



FACULDADE DE CIÊNCIAS UNIVERSIDADE DE LISBOA



Universidade
Atlântica



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ÁGUA, ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA. UMA ABORDAGEM INTEGRADA E PARTICIPATIVA NA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS INOVADORES E PROSPECTIVAS DE GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS NO SUL DE PORTUGAL – PROWATERMAN

PROJECTO PTDC/AAC-AMB/105061/2008

Workshops UÉvora UAlg

29 e 30 de Novembro de 2012

**Modelação matemática para apoio à decisão e à gestão
integrada dos recursos hídricos - Aplicação aos casos de
estudo em Melides e no Algarve**

José Paulo Monteiro

(Universidade do Algarve / LNEC)



**José Paulo MONTEIRO
Núria Salvador**

Data de início: 01 de Janeiro de 2010

Duração: 36 meses

MODELO REGIONAL DE SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Parâmetros:

$$K = \frac{\rho g k}{\mu}$$

$$S_s = \rho g (\alpha + n\beta)$$

Variáveis

$$Q \quad t$$

$$h = \left(\frac{p}{\rho g} \right) + z$$

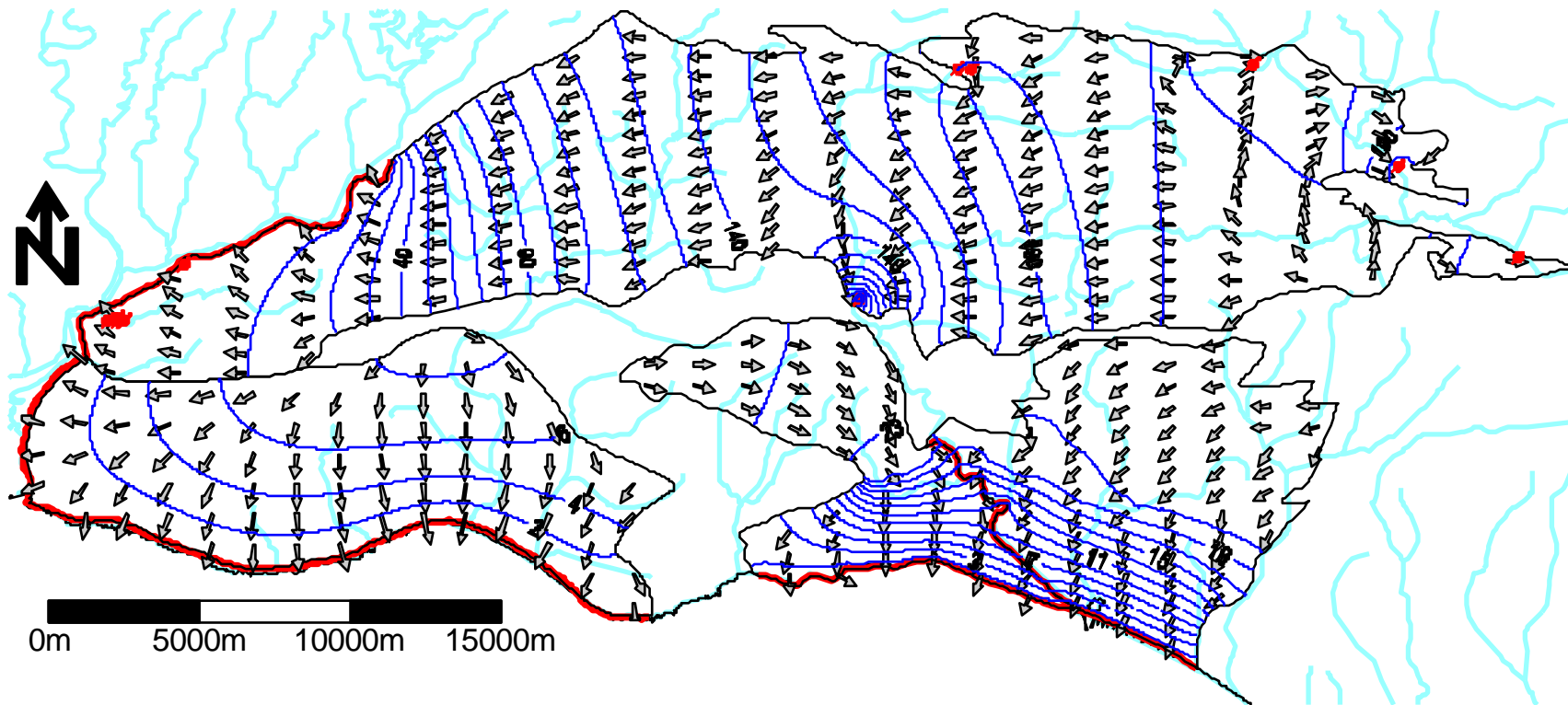
A aplicação de modelos de parâmetros distribuídos exige a recolha de informação aos níveis de:

- geometria do domínio de escoamento
- definição de condições de fronteira (relações do modelo com a região circundante)
- quantificação de entradas e saídas (balanço hidrológico)
- distribuição espacial e evolução temporal de variáveis de estado
- parâmetros hidráulicos

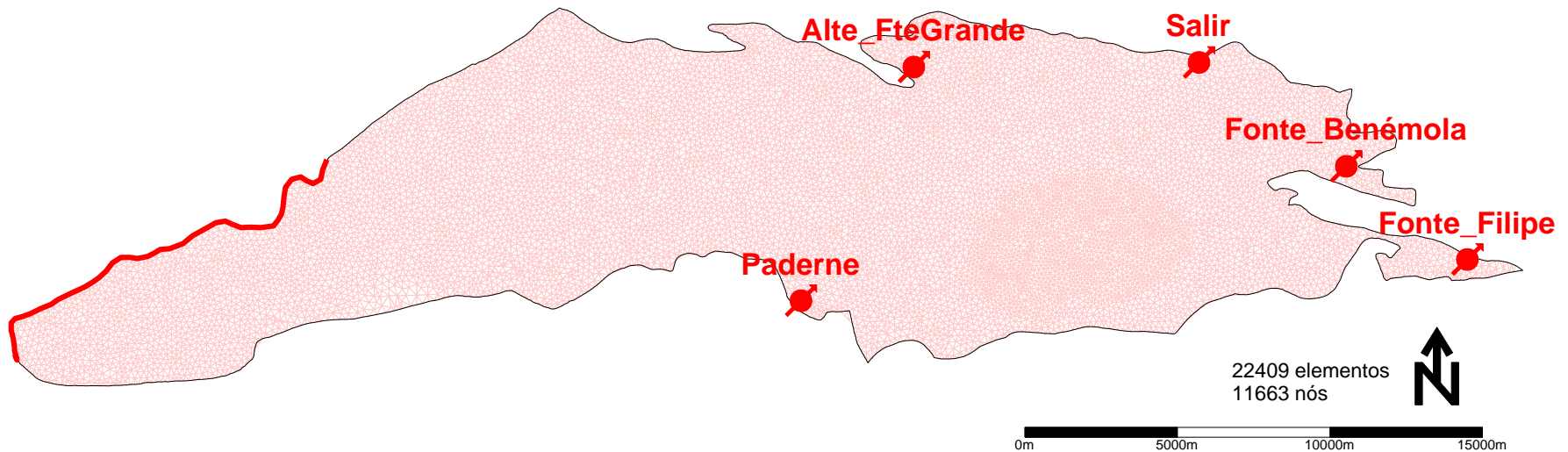
Etapas de aplicação dos modelos:

- Teste de modelos conceptuais
- Calibração
- Validação
- Previsão
- Investigação (todas as anteriores e... Mais algumas)

MODELO REGIONAL DE SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO Padrão regional de escoamento subterrâneo no Algarve Central



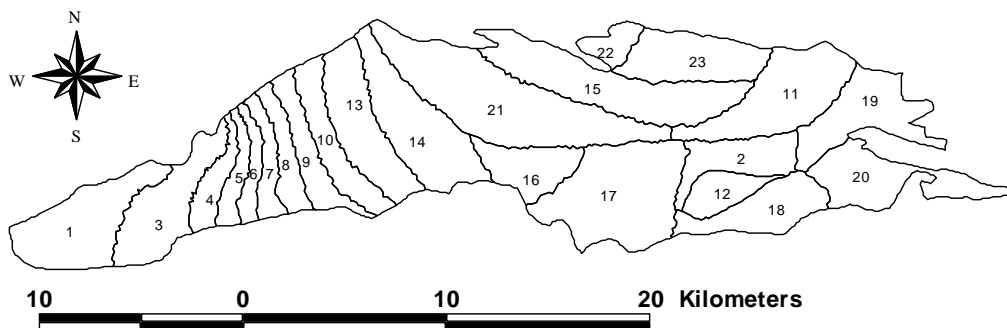
SIMULAÇÃO REGIONAL DE ESCOAMENTO – Calibração inversa do modelo implementado para o aquífero Querença-Silves.



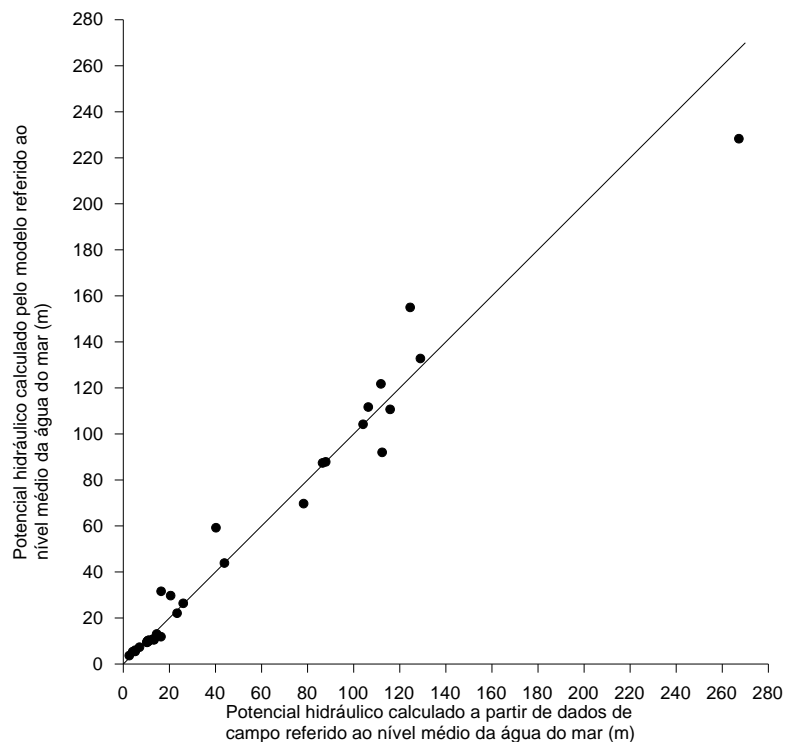
Modelo directo FEN - elementos finitos, método de Galerkin.

Modelo inverso PEST - Gauss-Marquardt-Levenberg.

