

# **Desenvolvimento de métodos específicos para a avaliação da Recarga das Massas de Água Subterrânea, para melhorar a avaliação do estado quantitativo**

**(CPV 73000000-2)**

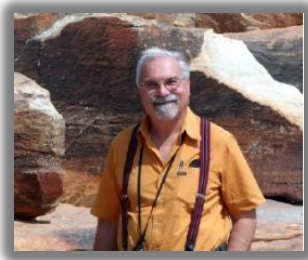
**Colaboração técnico-científica:**

# Cronograma

- Com a APA (2015-2017):
- reuniões presenciais e skype: >25
  - comunicações por e-mail, telefonema, correio: > 167

Tarefas: Novembro 2015 a Julho 2017		1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre	5º trimestre	6º Trimestre	7º Trimestre	8º Trimestre	Versão FINAL (003-VF)
Desenvolvimento de métodos específicos para a avaliação da recarga das massas de água subterrâneas, para melhorar a avaliação do estado quantitativo										
1ª fase	Tarefa I - Estado da Arte: recolha e compilação da informação bibliográfica e cartográfica existente sobre a avaliação da recarga das massas de águas subterrâneas nos diferentes meios hidrogeológicos (poroso, cárstico e fraturado)	*								
	Tarefa II - Estado da Arte: recolha de informação bibliográfica, cartográfica e de bases de dados sobre as massas de água subterrânea (validadas pela APA), incluindo os valores de recarga existentes e as bases metodológicas de cálculo, bem como far-se-á uma caracterização geológica, geomorfológica, hidrogeológica, hidroclimatológica, hidropedológica e dos sistemas aquíferos associados às massas de água	*								
	Tarefa III - Descrição circunstanciada da metodologia a aplicar em cada meio hidrogeológico em que se estabelecerá de uma forma equilibrada, entre outros aspectos, a definição, as vantagens e os limites de cada método descrito	*								
	Tarefa IV - Definição preliminar das zonas piloto a considerar para os estudos de pormenor na 2ª fase	*								
2ª fase	Relatório de Progresso I (RP-I)	*								
	Tarefa V - Descrição dos trabalhos desenvolvidos no âmbito das zonas piloto definidas com indicação da monitorização efetuada, demais investigações e respetivos resultados. Nesta fase serão identificadas claramente as zonas piloto e suas características geológicas, hidrogeomorfológicas, hidrogeológicas, hidroclimatológicas e existência de pontos de observação para monitorização (se possível, mensal dos dados climáticos, piezométricos, extrações e/ou descargas nas zonas piloto)		*	*	*					
	Tarefa VI - Definição da primeira estimativa da recarga em cada massa de água subterrânea				*	*	*			
3ª fase	Relatório de Progresso II (RP-II)				*					
	Tarefa VII - Elaboração um documento integrador e exaustivo (em que integrará todas as recomendações e críticas emitidas por parte da APA, após a apreciação do RP-I e RP-II) em que se evidenciarão: descrição das tarefas realizadas e das metodologias adotadas; ii) avaliação dos valores da recarga e sua variação espacial em cada massa de água subterrânea; iii) Discussão dos resultados obtidos; iv) principais conclusões e recomendações						*	*	*	
	Relatório Final (RF) - versão provisória								*	
4ª fase	Relatório Final definitivo [aprovado pela APA]								*	*

# Equipa multidisciplinar



**José Martins Carvalho**  
EurGeol, Geol, PhD,DSc  
Professor Emérito ISEP  
Investigador LABCARGA e GeoBioTec/UA



**Helder I. Chaminé**  
Geol, PhD, DSc  
Professor Coordenador c/ Agregação ISEP  
Investigador LABCARGA, GeoBioTec/UA, IDL/UL



**Maria José Afonso**  
Geol, MSc, PhD  
Professora Adjunta ISEP  
Investigador LABCARGA e GeoBioTec/UA



**José Teixeira**  
Geogr, MSc, PhD  
Professor Auxiliar FLUP  
Investigador LABCARGA e CEGOT/UP



**Liliana Freitas**  
Geogr, MSc  
Bolsista Doutoramento FCTUC  
Investigadora LABCARGA e Requite

Coordenação Geral

# Abordagem



## Memória + Boletim:

448 pp. + 143 pp. (anexos) - **591 pp.**

Anexo digital - Cartografia SIG:

> 11,4 Gb

- **Sistematizar o estado da arte relativo à recarga de aquíferos;**
- **Avaliar metodologias de determinação da recarga em meios fracturados, cárscicos e porosos;**
- **Estudar zonas-piloto em Portugal Continental para definição de metodologias;**
- **Avaliar valores da recarga nas massas de água subterrânea de Portugal Continental.**

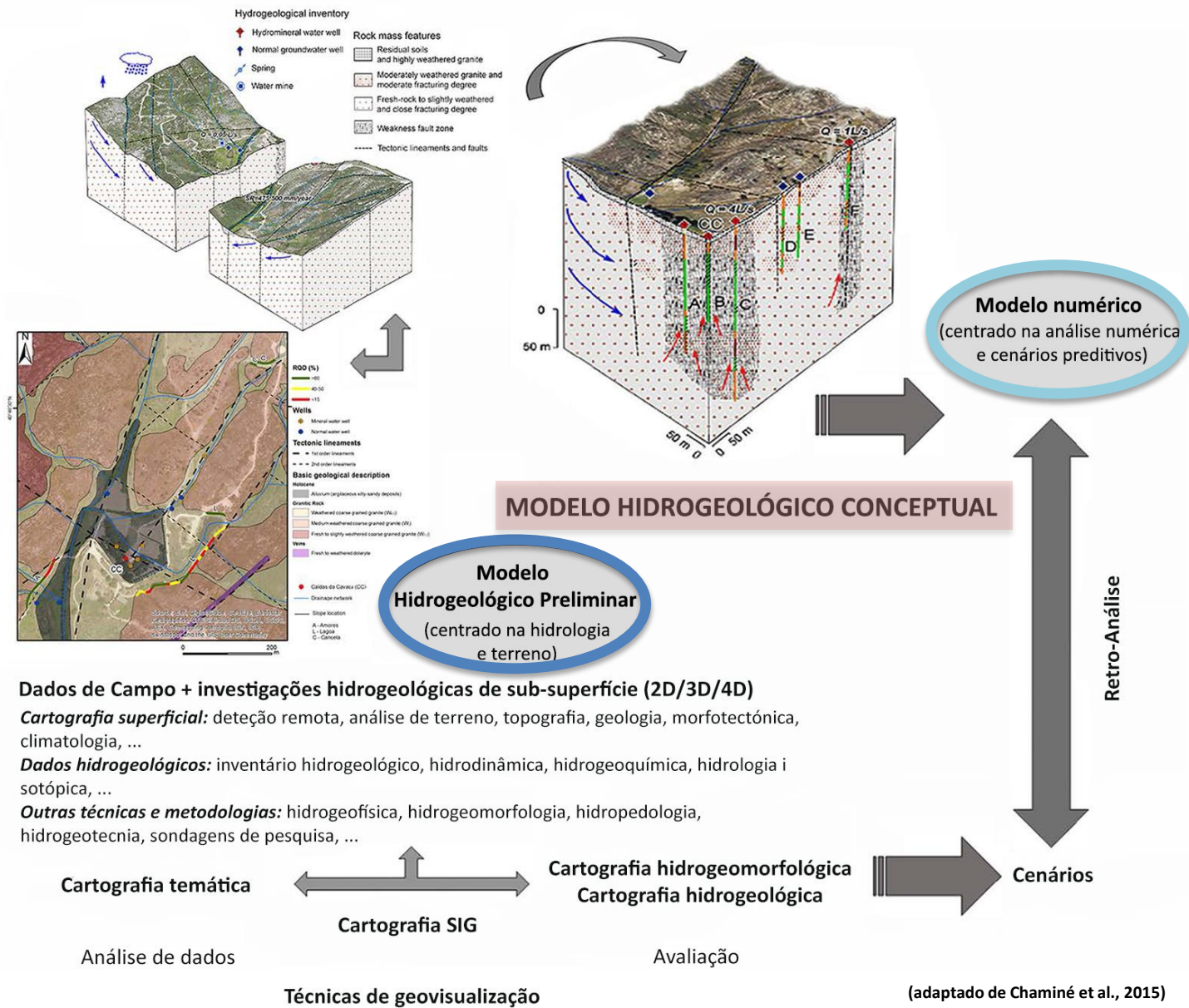


**LABCARGA**  
LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA  
E GEOLOGIA APLICADA



Instituto Superior de  
Engenharia do Porto

# O Modelo Hidrogeológico Conceptual ferramenta fundamental



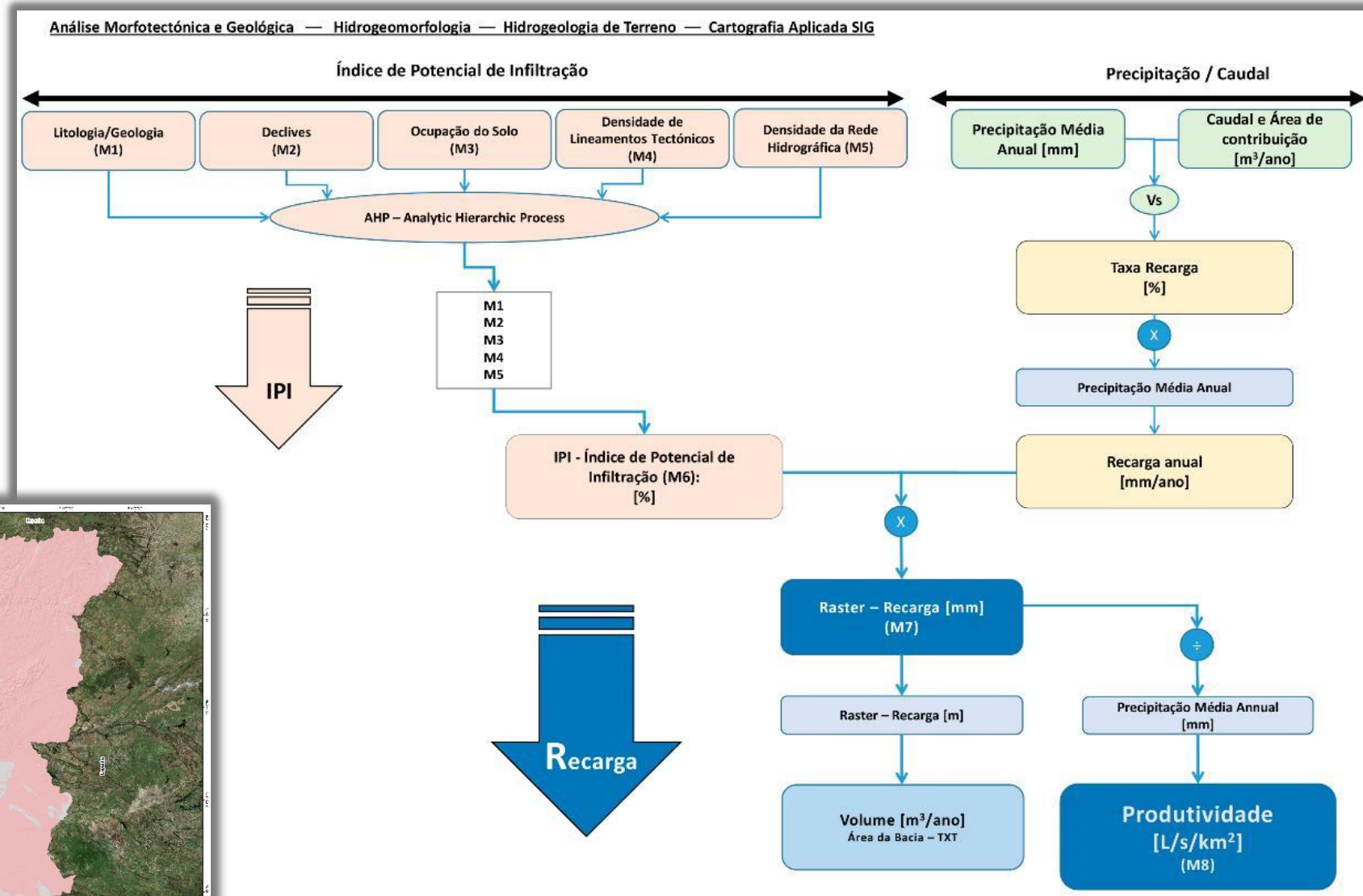
# Síntese dos factores que afectam a infiltração em maciços cristalinos

(adaptado de Teixeira, 2011; Teixeira et al., 2017)

Feições espaciais gerais		Tipologia / espessura da alteração/Fraturação	Descrição: potencial de infiltração e circulação	Principais referências
Litologia, estrutura e grau de alteração	Alteritos / formações superficiais / solos	não aplicável	Favorabilidade à circulação e armazenamento de água subterrânea	ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; CFCFF, 1996; Ballukraya & Kalimuthu 2010; Elewa & Qaddah, 2011; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Depósitos sedimentares: aluviões, terraços (s.l.)			
	Metassedimentos: xistos, micaxistos (s.l.)	Argilosa / baixa	Médio a baixo potencial de infiltração	
	Metassedimentos: quartzitos e arenitos quártzicos (s.l.)	São a pouco alterado / baixa	Alto potencial de infiltração e circulação	
	Granitóides: Granitos, Gnaisses (s.l.)	São a pouco alterado / baixa	Médio a baixo potencial de infiltração	
		Areno a silto-argilosa / média-alta	Médio a alto potencial de infiltração e circulação	
	Filões, massas, diques	Argilosa / baixa	Alto potencial de infiltração e circulação	
Densidade de lineamentos tectónicos	Alta	-	Alto potencial de infiltração e circulação	CFCFF, 1996; Yeh et al., 2009; Elewa & Qaddah, 2011; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Média	-	Médio potencial de infiltração e circulação	
	Baixa	-	Baixo potencial de infiltração e circulação	
	Muito baixa	-	Muito baixo potencial de infiltração e circulação	
Ocupação do solo	Estradas	-	Áreas impermeabilizadas	Yeh et al., 2009; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Áreas urbanizadas	-	Áreas impermeabilizadas	
	Afloramentos rochosos	-	Baixo potencial de infiltração	
	Floresta	-	Alto potencial de infiltração	
	Áreas agrícolas	-	Médio potencial de infiltração	
	Áreas de vegetação rasteira / arbustiva	-	Médio potencial de infiltração	
Densidade de drenagem	Muito baixa	-	Alto potencial de infiltração	Jha et al., 2007; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Baixa	-	Médio potencial de infiltração	
	Média	-	Baixo potencial de infiltração	
	Alta	-	Muito baixo potencial de infiltração	
Declives	Muito baixos	-	Alto potencial de infiltração	Jha et al., 2007; Yeh et al., 2009; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Baixos	-	Médio potencial de infiltração	
	Médios	-	Baixo potencial de infiltração	
	Altos	-	Muito baixo potencial de infiltração	



# Esquema metodológico: avaliação da recarga nas massas de água subterrânea com base no IPI – meios fissurados



# Bibliografia-chave: Índice do Potencial de Infiltração [IPI]

## EQUIPA LABCARGA | ISEP – metodologias IPI e IPI-urban

> 2008...

- Teixeira J, Gomes A, Carvalho JM, Chaminé HI (2008) Hidrogeomorfologia aplicada à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos: exemplos de áreas graníticas no Norte e Centro de Portugal. In: Resumos do IV Congresso Nacional de Geomorfologia, Braga, Portugal.
- Teixeira J, Chaminé HI, Espinha Marques J, Gomes A, Carvalho JM, Pérez-Alberti A, Rocha F (2010) Integrated approach of hydrogeomorphology and GIS mapping to the evaluation of ground water resources: an example from the hydromineral system of Caldas da Cavaca, NW Portugal. In Paliwal BS (ed.) Global Groundwater Resources and Management, Selected Papers from the 33rd International Geological Congress, General Symposium: Hydrogeology, Oslo (Norway), Scientific Publishers (India), Jodhpur, pp. 227-249.
- **Teixeira J (2011) Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos. Universidade de Aveiro, 504 p. (Tese de Doutoramento)**
- Teixeira J, Chaminé HI, Carvalho JM, Pérez-Alberti A, Rocha F (2013) Hydrogeomorphological mapping as a tool in groundwater exploration. Journal of Maps 9(2):263-273
- Teixeira J, Chaminé HI, Espinha Marques J, Carvalho JM, Pereira AJSC, Carvalho MR, Fonseca PE, Pérez-Alberti A, Rocha F (2015) A comprehensive analysis of groundwater resources using GIS and multicriteria tools (Caldas da Cavaca, Central Portugal): environmental issues. Environmental Earth Sciences 73:2699-2715
- Barroso MF, Ramalhosa MJ, Olhero A, Antão MC, Pina MF, Guimarães L, Teixeira J, Afonso MJ, Delerue-Matos C, Chaminé HI (2015) Assessment of groundwater contamination in an agricultural peri-urban area (NW Portugal): an integrated approach. Environmental Earth Sciences 73(6):2881-2894
- **Freitas LF (2018) avaliação integrada de recursos hídricos em áreas urbanas: aplicações para a sustentabilidade e o ordenamento territorial. Universidade de Coimbra. 431 p. (Tese de Doutoramento)**
- Afonso MJ, Freitas L, Chaminé HI (2019) Groundwater recharge in urban areas (Porto, NW Portugal): the role of GIS hydrogeology mapping. Sustainable Water Resources Management 5(1):203-216
- Freitas L, Afonso MJ, Pereira AJSC, Delerue-Matos C, Chaminé HI (2019) Assessment of sustainability of groundwater in urban areas (Porto, NW Portugal): a GIS mapping approach to evaluate vulnerability, infiltration and recharge. Environmental Earth Sciences 78: 140
- Freitas L, Pereira AJSC, Chaminé HI (2019) Coupling groundwater GIS mapping and geovisualisation techniques in urban hydrogeomorphology: focus on methodology. Springer Nature Applied Sciences. 1:490
- Carvalho JM, Afonso MJ, Teixeira J, Freitas L, Lopes AR, Jesus R, Batista S, Carvalho R, Chaminé HI (2019) Groundwater Favourable Infiltration Zones on Granitic Areas (Central Portugal). In Chaminé HI et al. (eds), Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrogeology, Hydrochemistry and Water Resources, Springer, p. 317-319

## OUTROS AUTORES – metodologias SIG e AHP aplicadas à hidrogeologia, recursos hídricos e/ou recursos hidrominerais

- Babar M (2005) Hydrogeomorphology: fundamentals, applications and techniques. New India Publishing Agency, New Delhi
  - Malczewski J (2006). GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, 20(7):703-726.
  - Shaban A, Khawlie M, Abdallah C (2006) Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. Hydrogeology Journal 14(4): 433-443
  - Yeh, HF, Lee CH, Hsu KC, Chang PH (2009) GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. Environmental Geology 58(1): 185-195
  - Rojas R, Kahunde S, Peeters L, Batelaan O, Feyen L, Dassargues A (2010) Application of a multimodel approach to account for conceptual model and scenario uncertainties in groundwater modelling. Journal of Hydrology 394(3-4): 416-435
  - Nag SK, Ghosh P (2013) Delineation of groundwater potential zone in Chhatna block, Bankura district, West Bengal, India using remote sensing and GIS techniques. Environmental Earth Sciences 70:2115-2127
  - Brunelli M (2015) Introduction to the Analytic Hierarchy Process. SpringerBriefs in Operations Research, Springer International Publishing, Berlin
  - Malczewski J, Rinner C (2015) Multicriteria decision analysis in geographic information science. New York, Springer
  - Kumar P, Herath S, Avtar R, Takeuchi K (2016) Mapping of groundwater potential zones in Killinochi area, Sri Lanka, using GIS and remote sensing techniques. Sustainable Water Resources Management 2:419-430
  - Mu E, Pereira-Rojas M (2017) Understanding the Analytical Hierarchy Process. In Practical Decision Making. Springer Briefs in Operations Research. Springer, Cham
- etc. etc.

