SILUSBA 25 anos

14.º SILUSBA

Praia 2019 16 a 20 de setembro

AVALIAÇÃO DE REBAIXAMENTO DO AQUÍFERO PARA A IMPLANTAÇÃO DE INFRA-ESTRUTURA URBANA NO SUMBE, ANGOLA, ÁFRICA

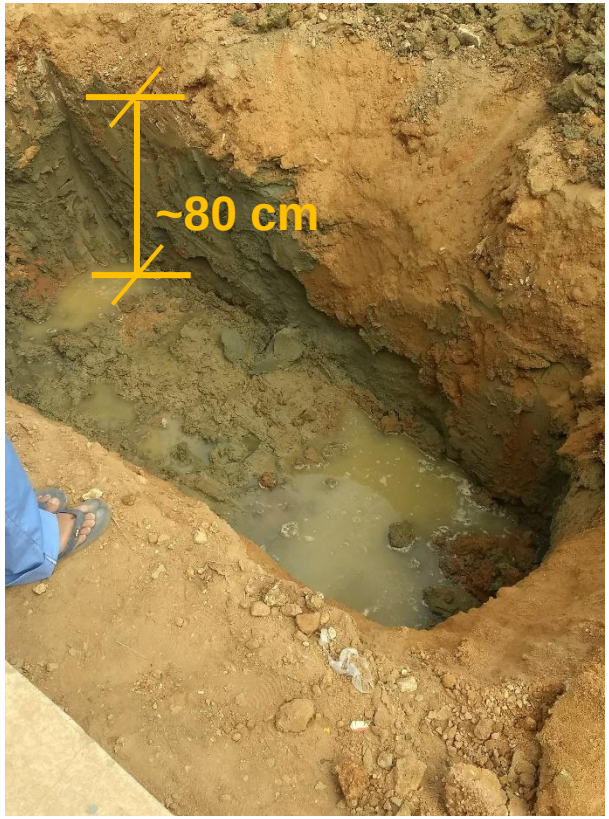
Cássio Rampinelli[1]; Tyler Smith[1]; Ana Lima[2]; Charles Aguiar[2]; Silvio Domingos[2]; Celestina Diniz[2]; Janilson Araújo[2]

[1]Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Clarkson University, USA

[2]BDM Engenharia e Tecnologia, Angola

Contexto

- **Projecto de implantação de infra-estrutura urbana na cidade do Sumbe/Angola.**
- **Pontos de Inundações permanentes e intermitentes (periodo de chuvas).**



Problema

Lençol Freático Raso

- **Execução**
- **Funcionalidade**
- **Vida útil**

- **Alternativas para a execução:**
  - Bombeamento/esgotamento directo;
  - Rebaixamento por ponteiras filtrantes (“well points”);
  - Rebaixamento com bombas submersas.

- **Alternativas para convívio/aumento da vida útil**
  - Rebaixamento permanente do lençol freático com bombas submersas;
  - Critérios de projecto (dimensionamento/materiais/drenagem) para a infra-estrutura implantada

- **3 Poços existentes desactivados**

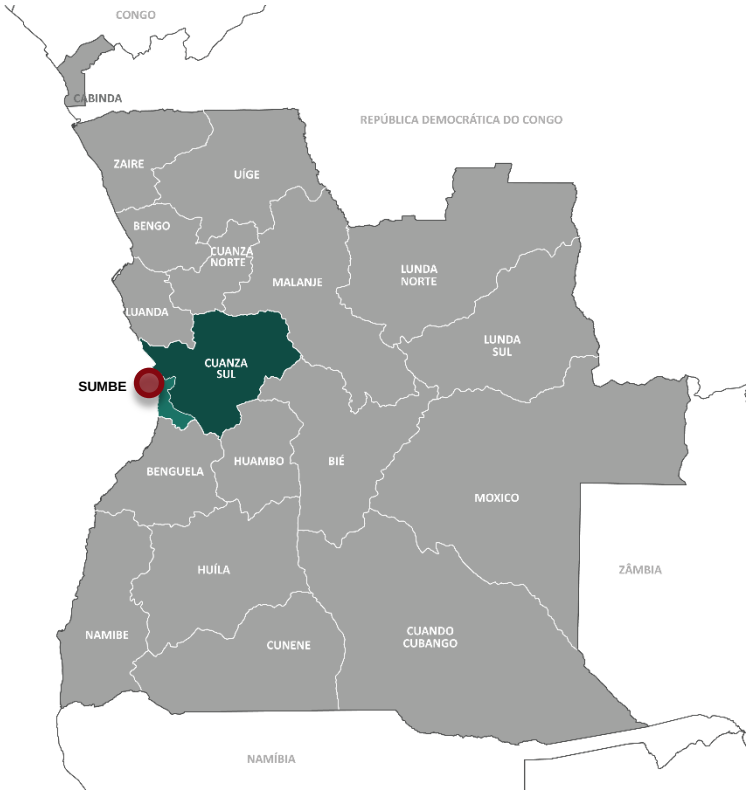
- **Limitação de dados (geotécnicos/hidrogeológicos) e tempo**

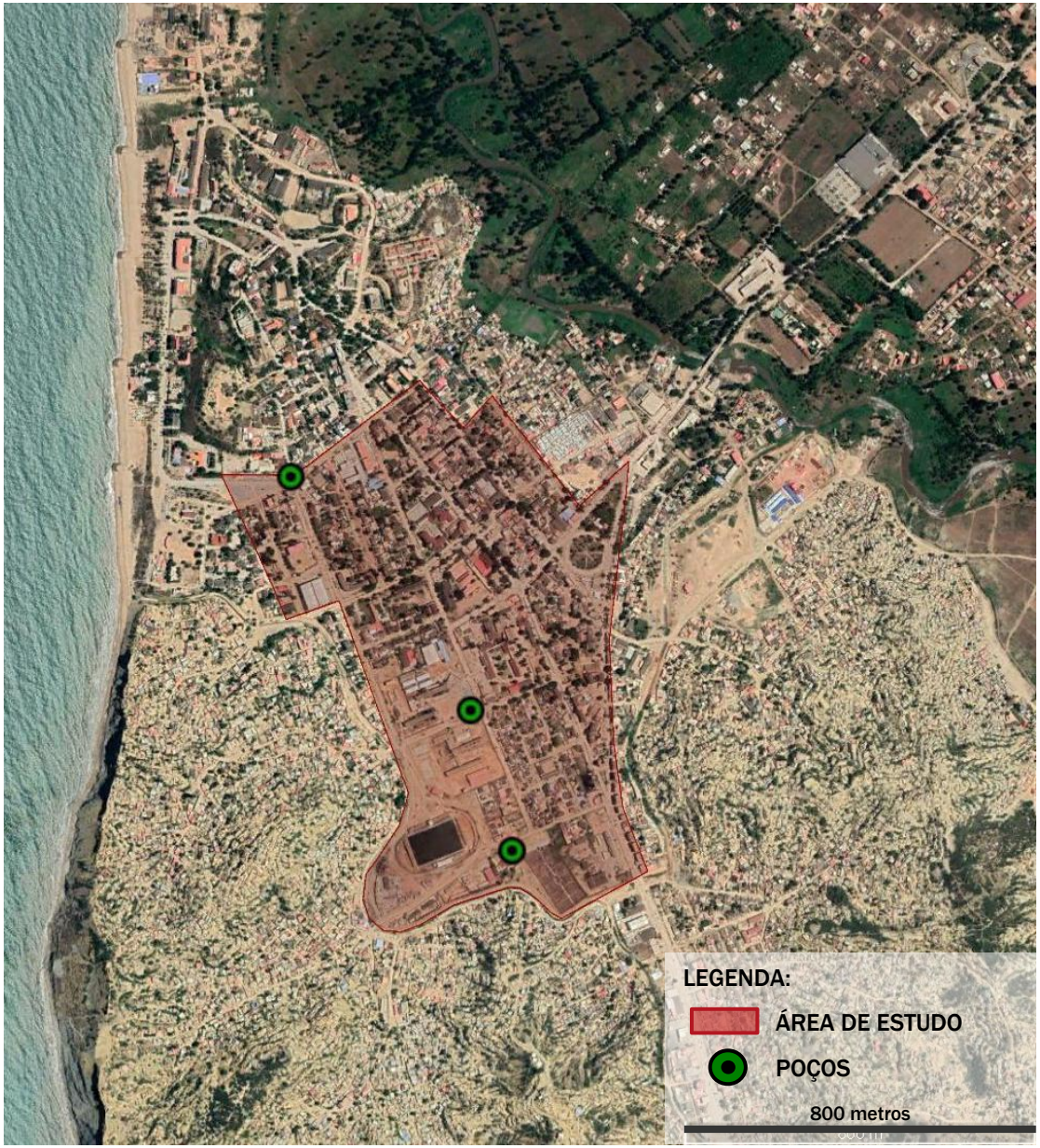
✓ **É viável recuperar os poços existentes ?**
✓ **Qual o raio de influência dos poços ?**

