

COMPORTAMENTO DE *CISTUS LADANIFER* L. E *CISTUS MONSPELIENSIS* L. FACE AOS ELEMENTOS VESTIGIAIS EM SOLOS DA ÁREA MINEIRA DO CHANÇA

CISTUS LADANIFER L. AND *CISTUS MONSPELIENSIS* L. BEHAVIOUR IN CHANÇA MINE SOILS CONTAMINATED WITH TRACE ELEMENTS

Eliana Fernandes¹, M^a Manuela Abreu², Erika Santos^{1,2}
e M^a Clara Magalhães³

RESUMO

Comparou-se a acumulação e translocação de elementos vestigiais em duas espécies de plantas espontâneas na área mineira do Chança, *Cistus ladanifer* L. e *Cistus monspeliensis* L., e caracterizaram-se os solos da área da rizosfera. Os solos apresentaram diferenças no conteúdo em arsénio, cobre, crómio, manganês, vanádio e zinco e alguns elementos atingiram valores totais (mg kg⁻¹) de: 151 (As); 320 (Cr); 926 (Cu); 1010 (Mn); 235 (V). As concentrações em crómio, manganês e vanádio são diferentes na raiz das duas espécies. Na parte aérea, apenas a concentração de manganês e de níquel é semelhante. As espécies mostraram comportamento acumulador relativamente ao manganês, com exceção do *C. monspeliensis* numa das zonas de amostragem. Para a maioria dos elementos vestigiais, o *C. monspeliensis* pos-

sui maior capacidade de translocação (raiz-parte aérea) do que o *C. ladanifer*. Os coeficientes de translocação do crómio, manganês, níquel e zinco são superiores a 1,5 nas duas espécies.

Palavras-chave: Coeficiente de bioconcentração, Coeficiente de transferência, Coeficiente de translocação, Elementos vestigiais, Faixa Piritosa Ibérica Portuguesa

ABSTRACT

Trace elements accumulation and translocation in two spontaneous plants of genus *Cistus*, *Cistus ladanifer* L. and *Cistus monspeliensis* L., growing in the Chança mine area, were compared. Samples of plants and soils from rizosphere were collected and characterized. Soil samples showed different to-

¹ Centro de Investigação em Ciências do Ambiente e Empresariais, Instituto Superior Dom Afonso III, Convento Espírito Santo, 8100-641 Loulé. elianafernandesea@gmail.com; ²Unidade de Investigação de Química Ambiental, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa (TULisbon), 1349-017 Tapada da Ajuda, Portugal; ³Departamento de Química e Centro de Investigação em Materiais Cerâmicos e Compósitos, Universidade de Aveiro, P-3810-193 Aveiro, Portugal

tal content of arsenic, chromium, copper, manganese, vanadium and zinc, and some of the trace elements had the following total values (mg kg^{-1}): 151 (As); 320 (Cr); 926 (Cu); 1010 (Mn); 235 (V). The concentrations of chromium, manganese and vanadium in roots were different between species. In the shoots, only manganese and nickel concentrations were similar. The two species were manganese accumulators, with *C. monspeliensis* exception in one of the sampled areas. *Cistus monspeliensis* showed the largest translocation capacity of trace elements from roots to shoots. Both species presented the translocation coefficient of chromium, manganese, nickel and zinc larger than 1,5.

Key-words: Bioconcentration coefficient, Portuguese Iberian Pyrite Belt, Transfer coefficient, Translocation coefficient, Trace elements

INTRODUÇÃO

A Faixa Piritosa Ibérica (FPI) é uma vasta área geográfica localizada na região SW da Península Ibérica, inserida na Zona Sul Portuguesa (ZSP), uma das unidades geotectónicas principais do Orógeno Varisco (Matos e Martins, 2006). Esta área tem sido intensamente explorada desde o Calcolítico, devido à sua enorme riqueza em minério, principalmente para cobre, ouro e prata. Após intensa actividade extractiva, a céu aberto e/ou em lavra subterrânea, desde os finais do século XIX até aos anos 70-80 do séc. XX, a maioria das minas da FPI foram fechadas, sem que tivesse sido planeado ou implementado qualquer programa de recuperação ambiental. A actividade mineira e seu abandono determinaram a existência de infra-estruturas degradadas e de escombrelas, por vezes de grande volumetria, e muitas delas geradoras de drenagem ácida (Abreu *et al.*, 2010). Mui-

tas destas escombrelas não se encontram vegetalizadas ou então apresentam uma vegetação esparsa. As características químicas e mineralógicas dos materiais de escombrelas, dão origem à contaminação dos solos, sedimentos e águas da sua envolvente, com os inerentes efeitos na fauna e flora podendo ainda, em alguns casos, originar graves problemas de saúde pública. De facto, a maioria das minas da FPI encontra-se em situação de abandono não possuindo estruturas apropriadas que diminuam o seu impacto ambiental (Matos e Rosa, 2001; Matos e Martins, 2006).