MODELO REGIONAL DE SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO – Calibração Inversa

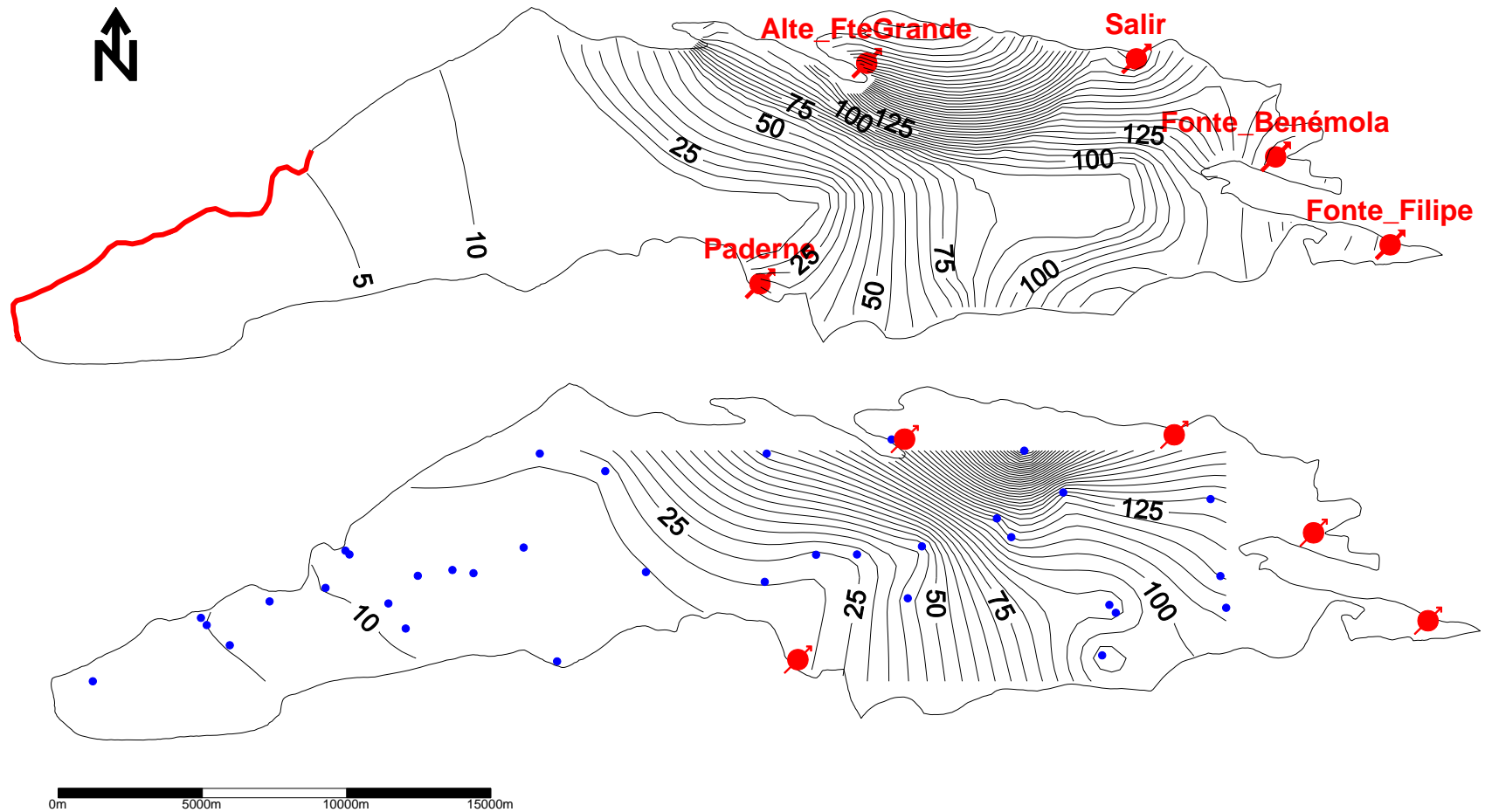


Zona	T [m2/s]
t1	4.00E+00
t2	1.58E+00
t3	4.00E+00
t4	3.11E+00
t5	2.73E+00
t6	2.00E+00
t7	1.50E+00
t8	2.64E-01
t9	1.55E+00
t10	1.53E+00
t11	2.33E-03
t12	2.21E-03
t13	3.08E+00
t14	4.00E+00
t15	5.00E-04
t16	4.00E+00
t17	4.04E-02
t18	7.69E-04
t19	3.63E-02
t20	1.92E-02
t21	2.43E-03
t22	5.00E-04
t23	5.00E-04



Pt. Obs.	Medido	Modelo	Erro	Erro
137	267.19	228.29	38.90	38.90
527	124.50	154.99	-30.49	30.49
868	111.81	121.75	-9.94	9.94
1101	112.34	92.00	20.34	20.34
2127	40.21	59.24	-19.03	19.03
2710	128.94	132.79	-3.85	3.85
3059	86.47	87.40	-0.93	0.93
3372	87.85	87.86	-0.01	0.01
3619	43.87	43.89	-0.02	0.02
3677	26.00	26.39	-0.39	0.39
4416	115.81	110.67	5.14	5.14
4599	104.06	104.19	-0.13	0.13
4788	23.33	22.09	1.24	1.24
5065	78.25	69.71	8.54	8.54
5276	106.31	111.69	-5.38	5.38
6425	20.53	29.73	-9.20	9.20
7767	14.49	13.06	1.43	1.43
7905	16.40	31.61	-15.21	15.21
8596	16.33	11.88	4.45	4.45
8928	13.35	10.54	2.81	2.81
9034	13.10	10.65	2.45	2.45
9418	12.97	10.88	2.09	2.09
9572	11.25	10.38	0.87	0.87
9823	10.75	10.13	0.62	0.62
10001	11.00	9.98	1.02	1.02
10050	10.70	10.23	0.47	0.47
10195	10.32	9.71	0.61	0.61
10211	10.31	9.56	0.75	0.75
10364	10.29	9.42	0.87	0.87
10618	7.02	7.33	-0.31	0.31
10875	5.20	6.03	-0.83	0.83
10965	5.15	5.48	-0.33	0.33
10984	4.10	5.40	-1.30	1.30
11551	2.57	3.68	-1.11	1.11
Media				5.62
Mínimo	2.57	3.68		0.01
Máximo	267.19	228.29		38.89

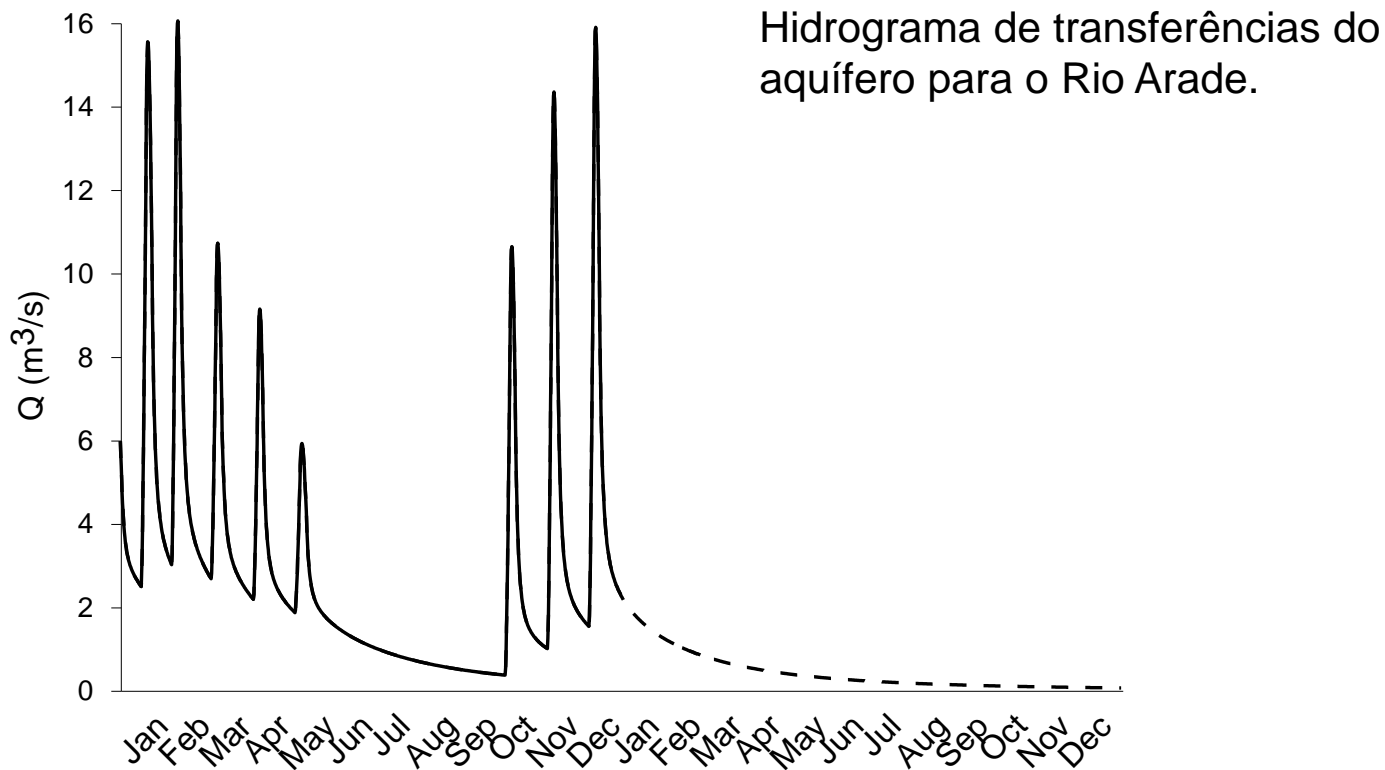
MODELO REGIONAL DE SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO – Calibração Inversa



Comparação das superfícies equipotenciais calculadas usando o modelo, a partir dos 11663 nós dos elementos finitos (acima) e calculadas a partir dos 34 pontos de controlo da rede piezométrica, marcados a azul, utilizados para calibrar o modelo (em baixo).

MODELO REGIONAL DE SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO – Simulações Transitórias “Esvaziamento” do sistema aquífero em regime natural (sem quaisquer extracções)

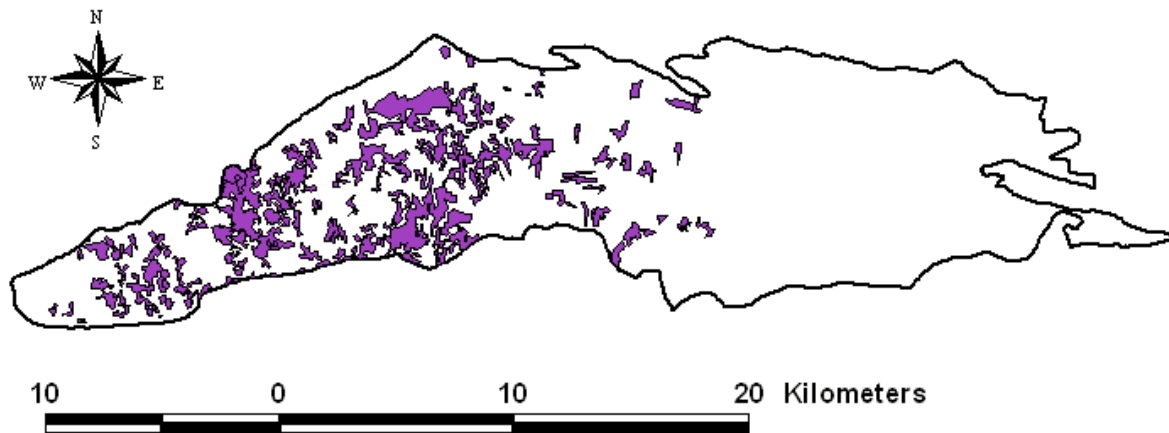
Taxa total de recarga - 37.6% da precipitação anual média



Hidrograma de transferências do aquífero para o Rio Arade. Após um ano hidrológico médio são necessários 4 anos sem recarga para que as transferências tendam a deixar de se verificar.