Necessidade de caracterização hidrogeológica

- Superfície Freática Potencial
- Transmissividade (T)
- Condutividade Hidráulica (K)

CABO VERDE
ANGOLA


CONGO
CABINDA
REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DO CONGO
ZAIRE
UÍGE
BENGO
CUANZA NORTE
MALANJE
LUNDA NORTE
LUANDA
LUNDA SUL
CUANZA SUL
SUMBE
BENGUELA
HUAMBO
BIÉ
MOXICO
HUÍLA
ZÂMBIA
NAMIBE
CUNENE
CUANDO CUBANGO
NAMÍBIA


LEGENDA:
ÁREA DE ESTUDO
POÇOS
800 metros

Levantamentos Realizados

- Condutividade Hidráulica
  - **Zona Vadosa**
    - Anéis concêntricos
    - Open and hole
  - **Zona Saturada**
    - Teste de aquífero
- Monitoramento do Nível Freático
- Sondagens (trado, SPT e rotativa)

Anéis Concêntricos

$$K = U \times \frac{I}{\Delta t} \times \ln\left(\frac{h_0}{h}\right)$$

Em que:

$\boldsymbol{K}$= condutividade hidráulica vertical (m/s);

$\boldsymbol{I}$ = profundidade cravada no solo (mm);

$\boldsymbol{\Delta t}$ = tempo de duração do ensaio (min);

U = 1/60000 = fator de conversão de mm/min para m/s;

$\boldsymbol{h_o}$ = $H - I - M_i$ = carga hidráulica inicial (mm);

$\boldsymbol{h}$ = $H - I - M_f$ = carga hidráulica final (mm);

$\boldsymbol{Mi}$ = medida inicial;

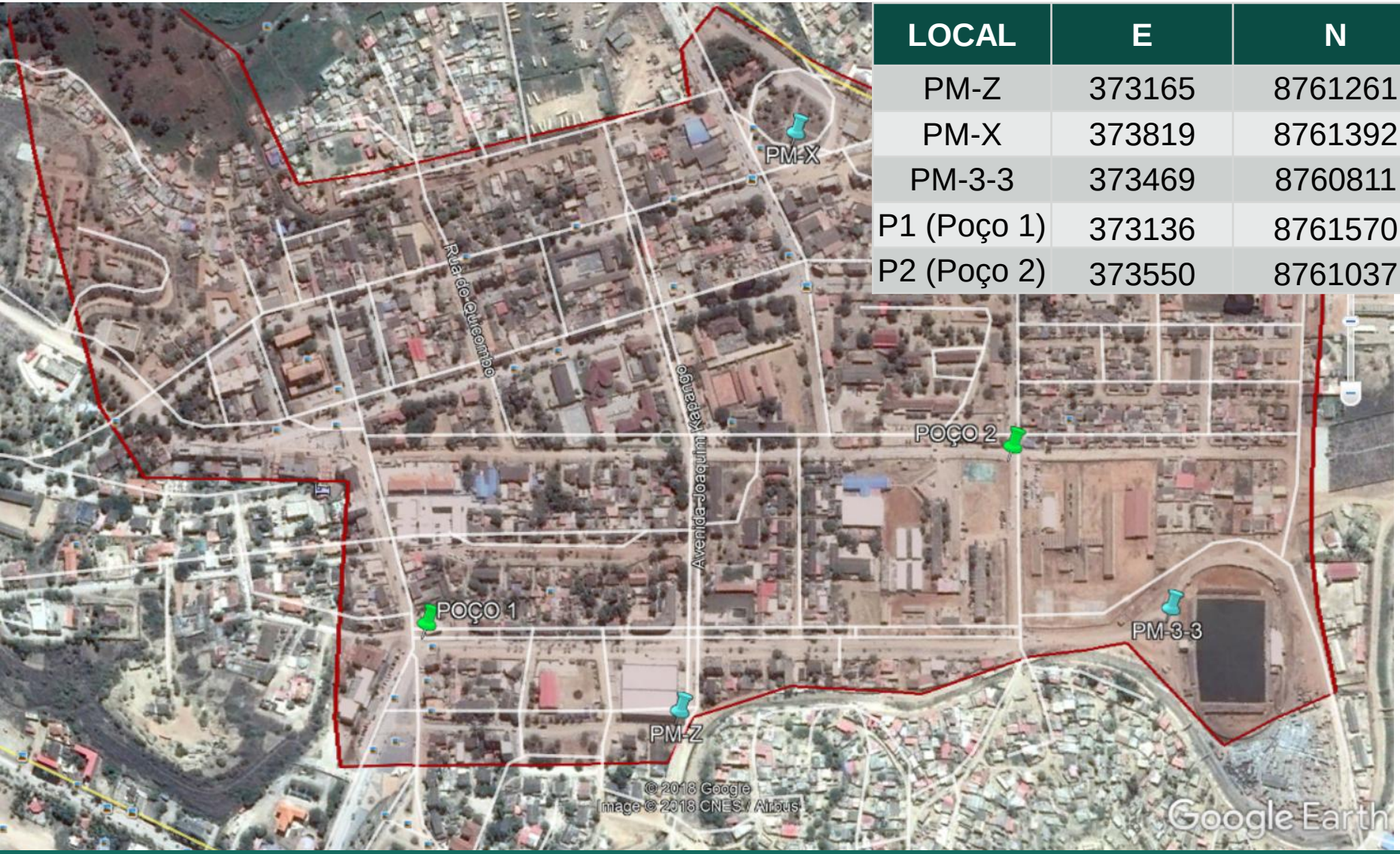
$\boldsymbol{Mf}$ = medida final;

$\boldsymbol{H}$ = altura total do cilindro (normalmente 250 mm).