A área mineira do Chança, situada no concelho de Mértola, no Baixo Alentejo, enquadra-se neste panorama. A sua exploração decorreu durante cerca de 50 anos e cessou no início do séc. XX. A extracção do minério era efectuada através de galerias e poços que actualmente se encontram abandonados e desprovidos de protecção. Esta pequena jazida era constituída por pirite, acompanhada de rara calcopirite e blenda, e possuía à superfície um *gossan* constituído por óxidos de ferro, sílica e possível cuprite (Matos e Rosa, 2001).

De um modo geral, nas áreas mineiras a cobertura vegetal é afectada por vários factores de stresse inerentes a esses meios, como elevadas concentrações de elementos vestigiais nos solos, baixos valores de pH, fertilidade e água disponível. Contudo, algumas espécies vegetais, nomeadamente espécies do género *Cistus*, colonizam e desenvolvem-se espontaneamente em solos de zonas degradadas e contaminadas por metais e metalóides apresentando elevada plasticidade e mecanismos de tolerância aos vários factores de stresse existentes no meio (Alvarenga *et al.*, 2004; Freitas *et al.*, 2004; Chopin e Alloway, 2007; Fernandes *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2009; Abreu *et al.*, 2011). Estas plantas podem contribuir para acelerar as condições de pedogénese e melhorar as

características biológicas e físico-químicas dos solos incipientes das áreas mineiras (Tordoff *et al.*, 2000; Abreu e Magalhães, 2009). Além disso, podem também minimizar a dispersão dos elementos contaminantes e ainda, porque são pioneiras, contribuir para a instalação de outras espécies vegetais (Abreu e Magalhães, 2009).

A área mineira do Chança foi muito pouco estudada, provavelmente devido à sua pequena extensão. Os estudos publicados referem-se fundamentalmente às águas superficiais (Alvarenga *et al.*, 2002). Contudo, os impactos sobre o meio, e particularmente nos solos poderão ser significativos, embora em função da dimensão da mina possam restringir-se a uma área relativamente pequena.

O objectivo deste trabalho foi avaliar o impacto determinado pela actividade mineira em três zonas espacialmente diferentes na área mineira do Chança, e particularmente o comportamento, relativamente aos elementos vestigiais, de duas espécies espontâneas do género *Cistus*, *C. ladanifer* L. e *C. monspeliensis* L. que crescem em solos desenvolvidos sobre escombros de natureza diferente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Seleccionaram-se três zonas representativas da área mineira do Chança cujos solos se desenvolveram sobre materiais de escombreira de diferentes naturezas: z1 e z2 - mistura de rocha encaixante e britados de pirite; z3 - gossan. A zona de colheita z3, contrariamente a z1 e z2, encontrava-se muito vegetalizada. A selecção das zonas de amostragem baseou-se na existência/predominância de duas espécies espontâneas e autóctones do género *Cistus*: na z1 predominava o *Cistus monspeliensis* L.; na z2 ocorria apenas o *Cistus ladanifer* L.; na z3 coexistiam as duas espécies de *Cistus*. Em cada zona de amos-

tagem colheram-se três amostras compostas de raiz e de parte aérea, provenientes de três a cinco indivíduos de cada espécie, e de solo da respectiva zona da rizosfera. O solo foi colhido até a uma profundidade de 20 cm. As respectivas amostras compostas de plantas e solos foram devidamente homogeneizadas. Os solos foram secos ao ar e crivados para obtenção da fracção <2 mm. As amostras de plantas foram lavadas várias vezes com água corrente, seguida de água destilada, secas em estufa (40 °C) e moídas finamente.

