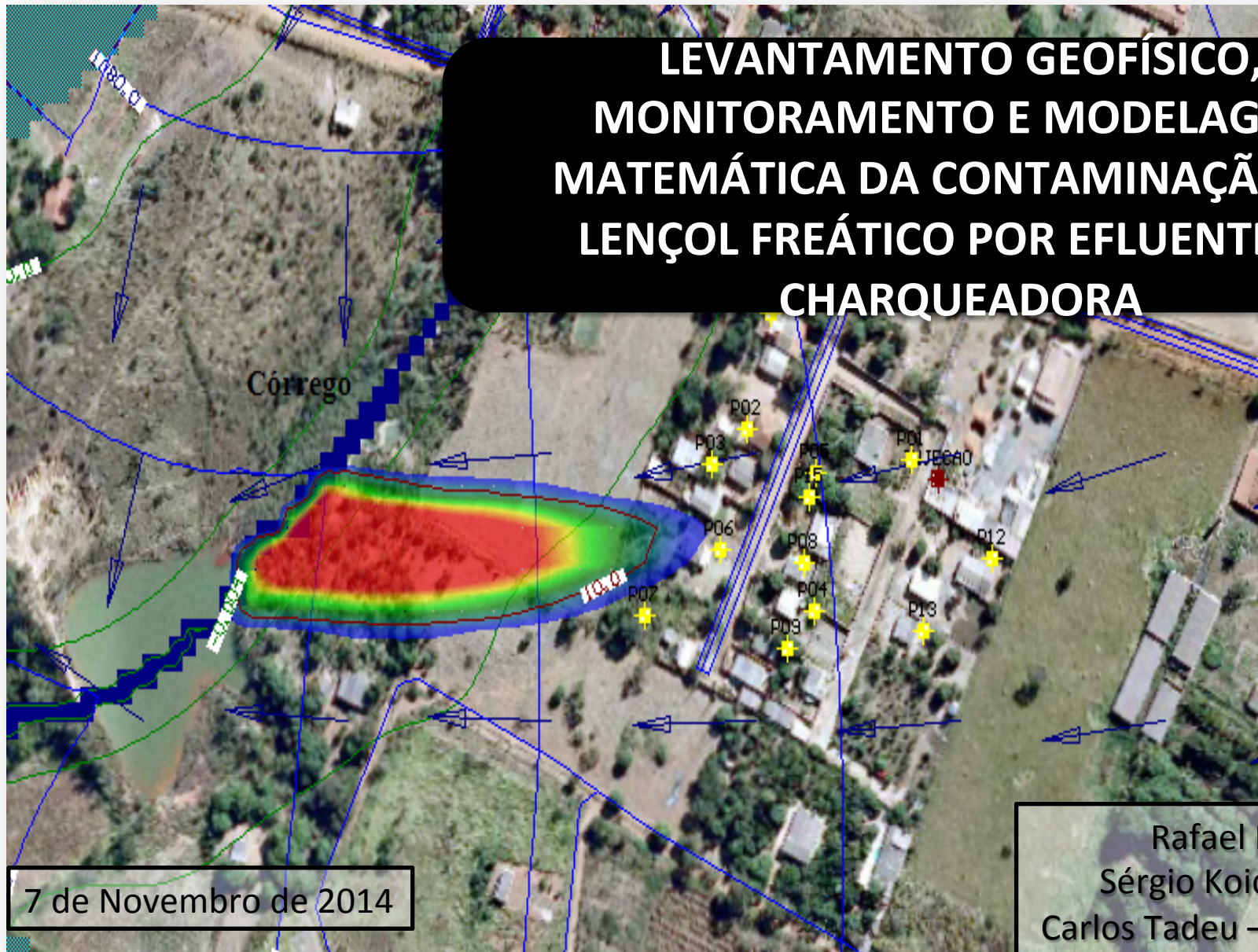


**LEVANTAMENTO GEOFÍSICO,  
MONITORAMENTO E MODELAGEM  
MATEMÁTICA DA CONTAMINAÇÃO DO  
LENÇOL FREÁTICO POR EFLUENTE DE  
CHARQUEADORA**



7 de Novembro de 2014

Rafael Machado Mello  
Sérgio Koide – Orientador  
Carlos Tadeu – Co-Orientador

# ROTEIRO DA APRESENTAÇÃO

## 1 - Introdução

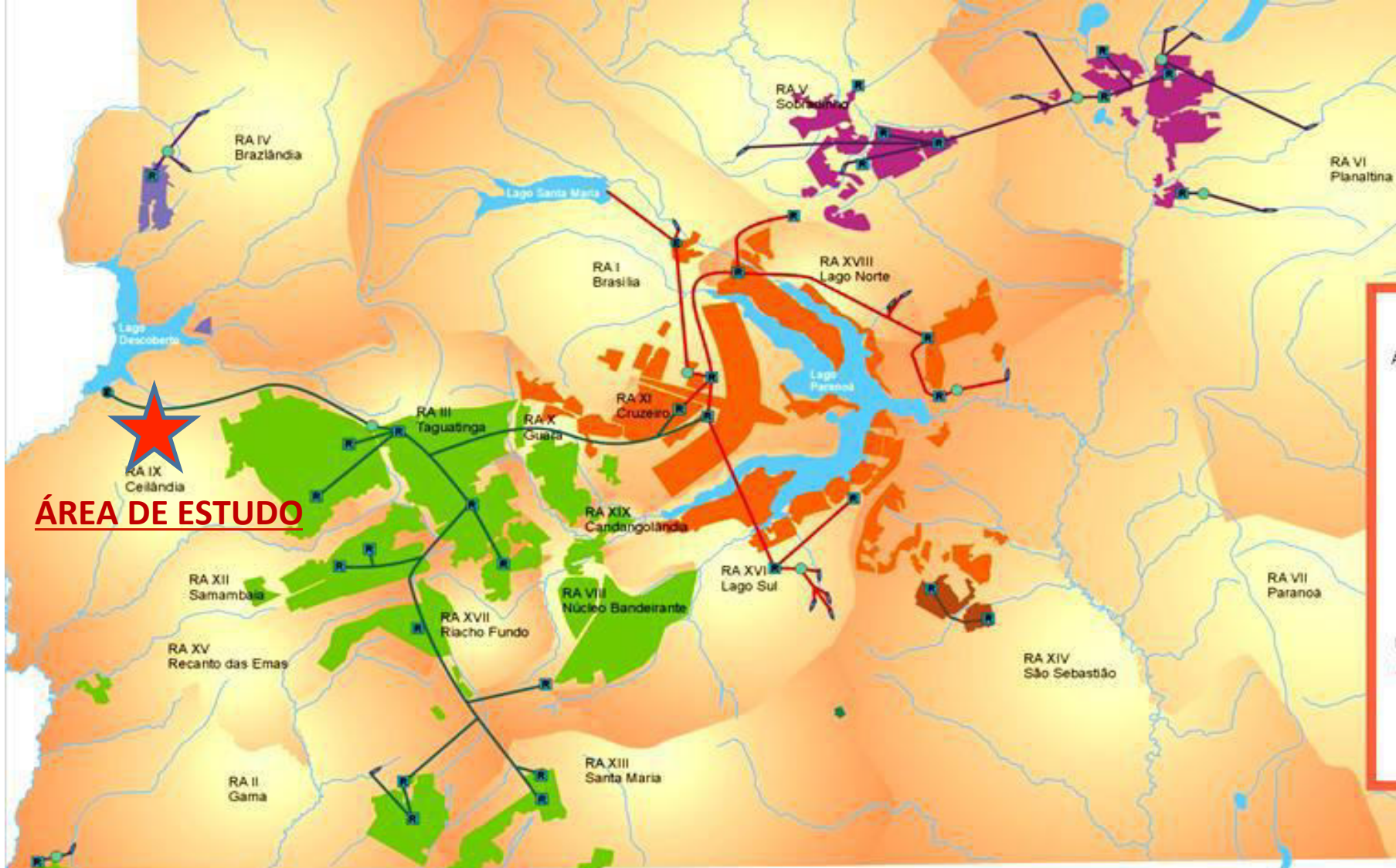
## 2 - Objetivos

## 3- Metodologia/Resultados

- Área de estudos
- Monitoramento do Nível Piezométrico
- Teste de Bombeamento
- Monitoramento da Qualidade
- Geofísica
- Modelagem

## 4- Conclusão e Recomendações

**ÁREA DE ESTUDO:**  
**Sistema produtor de água**  
**Distrito Federal**



**ÁREA DE ESTUDO**

# ÁREA DE ESTUDO



Área rural

Atividades industriais

Ausência de Saneamento Básico

# Problema

Sistema de tratamento com decantadores, aerador e “chicanes” composta por areia e brita



Manipula carnes e produz produtos como carne de sol e charque

Tratar 5 m<sup>3</sup>/dia de efluentes com:

DBO superior a 2.300 mg/L

Cloretos a 50.000 mg/L

Nitrogênio Amoniacal Total acima de 83 mg/L



# OBJETIVO GERAL

Objetivos

2

Estudar por meio da integração de diferentes ferramentas o fluxo e a propagação dos contaminantes no aquífero freático em uma região do DF utilizando os dados de infiltração de efluentes de uma indústria charqueadora em Ceilândia – DF.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Utilizar métodos geofísicos para caracterizar a subsuperfície do local estudado.

Caracterizar o fluxo de água e a propagação da pluma de contaminação por cloreto da água subterrânea no aquífero freático na região de estudo por meio de modelo matemático.

Analisar o problema à luz dos resultados obtidos com o uso das diferentes ferramentas (monitoramento, geofísica e modelagem matemática).

# Ferramentas utilizadas

Área de estudos

Monitoramento do Nível Piezométrico

Teste de Bombeamento

Monitoramento da Qualidade

Geofísica

Modelagem



# Área de estudo

Metodologia/  
Resultados

4

Condomínio Rural  
Vista Bela

Localizado na RA  
Ceilândia – DF

População  
aproximada de 400  
mil habitantes

Poços única fonte  
de  
água (residências e  
indústrias)

Nascentes do  
córrego Capão do  
Brejo

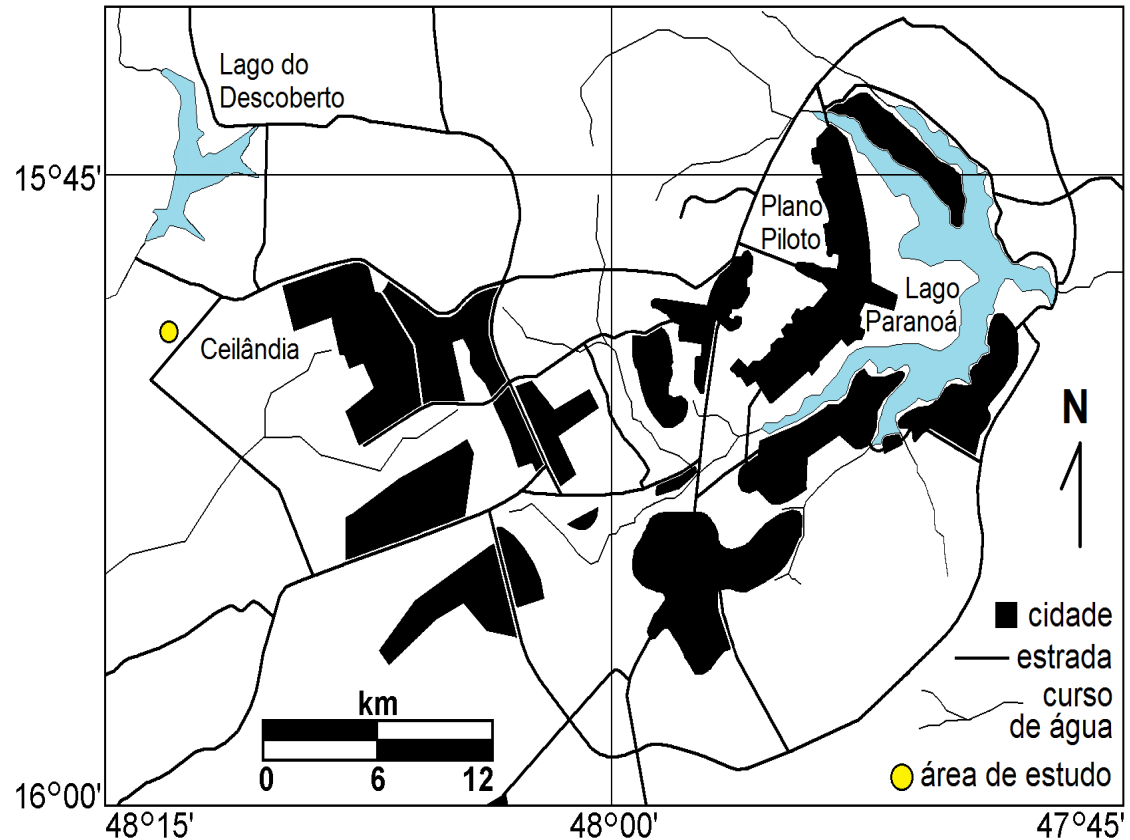
Afluente da sub-  
bacia do Rio  
Descoberto