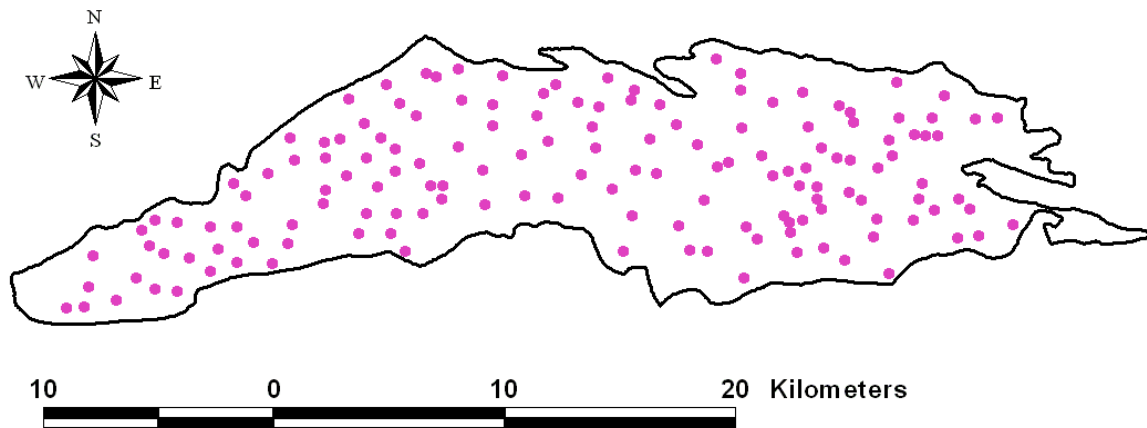
MODELO REGIONAL DE SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO – Simulações Transitórias “Esvaziamento” do sistema aquífero sujeito a extracções para rega ($23.79 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$)

Taxa total de recarga - 37.6% da precipitação anual média



Duas Variantes:

Recarga negativa nas áreas regadas.



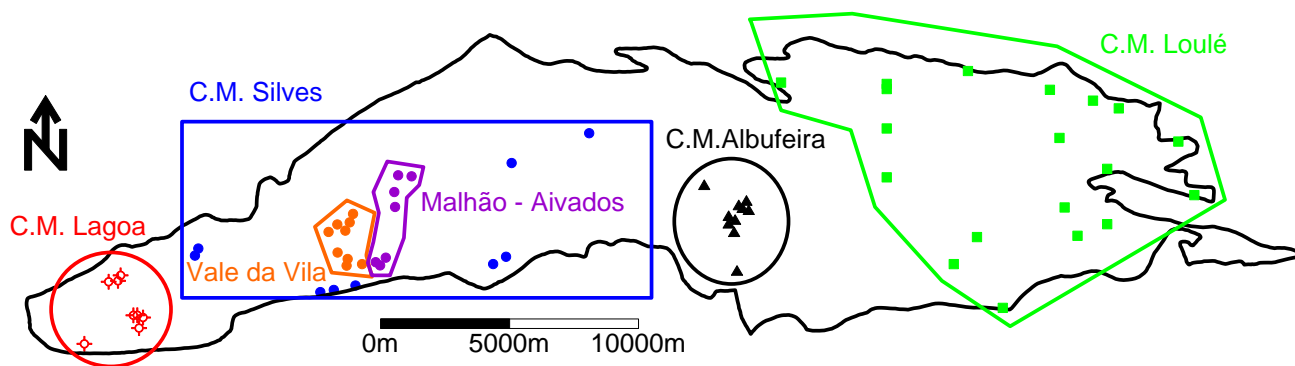
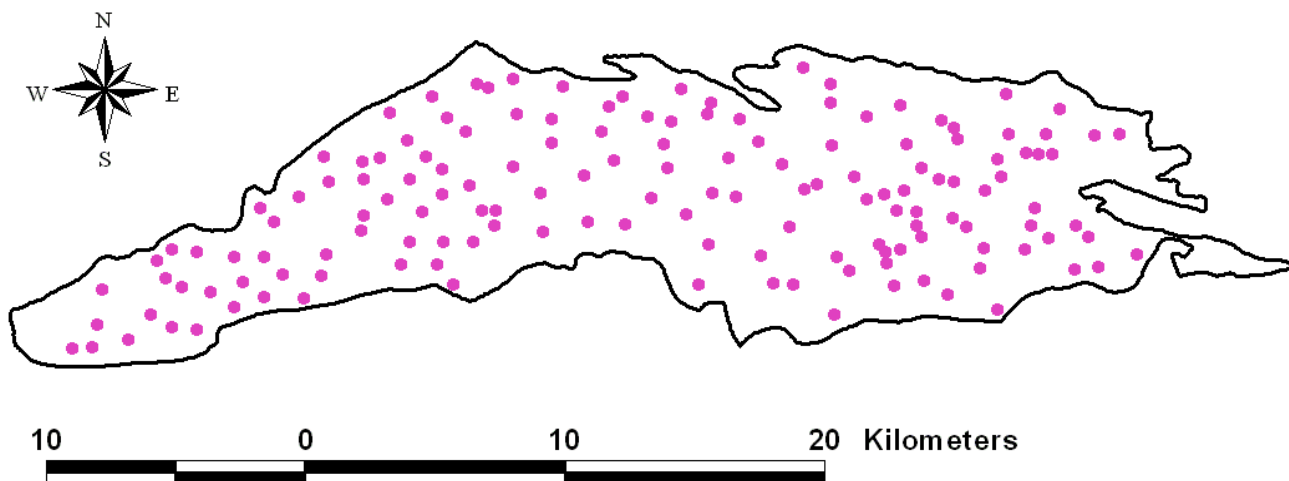
151 captações em funcionamento no aquífero no período de rega.

Na prática os resultados foram muito semelhantes.

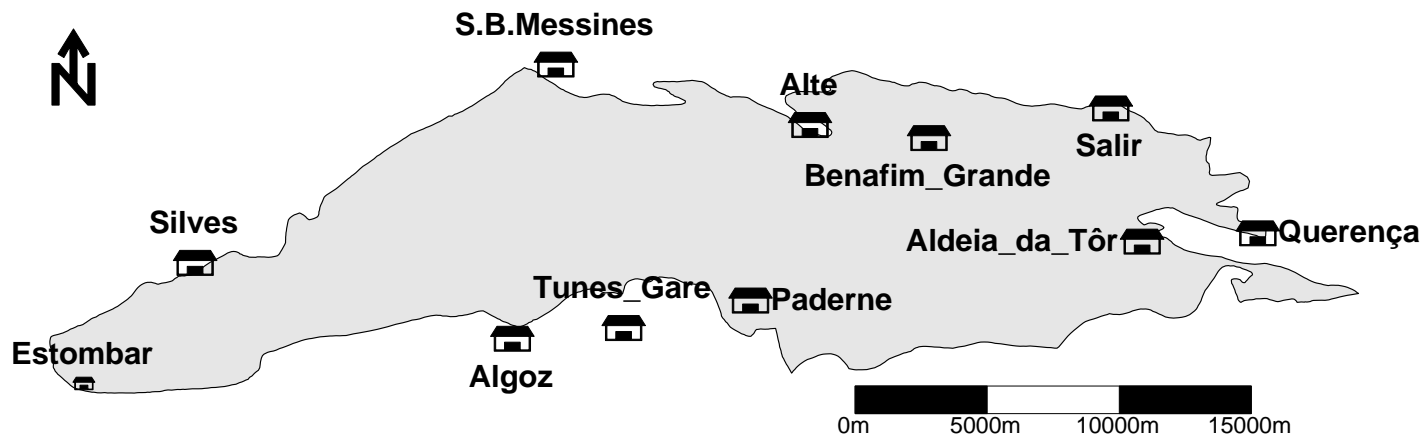
MODELO REGIONAL DE SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO – Simulações Transitórias

“Esvaziamento” do sistema aquífero sujeito a extracções para rega ($23.79 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$) e abastecimento público ($14.3 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ em Vale da Vila). Total= $38.04 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$

Taxa total de recarga - 37.6% da precipitação anual média

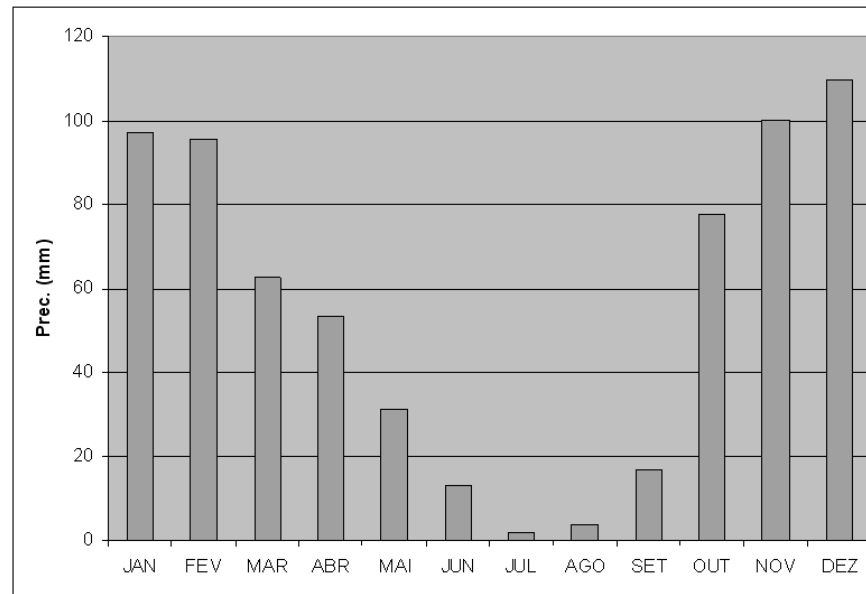
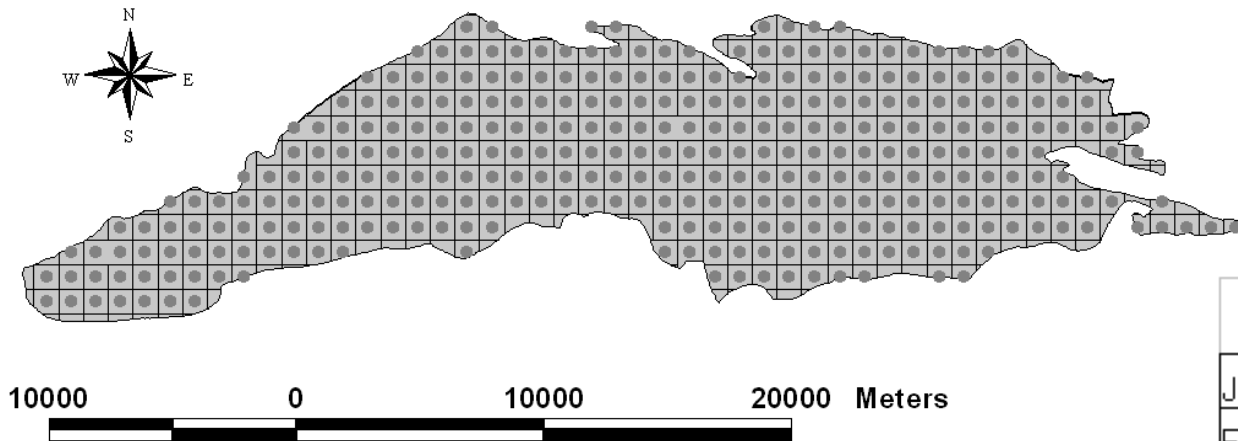


IMPACTO DA EXPLORAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO SECTOR OCIDENTAL DO SISTEMA AQUÍFERO DE QUERENÇA-SILVES



Precipitação – resolução (1 km²)