As amostras de solo (fracção <2 mm) foram caracterizadas relativamente à textura (análise granulométrica), pH em água (1:2,5; m:v), carbono orgânico (Corg) pelo método de combustão por via húmida, capacidade de troca catiónica (CTC) e catiões de troca pelo método do acetato de amónio a pH 7 (Póvoas e Barral, 1992). Determinou-se também a concentração de ferro nos oxi-hidróxidos de ferro; fracção total (De Endredy, 1963) e fracção não cristalina (Schwertmann, 1964).

A análise química multielementar dos solos (fracção <2 mm) foi realizada nos laboratórios Actlabs, por Espectrometria de Emissão Atómica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) e Análise Instrumental por Activação de Neutrões (INAA), após digestão ácida com uma mistura de quatro ácidos ($\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{HF}$) (ActLabs, 2010a). Tal como nos solos, a análise química multielementar das plantas foi também realizada nos laboratórios Actlabs, por Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) (ActLabs, 2010b), após digestão com ácido nítrico. A fracção disponível dos elementos químicos nos solos foi extraída com a solução aquosa de DTPA ($0,005 \text{ mol L}^{-1}$ DTPA + $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ TEA + $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ CaCl_2) a pH 7,3 (Lindsay e Norvell, 1978) e a concentração dos elementos químicos foi determinada por Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS).

O comportamento das plantas face a alguns elementos químicos no solo, foi avaliado através do coeficiente de transferência (CT = [elemento na parte aérea da planta]/[total do elemento no solo]), coeficiente de translocação (Ctrl = [elemento na parte aérea da planta]/[elemento na raiz da planta]) (McGrath e Zhao, 2003; Bu-Olayan e Thomas, 2009) e coeficiente de bioconcentração (CB = [elemento na parte aérea da planta]/[elemento na fracção disponível no solo]) (Abreu *et al.*, 2008). Uma espécie é considerada acumuladora de um elemento químico quando apresenta um coeficiente de transferência >1 (McGrath e Zhao, 2003; Bu-Olayan e Thomas, 2009). O coeficiente de translocação raiz-folha reflecte a mobilidade do elemento entre os dois órgãos sendo que plantas que concentram os elementos vestigiais na parte aérea não são aconselháveis para recuperação ambiental em termos de fitoestabilização, pois constituem uma possível fonte para transferência e provável bioconcentração dos mesmos elementos na cadeia trófica (Mendez e Mayer, 2008). O CB traduz a capacidade de absorção da planta a partir do solo quando o elemento químico se encontra na forma disponível. Uma planta é tolerante a um elemen-

to potencialmente tóxico quando $CB > 1$ (Abreu *et al.*, 2008).

A análise estatística dos dados foi realizada no programa SPSS 15.0 para o Windows. A comparação das médias dos dados obtidos nas plantas foi efectuada através da análise de variância ANOVA, teste de Duncan ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Solos

Os solos apresentam textura franco-arenosa, são ácidos a moderadamente ácidos (3,73 – 6,12). Os solos das áreas onde cresce o *C. monspeliensis* apresentam os valores de pH mais elevados (Quadro 1). Os valores de pH dos solos desenvolvidos sobre *gossan* (Z3) são significativamente diferentes. A concentração da matéria orgânica nos solos, avaliada através do produto do carbono orgânico pelo factor 1,724, é considerada média a muito alta (23,6-89,3 g kg⁻¹; Varennes, 2003), não sendo significativamente diferente nas quatro áreas amostradas. A capacidade de

Quadro 1 – Características químicas dos solos colhidos na área da rizosfera das espécies *C. monspeliensis* e *C. ladanifer* (média±desvio padrão, n=3).

Zona/Espécie	pH (H ₂ O)	Corg (g kg ⁻¹)	CTC (cmol _c kg ⁻¹)	Fe ^(a) (g kg ⁻¹)	Fe ^(b) (% total)
Z1 <i>C. monspeliensis</i>	5,9±0,2 ^a	35,9±14,8 ^a	15,4±4,5 ^a	19,9±6,1 ^a	96,7±1,1 ^a
Z2 <i>C. ladanifer</i>	4,7±0,8 ^a	26,7±9,5 ^a	14,0±3,4 ^a	26,2±2,9 ^a	96,6±3,1 ^a
Z3 <i>C. monspeliensis</i>	6,0±0,1 ^{AB}	17,9±3,7 ^{aA}	10,5±1,0 ^{aA}	40,9±2,7 ^{bA}	98,5±0,2 ^{bA}
Z3 <i>C. ladanifer</i>	4,8±0,6 ^{aA}	22,3±10,2 ^{aA}	11,5±6,1 ^{aA}	41,3±4,6 ^{bA}	96,7±3,0 ^{aA}

