ECOTOXICOLOGIA e BIOMONITORIZAÇÃO

Isabel Caçador

Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

Fitorremediação

A degradação ambiental não é apenas fruto directo do crescimento demográfico, do progresso tecnológico e da intensificação do uso da Natureza que lhes está associada, mas é também fortemente determinada pelas formas de organização social sob a qual aqueles fenómenos têm lugar. Ex. O rio Trancão

Em principio, o meio ambiente é menos vulnerável onde existem os indispensáveis mecanismos de planeamento, pondo-se hoje as questões relacionadas com a preservação do ambiente e dos recursos naturais à escala universal e, levando a esforços conjuntos das populações na salvaguarda do meio ambiente.

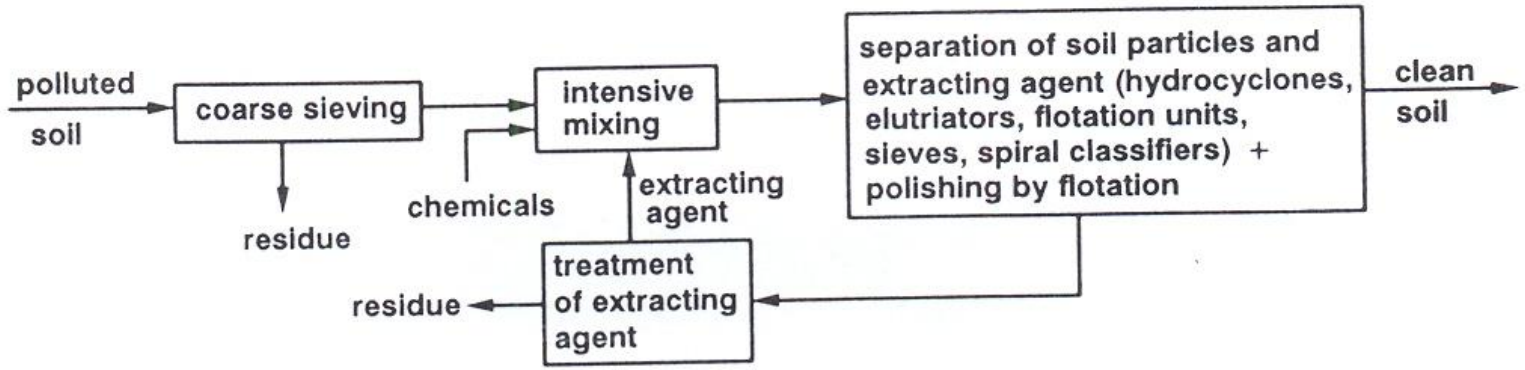


Fig. 1 Extraction/wet classification

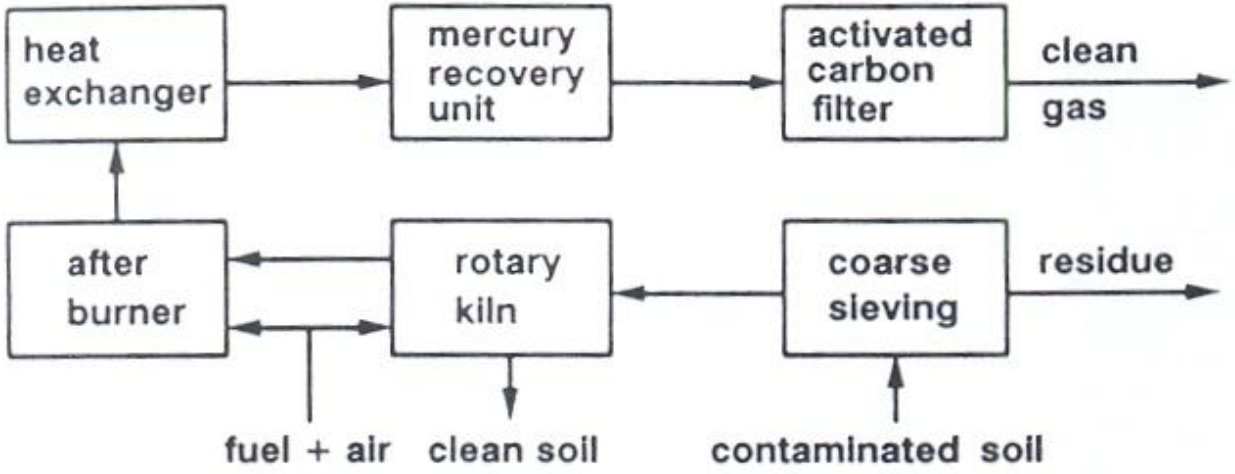


Fig. 2 Thermal treatment of excavated soil

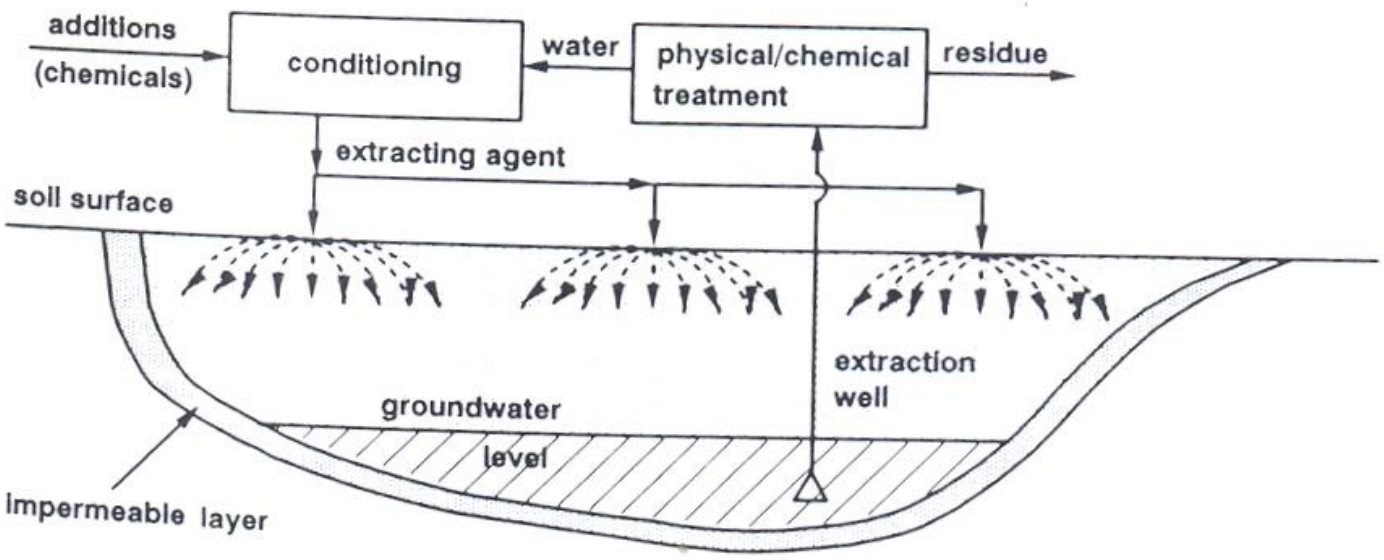


Fig. 3 In situ extraction

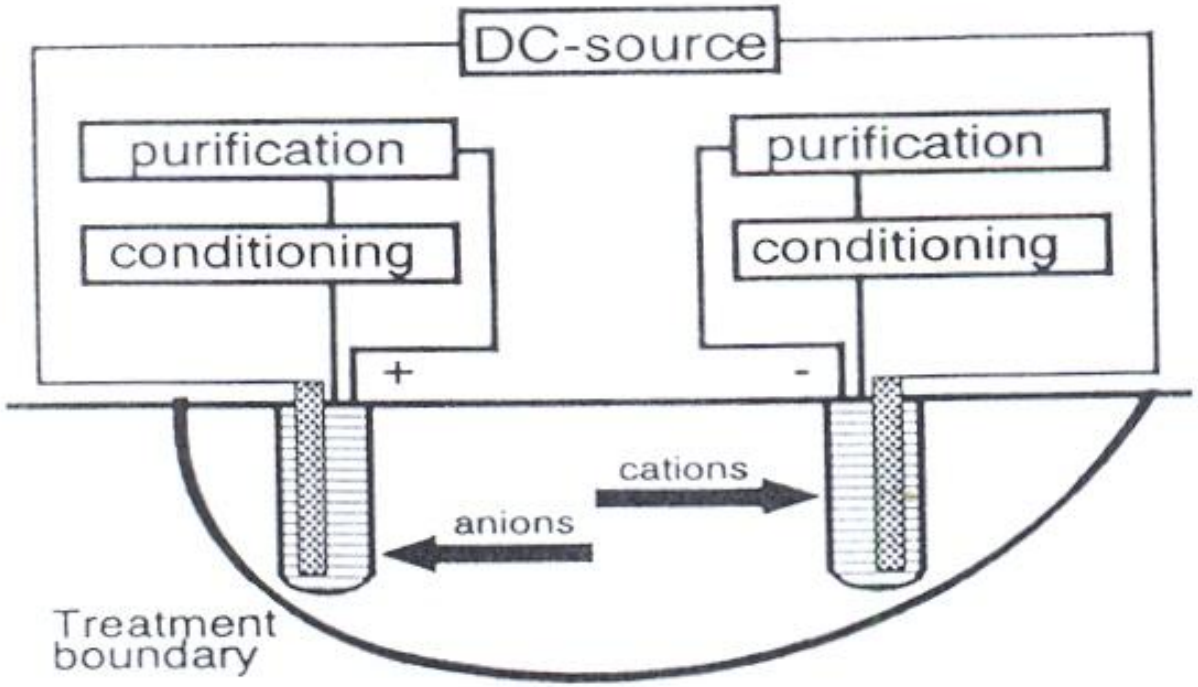


Fig. 4 Electroreclamation

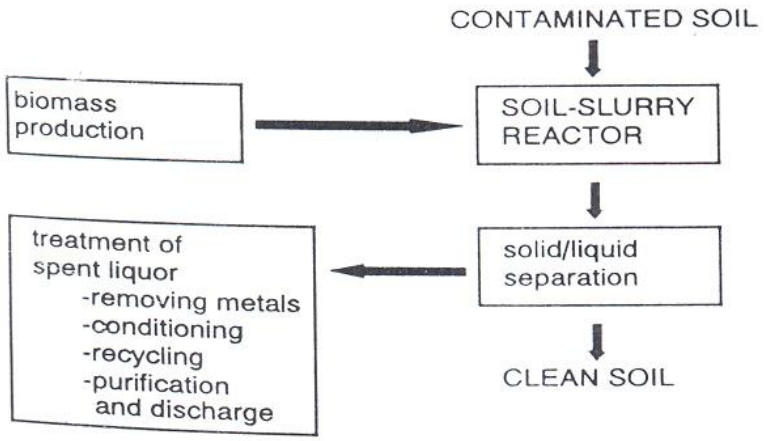


Fig. 5 Soil slurry system

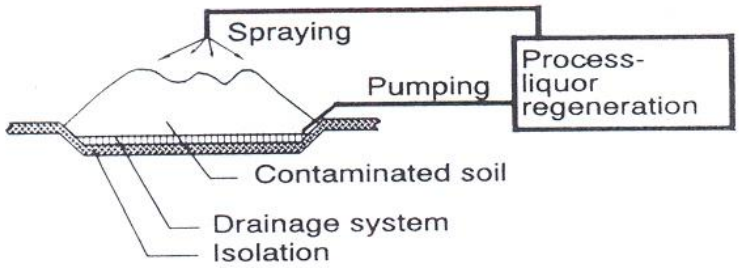


Fig. 6 Heap-leaching

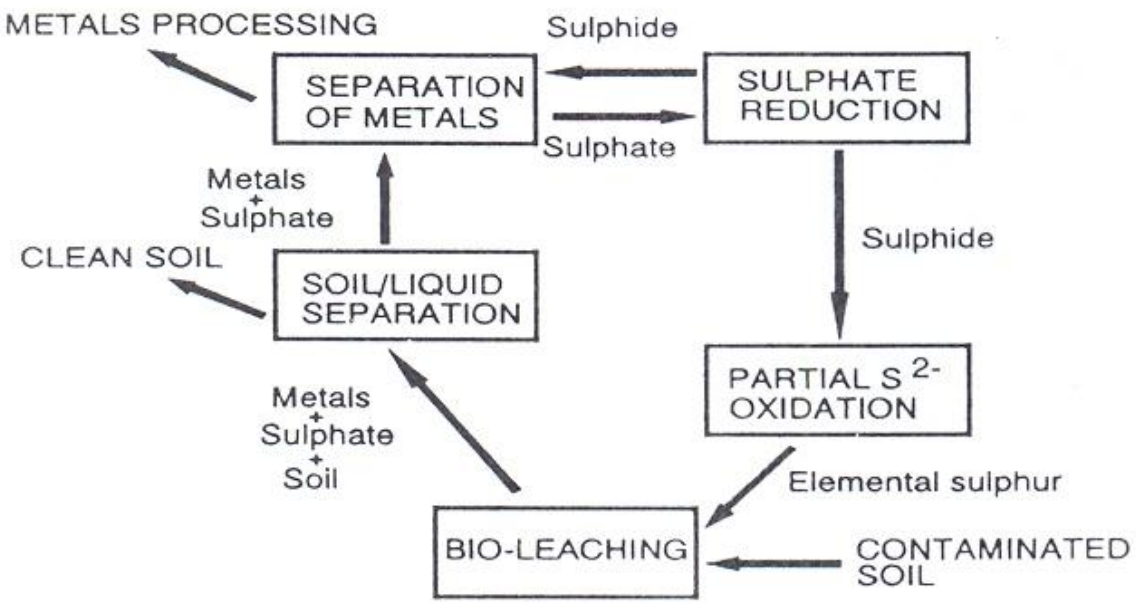


Fig. 7 Sulphur cycle

Fitorremediação

As plantas vasculares desempenham um papel importante, alterando drasticamente as características biogeoquímicas dos solos.

Estas alterações são devidas à actividade radicular e às suas associações microbiológicas resultantes nomeadamente dos compostos orgânicos exsudados pelas plantas.

Consequências dessas alterações são, por exemplo, a diferença observada na concentração e especiação de alguns metais pesados, presentes nos solos colonizados por plantas superiores.

O tratamento de esgotos com plantas superiores é conhecido há mais de 300 anos. No entanto foi na década de 90 que se vulgarizou esta pratica. Recentemente a engenharia genética veio aumentar as possibilidades das plantas superiores como fitorremediadoras.

A fitorremediação, isto é a utilização de plantas na limpeza de solos contaminados, águas residuais e efluentes, compreende hoje cinco processos:

Fitoestabilização, fitoimobilização, fitoextração, fitovolatilização e fitodegradação.

Através do processo de **fitoestabilização**, as plantas reduzem a circulação dos contaminantes no meio, através da sua imobilização em formas químicas de baixa mobilidade.

As plantas superiores através da sua actividade radicular libertam oxigénio molecular e substâncias orgânicas que promovem a precipitação dos metais sob a forma de óxidos e hidróxidos ou a sua complexação em compostos orgânicos