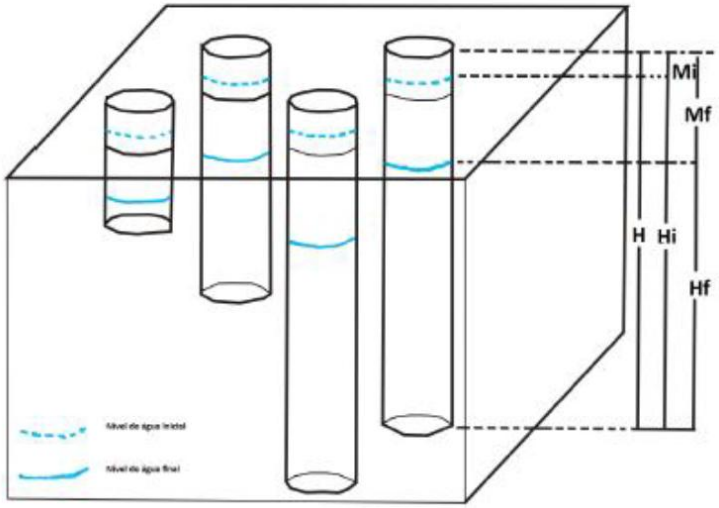
Anéis Concêntricos

- **Total 5 ensaios**

LOCAL	E	N
PM-Z	373165	8761261
PM-X	373819	8761392
PM-3-3	373469	8760811
P1 (Poço 1)	373136	8761570
P2 (Poço 2)	373550	8761037



Open and Hole



Ensaio Open and Hole

(ADASA, 2016)

$$K = 2{,}303 \times \left(\frac{R}{4\Delta t}\right) \times \left[\log\left(\frac{h_0}{h}\right)\right]$$

Em que:

$\boldsymbol{K}$ = condutividade hidráulica vertical (m/s);

$\boldsymbol{R}$ = raio do tubo (m) = 0,025 m ;

$\boldsymbol{\Delta t}$ = intervalo de tempo para o rebaixamento da água (s);

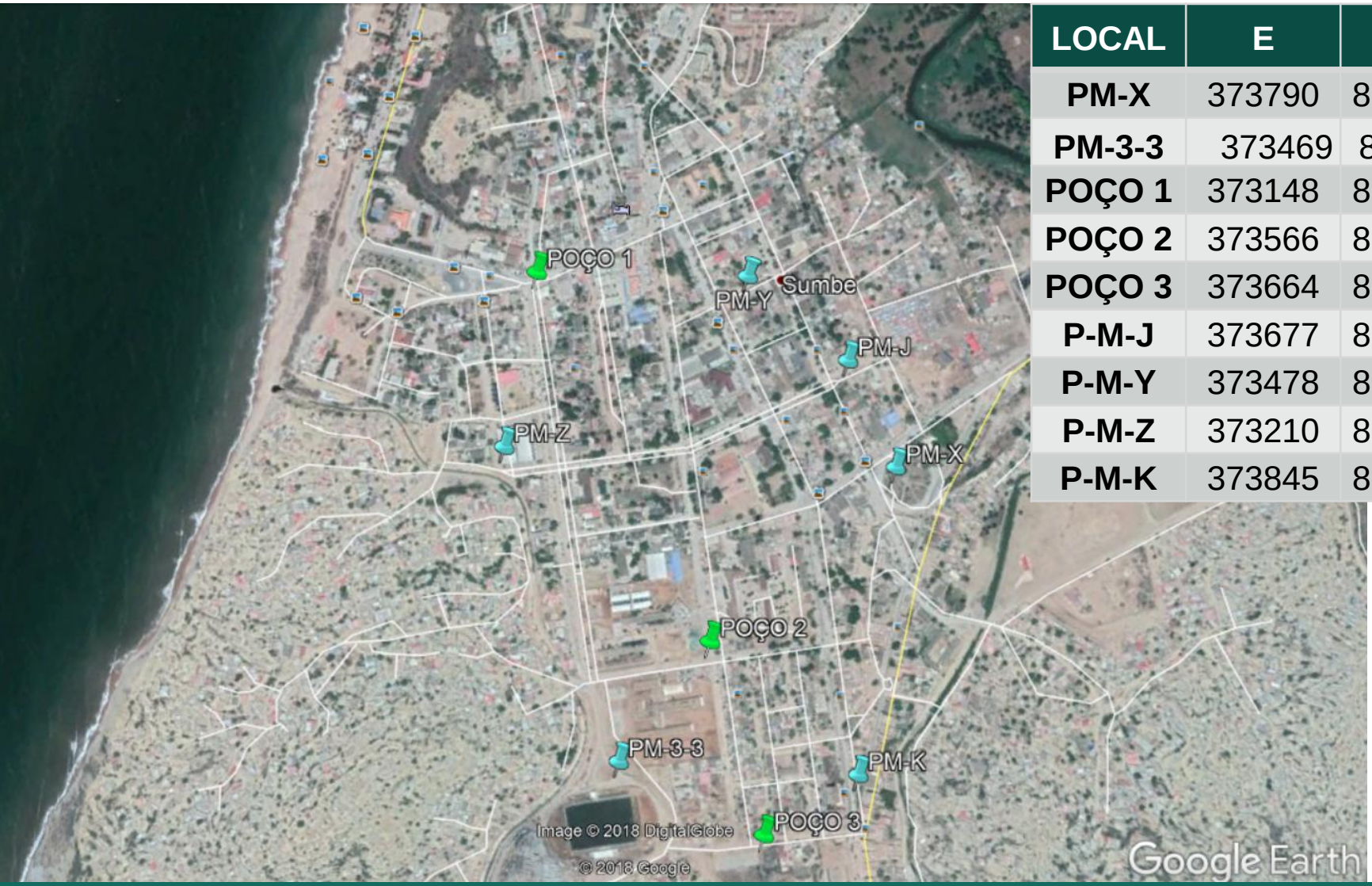
$\boldsymbol{ho}$ = $H - Mi$ = carga hidráulica inicial (cm);

$\boldsymbol{h}$ = $H - Mf$ = carga hidráulica final (cm);

$\boldsymbol{H}$ = altura da boca do cano até o fundo do buraco (cm);

Open and Hole

- **Total: 9 ensaios**



LOCAL	E	N
PM-X	373790	8761382
PM-3-3	373469	8760811
POÇO 1	373148	8761547
POÇO 2	373566	8761037
POÇO 3	373664	8760730
P-M-J	373677	8761530
P-M-Y	373478	8761632
P-M-Z	373210	8761254
P-M-K	373845	8760818

Teste de Aquífero

- **Determinar os parâmetros hidrodinâmicos do meio poroso**

$$T_0 = \frac{0{,}366\ Q}{(s_1 - \frac{s_1^2}{2H_0}) - (s_2 - \frac{s_2^2}{2H_0})} \log \frac{r_2}{r_1}$$

$$K = \frac{T_0}{H_0}$$

Em que

Q- vazão de bombeamento (m³/s);

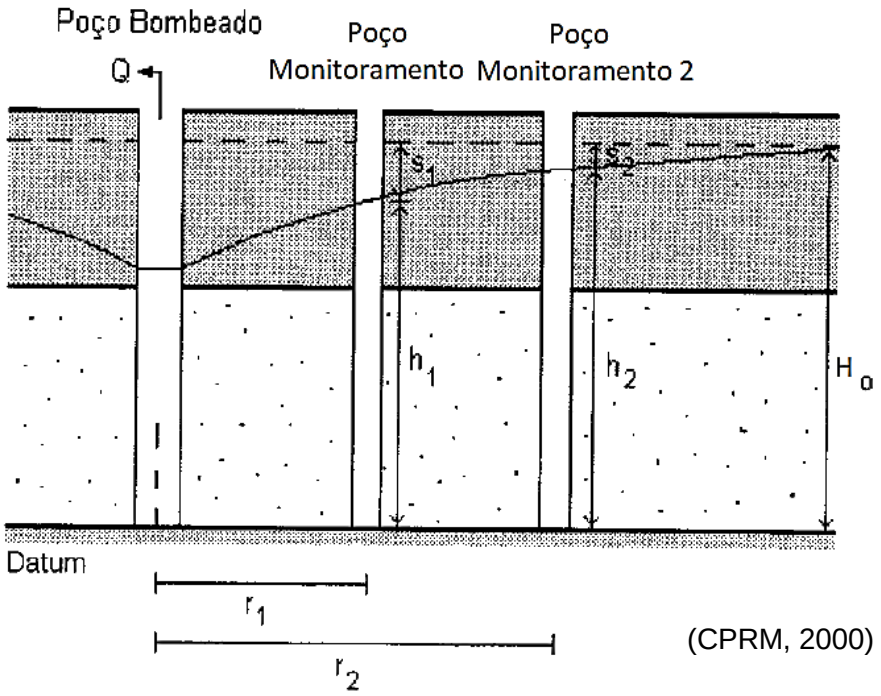
S_1- rebaixamento observado no poço 1 (m);