Corg – carbono orgânico; CTC – capacidade de troca catiónica; Fe^(a) – Fe nos óxidos de ferro, fracção total (cristalinos+não cristalinos); Fe^(b) – Fe nos óxidos de ferro cristalinos. Letras diferentes na mesma coluna indicam valores com diferenças significativas (letras minúsculas comparação entre a mesma espécie e letras maiúsculas comparação entre espécies diferentes na mesma área) ($p < 0,05$).

troca catiónica dos solos é média a baixa com valores compreendidos entre 7,15 – 19,22 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Os valores de CTC são semelhantes nas várias amostras de solos, independentemente da espécie e do local. No complexo de troca dominam os catiões cálcio e magnésio.

O ferro nos óxidos de ferro está maioritariamente associado à fracção cristalina (93 - 99 % do total), variando a concentração de ferro na fracção total entre 14,9 e 46,5 g kg^{-1} . Os valores de ferro nos óxidos de ferro (fracção total) variam significativamente entre as populações da mesma espécie, observando-se os valores mais elevados nos solos das áreas de colheita nos materiais de *gossan* (z3). Não se verificaram diferenças entre os solos das duas espécies na z3.

A análise química multielementar dos solos (Quadro 2) indica que alguns dos elementos vestigiais atingem valores totais elevados que excedem os valores máximos admitidos pela Legislação Portuguesa (Decreto-lei nº 276/2009) ou, relativamente ao arsénio e ao vanádio pela Legislação Canadiana (CCME, 2007). Os resultados obtidos confirmam os trabalhos de diagnóstico preliminares de minas abandonadas efectuados pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (ex. IGM) em 2001, que indicam a existência de quantidades significativas de arsénio, crómio e cobre nas escombrelas da área mineira do Chança (Matos e Rosa, 2001; Oliveira *et al.*, 2002). Estes relatórios referem ainda o zinco, contudo nos solos analisados este elemento apresenta concentrações abaixo dos valores de referência na legislação Portuguesa ($\text{Zn} < 300 \text{ mg kg}^{-1}$). Por sua vez, numa mesma área (z3 - área de solos desenvolvidos sobre *gossan*), o *C. ladanifer* cresce em solos com concentrações mais altas de arsénio, enquanto que o *C. monspeliensis* ocupa solos onde os valores da fracção total de manganês são mais elevados. Quanto aos outros elementos estudados não há diferenças significa-

tivas entre os solos.

Para a mesma espécie (*C. monspeliensis*) os solos das duas áreas (z1 e z3), onde as plantas se desenvolvem, apresentam concentrações totais significativamente diferentes de crómio, vanádio e zinco; os solos desenvolvidos sobre materiais de pirite (z1) são mais ricos em crómio e vanádio, enquanto que os solos desenvolvidos sobre *gossan* (z3) têm maior concentração de zinco. Porém, os solos onde as plantas de *C. ladanifer* foram colhidas apresentam apenas concentrações estatisticamente diferentes para o arsénio e o cobre, sendo a concentração do primeiro elemento mais alta nos solos da área z3. Estas diferenças estão associadas aos materiais originais dos solos mas também, muito provavelmente, às especificidades de cada uma das espécies, pois que, em regra, estas não ocupam exactamente as mesmas áreas dentro da zona z3.

No entanto, para se avaliar mais correctamente o comportamento das duas espécies de plantas face aos elementos químicos potencialmente tóxicos existentes no solo, deverá ser analisada a fracção disponível do elemento, isto é, a fracção que potencialmente a planta terá possibilidade de absorver. Tal como para a fracção total, também a fracção disponível de manganês é diferente nos solos onde crescem as duas espécies (z3), apresentando igualmente valores superiores nos solos de *C. monspeliensis* (cinco vezes superior). Relativamente ao arsénio, que na fracção total apresenta diferenças entre os solos das duas espécies, a concentração da fracção disponível deste elemento químico foi, em todas as amostras, inferior ao limite de detecção do método instrumental (0,2 mg kg^{-1}).