Bacia Hidrográfica  
do Paranoá

Área com 350  
hectares

Ocupação irregular  
do solo

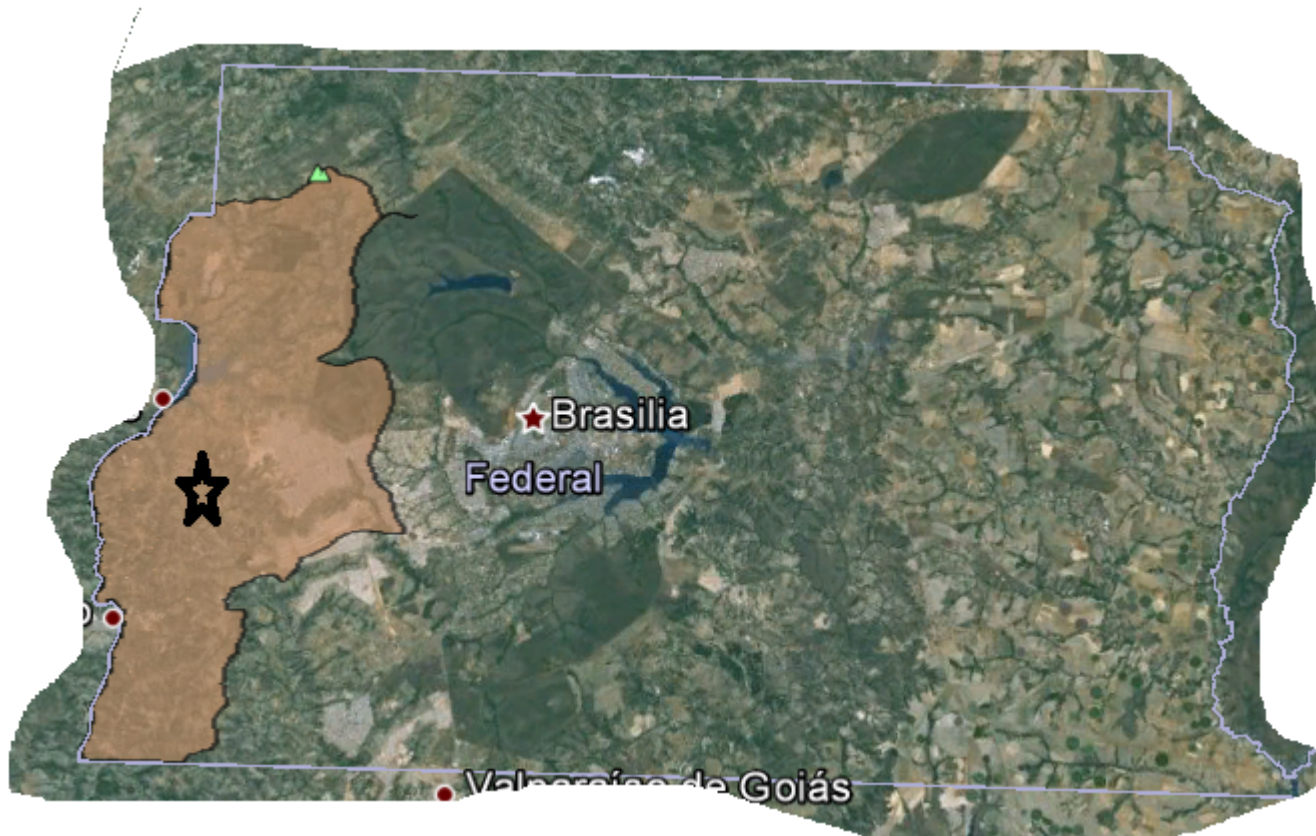
Aproximadamente  
500 habitações



# Área estudada

Metodologia/  
Resultados

4



Sub-bacia do Rio Descoberto



Bacia Hidrográfica do Paranaíba

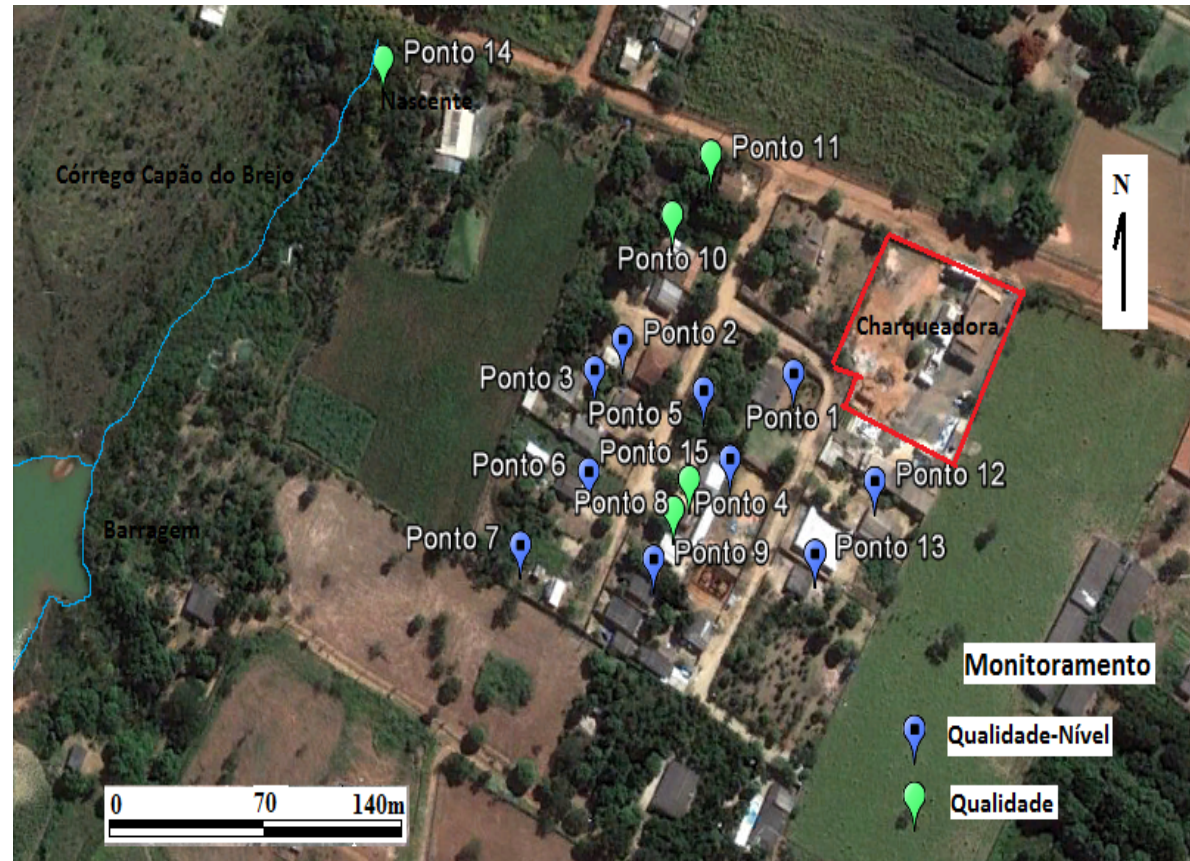
# Monitoramento do Nível Piezométrico

Dados mensais

De 11/09 até 01/12

ADASA

10 pontos (cisternas)



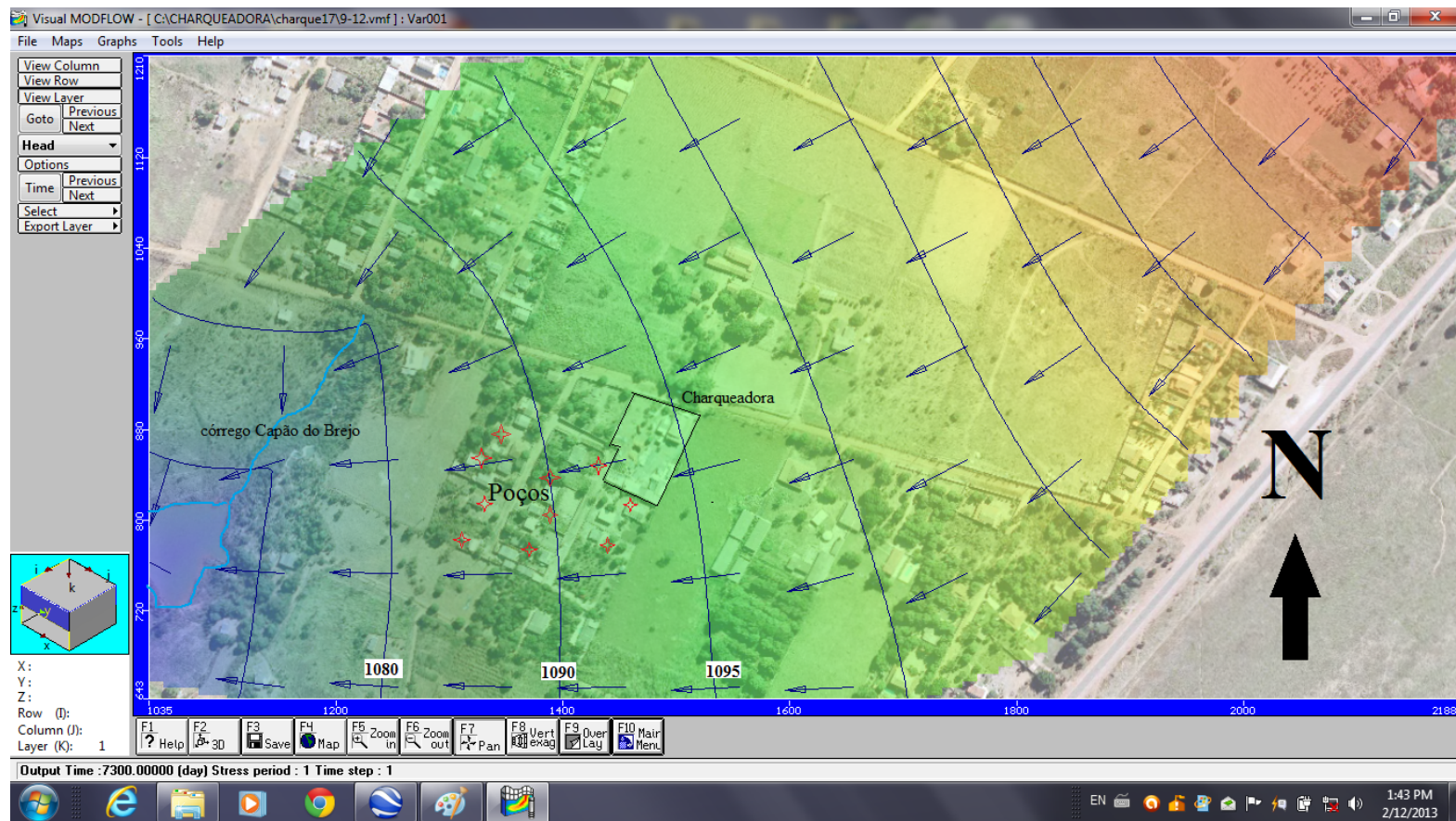
Fonte - Google Earth adaptado indicando pontos de monitoramento.