S_2- rebaixamento observado no poço 2 (m);

r_1- distância entre o poço de bombeamento e o poço 1 (m);

r_2-- distância entre o poço de bombeamento e o poço 2 (m);

H_0- espessura saturada do aquífero (m);

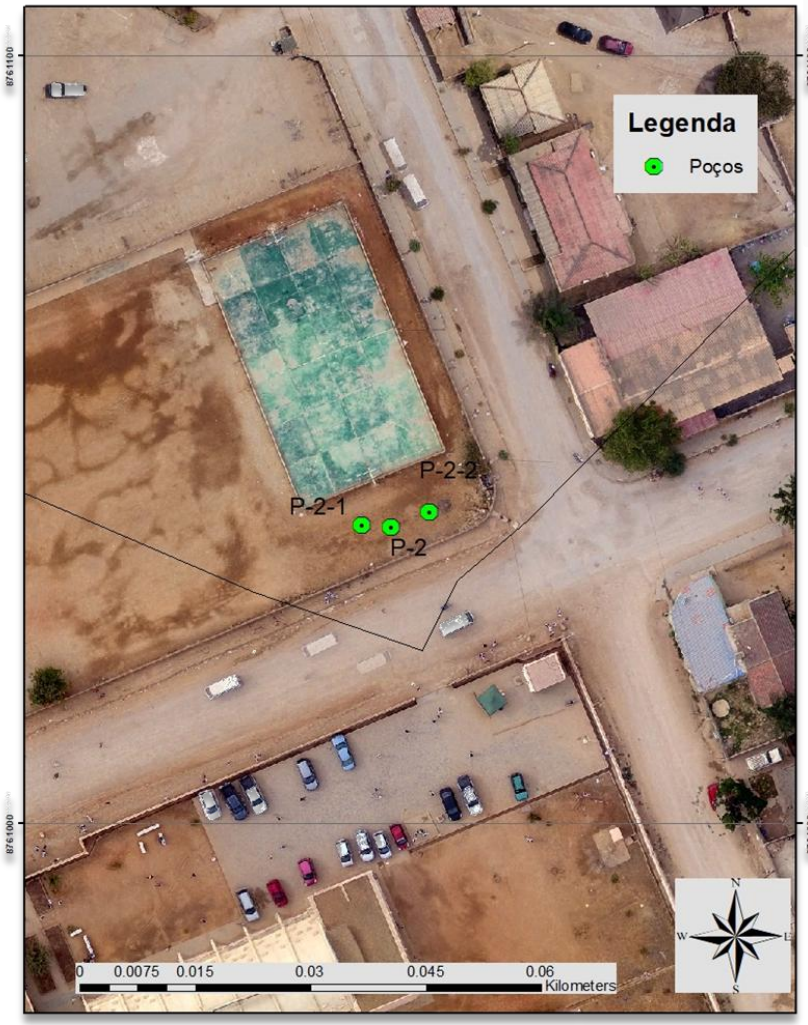


(CPRM, 2000)

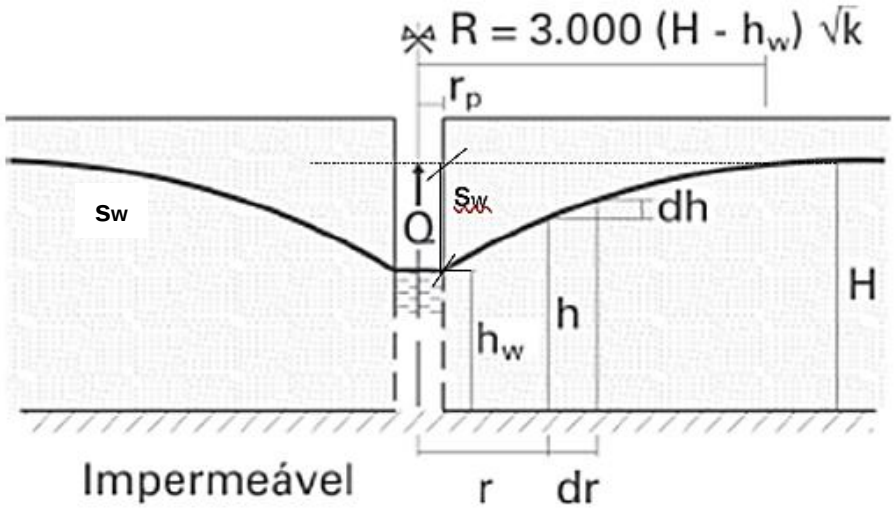
K – Condutividade Hidráulica

T_0 – Transmissividade

Teste de Aquífero



Raio de Influência



H é a espessura saturada do aquífero (m);

h_w é a distância do nível d'água no poço até o final da camada saturada (m);

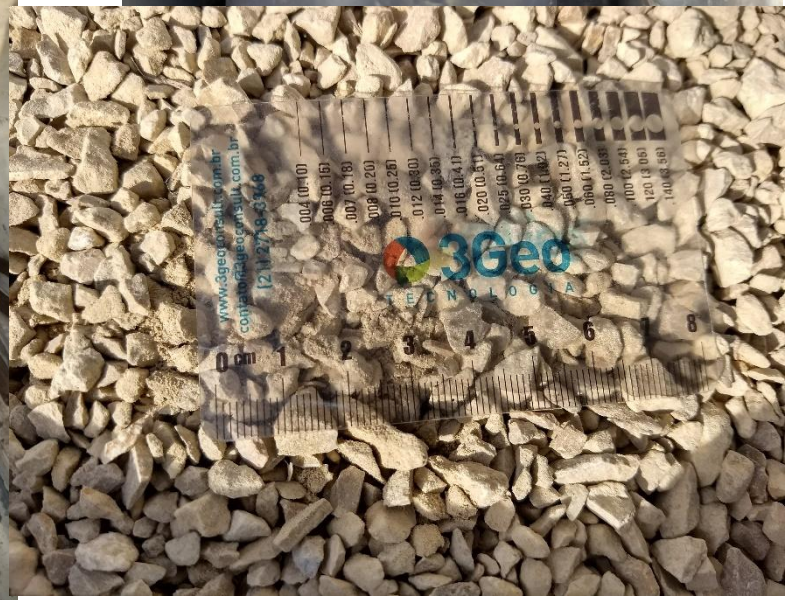
K a condutividade hidráulica (m/s);