A **fitoestabilização** é um processo que utiliza plantas tolerantes para estabilizar mecanicamente solos poluídos evitando assim a erosão do solo e, o transporte atmosférico das partículas de solo contaminadas para outros locais.

Os exsudados radiculares, como os açúcares e as mucilagens, contribuem por um lado, para a agregação das partículas do solo, tornando-o mais resistente à erosão e, por outro, contribuem para o aumento da actividade biológica.

A presença das plantas reduz ainda a lixiviação dos poluentes, através do aumento da taxa de evapotranspiração, de solo.

A **fitoextracção** é o uso de plantas para a remoção dos poluentes, quer metálicos quer orgânicos, do meio ambiente, através da tomada e acumulação desses poluentes nos tecidos vegetais.

Neste processo utilizam-se plantas hiperacumuladoras, com a capacidade de translocar os metais para a sua parte aérea. È ainda pratica corrente a utilização de ácidos orgânicos que aumentam a disponibilidade dos metais no solo ou ainda a utilização de compostos azotados que levam ao aumento de produção de biomassa e consequentemente a uma maior acumulação de metais.

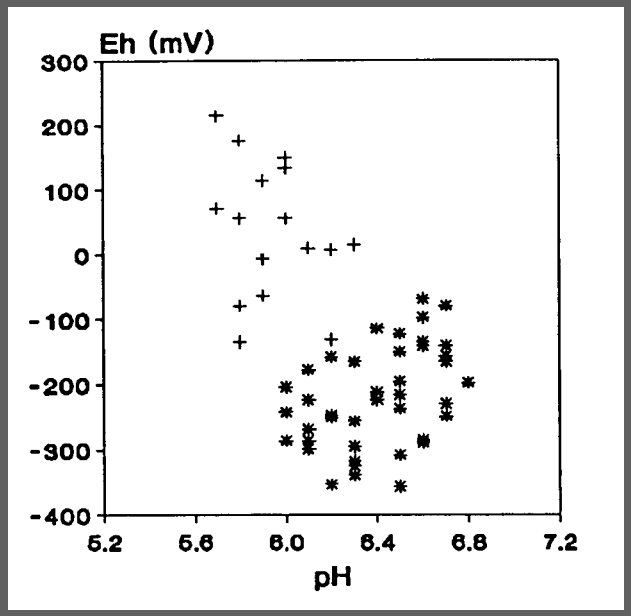
A **fitodegradação** é a tomada e degradação de compostos orgânicos presentes na rizosfera, pela planta isoladamente ou em associação com microrganismos.

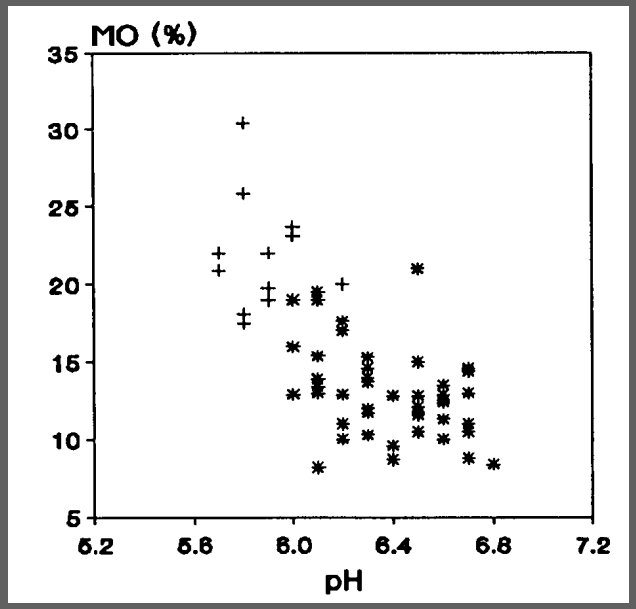
A **fitovolatilização** envolve enzimas especializadas, que transformam, degradam e volatilizam contaminantes no sistema planta-solo-microrgamismo. Esta tecnologia de limpeza é muitas vezes referida como sistema de tratamento microbiológico.

Os processos que ocorrem na rizosfera são considerados essenciais para a promoção da volatilização. A volatilização conjuntamente com a degradação e extração de contaminantes é um processo inerente na fitorremediação de solos poluídos com compostos orgânicos, e, começa agora também a ser aplicada a compostos inorgânicos.
A fitovolatilização é ainda uma técnica com potencialidades na remediação de solos contaminados por poluentes que sejam altamente voláteis, como por exemplo, o Hg, Se e B.

A **rizofiltração** é o processo através do qual as plantas retiram metais das águas contaminadas e os acumulam nos seus tecidos. Nesta técnica utiliza-se biomassa microbiana, fúngica e vegetal. *Azoola pinnata*. *Lemna minor*, *Eichorornia crassipes* são exemplos de hiperacumuladores aquáticos bem conhecidos.

Através da libertação de oxigénio na rizosfera, as plantas vasculares desempenham um papel importante na biogeoquímica dos sedimentos, alterando drasticamente as características do sedimento dos sapais.