# Seleccção das zonas-piloto: função do meio hidrogeológico

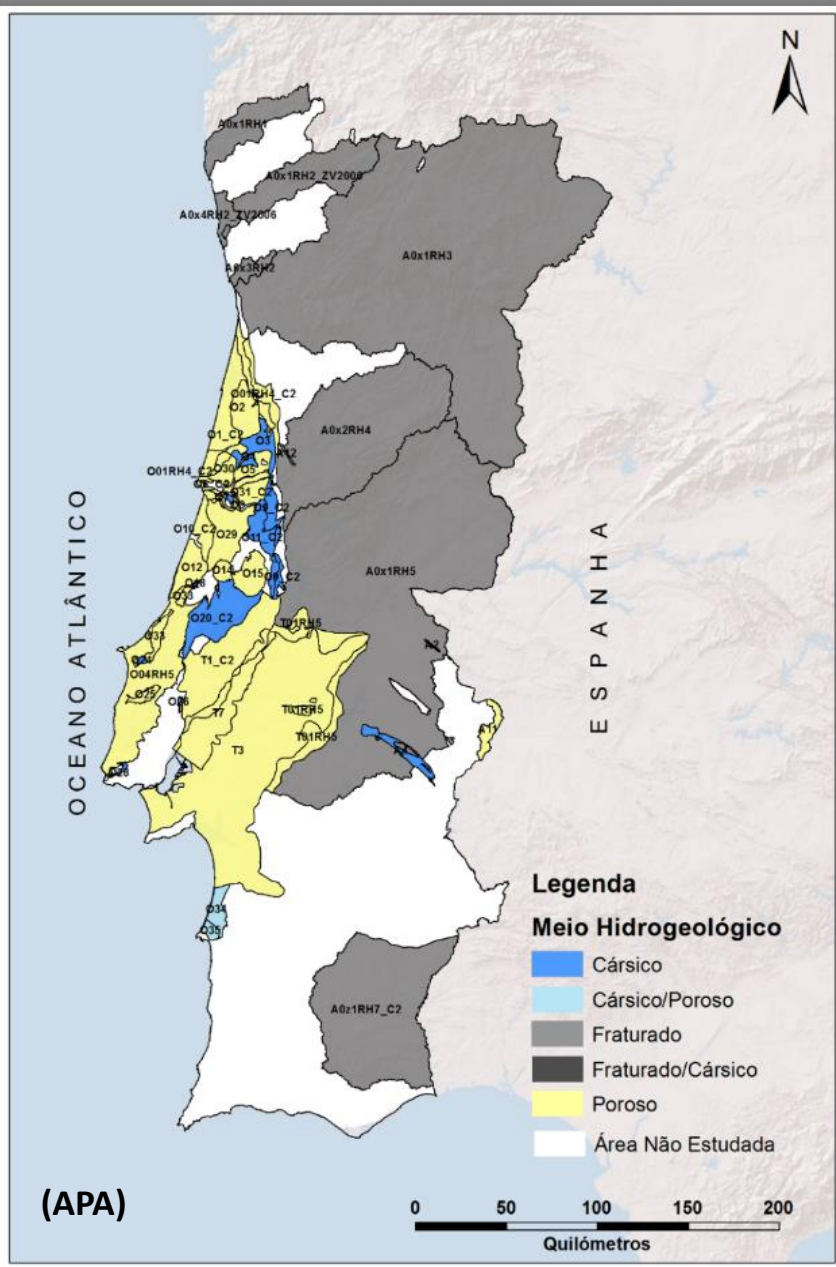
- meio hidrogeológico;
- Pressões;
- dados de parâmetros climáticos, nomeadamente precipitação;
- captações com informação que permita a avaliação de parâmetros hidráulicos ;
- monitorização de caudais de extracção e variação de níveis piezométricos;
- monitorização da composição química e/ou isotópica da água;
- dados de escoamento superficial.

Zonas piloto	
I - Fissurado	1 - NE Transmontano
	2 - Guimarães
	3 - Gouveia (Serra da Estrela)
	Gardunha I
	4 - Castelo Novo (Serra da Gardunha)
	Gardunha II
II - Poroso	5 - Évora
	6 - Mértola
	7 - Aluviões do Rio Minho
	Monção
	Valença
	8 - Massa de água Aluviões do Mondego
	9 - Massa de água Aluviões do Tejo (Zona de Valada)
	10 - Massa de água Condeixa-Alfarelos
	11 - Massa de água Caldas da Rainha -Nazaré
	Caldas da Rainha
III - Cársico	Nazaré
	12 - Massa de água Bacia do Tejo-Sado - Margem Esquerda (Zona de Almada-Seixal)
	13 - Massa de água Cársico da Bairrada
	14 - Massa de água Cesareda



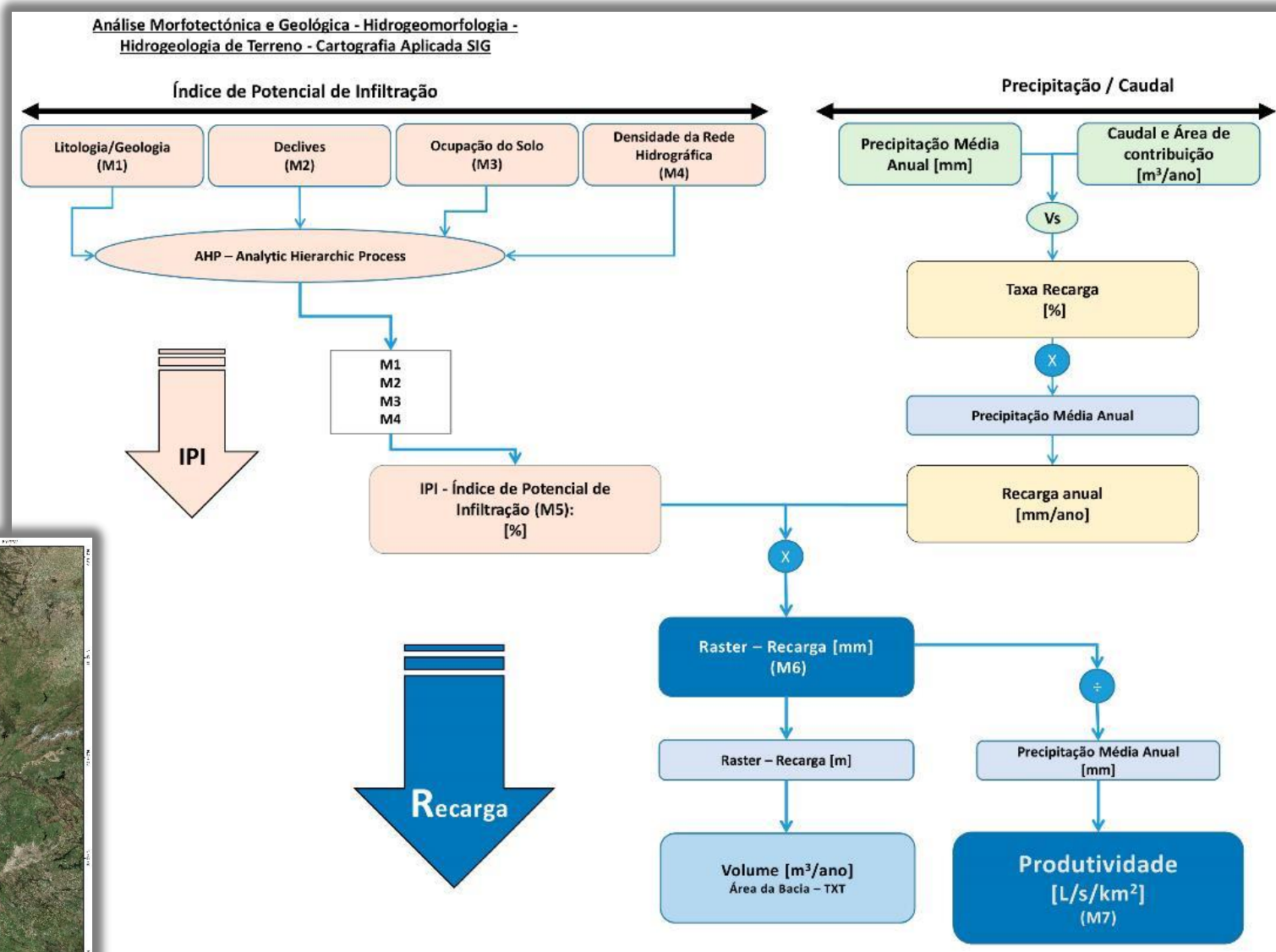


# Massas de água estudadas



- 8: meio fraturado
- 1: meio fraturado/poroso  
(Maciço indiferenciado da Bacia do Tejo)
- 23: meio poroso
- 11: meio cársico
- 3: meio cársico/poroso  
(Sines Norte, Sines Sul e Estremoz-Cano)

# Esquema metodológico: avaliação da recarga nas massas de água subterrânea com base no IPI – meios porosos



# Síntese dos factores que afectam a infiltração – meios porosos

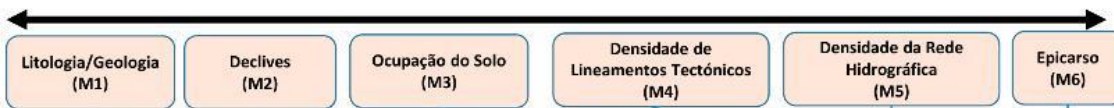
(adaptado de Teixeira, 2011; Teixeira et al., 2017)

Feições espaciais gerais		Descrição: potencial de infiltração e circulação	Principais referências
Litologia	Formações superficiais / solos	Alto potencial de infiltração	Jha, 2011; Teixeira <i>et al.</i> , 2013
	Depósitos sedimentares: areias de duna	Muito alto potencial de infiltração	
	Depósitos sedimentares: aluviões	Muito alto potencial de infiltração	
	Depósitos sedimentares: terraços (s.l.), complexos arenosos	Alto potencial de infiltração	
	Arenitos, siltitos( Triásico)	Médio a alto potencial de infiltração	
Ocupação do solo	Estradas	Áreas impermeabilizadas	Yeh <i>et al.</i> , 2009; Jha, 2011; Teixeira <i>et al.</i> , 2010, 2013, 2015
	Áreas urbanizadas	Áreas impermeabilizadas	
	Afloramentos rochosos	Baixo potencial de infiltração	
	Floresta	Alto potencial de infiltração	
	Áreas agrícolas	Médio potencial de infiltração	
	Áreas de vegetação rasteira / arbustiva	Médio potencial de infiltração	
Declives	Muito baixos	Alto potencial de infiltração	Jha <i>et al.</i> , 2007, 2009; Jha, 2011; Teixeira <i>et al.</i> , 2010, 2013, 2015
	Baixos	Médio potencial de infiltração	
	Médios	Baixo potencial de infiltração	
	Altos	Muito baixo potencial de infiltração	

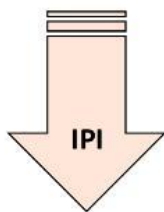
# Esquema metodológico: avaliação da recarga nas massas de água subterrânea com base no IPI – meios cársticos

Análise Morfotectónica e Geológica — Hidrogeomorfologia — Hidrogeologia de Terreno — Cartografia Aplicada SIG

Índice de Potencial de Infiltração



AHP – Analytic Hierarchic Process



M1  
M2  
M3  
M4  
M5  
M6

IPI - Índice de Potencial de Infiltração (M7): [%]

Recarga

Precipitação / Caudal

Precipitação Média Anual

Caudal e Área de contribuição [m³/ano]

$V_s$

Taxa Recarga [%]

$\times$

Precipitação Média Anual

Recarga anual [mm]

$\times$

Raster – Recarga [mm] (M8)

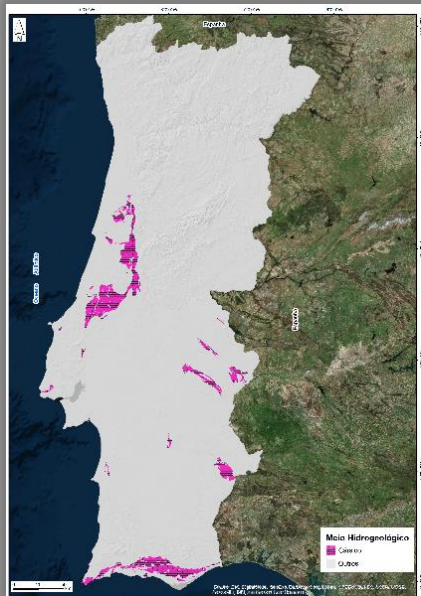
Raster – Recarga [m]

Volume [m³/ano]  
Área da Bacia – TXT

$\div$

Precipitação Média Anual

Produtividade [L/s/km²] (M9)



# Síntese dos factores que afectam a infiltração – meios cárscicos

(adaptado de Teixeira, 2011; Teixeira et al., 2017)

Feições espaciais gerais		Tipologia / espessura da alteração/Fraturação	Descrição: potencial de infiltração e circulação	Principais referências
Litologia, estrutura e grau de alteração	Alteritos / formações superficiais / solos	não aplicável	Favorabilidade à circulação e armazenamento de água subterrânea	Doerfliger et al., 1999; Jha, 2011; Teixeira et al., 2013
	Depósitos sedimentares: aluviões, terraços (s.l.)			
	Depósitos sedimentares: preenchimento de estruturas diapíricas			
	Arenitos, siltitos( Triásico)			
	Rochas Carbonatadas: Calcários compactos (não casificados)	Muito fraturado	Alto potencial de infiltração e circulação	
		Medianamente fraturado	Médio a baixo potencial de infiltração	
		Pouco fraturado	Baixo potencial de infiltração e circulação	
	Rochas Carbonatadas: Calcários carsificados	-	Muito alto potencial de infiltração e circulação	
Densidade de lineamentos tectónicos	Calcários / margas: níveis silte-argilosos (s.l.)	Argilosa / baixa-média	Baixo a média potencial de infiltração e circulação	CFCFF, 1996; Yeh et al., 2009; Elewa & Qaddah, 2011; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Alternâncias Calcário/margas	Argilosa / baixa	Baixo potencial de infiltração	
	Alta	-	Alto potencial de infiltração e circulação	
	Média	-	Médio potencial de infiltração e circulação	
Ocupação do solo	Baixa	-	Baixo potencial de infiltração e circulação	Yeh et al., 2009; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Muito baixa	-	Muito baixo potencial de infiltração e circulação	
	Estradas	-	Áreas impermeabilizadas	
	Áreas urbanizadas	-	Áreas impermeabilizadas	
	Afloramentos rochosos	-	Baixo potencial de infiltração	
	Floresta	-	Alto potencial de infiltração	
Densidade de drenagem	Áreas agrícolas	-	Médio potencial de infiltração	Jha et al., 2007; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Áreas de vegetação rasteira / arbustiva	-	Médio potencial de infiltração	
	Muito baixa	-	Alto potencial de infiltração	
	Baixa	-	Médio potencial de infiltração	
Declives	Média	-	Baixo potencial de infiltração	Jha et al., 2007; Yeh et al., 2009; Jha, 2011; Teixeira et al., 2010, 2013, 2015
	Alta	-	Muito baixo potencial de infiltração	
	Muito baixos	-	Alto potencial de infiltração	
	Baixos	-	Médio potencial de infiltração	
Epícarso	Médios	-	Baixo potencial de infiltração	Doerfliger & Zwahlen, 1997; Doerfliger et al., 1999
	Altos	-	Muito baixo potencial de infiltração	
	E1 - Sumidouros, dolinas, afloramentos muito fraturados	-	Alto potencial de infiltração	
	E2 - Zonas intermediárias no alinhamento de dolinas, vales secos, afloramentos com fraturação média	-	Médio potencial de infiltração	
	E3 - Ausência	-	Baixo potencial de infiltração	

