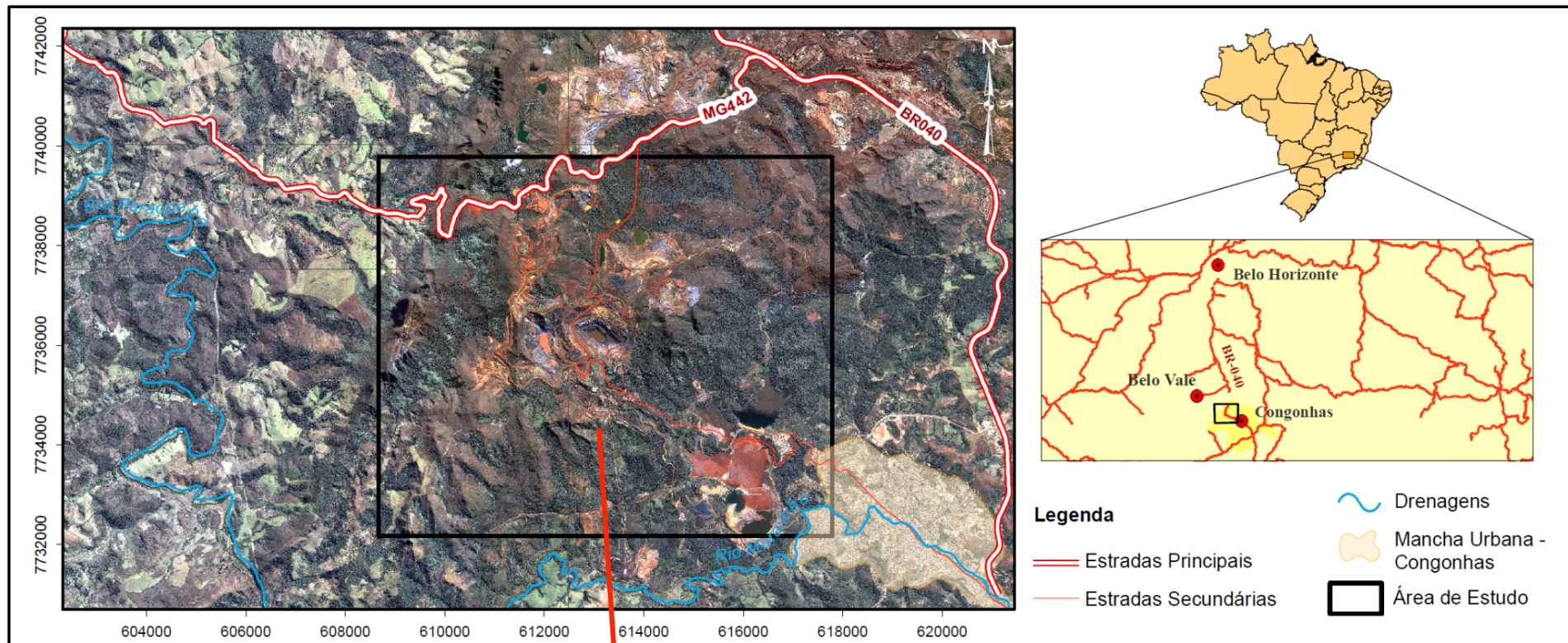


## ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA REGIÃO DA SERRA DO ENGENHO E ARREDORES, SUDOESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, CONGONHAS – MG

*Viviane Cristina Vieira da Cunha; Breno Alexandre Pereira; Daniela Alcântara Machado, Rodrigo Sérgio de Paula; Kênia Guerra & Antônio Carlos Bertachini.*

## Localização da Área de Estudo



**Mina Casa de Pedra - CSN**

## Estudo Hidrogeológico

### Objetivos

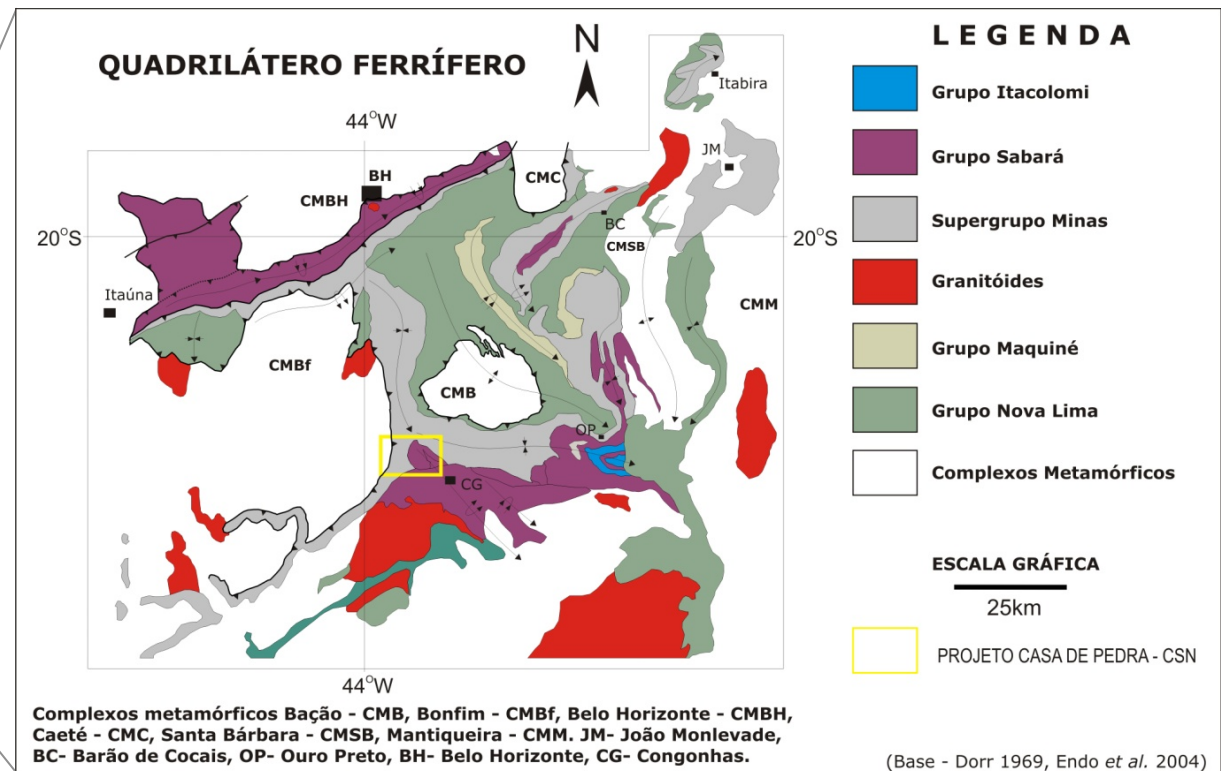
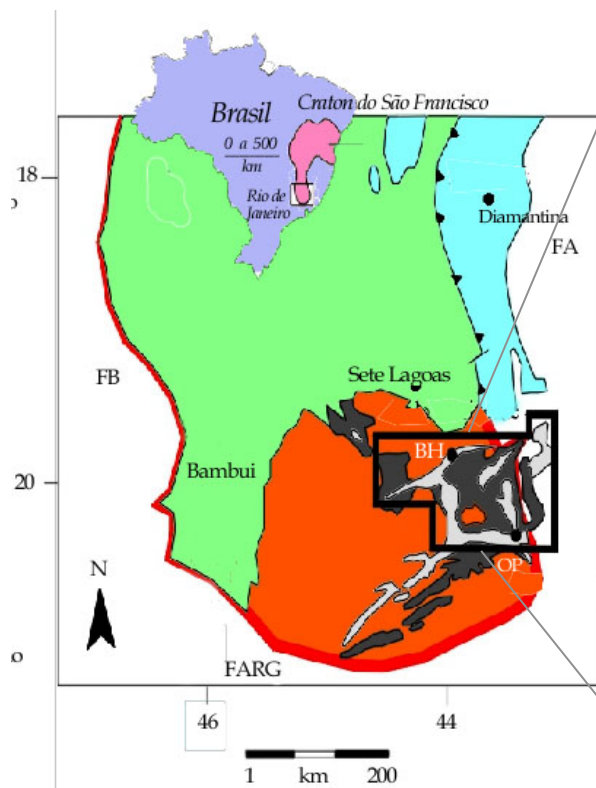
- Dar suporte ao sistema de rebaixamento da mina
- Caracterizar as unidades hidrogeológicas
- Caracterizar o fluxo d'água subterrâneo
- Analisar os impactos aos recursos hídricos

### Etapas

- Compilação de dados
- Inventário de nascentes e captações
- Análises hidroquímicas e isotópicas
- Modelo hidrogeológico conceitual
- Modelo hidrogeológico numérico
- Análises dos impactos aos recursos hídricos
- Proposição de medidas mitigadoras