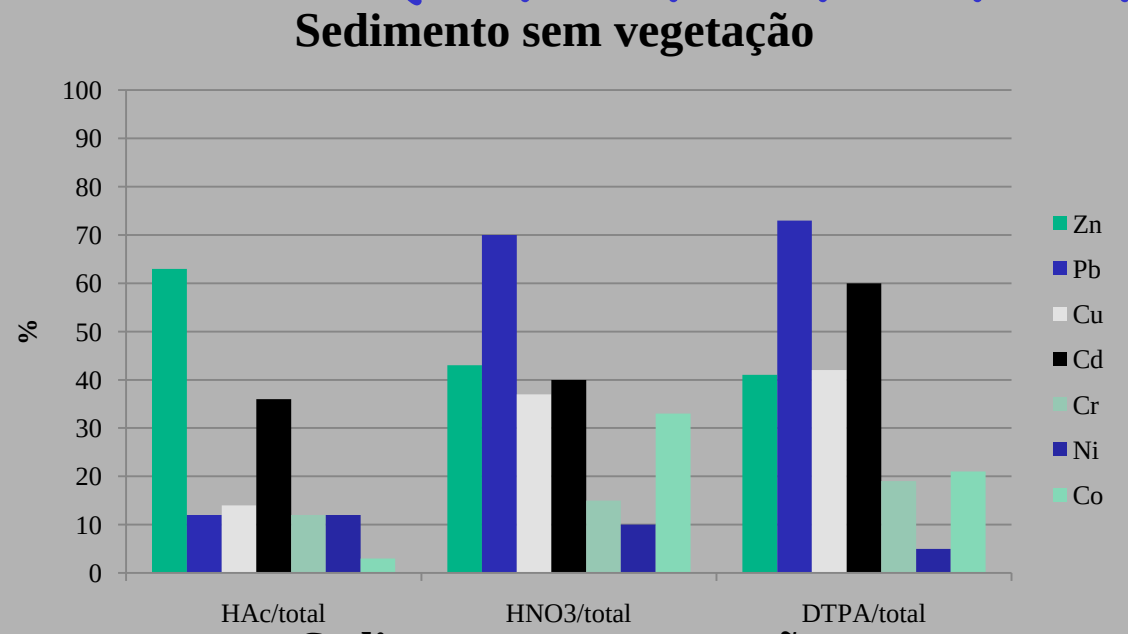


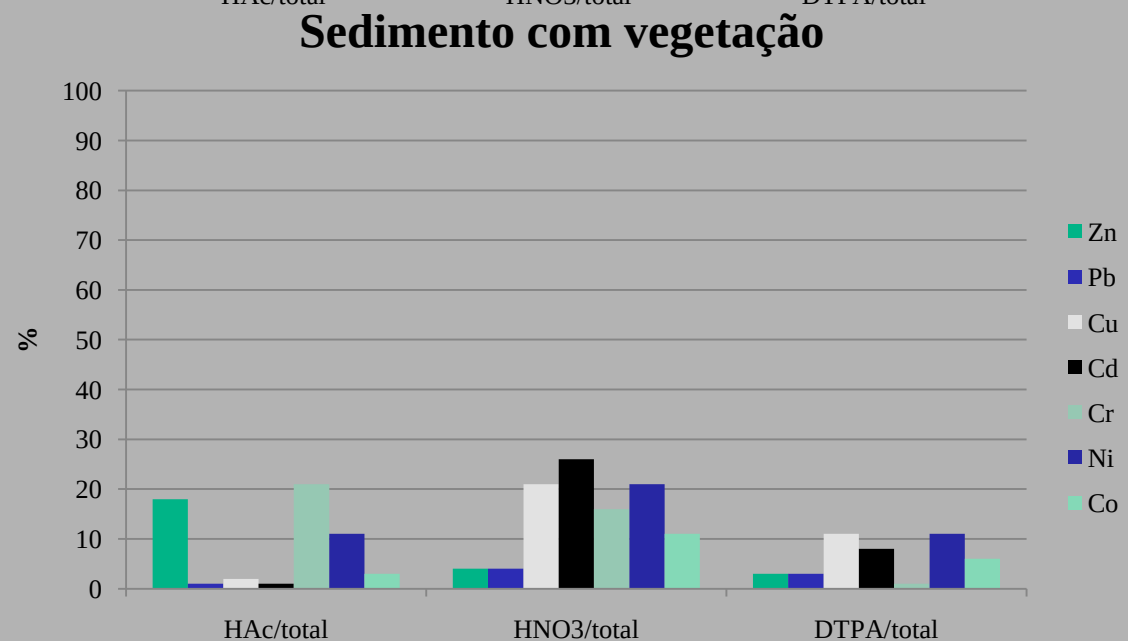
Redox potencial (Eh) *vs*.pH, e teor em matéria orgânica (LOI) *vs*.pH em sedimentos entre raízes, camada (5-15) cm layer (+) e sedimentos sem vegetação (*) nos sapais do estuario do Tejo

Da especiação química depende a mobilidade dos metais, a toxicidade e transferências geoquímicas, que influenciam naturalmente a sua disponibilidade para os diferentes organismos.

A extracção sequencial dos metais nos sedimentos tem sido objecto de vários estudos uma vez que permite avaliar não só a concentração dos metais, mas fornece ainda indicações sobre a fase em que o metal se encontra, a sua adsorção, difusão e mobilidade no sedimento, sendo este conhecimento essencial na compreensão do comportamento físico-químico e biológico dos elementos.

Efeito das plantas na disponibilidade dos metais (Zn, Pb, Cu, Cd, Cr, Ni e Co)