# Monitoramento do Nível Piezométrico

Resultados

4

Montagem de mapas potenciométricos com direções e sentidos do fluxo, importantíssimo para execução da modelagem



Superfície equipotencial da área de estudo

# Teste de Bombeamento

Metodologia

4

## Dados poço de bombeamento(cisterna)

Local: bacia do córrego Capão do Brejo	Data: 27/01/2012
Hora início bombeamento: 13:50	Hora fim bombeamento: 21:46
Diâmetro poço: 1,10 m	Profundidade total: 8.8 m
Vazão de bombeamento: 0,390 litros/segundo	Nível estático em relação a boca: 4,55 m

## Dados poço de observação(piezômetro)

Nível estático em relação a boca: 4,43m	Diâmetro: 0,20m
Profundidade total: 7,13 m	Distância ao poço bombeamento: 2,15 m

Instrumento para medição do rebaixamento/recuperação:

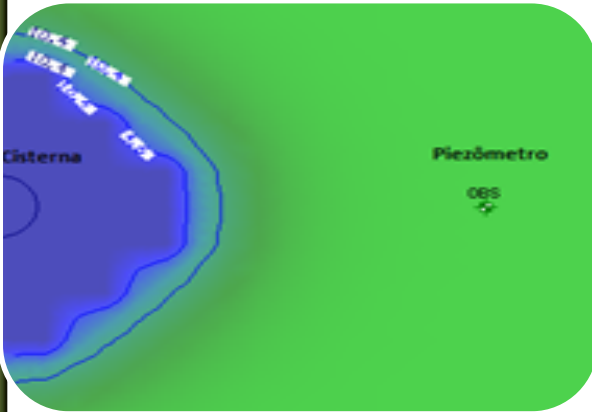
Linígrafo automático com logger



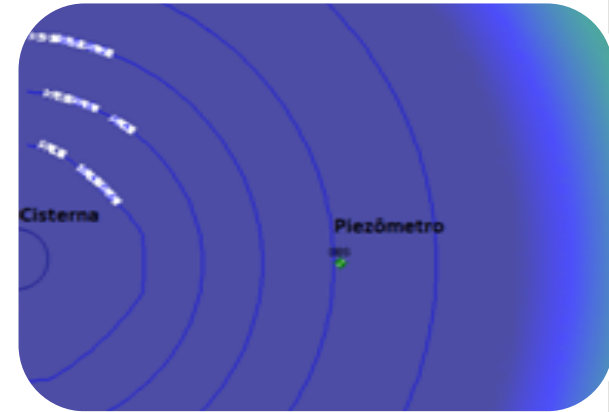
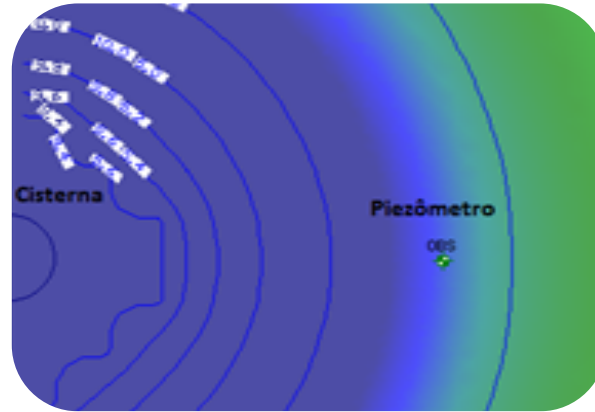
# Teste de Bombeamento

Resultados

4

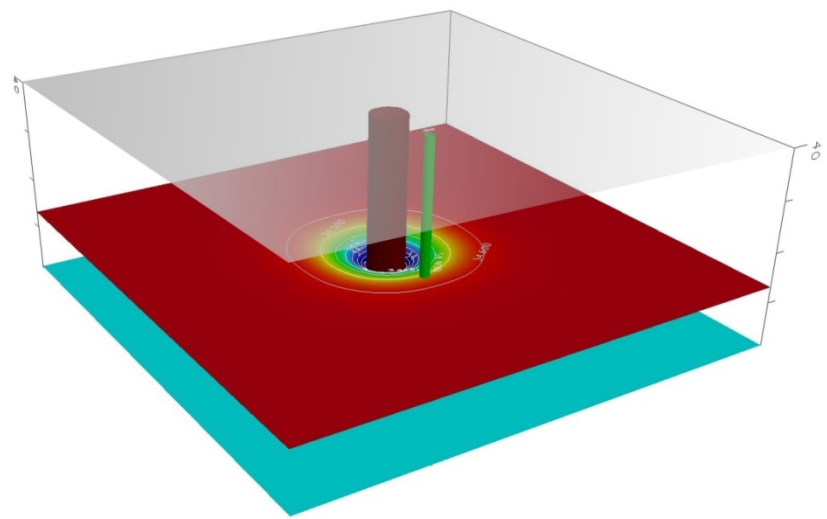
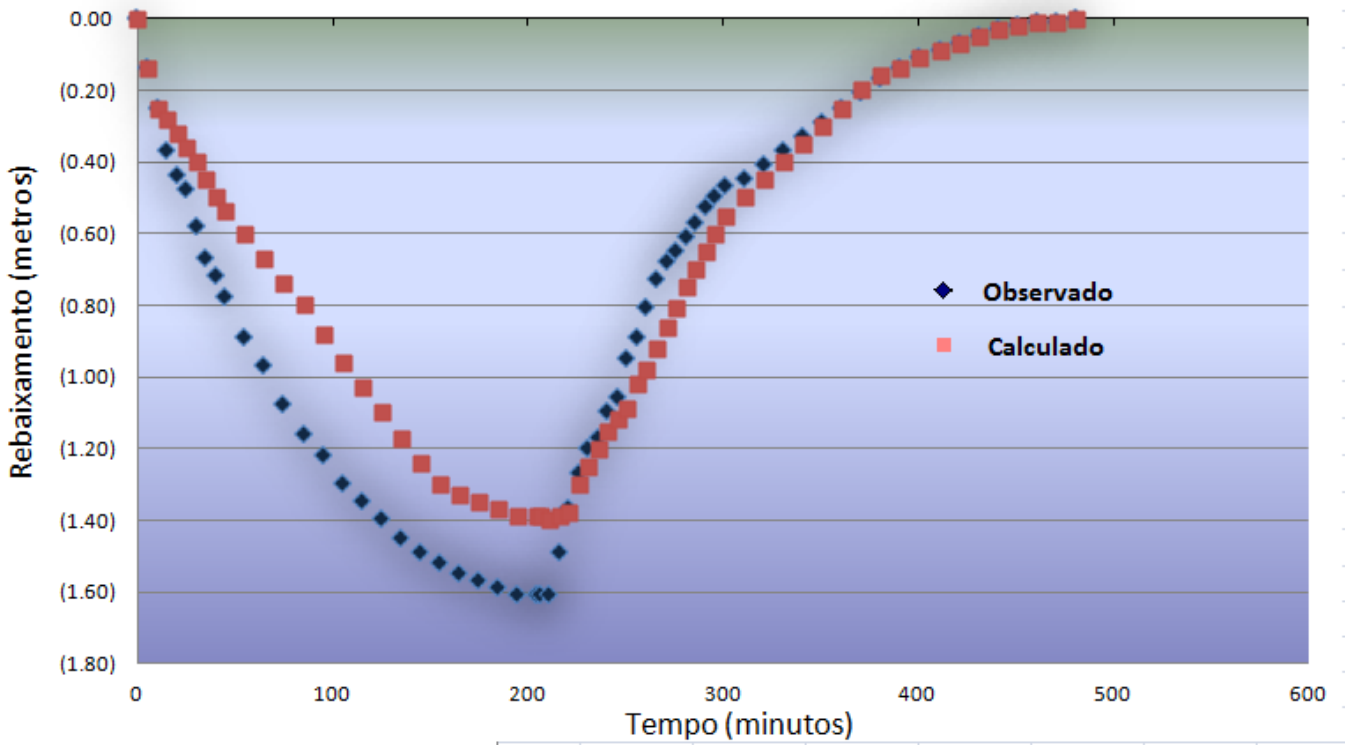


Tempo inicial



03 horas depois

Simulação com variação temporal do rebaixamento do lençol freático



Parâmetro do aquífero após calibração.

Camada	Valores Calibrados		
	Sy	Kx/ Ky (m/dia)	Kz (m/dia)
1 (8m)	0.1	0.0004	1.6E-6
2 (4m)	0.5	6E-6	5E-5

As estimativas de Ksat e Sy consideraram o poço como pontual (Theis), diâmetro infinitesimal.

# Monitoramento da Qualidade

Início em março de 2009

Fim em fevereiro de 2012

14 amostras de cisternas

Efluente da empresa

1 nascente

Alta taxa de DBO e Cloretos

Condenou a água de algumas cisternas

Parâmetros avaliados na água subterrânea e no efluente da empresa.

PARÂMETROS		ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	ÁGUAS SERVIDAS
1	Alcalinidade	X	
2	Cloreto	X	
3	Coliformes	X	X
4	Condutividade	X	
5	Cor	X	
6	DBO	X	X
7	DQO	X	X
8	Dureza Total	X	
9	Ferro total	X	
10	Manganês	X	
11	N-NH <sub>4</sub>	X	X
12	N-NO <sub>3</sub>	X	X
13	Óleos e graxas		X
14	pH	X	X
15	P-Total		X
16	Sólidos Dissolvidos	X	X
17	Sólidos em Suspensão		X
18	Sólidos Totais		X
19	Turbidez	X	X