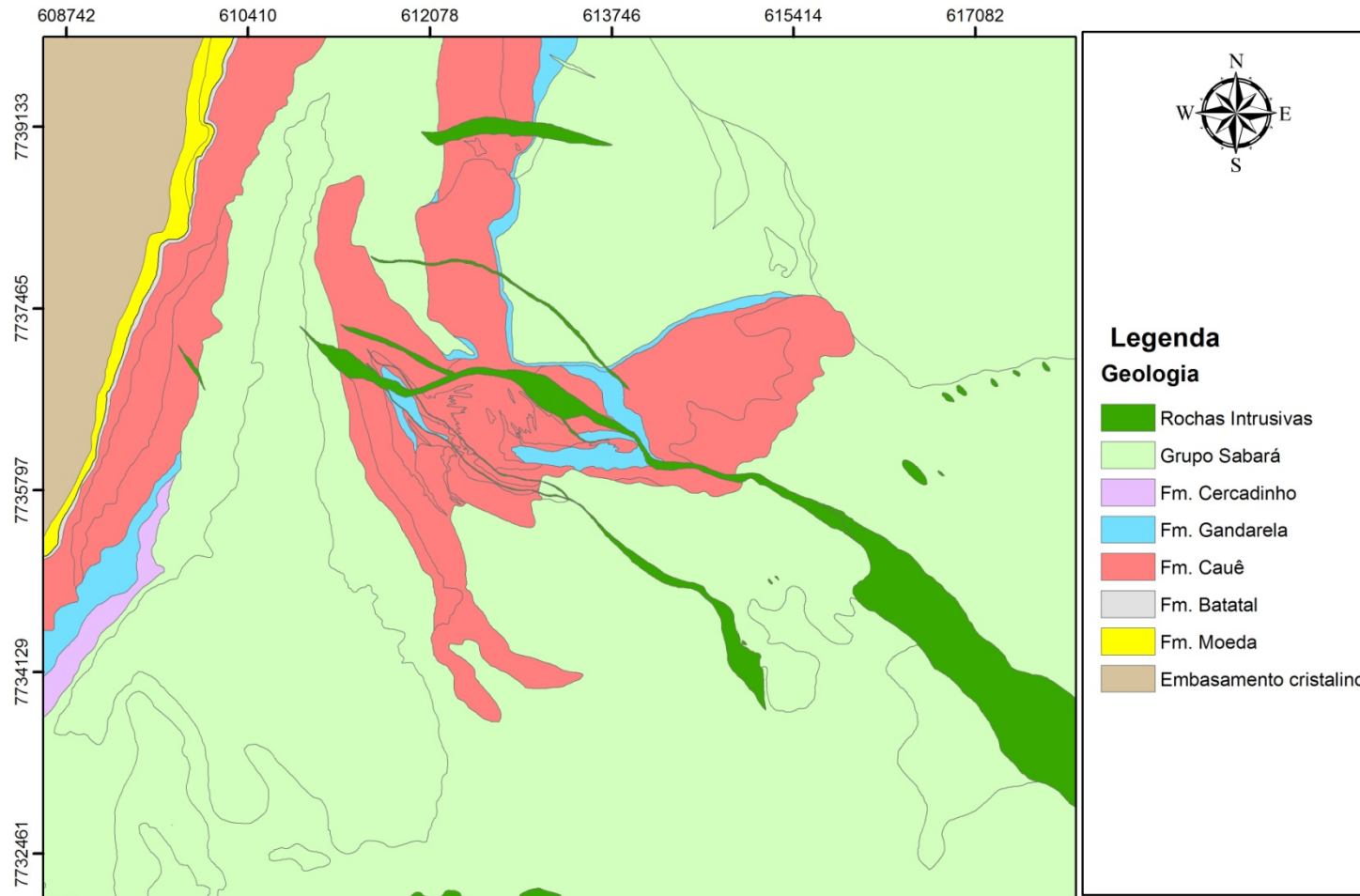
## Geologia Regional

### Cráton São Francisco



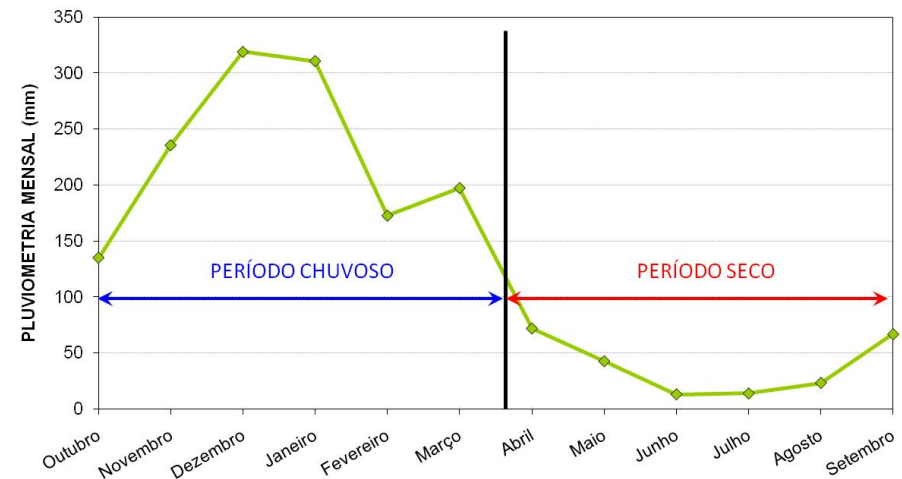
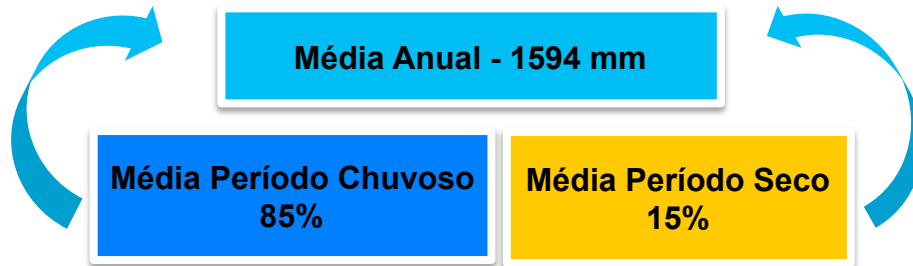


## Geologia Local



## Monitoramento Hidrometeorológico - Pluviometria

### Pluviometria

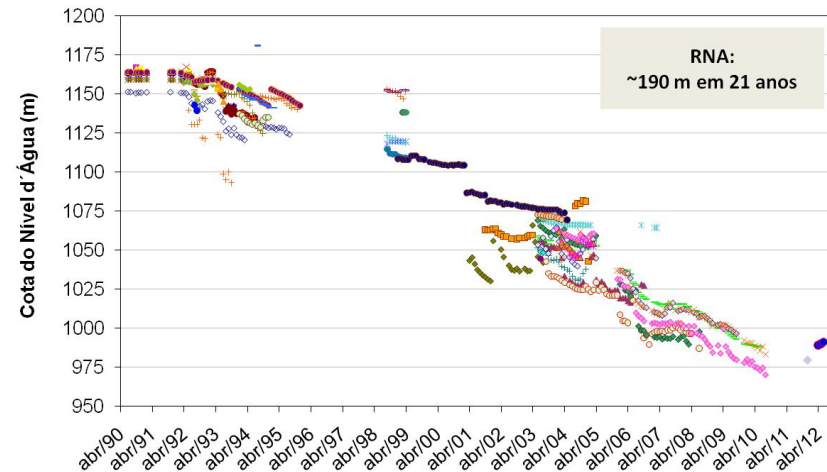


### Piezometria

Nível Inicial = 1150 – 1165 m  
Nível Atual = 975 m

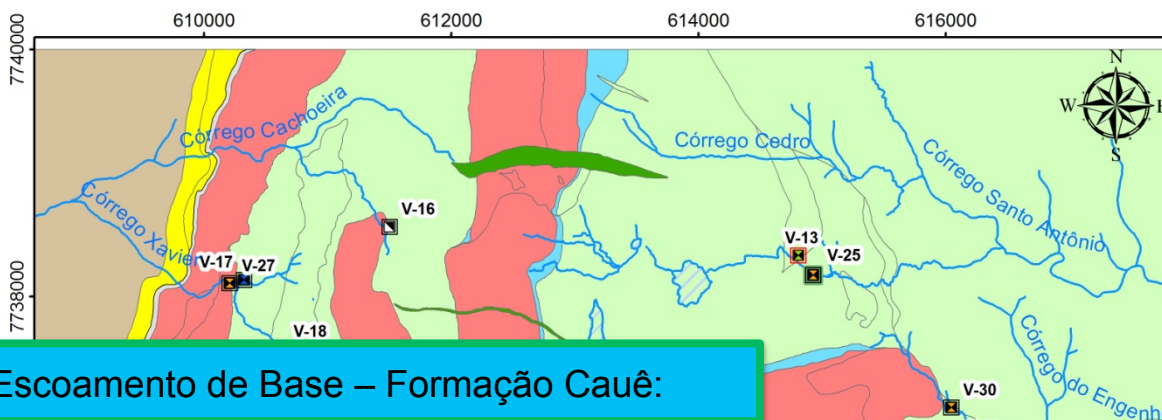
### Vazão de Bombeamento dos Poços

**Vazão Média Mensal Produzida:**  
Inicialmente = 100 m<sup>3</sup>/h  
Atualmente = 500 m<sup>3</sup>/h

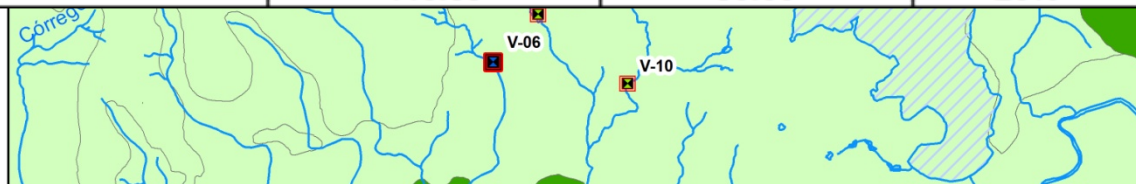


## Monitoramento Hidrometeorológico

### Vazões dos Cursos D'água



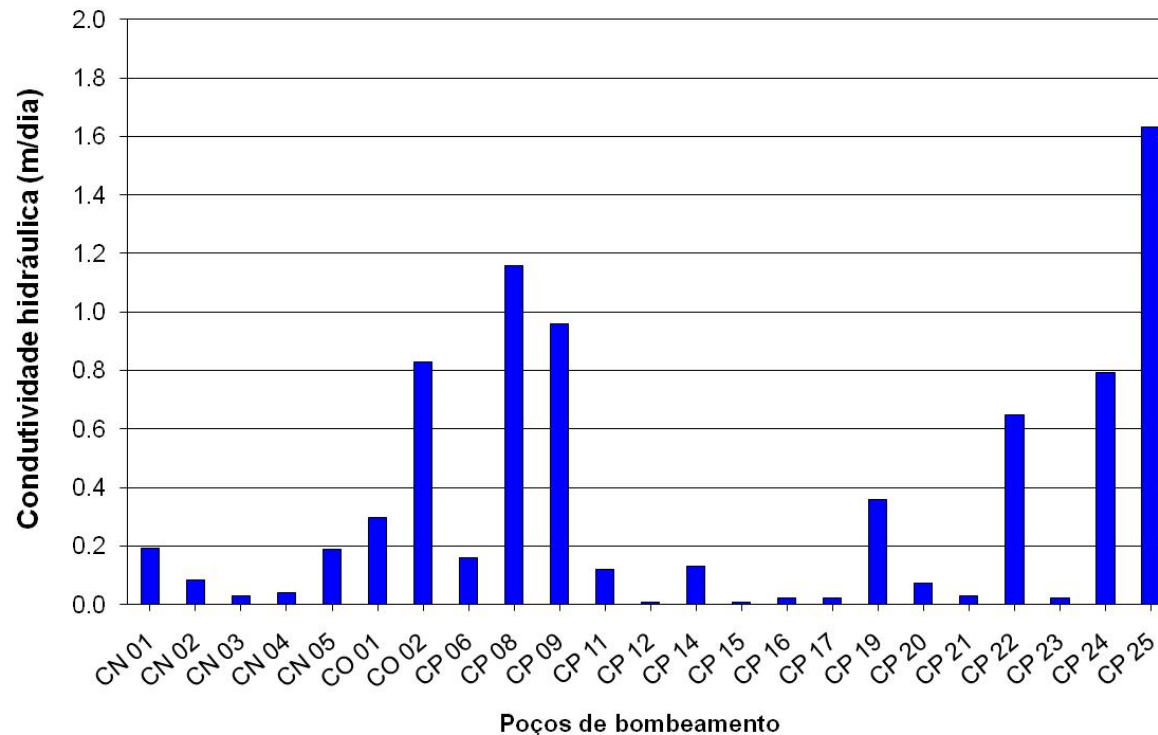
ESTRUTURA	ÁREA BACIA (km <sup>2</sup> )	PLUVIOMETRIA (mm/ano)	PLUVIOMETRIA (m <sup>3</sup> /h)	ESCOAMENTO DE BASE (m <sup>3</sup> /h)	RECARGA
V-02	0.90	1600.00	164.38	23.00	14%
V-11	0.44		80.37	4.50	6%
V-12	0.25		45.66	4.00	9%
V-09 + V-15	0.94		171.69	140.00	82%
V-16	0.49		89.50	2.32	3%
V-20	0.85		155.25	38.57	25%
V-29	0.30		54.79	35.00	64%
V-30	0.64		116.89	30.00	26%



