



**P**  
**ARA DESENVOLVER  
A TERRA**  
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS  
DE GEOCIÊNCIAS  
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,  
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,  
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.  
& Ivo Alves, E.

Coordenação

ESTUDO PRELIMINAR DE FITOMINERAÇÃO UTILIZANDO  
*ALYSSUM SERPYLLIFOLIUM* DESF. SUBSP. *LUSITANICUM* (DUDLEY  
& P. SILVA) EM SOLOS SERPENTINÍTICOS DOS MACIÇOS DE  
BRAGANÇA E DE MORAIS (NORDESTE DE PORTUGAL)

PRELIMINARY STUDIE OF PHYTOMINING USING *ALYSSUM*  
*SERPYLLIFOLIUM* DESF. SUBSP. *LUSITANICUM* (DUDLEY  
& P. SILVA) IN SERPENTINIC SOILS OF BRAGANÇA  
AND MORAIS MASSIFS (NORTHEAST OF PORTUGAL)

I. Morais<sup>2</sup>, J. S. Campos<sup>2</sup>, J. Pratas<sup>1</sup> & F. Pita<sup>1</sup>

**Resumo** – O presente trabalho é um estudo preliminar onde se testa a possibilidade de utilização do *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* como um biominério na fitominação de solos serpentínicos. Esta espécie, endémica dos solos ultrabásicos dos maciços de Bragança e de Morais, é uma hiperacumuladora de Ni, podendo conter mais de 6500 mg/kg (Peso Seco) deste elemento. Pretende-se verificar qual a variabilidade dos teores de Ni contidos na planta em diferentes locais, se é dependente do Ni contido no solo ou na fracção biodisponível. Elaborar uma pré avaliação da biomassa produzida em condições naturais e da quantidade de níquel que se pode retirar por unidade de área. Os resultados obtidos revelam que a sua produção de biomassa média, considerando apenas as partes aéreas, é de cerca de 7,2 t/ha, com um teor médio 0,41% Ni (0,38% de Ni teor ponderado), permitindo retirar cerca de 27,5 kg/ha por colheita, em condições naturais. Considerando a depleção de Ni do solo por sucessivas colheitas verifica-se também que os solos serpentínicos podem ser uma fonte importante para a aplicação da fitominação utilizando esta espécie.

**Palavras-chave** – fitominação, níquel, *Alyssum*, solos serpentínicos, Bragança

**Abstract** – *This paper is a preliminary study where is tested the possibility of using *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* as a bio-ore in phytomining, using serpentinic*

<sup>1</sup> Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra da FCTUC; jpratas@dct.pt; fpita@dct.pt

<sup>2</sup> Departamento de Ciências da Terra da FCTUC; igorbatista3@hotmail.com; joana\_scamos@hotmail.com

soils. This species, endemic to the serpentinic soils of Bragança and Morais massifs, is a Ni hyperaccumulator, and may contain more than 6500 mg/kg (DW) of this element. In this study we intend to verify that the variability of the levels of Ni contained in the plant in different locations, if it is dependent on the Ni contained in the soil or in the bioavailable soil fraction. It also allows develop a pre evaluation of the biomass produced under natural conditions and the amount of nickel that can remove per unit area. The results show that the average production of biomass, considering only the aerial parts is about 7.2 t/ha, with an average grade of 0.41% Ni, allowing withdraw around 27.5 kg/ha per crop, under natural conditions. Considering the depletion of Ni from the soil through successive crops is also found that the serpentine soils may be an important source for the application of phytomining using this plant species.

**Keywords** – phytomining, nickel, *Alyssum*, serpentinic soils, Bragança

## 1 – Introdução

Os solos serpentíníticos, apesar de pouco abundantes, estão dispersos por várias áreas do globo, ocorrendo sobre serpentinitos ou outras rochas ultrabásicas: NW da América, E do Canadá, País de Gales e Escócia, NE de Cuba, Portugal, Itália, Península dos Balcãs, Turquia, Brasil Central, Nova Caledónia, SE da Ásia, Filipinas, Japão, Zimbabué, Nova Zelândia, Moçambique, Timor e cintura de rochas verdes no W da Austrália que representam cerca de 13% do substrato geológico global (Menezes de Sequeira e Pinto da Silva, 1991).

