

# ECOTOXICOLOGIA

Isabel Caçador

Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

Índice de Saprobicidade



# Saprobicidade

## Consumo de água pelo Homem:

<50l/dia – sociedade primitiva

> 50l/dia – sociedade altamente industrializada

Grande parte é diariamente rejeitada para o ambiente, sob a forma de efluentes

Exemplo de um rio:

Resíduos orgânicos

Metais pesados

Biocidas

Detergentes

Derivados do petróleo

Nutrientes em excesso e ainda....

Calor, microrganismos patogénicos e radioactividade



## E ainda poluentes orgânicos

Hidrocarbonetos

Inseticidas

Compostos fenólicos

Oxigênio dissolvido

Radioatividade e elementos radioativos

Antissépticos; Cl, O<sub>3</sub>, iodo, etc.



## Os bioensaios ao longo do tempo

Sec. IV aC Aristóteles primeiros ensaios

Sec. XVI Paracelsus fundamento à Toxicologia e Farmacologia

Sec. XX Avaliação da toxicidade de efluentes

Década de 50 Consciencialização de riscos ecológicos

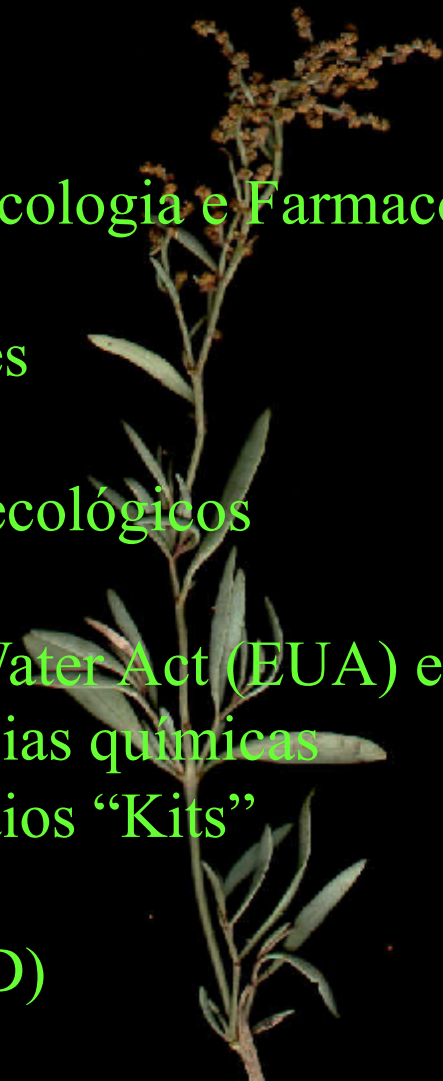
Década de 60 Ensaios com peixes

Década de 70 Agências ambientais; Clean Water Act (EUA) etc

Década de 80 Métodos de análise de substâncias químicas

Década de 90 Desenvolvimento e microensaios “Kits”

Século XXI Directiva quadro da Água (WFD)



# Os bioensaios aplicados a

Matrizes sólidas e líquidas

Substâncias

Águas naturais

Águas residuais

Resíduos sólidos

Solos

Sedimentos



## Os bioensaios aplicados a

Águas naturais e residuais são misturas complexas

Variabilidade das amostras (Local, temperatura, processo)

Alteração das amostras (cuidados e tempo de conservação)

Compatibilidade com as condições de ensaio

pH, Meio de diluição, temperatura e tempo de exposição



# Tipos de ensaios de ecotoxicidade

Toxicidade

Bioacumulação

Persistência (Biodegradabilidade)

Período de exposição

Agudos

Crônicos

Renovação do meio

Estáticos

Semiestáticos

Contínuos



## Efeitos

Letais (critério: mortalidade)

Subletais (critério: imobilidade)

Inibição do crescimento

Inibição da reprodução

Inibição metabólica

Alteração do comportamento/alterações genéticas

## Nível de organização

Indivíduo

População

Comunidade





## Organismos mais utilizados

Bactérias

Peixes

Algas

Plantas aquáticas

Bivalves

Crustáceos



## Bioensaios e Normalização

Necessidade de garantia de Qualidade dos metodos

No laboratório:

Utilização de substâncias de Referencia)

Ensaio interlaboratoriais

Procedimentos normalizados

Protocolo experimental preciso

Domínio de aplicação definido

Termos de validação impostos



# **Normalização**

**As normas fixam**

**Definições**

**Características**

**Dimensões**

**Qualidades**

**Métodos de ensaio**

**Regras de Utilização**

**Organismos de Normalização**

**Internacionais (p.e. ISO)**

**Nacionais (p.e. IPQ)**



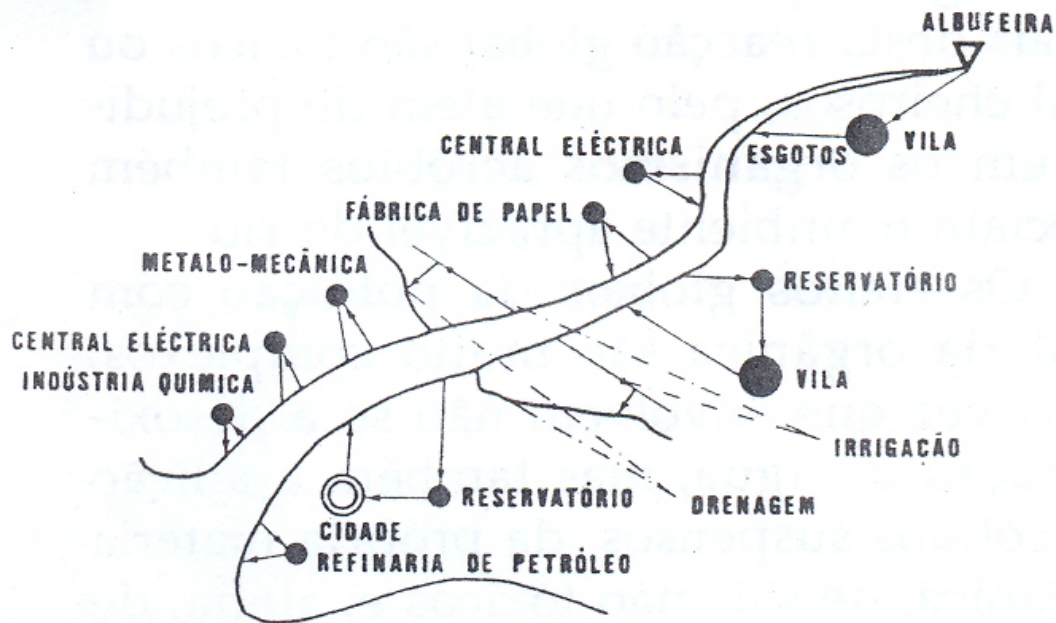
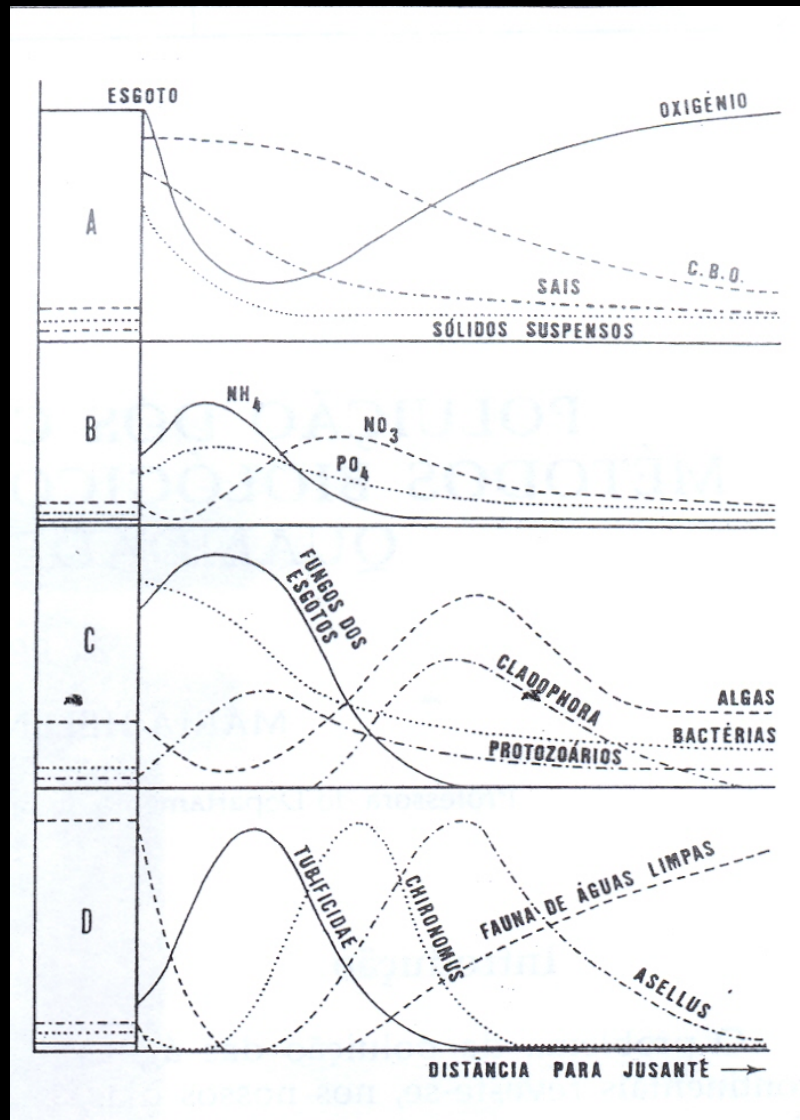
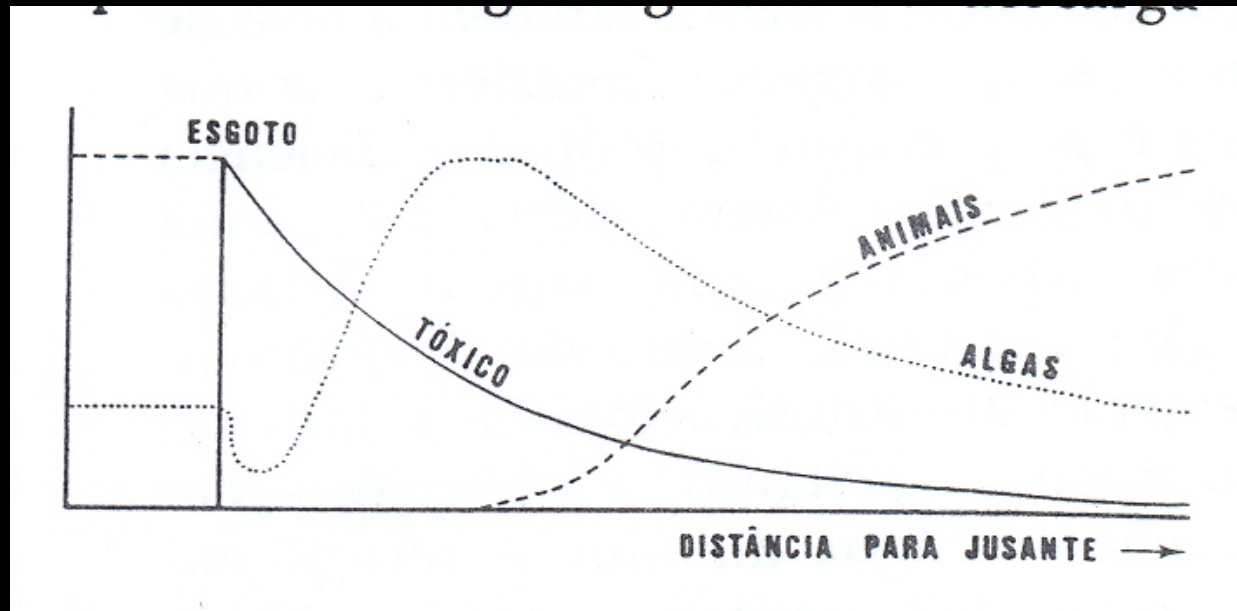


Fig. 1 - Um rio típico numa região industrializada e densamente povoada.  
(Adaptado de JAMES, 1978).