## Ensaio de Bombeamento

Os poços captam diferentes Unidades do Aquífero Cauê

Foi empregado o método de Cooper-Jacob  
Aquíferos Confinados – Regime Transitório  
Aquíferos Livres – Rebaixamento Corrigido



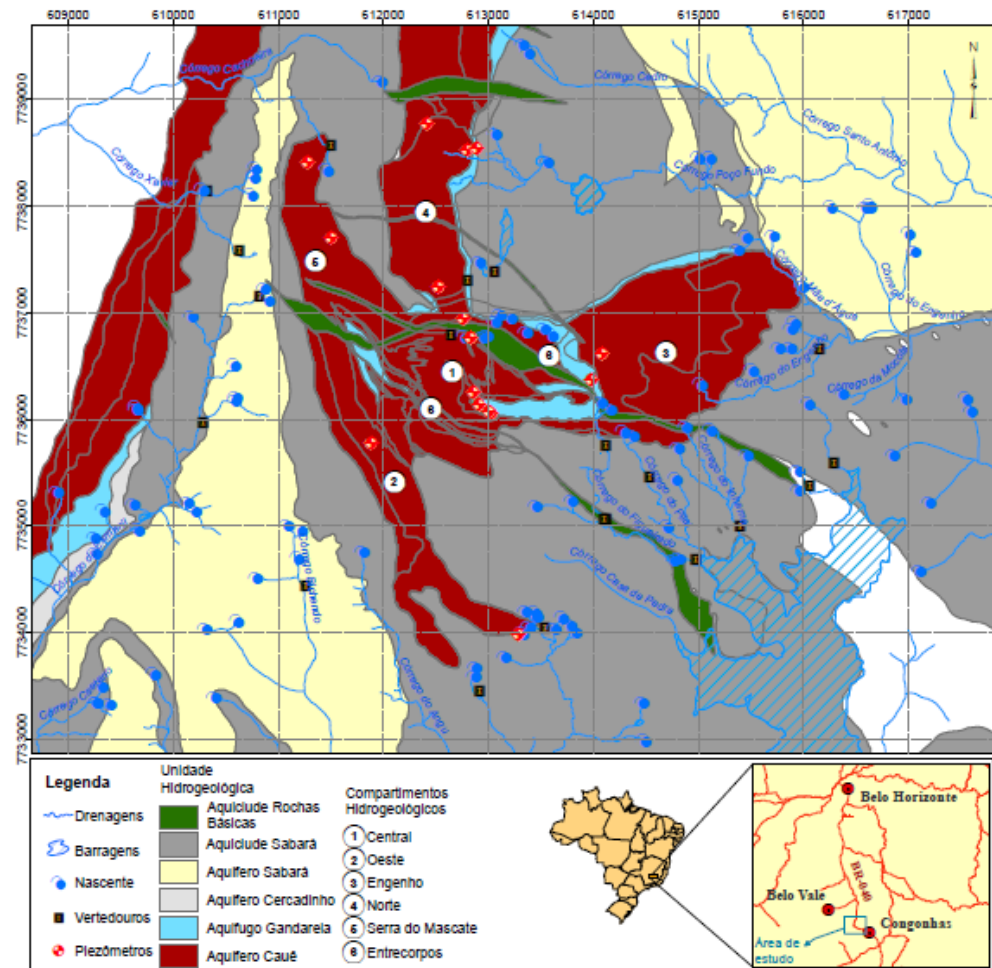
Poços	K (m/dia)
CN 01	0.193
CN 02	0.084
CN 03	0.031
CN 04	0.043
CN 05	0.189
CO 01	0.298
CO 02	0.831
CP 06	0.161
CP 08	1.158
CP 09	0.960
CP 11	0.122
CP 12	0.010
CP 14	0.131
CP 15	0.010
CP 16	0.024
CP 17	0.024
CP 19	0.360
CP 20	0.072
CP 21	0.031
CP 22	0.648
CP 23	0.024
CP 24	0.792
CP 25	1.632



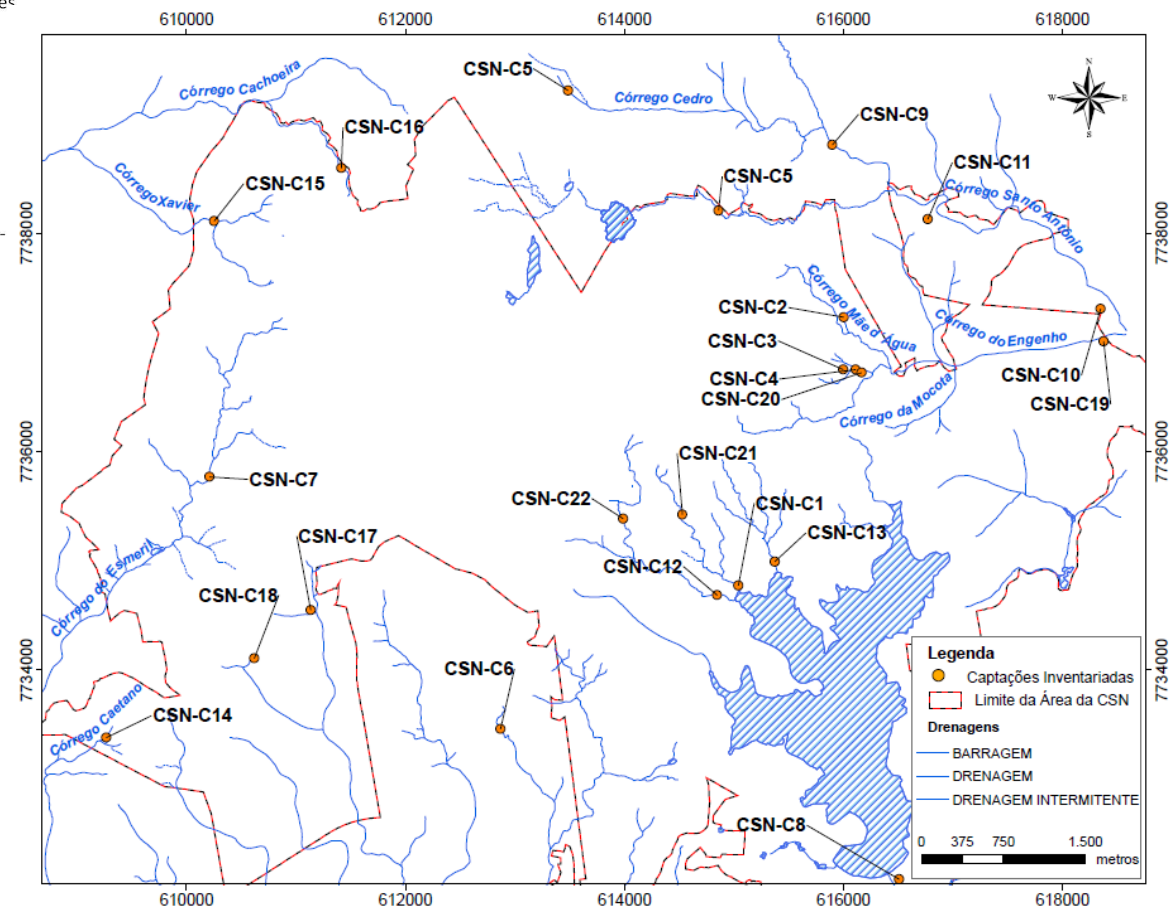
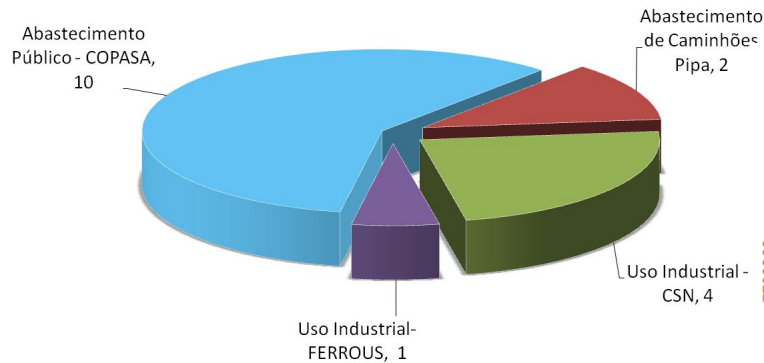
# Inventário de Pontos D'água