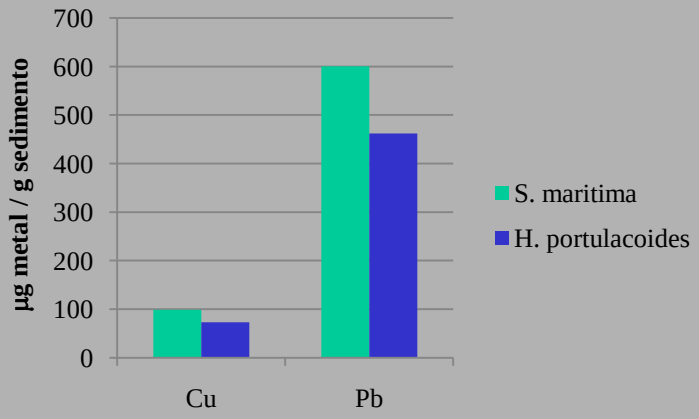


Sapal de Corroios

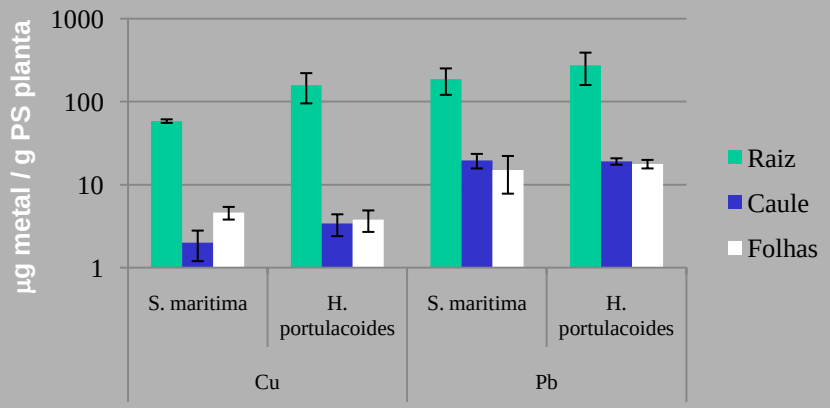
Caçador & Vale, 1999

Capacidade fitoestabilizadora dos sapais

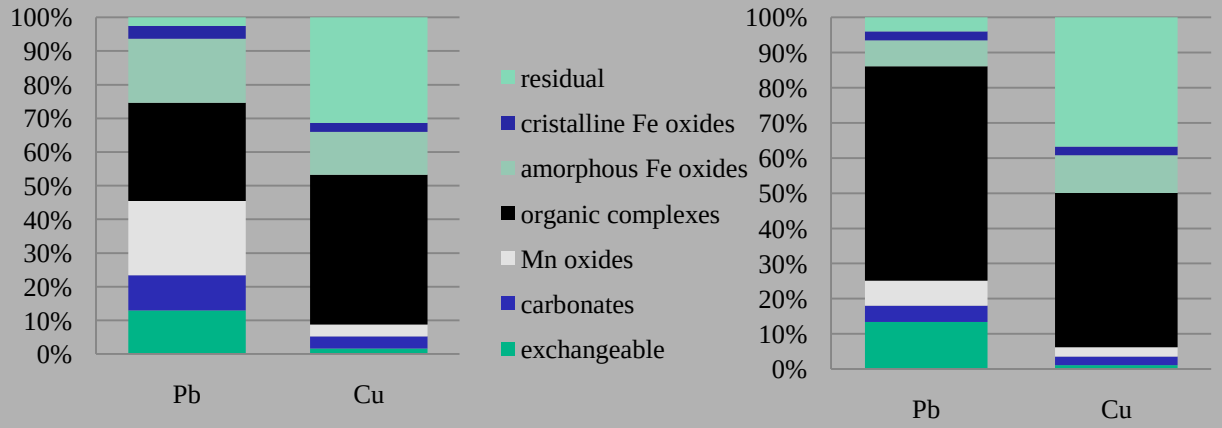
Sedimento

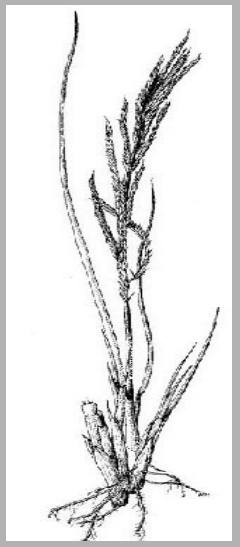


Plantas



Especiação



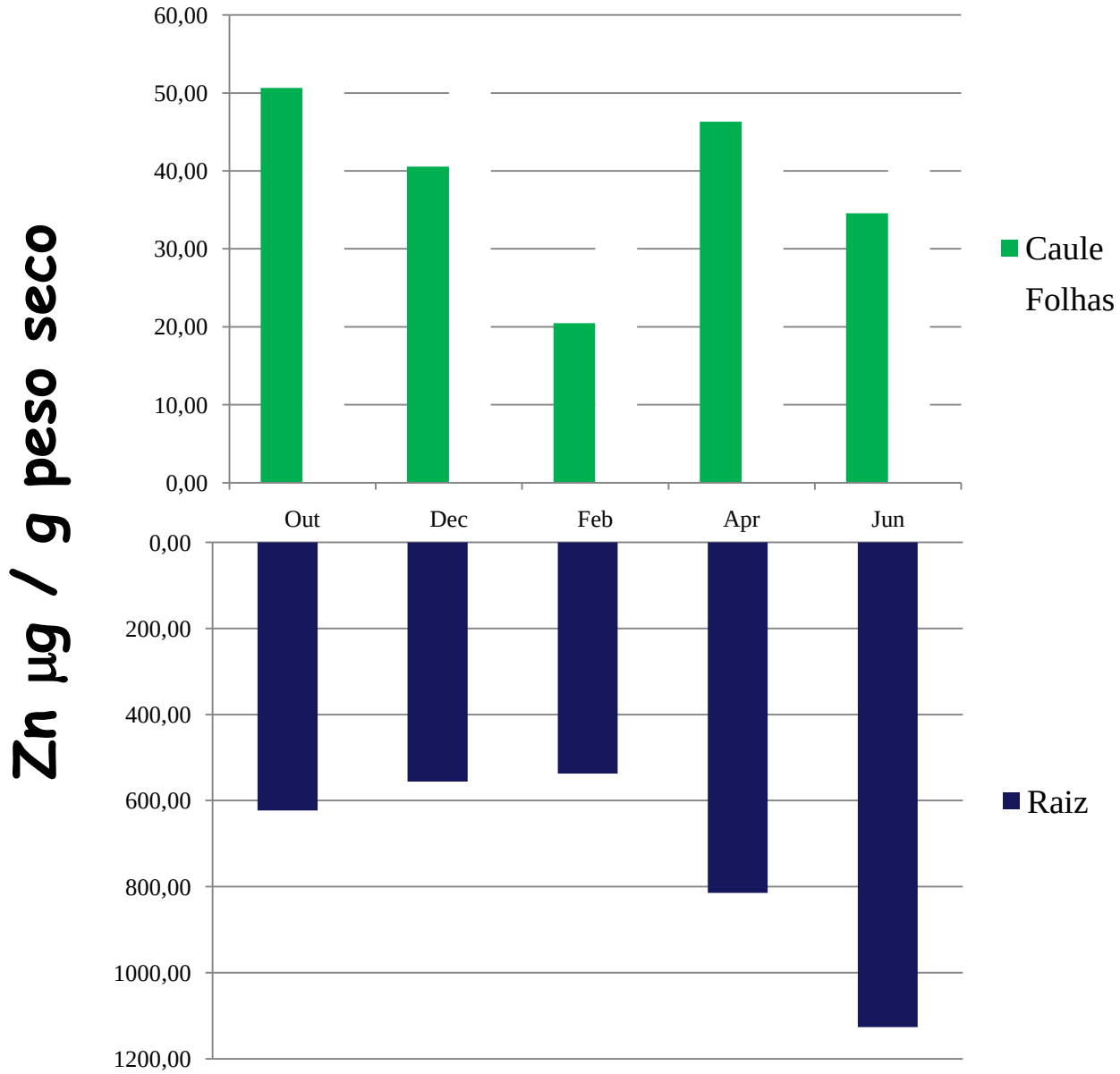


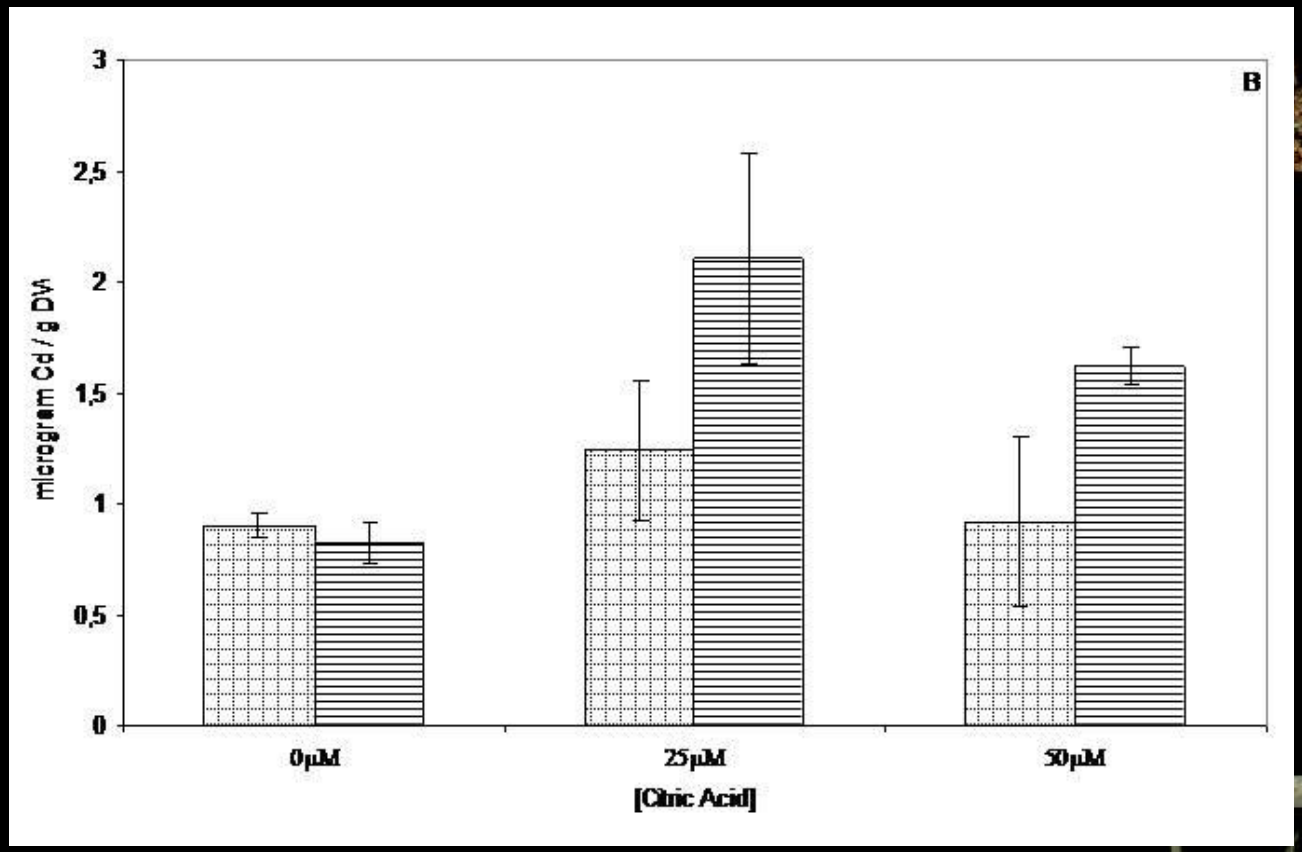
Halimione portulacoides

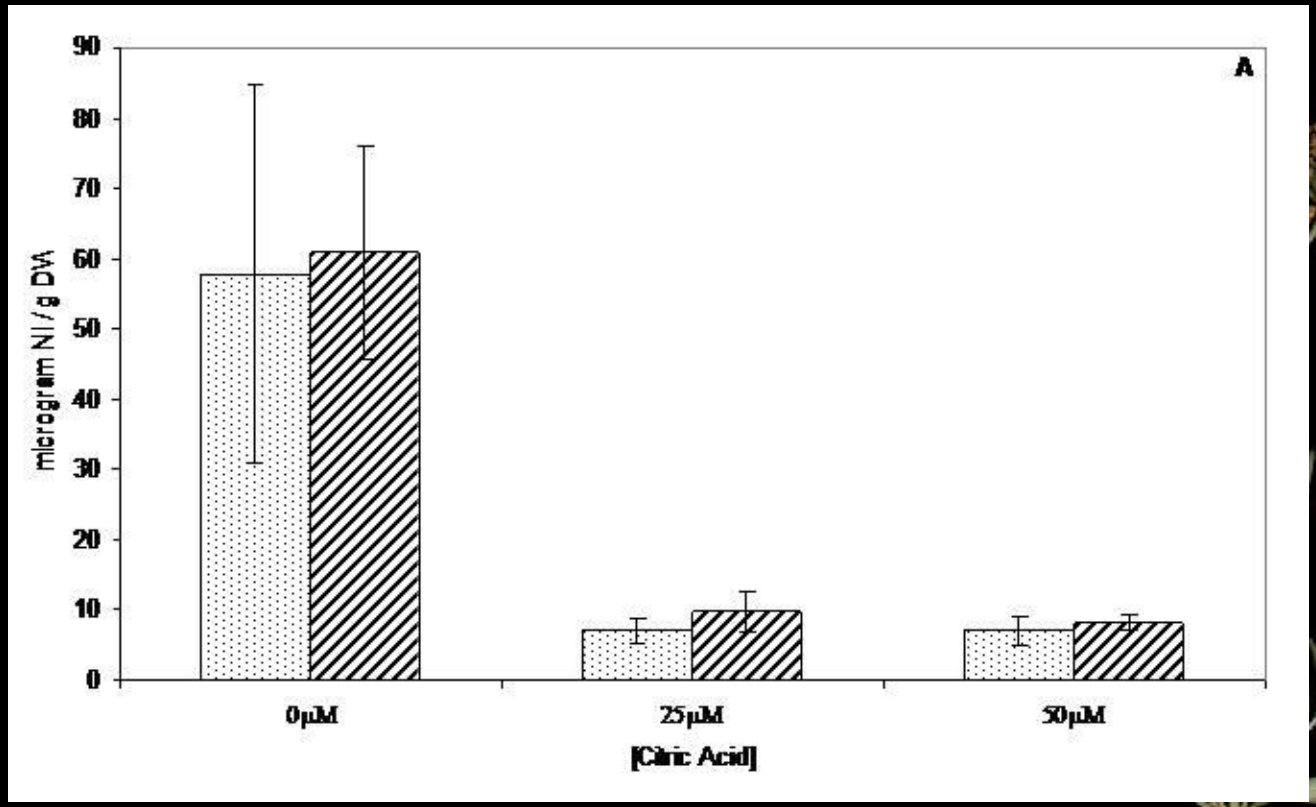
Spartina maritima

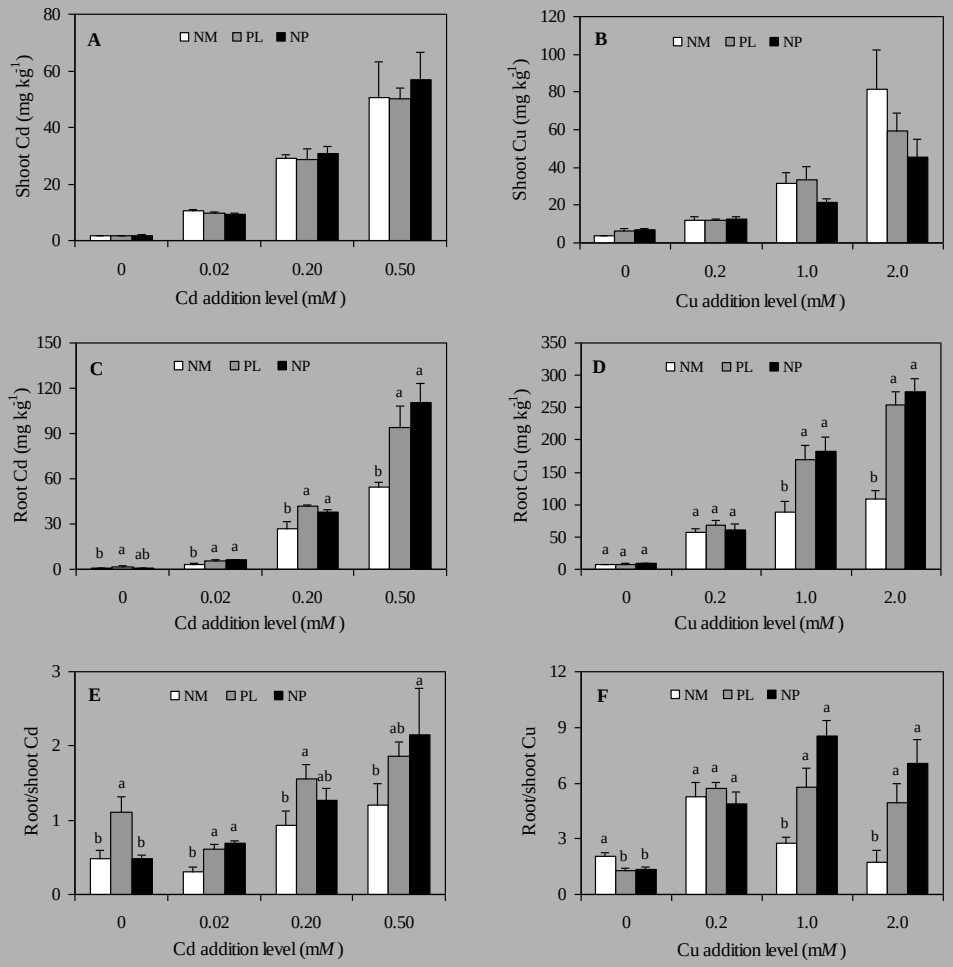
Reboreda & Caçador, 2007

Distribuição de Zn em *Halimione portulacoides*




B
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
microgram Cd / g DW
0µM
25µM
50µM
[Citric Acid]