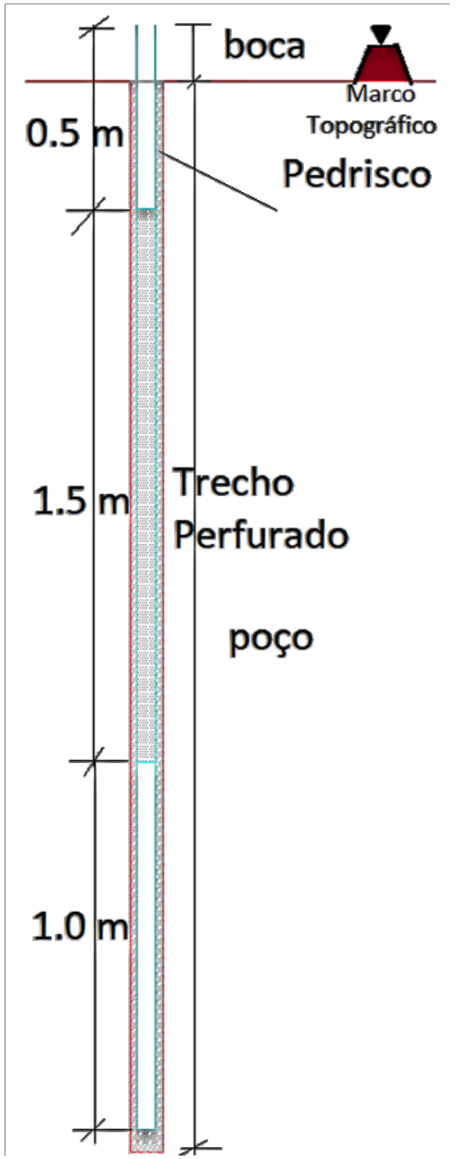
R raio de influência (m);

s_w profundidade do rebaixamento no poço de bombeamento (m).

Monitoramento do Nível Freático

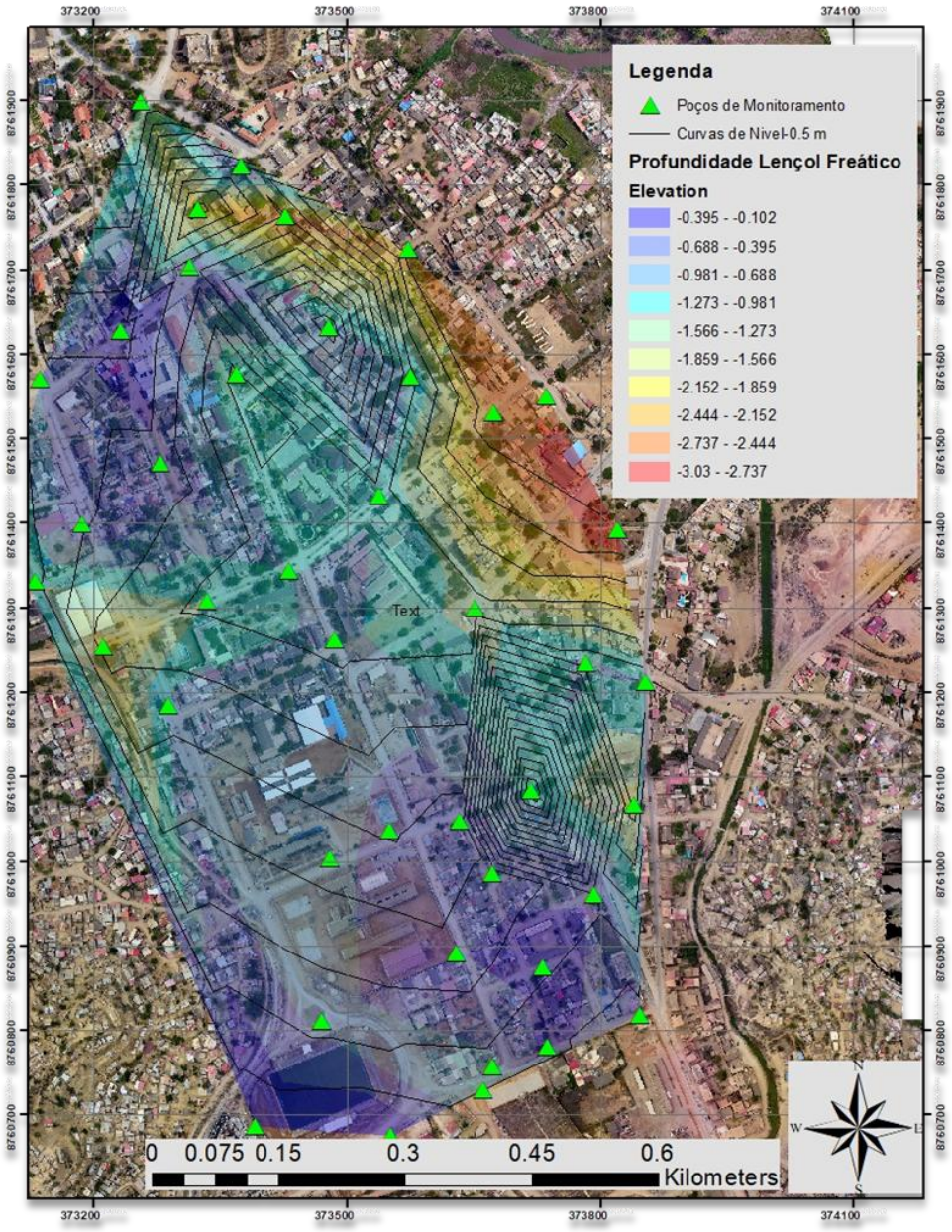
- 43 Poços de monitoramento
- Tubo de PVC
- Diâmetro: 50 mm





Sondagens

- A trado – Poços de monitoramento
- SPT – Reconhecimento do solo
- Rotativa - Teste de aquífero



Superfície Freática

Open and Hole

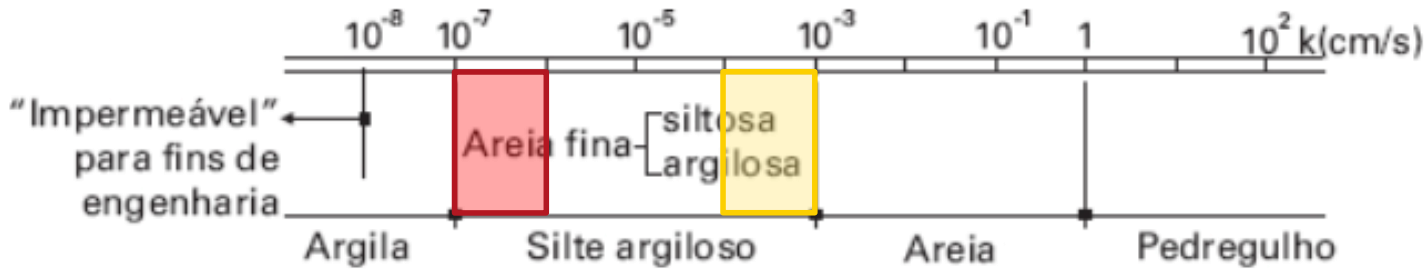
LOCAL	K (cm/s)
PM-X	3.09E-06
PM-3-3	6.03E-07
POÇO 1	3.98E-06
POÇO 2	2.08E-07
POÇO 3	8.24E-07
P-M-J	2.45E-06
P-M-Y	4.18E-06
P-M-Z	1.65E-05
P-M-K	1.37E-06