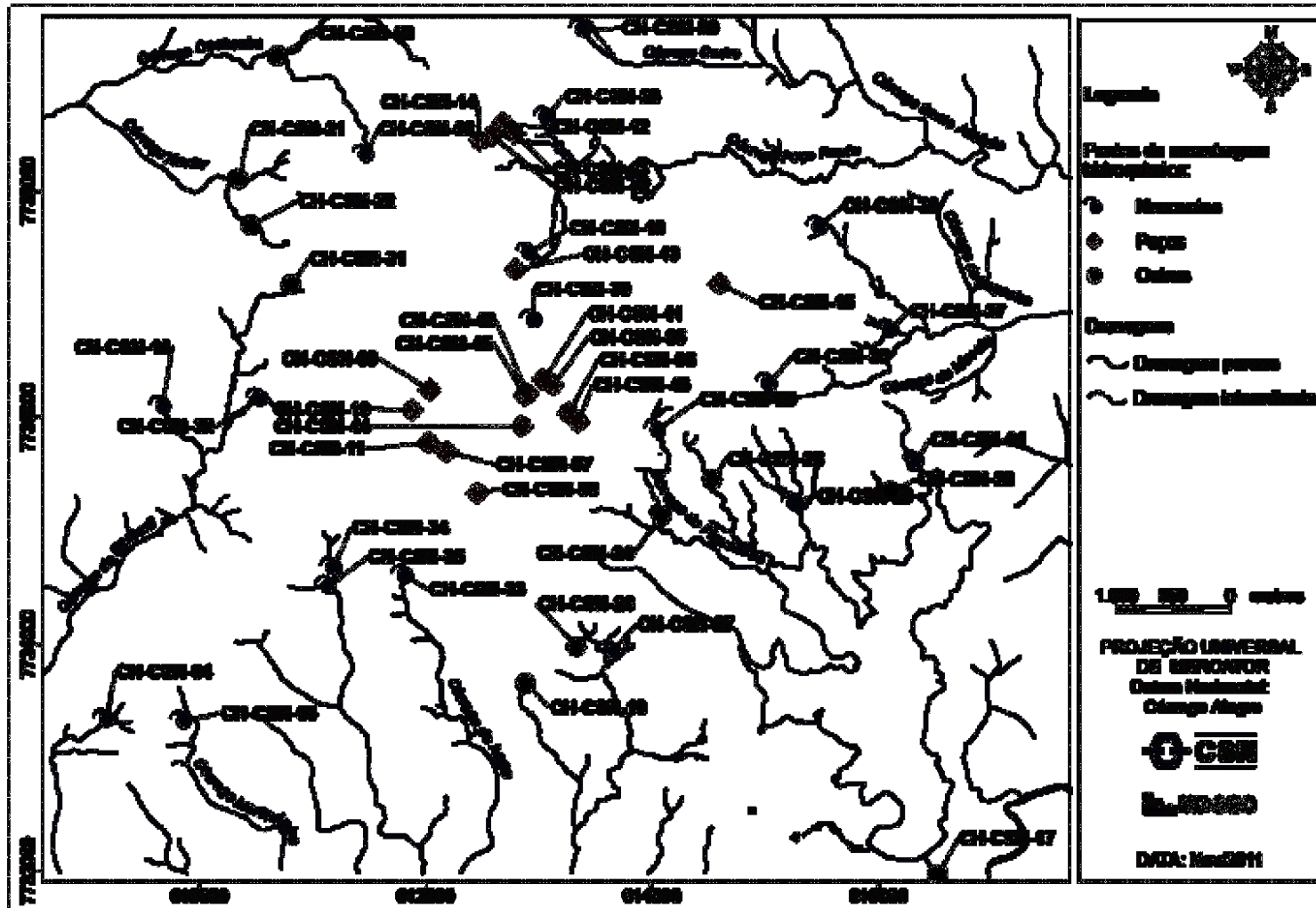
105  
nascentes



# Inventário de Captações

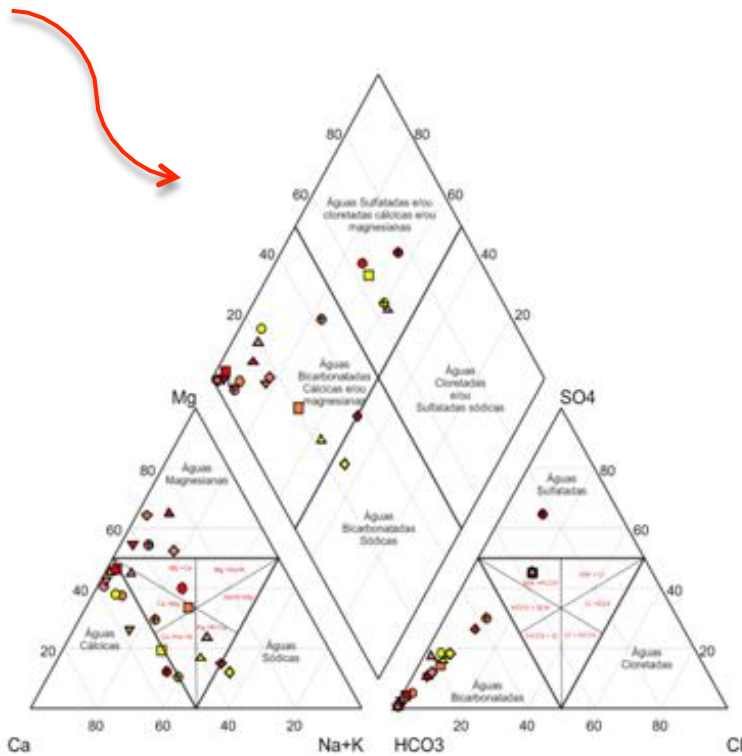


**Pontos de coleta para análise hidroquímica**

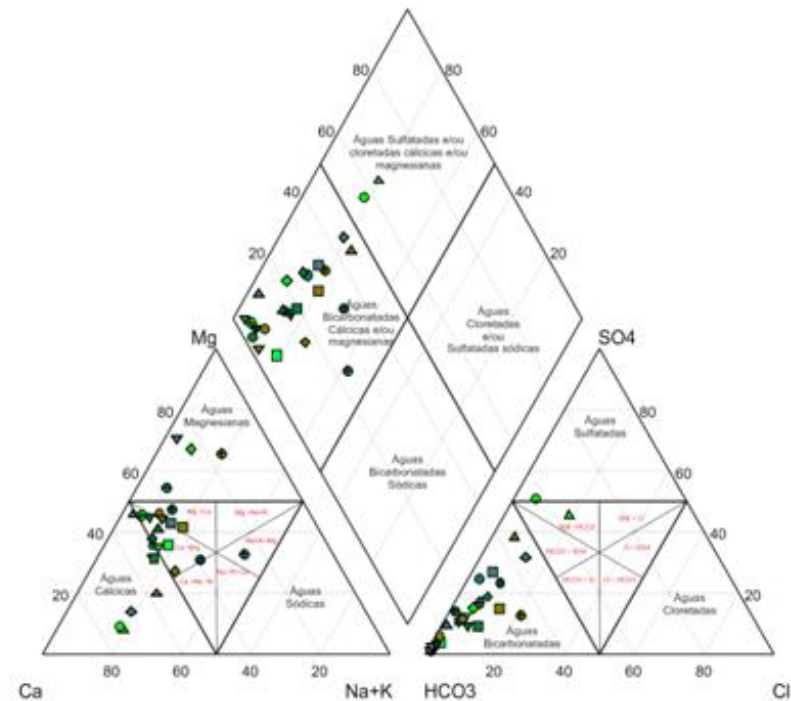


## Análises Hidroquímicas

### Diagramas de Piper

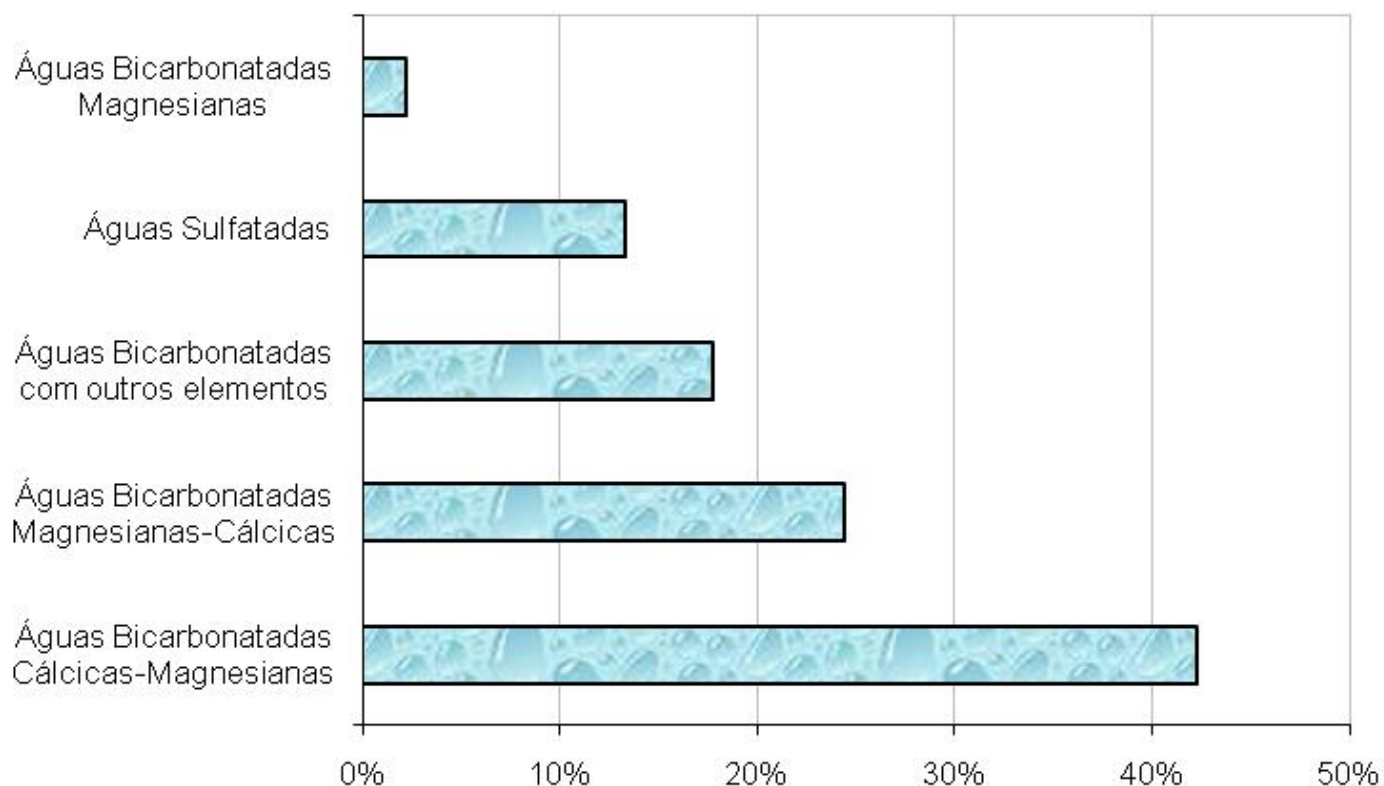


- Águas Subterrâneas**
- DK-238-05
  - DK-238-06
  - DK-238-07
  - DK-238-08
  - DK-238-09
  - DK-238-10
  - DK-238-11
  - DK-238-12
  - DK-238-13
  - DK-238-14
  - DK-238-15
  - DK-238-16
  - DK-238-17
  - DK-238-18
  - DK-238-19
  - DK-238-20
  - DK-238-21
  - DK-238-22
  - DK-238-23
  - DK-238-24
  - DK-238-25
  - DK-238-26
  - DK-238-27
  - DK-238-28
  - DK-238-29
  - DK-238-30
  - DK-238-31
  - DK-238-32
  - DK-238-33
  - DK-238-34
  - DK-238-35
  - DK-238-36
  - DK-238-37
  - DK-238-38
  - DK-238-39
  - DK-238-40