A comparação da fracção disponível dos elementos estudados entre as zonas de colheita de *C. monspeliensis*, z1 e z3, indica que existem diferenças significativas na concentração de cobre, manganês e zinco. Com excepção do manganês, os solos de

Quadro 2 – Concentração (mg kg^{-1}) total e fracção disponível de alguns elementos vestigiais presentes no solo da rizosfera das plantas de *C. monspeliensis*, e *C. ladanifer* (média±desvio padrão, n=3).

		Z1	Z2	Z3	Z3
		<i>C. monspeliensis</i>	<i>C. ladanifer</i>	<i>C. monspeliensis</i>	<i>C. ladanifer</i>
As	Total	51,7±44,7 ^a	73,7±11,6 ^a	83,0±6,6 ^{aA}	143,7±9,5 ^{bB}
	Disponível	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Cr	Total	81,0±33,5 ^a	139,3±25,7 ^a	300,7±20,6 ^{bA}	205,7±86,2 ^{aA}
	Disponível	0,3±0,1 ^a	0,4±0,1 ^a	0,3±0,1 ^{aA}	0,3±0,1 ^{aA}
Cu	Total	491,0±391,8 ^a	481,0±38,9 ^b	87,7±22,2 ^{aA}	51,33±18,90 ^{aA}
	Disponível	22,2±10,8 ^b	32,6±15,7 ^b	2,8±0,1 ^{aA}	2,2±0,9 ^{aA}
Mn	Total	948,7±24,0 ^a	320,3±410,8 ^a	969,3±44,4 ^{bB}	407,3±341,1 ^{aA}
	Disponível	0,05±0,02 ^a	0,01±0,00 ^a	0,2±0,1 ^{bB}	0,03±0,02 ^{aA}
Ni	Total	42,0±7,9 ^a	14,7±12,5 ^a	29,3±3,5 ^{aA}	25,0±20,9 ^{aA}
	Disponível	0,9±0,5 ^a	0,4±0,2 ^a	0,6±0,1 ^{aA}	0,5±0,2 ^{aA}
V	Total	64,0±14,0 ^a	158,3±33,3 ^a	169,7±27,6 ^{bA}	140,3±84,4 ^{aA}
	Disponível	1,4±0,1 ^a	1,4±0,1 ^a	1,3±0,2 ^{aA}	1,4±0,1 ^{aA}
Zn	Total	164,0±19,9 ^b	86,3±44,6 ^a	85,7±11,9 ^{aA}	54,0±27,6 ^{aA}
	Disponível	6,9±0,4 ^b	1,4±0,1 ^a	1,8±0,3 ^{aA}	2,1±0,5 ^{aA}

L.D. – Limite de detecção ($0,2 \text{ mg kg}^{-1}$). Letras diferentes na mesma linha indicam valores de concentração com diferenças significativas (letras minúsculas comparação entre a mesma espécie e letras maiúsculas comparação entre espécies diferentes na mesma área) ($p < 0,05$).

C. monspeliensis apresentaram sempre valores mais elevados na escombreira de britados de pirite e rocha encaixante (z1). Por sua vez, na comparação entre as zonas de amostragem de *C. ladanifer* apenas ocorrem diferenças na concentração da fracção disponível de cobre; em z2, as concentrações deste elemento são 16 vezes superiores às de z3. Nos solos da zona z3 a fracção disponível dos elementos químicos é semelhante, com excepção do manganês.

De uma maneira geral, a fracção disponível dos vários elementos químicos é baixa (<11 % das concentrações totais) não representan-

do, aparentemente, risco ambiental.

Plantas

A concentração em elementos vestigiais é diferente na parte aérea das duas espécies colhidas na z3, apresentando o *C. monspeliensis*, com excepção do crómio, valores mais altos para os mesmos elementos (Figura 1). Com excepção do zinco na z1 e do manganês nas três áreas, a concentração dos elementos químicos analisados está abaixo do valor considerado tóxico para as plantas (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