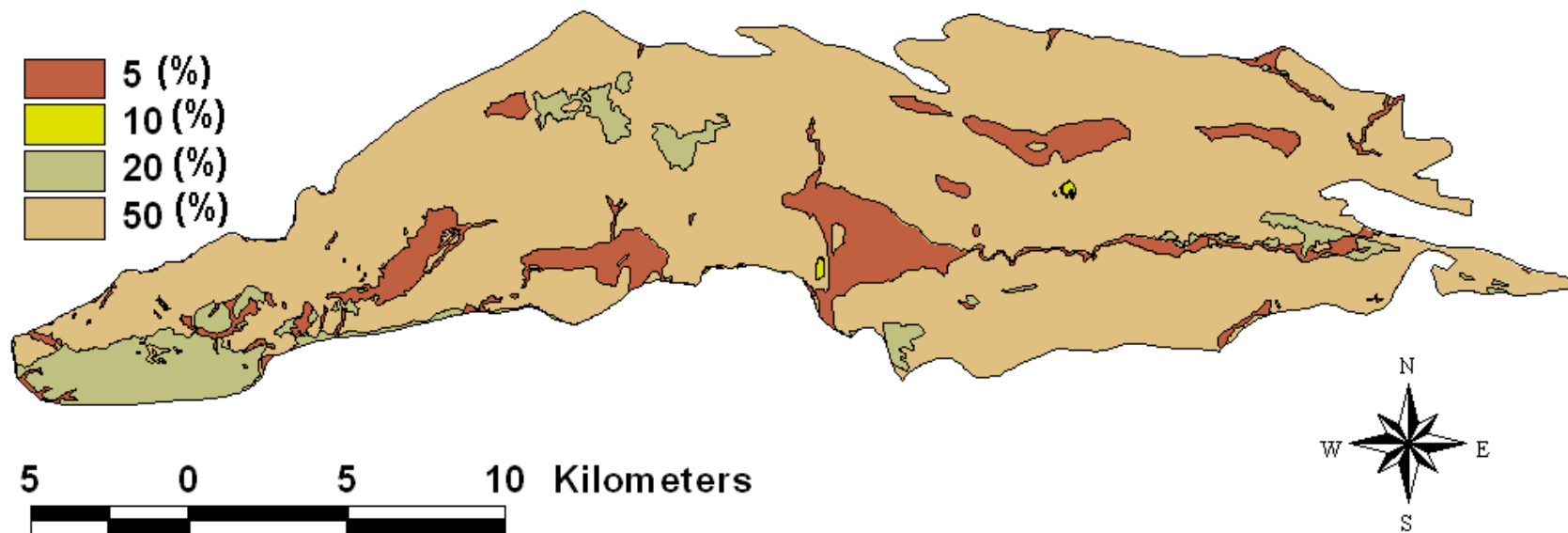
Precipitação média anual para a série de 1959/60-1990/91 na área do sistema aquífero Querença-Silves.



	Prec. (mm)
JAN	97
FEV	95
MAR	63
ABR	53
MAI	31
JUN	13
JUL	2
AGO	4
SET	17
OUT	78
NOV	100
DEZ	110
Soma	663

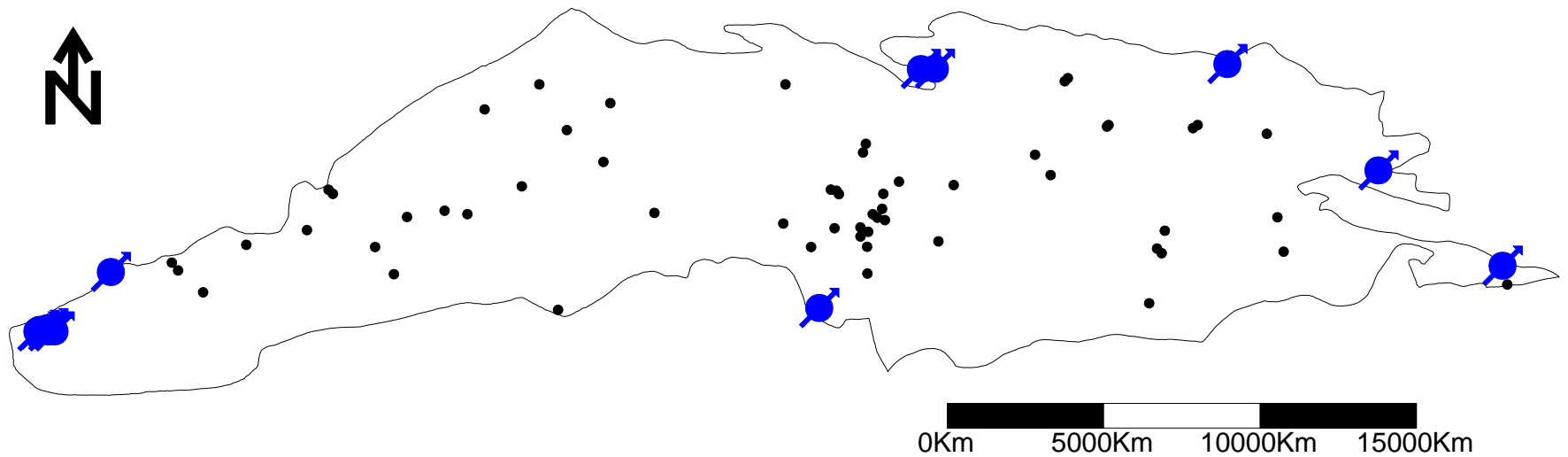
Fonte: Nicolau (2002).

RECARGA



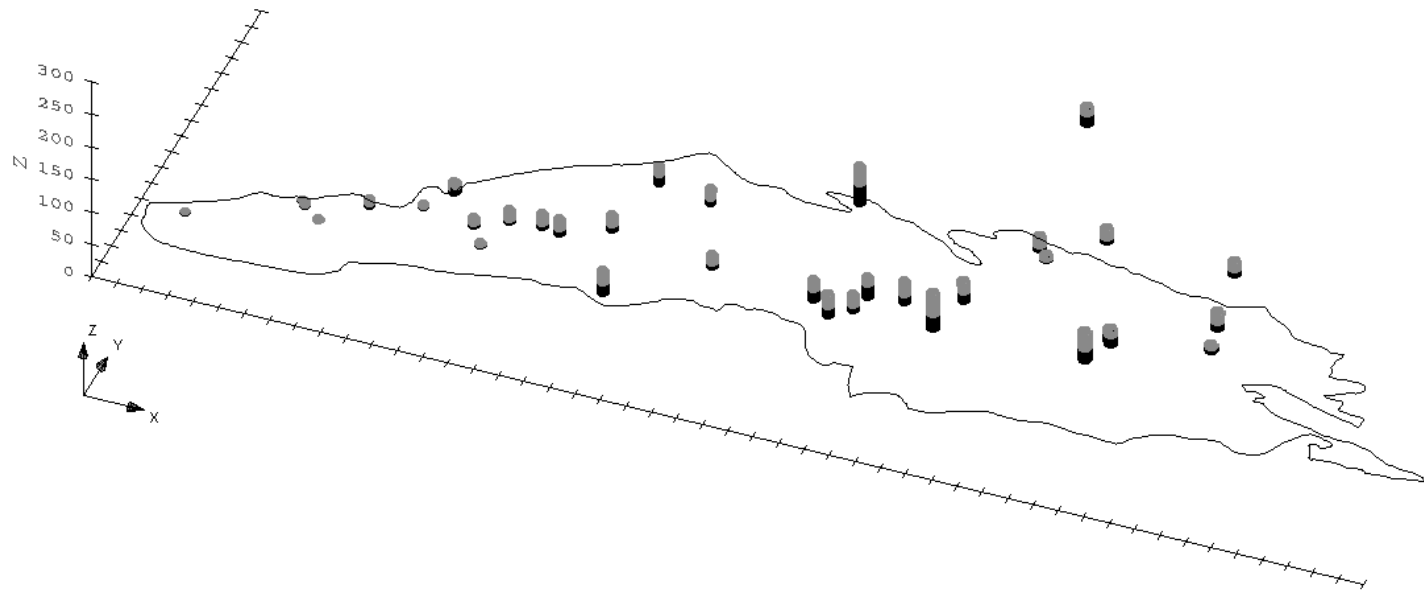
Recarga anual média $93 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ – corresponde a uma percentagem de precipitação que contribui para a recarga profunda de 43%.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E VARIABILIDADE TEMPORAL DA PIEZOMETRIA



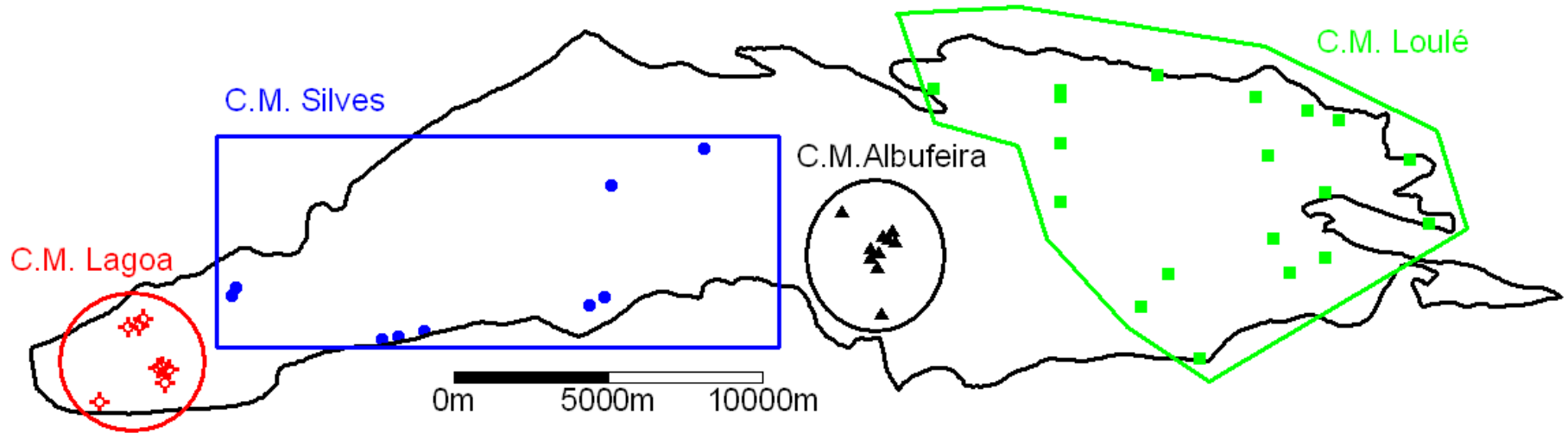
59 pontos de água com dados de piezometria

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E VARIABILIDADE TEMPORAL DA PIEZOMETRIA