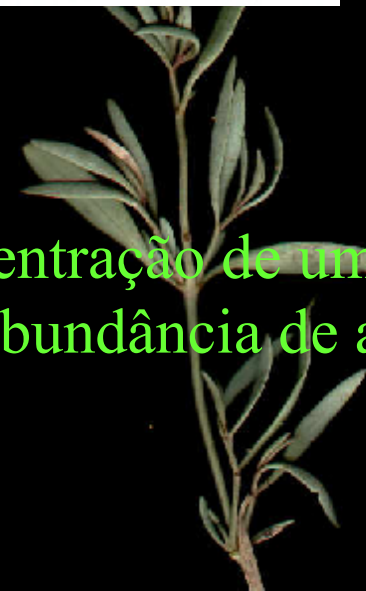
**Um rio típico numa região industrializada e densamente povoada**



Representação gráfica dos efeitos de um efluente orgânico num rio. A e B: alterações físicas e químicas, C: alterações nos microrganismos D: alterações nos animais de maiores dimensões



Representação gráfica da diminuição da concentração de um tóxico num rio e das correspondentes alterações na abundância de algas e de espécies animais



Para assegurar a qualidade da água é necessário recorrer a uma grande diversidade de métodos analíticos que incluem a utilização de:

Electodos específicos

Métodos colorimétricos

Gravimétricos

Titulimétricos

Espectrofotometria

Absorção atómica

Cromatografia

e outros



# Métodos de controlo da qualidade da água

Métodos Químicos

Métodos Biológicos

Métodos Microbiológicos





## Parâmetros utilizados na descrição da qualidade físico-química da água:

- organolépticos-cor, cheiro, gosto, turbidez
- sólidos em suspensão/sólidos dissolvidos

## Medidas físico-químicas com:

pH

Condutividade eléctrica

Temperatura

Acidez/alcalinidade

Várias formas de azoto

Oxigénio

CBO (carência bioquímica de  $O_2$ )

Doseamento de aniões (anidrido carbónico, ácido fosfórico, cloretos, nitratos, sulfatos, sílica) e

doseamento de catiões (cálcio, magnésio, sódio, potássio, metais pesados)



Métodos biológicos

Caracterização da fauna e da flora

Material necessário: Microscópio  
Lupa



## Métodos microbiológicos

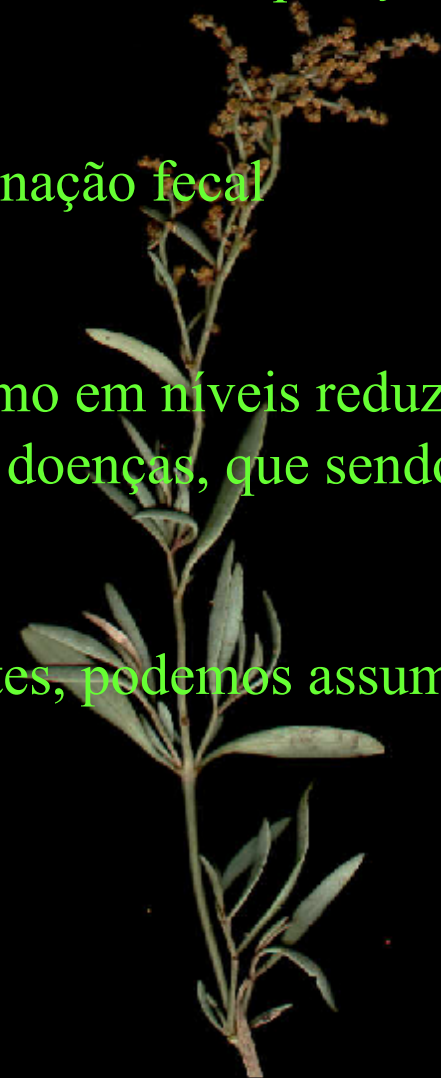
A comunidade microbiológica tem papel fundamental na decomposição da matéria orgânica e na reciclagem de nutrientes.

Pesquisa de bactérias e vírus indicadores de contaminação fecal

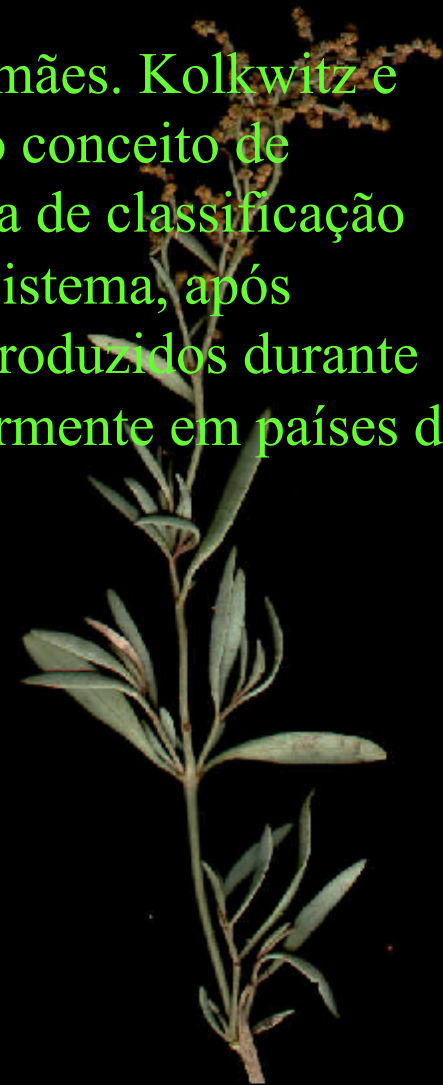
Ex: *Escherichia coli*

A sua presença permite detectar poluição fecal, mesmo em níveis reduzidos e alertar para a presença de organismos causadores de doenças, que sendo menos abundantes são pois mais difíceis de detectar.

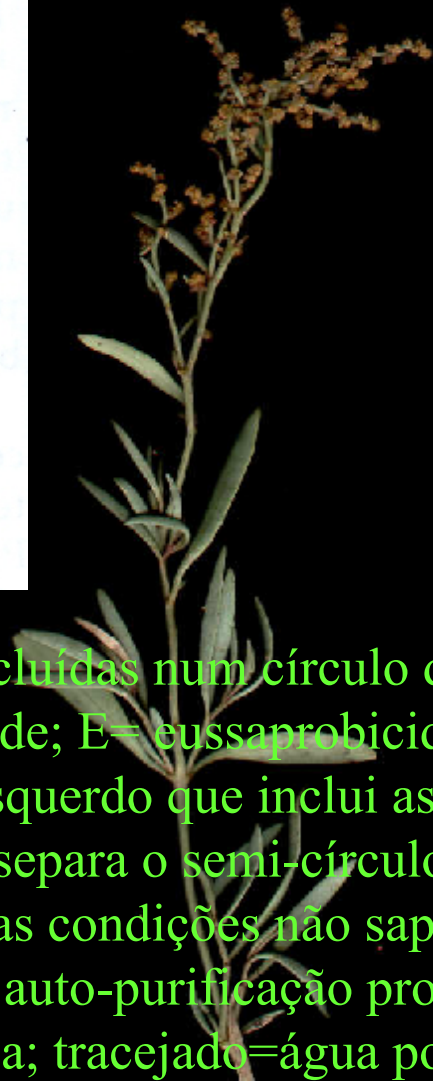
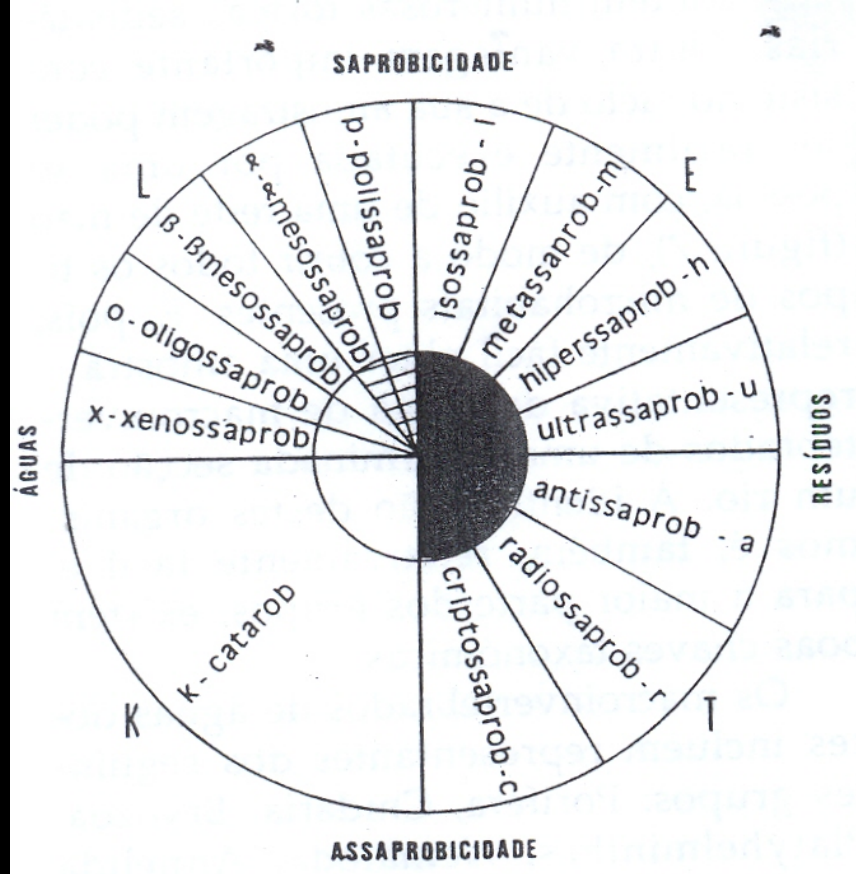
Se os indicadores de poluição fecal estiverem ausentes, podemos assumir que os organismos patogénicos também estarão.



No início do século XX (1902), dois cientistas alemães, Kolkwitz e Marson, contribuíram de um modo decisivo para o conceito de indicador biológico da poluição, através do sistema de classificação das águas denominado “sistema sapróbico”. Este sistema, após sucessivos melhoramentos e desenvolvimentos introduzidos durante este século, ainda hoje é muito utilizado, particularmente em países da Europa Central



Vladimir Sládecek,  
1963



Sistema da qualidade da água. Todas as águas podem ser incluídas num círculo dividido em 4 quadrantes: K= catarobicidade; L= limnossaprobicidade; E= eussaprobicidade; T= transsaprobicidade; A linha vertical separa o semi-círculo esquerdo que inclui as “águas”, do direito que corresponde aos resíduos. A linha horizontal separa o semi-círculo superior que corresponde a condições sapróbicas, do inferior, que inclui as condições não sapróbicas (assapróbicas). O valor do C.B.O. aumenta desde x até u. A auto-purificação processa-se de u para a esquerda. No círculo interior: branco=água limpa; tracejado=água poluída; preto= resíduos (Moreira, 1991)

# Tabela para a determinação do índice biótico do Trent e do índice biótico alargado

Tabela para determinação do índice biótico do Trent e do índice biótico alargado

ÍNDICE BIÓTICO ALARGADO		Número total de grupos presentes									
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41+
ÍNDICE BIÓTICO DO TRENT		Número total de grupos presentes									
		0-1	2-5	6-10	11-15	16+					
		Índice biótico									
Ninfas de Plecoptera presentes	Mais que uma espécie	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Apenas uma espécie	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ninfas de Ephemeroptera presentes (excluindo <i>Baetis rhodani</i> )	Mais que uma espécie	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Apenas uma espécie	-	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Larvas de Trichoptera ou <i>Baetis rhodani</i> presentes	Mais que uma espécie	-	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Apenas uma espécie	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Gammarus</i> presente	Todas as espécies indicadas acima ausentes	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Asellus</i> presente	Todas as espécies indicadas acima ausentes	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tubificidae e/ou larvas vermelhas de Chironomidae presentes	Todas as espécies indicadas acima ausentes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Todas as espécies indicadas acima ausentes	Alguns organismos tais como <i>Eristalis tenax</i> que não requerem oxigénio dissolvido podem estar presentes	0	1	2	-	-	-	-	-	-	-

Os grupos considerados são os seguintes:

1. Cada espécie de Platyhelminthes
2. Annelida excluindo *Nais*
3. *Nais*
4. Cada espécie de Hirudinea
5. Cada espécie de Mollusca
6. Cada espécie de Crustacea
7. Cada espécie de Plecoptera
8. Cada género de Ephemeroptera excluindo *Baetis rhodani*

9. *Baetis rhodani*
10. Cada família de Trichoptera
11. Cada espécie de Neuroptera (larvas)
12. Família Chironomidae excepto *Chironomus thummi* (=riparious)
13. *Chironomus thummi*
14. Família Simuliidae
15. Cada espécie de outras larvas de Diptera
16. Cada espécie de Coleoptera
17. Cada espécie de Hydracarina

# ECOTOXICOLOGIA

Isabel Caçador

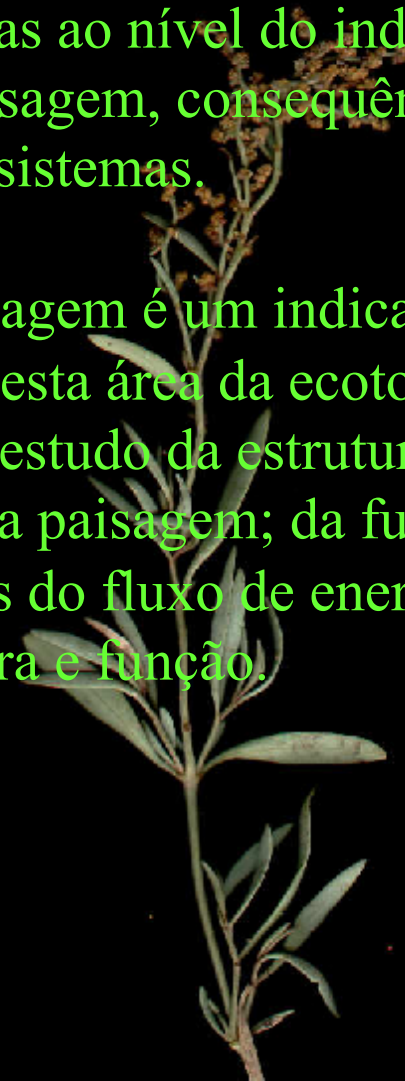
Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

Ecotoxicologia da paisagem



Os processos naturais ocorrem muitas vezes não apenas ao nível do indivíduo, da comunidade ou do ecossistema, mas da própria paisagem, consequência do movimento dos poluentes através dos diferentes ecossistemas.