mentos semelhantes. Os elementos químicos têm como principais mecanismos de entrada nas plantas, a absorção pelas raízes e folhas, porém a generalidade das plantas apresenta maior concentração nas raízes do que na parte aérea, principalmente dos elementos não essenciais e considerados tóxicos (Varenes, 2003). Porém, no caso das plantas em estudo a maioria dos elementos químicos potencialmente tóxicos para a planta são translocados para a parte aérea (exceptuam-se o arsénio e o vanádio nos solos da área z3). O cobre é, em regra, translocado para a parte aérea (Srivastava e Gupta, 1996; Mengel e Kirkby, 2001), no entanto nas áreas z1 e z2 as duas espécies de plantas apresentam concentração semelhante em cobre na raiz e na parte aérea. Este comportamento poderá estar relacionado com os valores muito elevados não só da fracção total mas também da fracção disponível deste elemento nos solos quando comparados com os solos de z3 (Quadro 2). De facto, Kabata-Pendias e Pendias (2001) referem que em condições de

excesso de cobre no solo os tecidos das raízes podem demonstrar uma elevada capacidade para acumular este elemento em vez de o translocar para a parte aérea.

De um modo geral, para a maioria dos elementos vestigiais, o *C. monspeliensis* possui maior capacidade de translocação (raiz-parte aérea) do que o *C. ladanifer* (Quadro 3). Os coeficientes de translocação de crómio, manganês, níquel e zinco são superiores a 1,5 em ambas as espécies. Na área mineira de Aljustrel (Alvarenga *et al.*, 2004) e na região de Trás-os-Montes em solos desenvolvidos sobre rochas ultra-básicas (Lázaro *et al.*, 2006) o manganês e o níquel eram também translocados para a parte aérea das plantas de *C. ladanifer*. A translocação do crómio foi superior nas plantas de *C. ladanifer*, contudo não parece estar associada a uma maior concentração (total e disponível) do elemento nos solos da espécie em questão (Quadro 2). Os coeficientes de translocação mais elevados de arsénio e vanádio foram obtidos nas plantas, independentemente da espécie, que

Quadro 3 – Coeficientes de transferência (CT), bioconcentração (CB) e translocação (Ctrl) de alguns elementos vestigiais presentes no solo da rizosfera e em plantas de *C. monspeliensis*, e *C. ladanifer* (média, n=3).

Coeficientes	As	Cr	Cu	Mn	Ni	V	Zn
Z1 <i>C. monspeliensis</i>							
CT	0,02	0,02	0,04	1,07	0,16	0,01	0,96
CB	–	5,38	0,72	23562	8,42	0,55	22,87
Ctrl	1,18	2,25	0,76	3,21	2,26	1,47	2,92
Z2 <i>C. ladanifer</i>							
CT	0,01	0,01	0,03	2,50	0,39	0,01	0,52
CB	–	5,99	0,35	72387	9,62	0,35	25,96
Ctrl	1,03	3,69	0,31	2,29	1,85	1,00	1,49
Z3 <i>C. monspeliensis</i>							
CT	0,01	0,02	0,13	0,56	0,17	0,01	0,96
CB	–	0,54	11,16	541,38	4,76	0,81	81,01
Ctrl	0,49	1,82	3,26	2,95	3,29	0,48	2,90
Z3 <i>C. ladanifer</i>							
CT	0,01	0,01	0,07	1,87	0,22	0,01	1,00
CB	–	1,88	4,02	3555	8,54	0,61	46,29
Ctrl	0,22	5,74	0,88	2,42	2,27	0,38	2,26

crecem nos solos desenvolvidos sobre britados de pirite e rocha encaixante, porém no caso do cobre os valores mais altos foram obtidos nas plantas colhidas na área de *gossan*.

A capacidade de acumulação dos elementos nas plantas, avaliada através do coeficiente de transferência, varia consoante a zona de amostragem (Quadro 3).

O *C. monspeliensis* comporta-se como acumuladora de manganês apenas na zona 1. Porém, já o *C. ladanifer* tem comportamento de planta acumuladora de manganês em ambas as áreas de colheita (zonas 2 e 3) e de zinco apenas na zona 3, onde a fração disponível do elemento é maior. Estas espécies não são acumuladoras dos outros elementos químicos analisados. O comportamento de planta acumuladora de zinco (Alvarenga *et al.*, 2004 Chopin e Alloway, 2007; Santos, 2007) e de manganês (Alvarenga *et al.*, 2004) também foi observado em *C. ladanifer* colhido em outras áreas mineiras da FPI.