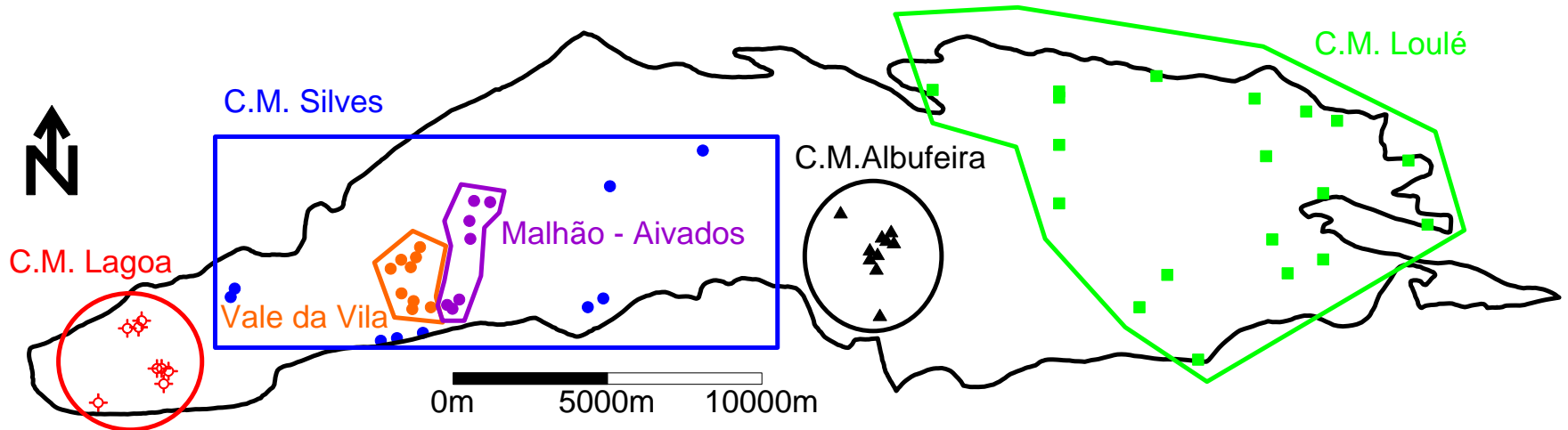
36 pontos da rede de amostragem

EVOLUÇÃO DO REGIME DE EXPLORAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO ABASTECIMENTO PÚBLICO (Passado)



Inventário de saneamento básico de 1994 (*in Almeida et. al.* 2000): em **Silves 7,3 milhões de metros cúbicos**; Lagoa, **2,2 milhões de metros cúbicos** ; Albufeira, **2,5 milhões de metros cúbicos** e Loulé, **0,25 milhões de metros cúbicos**. Antes do abandono da grande maioria destas captações (devido à entrada em funcionamento do abastecimento público a partir de barragens) - volume anual médio de extracções da ordem dos **12 milhões de metros cúbicos por ano**.

EVOLUÇÃO DO REGIME DE EXPLORAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO ABASTECIMENTO PÚBLICO (Presente)



Captações de Vale da Vila - **452 l/s** (Agosto de 2005). Transpondo este valor para todo o ano, obtém-se um volume de exploração de **$14.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$** , o que mostra que actual regime de exploração do aquífero seria muito semelhante ao que se verificava no final da década de 90 (em termos de volumes totais). A diferença está pois na concentração das extracções.

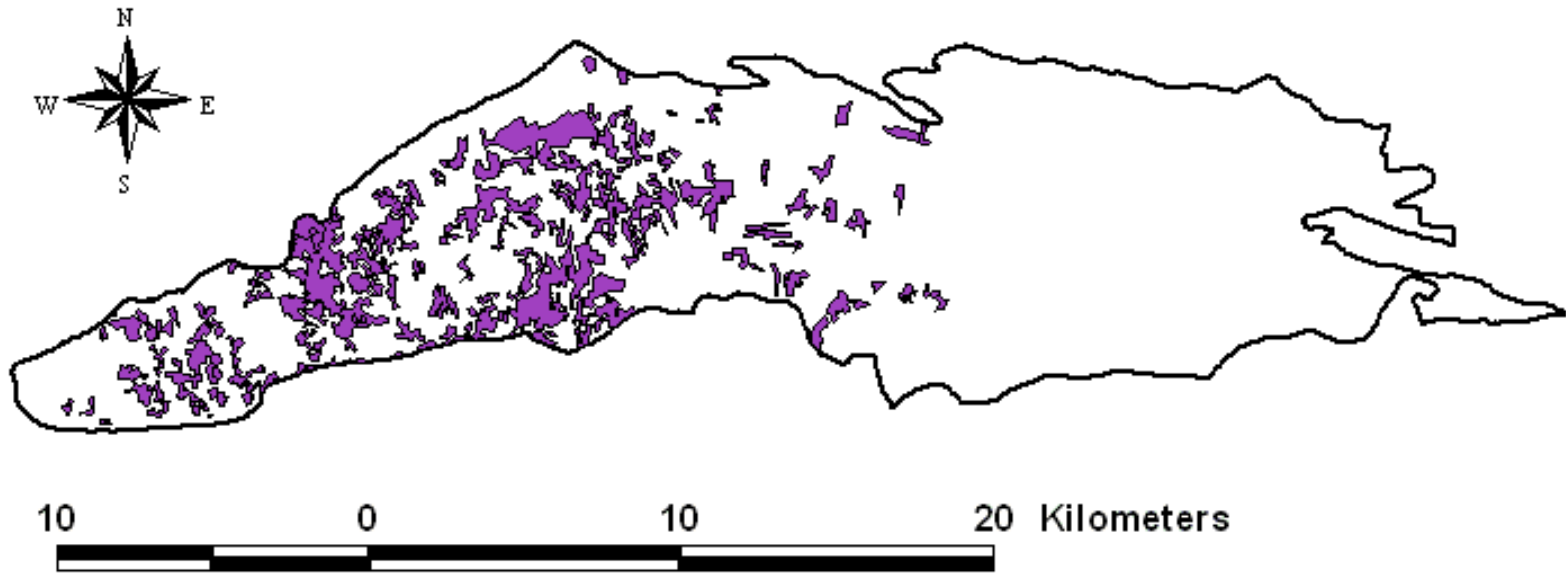
EVOLUÇÃO DO REGIME DE EXPLORAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO (Total)



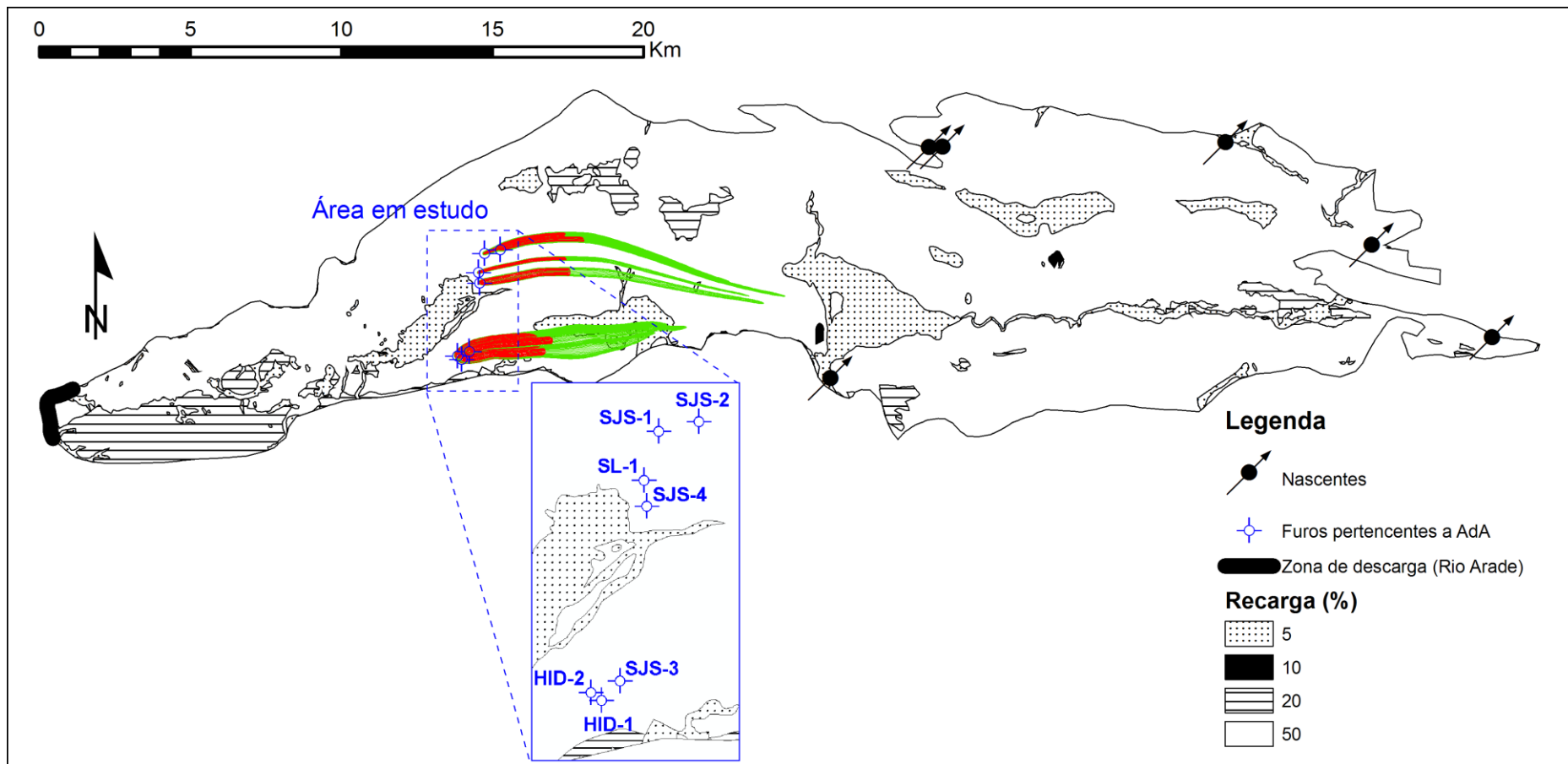
Abastecimento Público em Vale da Vila **$14.25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$** + extracções para rega **$23.79 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$** = total **$38.04 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$** .

Existe um total de **1784** pontos de água. Não existem, tanto quanto sabemos, estimativas baseadas em dados estatísticos de caudais de exploração. Também não há estimativas de consumos domésticos privados.

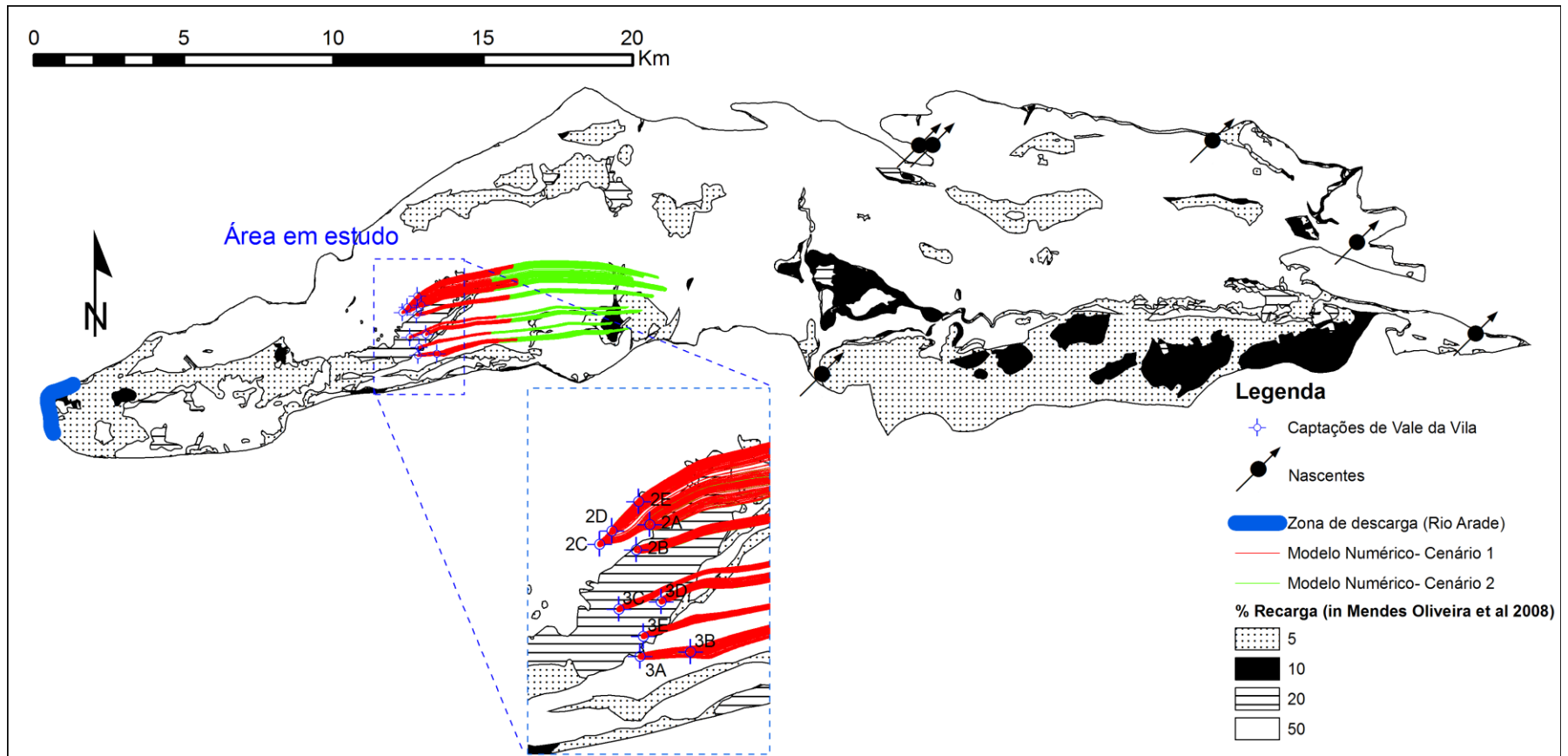
EVOLUÇÃO DO REGIME DE EXPLORAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO REGA (?)



