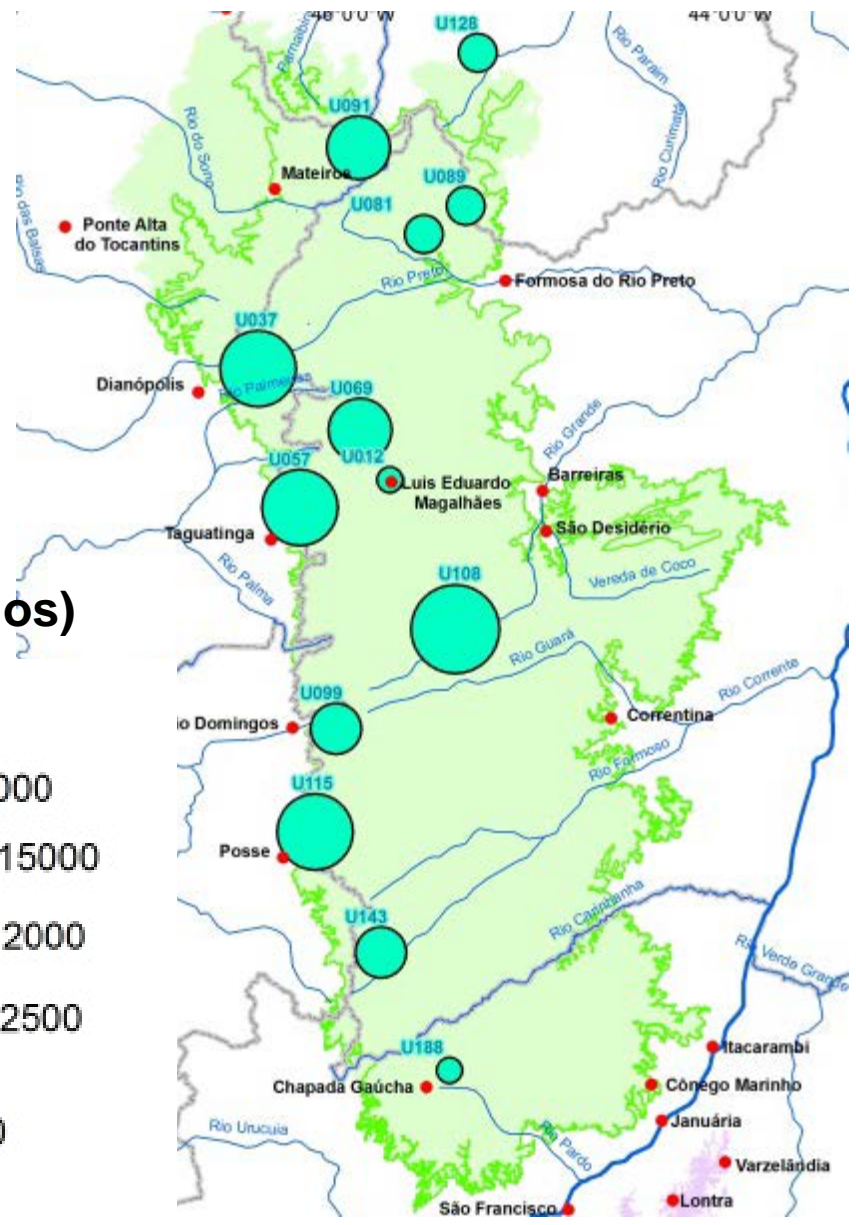
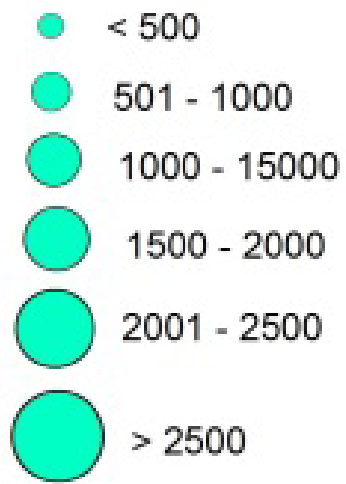


Radiocarbono – ^{14}C

O USO DE ISÓTOPOS EM ANÁLISES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PERMITE:

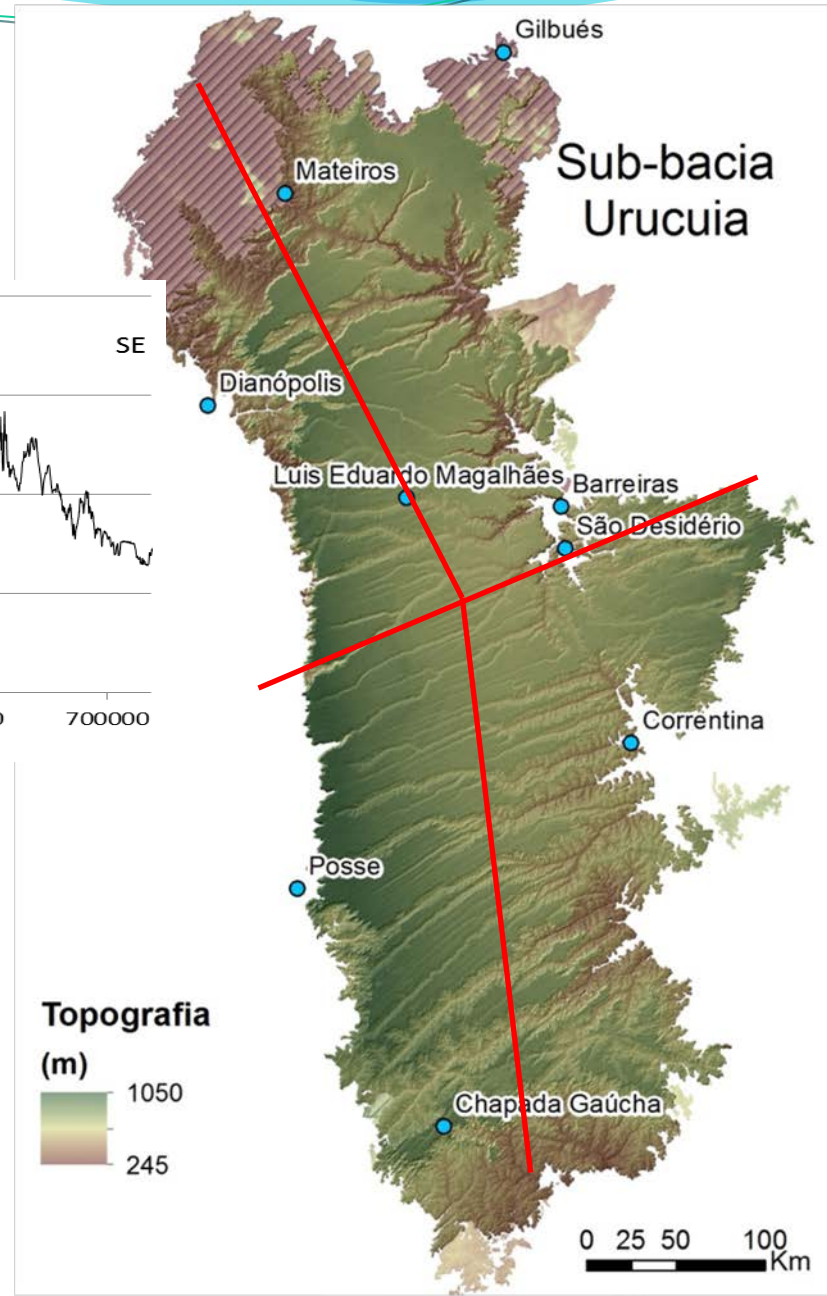
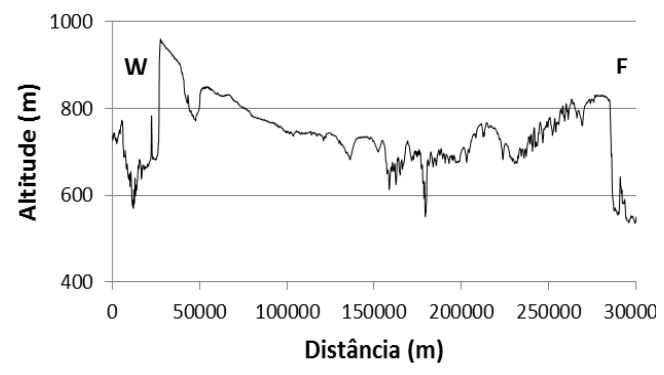
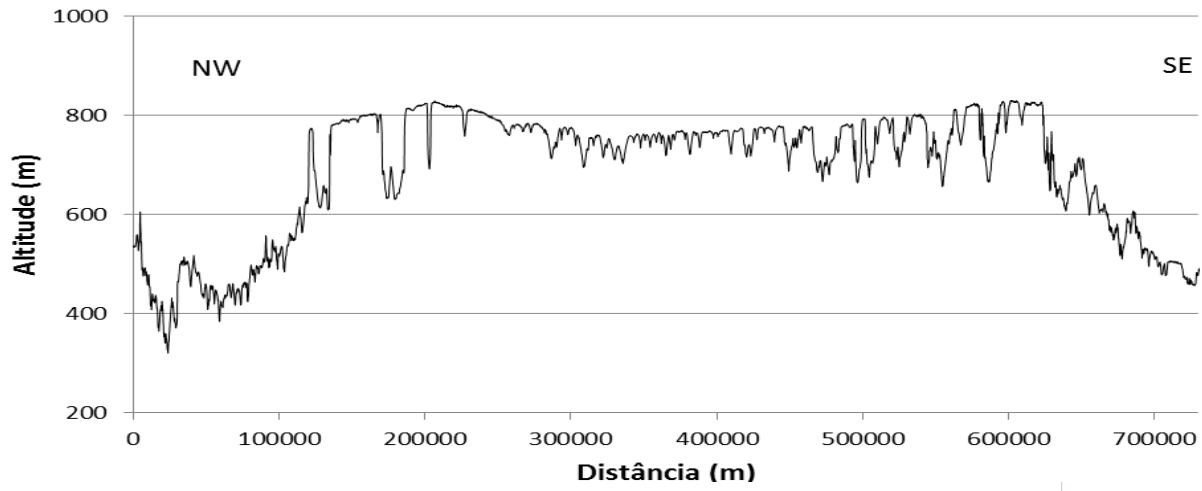
- ✓ ESTIMAR O TEMPO DE RESIDÊNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, CARACTERIZAR SE SÃO ÁGUAS VELHAS OU JOVENS;
- ✓ IDENTIFICAR ZONAS DE RECARGA E DESCARGA, E DIREÇÃO DO FLUXO;
- ✓ IDENTIFICAR NO PADRÃO ISOTÓPICO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA A CONTRIBUIÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