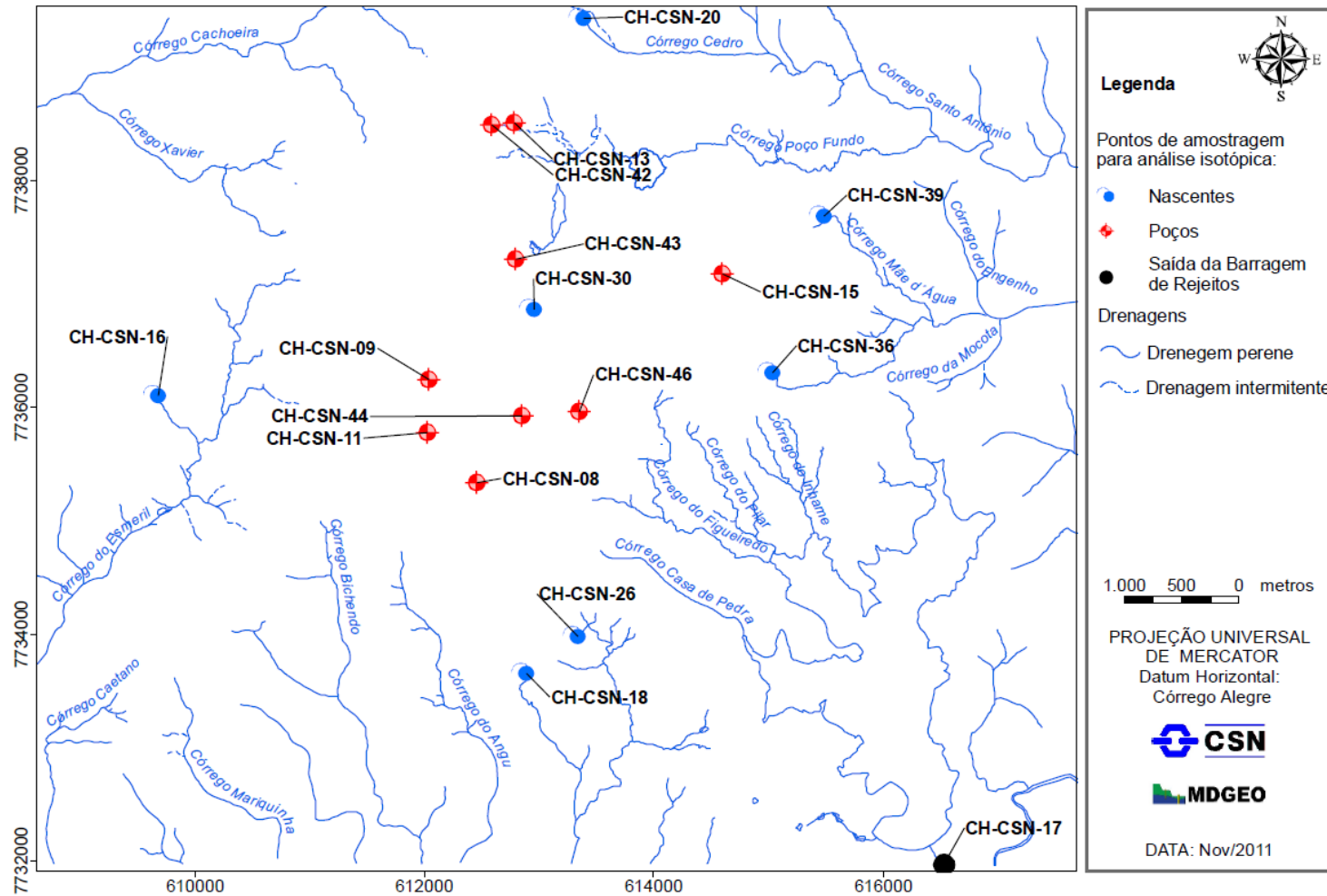


- Águas Superficiais**
- DK-238-41
  - DK-238-42
  - DK-238-43
  - DK-238-44
  - DK-238-45
  - DK-238-46
  - DK-238-47
  - DK-238-48
  - DK-238-49
  - DK-238-50
  - DK-238-51
  - DK-238-52
  - DK-238-53
  - DK-238-54
  - DK-238-55
  - DK-238-56
  - DK-238-57
  - DK-238-58
  - DK-238-59
  - DK-238-60