Cobertura de áreas regadas no Algarve, cuja sobreposição com o sistema aquífero de Querença-Silves totaliza uma área de **39.66 km²**. Neste caso, considerando ainda uma dotação de rega de **600 mm**, obtém-se um consumo para esta actividade de **23.79×10⁶m³/ano**.



Configuração das zonas de captura das captações em estudo. A vermelho representa-se o cenário correspondente a uma porosidade (n) 10% e espessura saturada do aquífero (b) 400m. A verde, o cenário correspondente a uma porosidade (n) 5% e espessura saturada do aquífero (b) 300m. As zonas de captura estão representadas dobre o mapa de classes de recarga propostas por Monteiro et al. (2006) para o sistema aquífero de Querença-Silves.



Configuração das zonas de captura das captações em estudo. A vermelho representa-se o cenário correspondente a uma porosidade (n) 10% e espessura saturada do aquífero (b) 400m. A verde, o cenário correspondente a uma porosidade (n) 5% e espessura saturada do aquífero (b) 300m. As zonas de captura estão representadas sobre o mapa de classes de recarga propostas por Monteiro et al. (2006) para o sistema aquífero de Querença-Silves.

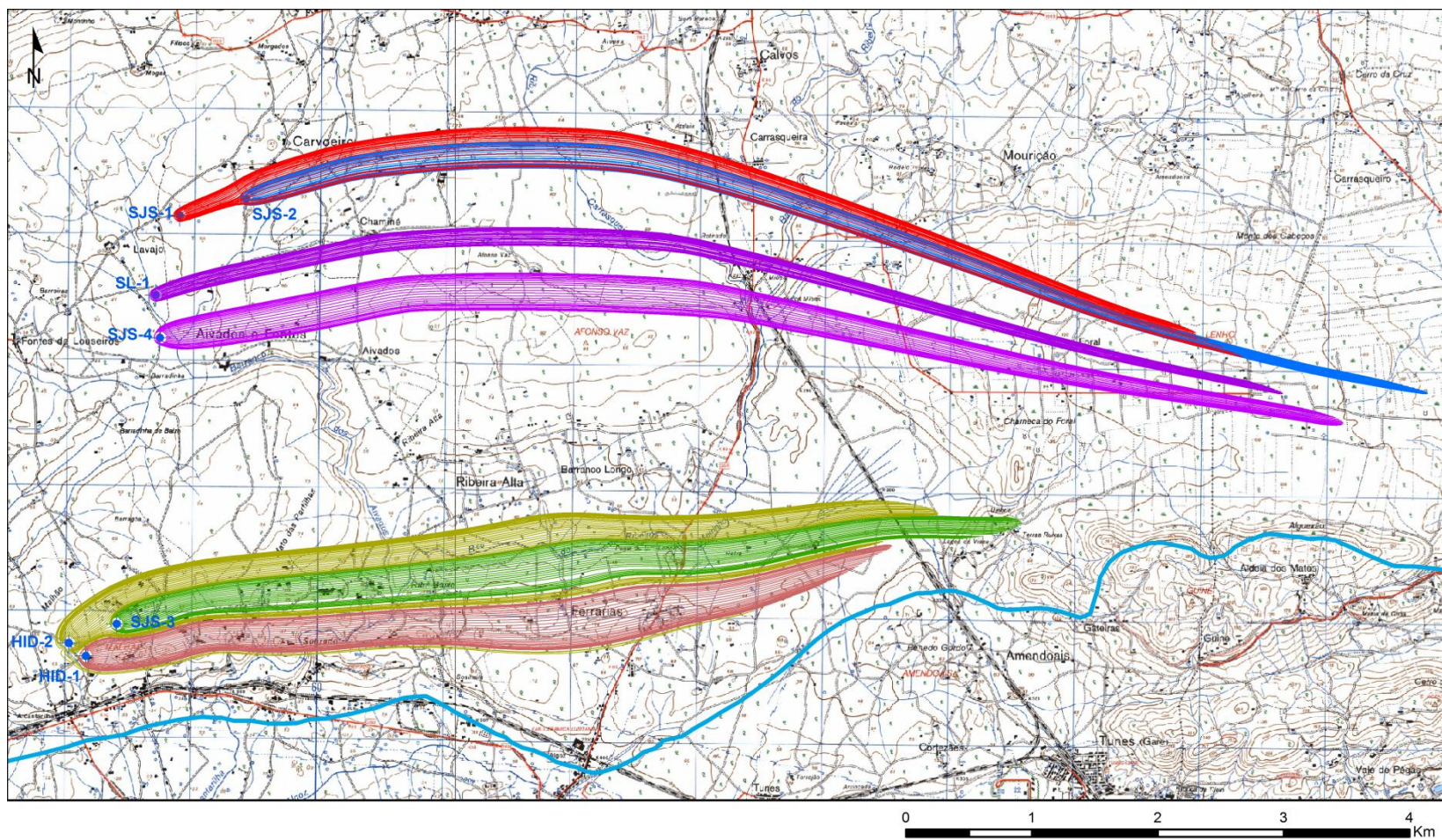


Fig. 25 – Configuração das zonas de captura das captações em estudo, para um tempo de trânsito de 10 anos, porosidade (n) 5% e espessura saturada do aquífero (b) 300m. As zonas de captura estão representadas dobre o mapa do IgeoE de escala 1:25 000 n° 595 e 596.

HYDROLOGICAL PROCESSES

Hydrol. Process. (2011)

Published online in Wiley Online Library

(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/hyp.8353

Influence of aquifer properties and the spatial and temporal distribution of recharge and abstraction on sustainable yields in semi-arid regions

Rui Hugman,^{1,2*} Tibor Y. Stigter,^{1,2} José Paulo Monteiro² and Luís Nunes²

¹ *Geo-Systems Centre/CVRM, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal*

² *Geo-Systems Centre/CVRM, Universidade do Algarve, Faro, Portugal*

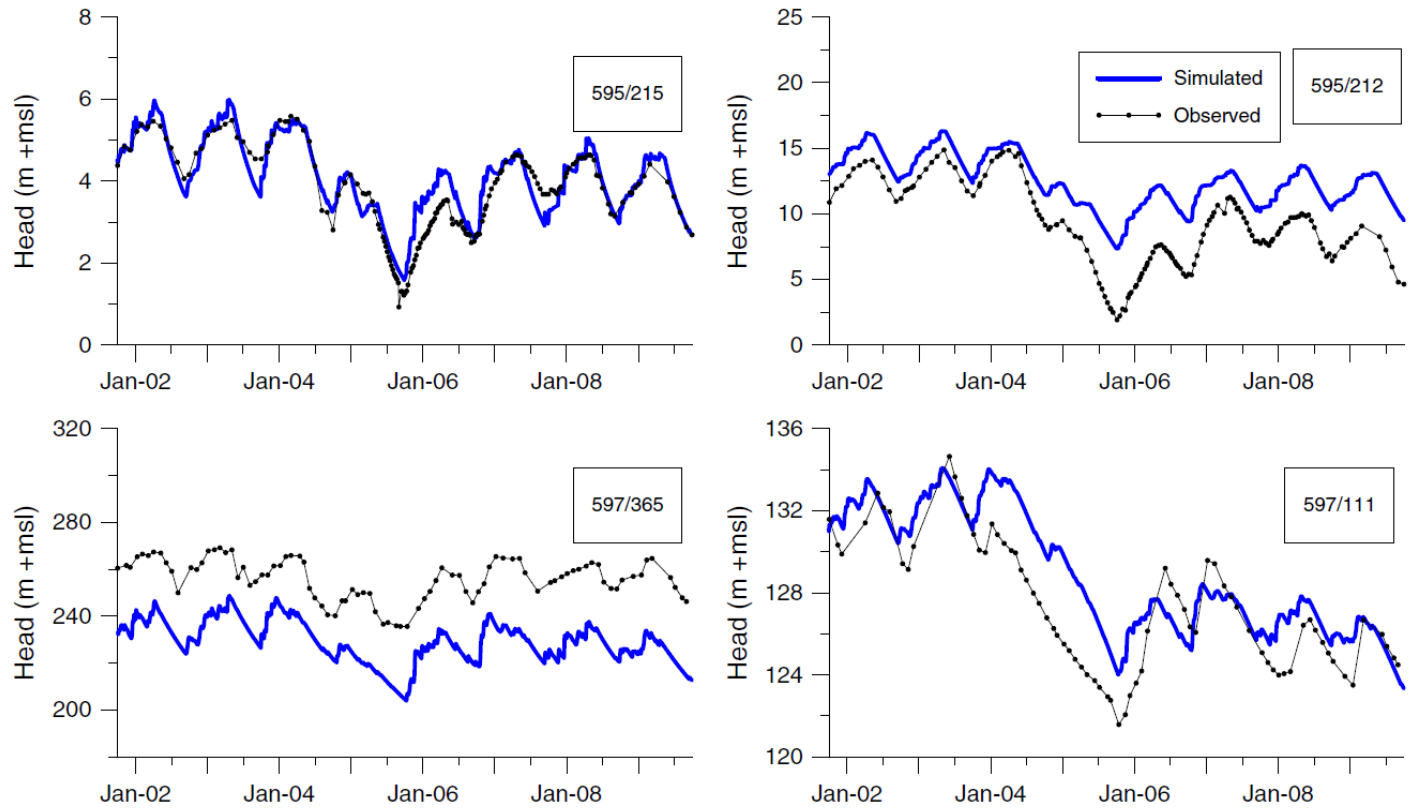


Figure 3. Observed and simulated hydraulic head at several observation wells used to calibrate and validate the Querença–Silves numerical flow model