Idade (anos)





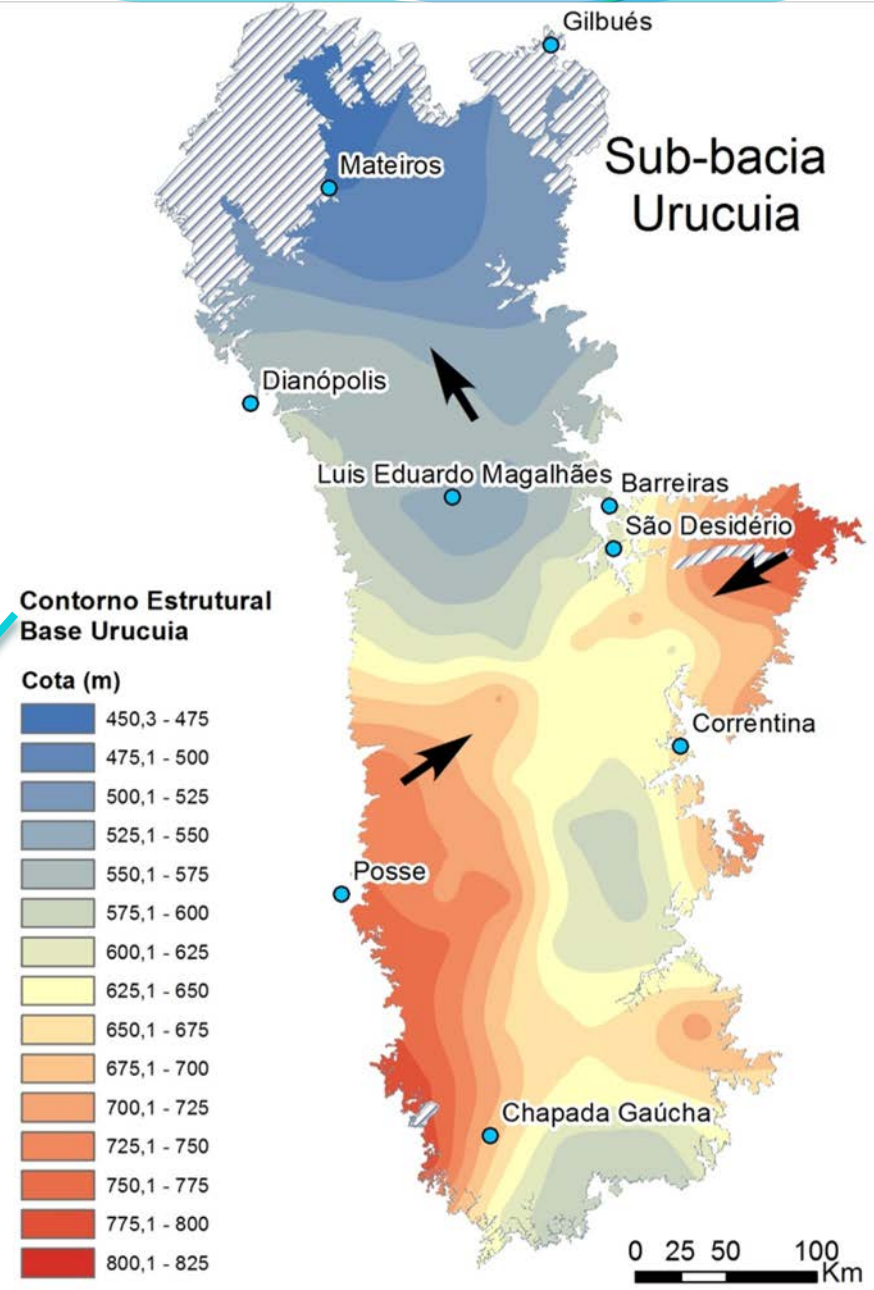
Modelo Digital de Terreno





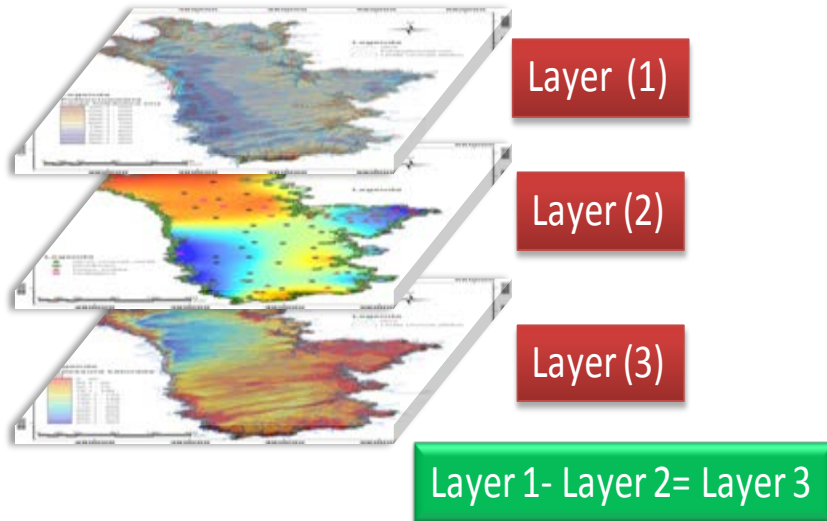
Contorno Estrutural da Base do SAU

Integração da Geol. Superfície + SEVs

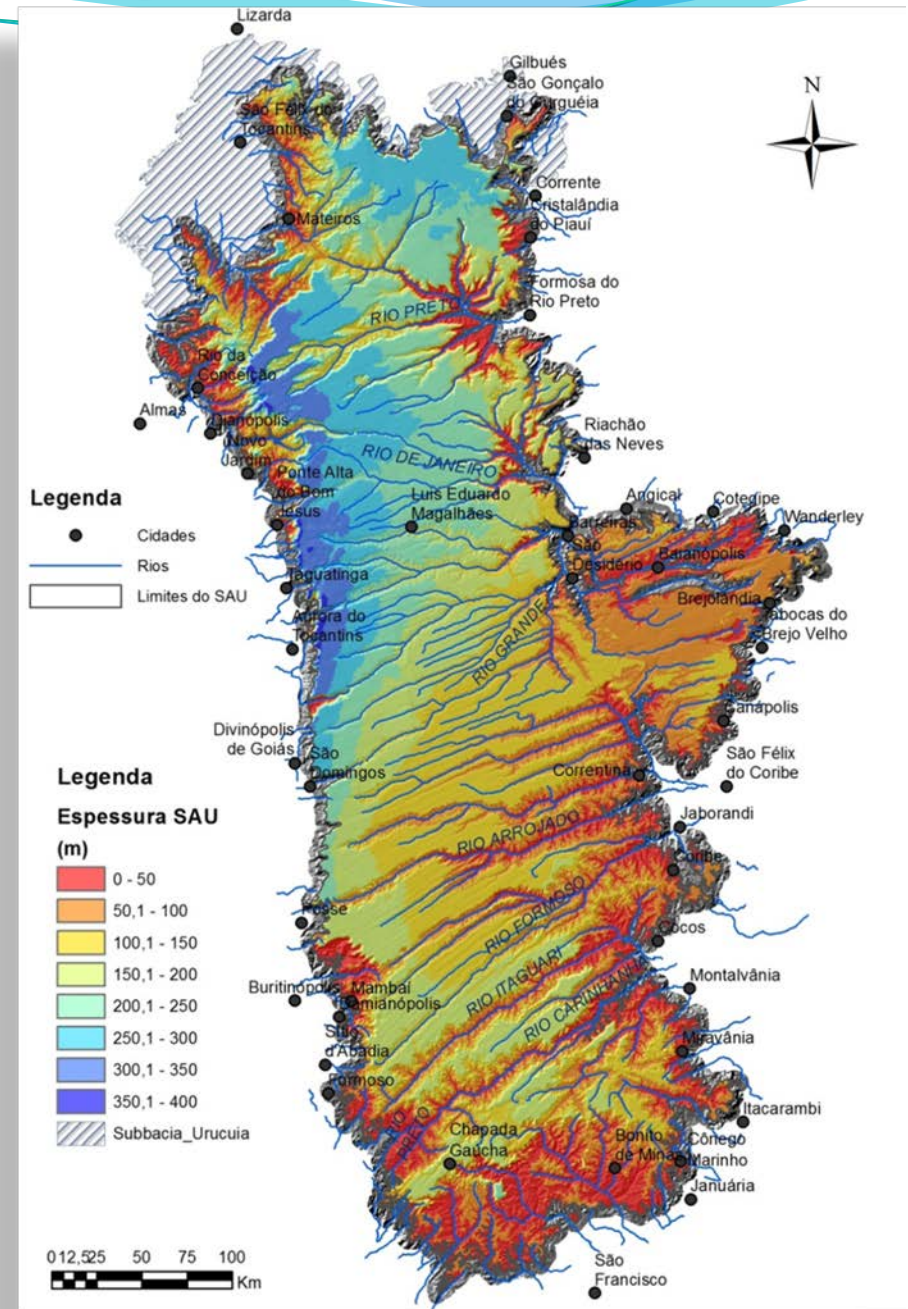




Espessura total do SAU na Sub-bacia Urucuia



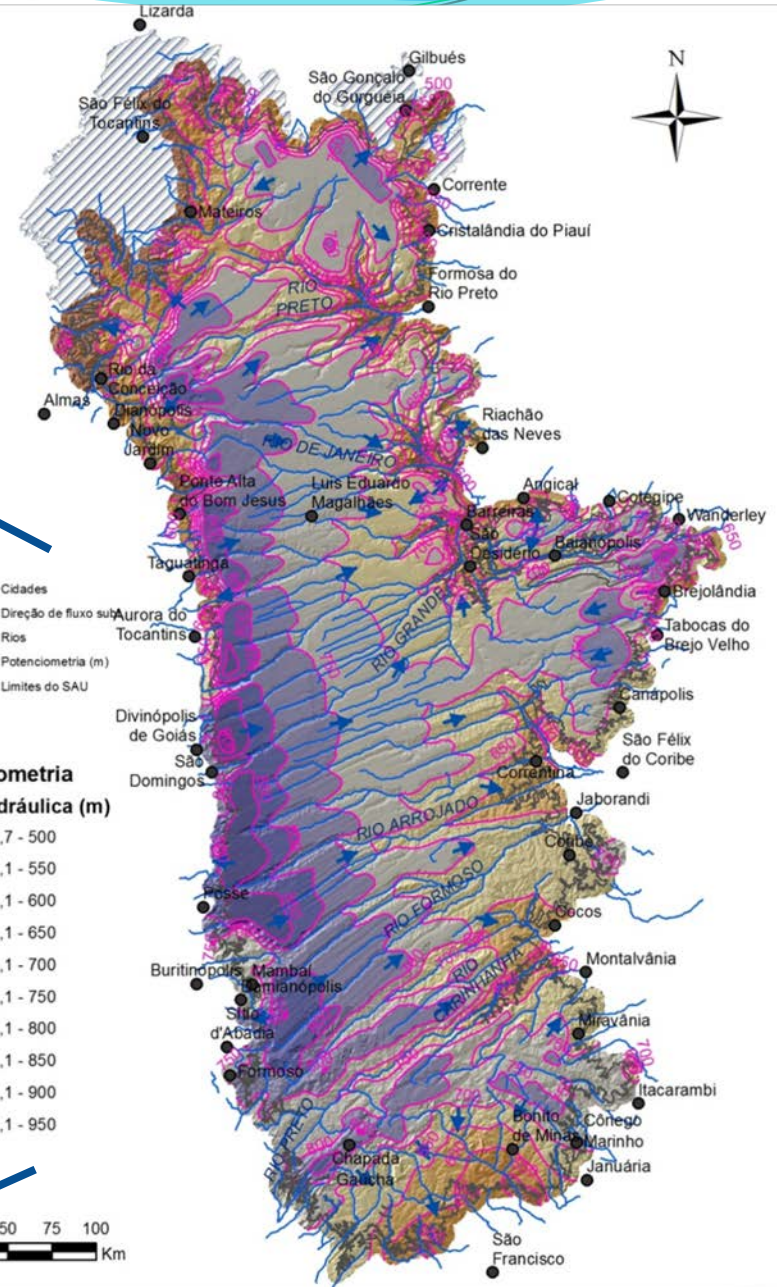
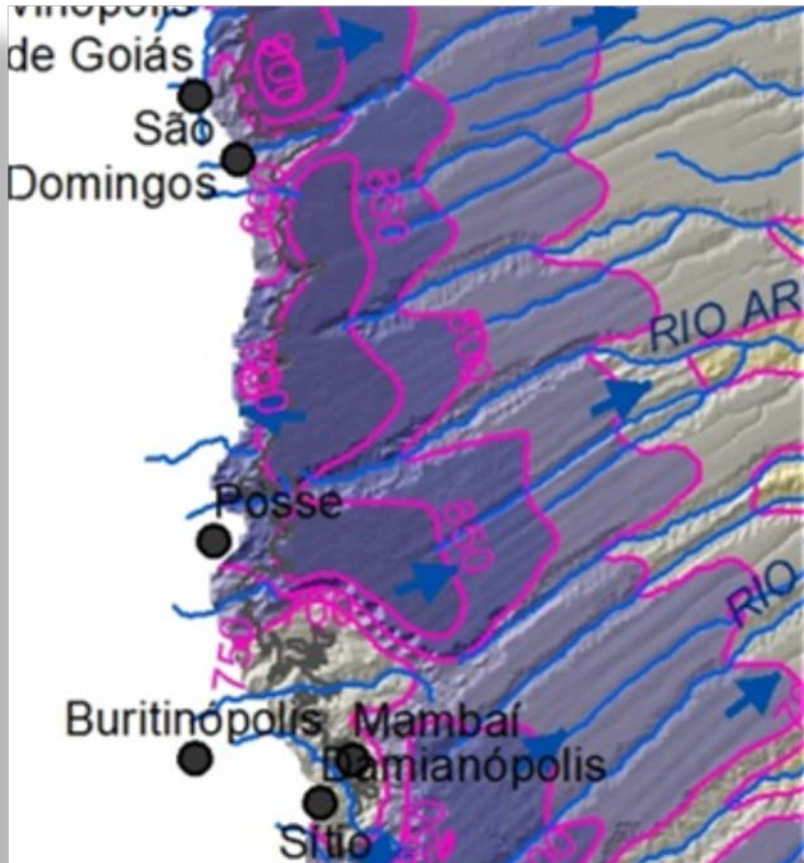
Layer 1 = Topografia