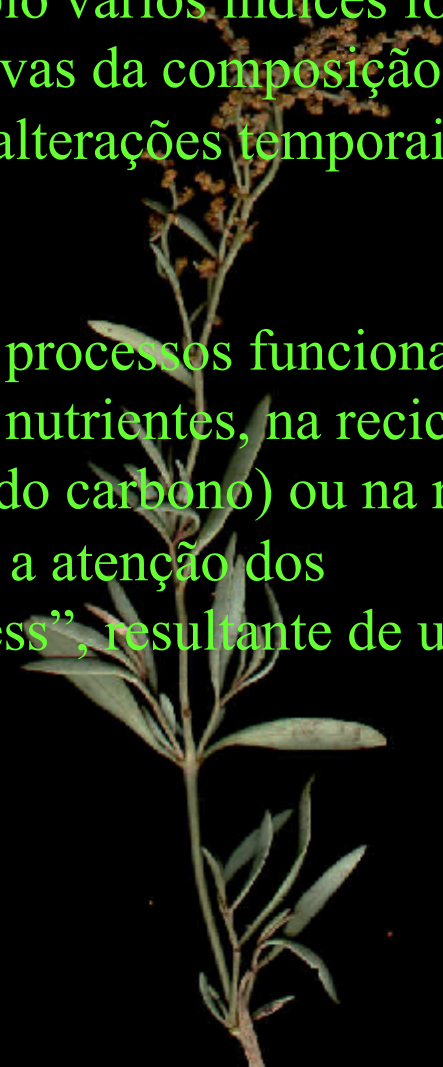
**A ecotoxicologia da paisagem**, em que a própria paisagem é um indicador é uma área da ecotoxicologia em franco desenvolvimento. Nesta área da ecotoxicologia pretende-se analisar o efeito dos poluentes através do estudo da estrutura da paisagem - arranjo espacial dos ecossistemas dentro da paisagem; da função da paisagem - interacção entre os ecossistemas através do fluxo de energia, materiais e organismos e das alterações da sua estrutura e função.





A abundância das espécies numa comunidade não perturbada (normal) tenderá a assumir uma distribuição normal, enquanto que espécies raras ocorrerão em número baixo. Baseados neste princípio vários índices foram desenvolvidos para permitir comparações quantitativas da composição e abundância de espécies entre comunidades ou de alterações temporais, dentro da mesma comunidade.

Menos utilizados são os estudos que se baseiam nos processos funcionais dos ecossistemas. No entanto alterações no fluxo de nutrientes, na reciclagem de nutrientes (ex. nitrificação, desnitrificação, ciclo do carbono) ou na razão produção/biomassa (P/B) começam agora a merecer a atenção dos investigadores, como potenciais indicadores de “stress”, resultante de uma eventual contaminação ambiental.



Diversos **índices de diversidade específica** têm sido desenvolvidos para numa base matemática descrever e comparar diferenças na diversidade de espécies entre habitats, e alterações temporárias num habitat.

Estes índices têm-se mostrado sensíveis a alterações no número de espécies, assim como na distribuição dos indivíduos como indicador de “stress” de uma comunidade. Em teoria um tóxico pode levar ao desaparecimento de uma dada espécie a ao possível aumento de outras consideradas “oportunistas”.

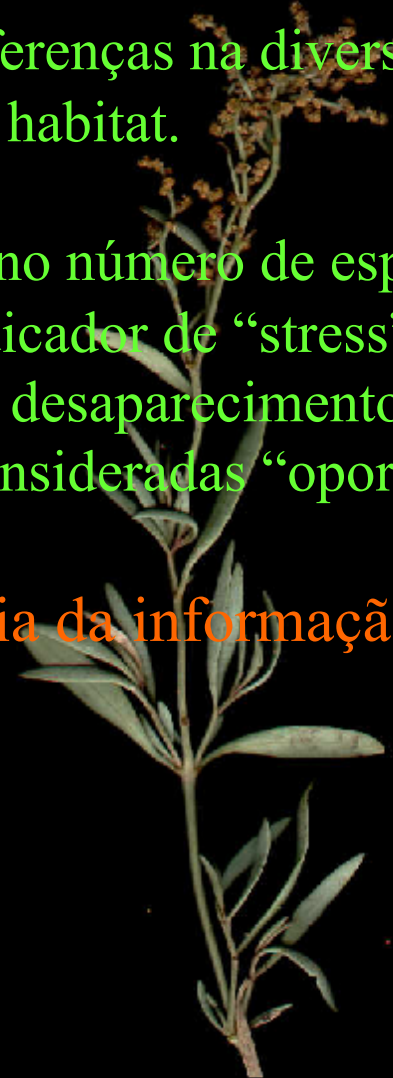
Ex Shannon-Wiener ( $H'$ ) derivado da teoria da informação, cuja expressão matemática é a seguinte:

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

Onde:

S= número de espécies

Pi= probabilidade de ocorrência da espécie i



# Estrutura e função

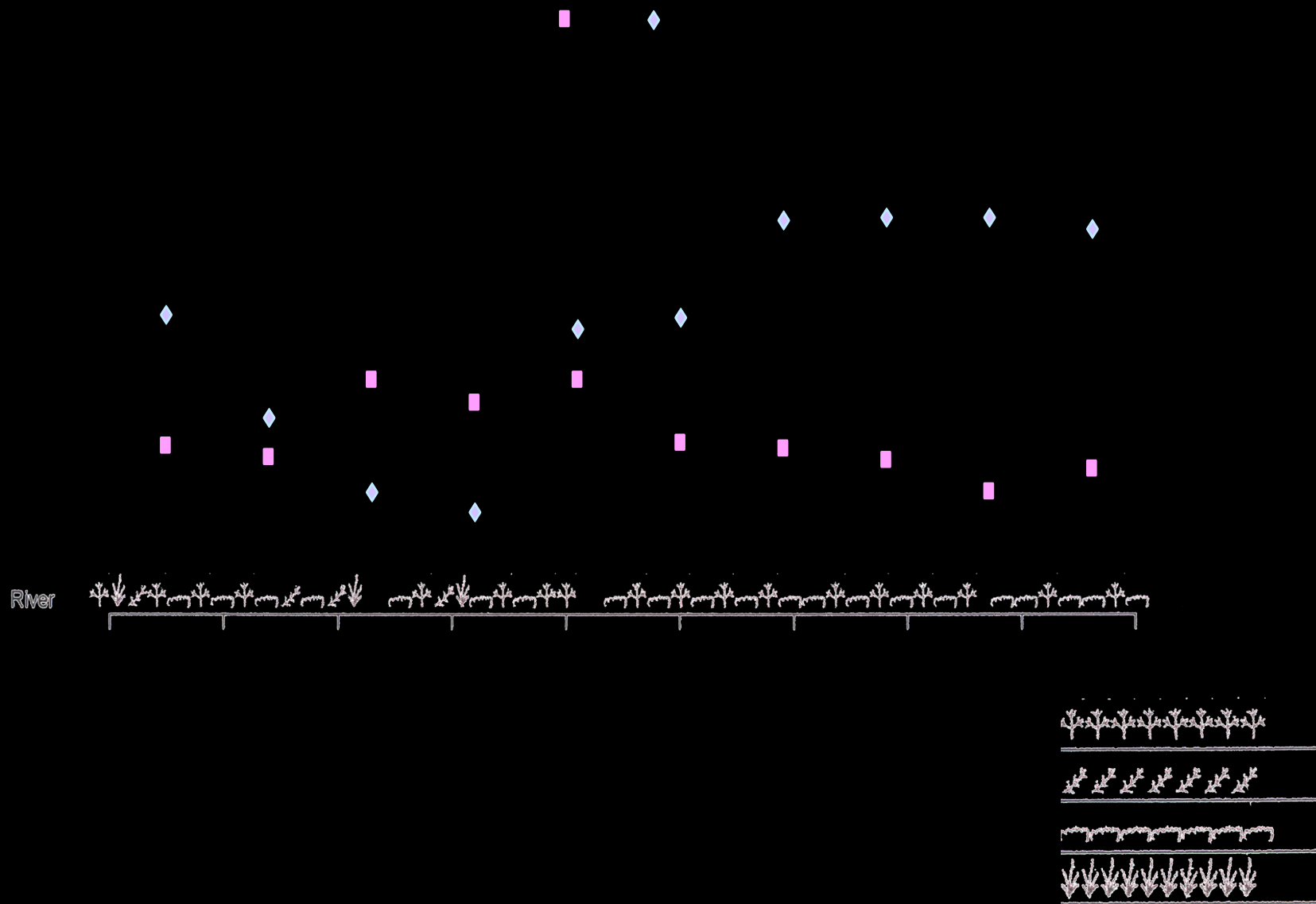
Estrutura: Composição, diversidade de espécies, tamanho das populações

Função: Processos ecológicos que caracterizam um ecossistema: Produtividade primária, ciclo de nutrientes

As comunidades de macrófitos têm sido utilizadas como bioindicadoras das condições do meio, monitoras de situações de degradação ou de recuperação da área, ou para estabelecer um dado valor conservacionista



# Transecto permanente no sapal de Corroios

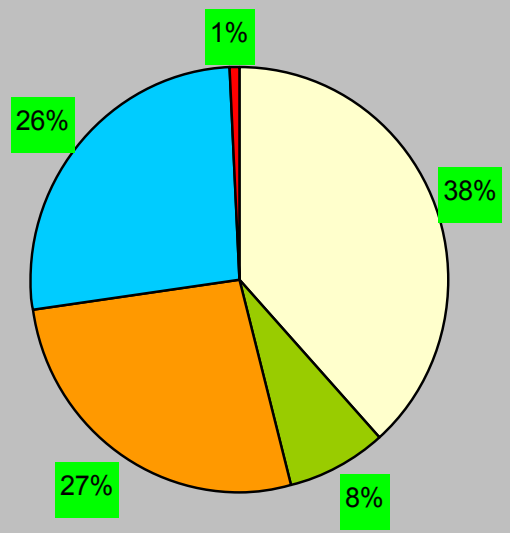
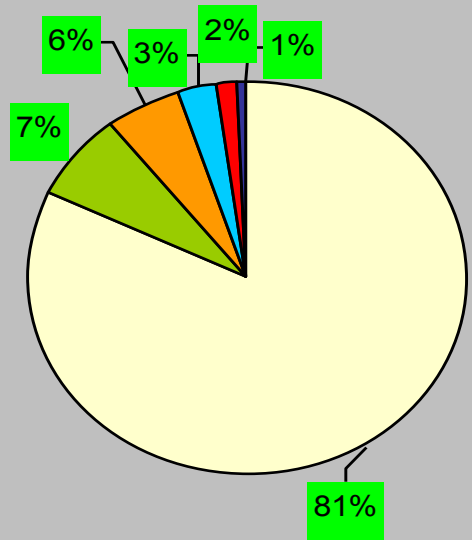


# Percentagem de cobertura relativa de espécies halófitas determinadas em 1951, 1977, 1980 e 2003 ao longo de um transecto permanente estabelecido no sapal de Corroios em 1951