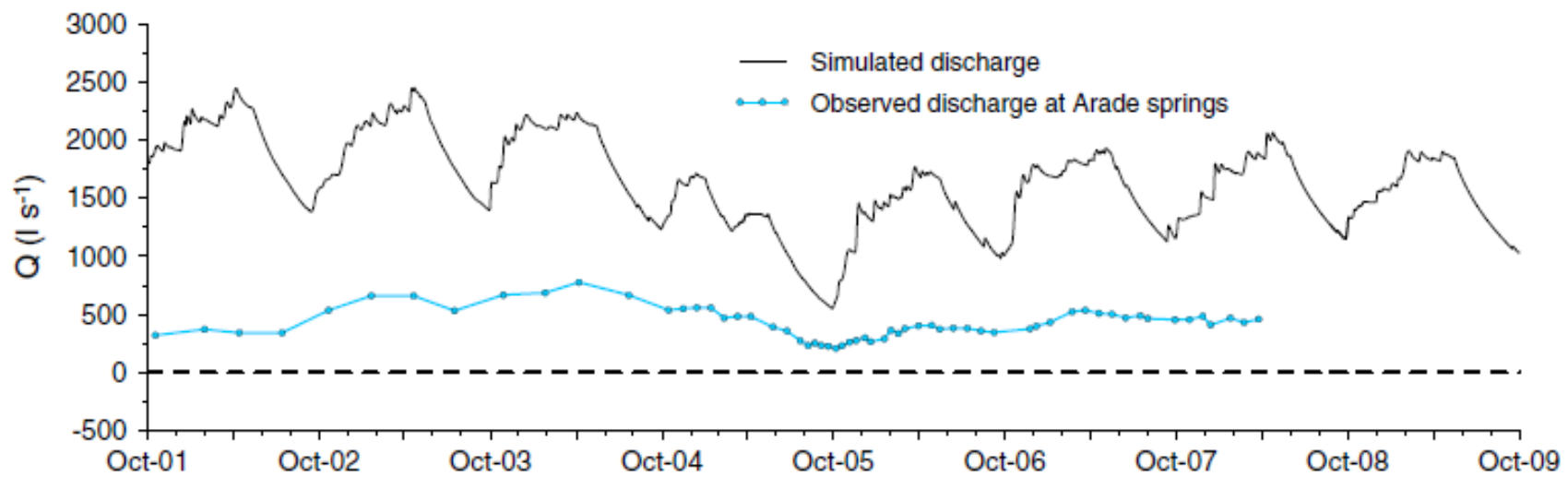


Figure 4. Observed and simulated discharge for the period between October 2001 and October 2009

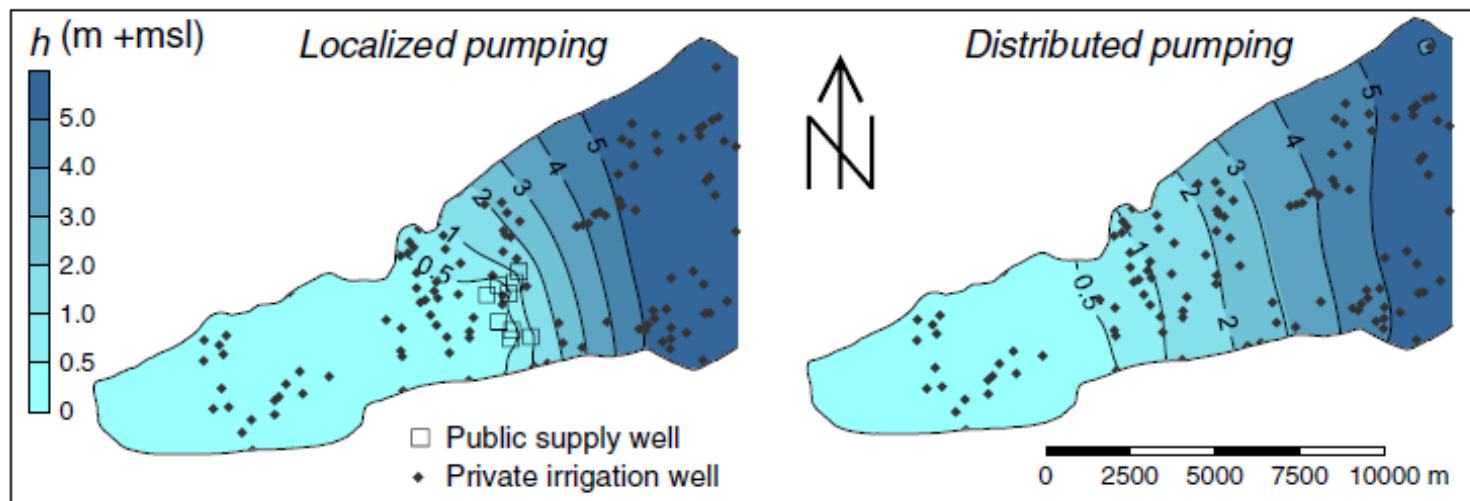


Figure 11. Comparison of the effect of the spatial distribution of abstraction for public supply on the distribution of h in the discharge sector of the Querença-Silves aquifer

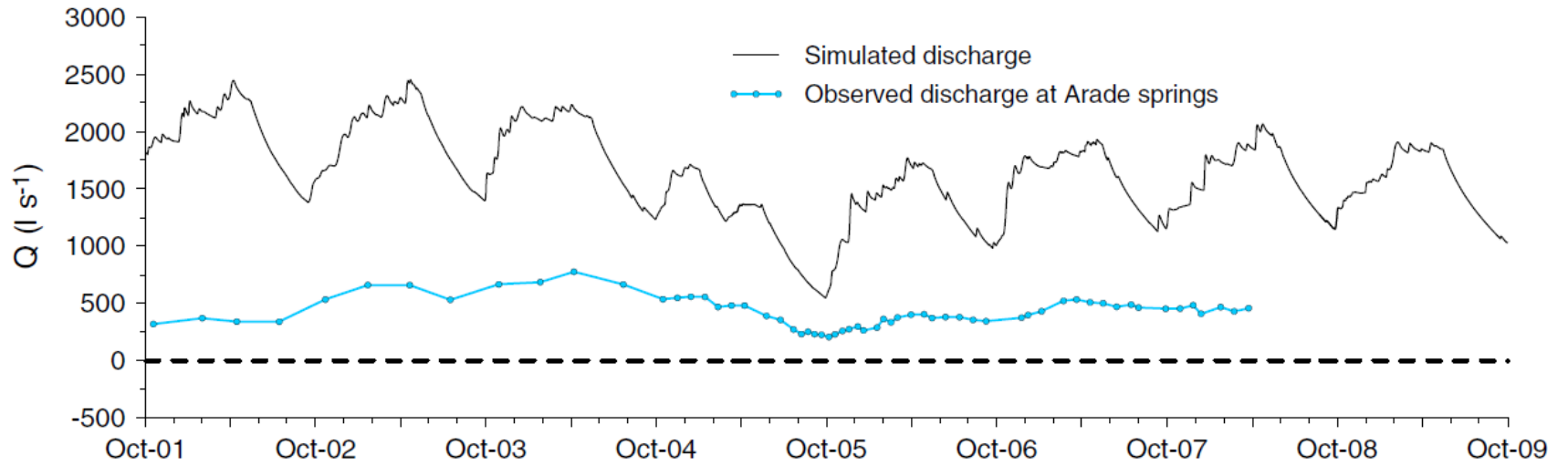
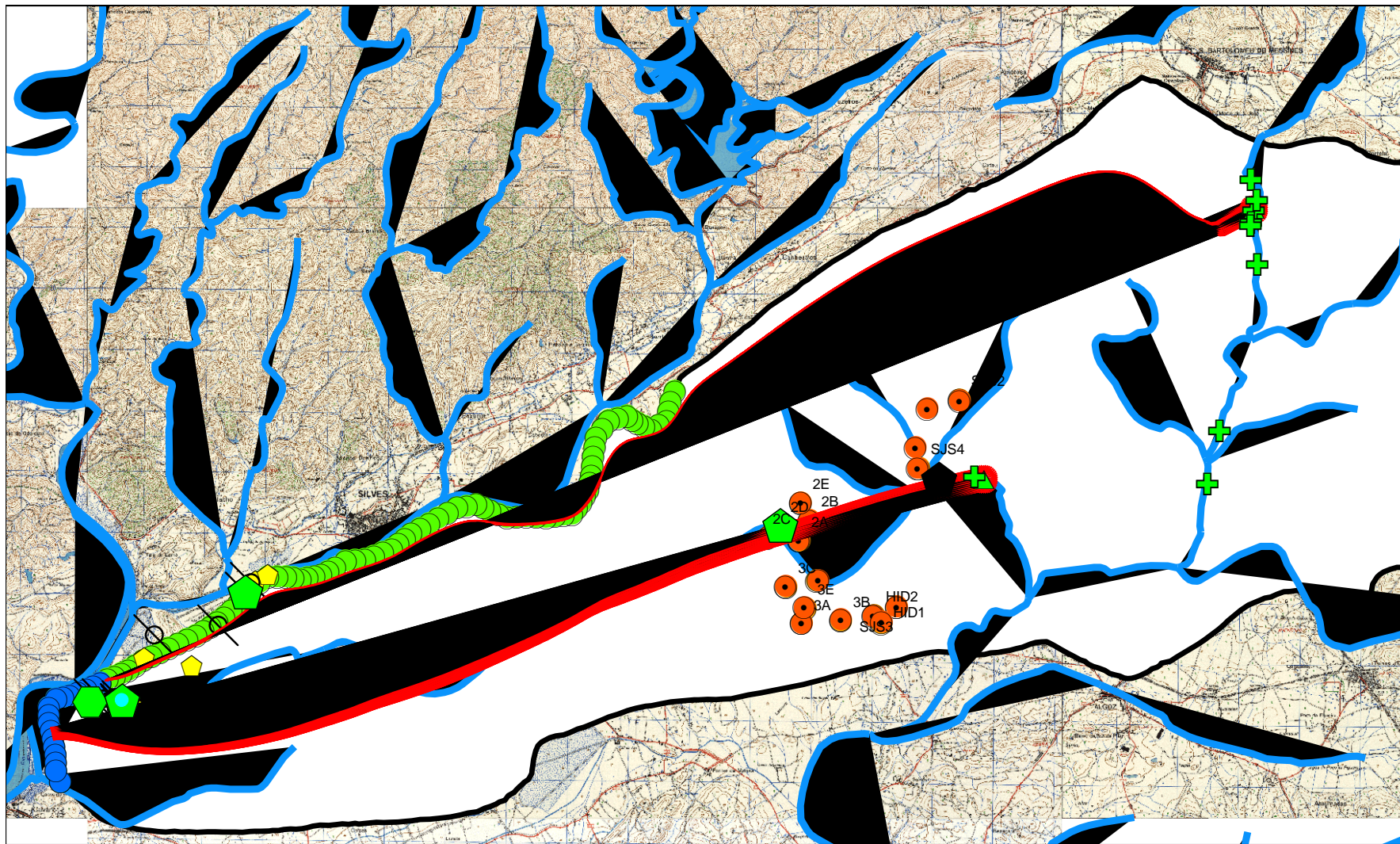
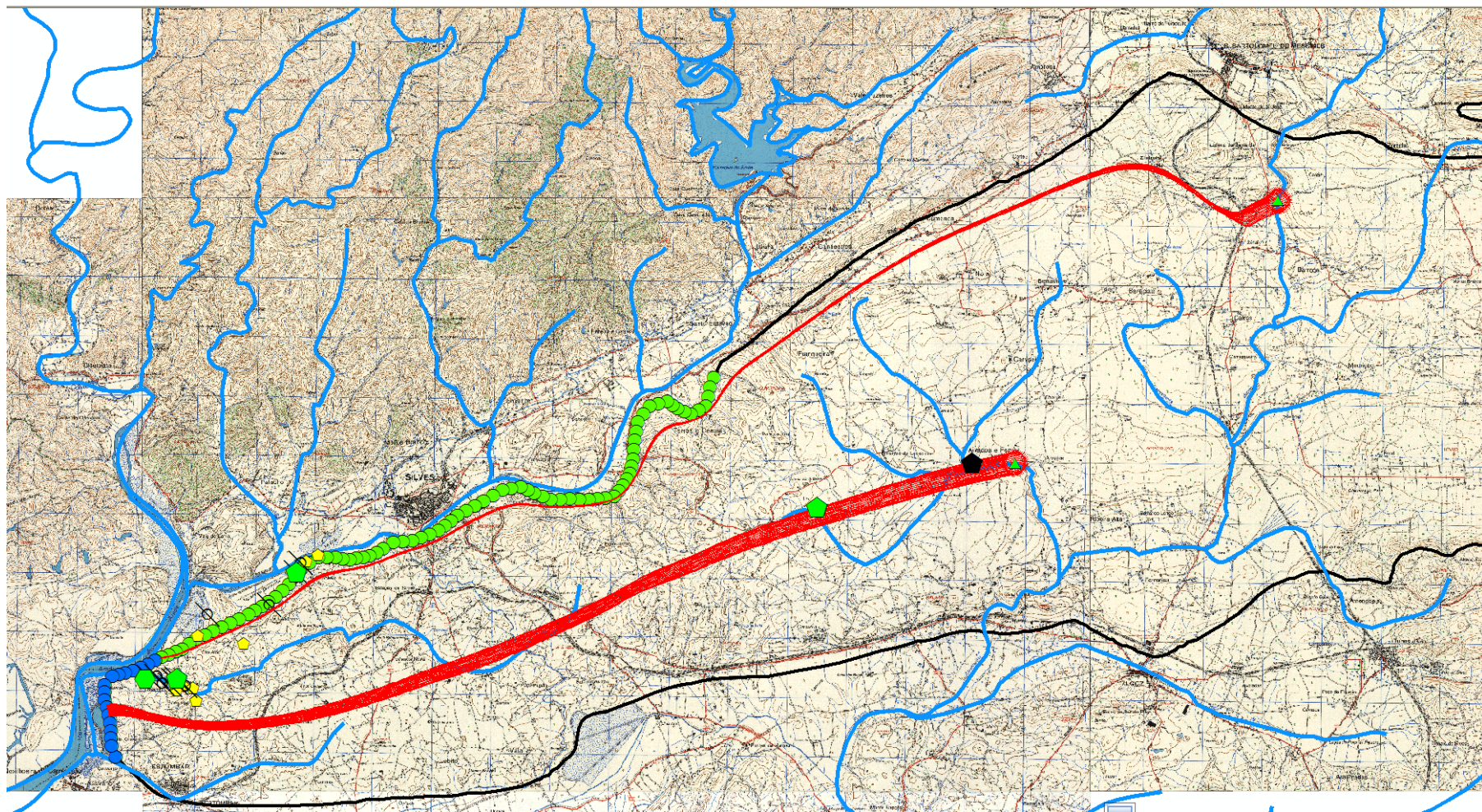