 Layer 2 = Base do aquífero
 Layer 3 = Espessura total





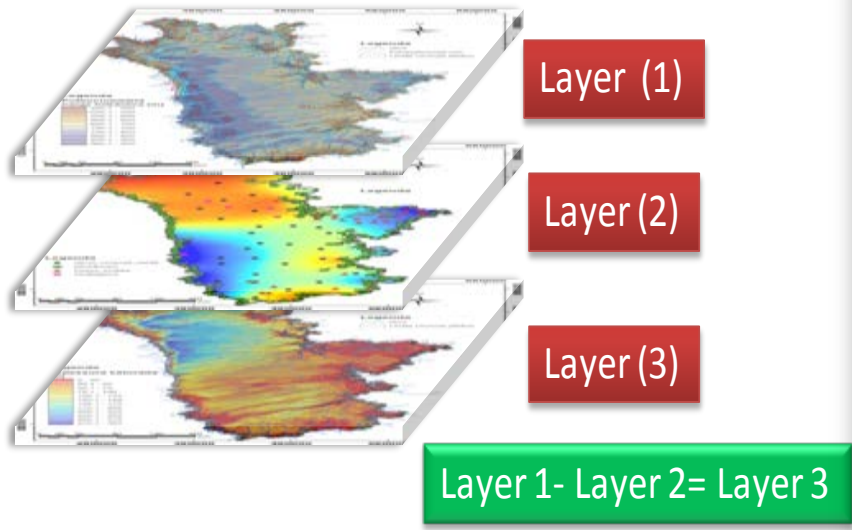
Potenciometria do SAU na Sub-bacia Urucuia

- Direções de fluxo regionais e locais
- Divisores de águas subterrâneas

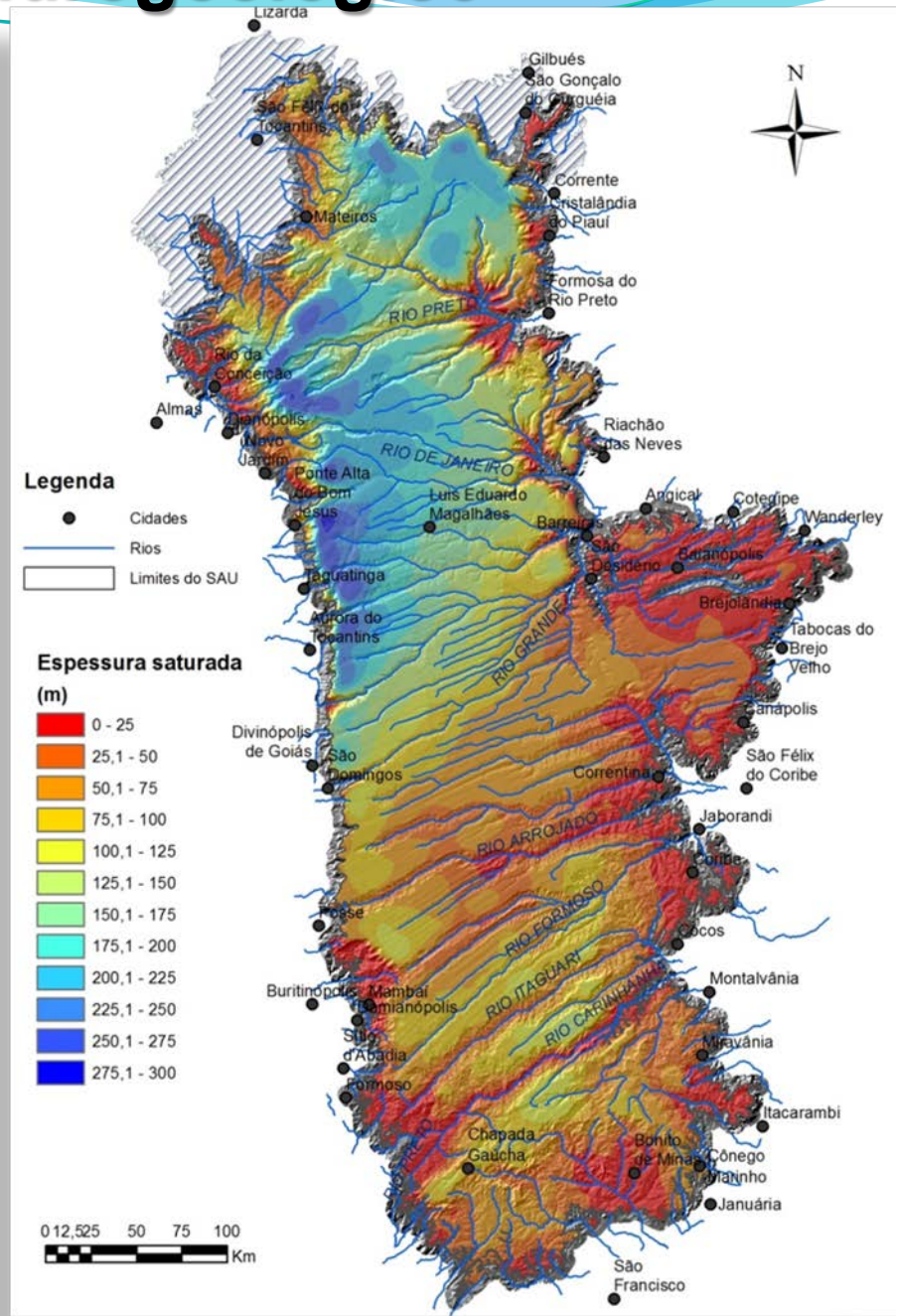




Espessura saturada do SAU na Sub-bacia Urucuia



Layer 1 = Potenciometria
 Layer 2 = Base do aquífero
 Layer 3 = Espessura saturada