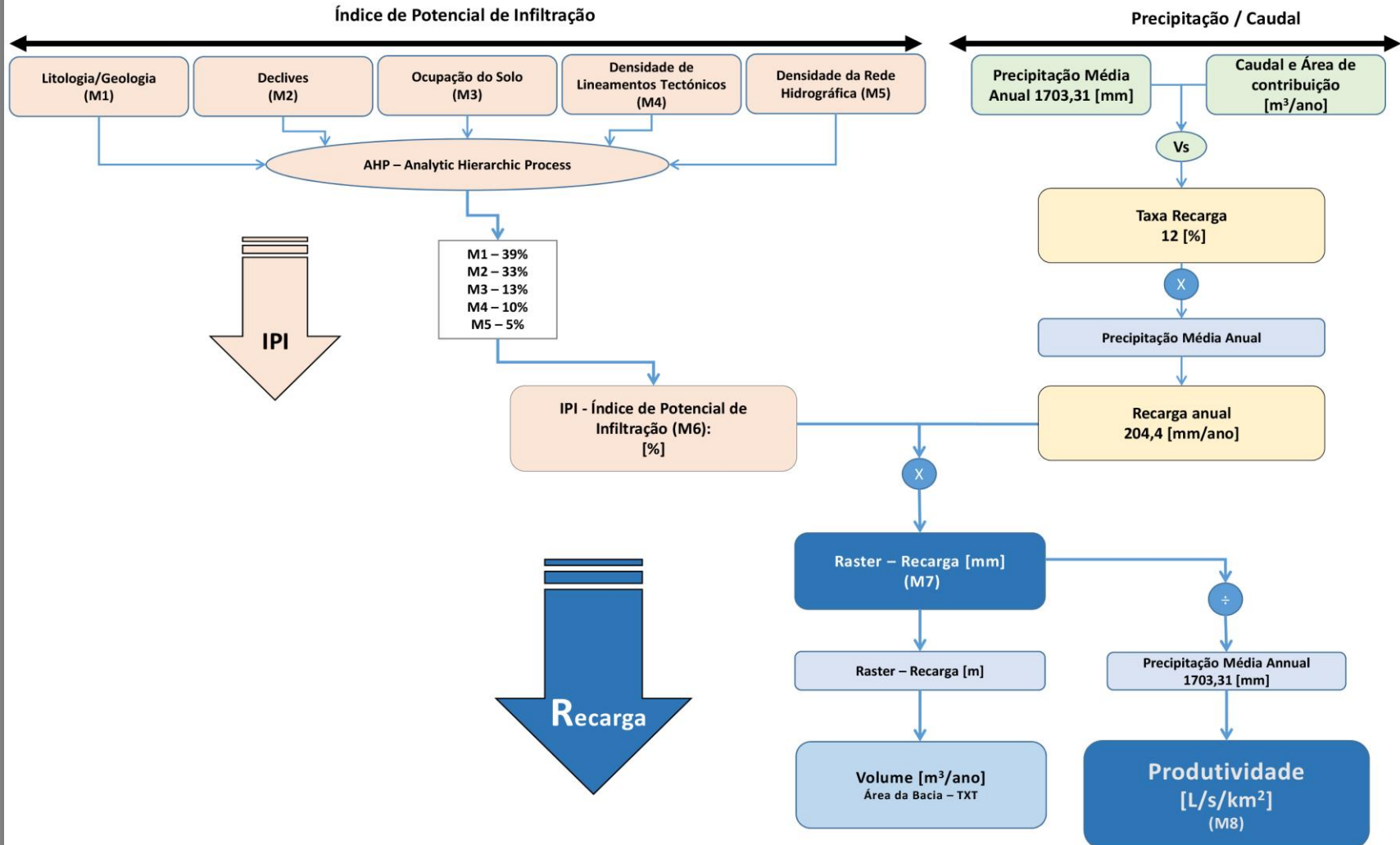


# Zona-piloto de “Gouveia (Serra da Estrela)” : Localização



# Esquema metodológico: “Gouveia (serra da Estrela)”

Análise Morfotectónica e Geológica — Hidrogeomorfologia — Hidrogeologia de Terreno — Cartografia Aplicada SIG



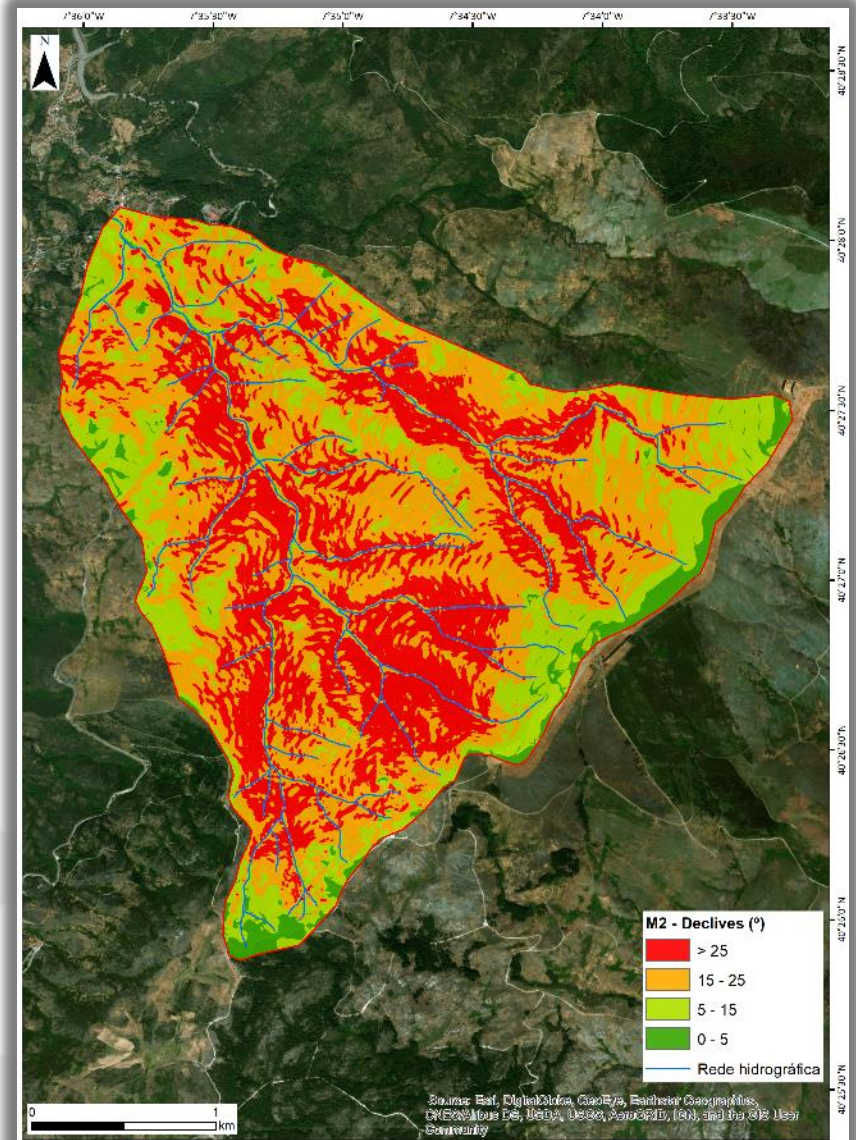
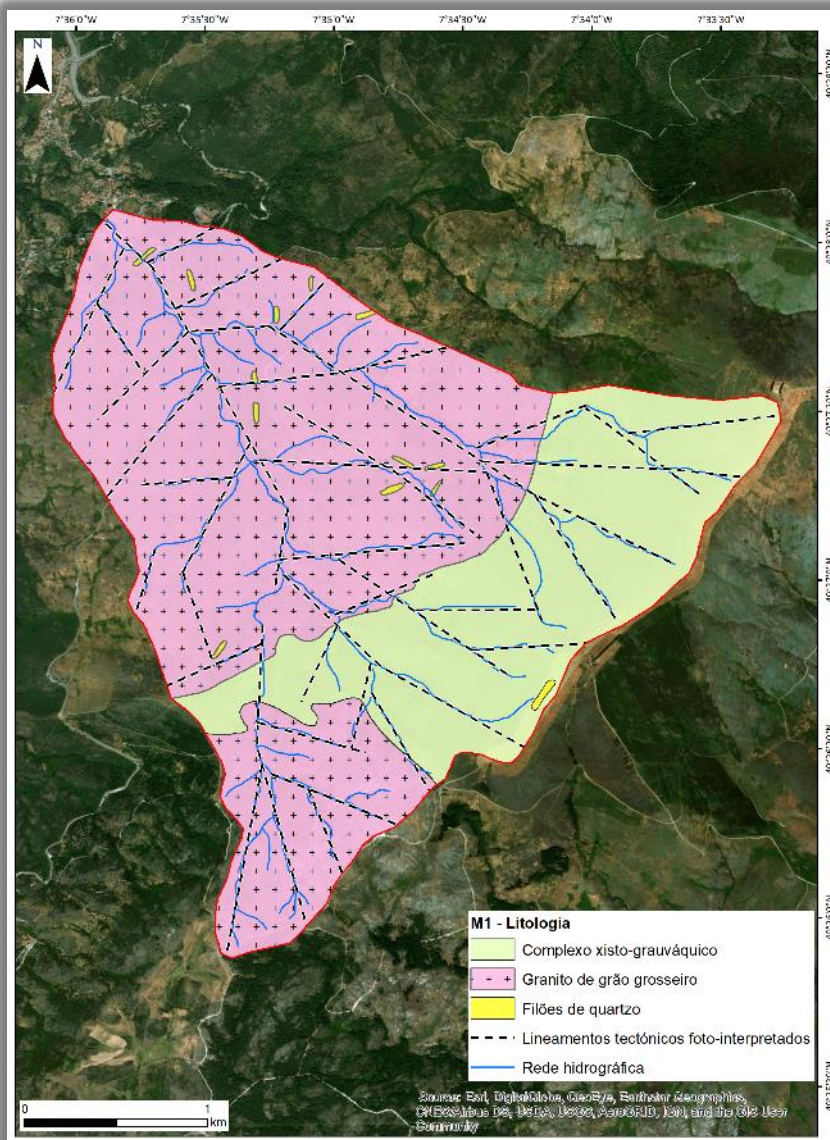
## Avaliação da recarga na Zona-Piloto “Gouveia (Serra da Estrela)”: síntese

Gouveia (Meio Fissurado)		Peso relativo dos factores para o cálculo do IPI (%) [AHP]	Classes predominantes	%		
IPI	M1 - Litologia /Grau de alteração	39	Granito de grão grosseiro	67		
			Complexo xisto-grauváquico	32,5		
	M2 - Declive	33	15-25°	42,9		
			>25°	32,2		
	M3 - Ocupação do Solo	13	Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea	92,4		
	M4 - Densidade de Lineamentos Tectónicos	10	0-6km/km <sup>2</sup>	68,4		
			6-12km/km <sup>2</sup>	30,3		
	M5 - Densidade da Rede Hidrográfica	5	0-5km/km <sup>2</sup>	68,4		
			5-10km/km <sup>2</sup>	30,3		
	M6 - IPI - Índice de Potencial de Infiltração	-	Elevado (60-80)	70,1		
Médio (40-60)			26,3			
PMA <sup>[*]</sup> - 1703,3mm; Taxa de Recarga inicial - 12%; Recarga anual - 204,4mm/ano			Mediana	Média	Minimo	Máximo
Recarga	M7 - Recarga	(mm)	135,0	134,8	97,2	184,7
	M8a - Taxa de Recarga (%)	(%)	7,9	7,9	5,7	10,8
	M8b - Produtividade	(L/s/km <sup>2</sup> )	4,0	4,3	3,1	5,9

[\*] - Precipitação média anual (compilado das estações meteorológicas locais e atlas do ambiente)

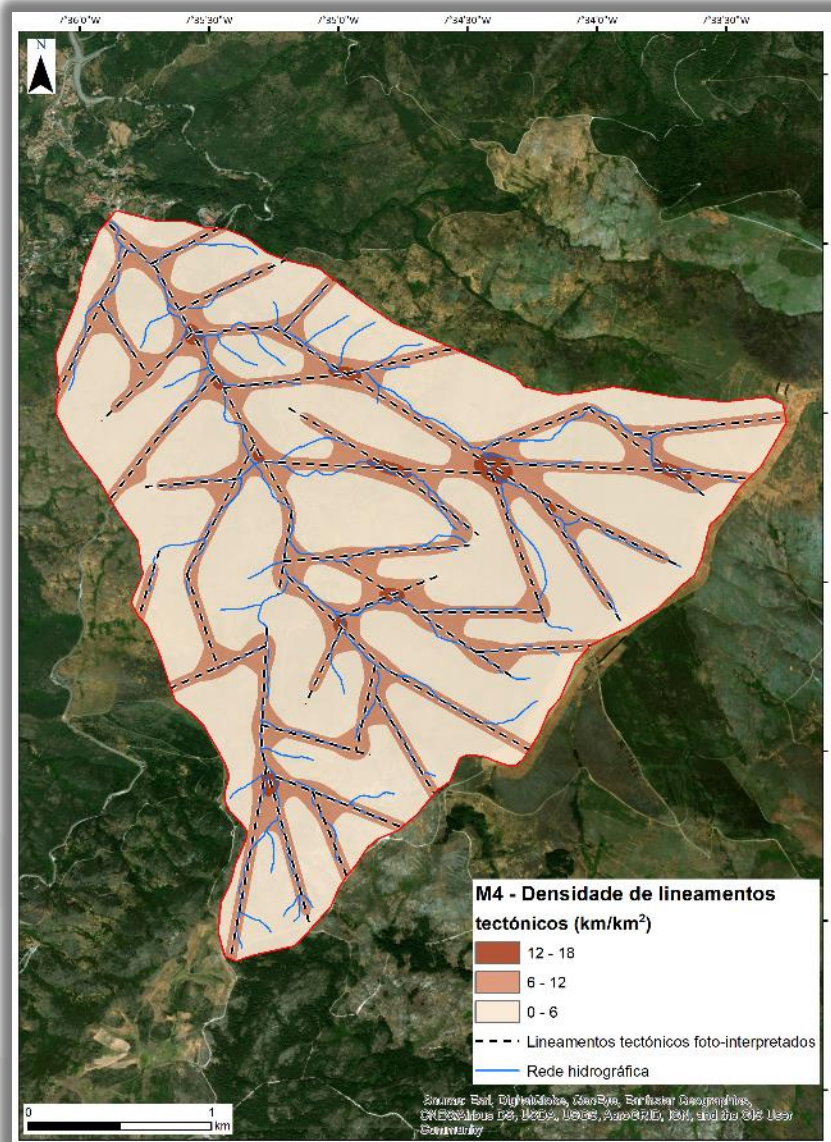
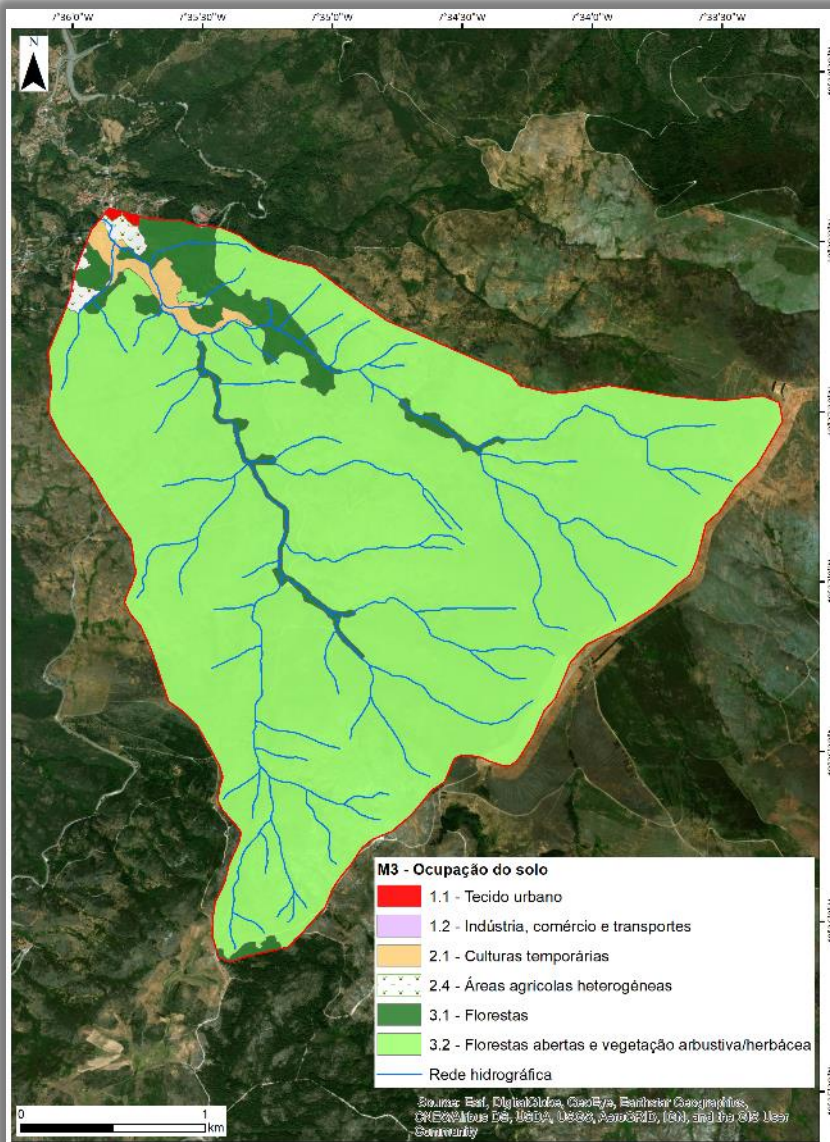