Os ecossistemas dos solos serpentíníticos apresentam distintas comunidades de plantas endémicas (PINTO DA SILVA, 1968; BROOKS, 1987; ARIANOUTSOU *et al.*, 1993; BAKER *et al.*, 1993; ROSS, 1994; REEVES *et al.*, 1996; FREITAS *et al.*, 2004). Estes solos contêm teores desproporcionalmente elevados em Ni, Cr, Co, bem como uma baixa relação Ca/Mg (KRUCKEBERG, 1984; BROOKS, 1987; ADRIANO, 2001). Por esses motivos desenvolve-se sobre eles uma flora característica, tolerante ao excesso de Ni e Cr e que permite suportar o “stress” imposto pelas suas condições geoquímicas específicas. Nestas comunidades serpentíníticas têm-se encontrado espécies hiperacumuladoras de Ni, contendo quantidades muito apreciáveis deste metal nos seus tecidos, com valores superiores a 5000 mg/kg em material seco.

Em Portugal já há algum tempo que se conhece a presença do *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* como sendo uma hiperacumuladora de Ni (MENEZES DE SEQUEIRA, 1968), contudo, poucos estudos têm sido feito sobre a sua fisiologia. BROOKS *et al.* (1981) fizeram testes de germinação em algumas espécies de *Alyssum* e verificaram que o *A. serpyllifolium* germinava bem em solos com concentrações de Ni superiores a 12000 mg/kg.

Esta espécie encontra-se distribuída nos solos serpentíníticos portugueses dos maciços de Morais e Bragança e desenvolve-se sobre serpentinitos e outras rochas ultrabásicas como harzburgitos e dunitos.

Este trabalho tem por objetivos verificar se há variabilidade da distribuição da concentração de Ni no *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* em diferentes locais dos

referidos maciços, se existe uma relação entre a concentração de metal no solo (total ou biodisponível) com a concentração na planta e constituir um estudo preliminar sobre a sua possível utilização em fitominação como formadora de um biominério de níquel. Esta possibilidade poderia permitir a obtenção de algum rendimento de solos de fraca aptidão agrícola e em áreas remotas.

## 2 – Área de Estudo

As duas áreas onde incidiu o estudo situam-se no Norte de Portugal, no distrito de Bragança. O maciço de Bragança e Vinhais (A) situa-se mais a norte da área em estudo e localiza-se nos concelhos de Bragança e Vinhais e o maciço de Morais (B) situa-se mais a sul no concelho de Macedo de Cavaleiros (Fig.1).

Geologicamente no maciço de Bragança-Vinhais individualizam-se duas sinformas: a de Vinhais-Vila Boa de Ousilhão-Samil e a de Mofreita-Espinhosela-Braçal, alongadas na direção NW-SE e separadas por uma antiforma (anticlinal de Ladeiro), onde aflora o Alóctone Inferior com xistos verdes, com intercalações de filitos, serpentinitos, flaser gabros, anfibolitos de baixo grau e mármore. O maciço é deslocado por duas grandes falhas a de Bragança-Vilariça, NNE-SSW e a falha de Vinhais-Bragança E-W (Fig.2).

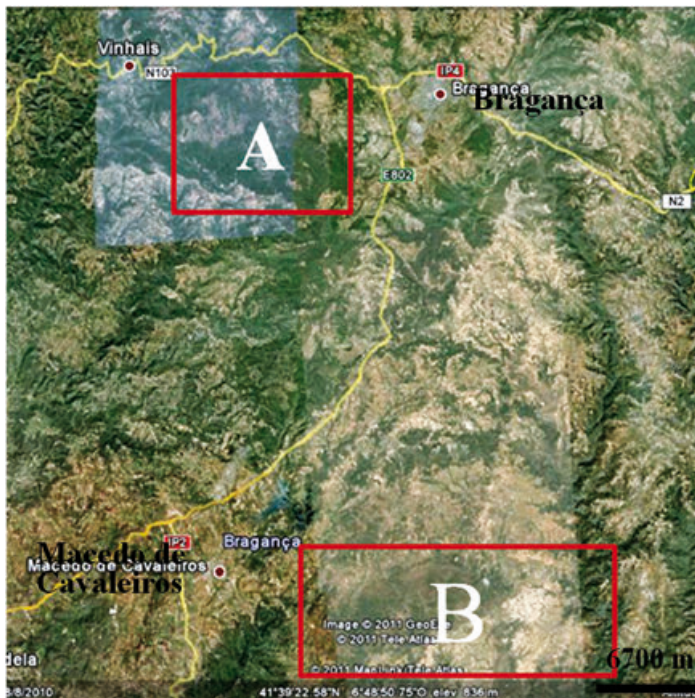


Fig. 1 – Imagem de Google Earth com a localização das áreas em estudo. A- Maciço de Bragança-Vinhais, B- Maciço de Morais (GOOGLE EARTH, 2011).