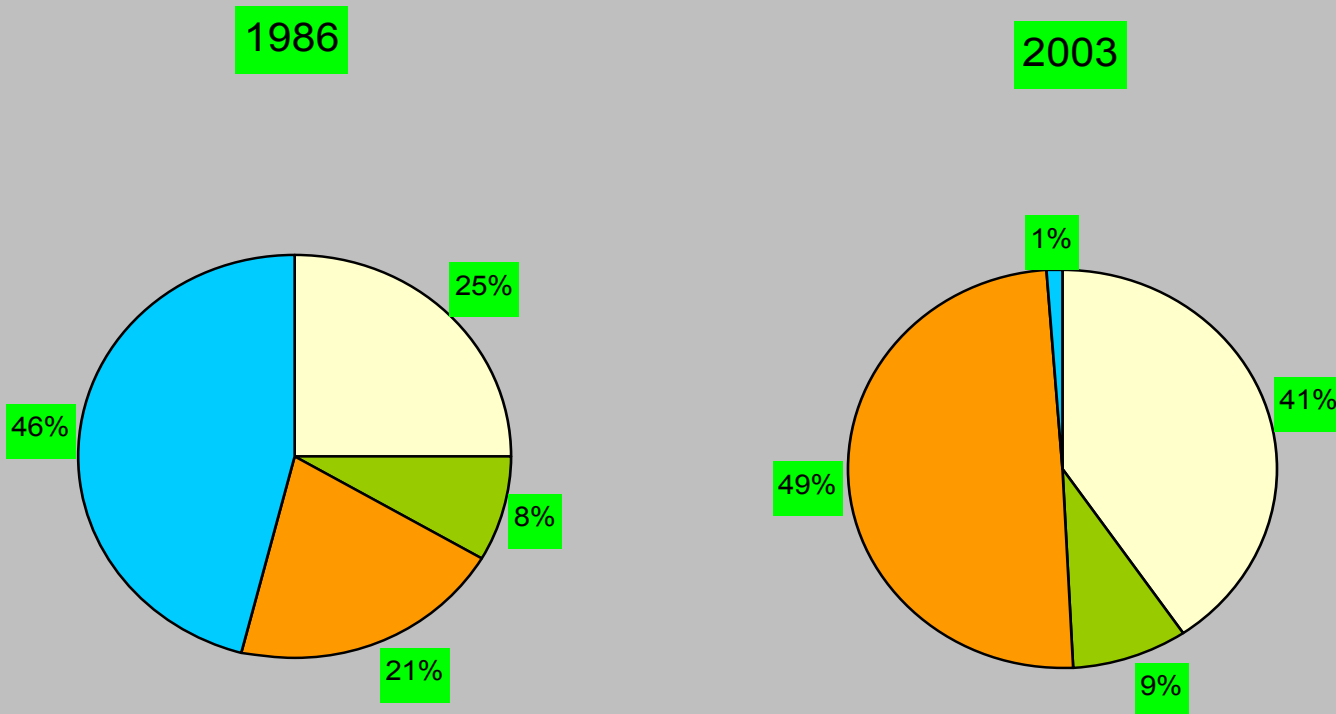
1951

1977

- *A. fruticosum*
- *A. perenne*
- *H. portulacoides*
- *S. maritima*
- *J. maritimus*
- *S. limonium*



# cobertura relativa (%) das diferentes espécies ao longo de um transecto permanente estabelecido em 1951, no sapal de Corroios

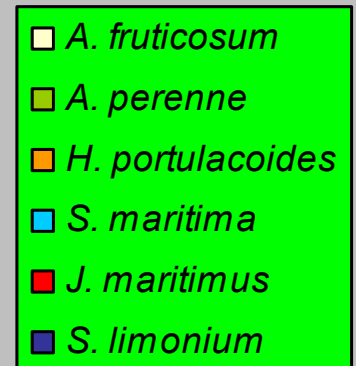


Esteves de Sousa, 1951.

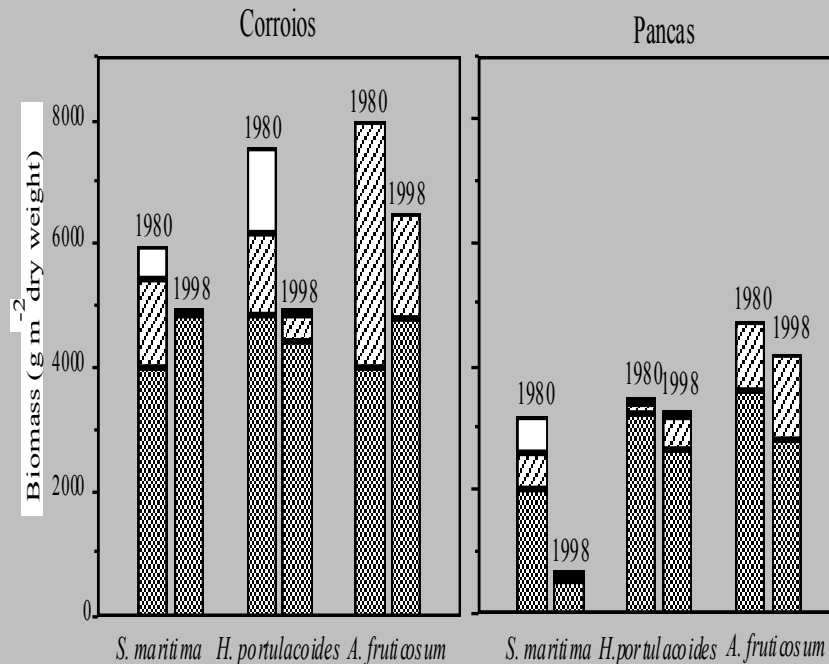
Melo, 1977

Caçador, 1986

Tibério, 2003



# Biomassa aérea e subterrânea de *Spartina maritima*, *Halimione portulacoides* e *Arthrocnemum fruticosum*, no sapal de Corroios nos anos de 1980 e 1998



Catarino & Caçador, 1980

Caçador, Mascarenhas & Mascarenhas, 1999

# Exemplo de uma métrica tendo por base a extensão do sapal

210

*M. Best et al. / Marine Pollution Bulletin 55 (2007) 205–214*

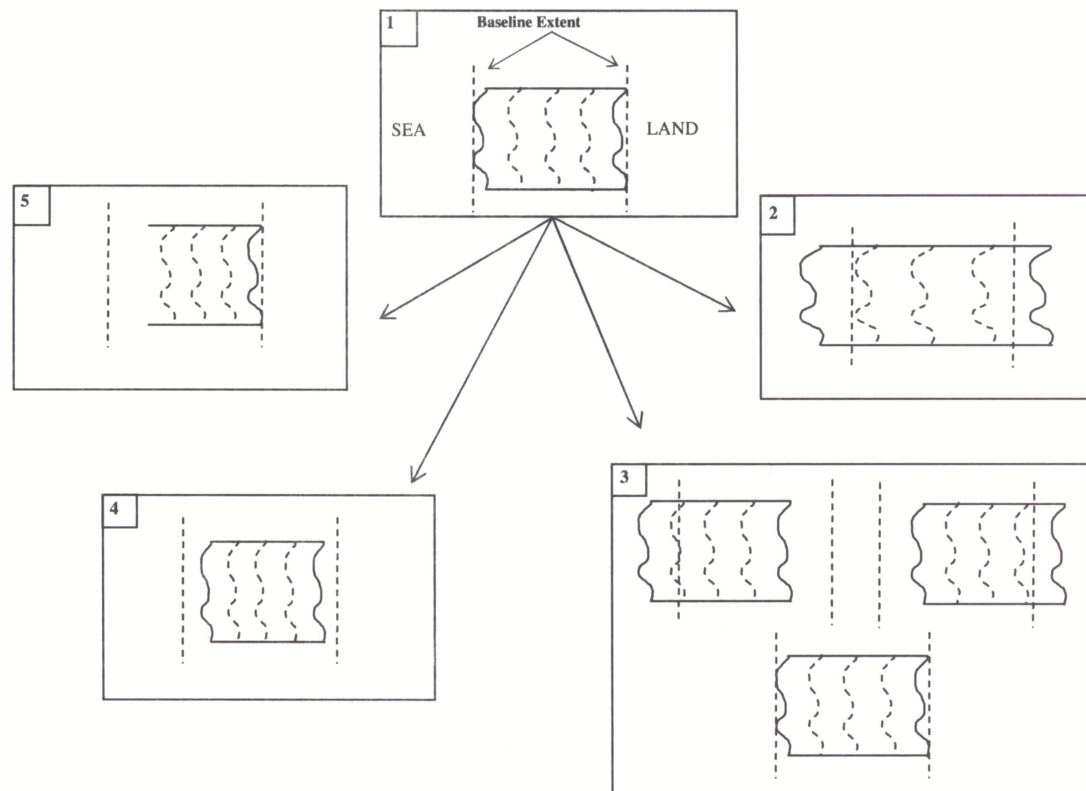
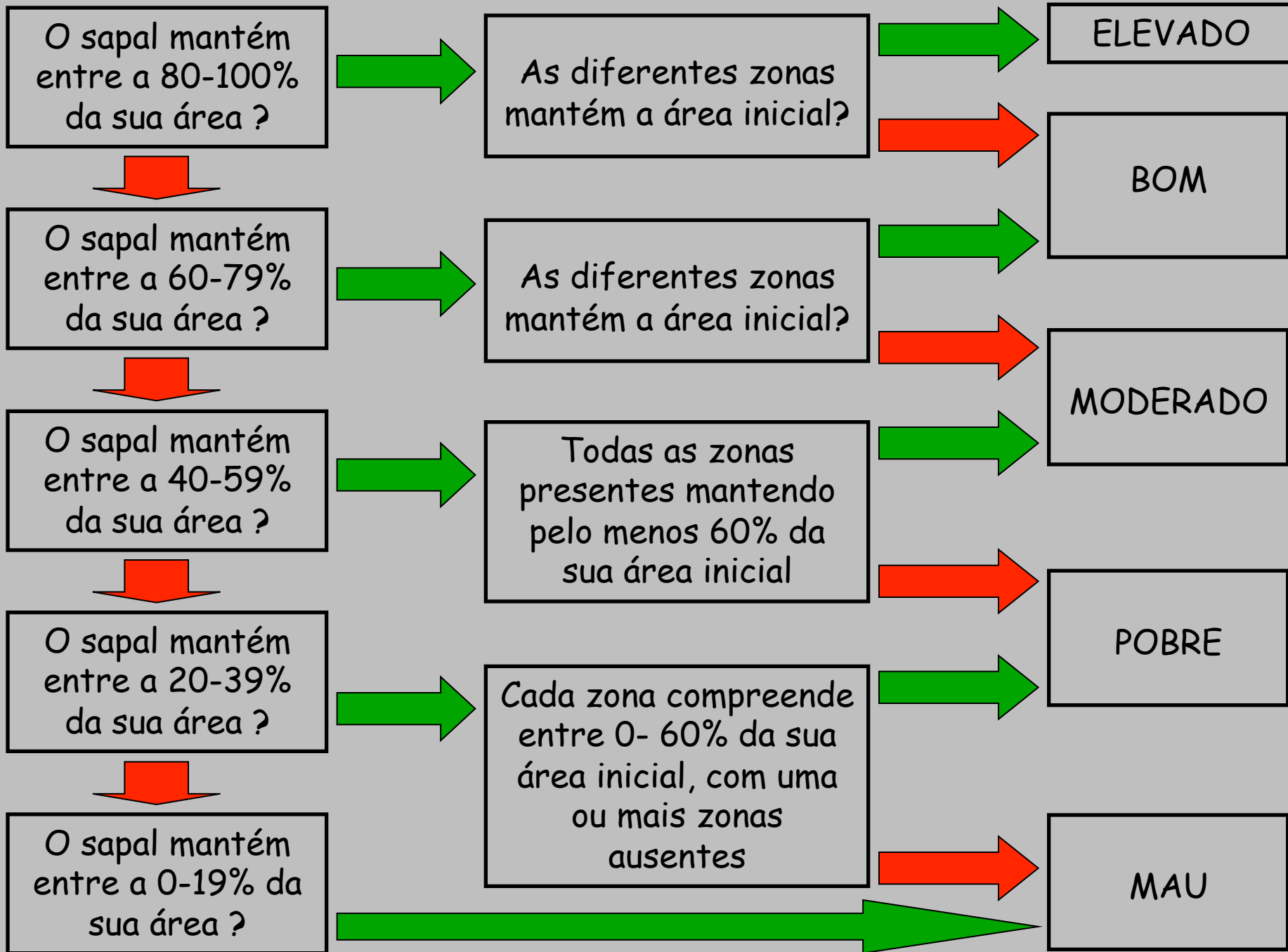


Fig. 2. (1) – Baseline marsh; (2) – Zones increasing landwards, seawards or both; (3) – Zones migrating and/or little/no change in size; (4) – Zones decreasing in size; (5) – One or more zone(s) missing. Diagrams (2) and (3) show natural patterns of saltmarsh development, whilst (4) and (5) show patterns of development expected on an impacted saltmarsh.





O sapal mantém entre a 80-100% da sua área ?

As diferentes zonas mantém a área inicial?