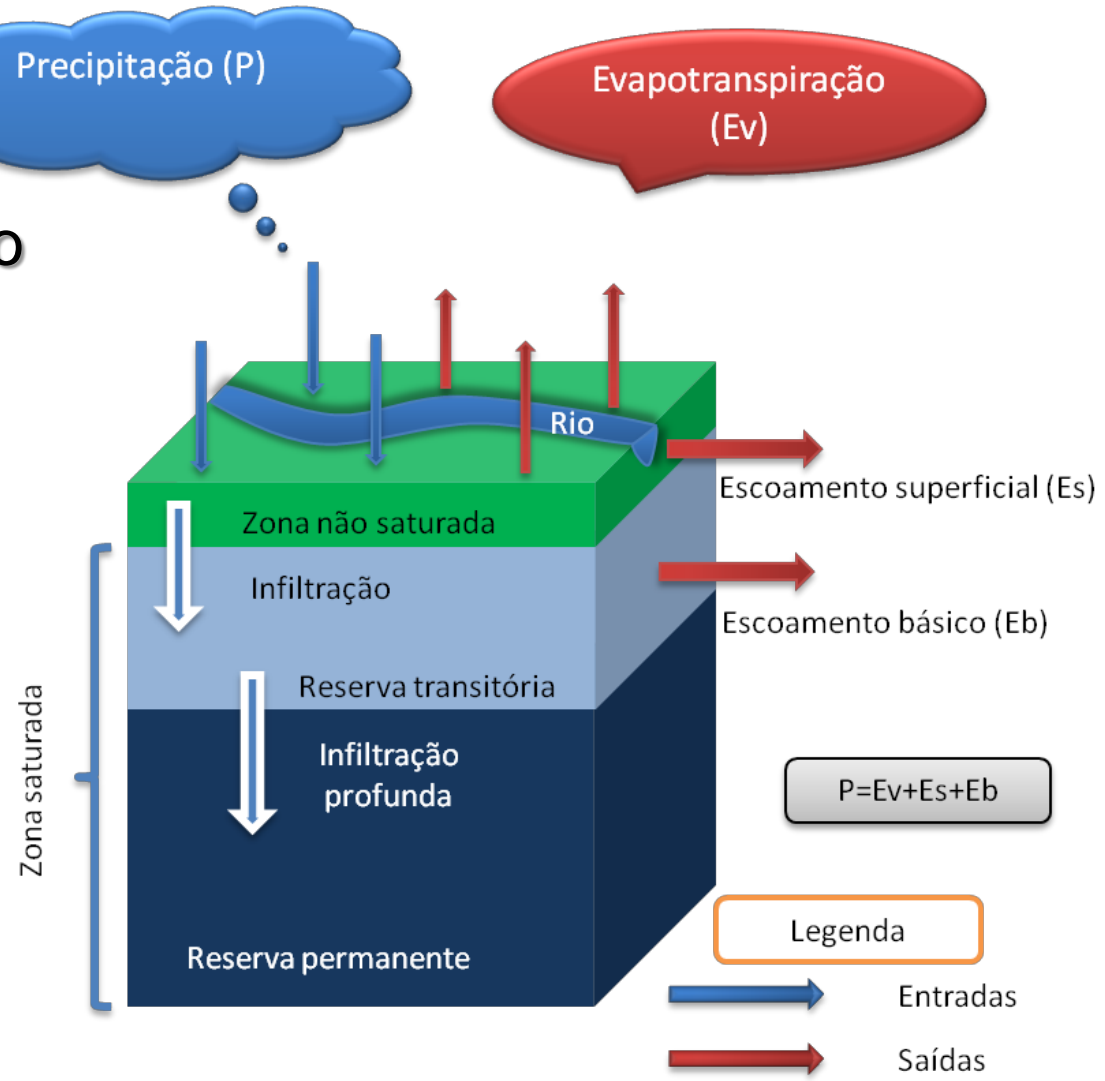
Precipitação (P)

Evapotranspiração (Ev)

Balanco hídrico hidrológico

$$P = Es + Ev + Eb + \cancel{\Delta S}$$

- Permite:
- Estimativa de recarga;
 - Estimativa de reserva transitória.

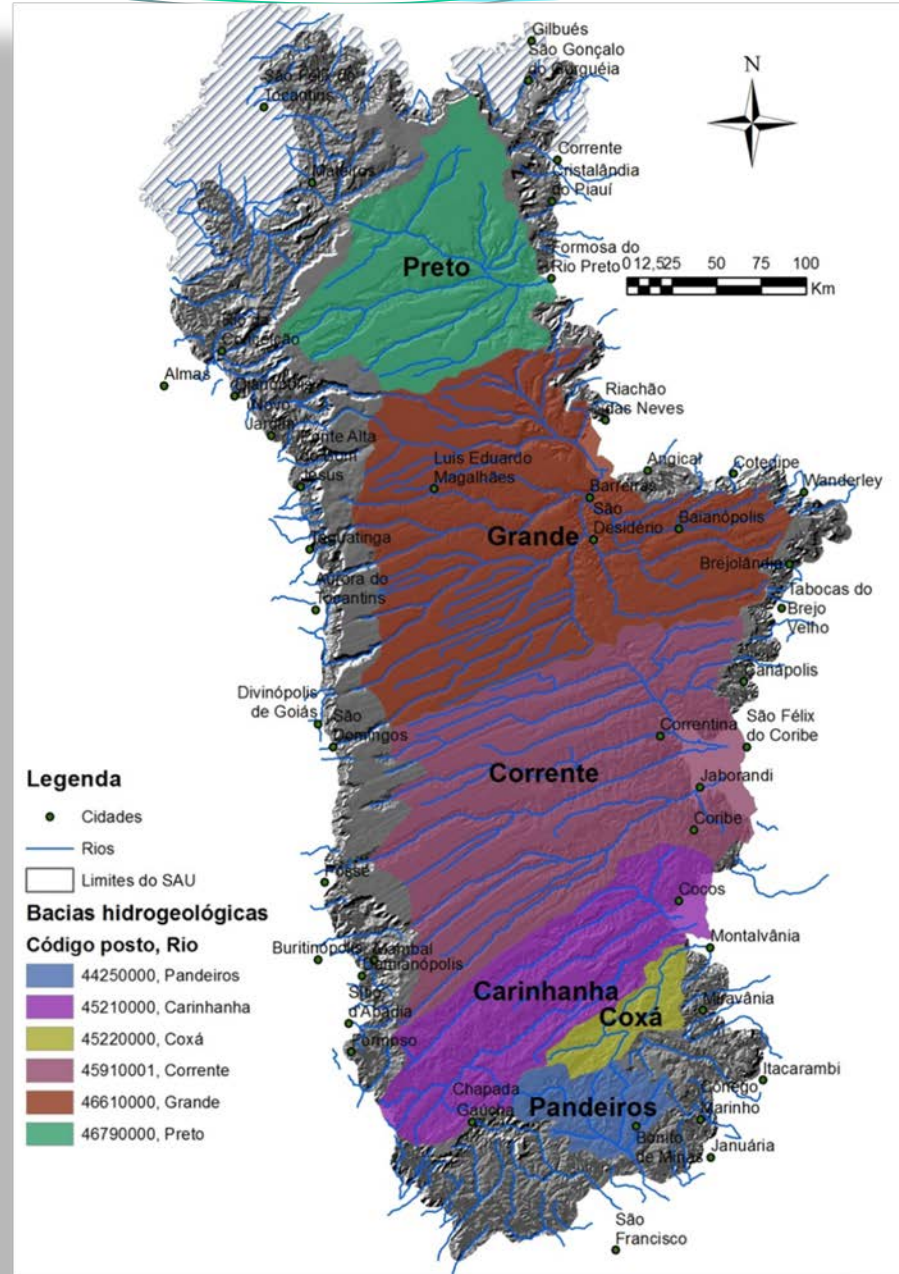
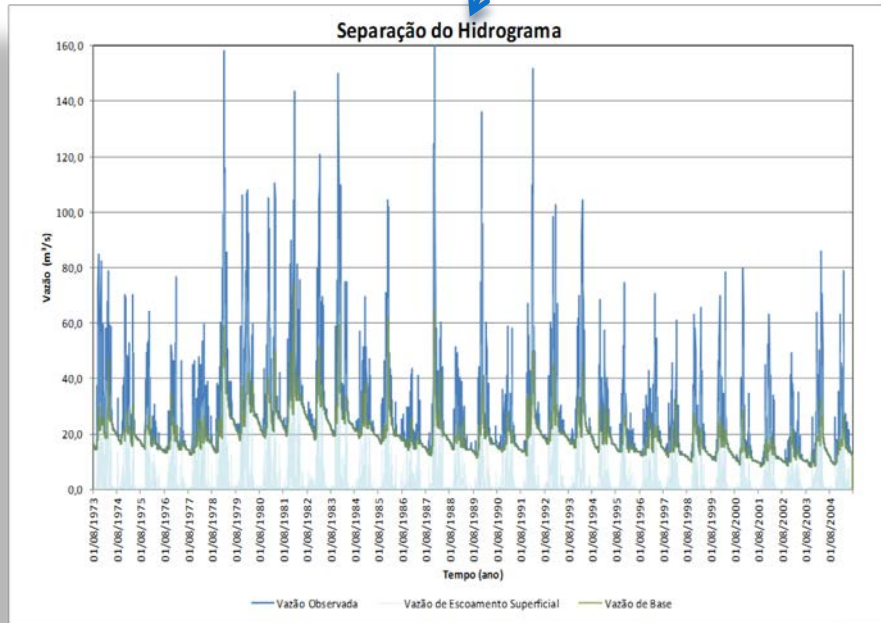




Bacias hidrogeol3gicas utilizadas nos estudos hidrol3gicos = 75% da 3rea do SAU

Dados pluviom3tricos e fluviom3tricos do per3odo de 1975 a 2005

Separa33o do escoamento b3sico dos hidrogramas (Ex.: Rio Pandeiros)