# Fatores condicionantes da recarga



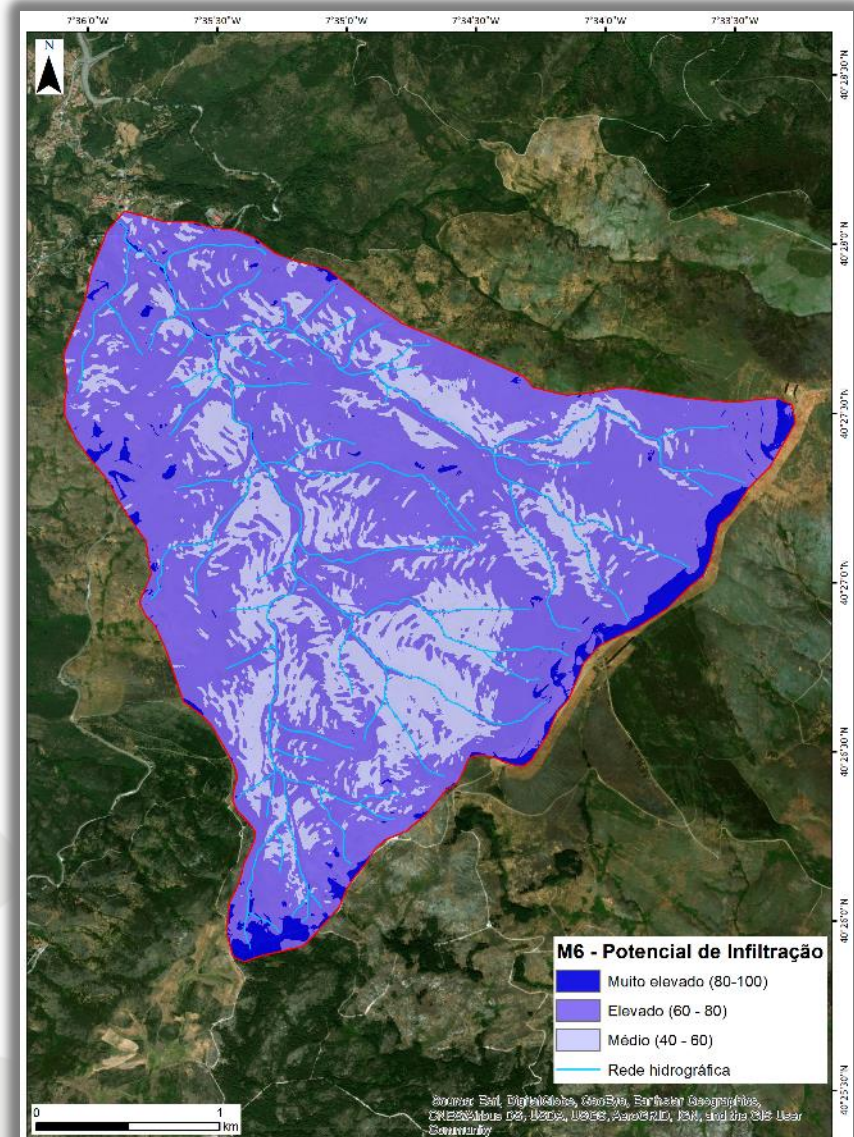
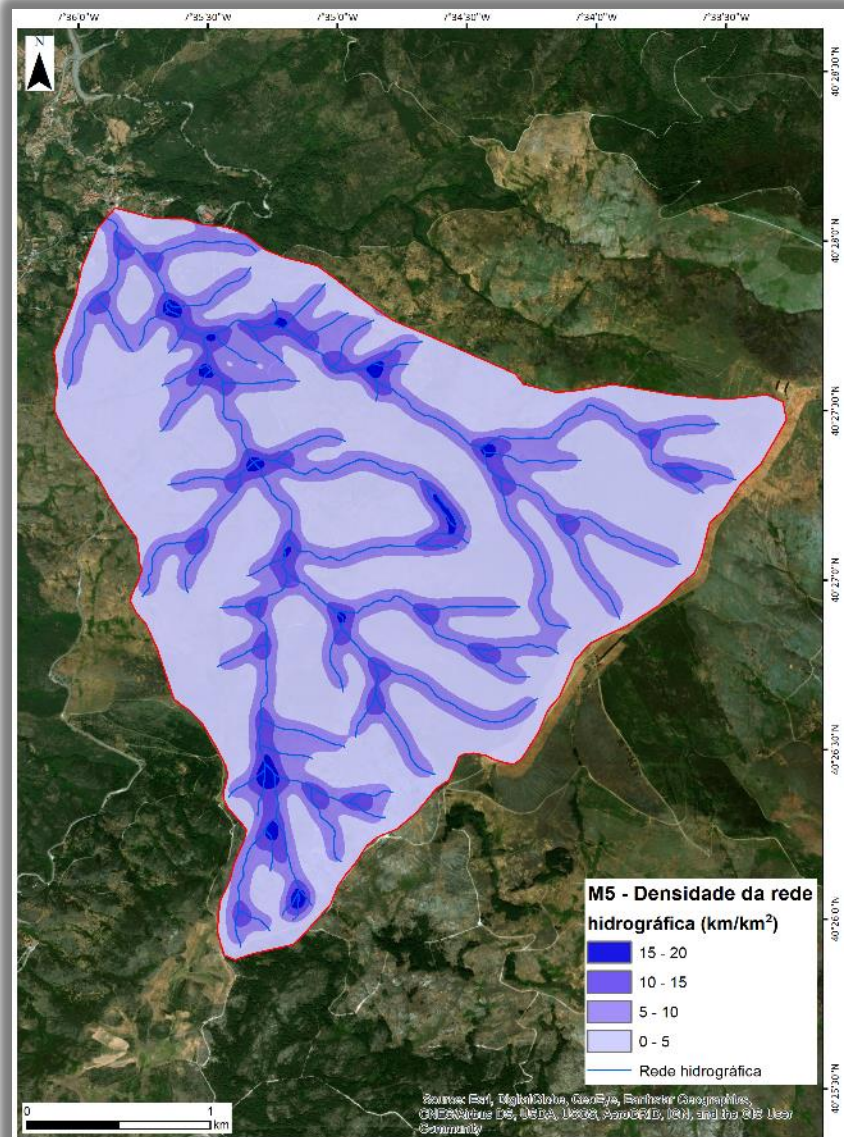


# Factores condicionantes da recarga



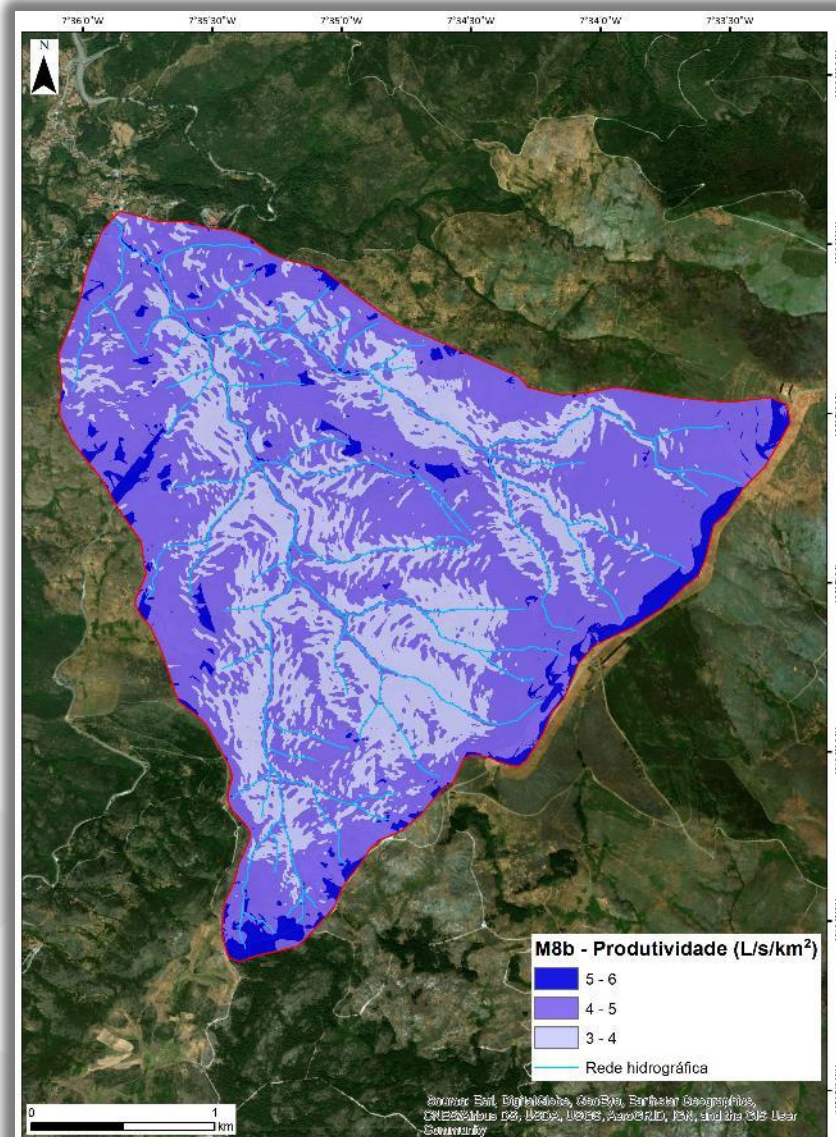
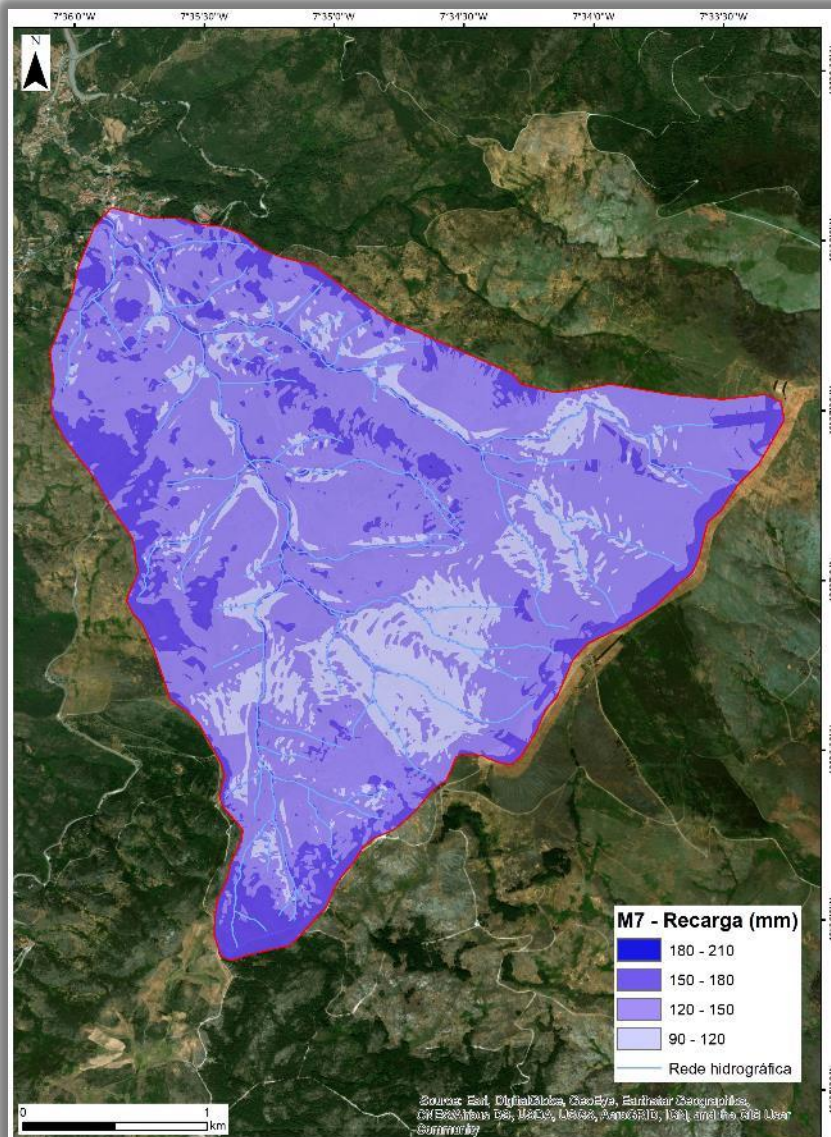