## Classificação Hidroquímica das Amostras



## Pontos de coleta para análises isotópicas

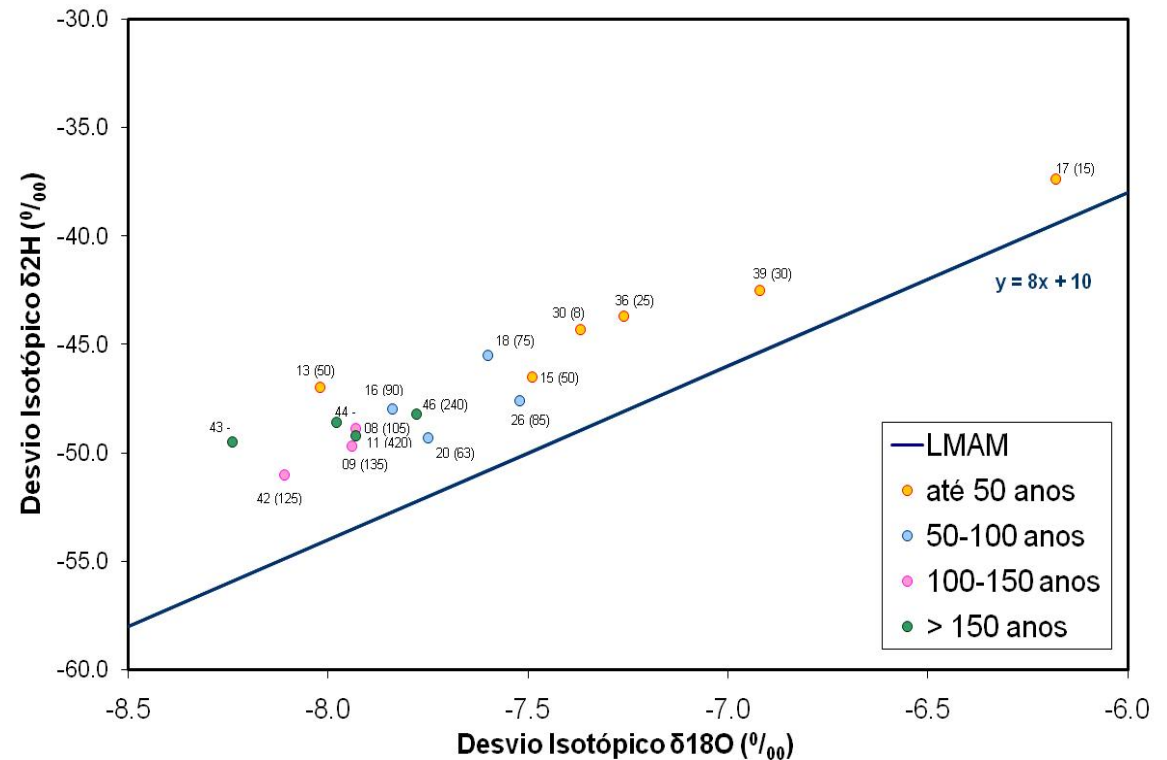


## Análises Isotópicas

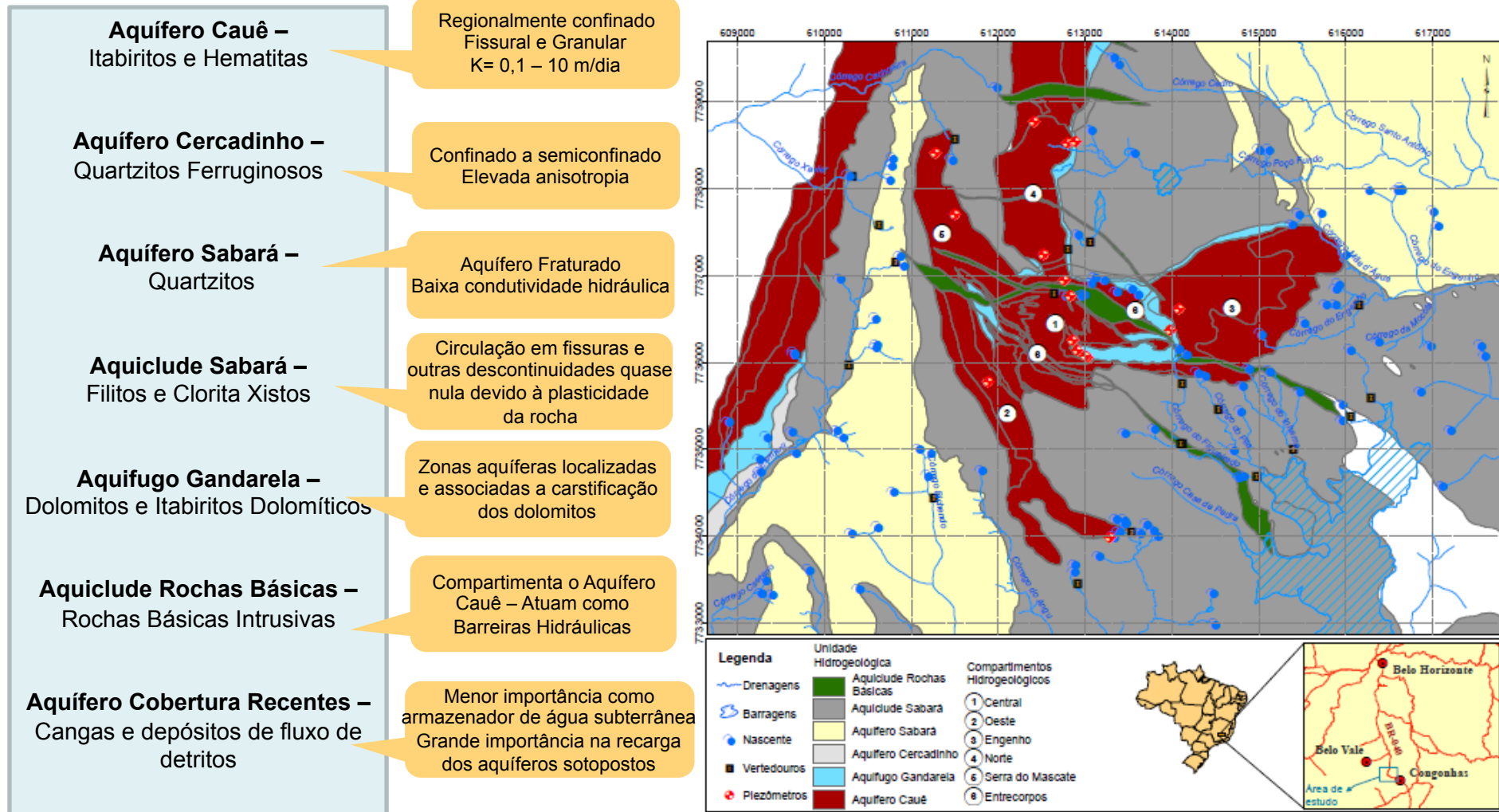
Oxigênio-18, Deutério e Trítio

Nascentes – Águas mais recentes

Poços – Águas mais antigas

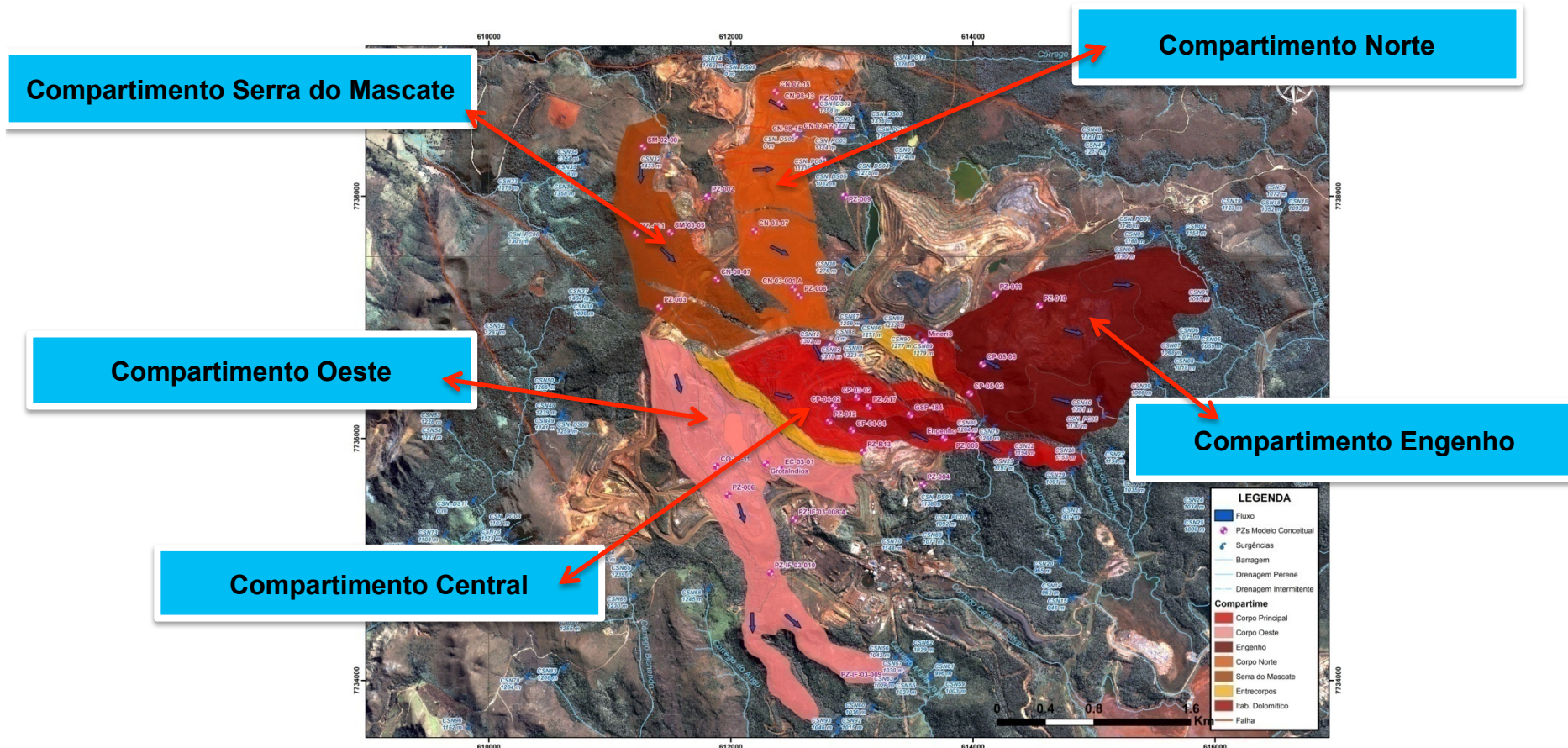


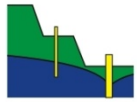
## Unidades Hidrogeológicas



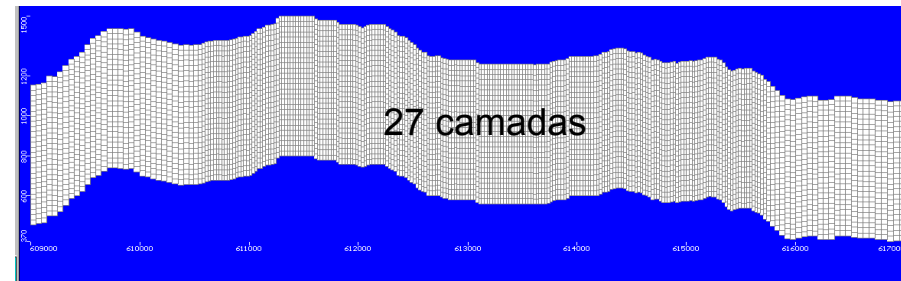
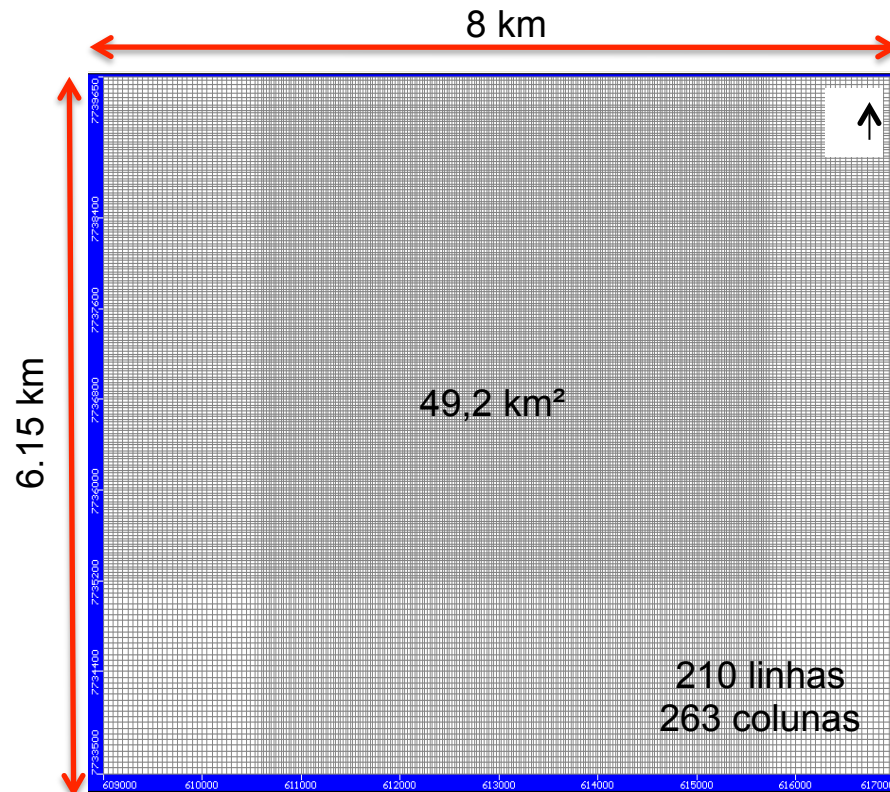


# Compartimentação Hidrogeológica





## Montagem do Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea - Grid

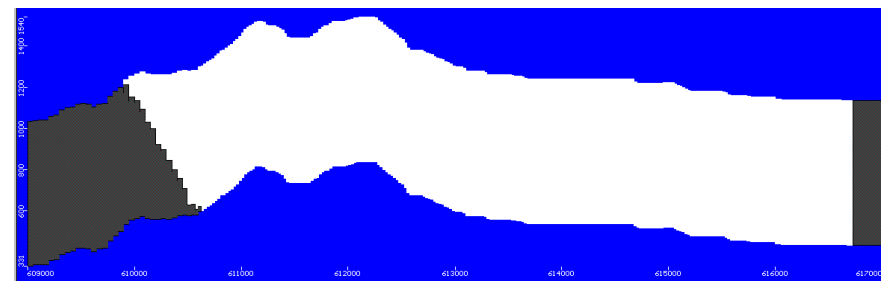
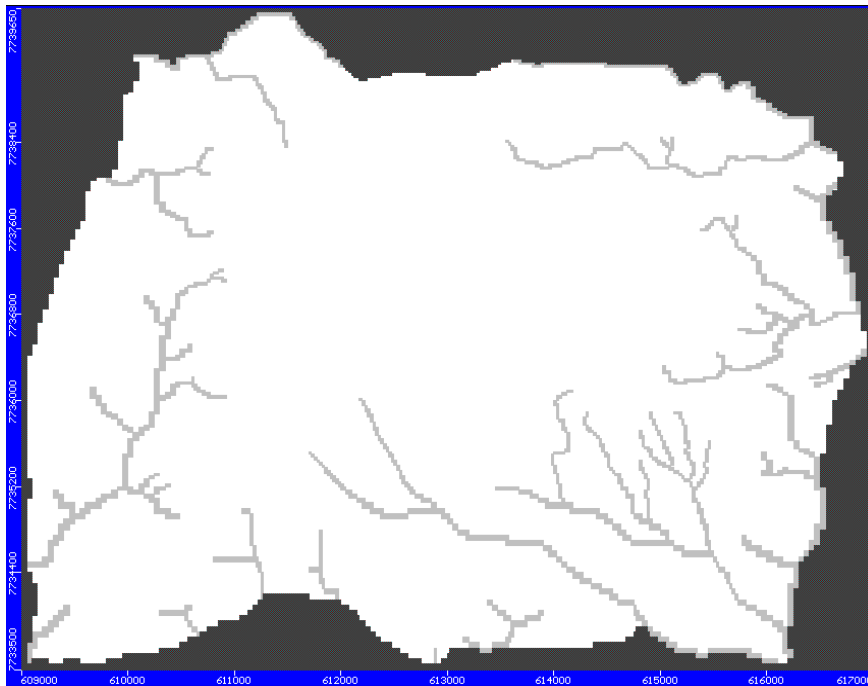