ELEVADO

BOM

O sapal mantém entre a 60-79% da sua área ?

As diferentes zonas mantém a área inicial?

MODERADO

O sapal mantém entre a 40-59% da sua área ?

Todas as zonas presentes mantendo pelo menos 60% da sua área inicial

POBRE

O sapal mantém entre a 20-39% da sua área ?

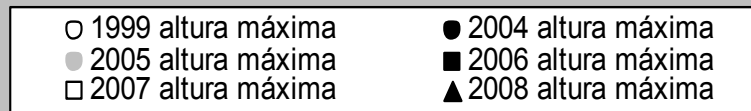
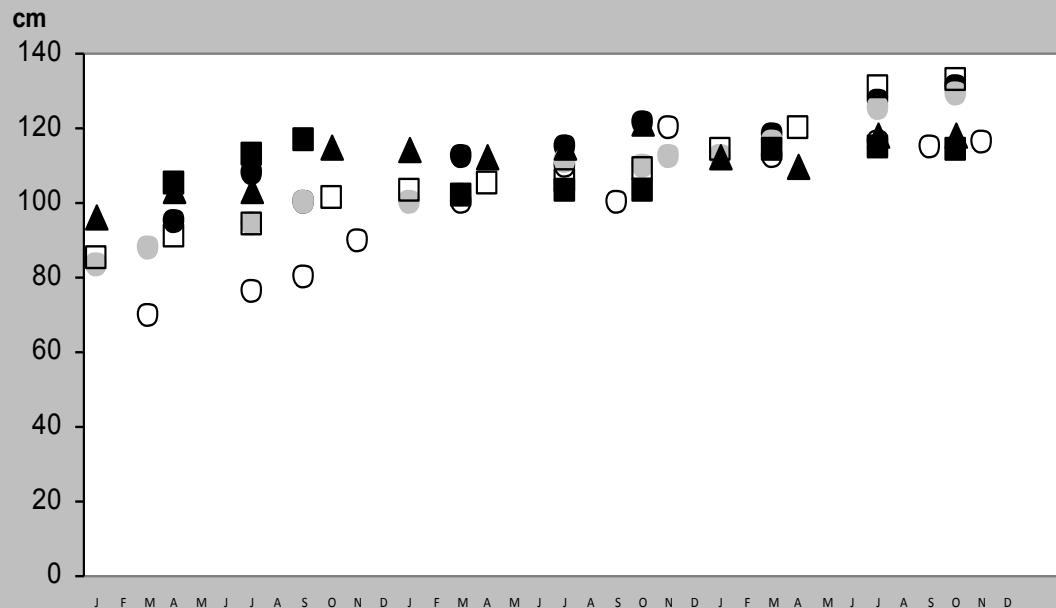
Cada zona compreende entre 0- 60% da sua área inicial, com uma ou mais zonas ausentes

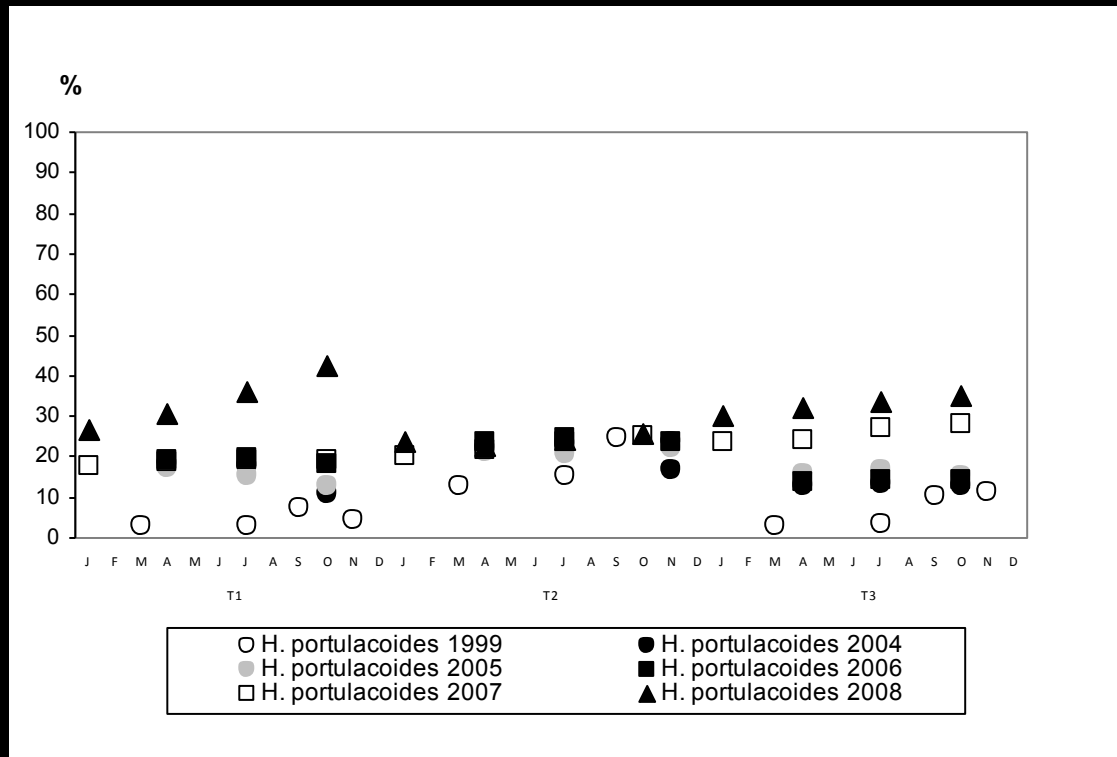
MAU

O sapal mantém entre a 0-19% da sua área ?

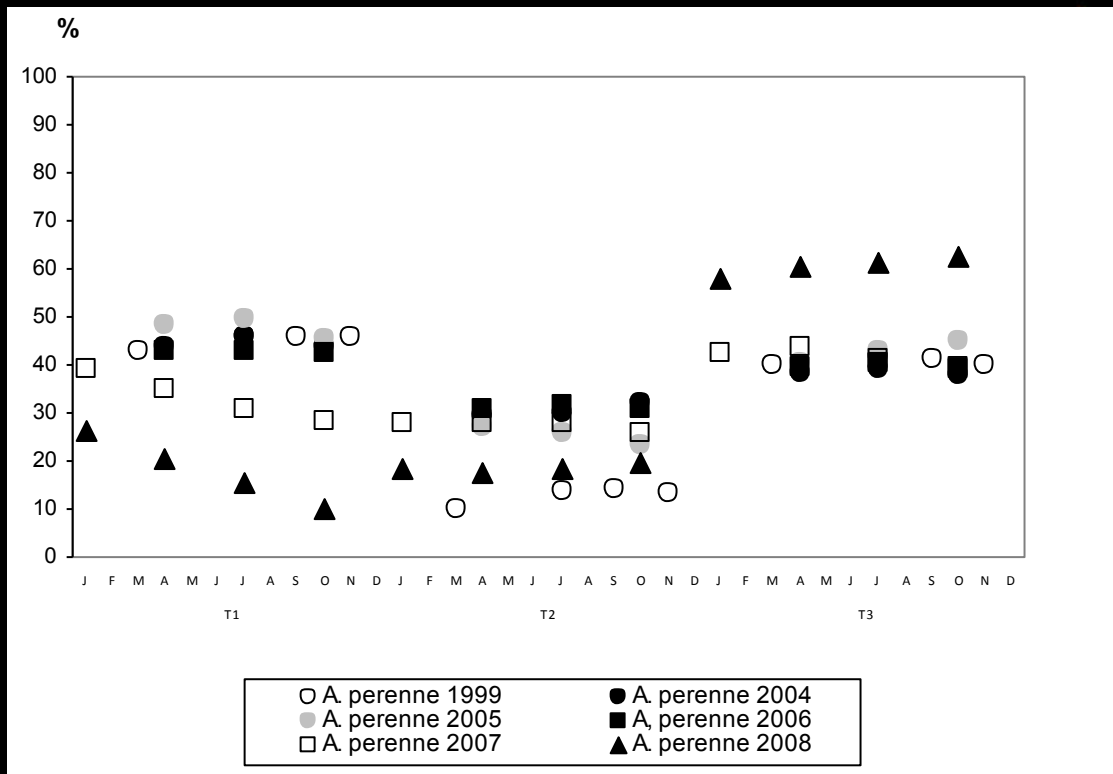
Pioneer zone	Low-mid marsh	Mid-upper marsh	
<i>Salicornia</i> spp.	<i>Puccinellia maritima</i>	<i>Festuca rubra</i>	<i>Juncus maritimus</i>
<i>Puccinellia maritima</i>	<i>Triglochin maritima</i>	<i>Juncus gerardii</i>	<i>Triglochin maritima</i>
<i>Aster tripolium</i>	<i>Plantago maritima</i>	<i>Armeria maritima</i>	<i>Blysmus rufus</i>
	<i>Atriplex portulacoides</i>	<i>Agrostis stolonifera</i>	<i>Eleocharis uniglumis</i>
	<i>Aster tripolium</i>	<i>Limonium vulgare</i>	<i>Artemisia maritima</i>
	<i>Spergularia maritima</i>	<i>Glaux maritima</i>	<i>Leontodon autumnalis</i>
	<i>Suaeda maritima</i>	<i>Seriphidium maritimum</i>	<i>Carex flacca</i>
	<i>Salicornia</i> spp.	<i>Plantago maritima</i>	<i>Carex extensa</i>
		<i>Aster tripolium</i>	

# Alturas máximas apresentadas pela vegetação ao longo dos transectos, T1, T2 e T3 nos anos de 1999 a 2008.

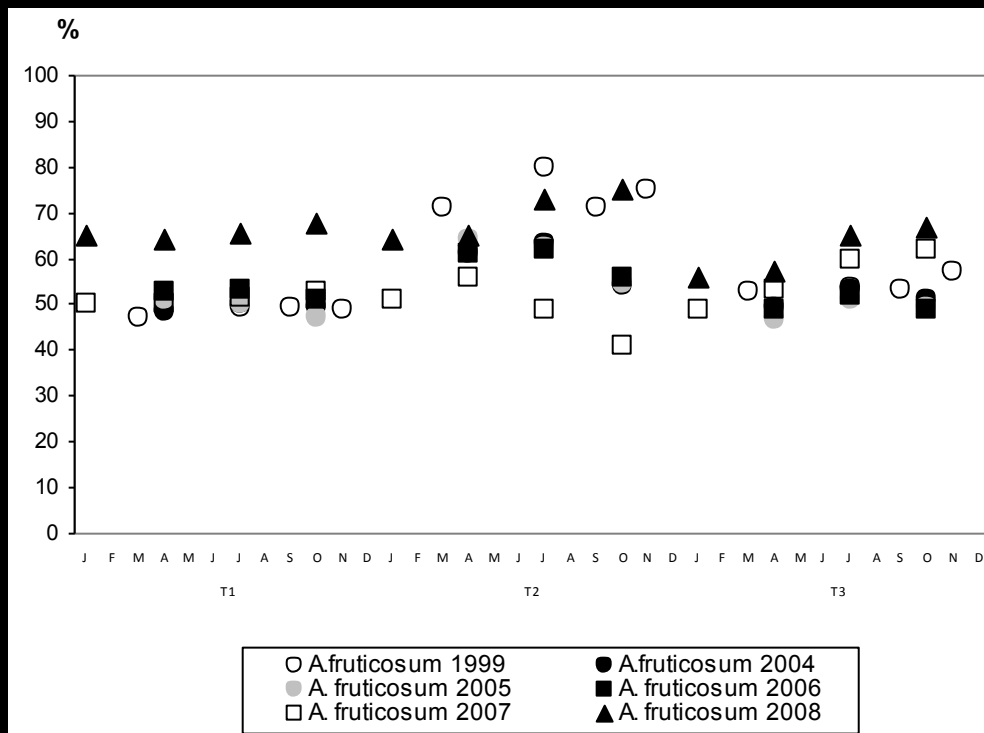




Cobertura (%) de *Halimione portulacoides* nos anos de 1999 a 2008.



Cobertura (%) de *Arthrocnemum perenne* nos anos de 1999 a 2008.



Cobertura (%) de *Arthrocnemum fruticosum*, nos anos de 1999 a 2008.

Uma das principais dificuldades em ecotoxicologia consiste na determinação de quando uma dada alteração é, ou não, ecologicamente significativa.

Este problema torna-se ainda mais crítico devido às capacidades de auto-reparação e de adaptação a condições adversas, características dos sistemas bióticos. Fenómenos como a resiliência e a redundância são aqui discutidos.