Balçoço Hídrico

Resumo dos parâmetros hidrológicos do SAU

Rio	Área (km ²)	P (mm/ano)	Eb (mm/ano)	Es (mm/ano)	Et (mm/ano)	Ev (mm)
Pandeiros	3.346	1.100	192,39	42,06	234,45	865,55
Carinhanha	11.338	1.075	298,78	29,95	328,73	746,27
Coxá	2.301	1.050	148,50	17,00	165,50	884,50
Corrente	23.578	1.120	210,91	15,58	226,49	893,51
Grande	28.130	1.300	167,55	10,60	178,15	1121,85
Preto	13.270	1.250	201,90	17,46	219,36	1030,64
Médias Pond		1194	204,22	17,28	221,50	972,32

Relações hidrológicas do SAU

P=precipitação
 Eb=esc. básico
 Es=esc. superficial
 Et=esc. total (Eb+Es)
 Ev=evapotransp

Rio	Índices				
	Eb/P	Es/P	Et/P	Ev/P	Eb/Et
Pandeiros	0,17	0,04	0,21	0,79	0,82
Carinhanha	0,28	0,03	0,31	0,69	0,91
Coxá	0,14	0,02	0,16	0,84	0,90
Corrente	0,19	0,01	0,20	0,80	0,93
Grande	0,13	0,01	0,14	0,86	0,94
Preto	0,16	0,01	0,18	0,82	0,92
Média	0,17	0,01	0,19	0,81	0,92



Contribuições do SAU para as Bacias Hidrográficas

Bacias hidrográficas	Área Total de Aquífero (km ²)	Precipitação média anual (mm)	Contribuição/ Precipitação	Contribuição (mm)	Contribuição (m ³ /s)
Rio São Francisco	109.143	1.180	18,0%	213	735,8
Rio Tocantins	27.831	1.430	17,2%	246	217,2
Rio Parnaíba	7.361	1.140	17,5%	200	46,7
Rio Paranaíba	98	1.450	16,7%	242	0,8

≈1.000 m³/s

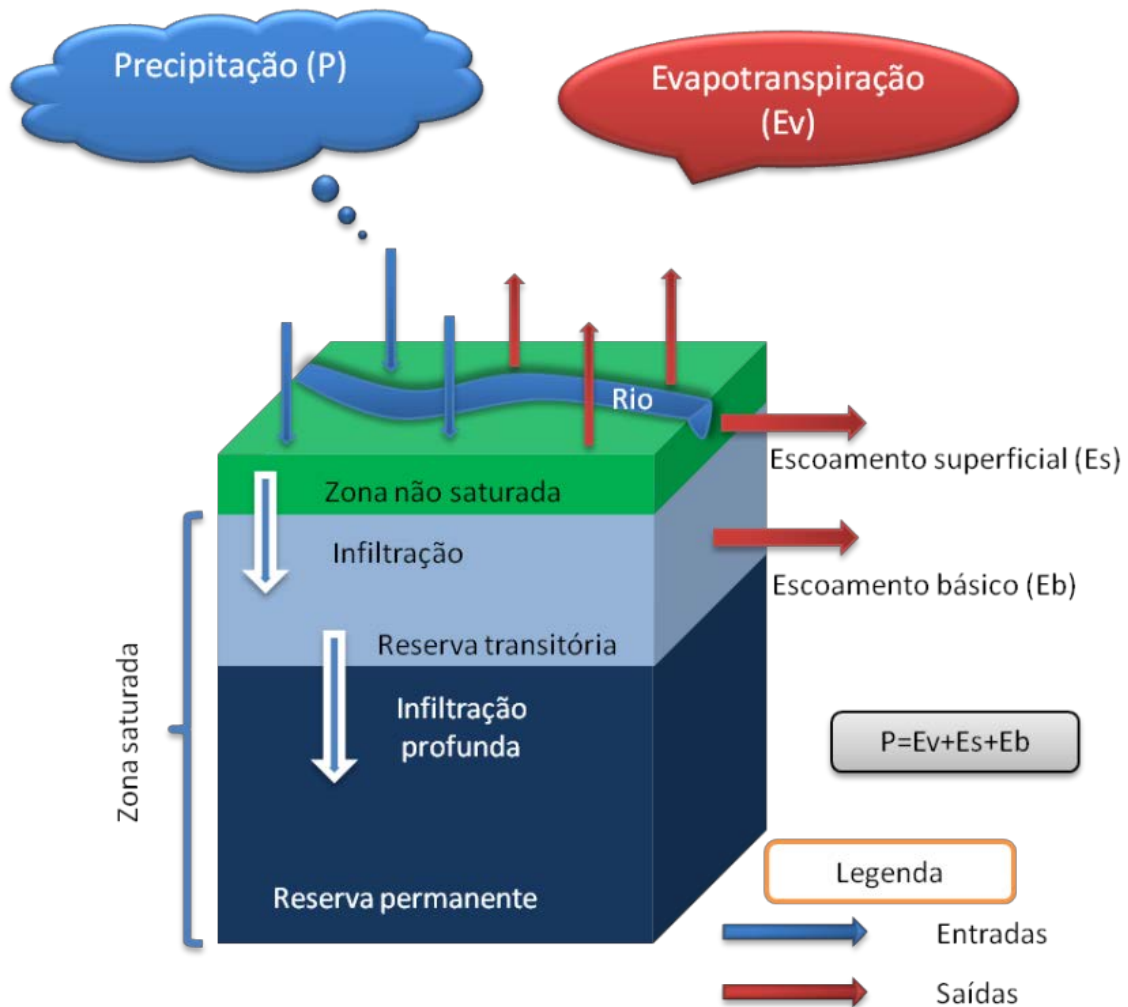
SAU contribui com 30 % para o Rio São Francisco
SAU contribui com 5 % para o Rio Tocantins

Avaliação da Recarga do SAU

Premissa: fluxo de base é igual à descarga subterrânea e água descarregada pelo é aproximadamente igual à recarga (equilíbrio)

$$R = Eb$$

R = recarga transitória
Eb = escoamento básico





Estimativa da recarga anual na Sub-bacia Urucuia

Estimativa da recarga anual do SAU nas sub-bacias

Posto	Descrição	Rio	Área (km ²)	R=Eb (mm/ano)
44250000	Usina dos Pandeiros Montante	Pandeiros	3.346	192,39
45210000	Lagoa das Pedras	Carinhanha	11.338	298,78
45220000	Capitânea	Cochá	2.301	148,50
45910001	Sta Maria da Vitória	Corrente	23.578	210,91
46610000	São Sebastião	Grande	28.130	167,55
46790000	Formosa do Rio Preto	Preto	13.270	201,90
Média ponderada				204,22

Estimativa da recarga anual total do SAU

Área (km ²)	R (mm/ano)	R (m ³ /s)	R (km ³ /ano)
109.531	204,2	709,30	22,37

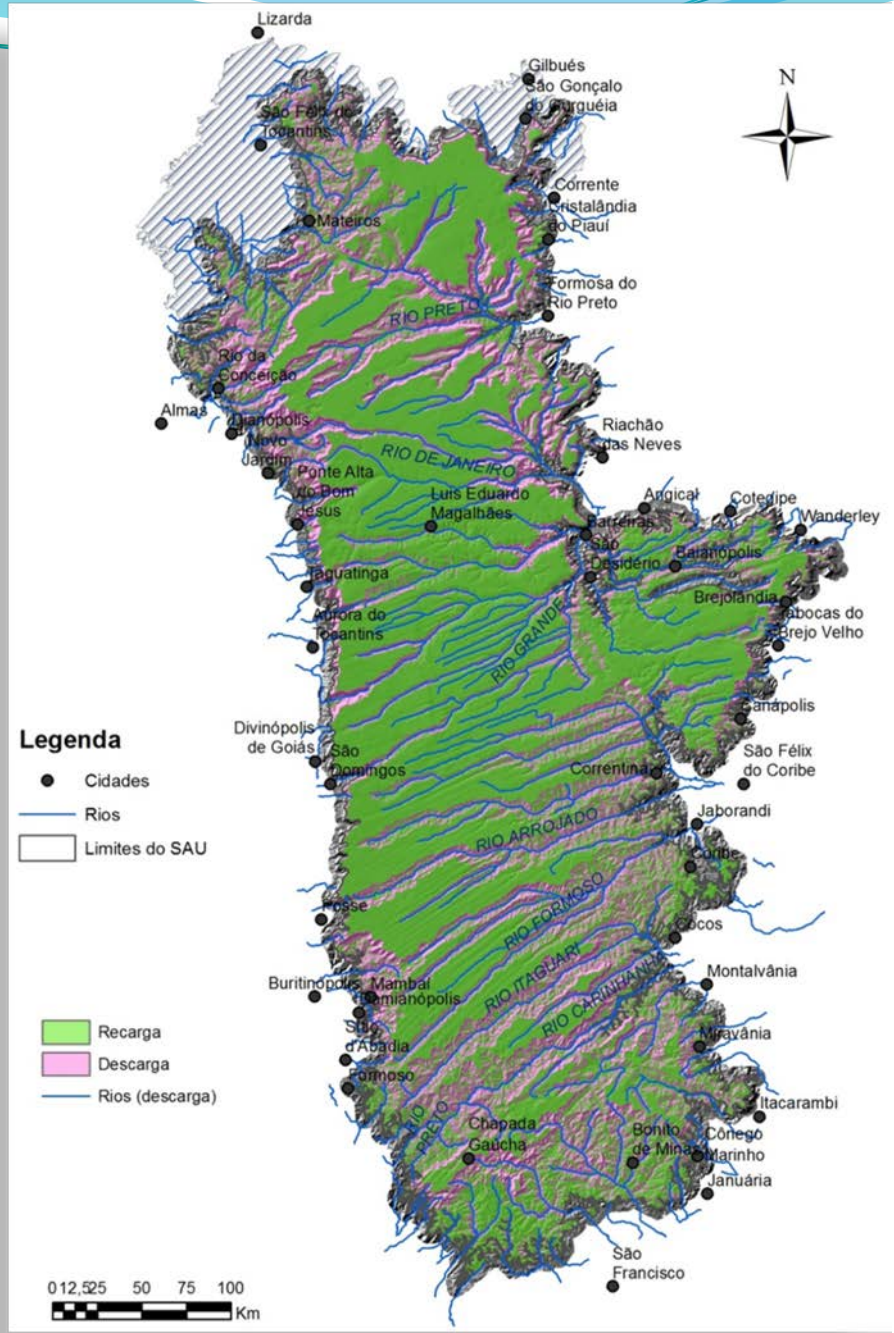


Áreas de Recarga e de Descarga do SAU

Área de recarga do SAU é toda área exposta do aquífero capaz de permitir a infiltração direta de águas pluviais

Áreas de descarga do SAU são representadas pelos cursos de águas superficiais que descarregam a água subterrânea depois de sua passagem pelo aquífero

Critério: terrenos com declividades de até 2% para áreas de recarga.