Média: **3.69 E-06**

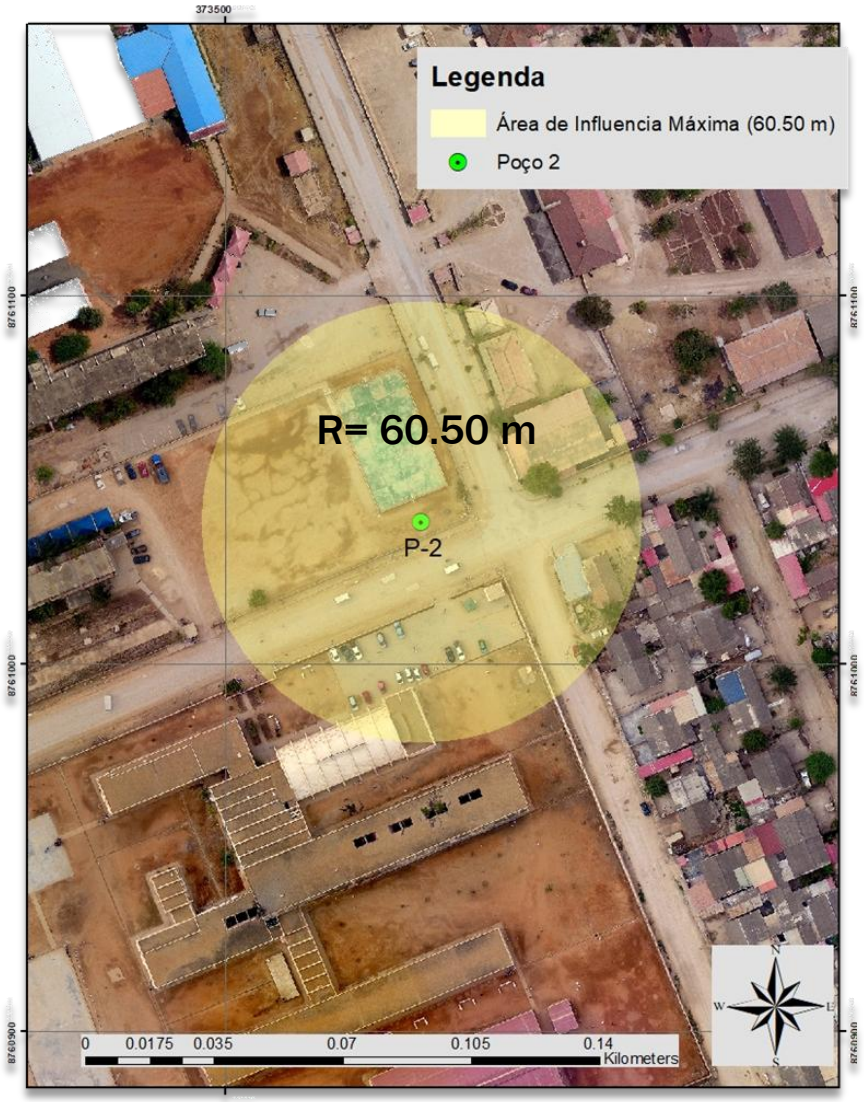
Anéis Concêntricos

LOCAL	K(cm/s)
POÇO 1	4.01E-03
POÇO 2	2.44E-04
PM-X	8.41E-04
PM-Z	9.70E-04
PM-3-3	2.02E-04

Média: **1.25 E-03**

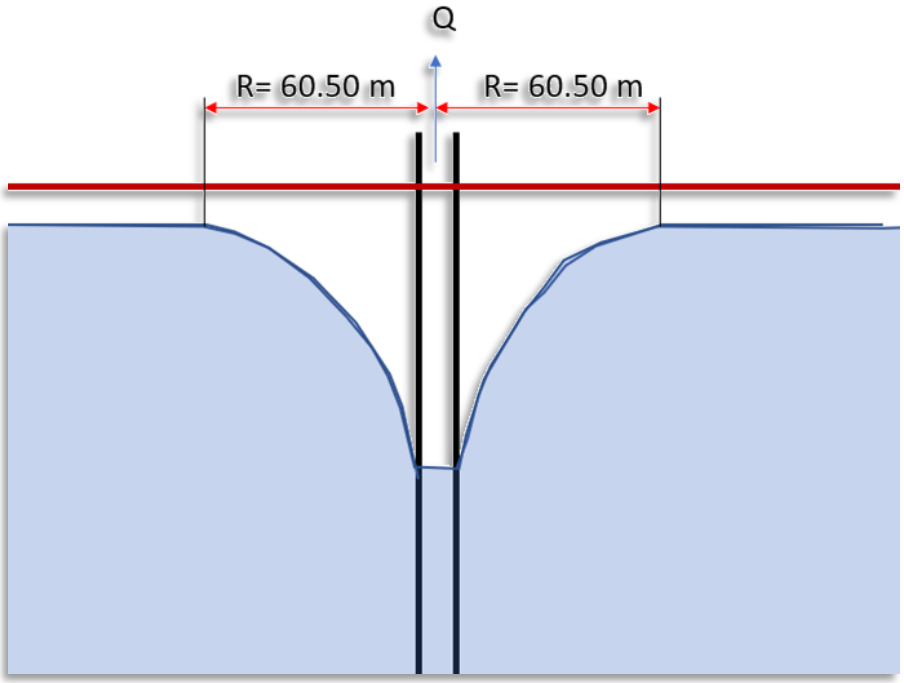


Condutividade Hidráulica e Raio de Influência

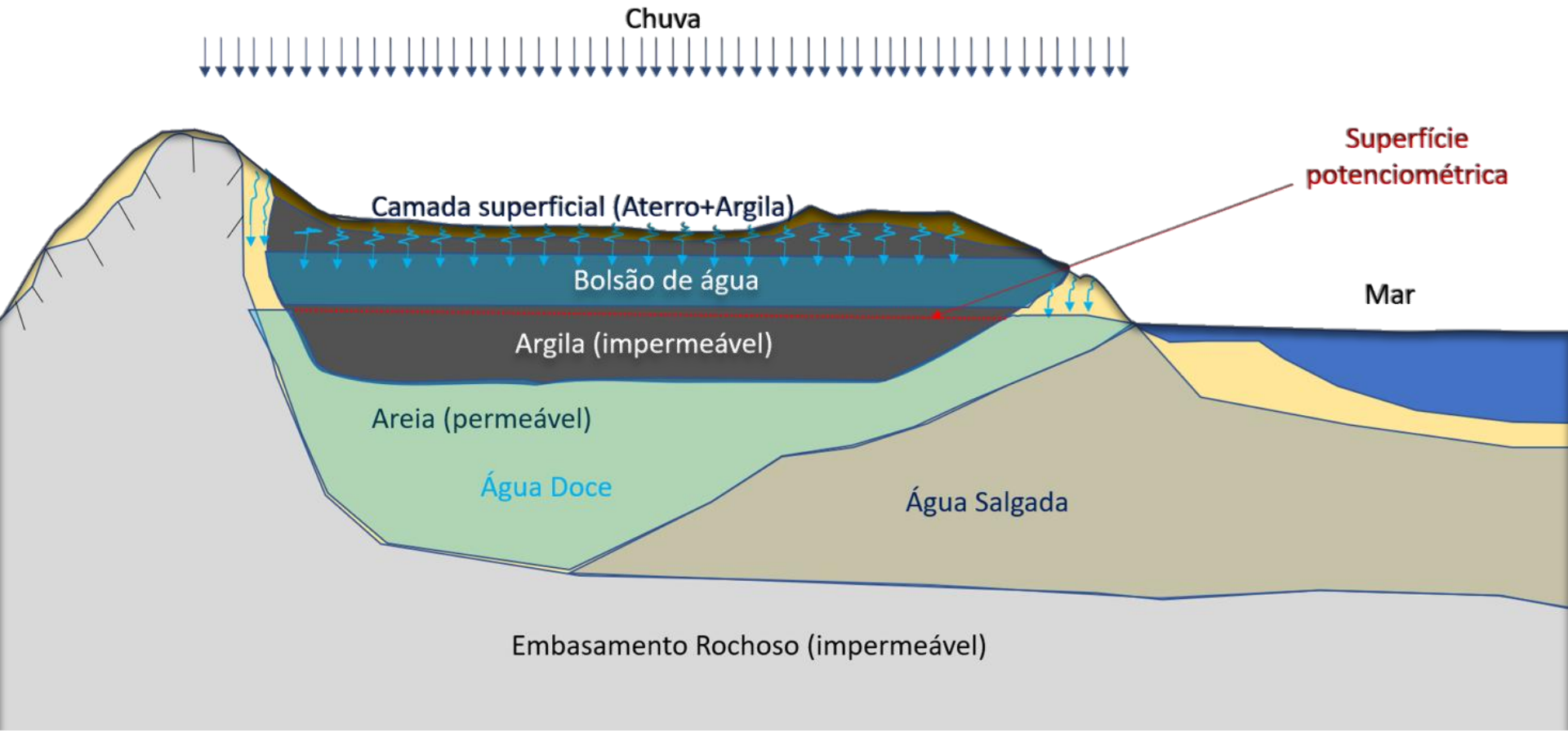


T_0=1.40E-04 m²/s

K=2.33 E-06 m/s



Modelo Hidrológico Conceptual



Conclusões

- Camada argilosa/siltosa espessa;
- A espessura da camada de argila não pode ser definida com precisão (mais de 60 m);
- Condutividade hidráulica baixa (menor que 10E-4 cm/s) ;
- Raio de influência pequeno (da ordem de 60 m);
- Rebaixamento com poços submersos pouco eficiente;
- Recomenda-se a utilização de bombeamento directo;
- Necessidade de directrizes de projecto/execução para convívio com lençol freático raso;
- Ensaios práticos trouxeram contribuições valiosas.

Referências

- ABNT. (1997). *NBR-13895-Construção de poços de monitoramento e amostragem*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ADASA. (2016). *Resumo Teórico e Prático para Testes de Aquíferos na Zona Saturada e Não Saturada: Ensaios de Infiltração in situ, Slug Test e Testes de Bombeamento*. Brasília: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal.
- Alonso, U. R. (2007). *Rebaixamento Temporário de Aquíferos*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Carvalho, A. M., Gomes, L. G., Barbosa, A., Filho, J. A., & Mondelli, G. (2013). *Determinação da condutividade hidráulica de uma área contaminada no município de Santo André utilizando-se método Slug Test. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*, 3, pp. 71-87.
- CPRM. (2000*). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações (2 ed.).* Rio de Janeiro: CPRM-Serviço Geológico do Brasil.