A
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
microgram Ni / g DW
0µM
25µM
50µM
[Citric Acid]



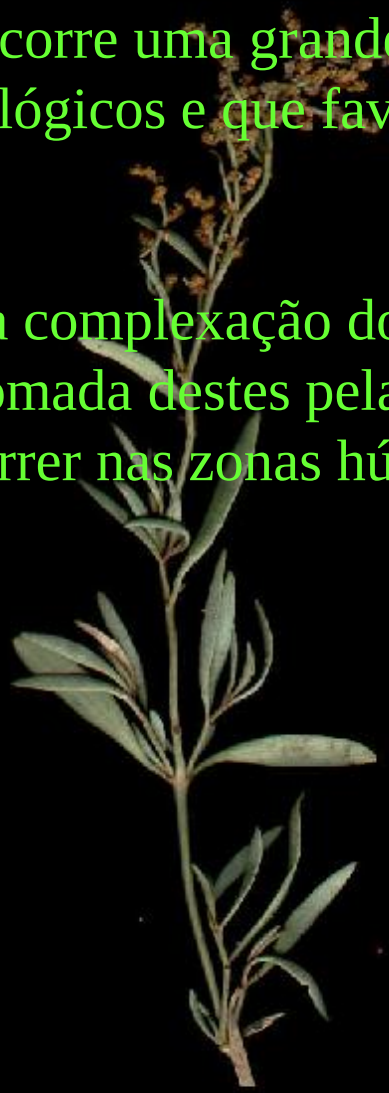
Shoot (**A**, **B**), root (**C**, **D**) and root to shoot ratio (**E**, **F**) of Cd and Cu concentrations in *A. tripolium* plants exposed to different Cd (**A**, **C**, **E**) and Cu (**B**, **D**, **F**) addition levels. In each graph and for each metal concentration, values (mean ± SEM) followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ (Duncan's test). For abbreviations see Fig.1 (NM = non-mycorrhizal, PL = inoculated with isolate from polluted site, NP = inoculated with isolate from non-polluted site)

O papel das zonas húmidas, como descontaminantes naturais

Por vezes constroem-se zonas húmidas, em que são usadas culturas de plantas que interactuam directamente com os constituintes dos efluentes ou servem de suporte a microrganismos que os irão degradar e que se mostram sistemas biológicos de tratamento de efluentes muito eficientes. As zonas húmidas construídas são muito utilizadas em estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e em pequenas unidades industriais

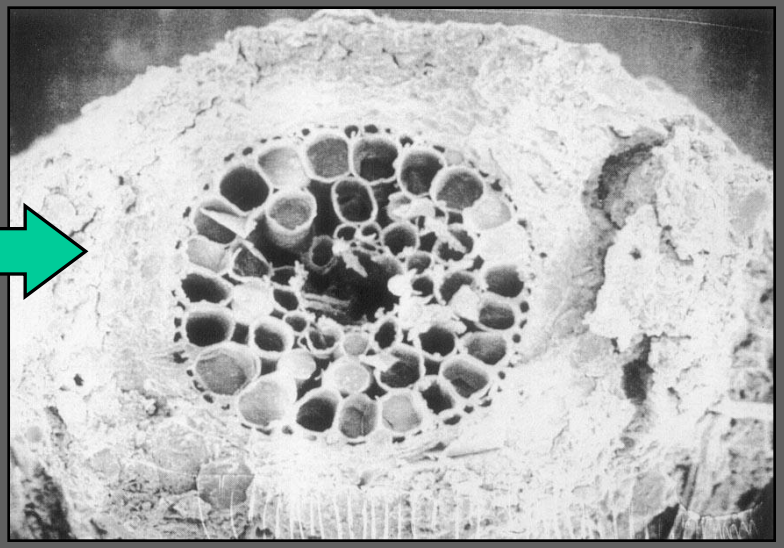
Nas zonas húmidas construídas o Homem cria ecossistemas, que incluem solo orgânico, microrganismos e plantas superiores, onde ocorre uma grande variedad de processos que vão desde os físico-químicos aos biológicos e que favorecem a remoção dos poluentes.

A co-precipitação dos metais em hidróxidos de ferro, a complexação dos metais em moléculas orgânicas e nas argilas e por último, a tomada destes pelas plantas, são exemplos de processos de limpeza que podem ocorrer nas zonas húmidas construídas.



Efeitos secundários

Rizoconcreções



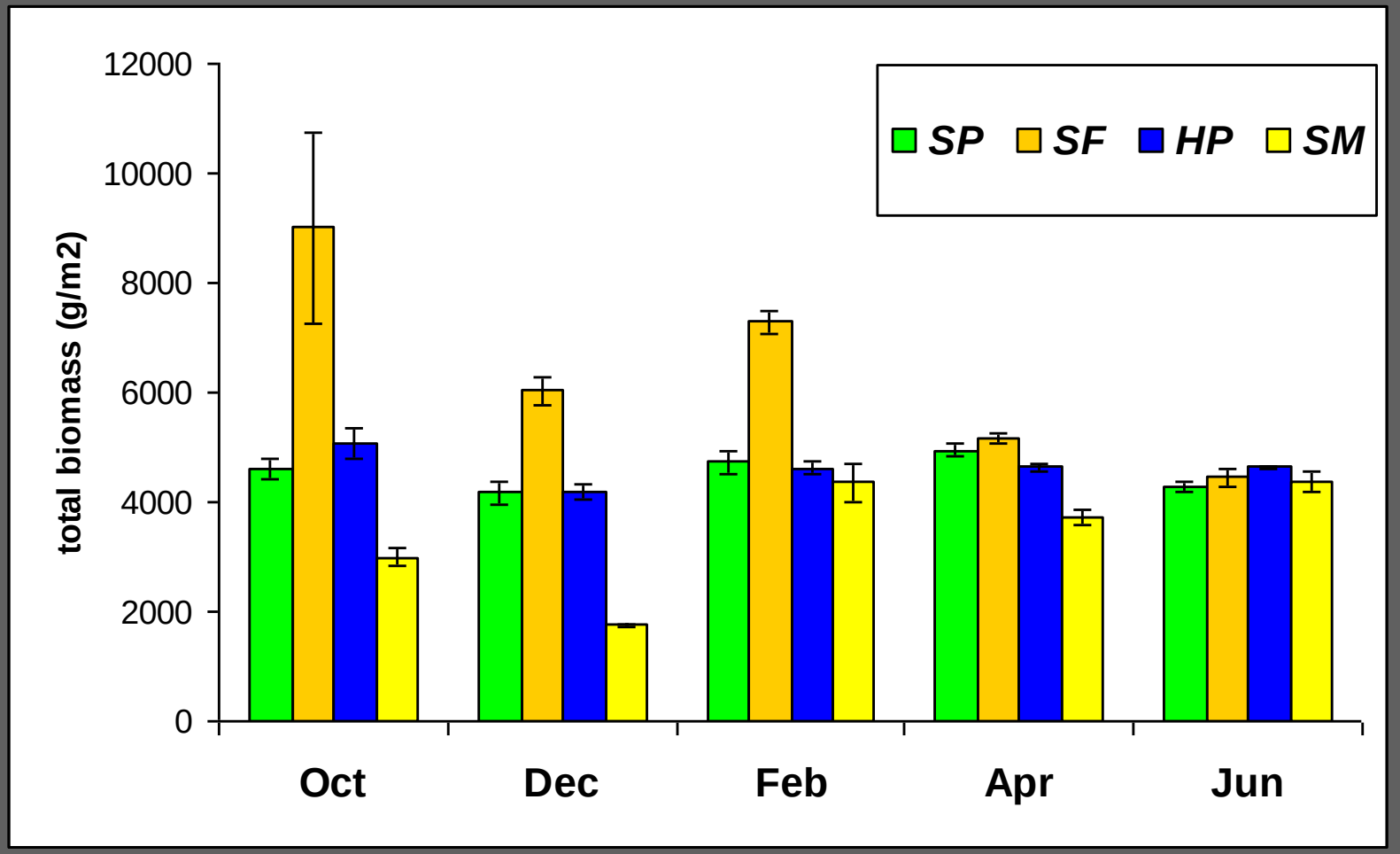
Rizoconcreção com vestígios vegetais

Fotografia em microscopia electrónica de varrimento

Caçador et al., 2001

Biomassa Total de diferentes espécies de Sapal

Sarcocornia perennis (SP), *S. fruticosa* (SF), *Halimione portulacoides* (HP) e *Spartina maritima* (SM)

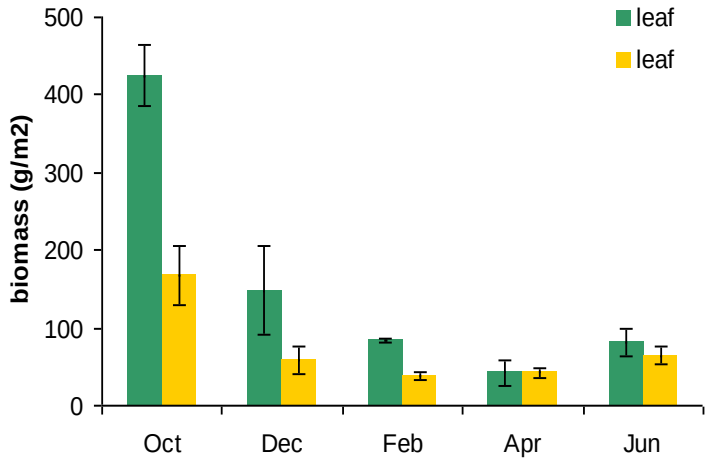


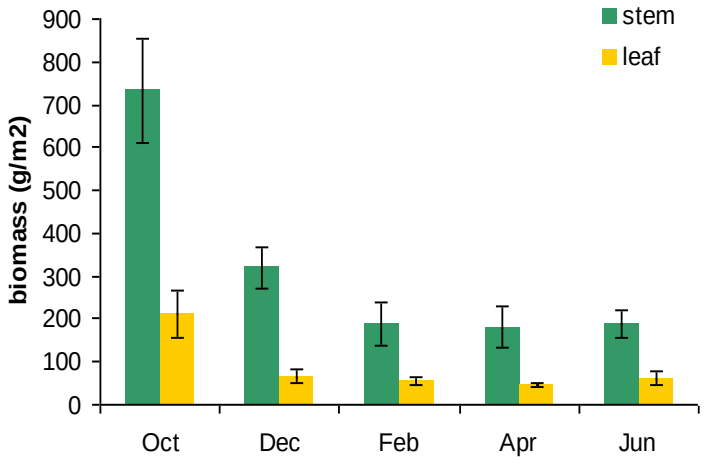
Caçador et al., 2005

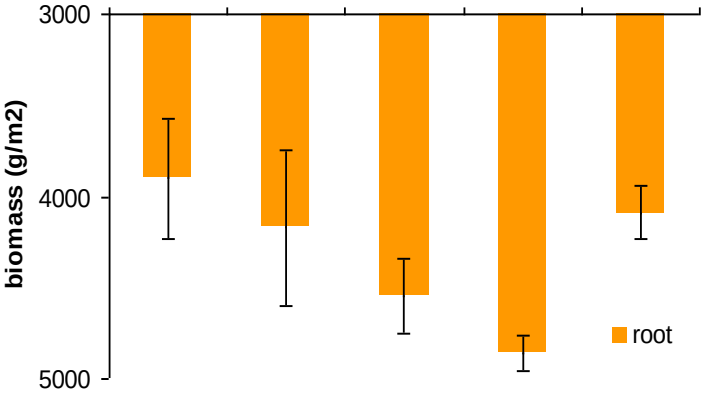
Spartina maritima *Halimione portulacoides*