# ICM= Índice de conservação de macrófitos

## Porquê macrófitos?

Elevada biomassa

Elevada produtividade primária

Condicionam a morfologia do meio aquático

Bombeiam nutrientes da água e do sedimento

Retêm poluentes

Produzem O<sub>2</sub>

Papel importante na estabilização dos fundos e das margens

Criam microclimas e microhabitats

Fornecem locais de postura, abrigo e alimento a diversas espécies animais.





## **Principais dificuldades na sua utilização:**

**Desconhecimento das respostas das macrófitas a alterações provocadas pelo Homem**

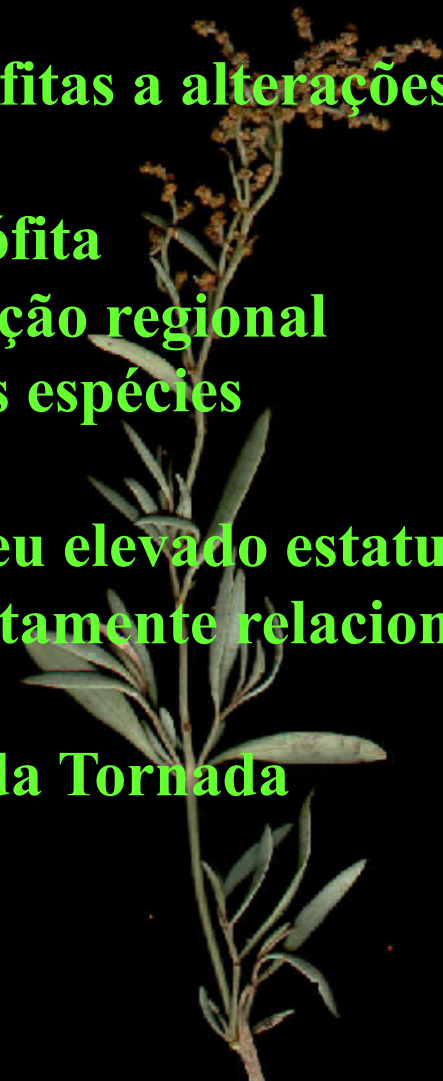
**Desconhecimento do potencial flora macrófita**

**Desconhecimento dos padrões de distribuição regional**

**Desconhecimento da bioecologia de muitas espécies**

**Muitas zonas protegidas o são devido ao seu elevado estatuto proteccionista, que está directa ou indirectamente relacionado com a sua riqueza floral**

**Ex. Paúl do Boquilobo, paúl de Arzila ou da Tornada**



No conceito de espécies associadas ao meio aquático (macrófitos)  
incluem-se:

Algas

Briófitos

Pteridófitos

Angiospermicas

Identificação:

Vasconcelos (1979)

Valdés et al (1987)

Franco (1971 e 1984)

Etc

Legislação

Convenção Relativa à protecção da Vida Selvagem e do Ambiente  
Na Europa, Decreto-Lei nº 95/81 de 23 de Julho



## **Amostragem tipo**

**Época do ano**

**Cobertura**

**Habitat- unidade que pelas suas características físicas e químicas se pode considerar homogénia e relativamente estável do ponto de vista temporal**

**Exs:**

**Zona lêntica**

**Zona lótica**

**O número de habitats é determinado visualmente.**

**As espécies raras referem-se neste caso a espécies raras em Portugal**



O índice desenvolve-se entre 1 e 12.

O valor 12 corresponde a situações de elevada potencialidade conservacionista



COBERTURA (%)	PESO 1 lenhosas	PESO 2 emergentes	PESO 3 aquáticas	RIQUEZA (n°)	PESO 4	HABITATS (n°)	PESO 5	PROTECÇÃO (1)	PESO 6
100-80	0	1	1	<10	0	1-2	0	nenhuma	0
80-60	2	2	2	10-20	1	3-4	1	<3	1
40-20	3	3	4	20-30	2	5	2	3-9	2
20-10	4	4	3	30-40	3	6	3	9-12	3
0-10	1	1	1	>40	4	>6	4	>12	4

(1) número de espécies raras, endémicas ou protegidas por convenções

$$ICM = 0,5 (P1+P2+P3+P4+P5+P6)$$



# Exemplo de uma aplicação do ICM

LOCAIS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	ICM	FONTE
Rio Olo (Douro)	1	1	1	0	0	0	1.5	Ferreira e Cortes, 1986
Rio Corgo (Douro)	2	1	1	0	0	0	2	Ferreira e Cortes, 1986
Lagoa da Vela (Quiaios)	4	3	3	3	2	1	<b>8.5</b>	Figueiredo, 1993
Lagoa das Braças (Quiaios)	4	4	4	3	3	3	<b>10.5</b>	Figueiredo, 1993
Albufeira de Fratel	1	1	3	0	1	0	3	Ferreira, 1989
Rio Tejo (V.N.Barquinha)	4	4	4	3	1	0	<b>8</b>	Ferreira, 1989
Albufeira de Vale do Gaio	1	1	0	0	0	0	1	Ferreira, não publ.
Albufeira de Monte Novo	1	4	3	1	1	1	5.5	Ferreira, não publ.
Albufeira de Santa Clara	1	1	4	1	1	0	4	Ferreira, não publ.
Ribeira Divor (Arraiolos)	2	3	4	4	4	0	<b>8.5</b>	Ferreira, 1992
Ribeira Divor (Courelas)	2	1	1	4	2	0	5	Ferreira, 1992
Vala Real Sul (Rio Sorraia)	0	1	1	0	0	0	<b>1</b>	Ferreira e Moreira, 1990
Ribeira de Erra (curso médio)	2	4	1	4	4	4	<b>9.5</b>	Ferreira, 1993
Rio Guadiana (Juromenha)	1	4	1	2	2	1	5.5	Ferreira e Monteiro, 1988
Rio Guadiana (Moinho dos Doutores)	1	4	3	2	2	1	6.5	Ferreira e Monteiro, 1988

Quadro 2. Ensaio de aplicação do Índice de Conservação Macrofítico a alguns locais dulciaquícolas de diferentes tipos e origens.

# Registo histórico

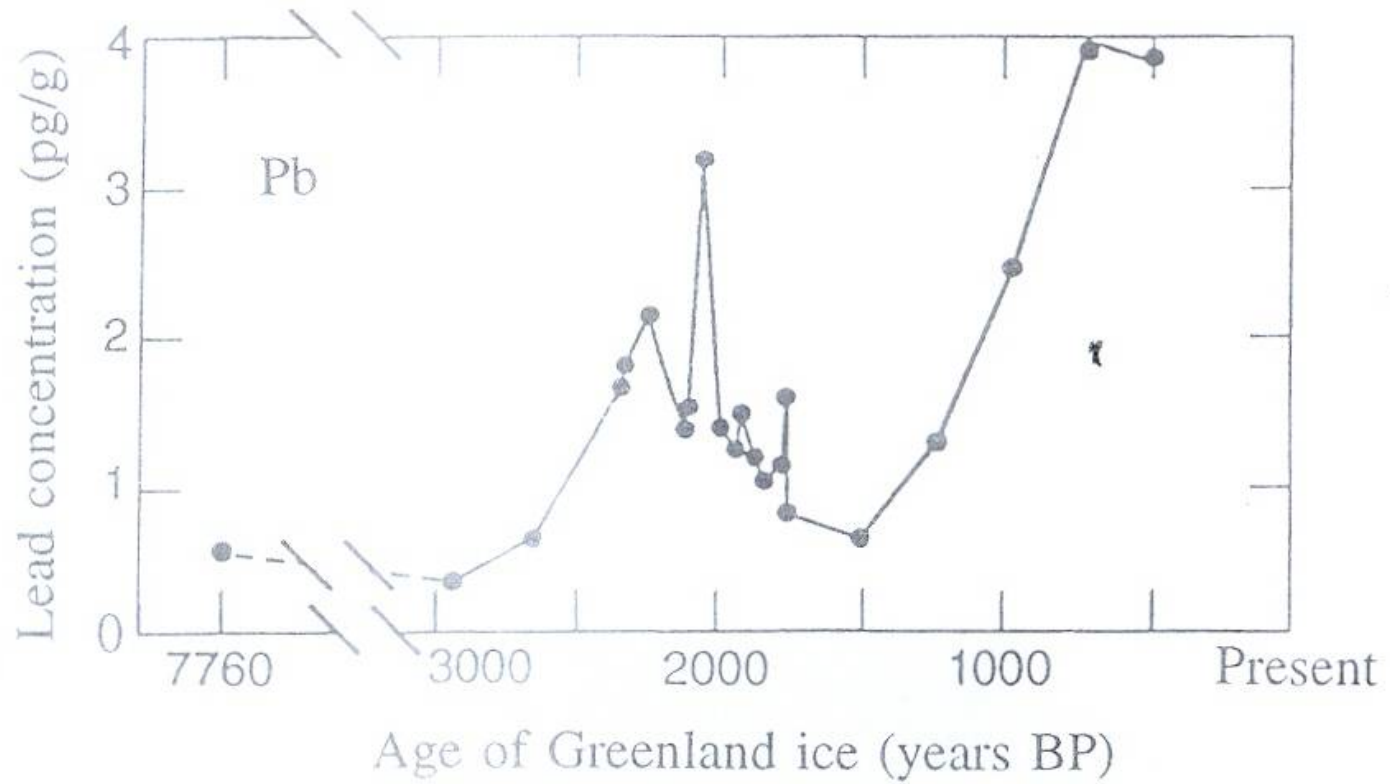
Os gelos

Os sedimentos

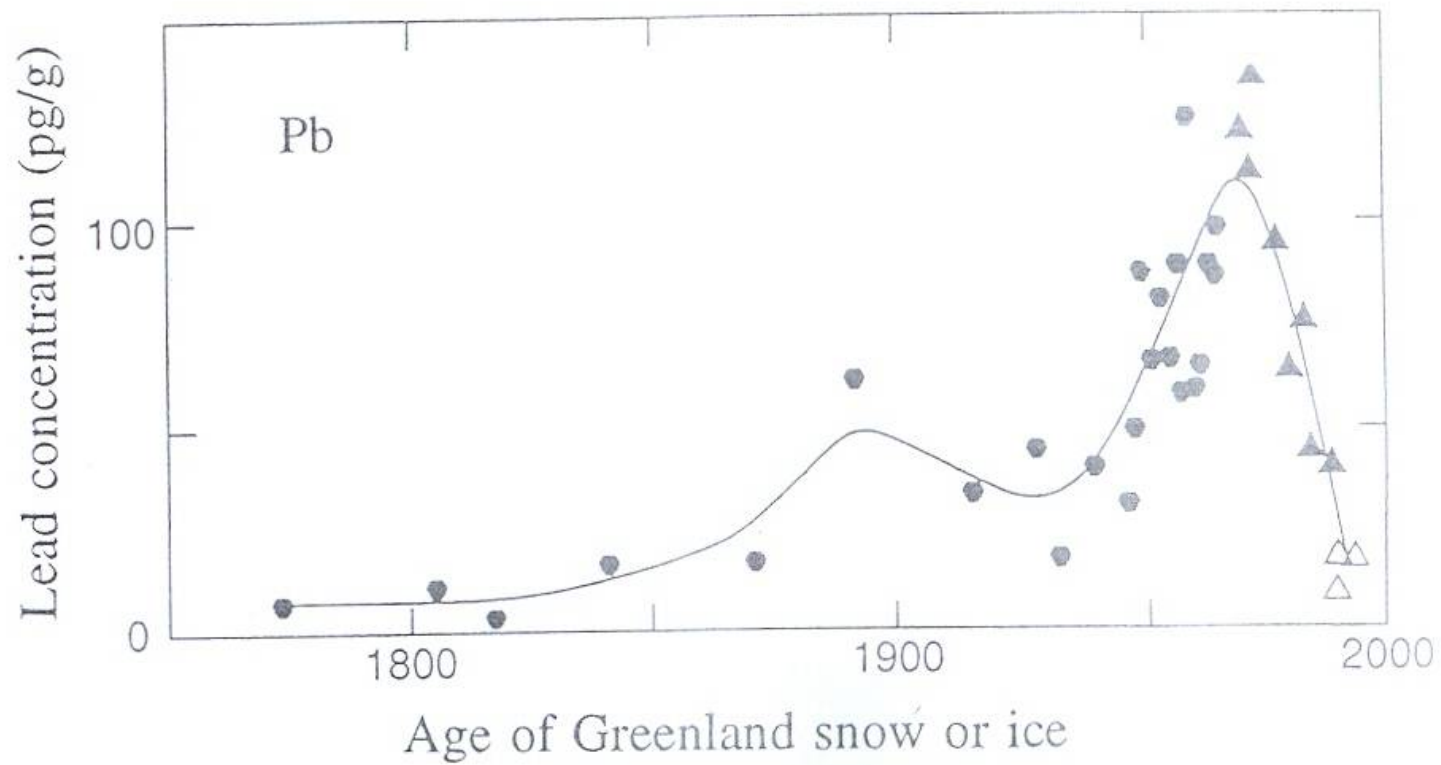
Ovos

Aneis das árvores









# Retenção de metais pesados nos sapais

Localização	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Eastern Scheldt, Holanda	0,4 - 2	109	6 - 58	49	97 - 104	39 - 257
Western Scheldt, Holanda	1,5 - 8,5	268	63 - 155	49 - 62	120 - 210	370 - 715
Baía de James, Canadá	1,4	16	13	24	23	38
Rio Pó, Itália	1,4		58	53	72	187
Connecticut, US			114		152	168
Illawarra, Austrália	1,1	69	80		282	2163
Califórnia, US		1070	138	542	96	299
Texas, US		29	7	8		14
Baía de Narrangansett, US	0,8	155	190	28	140	250
Estuário de Tamisa, UK	0,6	27	20	23	49	72
Salcott, UK	0,13	53	21	33	22	100
<b>Estuário do Tejo, PT</b>	<b>1,4 – 5,9</b>	<b>25 - 37</b>	<b>43– 79</b>	<b>1 – 25</b>	<b>146 – 363</b>	<b>316– 1151</b>