Avaliação das Reservas Hídricas do SAU

Reservas hídricas:

- Renováveis ou reguladoras (Rr)
- Permanentes (Rp)

$$R_r = A \cdot \Delta h \cdot \phi_e \approx \text{Recarga}$$

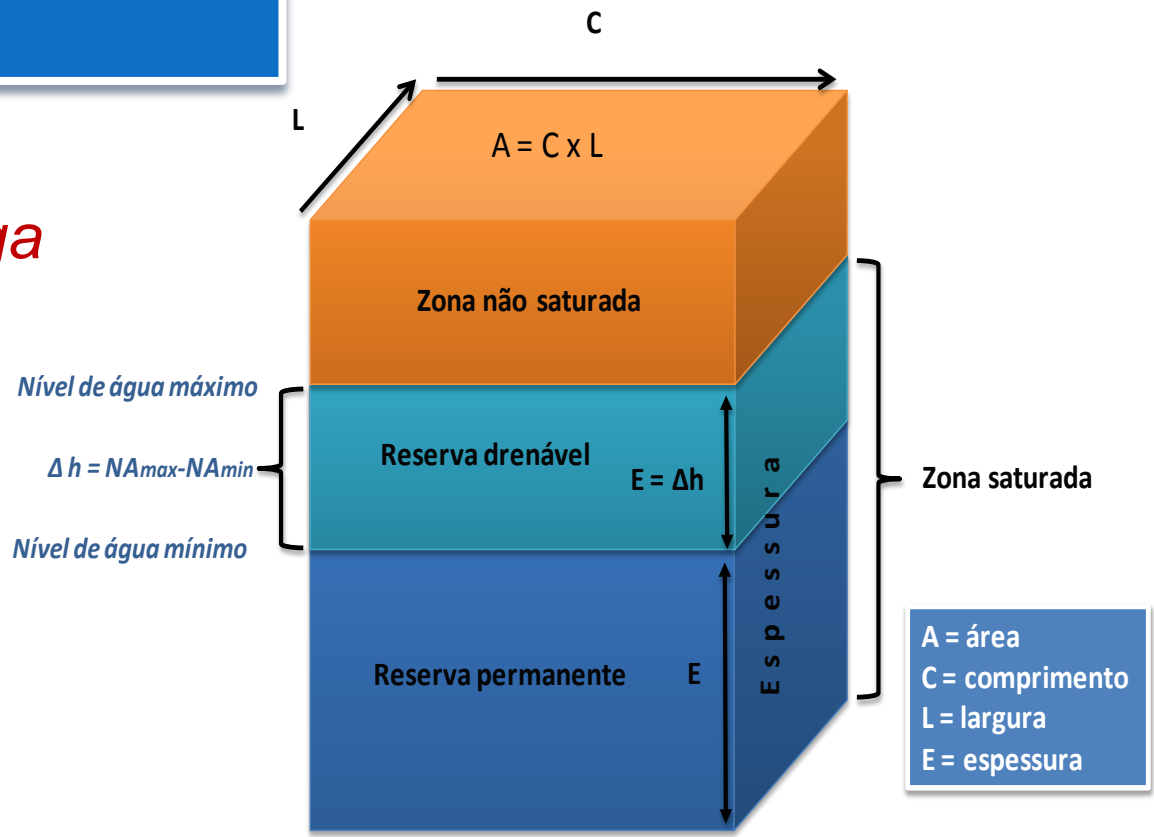
$$R_p = A \cdot E \cdot \phi_e = V \cdot \phi_e$$

A = área

E = espessura saturada

ϕ_e = porosidade efetiva

V = volume





Avaliação das Reservas Hídricas do SAU

Reservas Hídricas do SAU

Reservas Hídricas do SAU na Sub-bacia Urucuia

Área (km ²)	Volume Saturado Km ³ *	Reserva Reguladora (km ³ /ano)	Reserva Permanente (km ³) **	Reservas Totais (km ³)
109.531	9.656	22,4	1.329,5	1.351,8

**Surface Volume do programa ArcGis®*

*** Admitindo-se porosidade efetiva de 14%*



Disponibilidades Hídricas do SAU (Sub-bacia Urucuia)

Reserva reguladora

$$Dr = Eb - Q_{min}$$

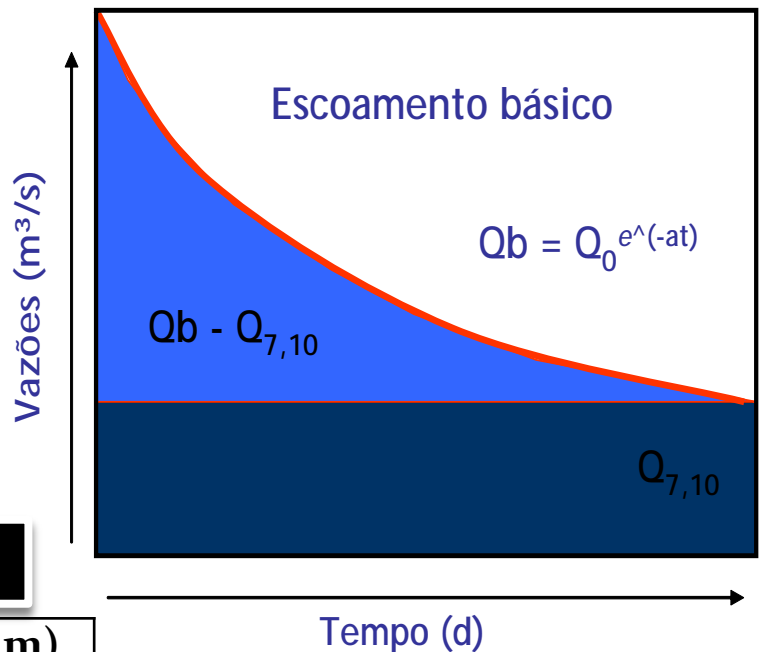
Dr = disponibilidade reserva reguladora

Eb = escoamento de base

Qmin = vazão mínima superficial

Disponibilidades - reserva reguladora

Rio	Área (km ²)	Eb (mm/ano)	Qmin (mm/ano)	Dr (mm) (mm/ano)
Pandeiros	3.346	192,39	81,48	110,91
Carinhanha	11.338	298,78	167,40	131,38
Coxá	2.301	148,50	38,22	110,28
Corrente	23.578	210,91	135,44	75,47
Grande	28.130	167,55	102,66	64,89
Preto	13.270	201,90	123,72	78,18
Média Pond.		204,22	121,78	82,43



➔ 9,03 Km³/ano



Disponibilidades Hídricas do SAU (Sub-bacia Urucuia)

Reserva permanente

Proposta: Incorporação de 10% das reservas permanentes nas disponibilidades hídricas.

Corresponde à retirada de 0,2% ao ano do volume permanente armazenado no SAU, considerando-se um cenário de 50 anos de exploração contínua.

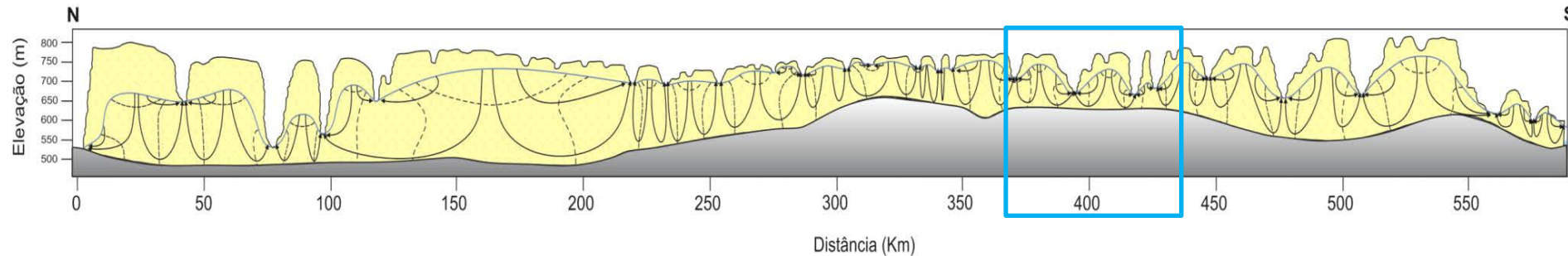
Vazão de 2,66 km³/ano.

Disponibilidades Totais Anuais

Reserva reguladora (km ³ /ano)	Reserva permanente (km ³ /ano)	Disponibilidades Totais (km ³ /ano)
9,03	2,66	11,69