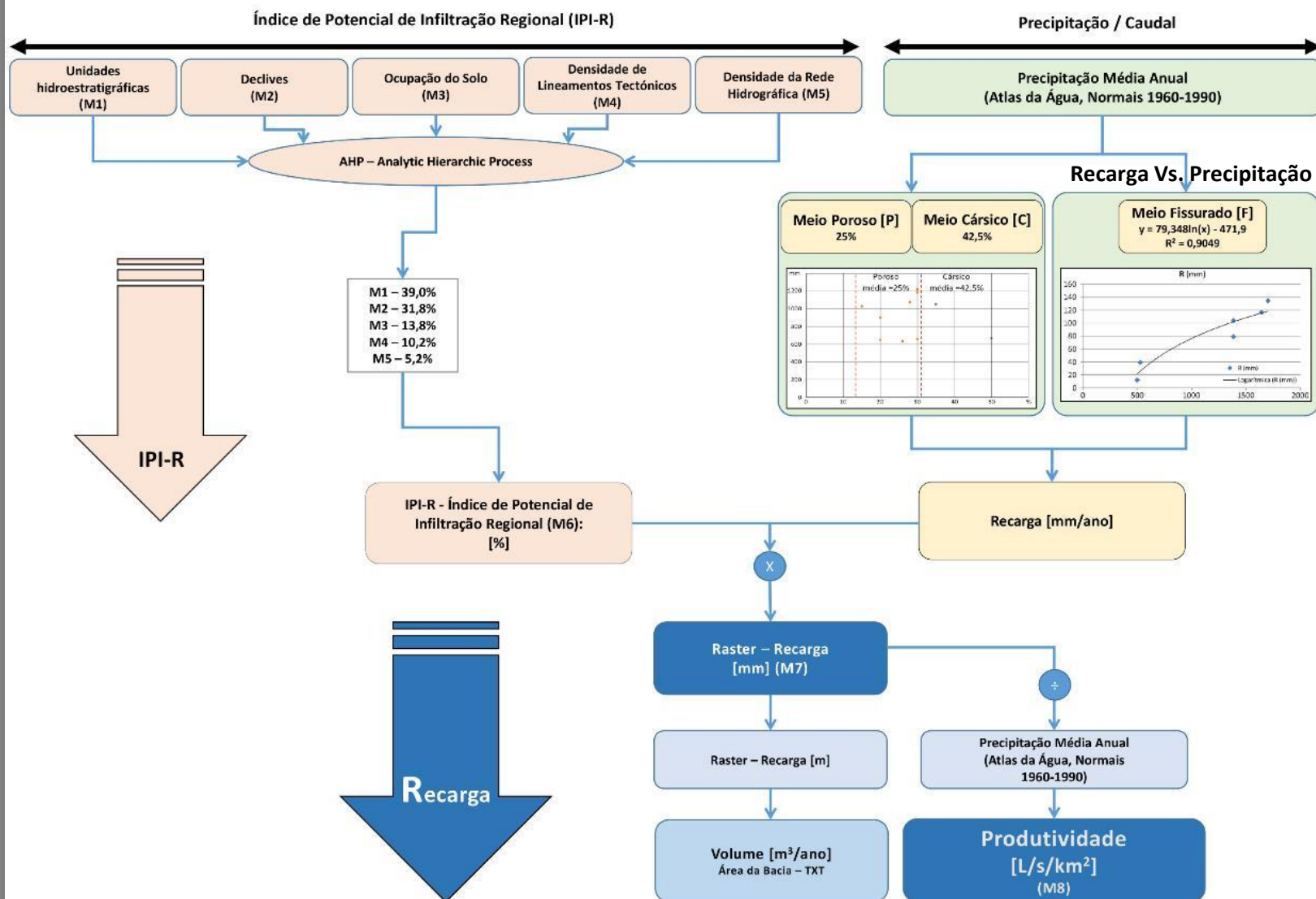
# Factores condicionantes da recarga





# Recarga e Produtividade





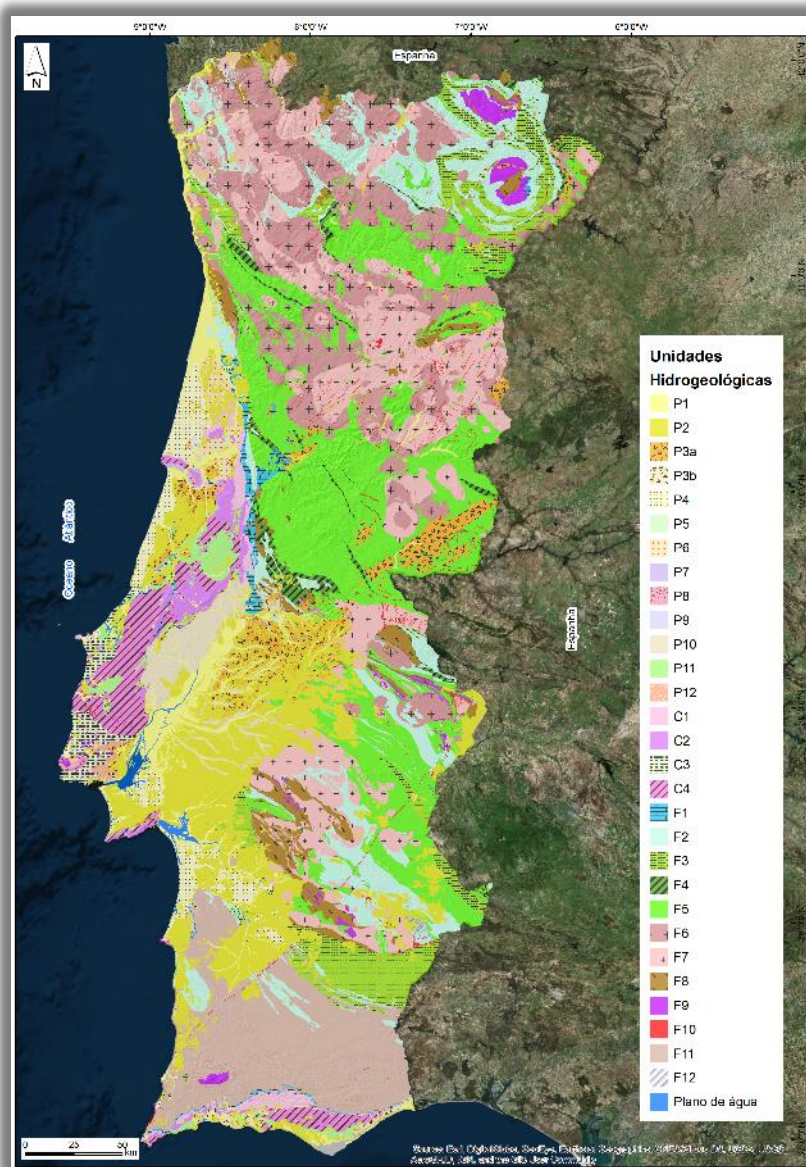


# A regionalização: uma síntese

## Classes predominantes por factor/meio

Portugal Continental (Meio Fissurado, Meio Poroso, Meio cársico)		Peso relativo dos factores para o cálculo do IPI-R (%) [AHP]	Classes predominantes	%	
IPI	M1 -Unidades hidrogeológicas regionais / Sistemas aquíferos	39,0	Poroso	Terraços flúvio-marinhos e conglomeráticos: depósitos sedimentares detríticos pouco consolidados	12,8
				Aluviões e/ou eluviões; areias de dunas:depósitos sedimentares detríticos geralmente pouco consolidados	3,6
			Cársico	Arenitos e calcários	2,8
				Calcários de Ançã e Calcários de Andorinha (Jurássico médio)	1,1
			Fissurado	Xistos, grauvaques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico-gnáissico	17,1
				Granito de grão médio a grosseiro de duas micas, com esparsos megacristais	12,0
	M2 - Declives	31,8	0-5°		60,3
			5-15°		32,2
	M3 - Ocupação do Solo	13,8	Áreas florestais		53,0
			Áreas agrícolas		40,0
	M4 - Densidade de Lineamentos Tectónicos	10,2	0-0,3km/km <sup>2</sup>		79,9
			0,3-0,6km/km <sup>2</sup>		16,4
	M5 - Densidade da Rede Hidrográfica	5,2	0,25- 0,5km/km <sup>2</sup>		79,0
			0,5-0,75km/km <sup>2</sup>		18,7
	M6 - IPI - Índice de Potencial de Infiltração	-	Elevado (60-80)		60,8
			Médio (40-60)		30,4

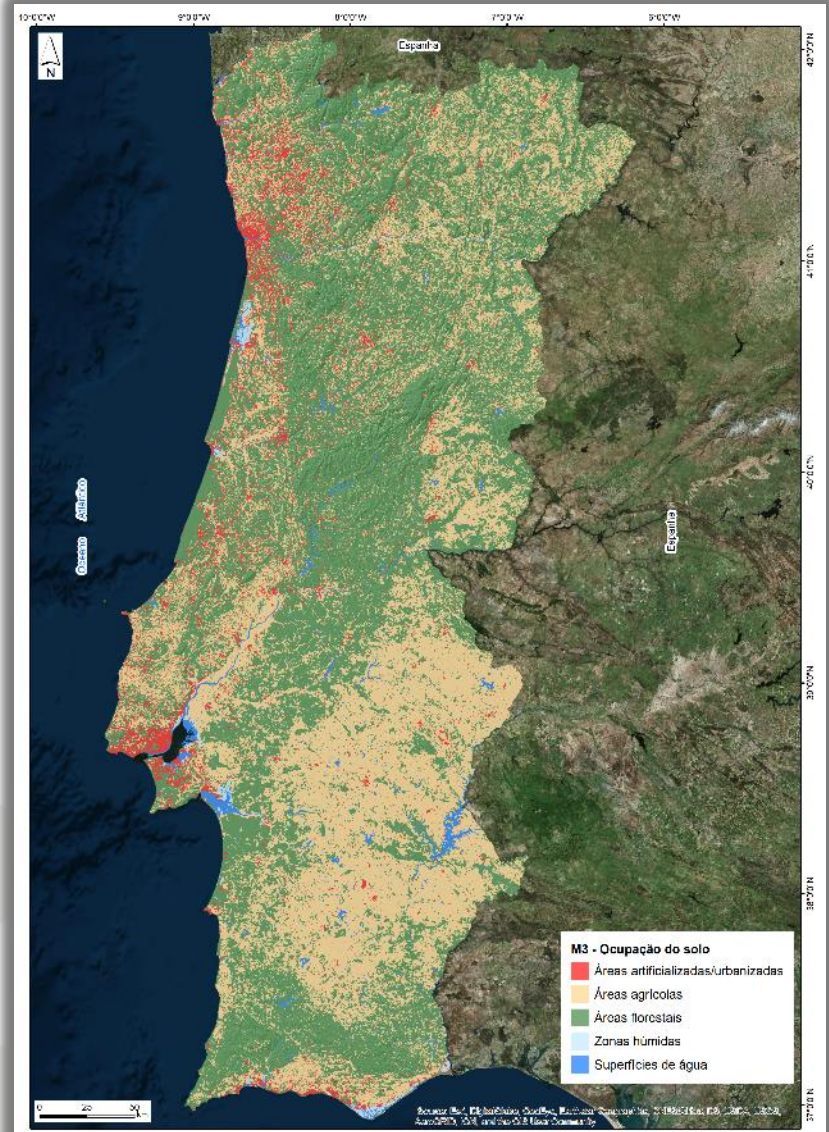
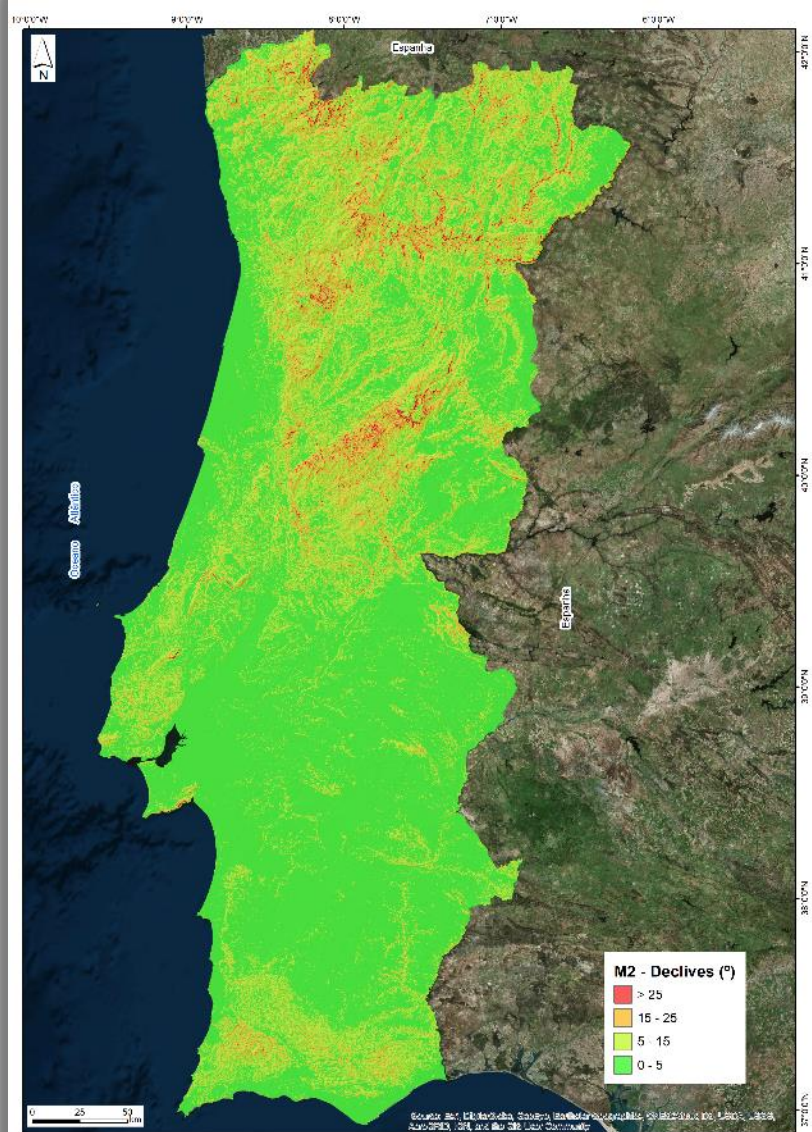
# A regionalização: uma síntese



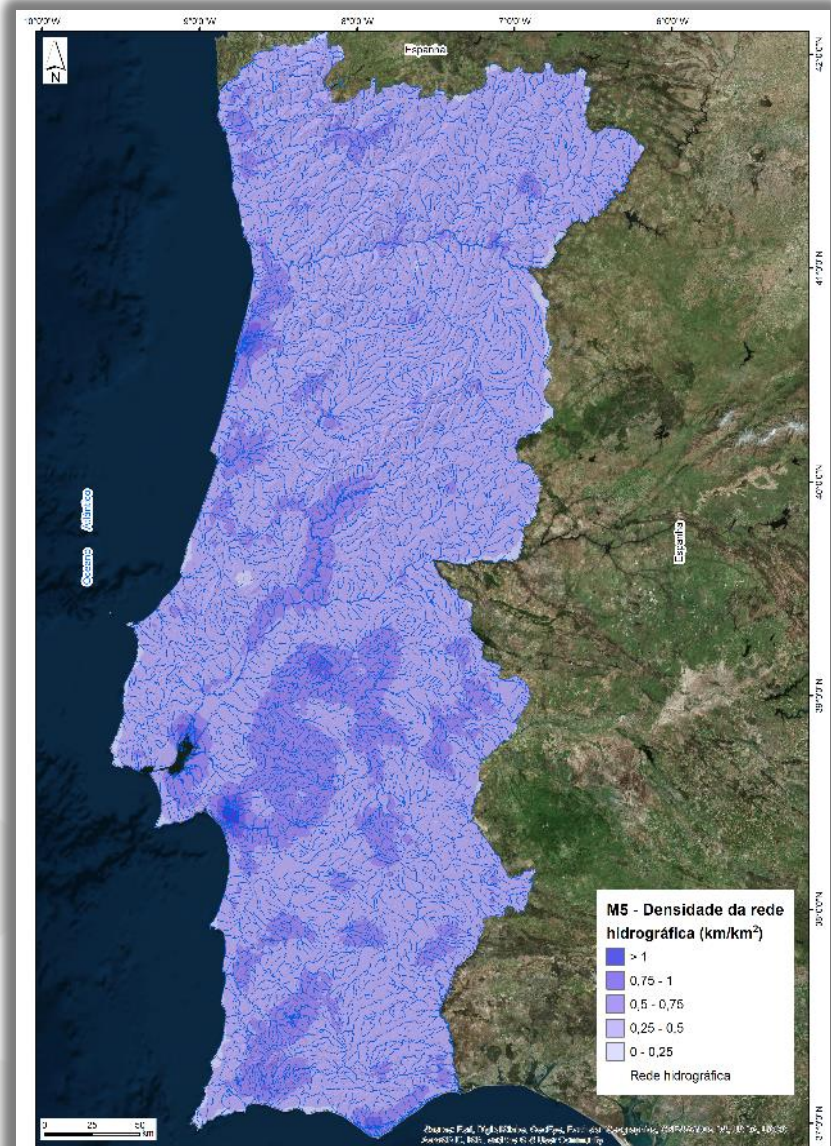
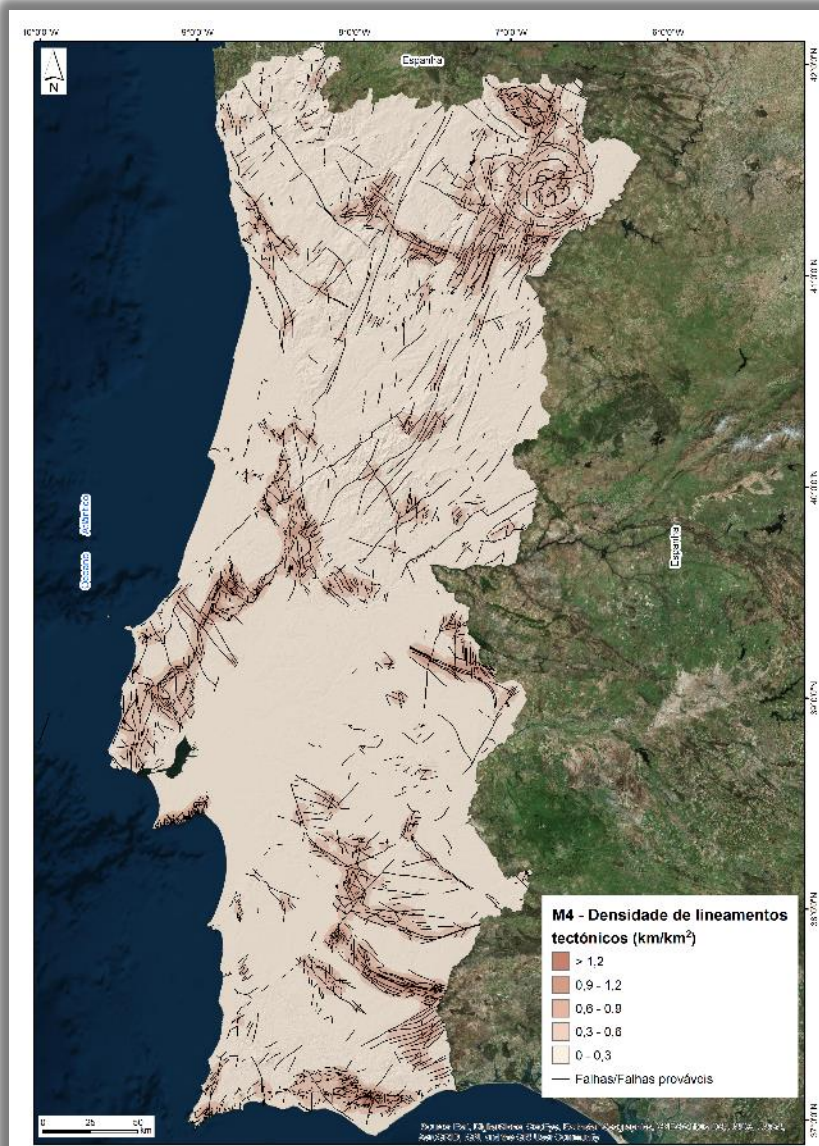
(base cartográfica 500k: SGP/IGM/LNEG)

	Unidades Hidrogeológicas Regionais / Sistemas aquíferos	Código
Meio Poroso	Aluviões e/ou eluviões; areias de dunas: depósitos sedimentares detríticos geralmente pouco consolidados	P1
	Terraços flúvio-marinhos e conglomeráticos: depósitos sedimentares detríticos pouco consolidados	P2
	Depósitos arcóscicos: Depósitos sedimentares detríticos geralmente consolidados (Maciço Antigo e Bacia do Tejo)	P3a
	Depósitos arcóscicos: Formação carbonatada de Lagos, siltitos, espongilitos e areias (Bacia Algarve)	P3b
	Terraços fluviais e praias antigas (Pliocénico), depósitos da base do Quaternário, dunas e aluviões (Quaternário)	P4
	Arenitos de Carrascal (Aptiano/Albiano), Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cenomaniano/Turoniano), Arenitos Micáceos e Arenitos Grosseiros Superiores (Senoniano)	P5
	Arenitos de Carrascal (Aptiano-Cenomaniano), Arenitos, areias e argilas de Aveiro, Vagos e Taveiro (Cretácico Sup.), Calcários de Tentúgal (Cenomaniano-Turoniano inferior), Grés de Furadouro (Cenomaniano superior-Turoniano)	P6
	Arenitos de Carrascal (Aptiano-Cenomaniano), Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cenomaniano-Turoniano inferior)	P7
	Arenitos do Carrascal, Calcários Apinhoados da Costa de Arnes, Arenitos Finos de Lousões (Cretácico sup.); Formações do Miocénico e Paleogénico indiferenciados; Depósitos Plio-quaternários	P8
	Arenitos de Carrascal (Aptiano-Cenomaniano), Calcários de Tentúgal, Grés de Furadouro, Grés de Oitã (Cretácico sup.)	P9
	Arenitos Finos de Lousões, Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cretácico sup.); Arenitos de Carrascal (Cretácico inf.)	P10
	Calcários; Argilas e lenhitos	P11
	Arenitos, Tufos	P12
Meio Cársico	Complexo Vulcânico de Lisboa	P13
	Camadas de Coimbra (Sinemuriano-Lotaringiano), Calcários margosos de Leme de (Domeriano médio-superior)	C1
	Calcários de Ançã e Calcários de Andorinha (Jurássico médio)	C2
	Calcários, margas e calcários margosos	C3
	Calcários e arenitos	C4
Meio Fissurado	Grés e calcários	F1
	Metapelitos e psamitos avermelhados, vulcanitos básicos e ácidos, complexo filado-quartzoso, quartzitos	F2
	Quartzo-filitos, filádios, xistos carbonosos com intercalações de ampelitos e liditos, complexo greso-quartzítico, argilitos e conglomerados	F3
	Quartzitos maciços, quartzitos xistóides e xistos ardósíferos intercalados	F4
	Xistos, grauvaques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico-gnaissico	F5
	Granito de grão médio a grosseiro de duas micas, com esparsos megacristais	F6
	Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico	F7
	Gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos	F8
	Rochas básicas (peridotitos, rochas máficas, gabros e anfibolitos: complexo ofiolítico s.l.)	F9
	Filões e massas (quartzo, pegmatito e aplito-pegmatítico)	F10
	Turbiditos e conglomerados; Xistos e siltitos	F11
	Mármore	F12