# Monitoramento da Qualidade

Resultado

4

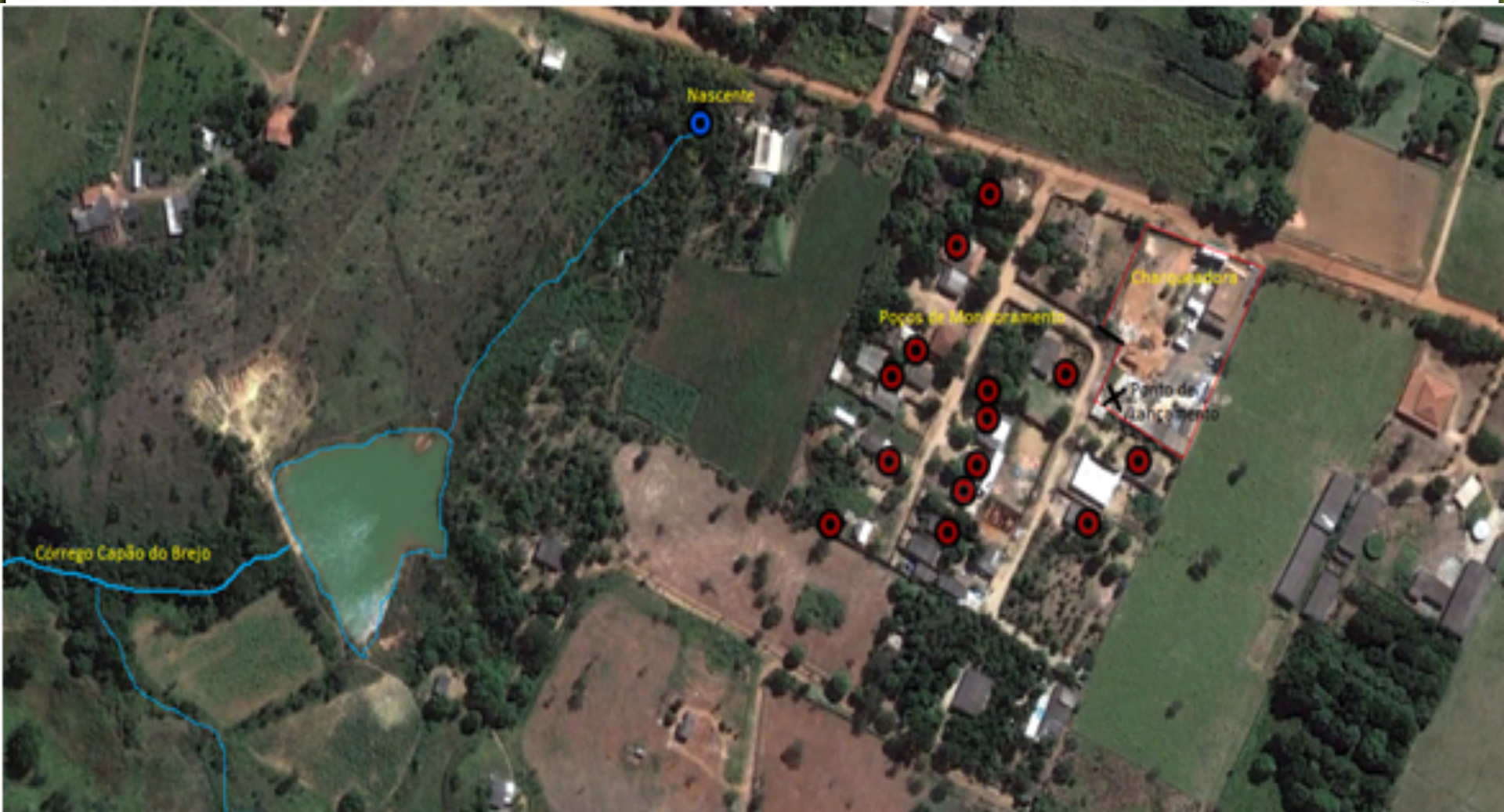


Imagem adaptada do Google Earth indicando poços monitorados

# Monitoramento da Qualidade

Resultado

4

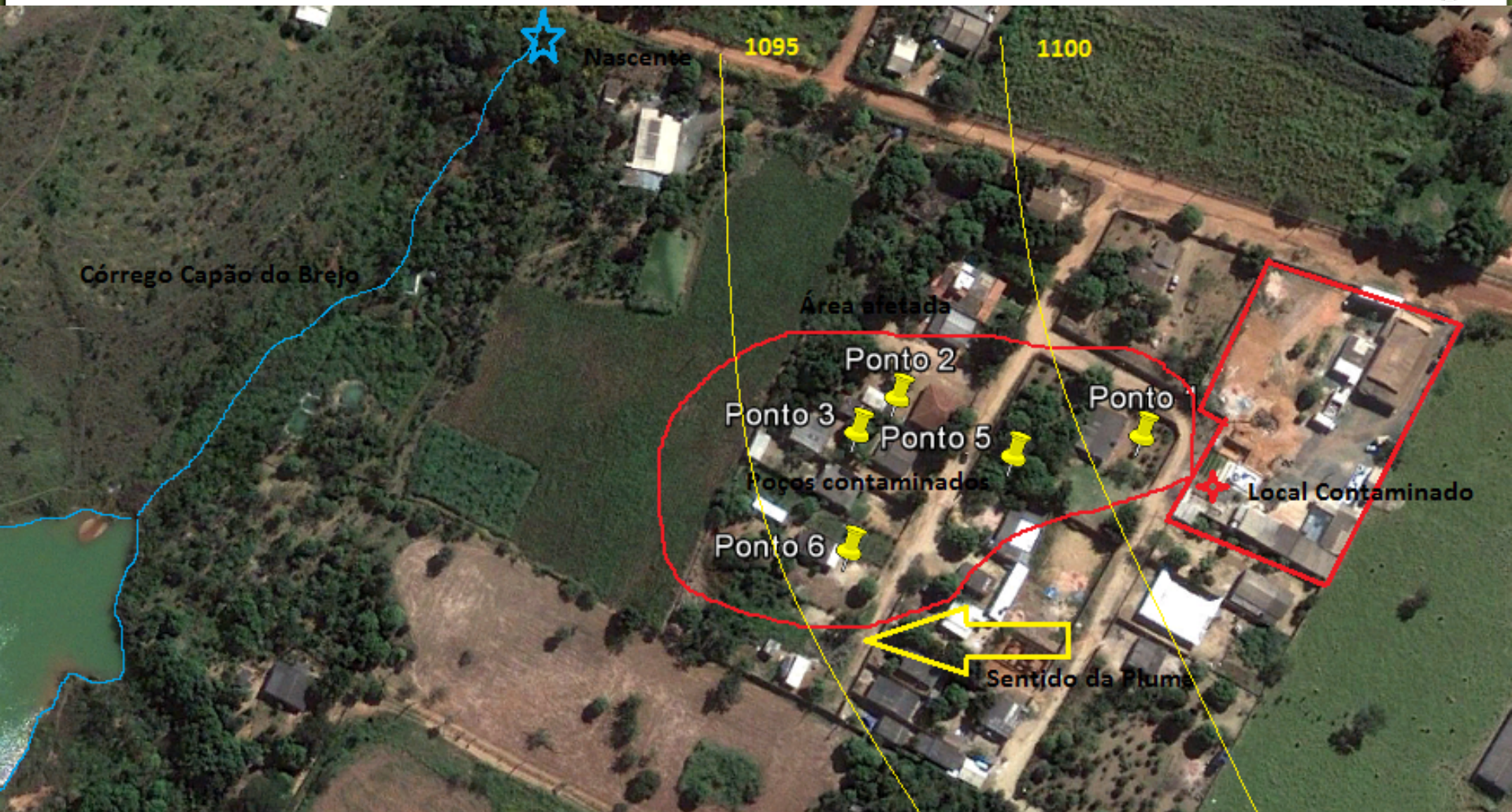


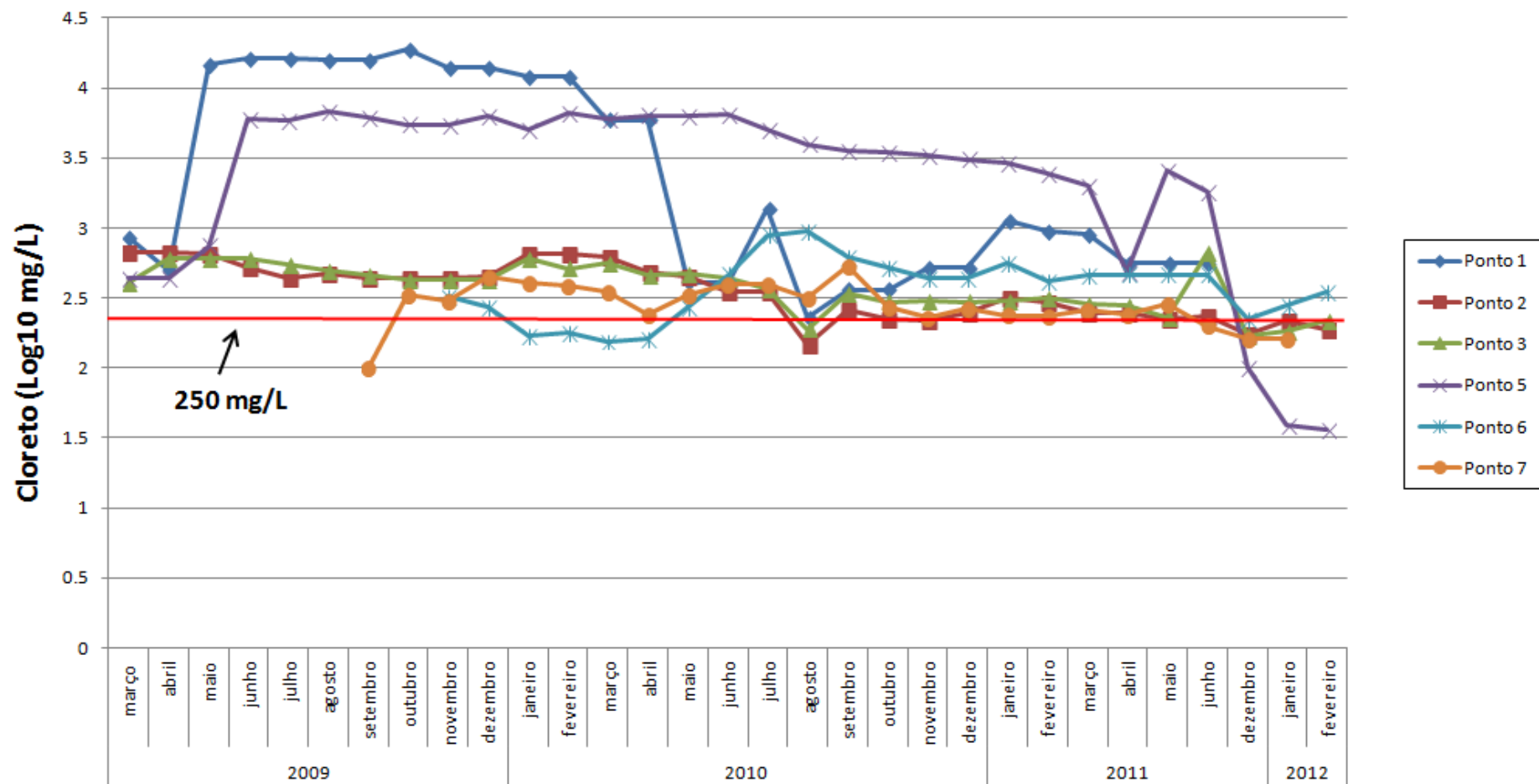
Imagem adaptada do Google Earth indicando poços contaminados

6 poços contaminados,  
monitorados durante 3  
anos

Resultado

4

## Cloreto



No levantamento geofísico foram desenvolvidas pelo menos 3 etapas:

- Na primeira etapa ocorreu a investigação onde se utilizou dados de monitoramento qualitativo, fornecido pela Agência reguladora de águas, para identificação dos locais com maiores concentrações de contaminantes;

- Na segunda etapa desenvolveu-se o levantamento propriamente dito, com três linhas de investigação, para o mapeamento da contaminação;

- Numa terceira etapa utilizou-se o software (RES2DINV) para representar a pluma mapeada na subsuperfície em duas dimensões criando polígono com características de tamanho e volume.



A segunda etapa do levantamento foi feito um levantamento geofísico na área utilizando a técnica de resistividade elétrica, do tipo Caminhamento Elétrico(CE).

- Trata-se de medidas de um parâmetro físico, obtidas a partir de avaliações efetuadas na superfície do terreno, investigando, ao longo de pelo menos (03) seções, sua variação na horizontal, em varias profundidades.

- Caracterizou-se o material, em subsuperfície, tanto horizontalmente como verticalmente.

Utilizou-se um Resistivímetro, modelo Syscal Pro, aparelho pertencente ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília-UNB.

- Aplicou-se 03 linhas de investigação, uma com aproximadamente 200m, a montante da charqueadora, que funcionará como a linha de referência, onde provavelmente se identificara baixa resistividade, e outras duas de aproximadamente 100m cada.

- 3 linhas de investigação
- 1 com 215m a montante da empresa
- 2 com 135m a jusante da charqueadora
- 3 com 180m 70 metros a jusante da charqueadora

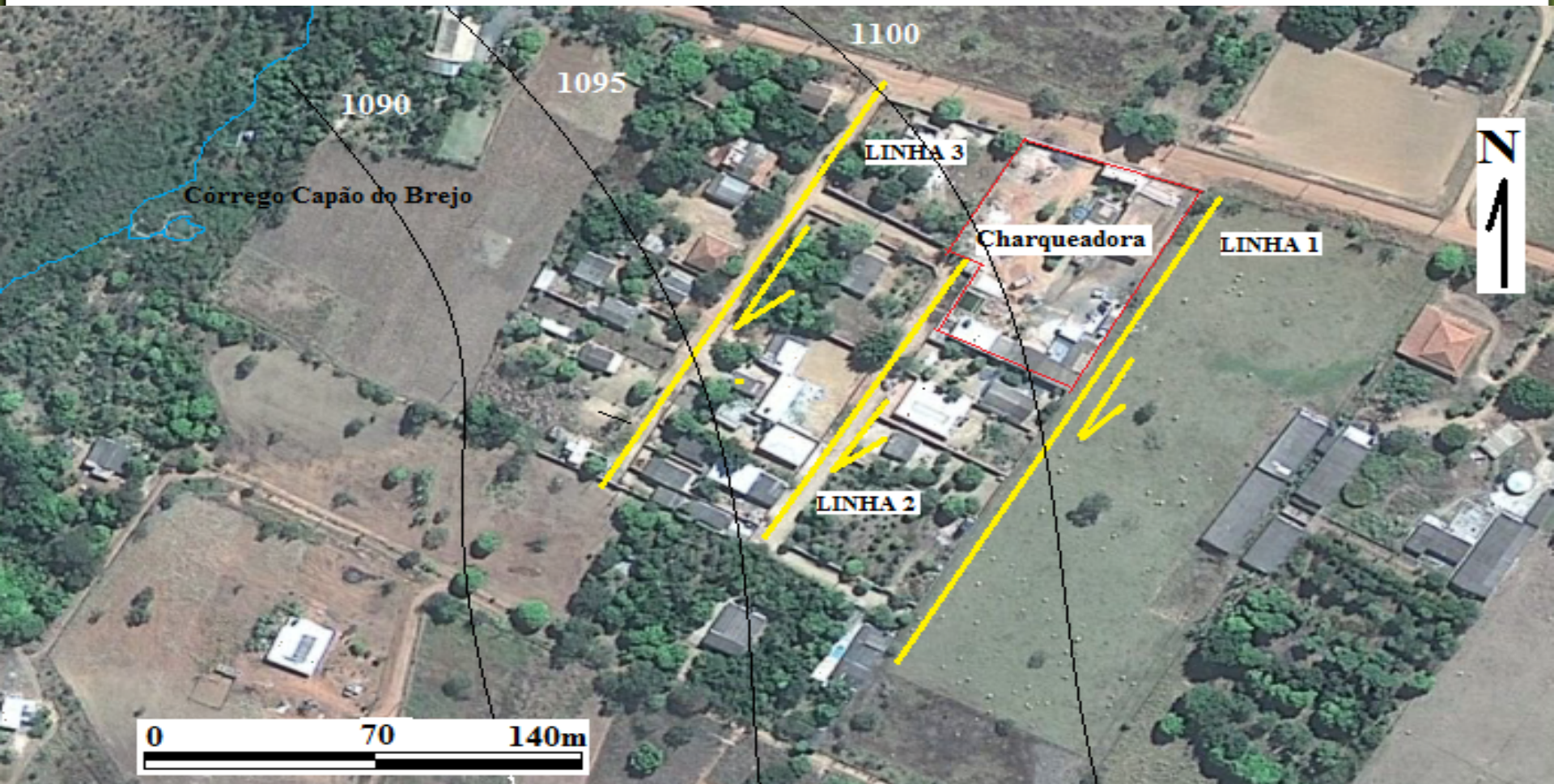
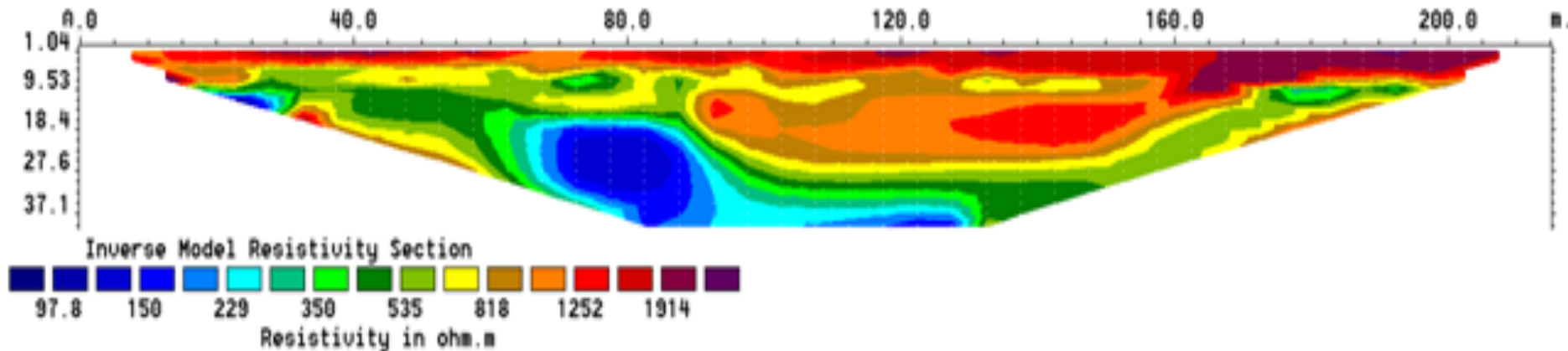