O comportamento observado em relação às espécies em estudo, não acumuladoras de arsênio, cobre, crômio, níquel e vanádio, é uma característica comum à generalidade das plantas, o que indicia a existência de um mecanismo de defesa face às concentrações totais elevadas de alguns elementos químicos nos solos. As duas espécies do género *Cistus* têm elevada capacidade de absorção, avaliada através do coeficiente de bioconcentração, de crômio, manganês, níquel e zinco em todos os locais de amostragem (excepto o *C. monspeliensis* em z3 para o crômio). Na área de *gossan* (z3), as duas espécies também apresentam elevada capacidade de absorção de cobre. De facto, nas áreas z1 e z2 este elemento, como já referido anteriormente, é acumulado na raiz das plantas que crescem nessas áreas, provavelmente como um mecanismo de defesa por existir em concentrações elevadas nos solos (Quadro 2) (Kabata-

Pendias e Pendias, 2001). As populações de *C. monspeliensis* apresentam maior capacidade de absorção de zinco na área de *gossan*, no entanto esta área apresenta menor concentração (total e disponível) daquele elemento do que a área de britados de pirite.

CONCLUSÕES

Em todos os locais de amostragem as espécies de *Cistus ladanifer* e *Cistus monspeliensis* mostraram boa capacidade de adaptação aos solos, embora alguns dos solos apresentassem concentração em elementos vestigiais (arsênio, crômio, cobre, manganês, vanádio e zinco) superiores aos valores limite da legislação Portuguesa e Canadiana. A capacidade de acumulação e translocação dos elementos químicos varia com o local de colheita mas, de um modo geral, o *C. monspeliensis* apresentou valores mais altos dos respectivos coeficientes do que o *C. ladanifer*. As populações de *C. ladanifer* parecem apresentar maior tolerância aos elementos químicos estudados comparativamente à outra espécie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu M.M. e Magalhães M.C.F. (2009) - Phytostabilization of soils in mining areas. Case studies from Portugal. In: Aachen, L. e Eichmann, P. (Ed.) - *Soil remediation*. New York, Nova Science Publishers Inc., New York, p. 297-344.
- Abreu, M.M.; Tavares, M.T. e Batista, M.J. (2008) - Potential use of *Erica andevalensis* and *Erika australis* in phytoremediation of sulphide mine environments: São Domingos, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*, 96: 210-222.
- Abreu, M.M.; Batista, M.J.; Magalhães, M.C.F. e Matos, J.X. (2010) - Acid Mine

- Drainage in the Portuguese Iberian Pyrite Belt. In: Robinson, C.B. (Ed.). *Mine drainage and Related Problems*. New York, Nova Science Publishers Inc., p. 71-118.
- Abreu, M.M.; Santos, E.S.; Ferreira, M. e Magalhães, M.C.F. (2011) - *Cistus salvifolius* a promising species for mine wastes remediation. *Journal of Geochemical Exploration*. doi: 10.1016/j.gexplo.2011.03.007
- ActLabs (2010a) - *Code 1H, Total Digestion, ICP, INAA* (em linha). Ontario, Activation Laboratories Ltd., 1 p. (Acesso em 2010.05.02). Disponível em <<http://www.actlabs.com/page.aspx?page=506&app=226&cat1=549&tp=12&lk=no&menu=64&print=yes>>.
- ActLabs (2010b) - *Code 2D Vegetation Ash ICP-MS* (em linha). Ontario, Activation Laboratories Ltd., 1 p. (Acesso em 2010.05.02). Disponível em <<http://www.actlabs.com/page.aspx?page=538&app=226&cat1=549&tp=12&lk=no&menu=64&print=yes>>.
- Alvarenga, P.M.; Matos, J.X. e Fernandes, R.M. (2002) - Avaliação do impacto das minas de Chança e Vuelta Falsa (Faixa Piritosa Ibérica) nas águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Chança. In: *Actas do Congresso Internacional Sobre o Património Geológico e Mineiro*. Beja, Instituto Geológico e Mineiro, SEDPGYM, p. 611-620.
- Alvarenga, P.M.; Araújo, M.F.J. e Silva, A.L. (2004) - Elemental uptake and root-leaves transfer in *Cistus ladanifer* L. growing in a contaminated pyrite mining area (Aljustrel-Portugal). *Water, Air, and Soil Pollution*, 152: 81-96.
- Bu-Olayan, A.H.; Thomas, B.V.; (2009) - Translocation and bioaccumulation of trace metals in desert plants of Kuwait Governorates. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3, 5: 581-587.
- CCME (2007) - *Canadian Environmental Quality Guidelines for the protection of environmental and human health: summary tables* (em linha). Winnipeg, Canada Council of Ministers of the Environment, 6 p. (Acesso em 2010.05.02). Disponível em <http://www.ccme.ca/assets/pdf/rev_soil_summary_tbl_7.0_e.pdf>.
- Chopin E.I.B. e Alloway B.J. (2007) - Distribution and mobility of trace elements in soils and vegetation around the mining and smelting areas of Tharsis, Riotinto and Huelva, Iberian pyrite belt, SW Spain. *Water Air Soil Pollution*, 182: 245-261.
- Decreto-Lei n.º 276/2009 de 2 de Outubro. *Diário da República*, I Série-A, 192: 7154-7165.
- De Endredy, A.S. (1963) - Estimation of free iron oxides in soils and clays by photolytic methods. *Clay Mineral Bulletin*, 9: 209-217.
- Fernandes, E.; Abreu, M.M. e Santos, E.S. (2009) - Comparação do comportamento de duas espécies de *Cistus* e respectivo híbrido na mina do Chança. In: *Actas VIII Congreso Ibérico e X Congreso Nacional de Geoquímica* (CD-ROM). Soria, Espanha, p. 447-451.
- Freitas, H.; Prasad, M.N.V. e Pratas, J. (2004) - Plant community tolerant to trace elements growing on the degraded soils of São Domingos mine in the south east of Portugal: environmental implications. *Environment International*, 30: 65-72.
- Kabata-Pendias, A. e Pendias, H. (2001) - *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd ed. Boca Raton, CRC Press, 413 p.
- Lázaro, J.D.; Kidd, P.S. e Martínez, C.M. (2006) - A phytogeochemical study of the Trás-os-Montes region (NE Portugal): Possible species for plant-based soil remediation technologies. *Science of the Total Environment*, 354: 265-277.