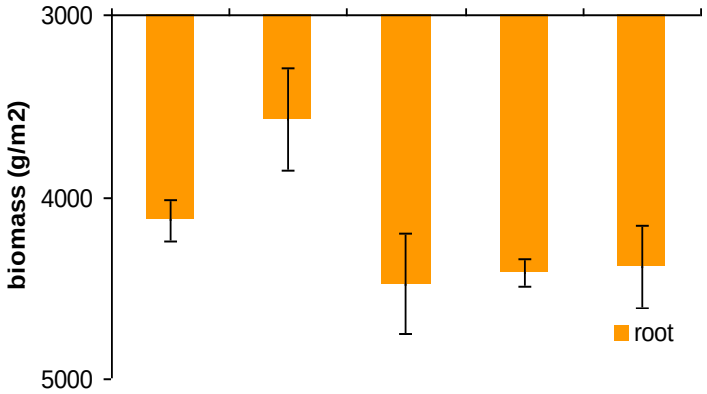
Parte aérea

Raízes

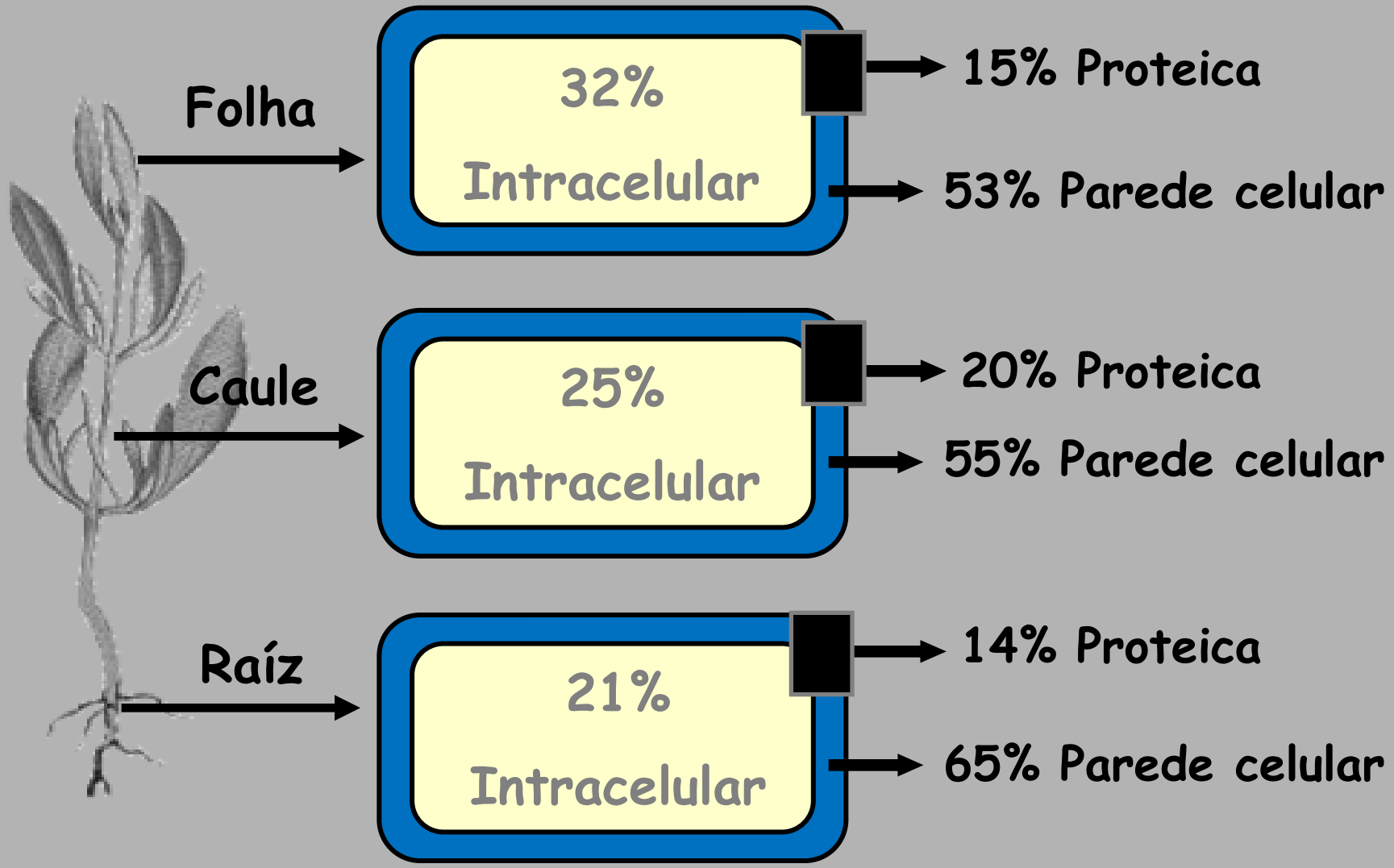






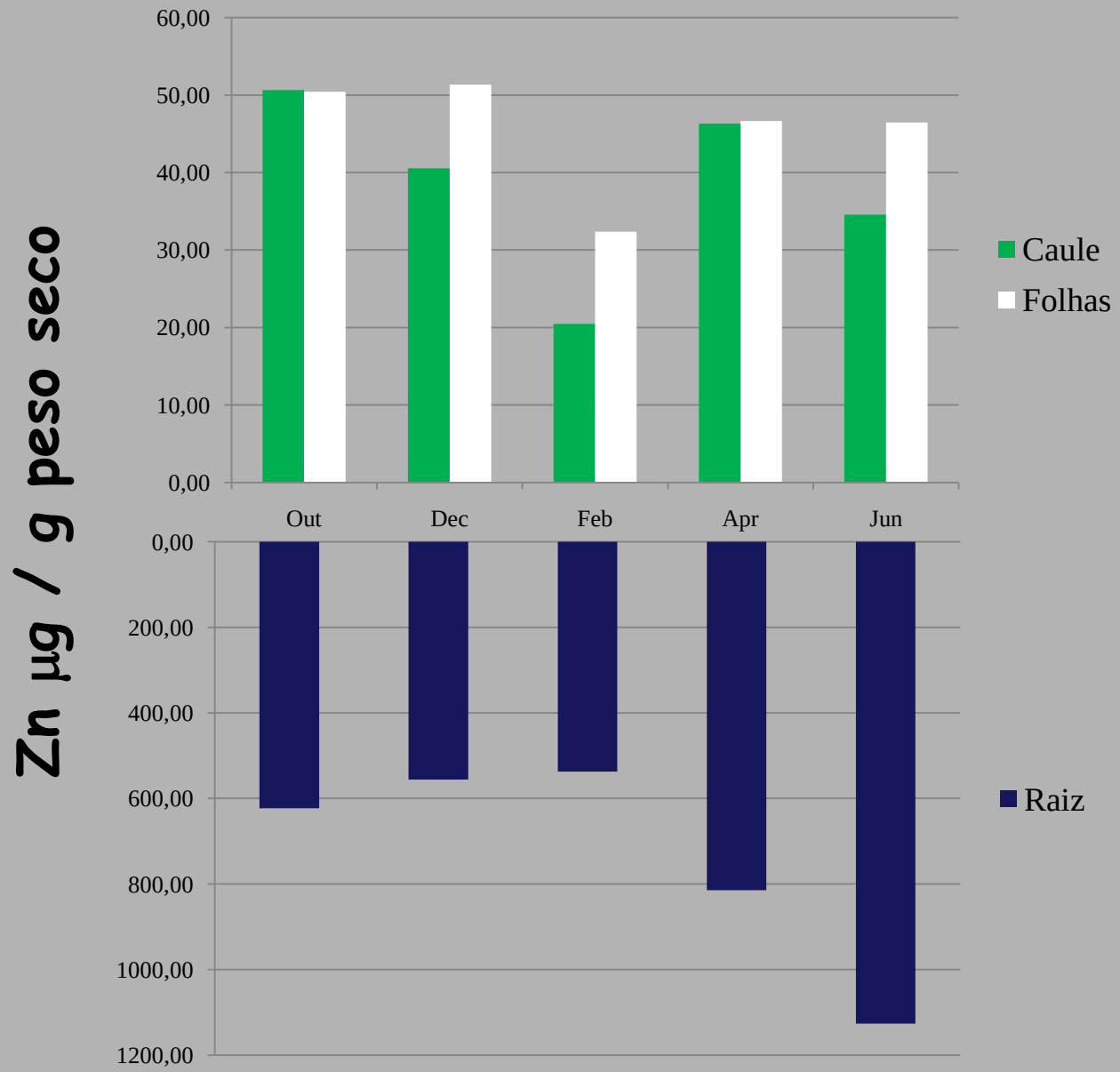


Caçador et al., 2005



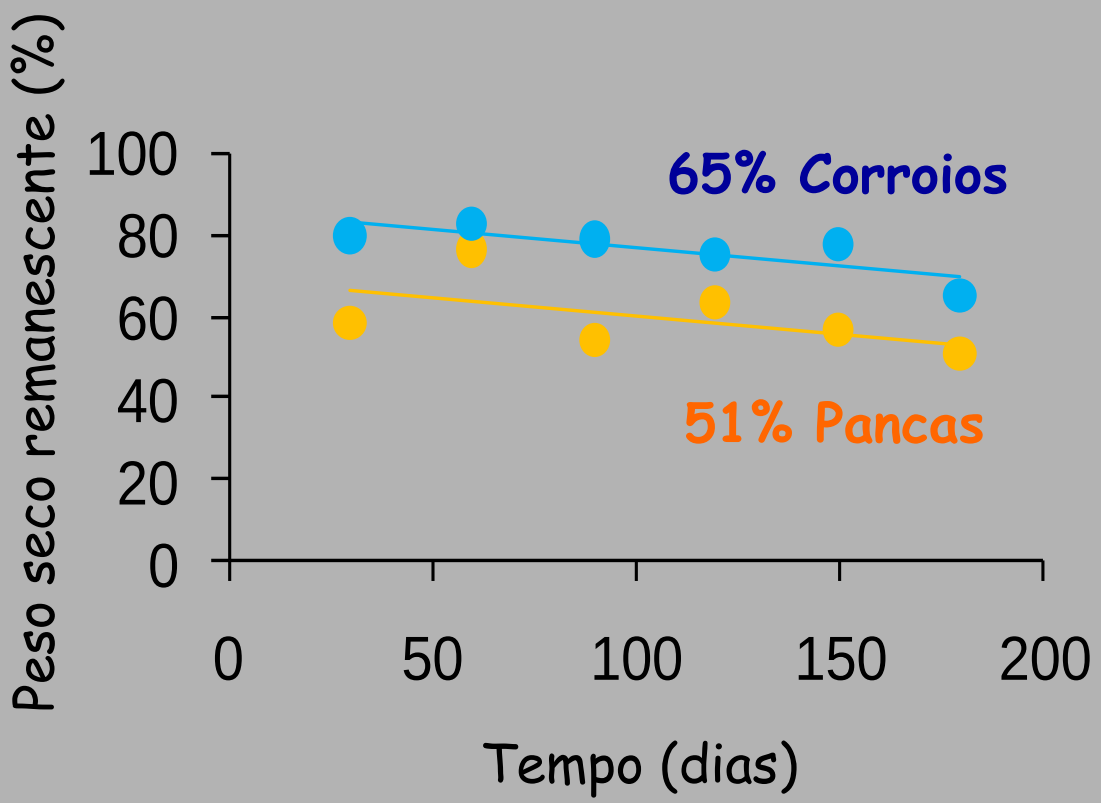
Sousa et al., 2008

Distribuição de Zn em *Halimione portulacoides*



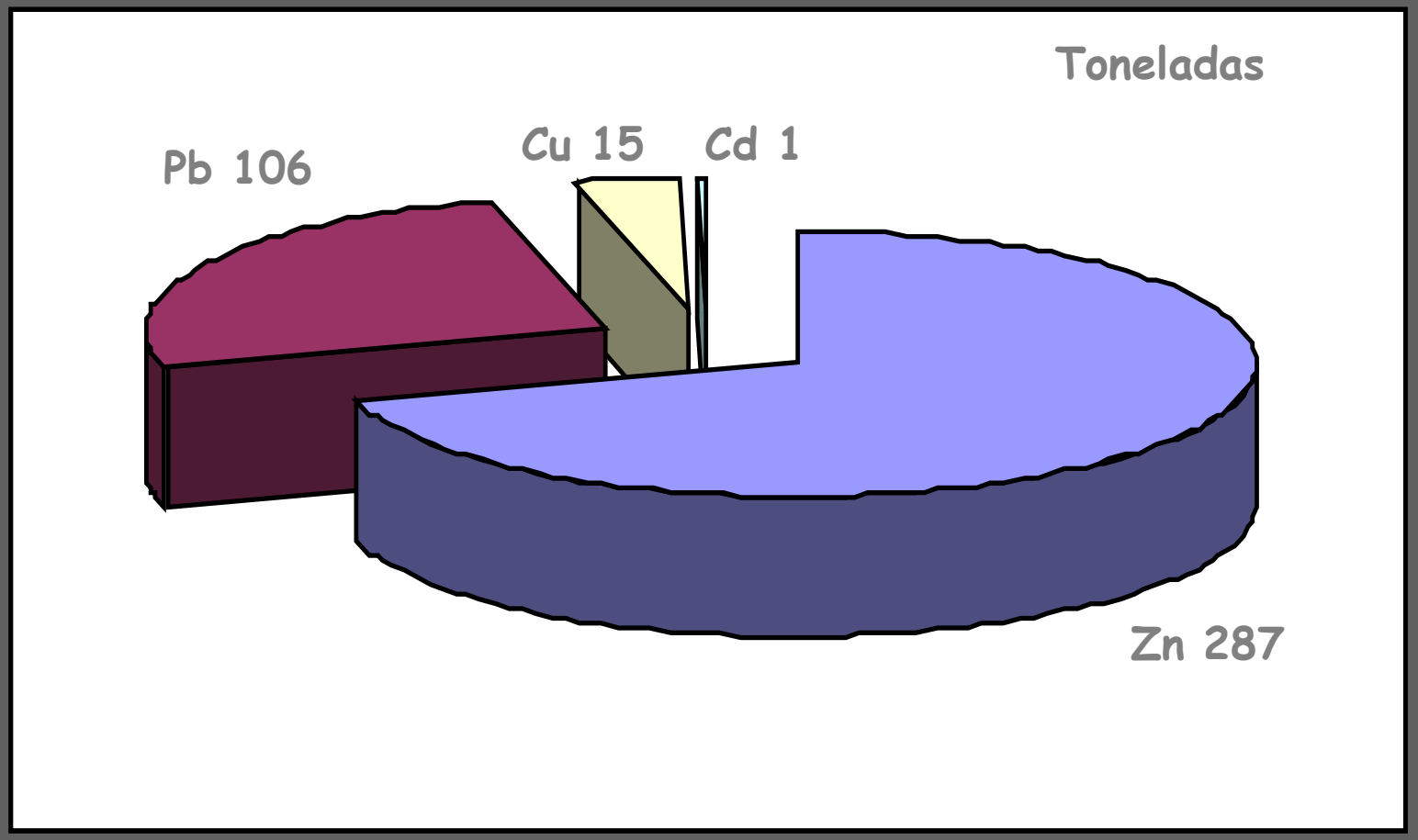
Biomassa-Taxa de decomposição de *Spartina maritima* nos sapais do Tejo