Imagem adaptada do Google Earth indicando a localização do levantamento geofísico

**Linha 1:** 200m de comprimento contaminação na posição 80 metros

Para esta linha não se esperava obter uma visualização da pluma de contaminante, visto que esta se localiza a montante da empresa.

Deste modo a detecção da pluma indica que existe outro ponto de lançamento de efluente além da fossa vinculada ao sistema de tratamento.





# Geofísica

Resultados

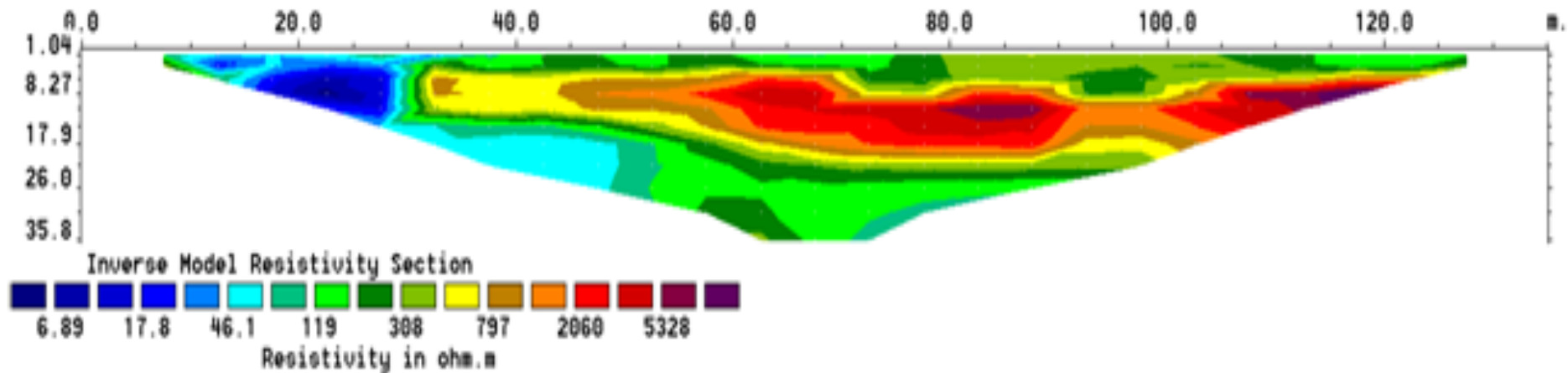
4

## Linha 2:

120m de comprimento;

contaminação na posição 20 metros;

corresponde à propagação do poluente seguindo o fluxo na zona saturada do terreno.



# Geofísica

Resultados

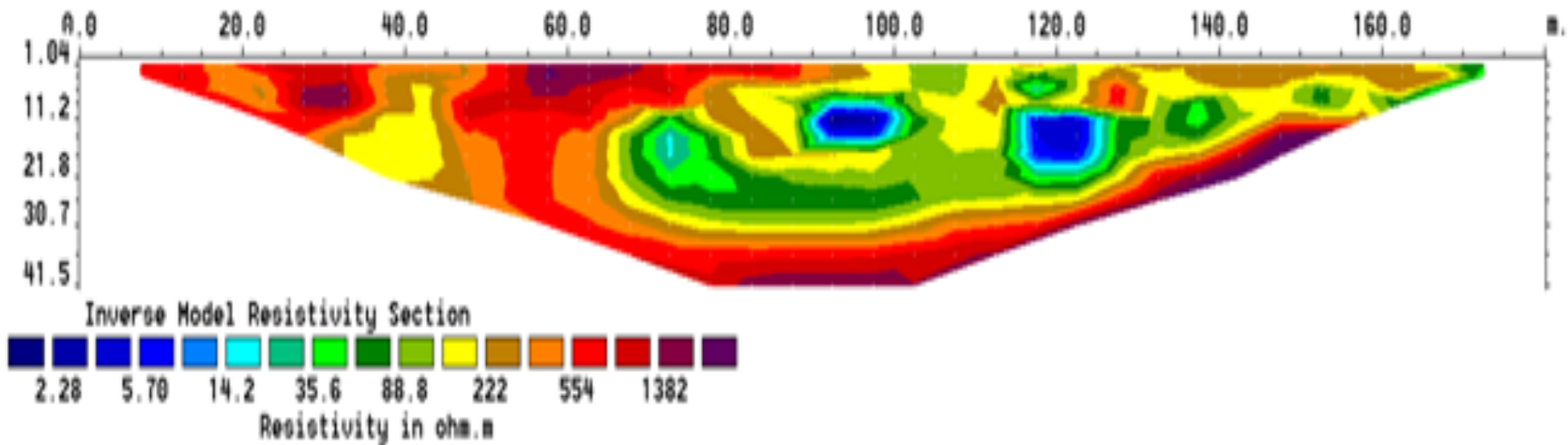
4

**Linha 3:**

160m de comprimento;

contaminação pontuais 95 e 120 metros

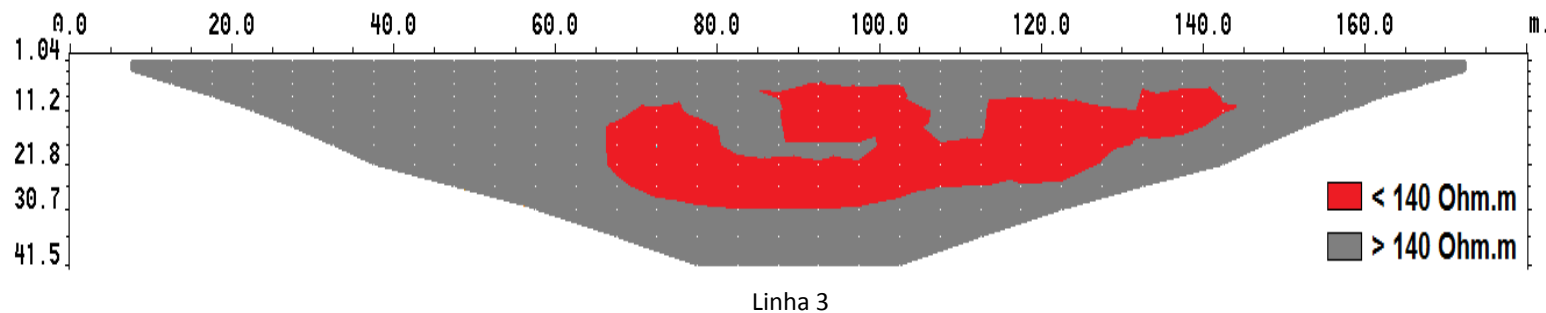
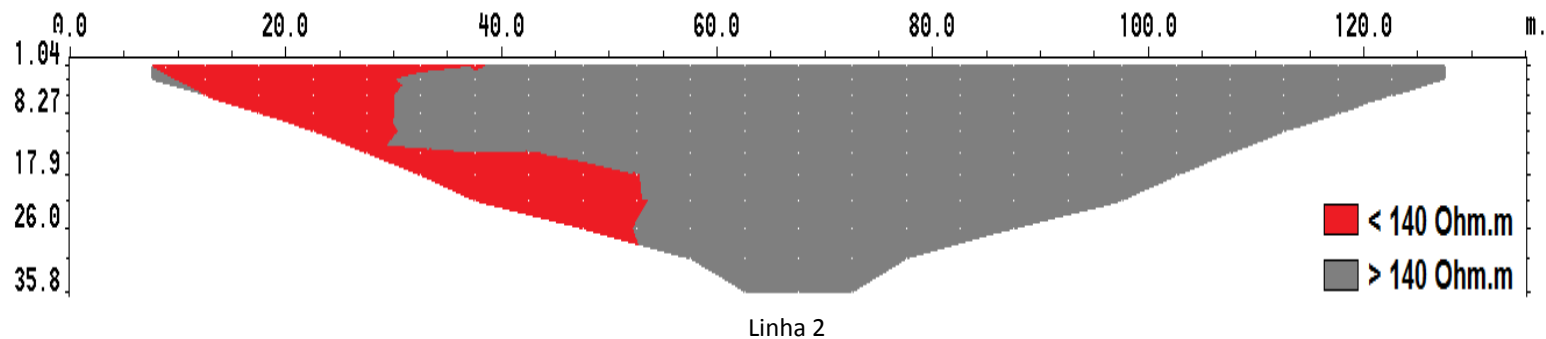
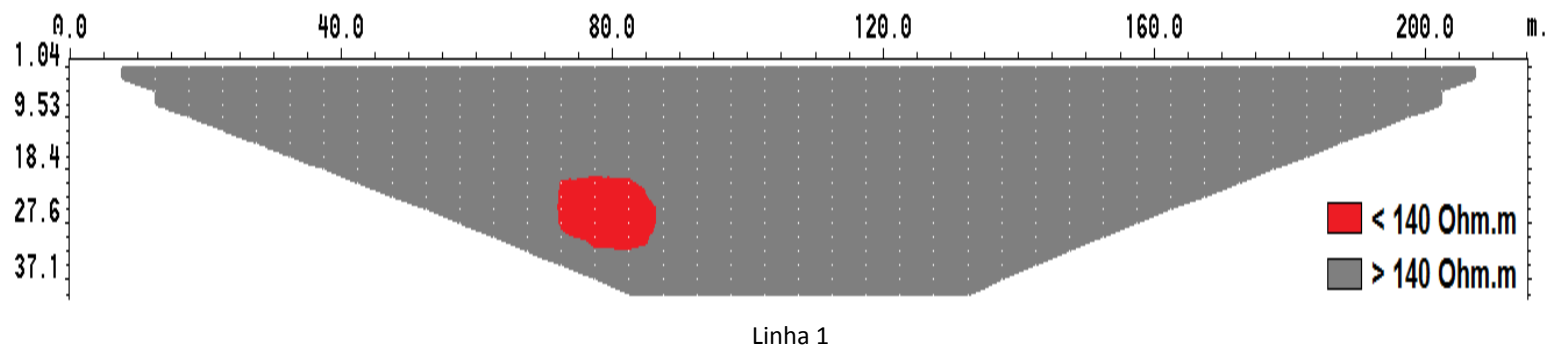
correspondem no terreno a locais de cisternas que devem estar acumulando contaminantes vinculados ao efluente.