Limite Superior – Superfície Topográfica  
Limite inferior – Cota mais baixa projetada

**1.491.210 células**

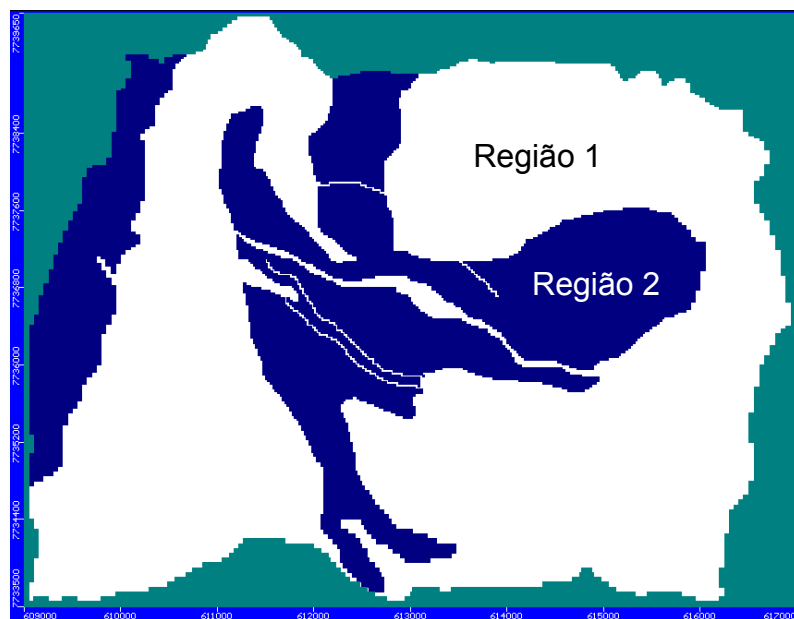
## Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea – Condições de contorno

**Fluxo Nulo – entorno da área modelada  
representado por células inativas**

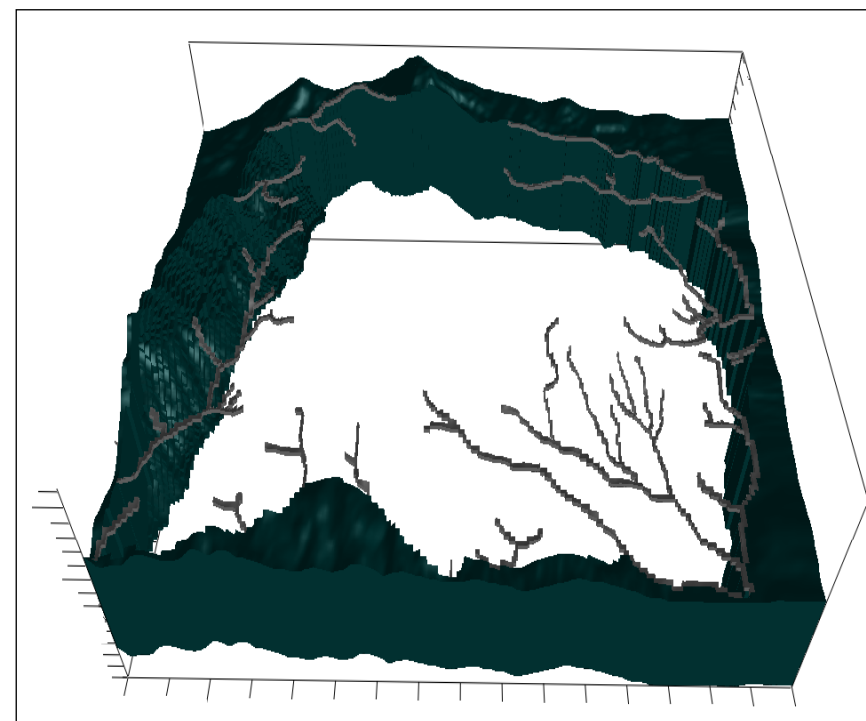


## Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea – Condições de contorno

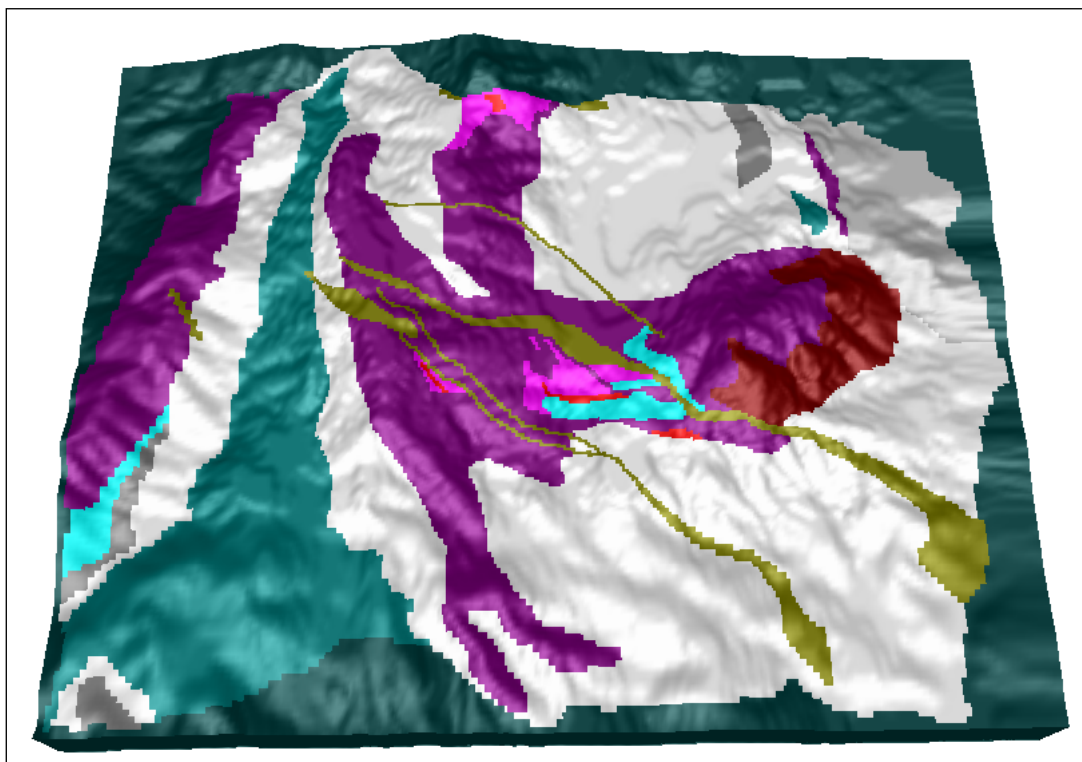
**Recarga**  
Formação ferrífera (Região 2): 28%,  
Demais unidades (Região 1): 10%.



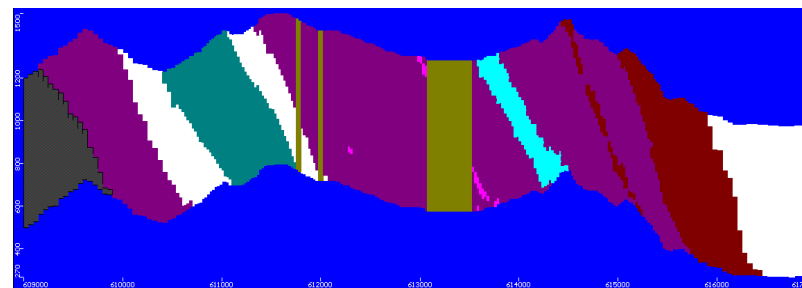
**Drenos –  
Cursos D'água**

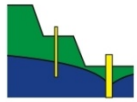


## Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea – Propriedades Hidrodinâmicas