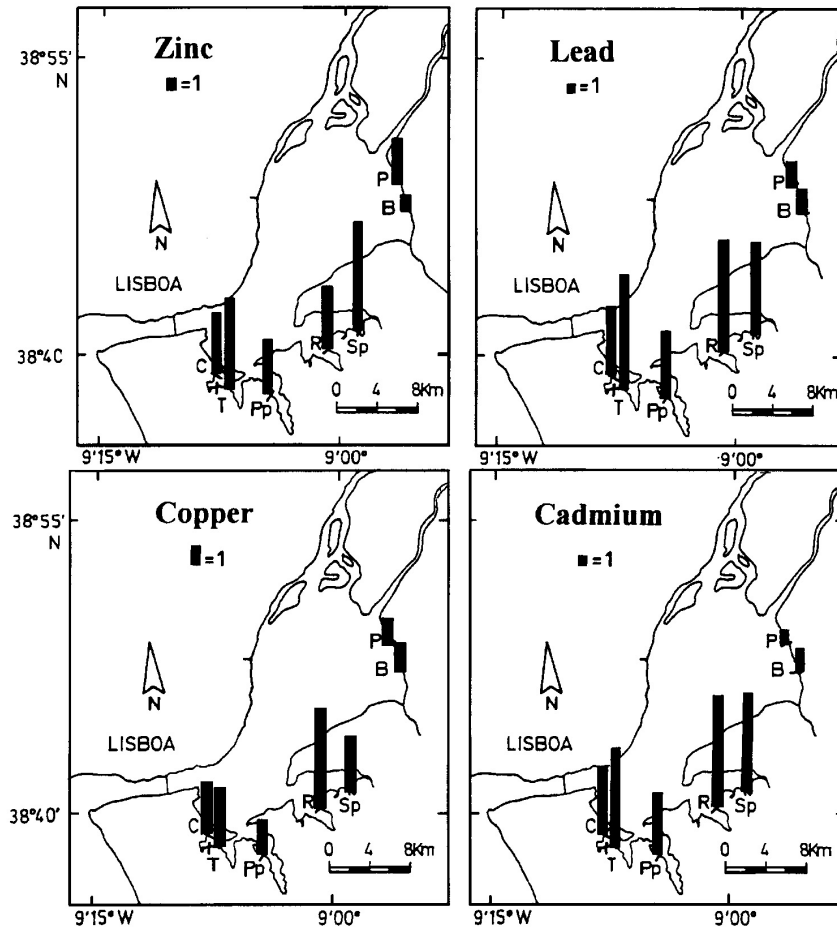
# Factores de Enriquecimento

## Cu e Cd nos sapais do estuário do Tejo

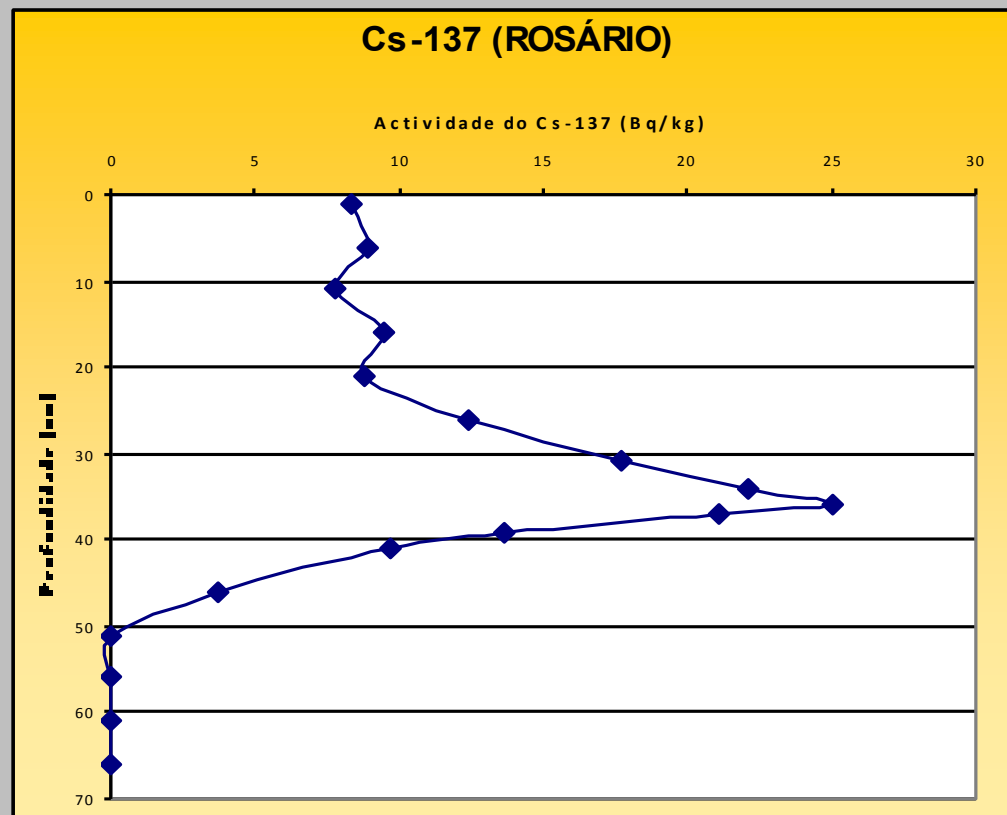
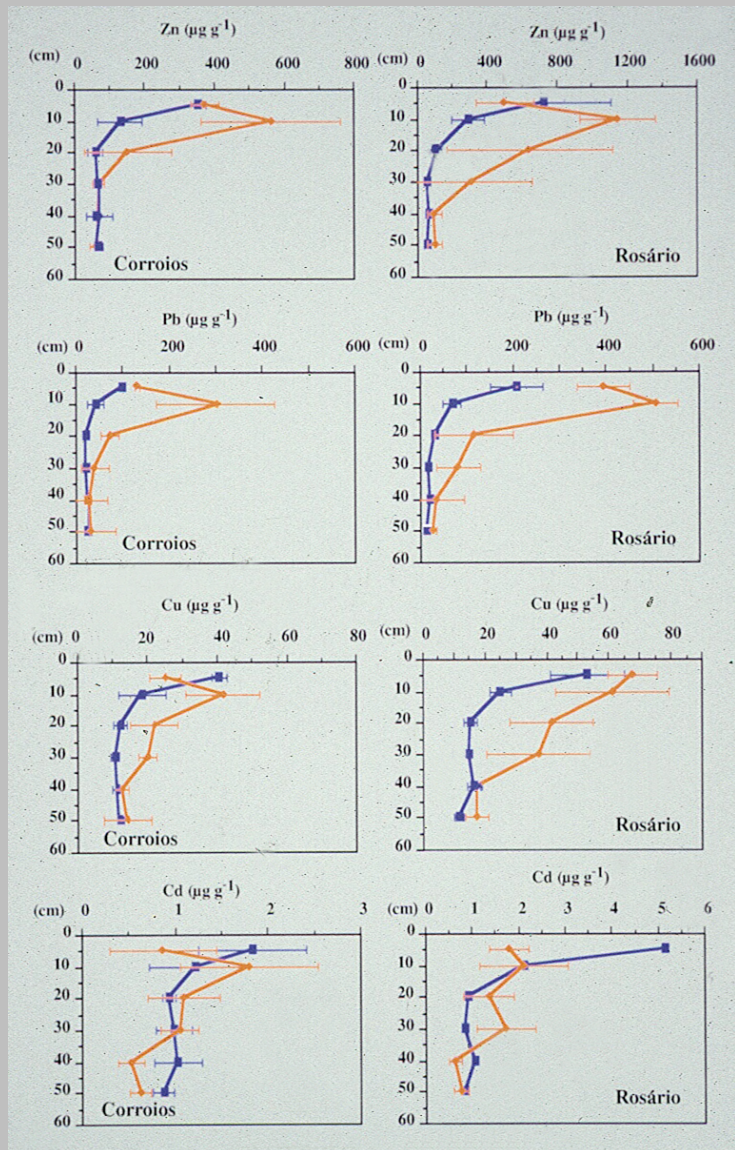
$$A = C/B$$

A factor de enriquecimento  
B concentração "de base"  
C concentração no sedimento

Caçador et al., 2001



# Distribuição vertical de metais em sedimentos datados, do estuário do Tejo



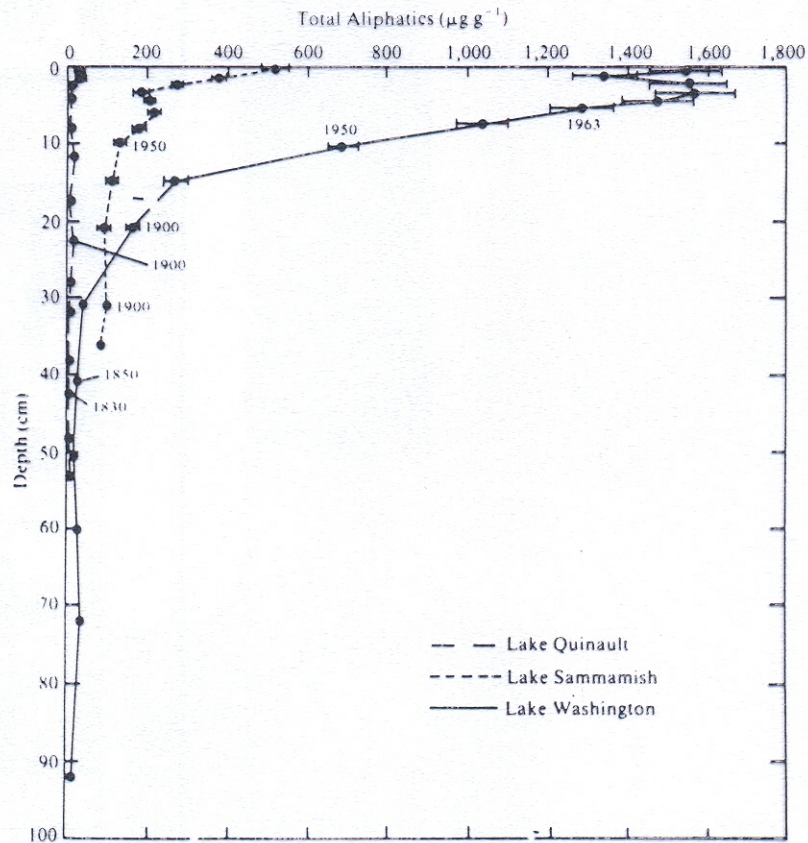
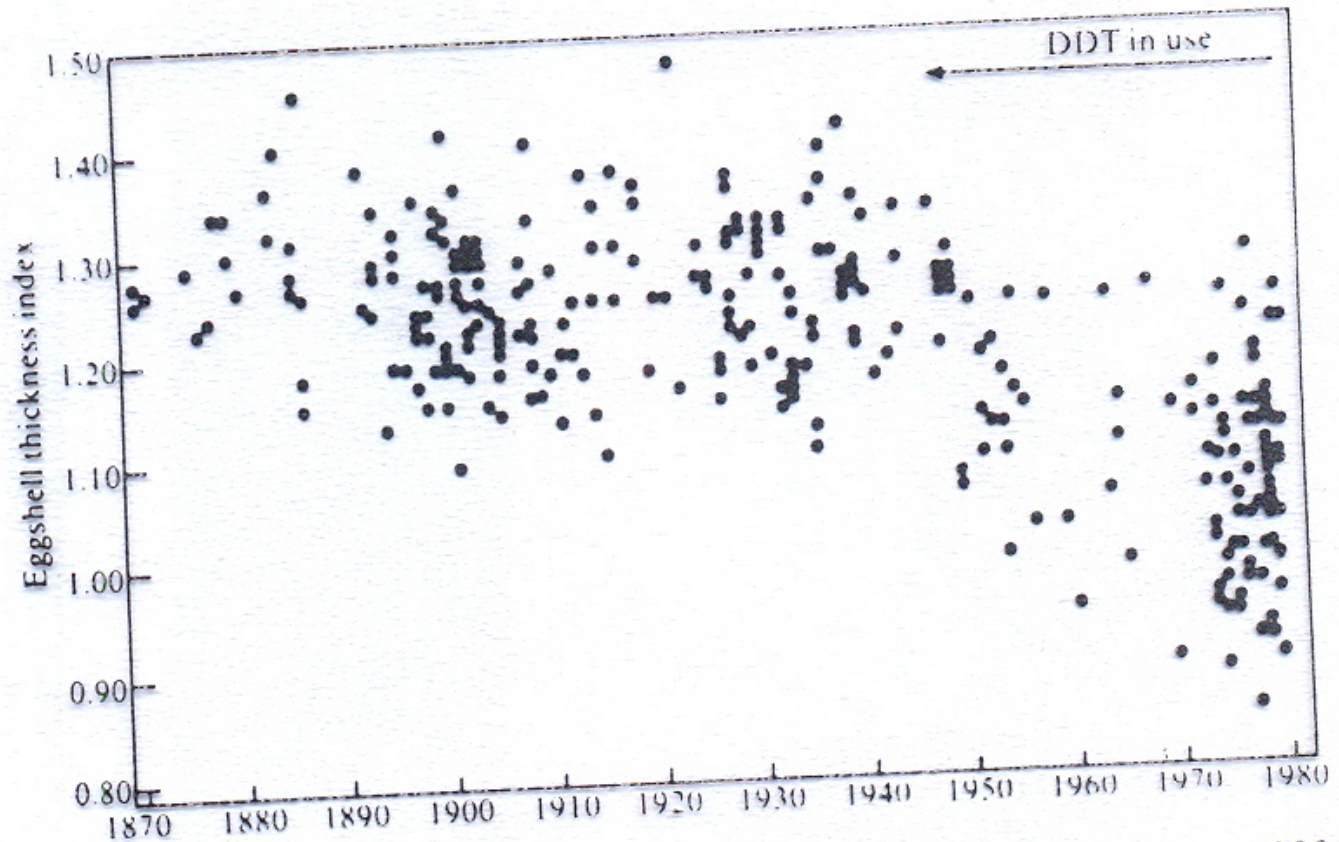