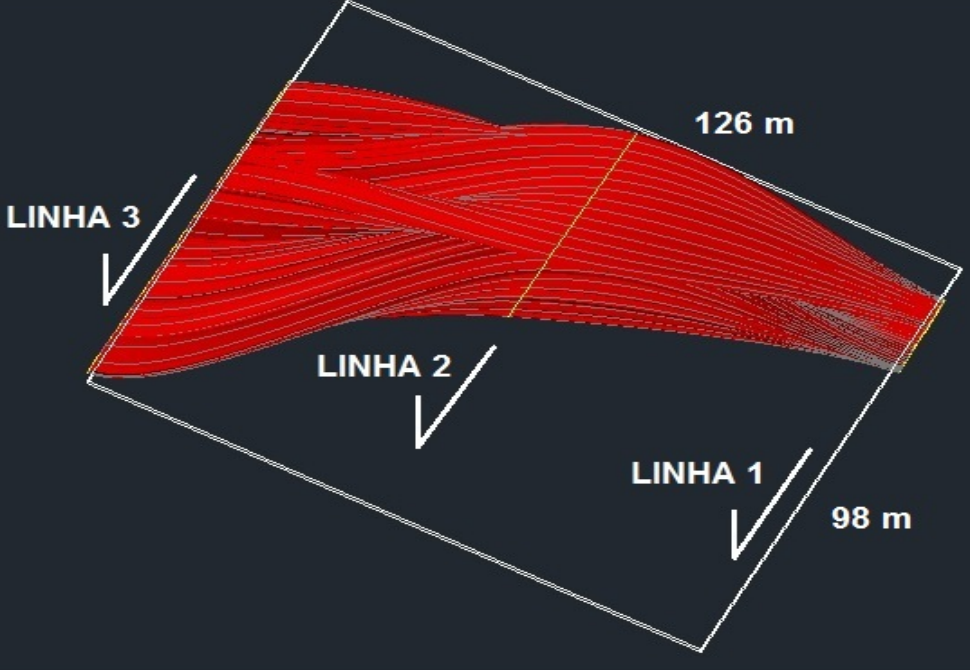
# Geofísica

## Resultados

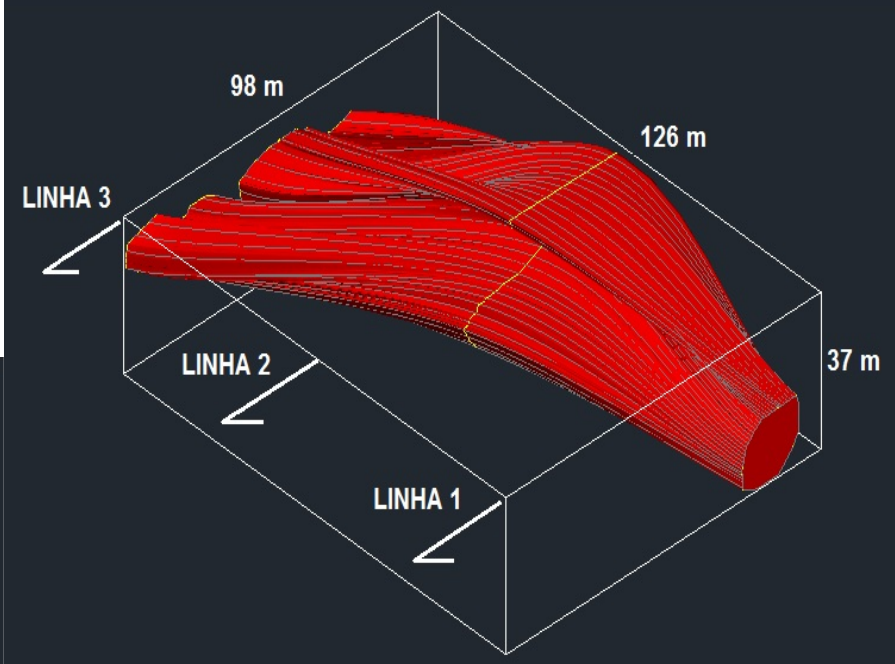
4



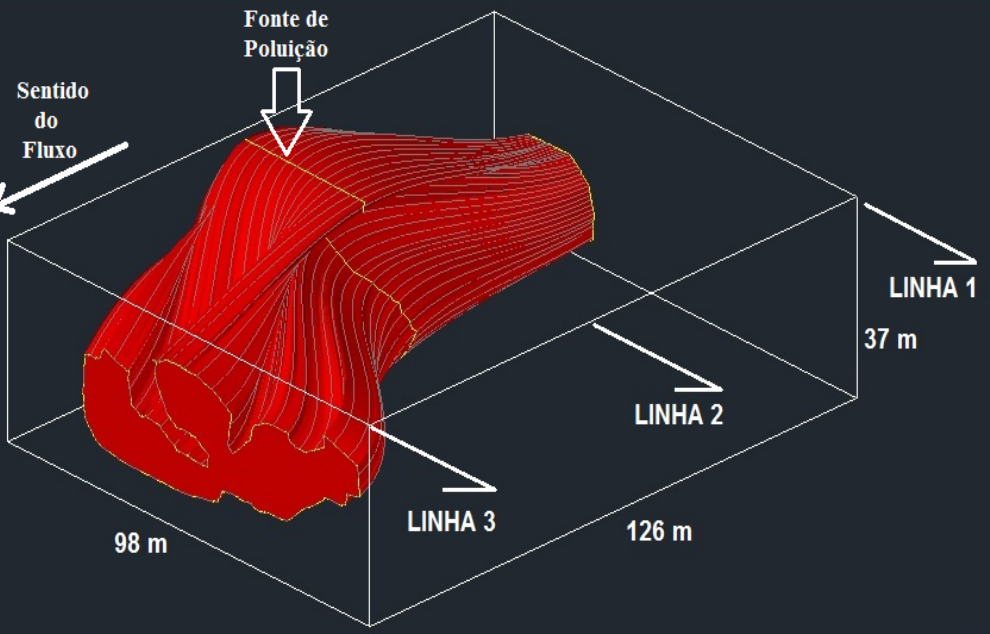
software (RES2DINV)



Vista superior do sólido relacionado com a pluma de contaminação



Vista de montante para jusante

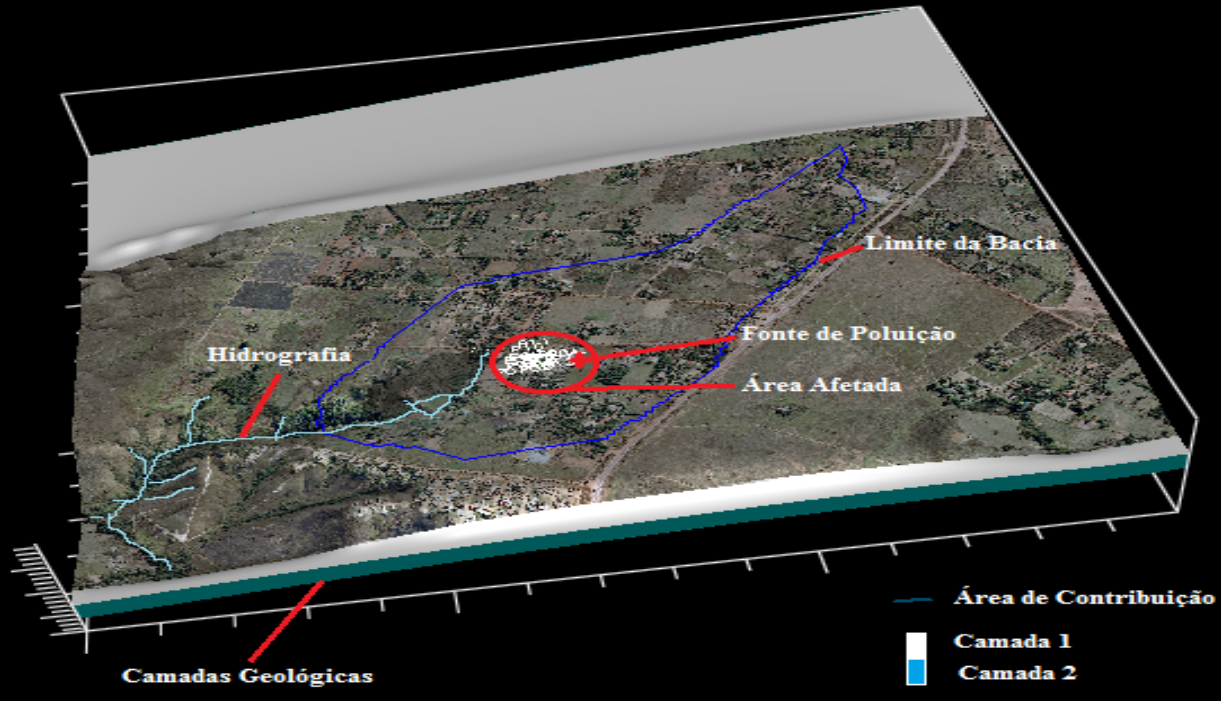


Vista de jusante para montante

# Modelagem



- Caracterizar a dinâmica do efluente e analisar o comprometimento da qualidade da água subterrânea na área de estudo.
- Elaborou-se um modelo de fluxo e transporte e para o modelo de fluxo subterrâneo, foi utilizado o Software Visual MODFLOW v.4.3. (Waterloo Hydrogeologic, 2005). Sua escolha foi baseado em revisão de literaturas, e tendo como parâmetro de interesse o cloreto de sódio (ClNa)
- Foi utilizado dados levantados na própria área contaminada de pelo menos 03(três) fontes: levantamento geofísico, teste de bombeamento e relatórios(qualidade, variação do nível e localização de poços)
- Durante a elaboração de um modelo conceitual, estabelecendo-se as condições de contorno e condições iniciais foi importante os resultados do levantamento geofísico que permitiu uma visualização prévia da pluma.
- A série de dados utilizada na etapa de calibração do modelo de fluxo foi extraída do teste de bombeamento e dos relatórios de acompanhamento da variação do nível do lençol freático.



- Para o transporte optou-se pelo MT3DMS, que possibilita a simulação dos fenômenos de adsorção, dispersão e de decaimento, sendo assim, adequado ao objetivo proposto.
- Quanto ao modelo conceitual, para características hidrográficas, foram utilizadas as curvas de nível 1:10000 da CODEPLAN, para a geração de um (MDE) com auxílio do software Arc View.
- A malha de diferenças finitas foi composta por 186 linhas e 246 colunas, com refinamento de 6,2m no sentido do eixo "x" e de 6,2m no sentido do eixo "y", próximo ao local de interesse.



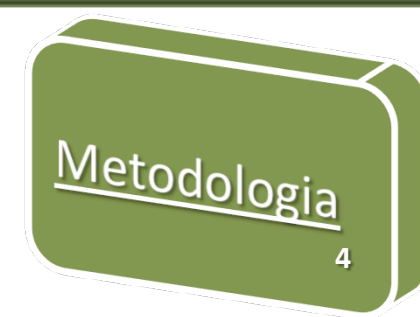
Quanto as condições de contorno do modelo de fluxo:

- Condição de Neumann na região periférica do modelo (fluxo subterrâneo nos divisores de água é nulo);
- Condição de Dirichlet (valor da carga nos rios foi considerada conhecida).

Quanto as condições de contorno do modelo de transporte:

- Utilizado dados de monitoramento qualitativo;
- Dados do levantamento geofísico.

# Calibração do Modelo



Iniciada utilizando o software PEST (Doherty, 2004), que estima os parâmetros pelo método dos mínimos quadrados e foi finalizada com ajustes manuais dos parâmetros.

Para a calibração, utilizou-se, na função objetivo, parte da série de dados de nível piezométrico, obtidos a partir dos dados dos relatórios (11 poços de observação).