Modelo Conceitual do SAU



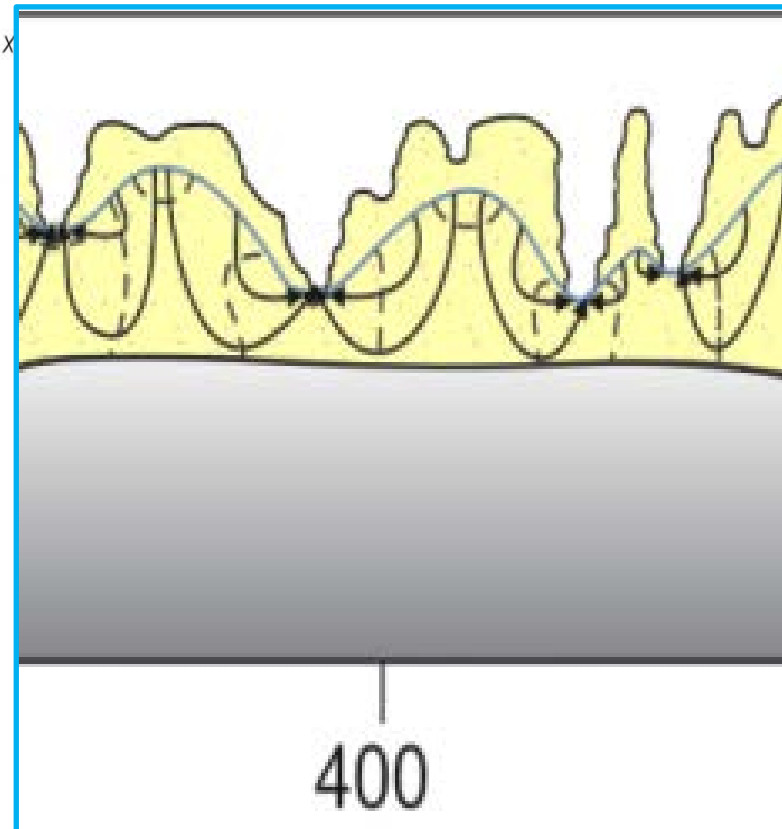
Unidades Hidroestratigráficas

- Sistema Aquífero Urucua
- Unidades Pré-Urucua

Simbologia

- Linhas Equiponteciais
- Direção de Fluxo

Exagero vertical de 54 X

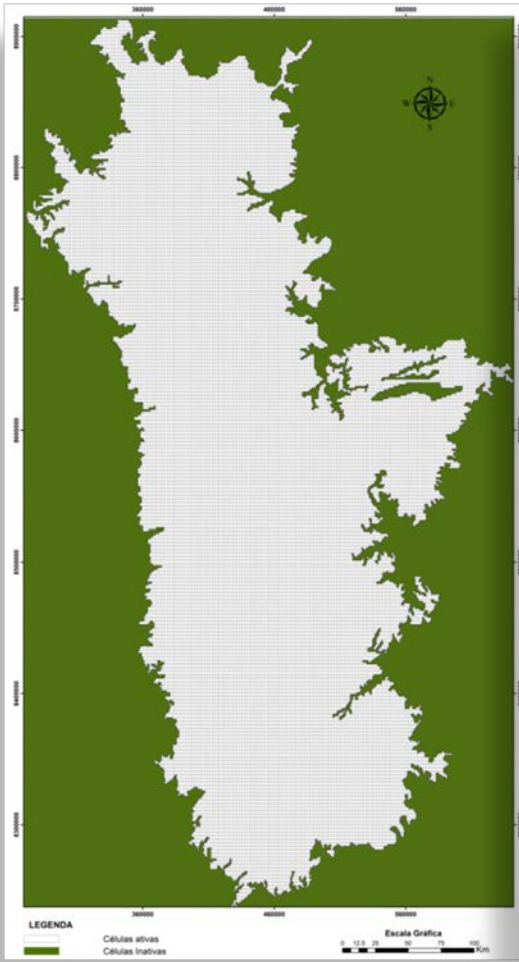


- ✓ AQUÍFERO LIVRE
- ✓ HOMOGENEIDADE LITOLÓGICA E HIDRÁULICA
- ✓ DESCARGA EM DRENAGENS QUE CORTAM O URUCUIA
- ✓ CONECTIVIDADE INEXPRESSIVA COM UNIDADES SUBJACENTES
- ✓ POSIÇÃO TOPOGRÁFICA MAIS ELEVADA, NA FORMA DE PLATÔ ISOLADO

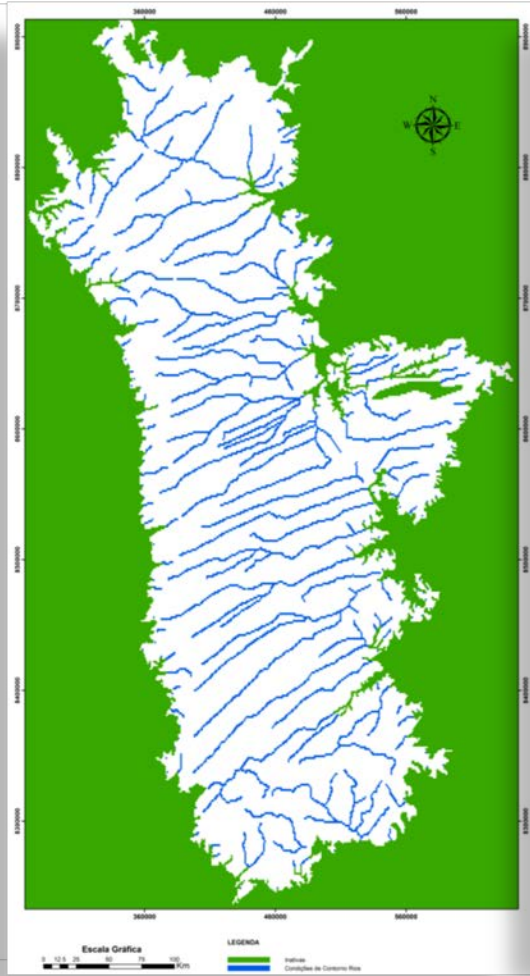


Modelo Numérico do SAU

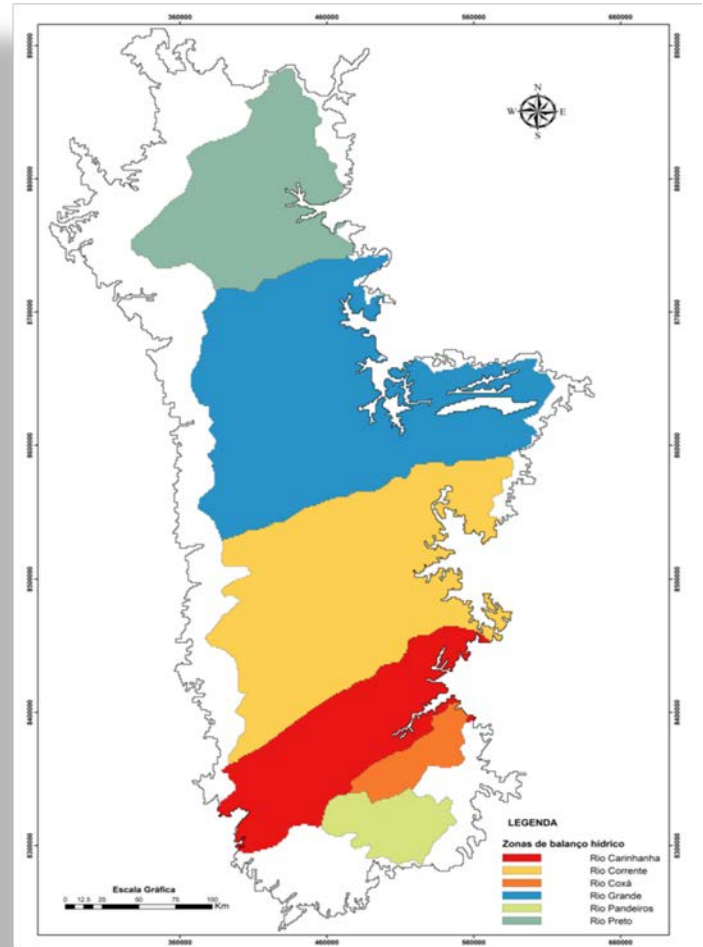
EXEMPLO: MODFLOW®



MALHA DE DIFERENÇAS FINITAS



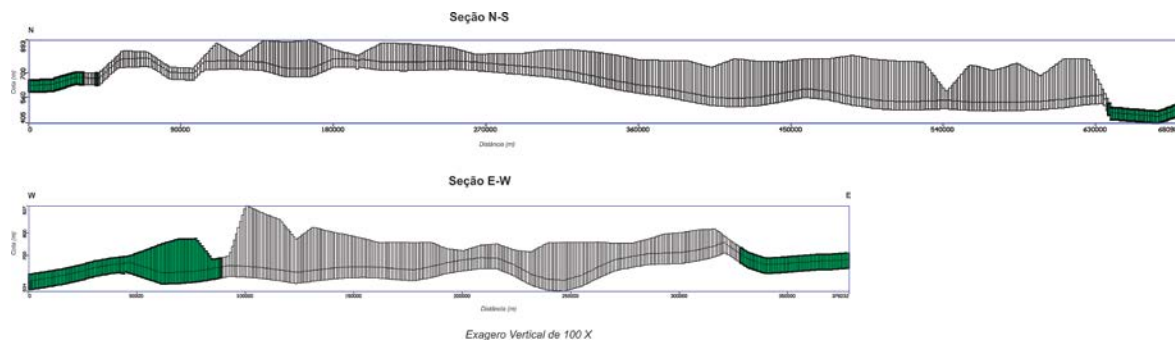
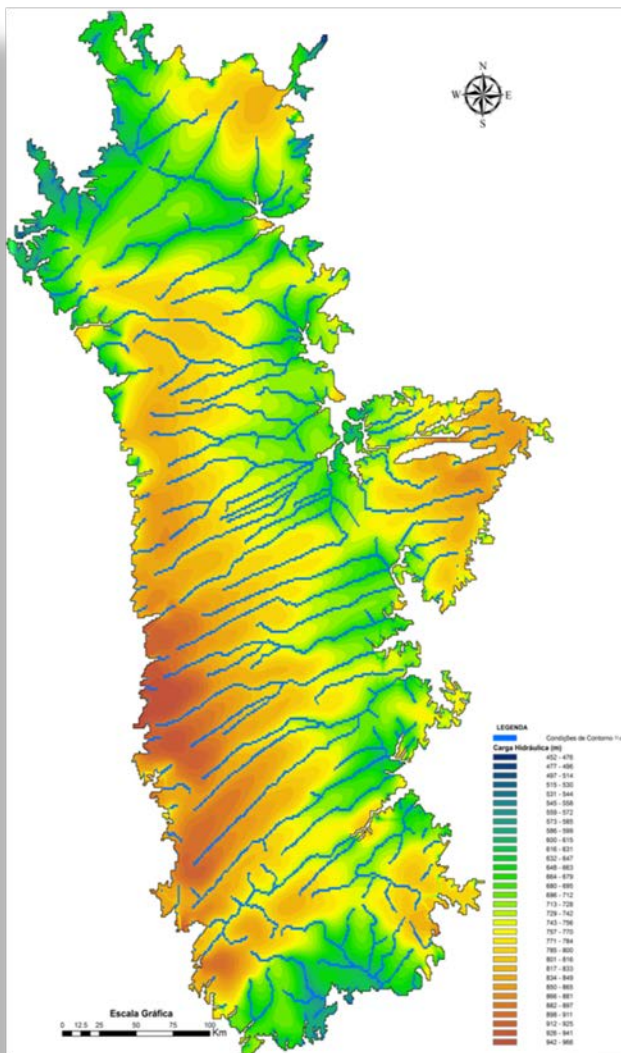
REDE DE DRENAGENS –
CONDIÇÕES DE CONTORNO