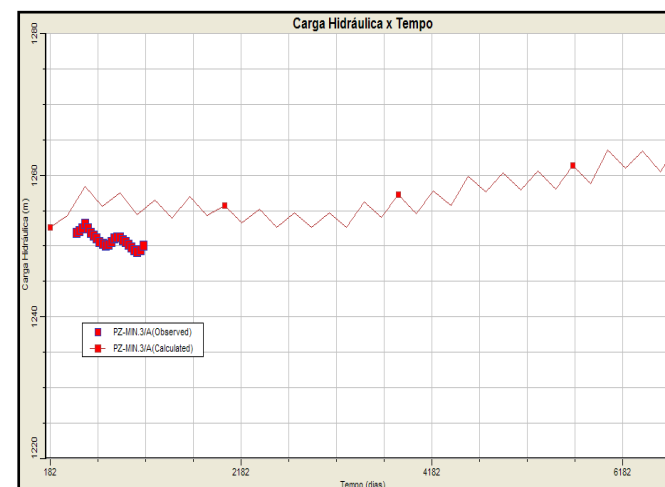
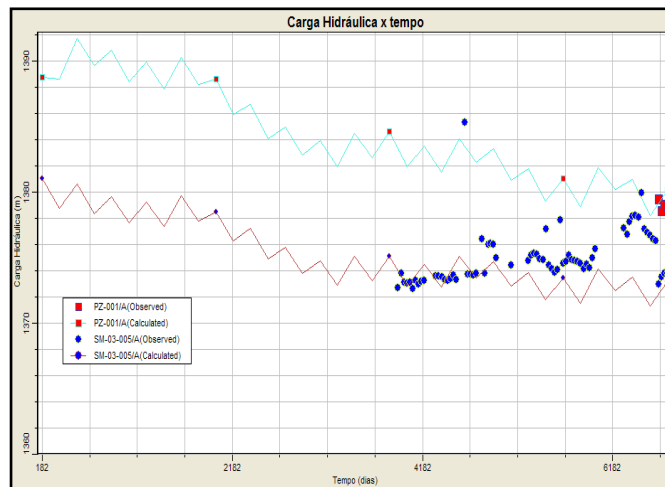
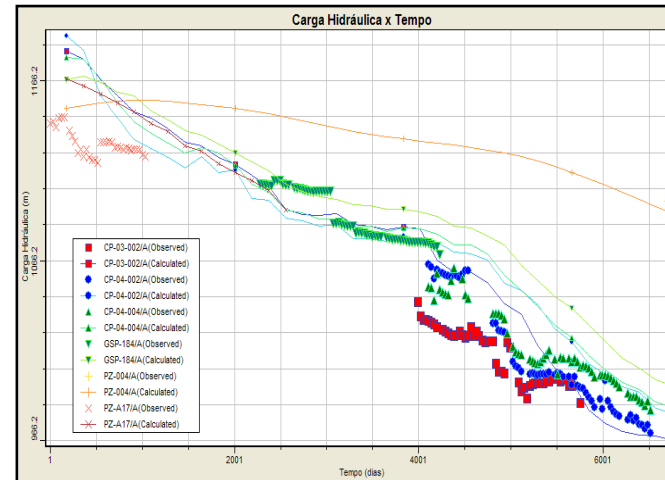
Cor	Prop.	Descrição	Condutividade Hidráulica (m/dia)			Armazenamento	
			Kx	Ky	Kz	Ss (1/m)	Sy
	1	Clorita xistos e filitos cinza indiferenciados	0.001	0.001	0.001	0.0001	0.003
	4	Quartzito	0.04	0.06	0.04	0.0005	0.009
	5	Itabirito compacto	0.07	0.14	0.07	0.00008	0.09
	6	Itabirito brando	0.12	0.24	0.12	0.00008	0.05
	7	Rocha básica intrusiva	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.005
	8	Quartzito conglomerático	0.05	0.07	0.05	0.0005	0.02
	9	Quartzito Ferruginoso	0.06	0.08	0.06	0.0005	0.02
	12	Itabirito Dolomítico	1.3	1.3	1.3	0.0001	0.1
	13	Hematita compacta	0.07	0.14	0.07	0.0001	0.1
	14	Hematita branda	0.12	0.24	0.12	0.0008	0.1





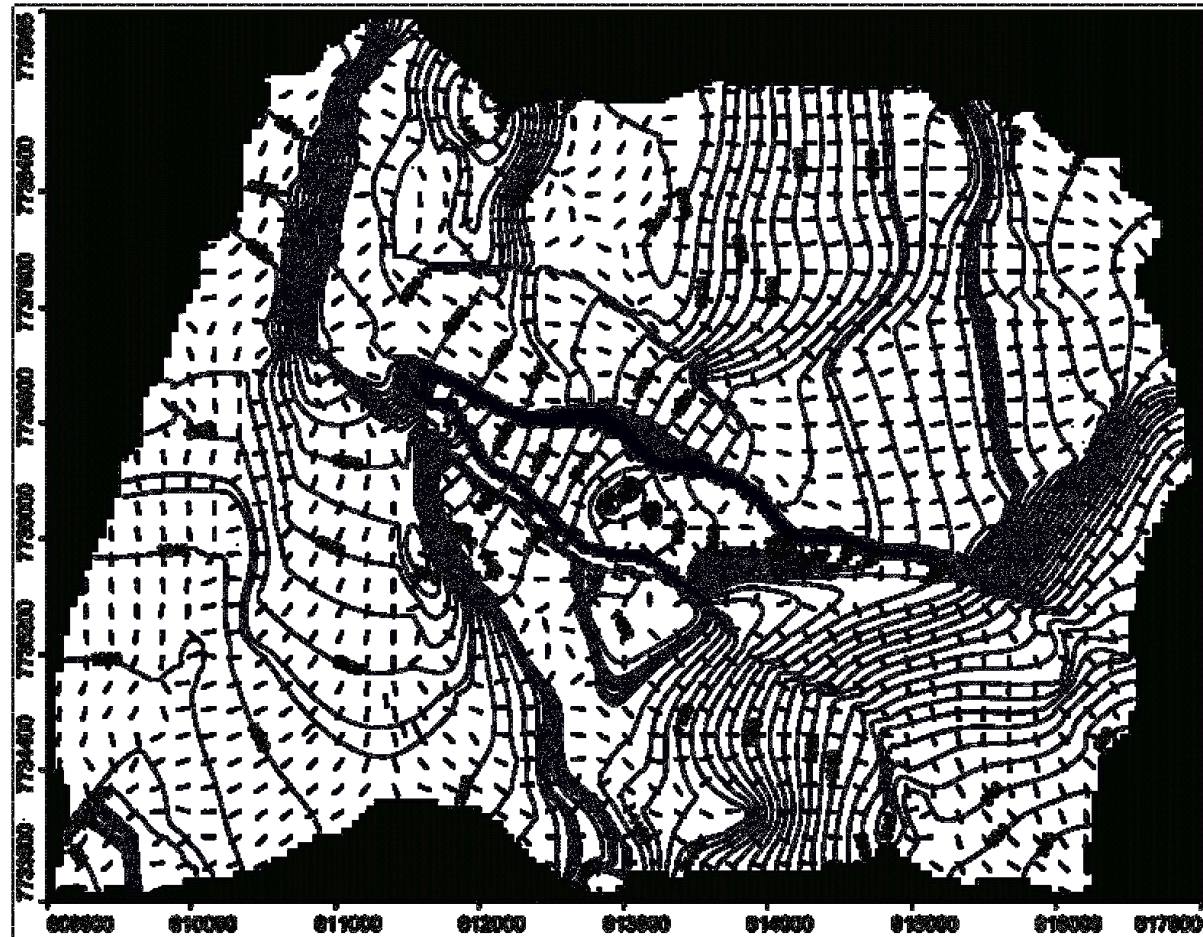
## Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea – Calibração em regime transitório

**Calibração dos Níveis  
D'água subterrânea e  
Vazões dos cursos  
D'água**



**Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea – Calibração em regime transitório**

**Superfície equipotencial  
do nível d'água  
subterrânea  
gerada para o final da  
calibração em regime  
transitório.  
31/03/2011**



## Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea – Calibração em regime transitório

Para proceder à comparação do valor monitorado com o valor calculado pelo modelo foram utilizadas Zonas de Balanço, as Zbud's (*zone budget*). Para cada ponto, foi associada uma Zbud e verificada a vazão de saída de água nos drenos relacionados a esse ponto (à montante do mesmo).

ZBUD	PONTO CONTROLE	CURSO D'ÁGUA	Q MONITORADA (m <sup>3</sup> /h)	Q calculada (m <sup>3</sup> /h) Transitório PS-37
5	CH-CSN-39	Córr. Mãe d'água	105.0	161.7
6	CH-CSN-37	Córr. Engenho		
7	CH-CSN-36	Córr. Engenho		
8	VT-24	-	2.4	4.3
9	VT-19/VT-23	-	0.6	1.0
10	VT-22	Córr. Inhame	10.0	10.6
11	VT-12	Córr. Pilar	5.0	1.4
12	(VT-26) - (VT-12)	Córr. Pilar	6.5	7.7
13	CH-CSN-25	Córr. Figueiredo	3.9	0.3
14	(VT-08) + (VT-03)	Córr. Figueiredo	15.0	3.1
15	?	Casa de Pedra	?	12.3
16	CH-CSN-63 + 26	Córr. Maria José	53.0	34.1
17	CH-CSN-18	Córr. Maria José	71.5	1.7
18	VT-07	Córr. Bichento	10.0	0.3
<b>TOTAL</b>			282.89	238.54



## Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea – Simulação do rebaixamento do nível d'água – Ano 2031

Abril 2011 – Dezembro 2031



Visa atingir um nível d'água inferior ao *bottom pit* das cavas projetadas



Foram inseridas estruturas de drenagem – **91 Poços**

PERÍODO DE TEMPO	DATA		TOTAL DE DIAS	DIAS NO MODELO	
	Início	Fim		Início	Fim
1	1/4/2011	31/12/2011	275	0	275
2	1/1/2012	31/12/2012	366	275	641
3	1/1/2013	31/12/2013	365	641	1006
4	1/1/2014	31/12/2014	365	1006	1371
5	1/1/2015	31/12/2016	731	1371	2102
6	1/1/2017	31/12/2018	730	2102	2832
7	1/1/2019	31/12/2020	731	2832	3563
8	1/1/2021	31/12/2022	730	3563	4293
9	1/1/2023	31/12/2023	365	4293	4658
10	1/1/2024	31/12/2025	731	4658	5389
11	1/1/2026	31/12/2027	730	5389	6119
12	1/1/2028	31/12/2028	366	6119	6485
13	1/1/2029	31/12/2030	730	6485	7215
14	1/1/2031	31/12/2031	365	7215	7580

## Modelo Numérico de Fluxo D'água Subterrânea – Avaliação dos impactos sobre a disponibilidade dos recursos hídricos no entorno da Mina Casa de Pedra

Redução de 30% no valor total da vazão dos cursos d'água



Disponibilização de 2000 m<sup>3</sup>/h  
**Reserva renovável x Reserva Geológica**

PONTO CONTROLE	CURSO D'ÁGUA	Vazão Transitório (m <sup>3</sup> /h) (Março/2011)	Vazão Simulada (m <sup>3</sup> /h) (Dezembro/2031)
CH-CSN-39	Córr. Mãe d'água	161.7	112.13
CH-CSN-37	Córr. Engenho		
CH-CSN-36	Córr. Engenho		
VT-24	-	4.3	4.69
VT-19/VT-23	-	1.0	0.85
VT-22	Córr. Inhame	10.6	7.89
VT-12	Córr. Pilar	1.4	0.66
(VT-26) - (VT-12)	Córr. Pilar	7.7	6.62
CH-CSN-25	Córr. Figueiredo	0.3	0.15
(VT-08) + (VT-03)	Córr. Figueiredo	3.1	2.35
CH-CSN-63 + 26	Córr. Maria José	34.1	22.92
CH-CSN-18	Córr. Maria José	1.7	1.20
VT-07	Córr. Bichento	0.3	0.29
<b>TOTAL</b>		226.23	159.76
		<b>REDUÇÃO</b>	<b>30%</b>

Como o rebaixamento do nível d'água retira um volume de água superior ao escoamento natural do aquífero, por bombear também água do armazenamento (reserva geológica), ocorre uma maior disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo. Assim como alternativa de mitigação propõe-se a **reposição dos recursos hídricos afetados com a própria água do rebaixamento.**

**OBRIGADA!**