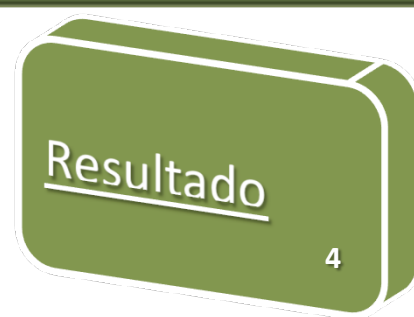
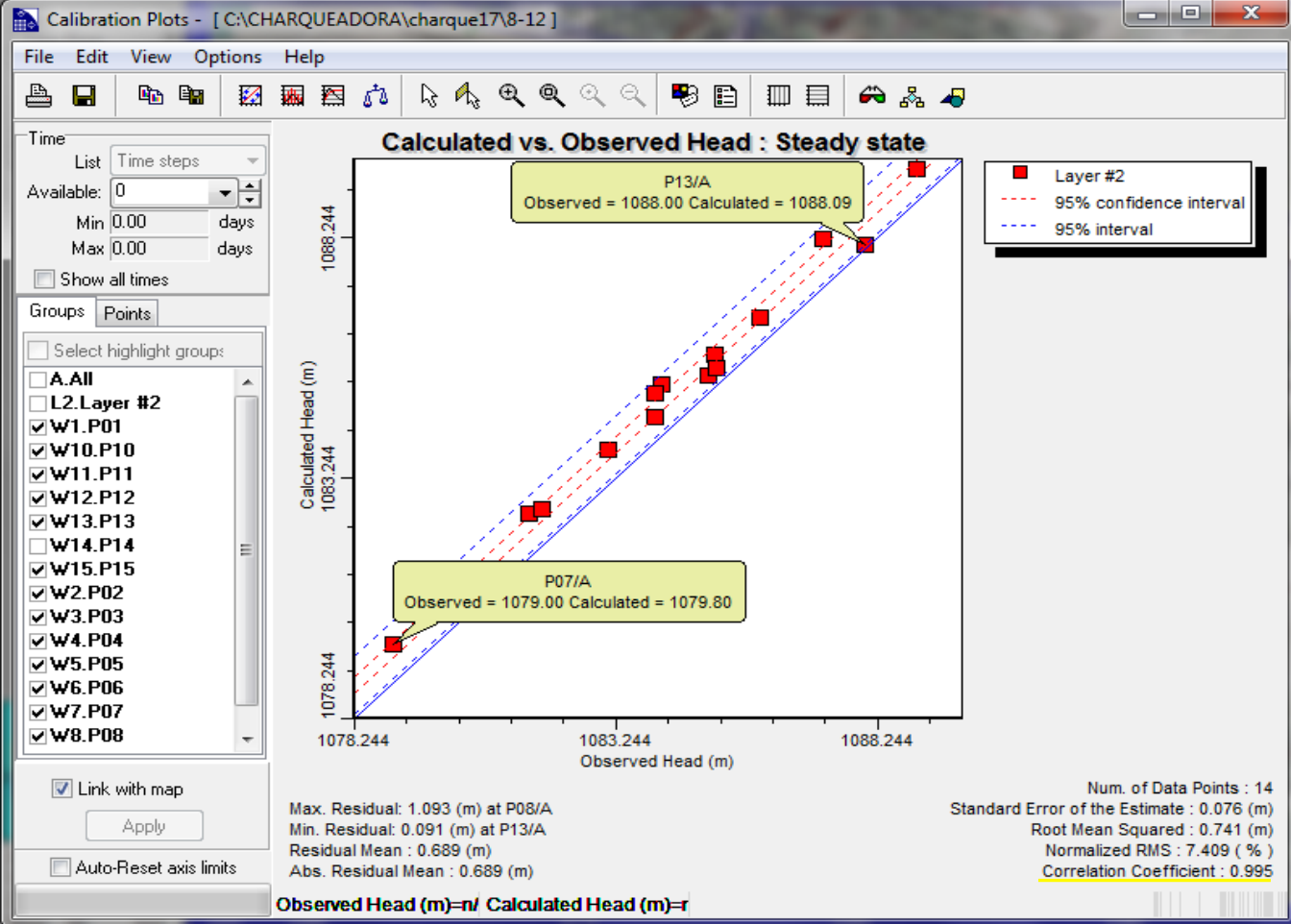
Foram submetidos à calibração a condição de contorno de recarga, as condutividades hidráulicas das duas camadas, bem como o armazenamento específico dessas camadas.

Inseriu-se na área do estudo um poço de injeção de 5m<sup>3</sup>/dia, o que corresponde ao volume de dejetos produzidos pela charqueadora e atribuiu-se a esse efluente uma concentração de 10.000 mg/L (Cloreto de Sódio).

Para calibração do modelo de transporte de contaminantes, assim como na etapa de calibração de fluxo, foi utilizado laudo de monitoramento de março 2009.

Foi empregado, na análise da resposta, o tempo decorrido que uma concentração de 250 mg/L levaria para alcançar o ponto de interesse, que trata-se do córrego Capão do Brejo.





- Recarga estimada de 450 mm/ano.
- 34 % da precipitação.

Valores observados x calculados para os pontos de observação utilizados na etapa de calibração

Parâmetro do aquífero poroso após calibração  
Conductividade e Armazenamento.

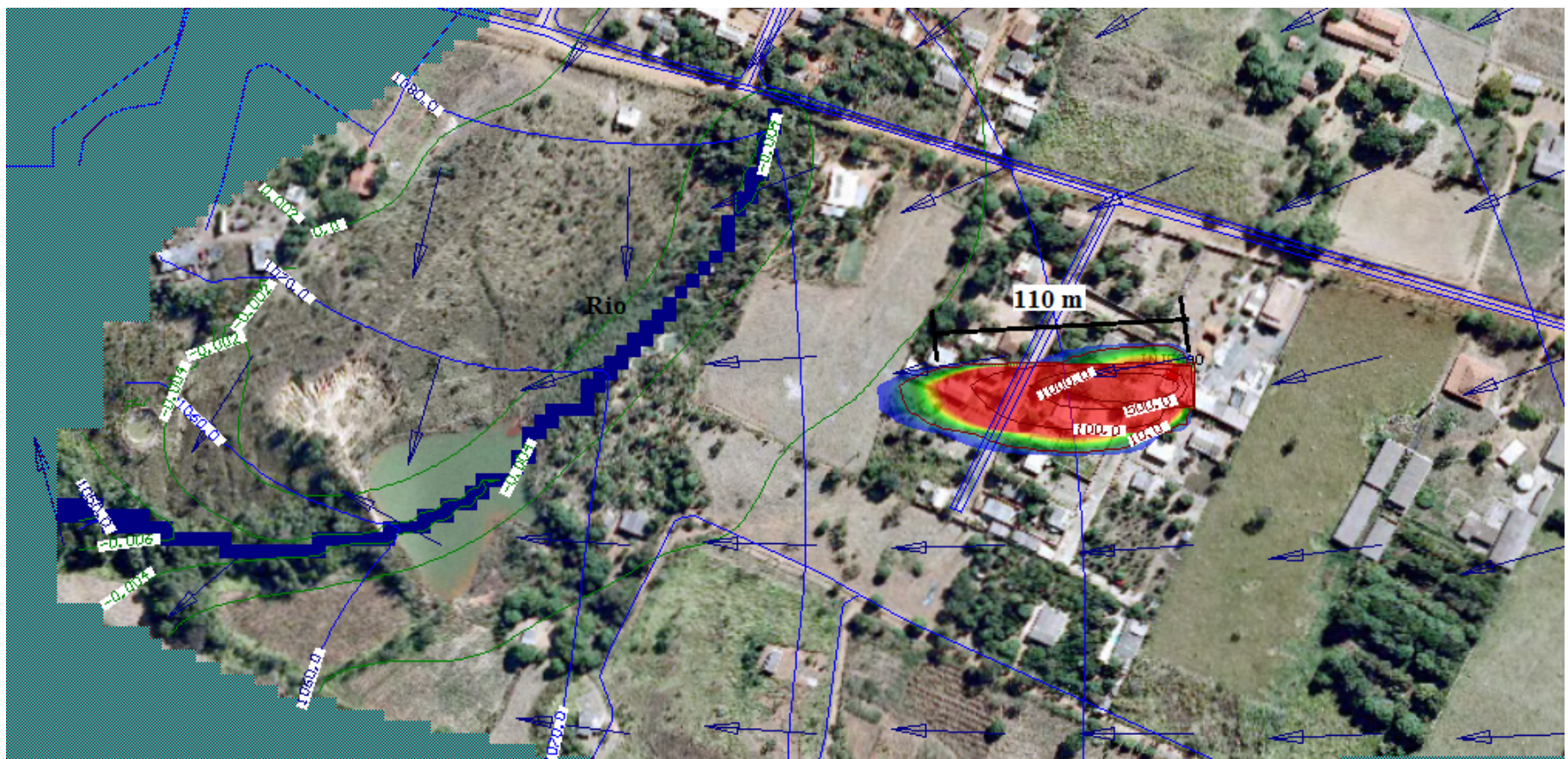
Camada	Valores Calibrados		
	Sy	Kx/ K,y (m/dia)	Kz (m/dia)
0 – 12m	0,2	3,04	4,3
12 – 28m	0,018	2,6 x10-1	1,1x10-2