Figure 1-20 Total aliphatic hydrocarbon profiles in dated sediment cores from three lakes, western Washington State (after Wakeham 1976)





Espeçura da casca dos ovos de desde 1870 a 1980, relacionada com a utilização do DDT

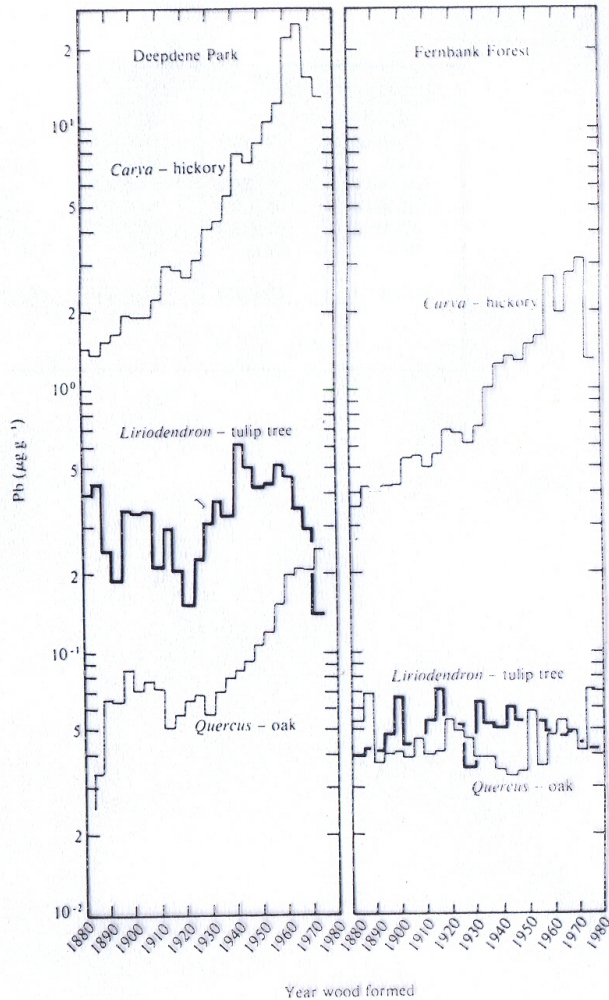
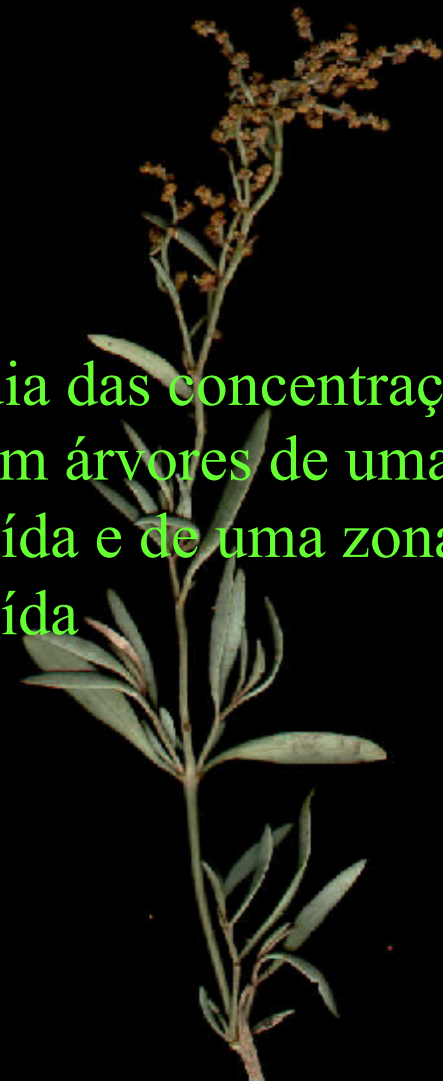


Figure 4-4 Mean xylem Pb concentrations in trees at Deepdene Park (polluted) and Fernbank Forest (unpolluted) (after Baes and Ragsdale 1981)

Média das concentrações de Pb em árvores de uma zona poluída e de uma zona não poluída



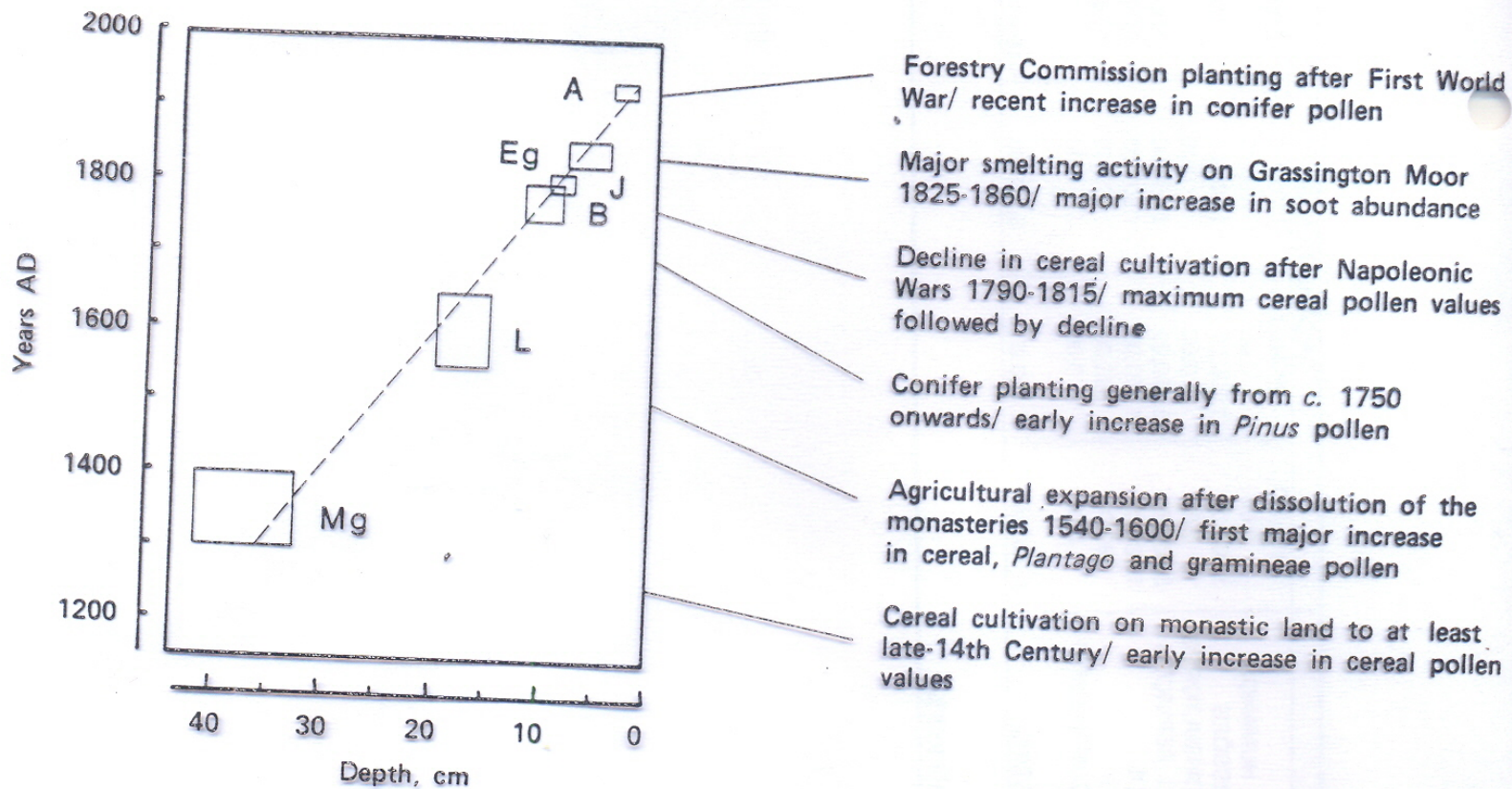
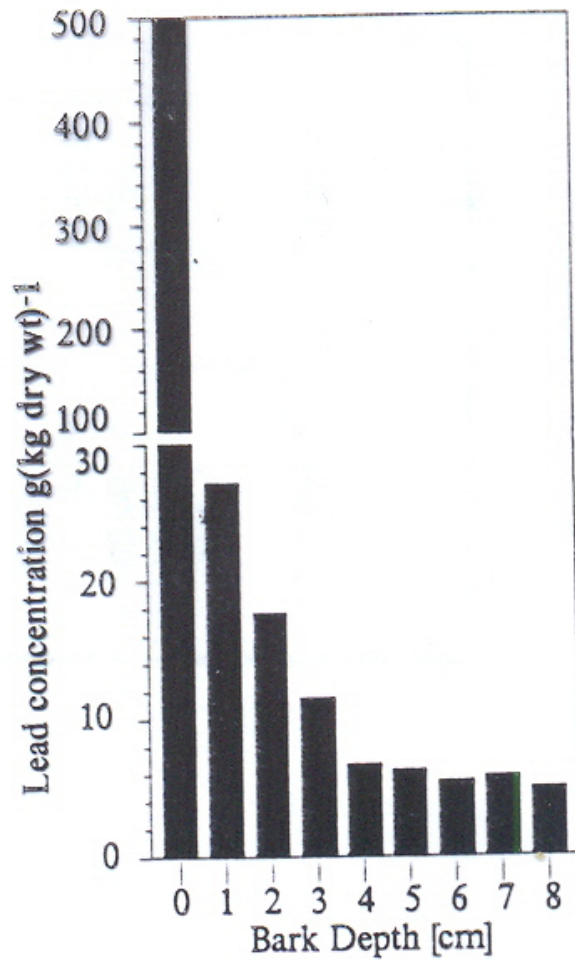


Fig. 9. Dating plot, based on pollen-analytical, macrofossil and documentary evidence, for a peat profile from Grassington Moor, UK. Letters refer to features on the pollen diagram, and rectangles represent their limits in time and space. A summary of the features and their interpretation is given at the right of the plot. Modified from Livett *et al.* (1979).





Concentrações de Pb a vária profundidades do tronco de *Robinia pseudoacacia*, crescendo na cidade de Munique (Holl 1974)