- Flori, J. d. (2010). *Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados.* Brasília: Dissertação de mestrado submetida ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília como pré requisito para obtenção do grau de mestre em geociências.
- Lima, A. A., & Filho, J. V. (2003). *Procedimentos para a realização de testes de bombeamento em poços tubulares utilizados no aproveitamento de águas minerais*. Pernambuco: DNPM.
- Oliva, A., Kiang, C. H., & Chang, M. C. (2005). *Determinação da condutividade hidráulica da formação rio Claro: Análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeametro Guelph e testes de Slug*. Águas Subterrâneas, 19, pp. 1-17.

SILUSBA 25 anos

14.º SILUSBA

Praia 2019 16 a 20 de setembro

AVALIAÇÃO DE REBAIXAMENTO DO AQUÍFERO PARA A IMPLANTAÇÃO DE INFRA-ESTRUTURA URBANA NO SUMBE, ANGOLA, ÁFRICA

Cássio Rampinelli[1]; Tyler Smith[1]; Ana Lima[2]; Charles Aguiar[2]; Silvio Domingos[2]; Celestina Diniz[2]; Janilson Araújo[2]

[1]Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Clarkson University, USA

[2]BDM Engenharia e Tecnologia, Angola

Equação de Transiente de Boussenesq simplificada pelos pressupostos de Dupuit para u modelo 2D

$$\frac{\partial h}{\partial x}\left(K_x b \frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial h}{\partial y}\left(K_y b \frac{\partial h}{\partial y}\right)\pm W = S_y \frac{\partial h}{\partial t}$$

- h é a elevação do nível freático;
- b é a espessura do aquífero;
- W taxa de bombeamento
- Sy a produção específica.

Simplificação (modelo permanente, meio homogêneo)

$$\frac{\partial h}{\partial x^2}+\frac{\partial h}{\partial y^2}=-\frac{W}{Kb}$$

Resolução por diferenças finitas

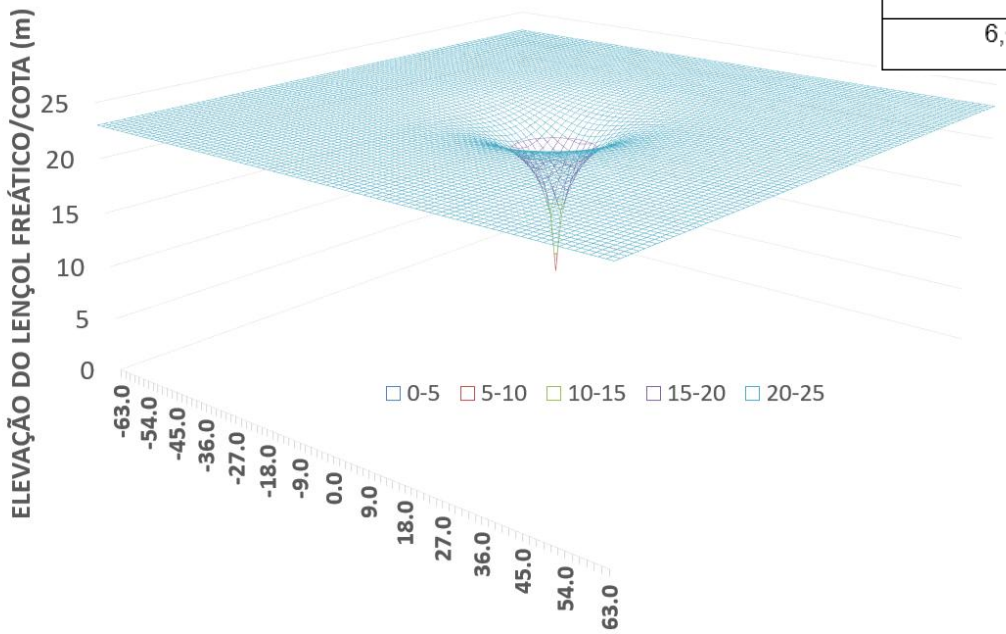
$$\frac{h_{i+1,j}-2h_{i,j}+h_{i-i,j}}{(\Delta x)^2}+\frac{h_{i,j+1}-2h_{i,j}+h_{i,j-1}}{(\Delta y)^2}=0$$