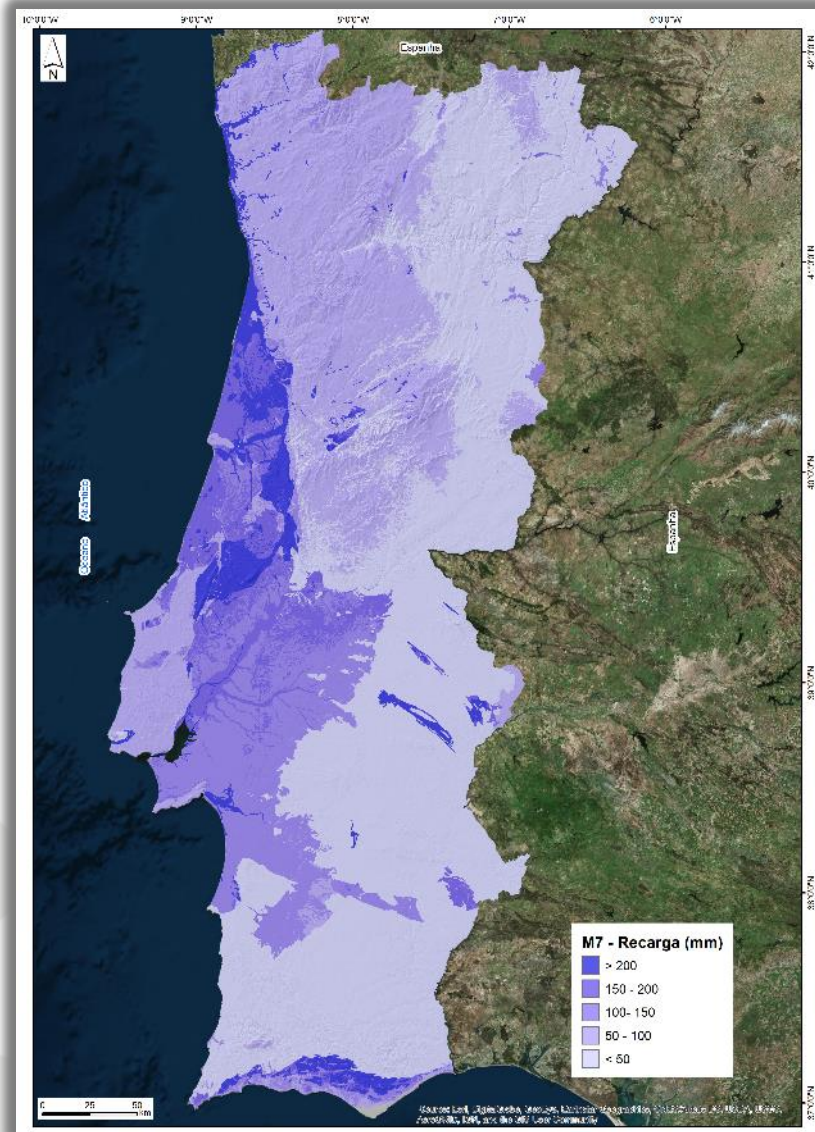
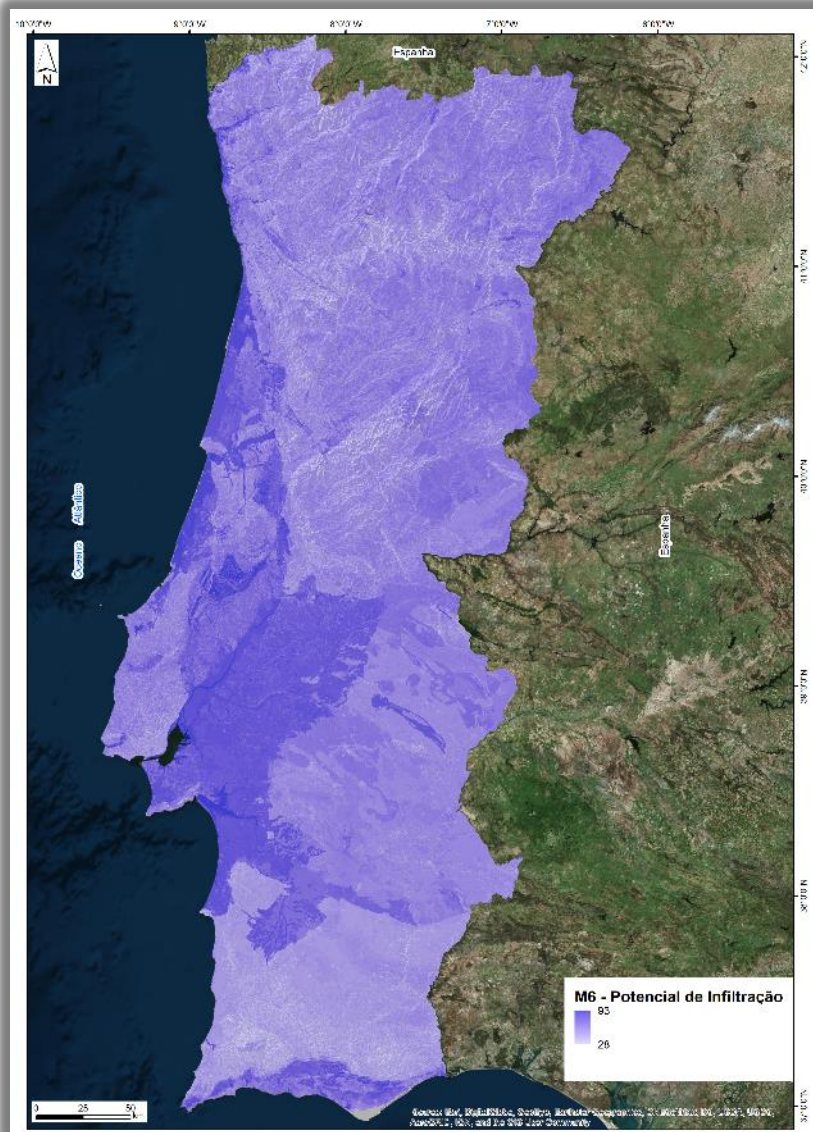




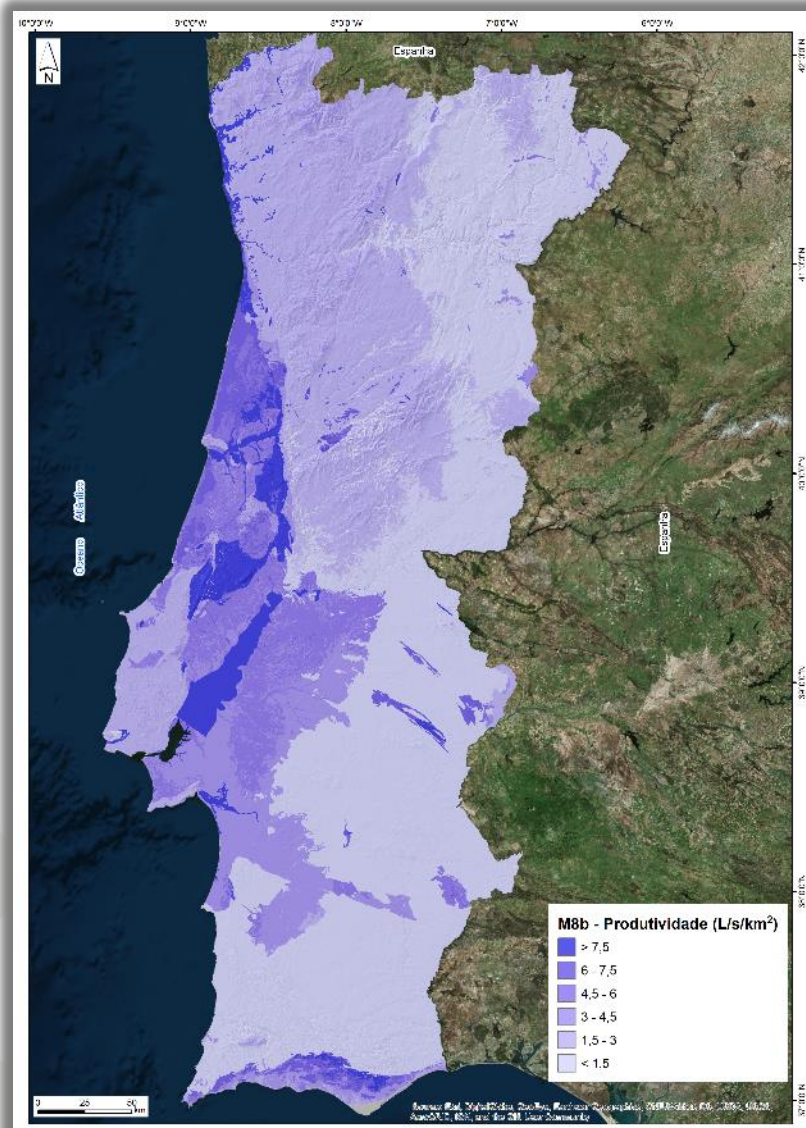
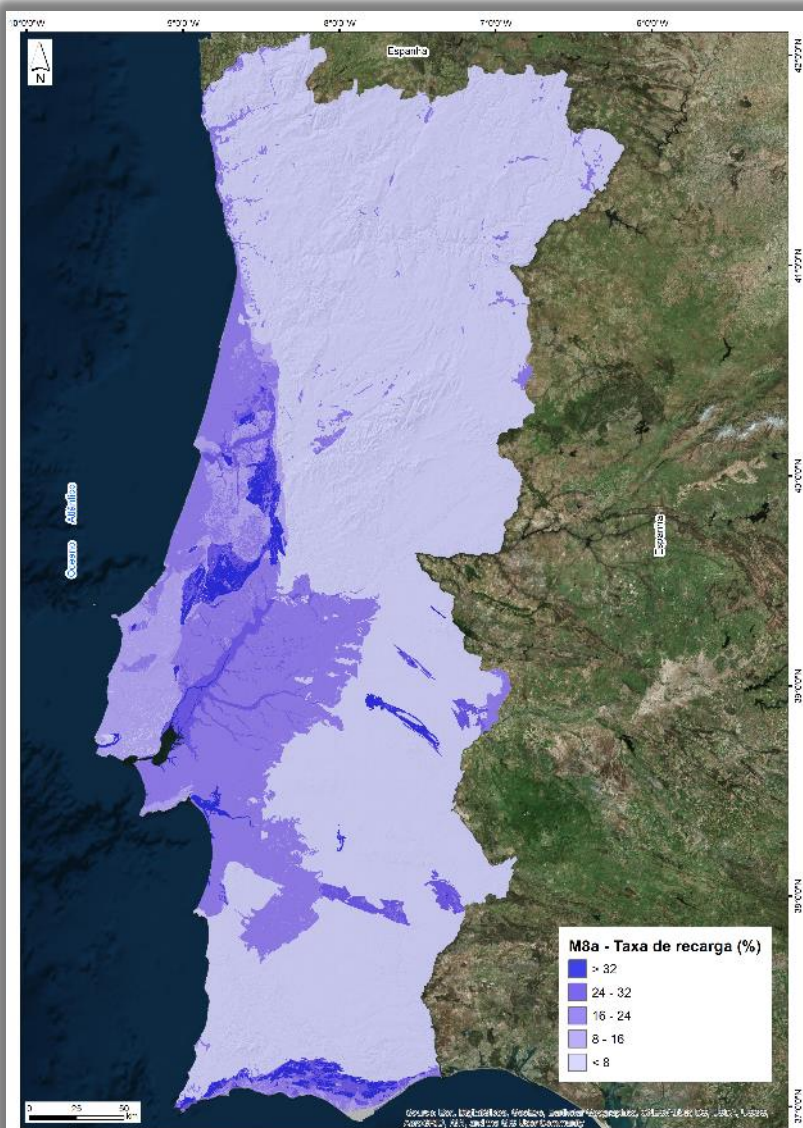