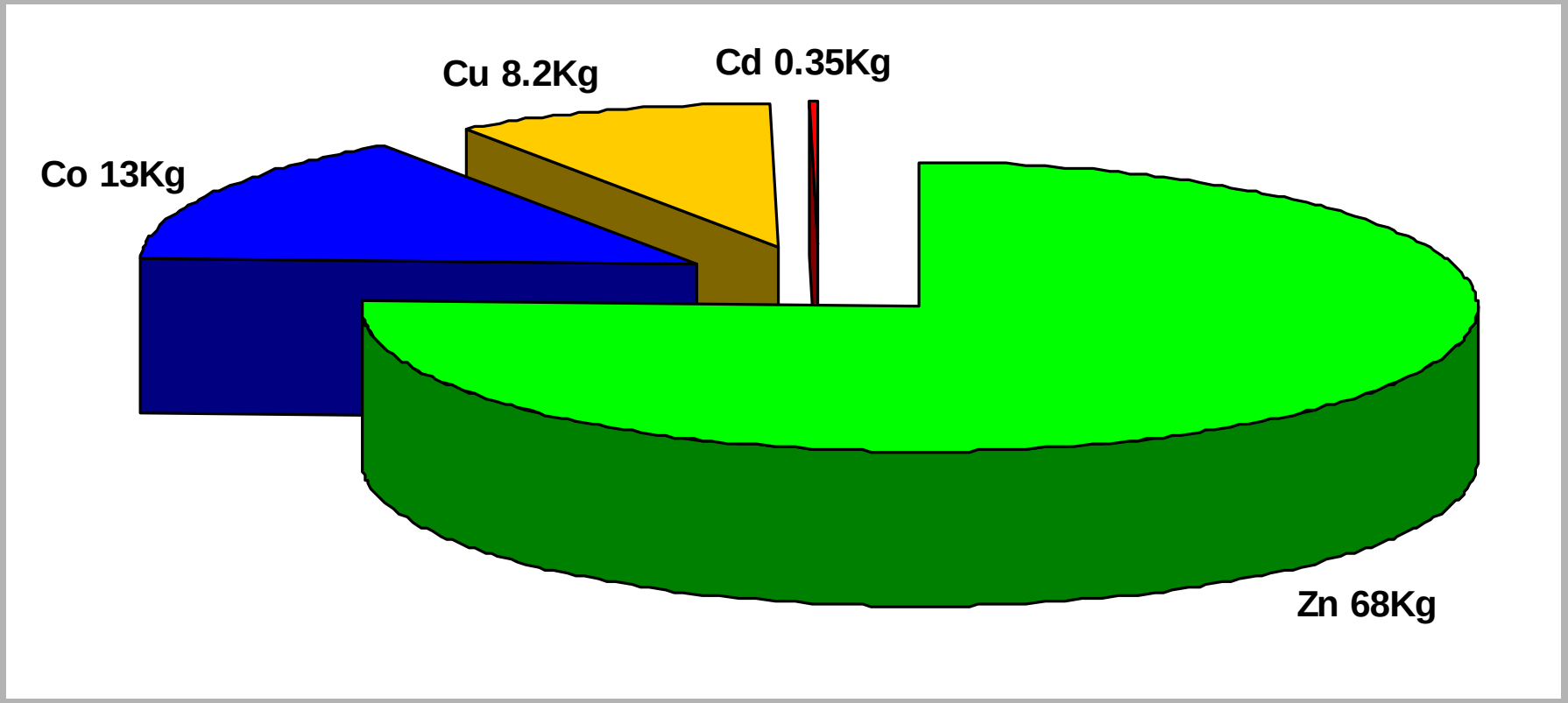
Pancas		Corroios	
t (d)	k (d^{-1})	t (d)	k (d^{-1})
31	0.0179	22	0.0076
59	0.0045	43	0.0032
87	0.0068	71	0.0027
118	0.0038	99	0.0024
150	0.0038	134	0.0017
180	**0.0038**	**183**	**0.0024**



Sousa et al., 2008

Estimativa da quantidade de metais pesados retidos no sapal do Rosário (200 ha)