ZONAS DE BALANÇO HÍDRICO



Modelo Numérico do SAU



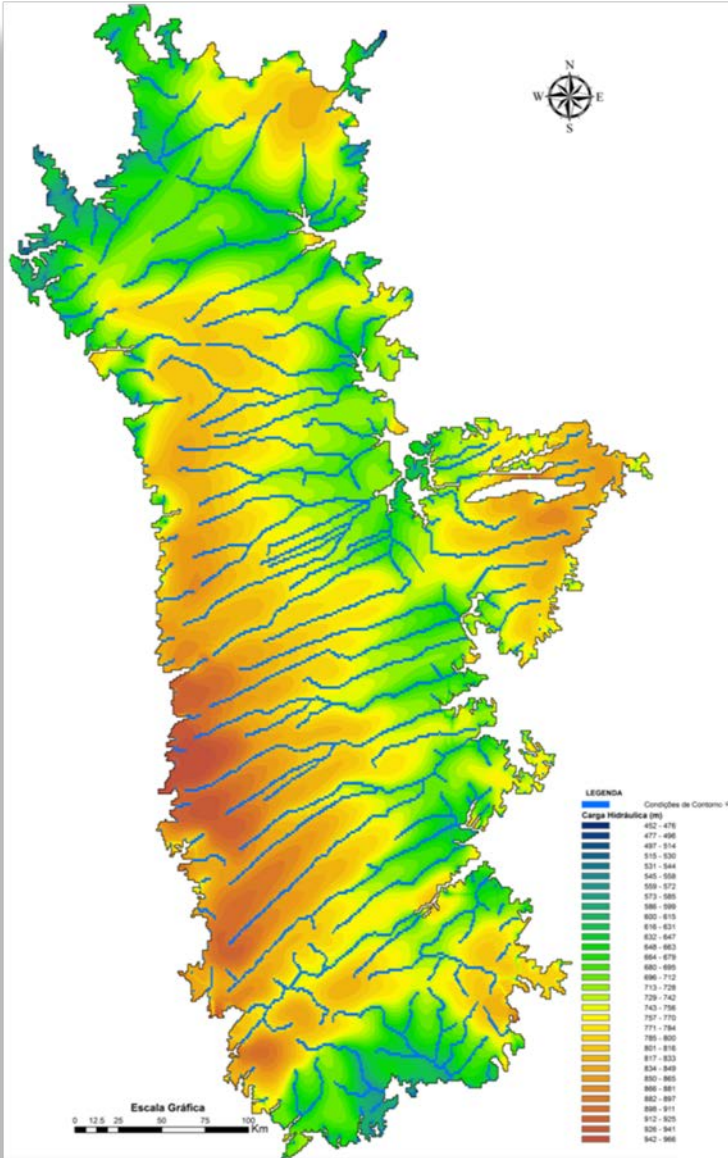
PERFIS E SEÇÕES

Zona de Balanço	Escoamento de base real (m ³ /dia)	Escoamento de base calculado (m ³ /dia)	Erro(%)
Rio Pandeiros	1681250,41	1675700,00	0,33
Rio Carinhanha	9349967,12	8608700,00	7,93
Rio Cochá	950029,32	979210,00	-3,07
Rio Corrente	15109299,18	14830000,00	1,85
Rio Grande	14511997,26	15054000,00	-3,73
Rio Preto	7751134,25	7537800,00	2,75

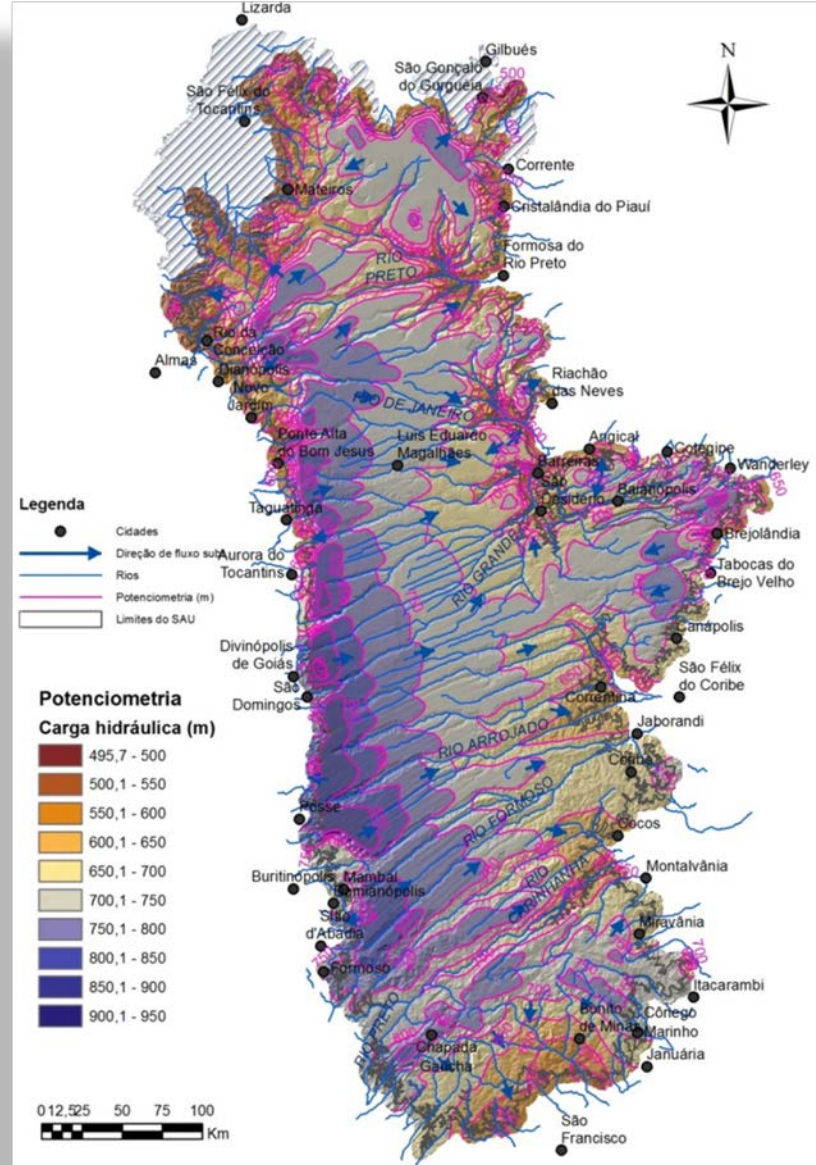


Modelo Numérico do SAU

POTENCIOMETRIA SIMULADA

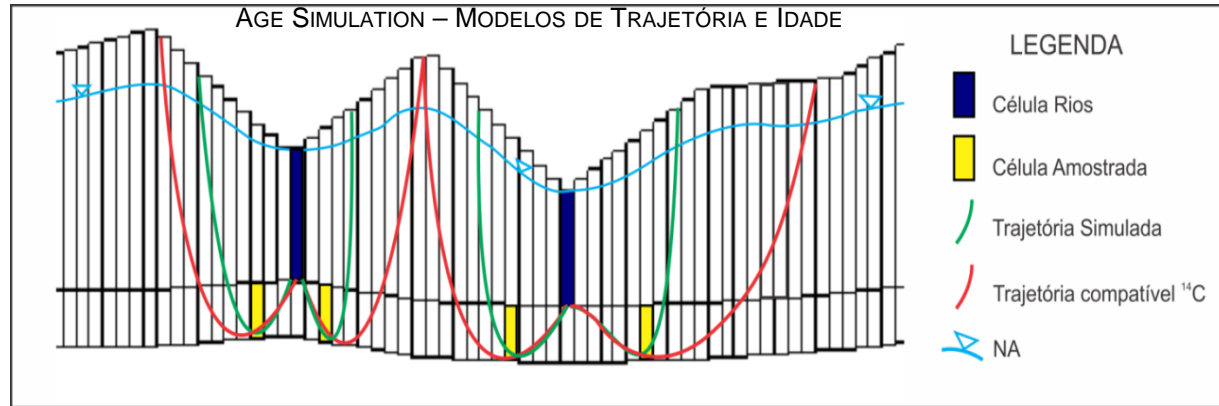


POTENCIOMETRIA OBSERVADA





Modelo Numérico do SAU



TRAJETÓRIAS DE FLUXO X CARBONO 14

ANÁLISE			MODELO			DISTÂNCIA NECESSÁRIA (km)
Nº Am	Idade (BP)	Prof (m)	Tempo de Percurso (anos)	Distância Percorrida (km)	Velocidade Média (m/ano)	
U012	450	315	491.9	10.1	20.6	9.3
U037	2380	236	308.9	10.6	34.2	81.5
U057	2240	230	696.2	10.2	14.6	32.7
U069	1507	280	402.4	7.8	19.4	29.2
U081	985	197	376.3	14.0	37.3	36.8
U089	790	190	411.3	16.4	39.9	31.5
U091	1821	193	600.1	8.8	14.7	26.8
U099	1157	204	324.6	8.8	27.1	31.4
U108	2805	290	193.9	3.7	19.1	53.6
U115	2170	180	226.7	5.7	25.3	54.9
U143	1418	282	293.0	3.8	12.9	18.3
			Média	9.1	24.1	36.9



Considerações Finais

- O SAU é um excelente aquífero, pois apresenta taxa de recarga elevada. No entanto:
 - ✓ A descarga é muito rápida e escoar em todas direções;
 - ✓ Feição geomorfológica de chapadão e relevo muito dissecado implicam em rápida drenagem da “Reserva Permanente”
- É necessário ampliar o conhecimento do arcabouço hidrogeológico do SAU. Para tanto, é necessário:
 - ✓ Exigir perfilagem geofísica, testes (normas ABNT) e relatório padrão para aprovação de projetos de perfuração ou outorga de uso;
 - ✓ Incrementar a rede de monitoramento Flúvio-Pluviométrico e de Poços;
 - ✓ Exigir instrumentação de níveis e de vazões, em poços de grande vazão.



Obrigado !

chang@rc.unesp.br