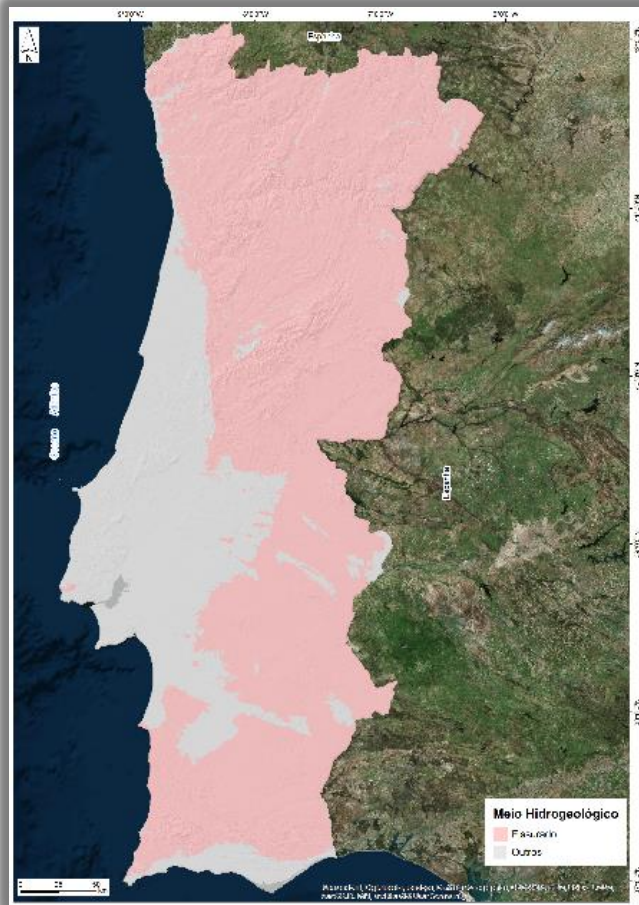




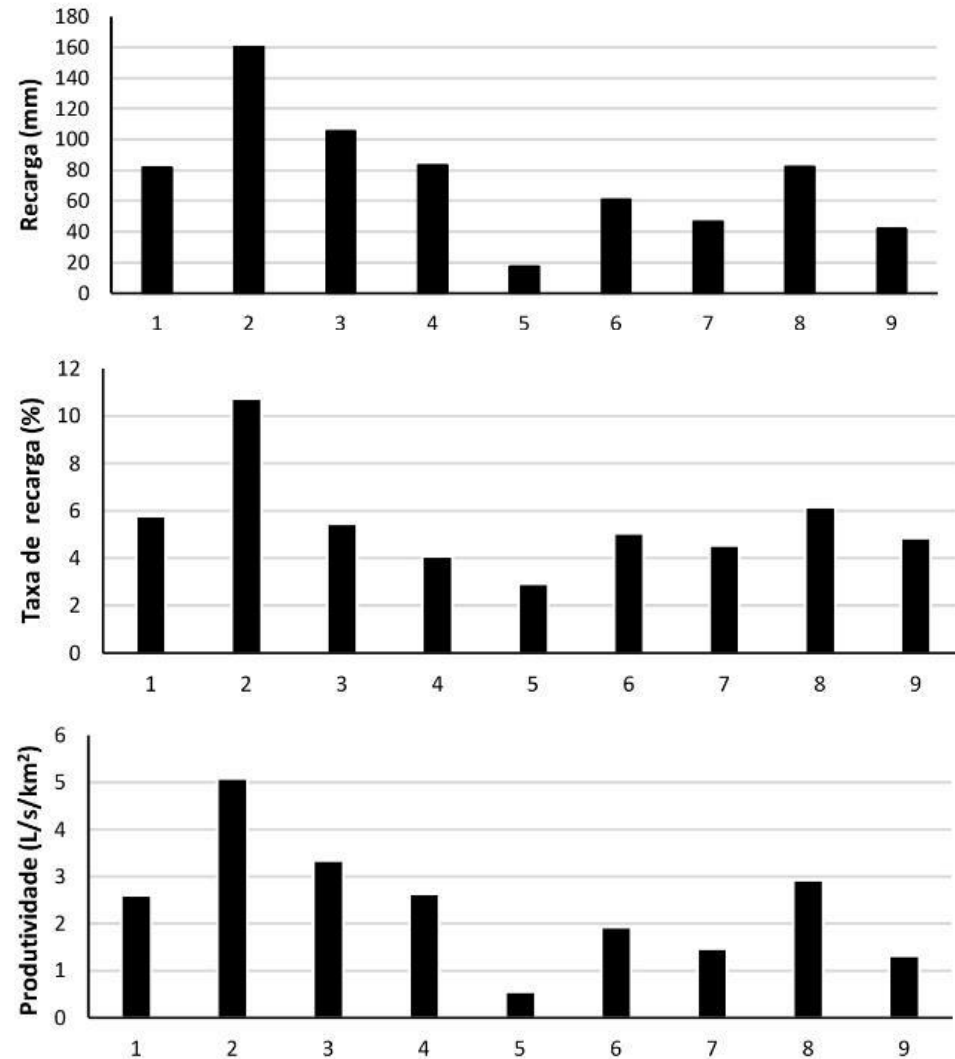




# Meio hidrogeológico fissurado

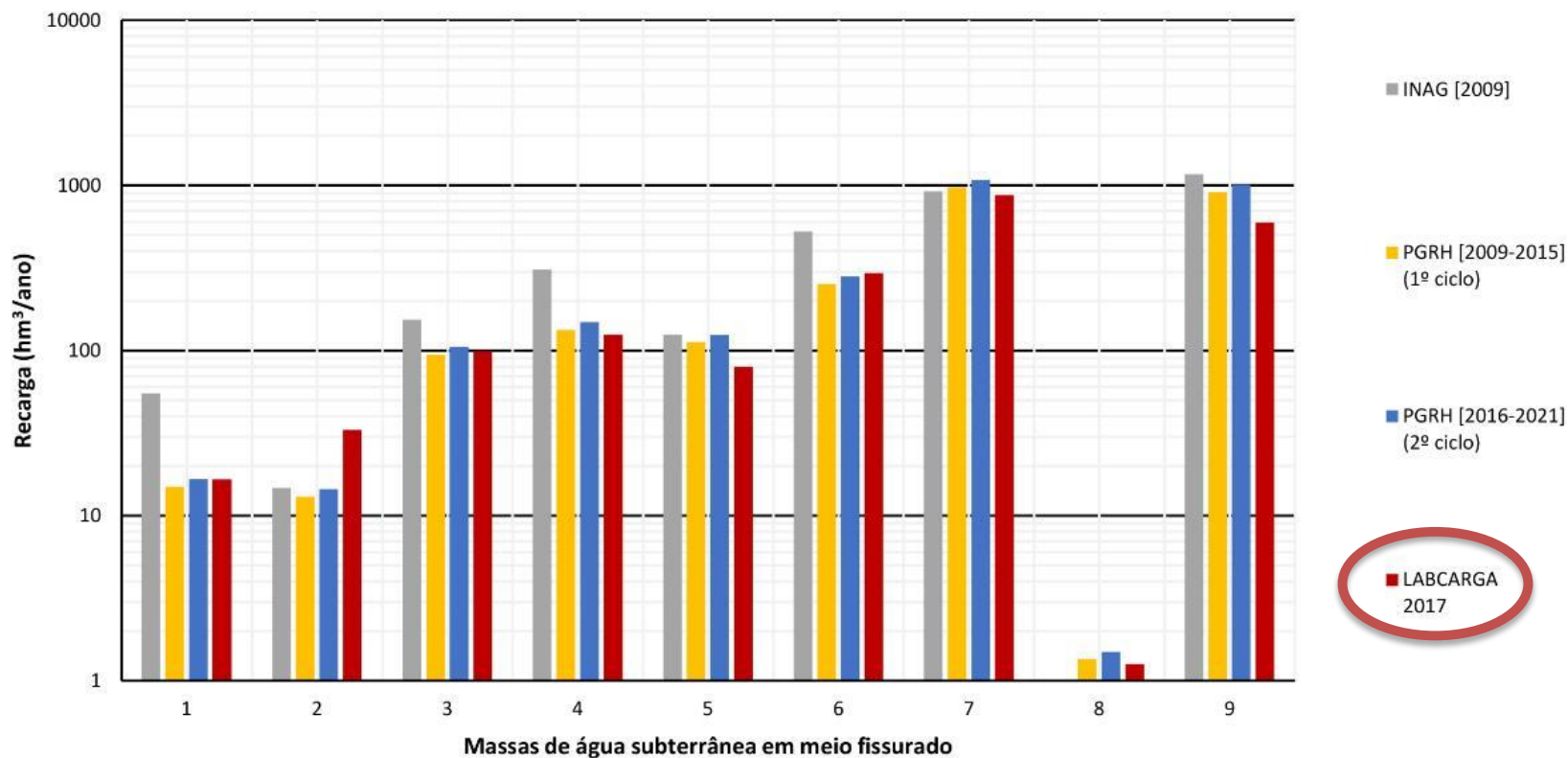


1 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Leça; 2 - Maciço Antigo Indiferenciado do Baixo Cávado/Ave; 3 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Minho; 4 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Cávado; 5 - Zona Sul Portuguesa da Bacia do Guadiana; 6 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Mondego; 7 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Douro; 8 - Luso; 9 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo





## Meio hidrogeológico fissurado



1 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Leça; 2 - Maciço Antigo Indiferenciado do Baixo Cávado/Ave; 3 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Minho; 4 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Cávado; 5 - Zona Sul Portuguesa da Bacia do Guadiana; 6 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Mondego; 7 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Douro; 8 - Luso; 9 - Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo



**LABCARGA**  
LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA  
E GEOLOGIA APLICADA

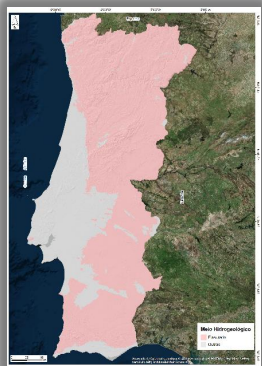


Instituto Superior de  
Engenharia do Porto

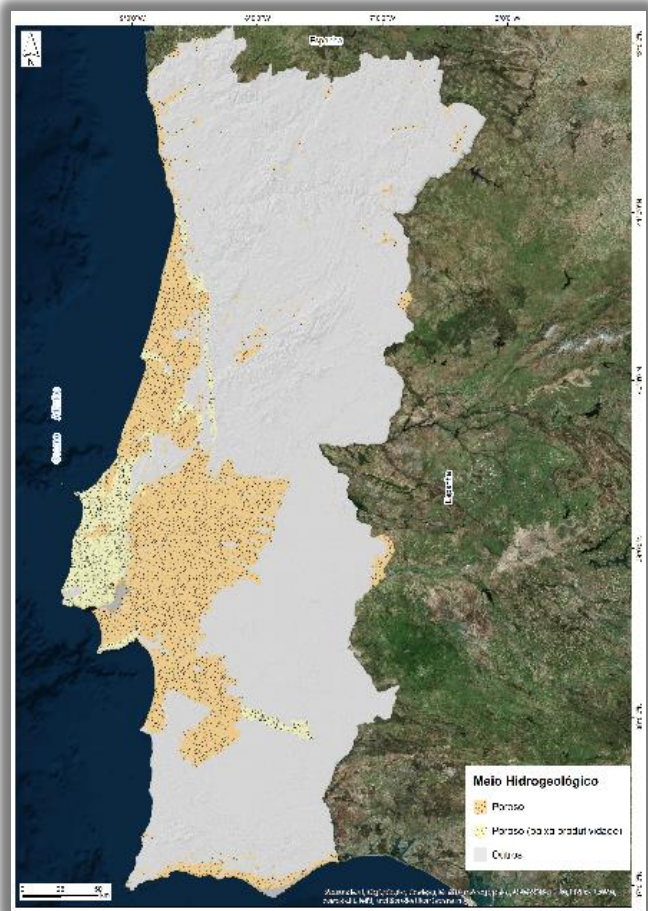
## Meio hidrogeológico fissurado: factores condicionantes do valor de recarga

Massas de água subterrânea (M.A.)		Área (M.A.)	Cartografia geológica (escala)	Hidrogeologia (heterogeneidade)	Precipitação
Código	Designação				
A0x4RH2_ZV2 006	Maciço Antigo Indiferenciado do Baixo Cávado/Ave	+++	+	++	~
A0z1RH7_C2	Zona Sul Portuguesa da Bacia do Guadiana	~	~	--	-
A0x1RH5	Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo	~	~	--	-

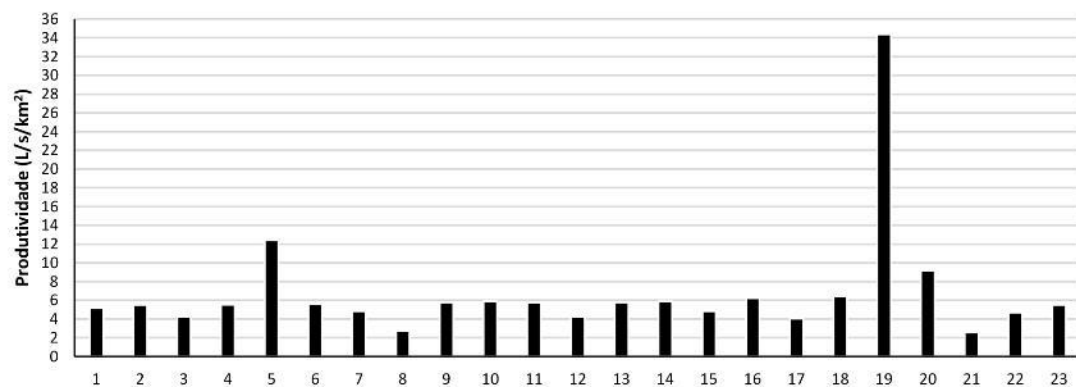
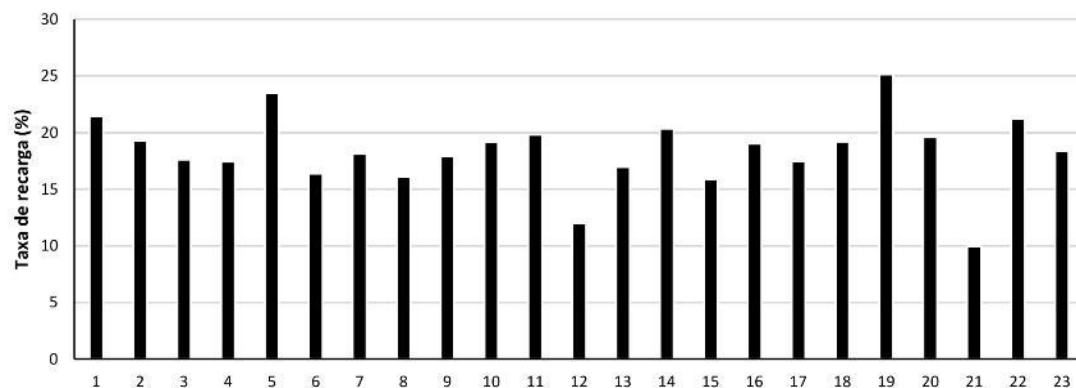
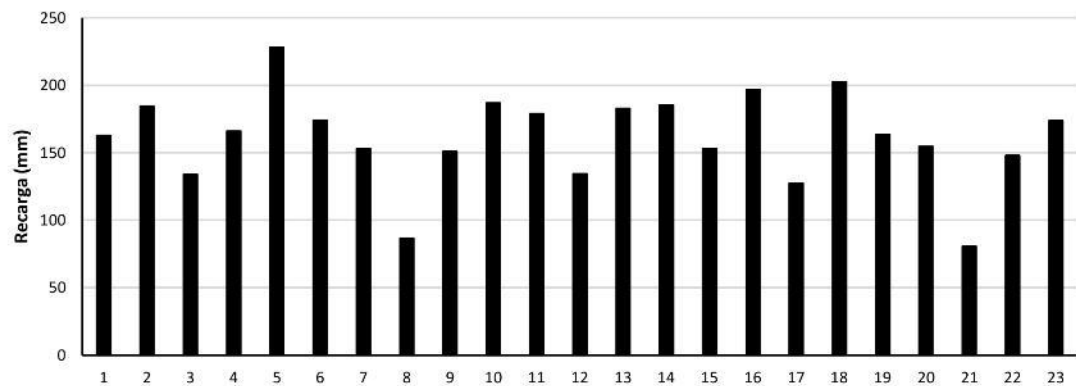
+ : Influência positiva no valor calculado neste projecto vs . PGRH2  
 - : Influência negativa no valor calculado neste projecto vs . PGRH2  
 ~ : sem influência



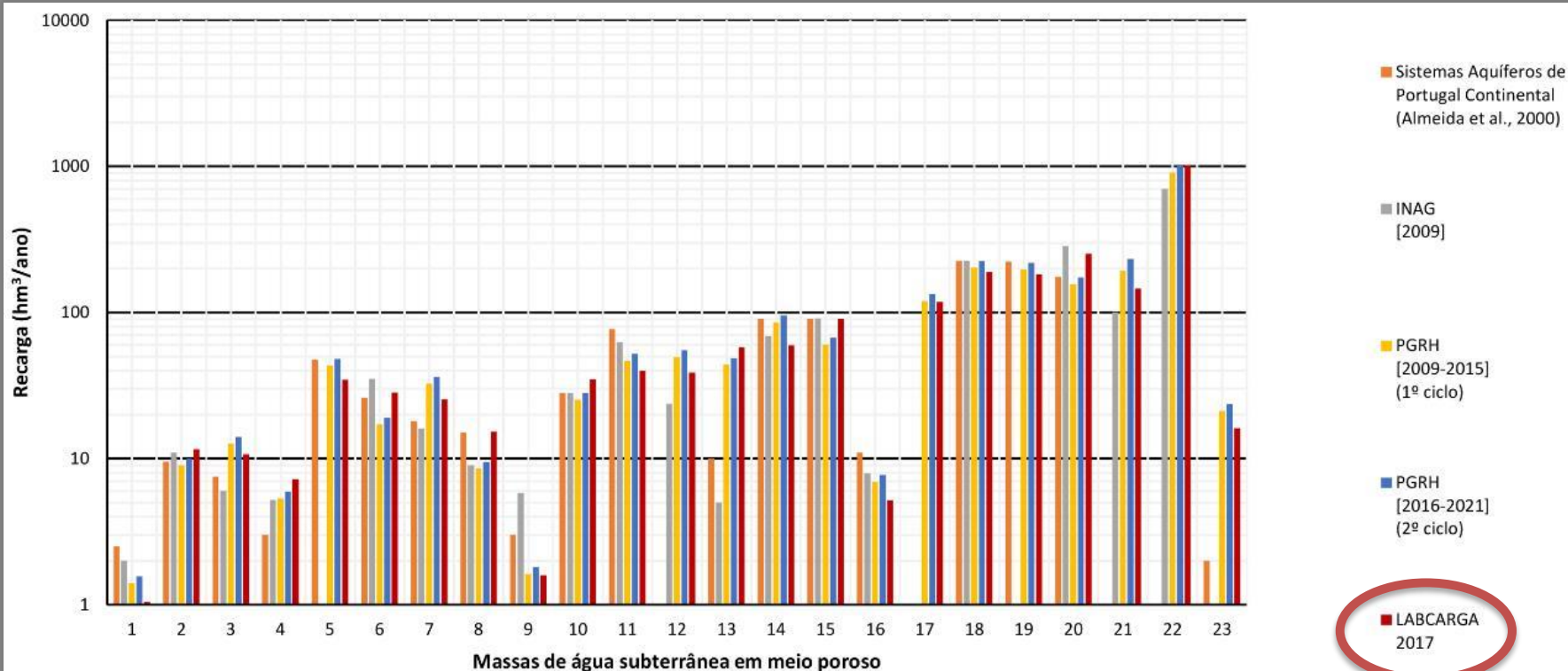
# Meio hidrogeológico poroso



1- Paço; 2 - Figueira da Foz Gesteira; 3 - Torres Vedras; 4 - Pousos-Caranguejeira; 5 - Aluviões do Mondego; 6 - Tentúgal; 7 - Caldas da Rainha - Nazaré; 8 - Elvas-Campo Maior; 9 - Condeixa-Alfarelos; 10 - Viso-Queridas; 11 - Leirosa-Monte Real; 12 - Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Vouga; 13 - Ourém; 14 - Vieira de Leiria - Marinha Grande; 15 - Lourical; 16 - Cretácico de Aveiro; 17 - Bacia do Tejo- Sado - Indiferenciado da Bacia do Tejo; 18 - Quaternário de Aveiro; 19 - Aluviões do Tejo; 20 - Bacia do Tejo-Sado/Margem Direita; 21 - Orla Ocidental - Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste; 22 - Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda; 23 - Alpedriz



# Meio hidrogeológico poroso



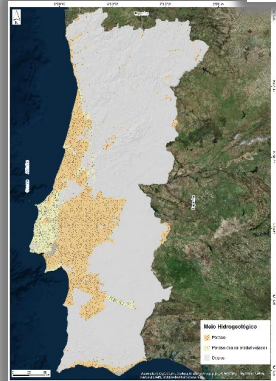
1- Paço; 2 - Figueira da Foz Gesteira; 3 - Torres Vedras; 4 - Pousos-Caranguejeira; 5 - Aluviões do Mondego; 6 - Tentúgal; 7 - Caldas da Rainha - Nazaré; 8 - Elvas-Campo Maior; 9 - Condeixa-Alfarelos; 10 - Viso-Queridas; 11 - Leirosa-Monte Real; 12 - Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Vouga; 13 - Ourém; 14 - Vieira de Leiria - Marinha Grande; 15 - Louriçal; 16 - Cretácico de Aveiro; 17 - Bacia do Tejo- Sado - Indiferenciado da Bacia do Tejo; 18 - Quaternário de Aveiro; 19 - Aluviões do Tejo; 20 - Bacia do Tejo-Sado/Margem Direita; 21 - Orla Ocidental - Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste; 22 - Bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda; 23 - Alpedriz