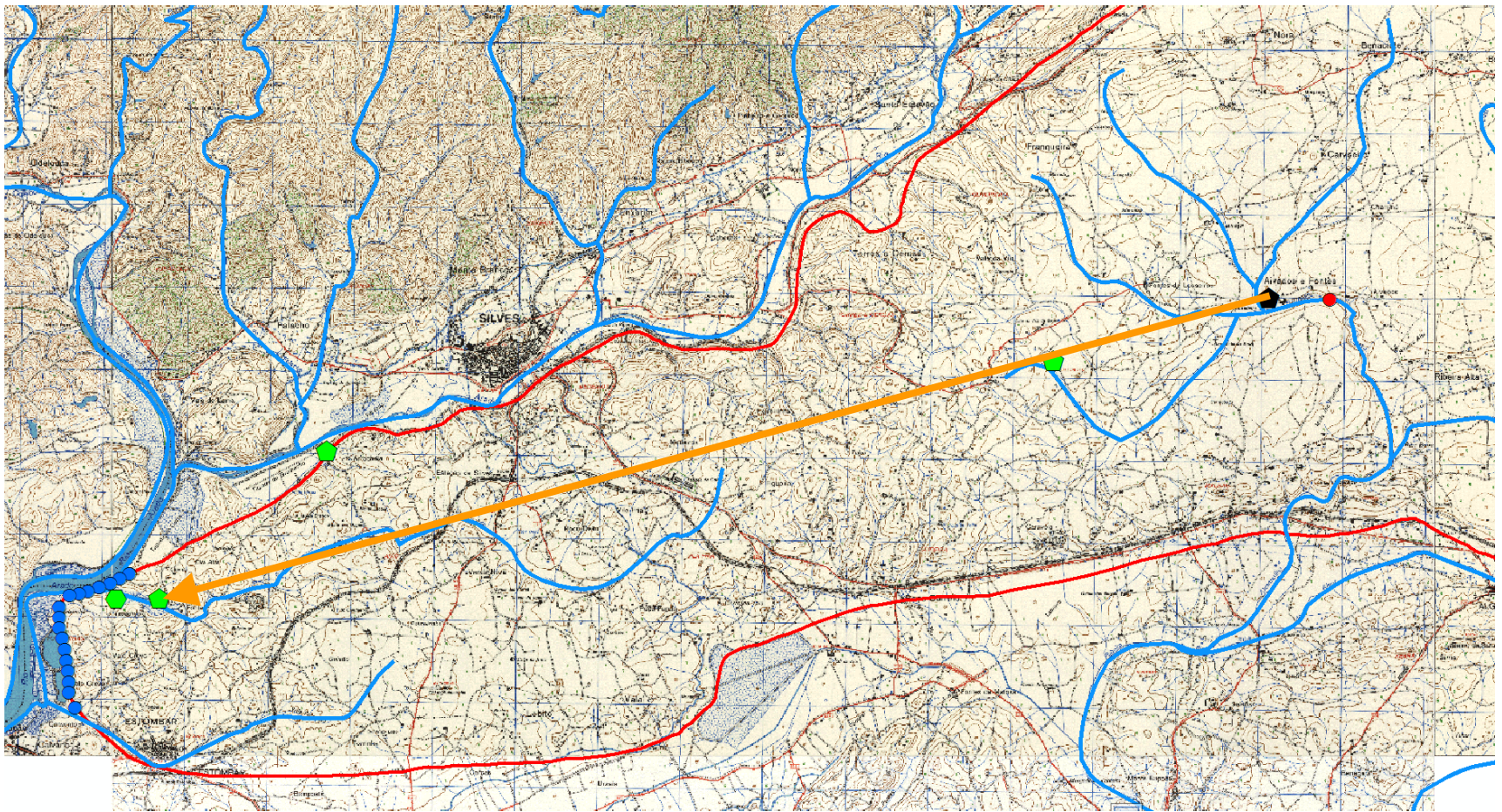
Figure 4. Observed and simulated discharge for the period between October 2001 and October 2009

Elementos de relevo para análise no trabalho de campo realizado na segunda metade de 2012



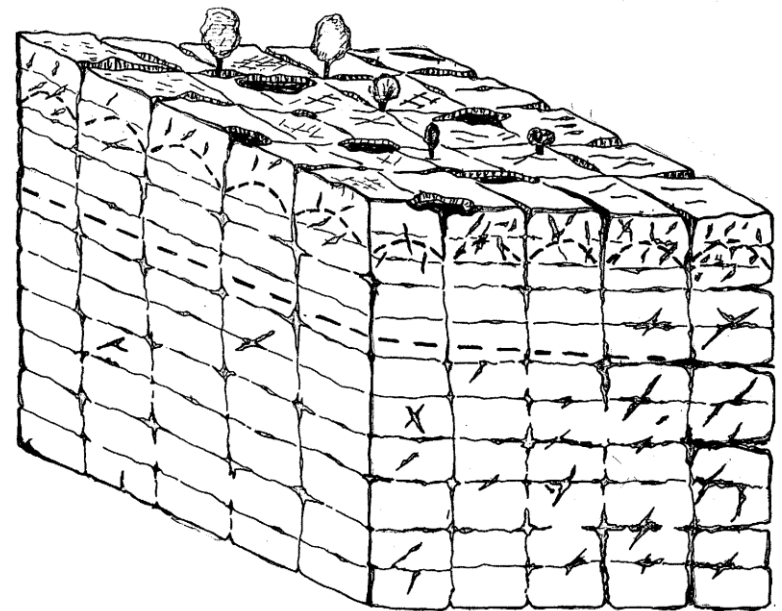
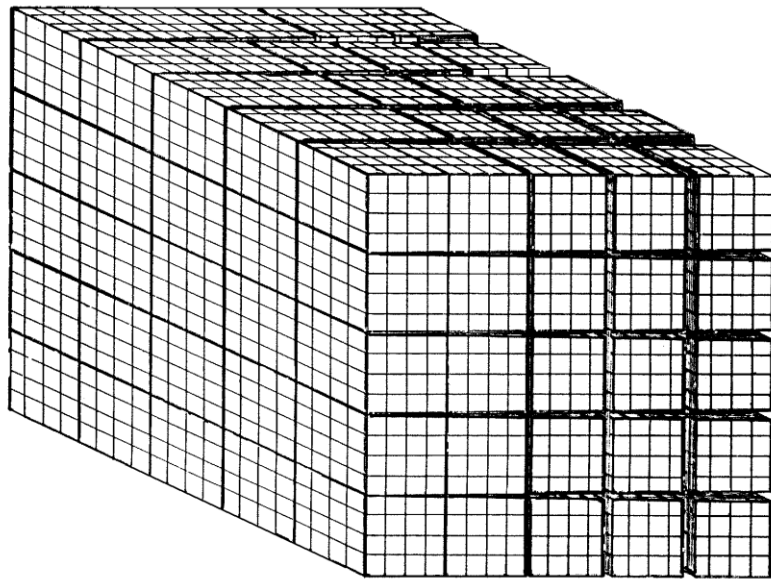


Simulação da propagação de partículas a partir dos possíveis pontos de injeção utilizando o modelo numérico em elementos finitos do sistema aquífero Querença-Silves



**Restituição do bacteriófago H40/1 na nascente 595/271. o traçador foi detectado apenas na nascente 595/271, correspondente à de maior caudal;
detecção ao fim de 11,03 dias;
velocidade de fluxo calculada em cerca de 1,26 km/dia – 53m/h (numa distância de 14.1km);
a influência da maré é notória pela variação dos resultados, existindo apenas restituição durante as fases de baixa-mar**

Modelos conceptuais clássicos dos aquíferos cárlicos.



The existence of different degrees of connectivity of conduits with discharge areas in different aquifer sectors is not incompatible with spatial continuity of dissolution channels developed at aquifer scale. Factors as changes in shape and diameter or filling of conduits induce important losses in hydraulic head and justify the deficient hydraulic connectivity defined between different branches of the “artificial conduit network”.



Once the changes in groundwater levels and flow can be linked and quantified to their social and environmental impacts, numerical models become invaluable tools in determining the sustainable yields and in the process of optimizing proposed development scenarios.

Obrigado



Núria Salvador
nmsalvador@ualg.pt

**José Paulo
Monteiro**
jpmonte@ualg.pt