# Modelagem

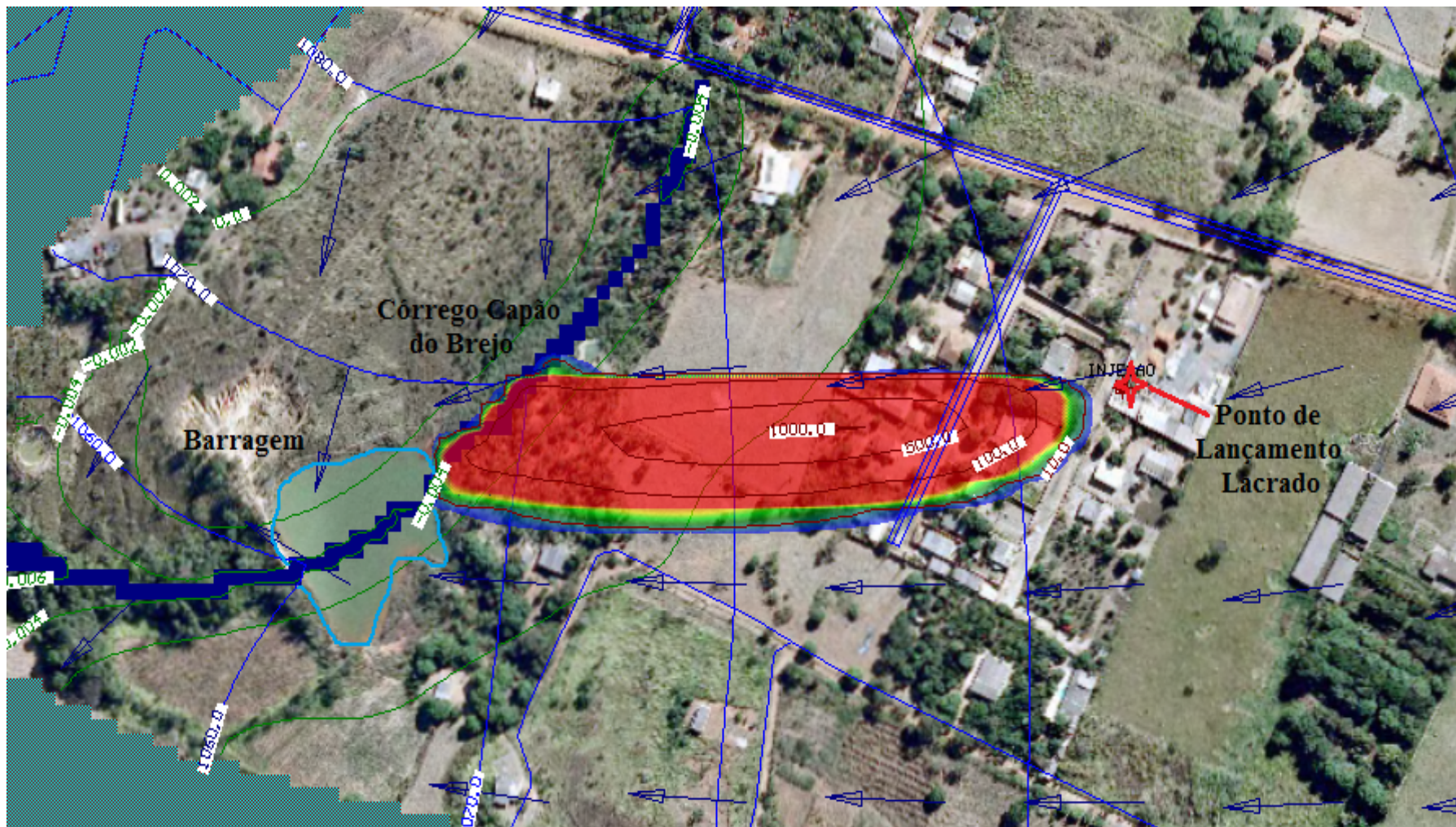
## Resultado

4

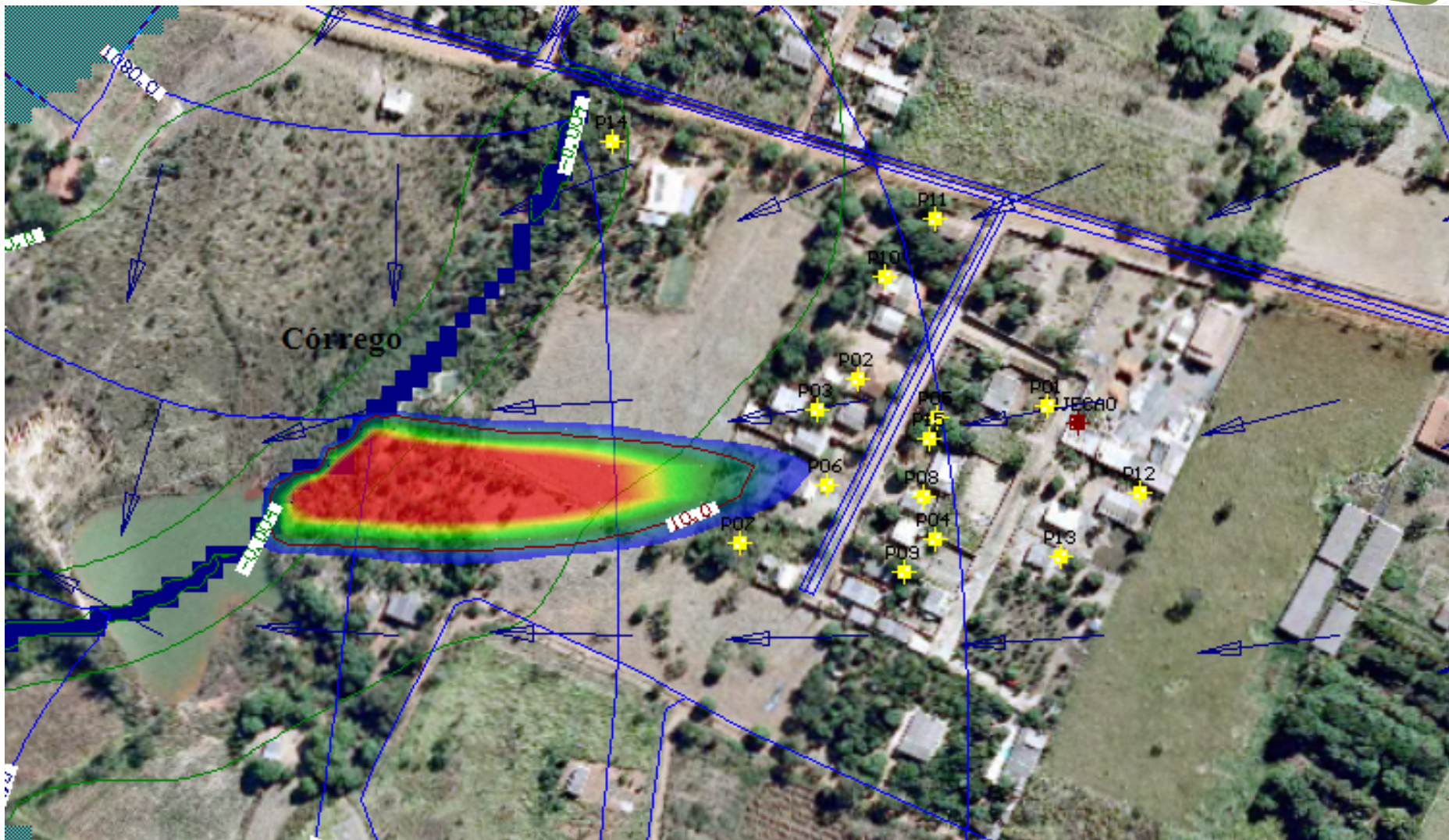
Em março de 2009, após 02(dois) anos de injeção do contaminante, a simulação apontou que a pluma apresentava mais de 110m de comprimento, fato comprovado pelo levantamento geofísico e pelo monitoramento qualitativo realizado no mesmo período em poços da região.



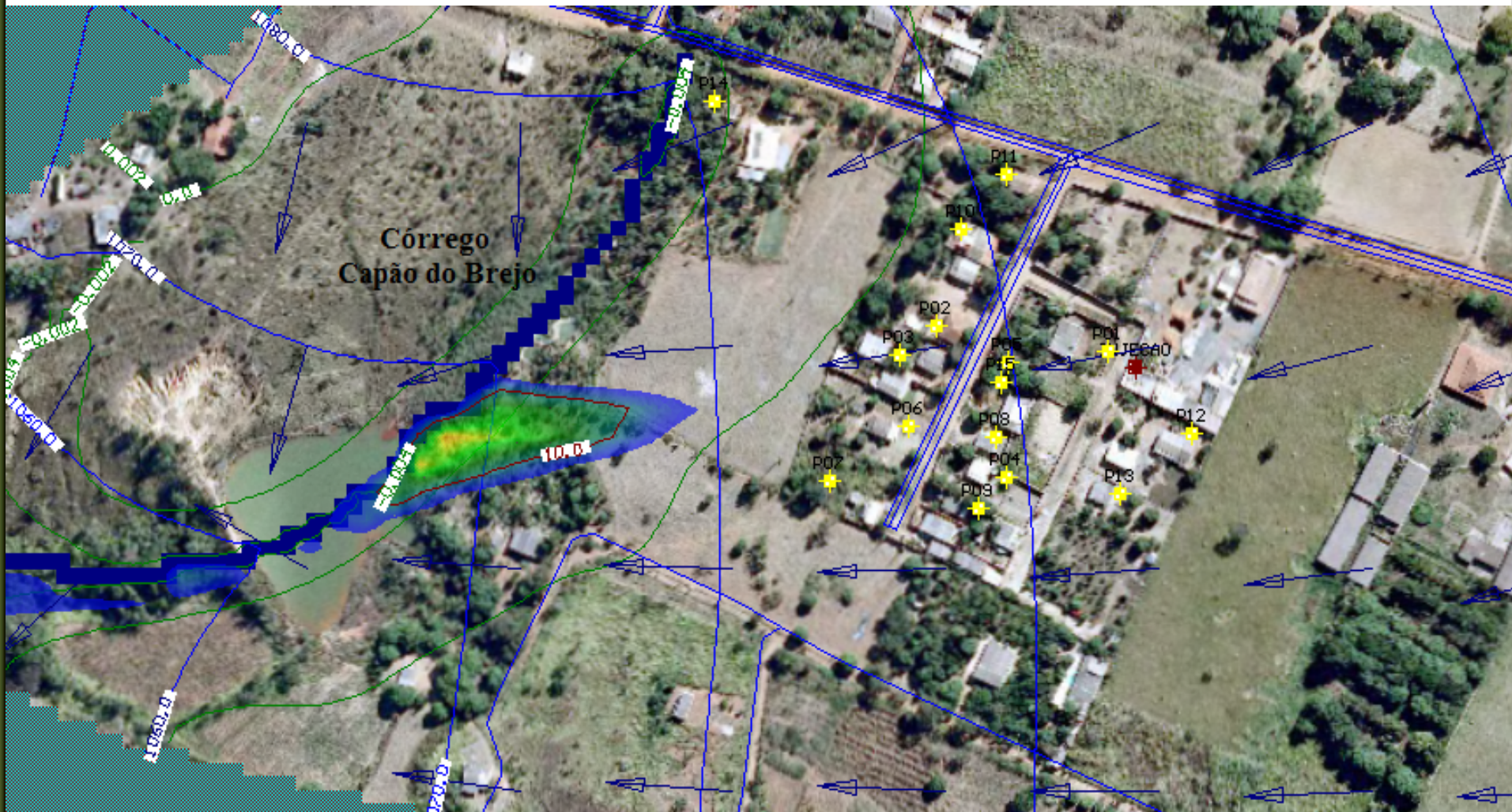
Pluma com tempo de simulação de 02 anos



Pluma para o período de 01 ano após lacre do sistema de lançamento



Pluma para o período de 04 ano após lacre do sistema de lançamento

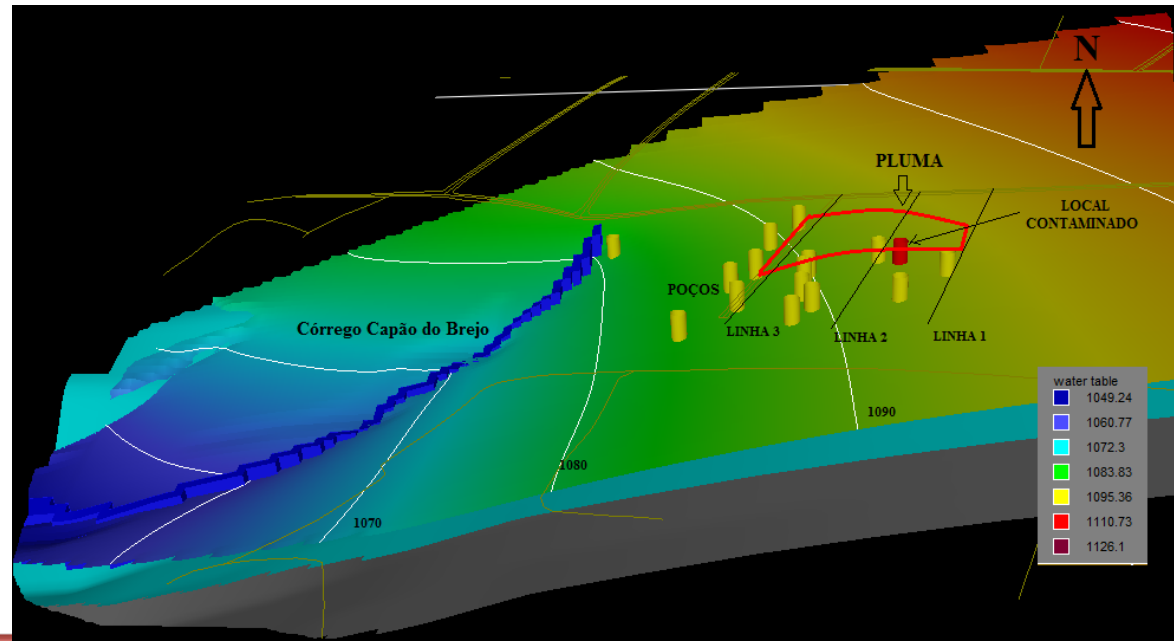


Pluma para o período de 10 anos de simulação

- A integração de diferentes ferramentas, como monitoramento, levantamento geofísico e modelagem, ao se estudar a propagação dos contaminantes em aquíferos freáticos mostrou-se adequada.

- A caracterização da qualidade da água subterrânea, monitorada por meio de poços (cisternas) na área de estudo, auxiliaram na elaboração de modelo mais confiável de caracterização do aquífero, evolução da pluma de contaminação e de remediação da mesma.

- Os levantamentos geofísicos executados na área de estudo permitiram delinear melhor a pluma e também identificar contaminação em outro local não esperado.



- A modelagem mostrou que a rede de monitoramento poderia ser melhor distribuída, mostrando a importância de se definir a rede de monitoramento com base em estudos preliminares de modelagem.

- O estudo mostrou que a rede existente foi insuficiente para uma boa caracterização do local. Poços escavados manualmente por meio de trados poderiam ter sido abertos com baixo custo e forneceriam uma melhor base de dados para simulação e previsão.
- Após os levantamentos geofísicos detectou-se a probabilidade da contaminação a montante que pode ser melhor caracterizada com a execução de novas linhas de investigação criando seções a montante da charqueadora.
- Recomenda-se que os dados altimétricos sejam medidos, de preferência, utilizando um GPS - Geodésico, que proporciona maior precisão de localização, uma vez que durante a calibragem do modelo a base topográfica utilizada produziu diferenças na modelagem da variação do nível freático em alguns poços, conforme já mostrado por Lima (2010) utilizando a mesma base topográfica.

**MUITO  
OBRIGADO**

**FIM**

7 de Novembro de 2014

Rafael Machado Mello  
Sérgio Koide – Orientador  
Carlos Tadeu – Co-Orientador