# Meio hidrogeológico poroso: factores condicionantes do valor de recarga

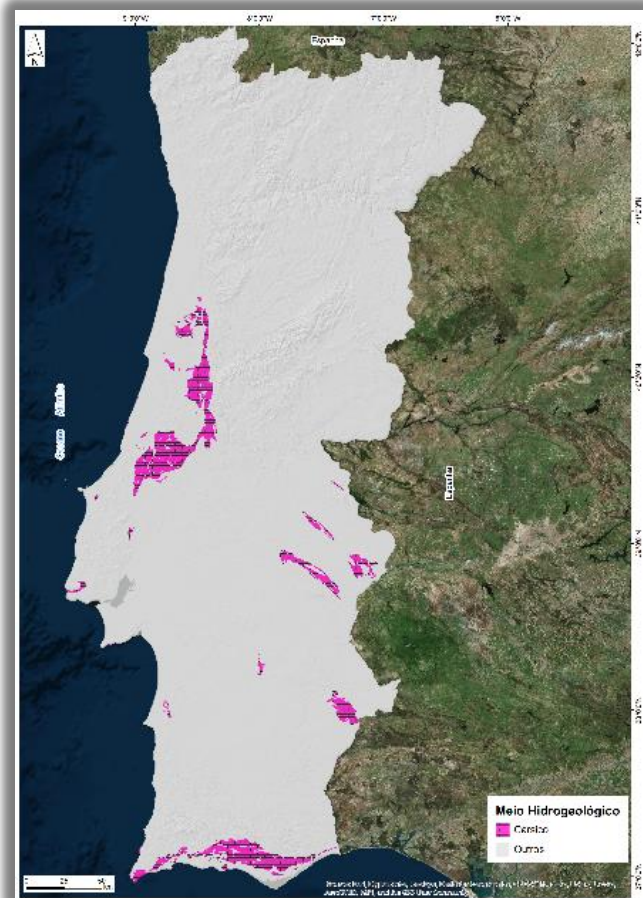
Massas de água subterrânea (M.A.)		Área (M.A.)	Cartografia geológica (escala)	Hidrogeologia (heterogeneidade)	Precipitação
Código	Designação				
O23	Paço	- - -	-	~	~
O6_C2	Aluviões do Mondego	~	-	-	~
O5	Tentúgal	~	+	+	~
O33	Caldas da Rainha - Nazaré	~	-	-	~
A11	Elvas - Campo Maior	~	++	+	~
O01RH4_C2	Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Vouga	~	-	-	-
O12	Vieira de Leiria - Marinha Grande	~	-	-	-
O2	Cretácico de Aveiro	- -	-	-	~
T1_C2	Bacia do Tejo-Sado / Margem Direita	~	+	+	~
O04RH5	Orla Ocidental - Indiferenciado das Bacias das Ribeiras do Oeste	~	-	-	~
O19	Alpedriz	~	-	-	~

+ : Influência positiva no valor calculado neste projecto vs . PGRH2  
 - : Influência negativa no valor calculado neste projecto vs . PGRH2  
 ~ : sem influência

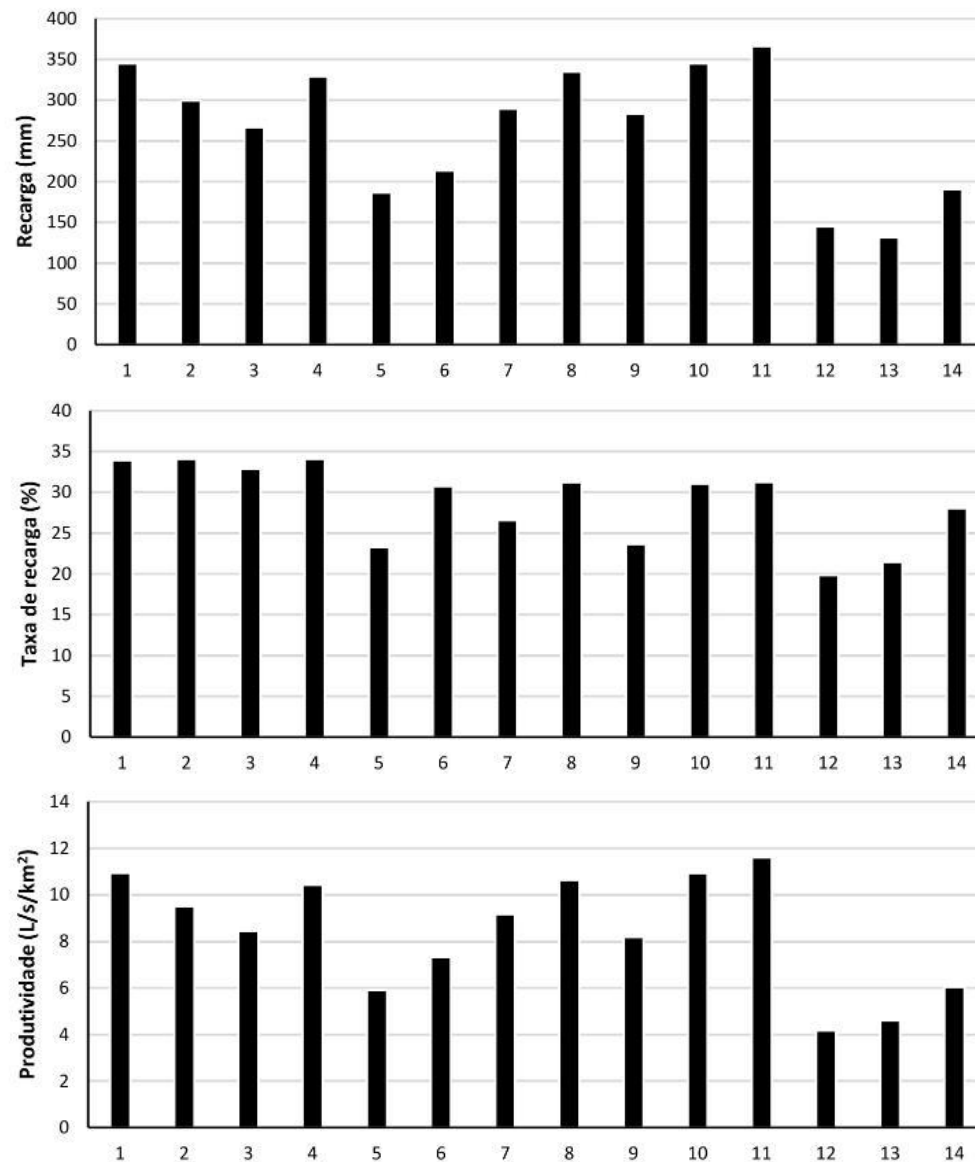




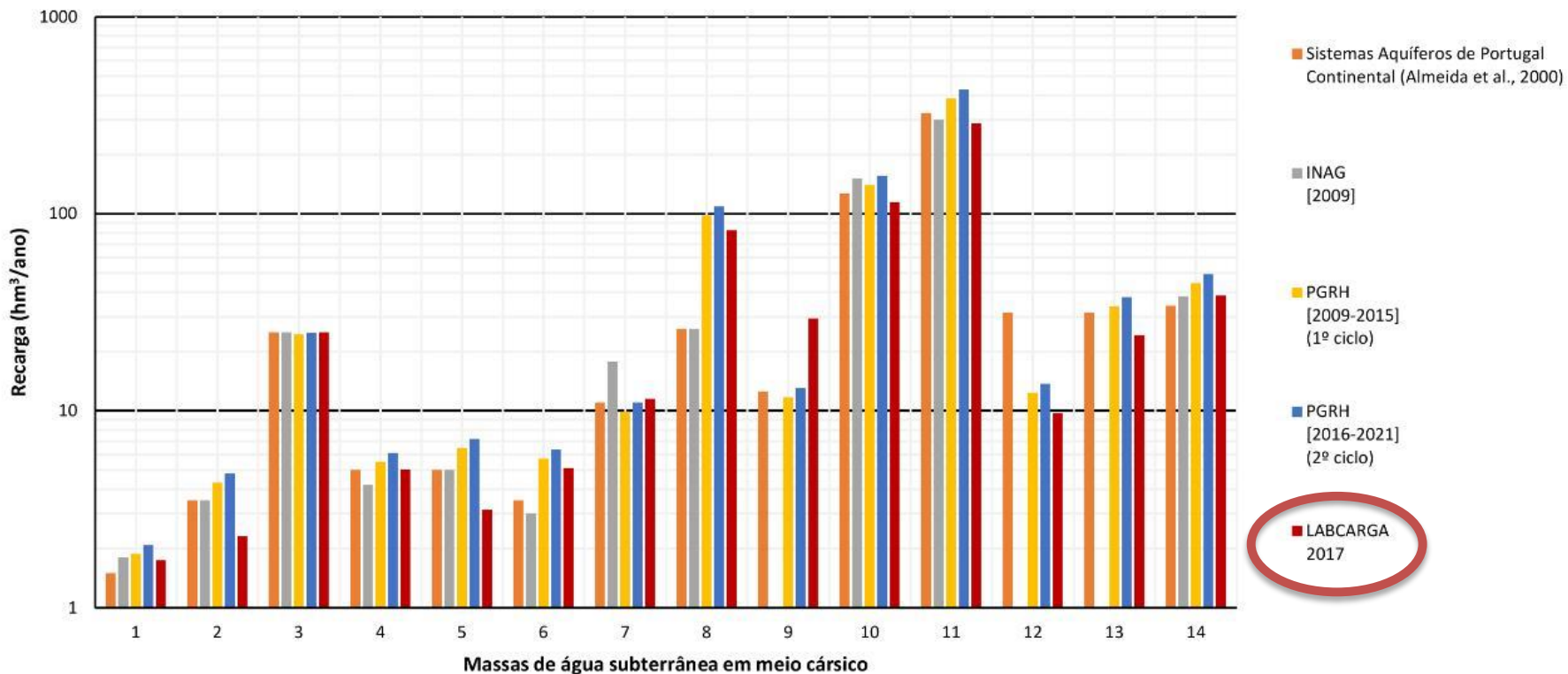
# Meio hidrogeológico cársico



1 - Maceira; 2 - Escusa; 3 - Ota-Alenquer; 4 - Verride; 5 - Cesareda; 6 - Pisões-Atrozela; 7 - Ançã-Cantanhede; 8 - Penela-Toamar; 9 - Cársico da Bairrada; 10 - Sicó-Alvaiázere; 11 - Maciço Calcário Estremenho; 12 - Sines Sul; 13 - Sines Norte; 14 - Estremoz-Cano



# Meio hidrogeológico cársico



1 - Maceira; 2 - Escusa; 3 - Ota-Alenquer; 4 - Verride; 5 - Cesareda; 6 - Pisões-Atrozela; 7 - Anã-Cantanhede; 8 - Penela-Toamar; 9 - Cársico da Bairrada; 10 - Sicó-Alvaiázere; 11 - Maciço Calcário Estremenho; 12 - Sines Sul; 13 - Sines Norte; 14 - Estremoz-Cano



**LABCARGA**  
LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA  
E GEOLOGIA APLICADA

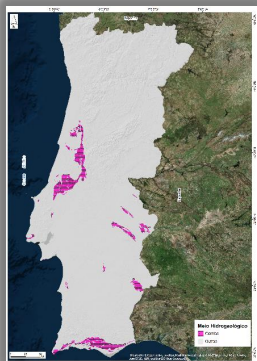


Instituto Superior de  
Engenharia do Porto

# Meio hidrogeológico cársico: factores condicionantes do valor de recarga

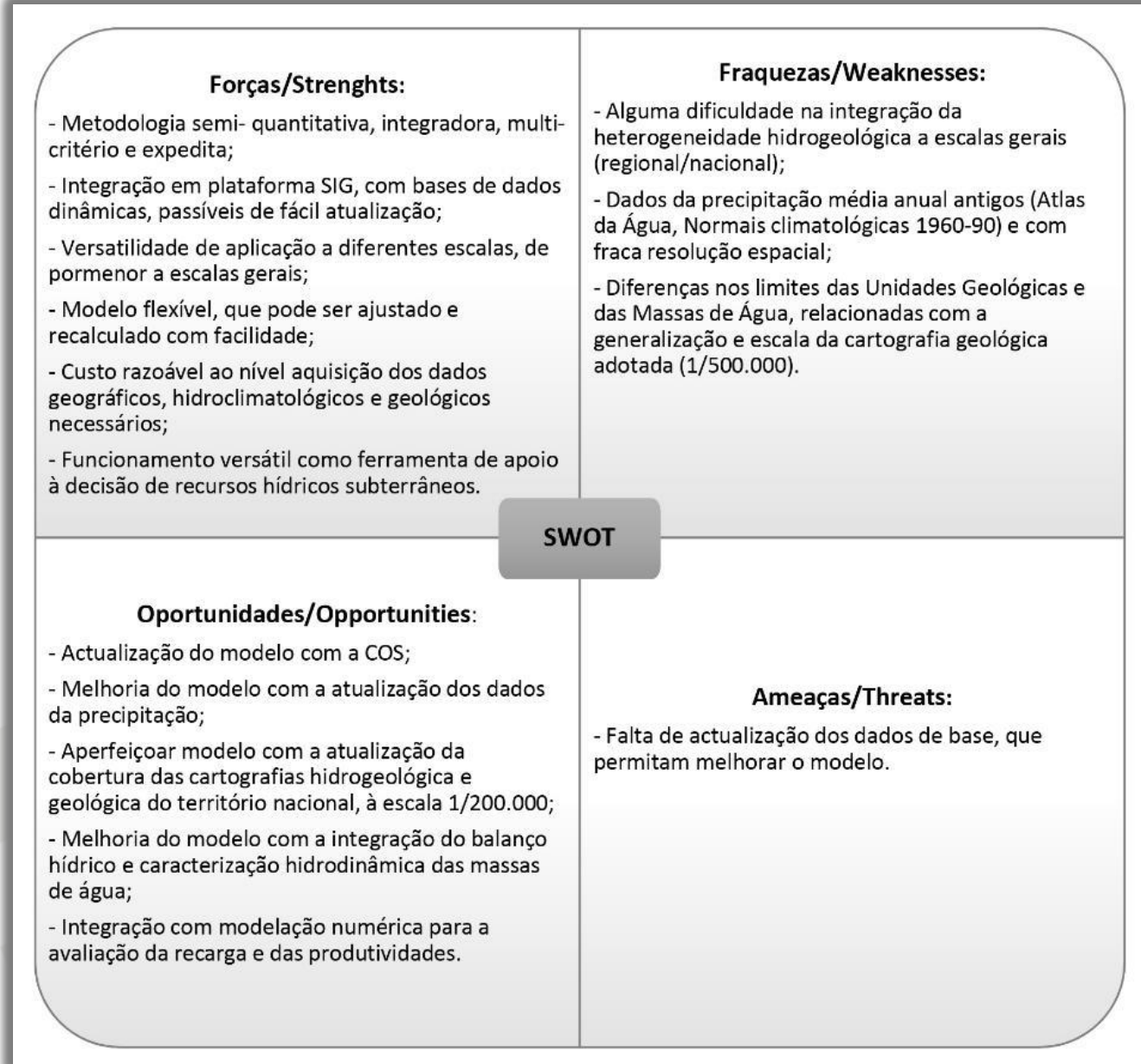
Massas de água subterrânea (M.A.)		Área (M.A.)	Cartografia geológica (escala)	Hidrogeologia (heterogeneidade)	Precipitação
Código	Designação				
A2	Escusa	--	-	-	~
O24	Cesareda	---	-	--	-
O3	Cársico da Bairrada	+	++	+	~
O11_C2	Sicó - Alvaiázere	~	--	--	~
O20_C2	Maciço Calcário Estremenho	~	--	--	~
O35	Sines Sul	~	-	-	~
O34	Sines Norte	~	-	-	~

+ : Influência positiva no valor calculado neste projecto vs . PGRH2  
 - : Influência negativa no valor calculado neste projecto vs . PGRH2  
 ~ : sem influência





# Dificuldades de implementação – Uma Análise SWOT



# Conclusões I

- Foi aplicada uma **metodologia multi-critério, expedita e integradora (Índice do Potencial de Infiltração, IPI)** para a **avaliação da recarga** dos meios hidrogeológicos com o intuito de **avaliar o estado quantitativo das massas de água subterrânea**;
- Foi estimado o **valor de recarga regional** para as massas de água subterrânea e realizada a **análise crítica** dos resultados obtidos;
- A informação foi sistematizada através do “**Boletim de Recarga das Massas de Água Subterrânea**”, contendo as **fichas de recarga de massa de água**.



## Conclusões II

### Em síntese:

**Foi desenvolvida**, com base no atual conhecimento científico, uma metodologia harmonizada a nível nacional, dotando a APA de uma *ferramenta SIG de apoio à decisão* que permite **estimar os valores da recarga actual, e as do futuro** tendo em conta as variabilidades e alterações climáticas... *definição (pixel) 25 m...*





# Recomendações

- necessidade de **obtenção de cartografia** (vectorial) **actualizada** para evitar generalizações, distorções e reduções de escala;
- recolha de **dados hidrogeológicos, balanços oferta-procura, modelação conceptual e numérica;**
- **actualização sistemática do “Boletim de Recarga das Massas de Água Subterrânea”** (hidroclimatologia, geologia, hidrogeomorfologia, hidrogeologia, etc.)

# Agradecimentos

- **APA – Agência Portuguesa do Ambiente**

Dr.ª Ana Rita Lopes

Dr.ª Rosário Jesus

Eng.ª Sofia Batista

- **Rios e Aquíferos Lda**

Eng.ª Ricardina Fialho

Dr. José Ferreira

- **FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa**

Prof.ª Doutora Rosário Carvalho

Prof. Doutor Carlos Costa Almeida

- **Inúmeros colegas geólogos, engenheiros e técnicos da academia, indústria e agências que generosamente partilharam elementos diversos e perspectivas...**

**Bem-hajam !**

+ info: [labcarga@isep.ipp.pt](mailto:labcarga@isep.ipp.pt)

Colaboração técnico-científica:



**LABCARGA**  
LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA  
E GEOLOGIA APLICADA



Instituto Superior de  
Engenharia do Porto