- Lindsay, W. L. e Norvell, W.A. (1978) - Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
- Matos, J.X. e Martins, L.P. (2006) - Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e perspectivas futuras. *Boletín Geológico y Minero*, 117: 289-304.
- Matos, J.X. e Rosa, C. (2001) - *Diagnóstico Preliminar de Minas Abandonadas – Área Sul*. Lisboa, Instituto Geológico e Mineiro, 276 p. (Relatório Interno)
- McGrath, S.P.; Zhao, F.; (2003) - Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 14: 277-282.
- Mendez, M.O. e Maier, R.M. (2008) - Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments – An emerging remediation technology. Review. *Environmental Health Perspectives*, 116, 3: 278-283.
- Mengel, K. e Kirkby, E.A. (2001) - *Principles of Plant Nutrition*. 5th ed. London, Kluwer Academic Publishers, 849 p.
- Oliveira, J.M.S.; Farinha, J.; Matos, J.X.; Ávila, P.; Rosa, C.; Machado, M.J.C.; Daniel, F.S.; Martins, L. e Leite, M.R.M. (2002) - Diagnóstico ambiental das principais áreas mineiras degradadas do país. *Boletim de Minas*, 39: 67-85.
- Póvoas, I. e Barral, M.F. (1992) - *Métodos de Análise de Solos*. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, Ministério do Planeamento e da Administração do Território, 61 p. (Comunicações do IICT, Série de Ciências Agrárias, Nº 10).
- Santos, E.S. (2007) - *Potencial de utilização de Cistus ladanifer na vegetação de áreas mineiras*. Tese de Mestrado. Faro, Universidade do Algarve, 217 p.
- Santos, E.S.; Abreu, M.M.; Nabais, C. e Saraiva J. (2009) - Trace elements and activity of antioxidative enzymes in *Cistus ladanifer* L. growing on an abandoned mine area. *Ecotoxicology*, 18, 7: 860-868.
- Schwertmann, U. (1964) - Differenzierung der Eisenoxides des Bodens. *Planzenernährung Düngung Bodenkund*, 105: 194-202.
- Srivastava, P.C. e Gupta, U.C. (1996) - *Trace Elements in Crop Production*. USA, Science Publishers Inc., 356 p.
- Tordoff, G.M.; Baker, A.J.M. e Willis, A.J. (2000) - Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 41: 219-228.
- Varenes, A. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Lisboa, Escolar Editora, 465 p.