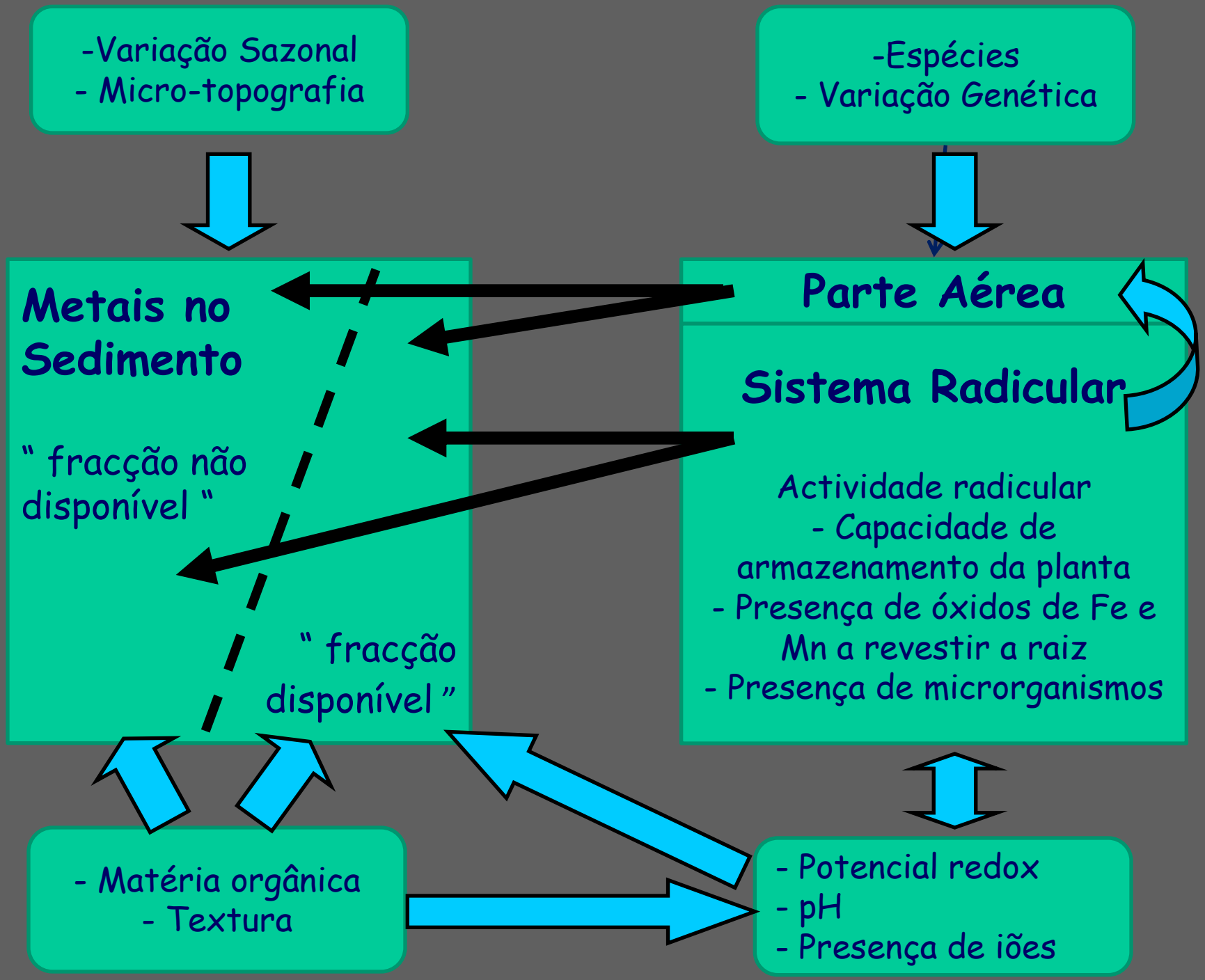


Caçador et al., 2005

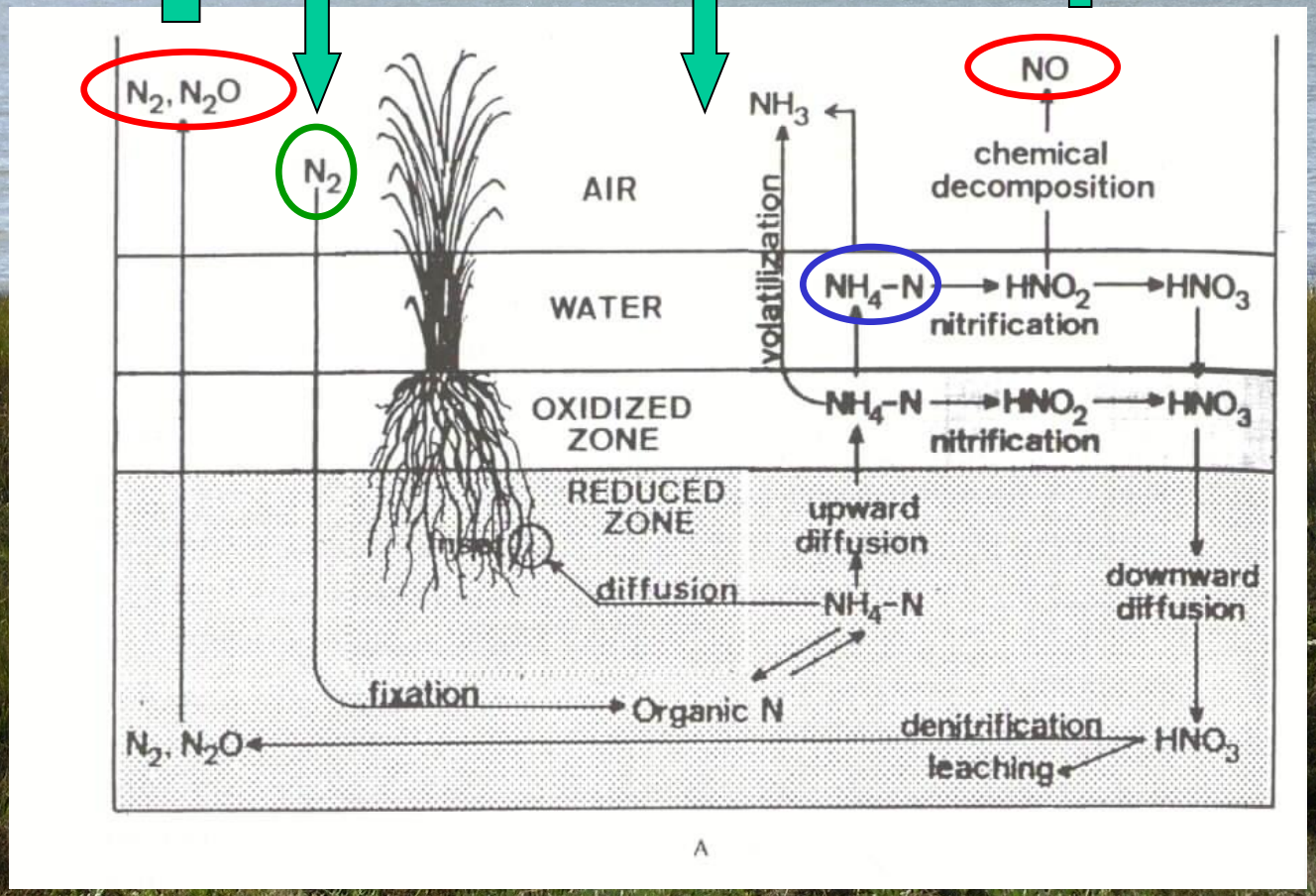
As zonas húmidas são ainda extremamente importantes na redução da Eutrofização aquática, através da sedimentação e aprisionamento dos nutrientes nos sedimentos e da sua tomada e incorporação na biomassa vegetal.

A capacidade das zonas húmidas de removerem o azoto inorgânico da coluna de água está ainda ligada aos intensos processos de desnitrificação que ocorrem nos sedimentos superficiais. As plantas influenciam os processos de nitrificação/ desnitrificação através da libertação de oxigénio para a rizosfera.

As características físico-químicas dos sedimentos são importantes para a capacidade de retenção do azoto e do fósforo. Por exemplo, o teor de oxigénio nos sedimentos para além de influenciar os processsos de nitrificação/ desnitrificação, influência a capacidade de ligação do fósforo ao Fe e do Al.


-Variação Sazonal
- Micro-topografia
-Espécies
- Variação Genética
Metais no Sedimento
" fracção não disponível "
" fracção disponível "
Parte Aérea
Sistema Radicular
Actividade radicular
- Capacidade de armazenamento da planta
- Presença de óxidos de Fe e Mn a revestir a raiz
- Presença de microrganismos
- Matéria orgânica
- Textura
- Potencial redox
- pH
- Presença de iões

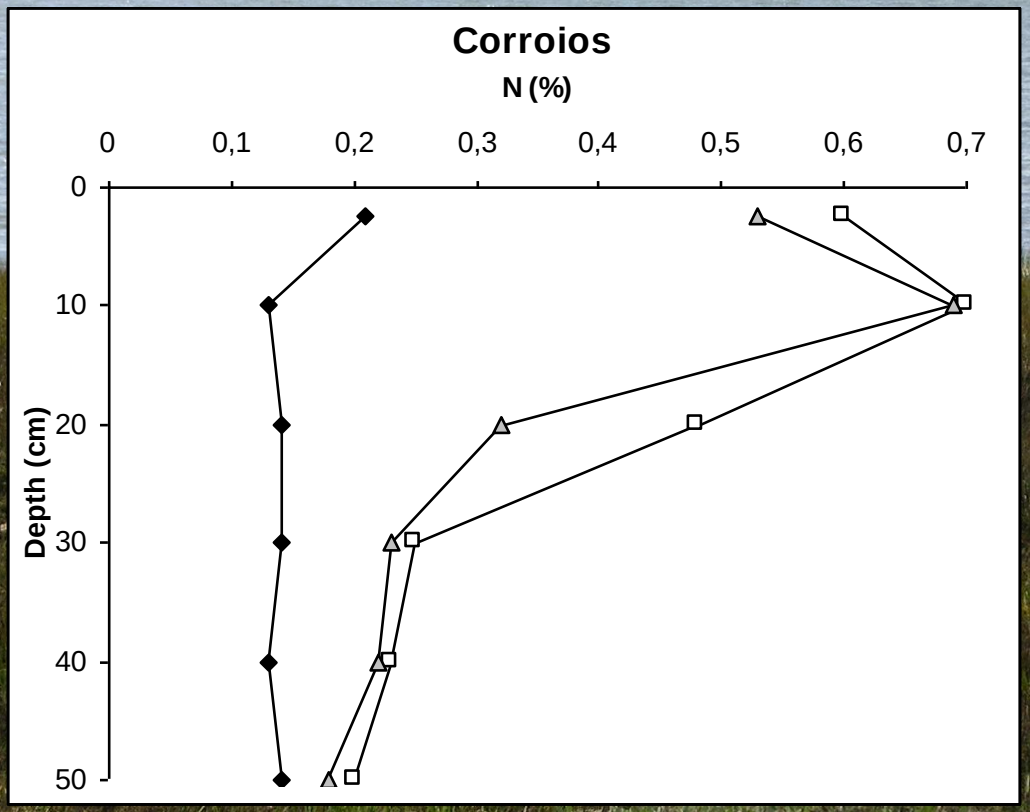
Precipitação



NH_4^+
NO_3^-
NO_2^-
NOP

Keddy, 2000

O ciclo do azoto nos sapais



O ciclo do azoto nos sapais