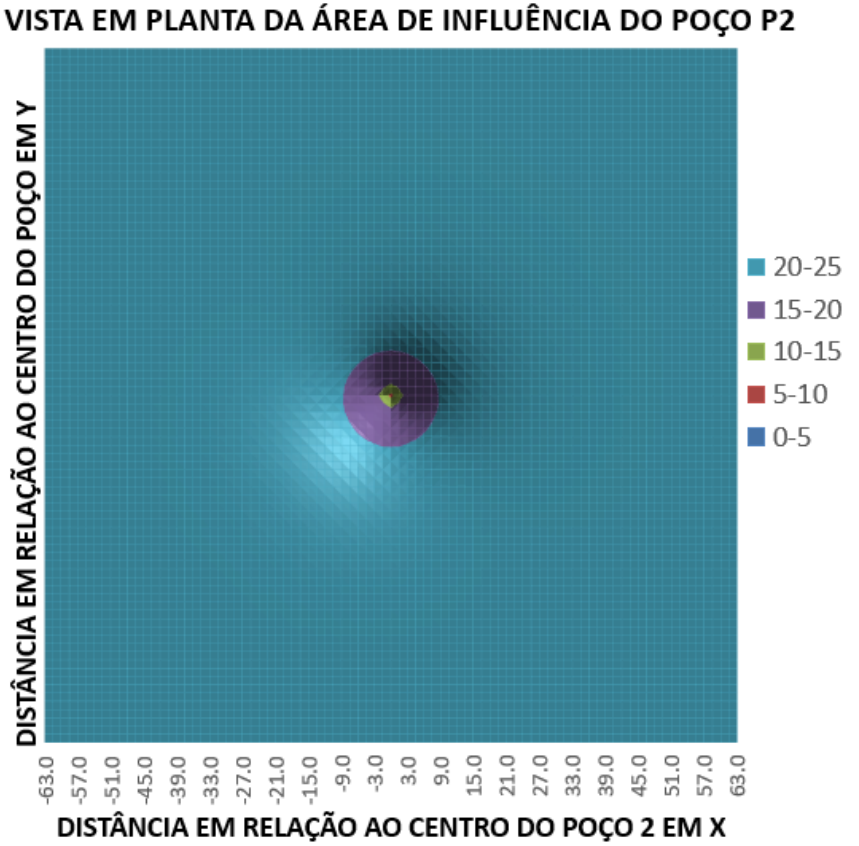
Nós sem bombeamento

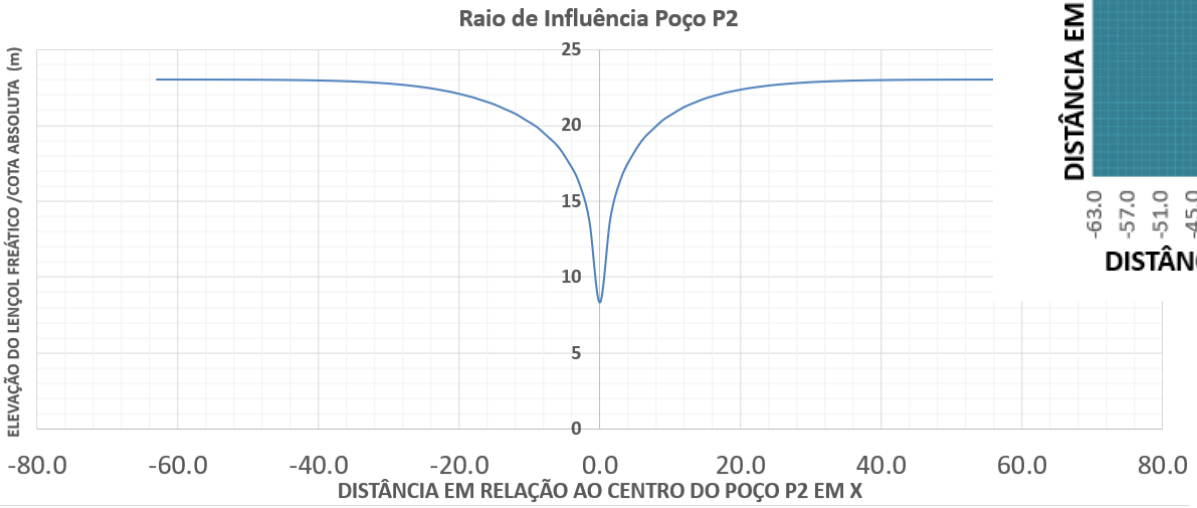
$$\frac{h_{i+1,j}-2h_{i,j}+h_{i-i,j}}{(\Delta x)^2}+\frac{h_{i,j+1}-2h_{i,j}+h_{i,j-1}}{(\Delta y)^2}=-\frac{W}{Kb}$$

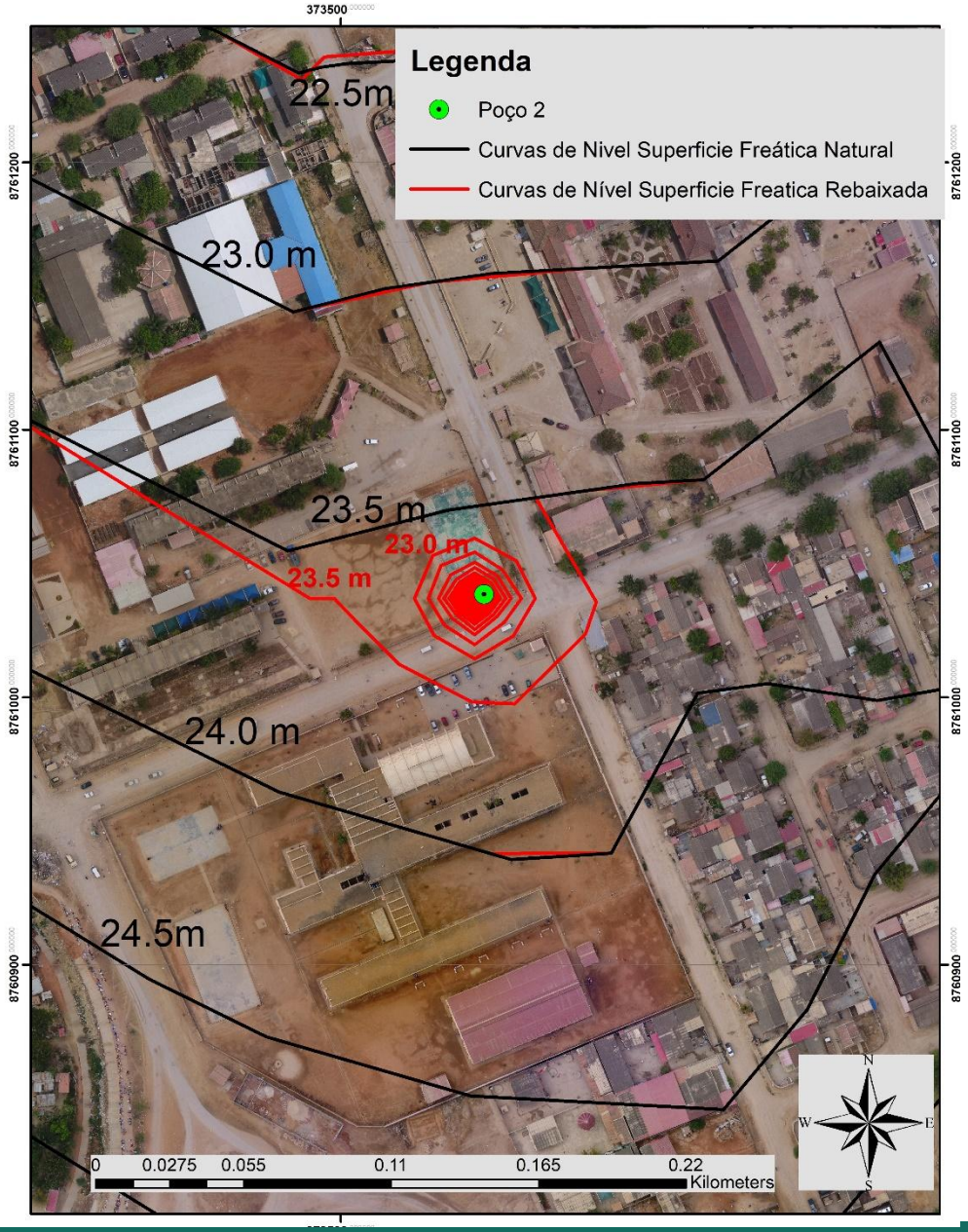
Nós com bombeamento

W (m³/h)	K(m/h)	b(m)	Δx = Δy (m)
6,00	0.01015	60	1.5








373500
8761200
8761100
8761000
8760900
Legenda
Poço 2
Curvas de Nivel Superficie Freática Natural
Curvas de Nível Superficie Freatica Rebaixada
22.5m
23.0 m
23.5 m
23.0 m
23.5 m
24.0 m
24.5m
N
W
E
S
0 0.0275 0.055 0.11 0.165 0.22
Kilometers