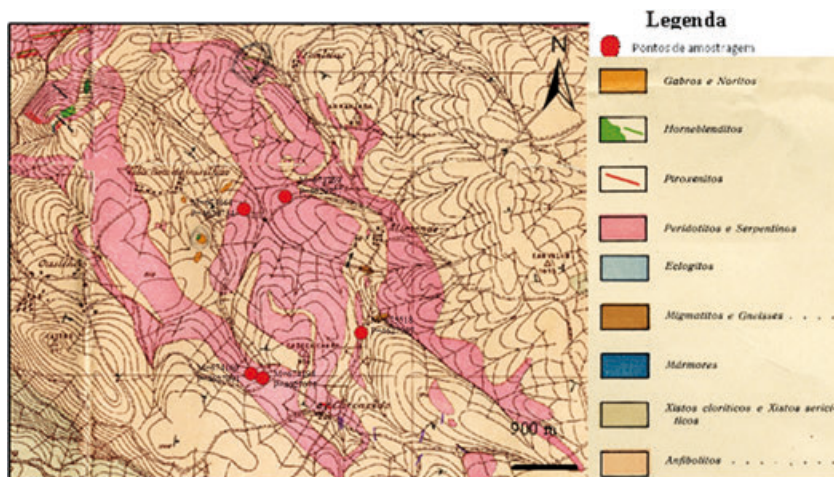


Fig. 2 – Excerto da carta geológica Bragança-Vinhais, 1:50000 (NEIVA, 1948), com a localização dos pontos de amostragem (Coordenadas UTM, WGS84).

O Maciço de Morais tem forma arredondada e é cortado na direção ENE-WSW pela falha de Morais, que é uma falha inversa, mergulhante para N e onde o bloco norte subiu em relação ao bloco sul. O Alóctone Superior é constituído por rochas granulíticas básicas e ultrabásicas, que constituem as unidades de Vinhas e Caminho Velho, ortognaisses ocelados, que se designam por ortognaisse da Lagoa, e por micaxistos, que se designam micaxistos da Lagoa. O complexo Ofiolítico é composto da base ao topo por: peridotitos serpentinizados, gabros melanocráticos, flaser gabros, complexo de dique em dique, anfíbolitos e anfíbolitos retromorfizados para xistos verdes. No monte de Morais, as rochas ultramáficas suportam cumes elevados e planos do maciço. Em termos petrográficos o maciço ultramáfico é essencialmente constituído por harzburgitos e dunitos (Fig.3).

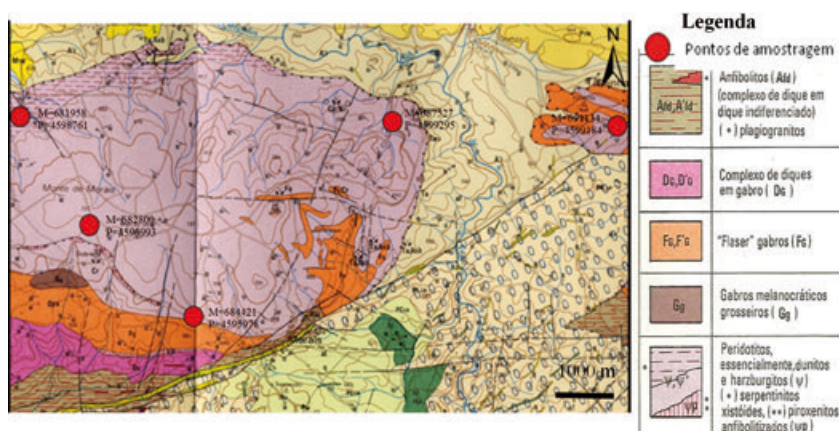


Fig. 3 – Excerto da carta geológica 7-D Macedo de Cavaleiros, 1:50000 (PEREIRA et al., 1998), com a localização dos pontos de amostragem (Coordenadas UTM, WGS84).

### 3 – Materiais e Métodos

A amostragem das duas áreas foi feita de modo aleatório, tendo sido amostrados 10 locais, 5 em cada um dos maciços. A campanha de amostragens foi feita em junho de 2011 e foram recolhidas todas as plantas de *A. serpyllifolium* contidas numa área de cerca de 1 m<sup>2</sup>. Essa colheita incidiu sobre a totalidade da planta, incluindo raiz, sendo posteriormente separadas e tratadas individualmente. Foram depois secas e pesadas para se poder ter um cálculo inicial da biomassa. Nesta mesma área foi feita uma amostragem do solo representativa da mesma área de colheita das plantas.

Cada amostra de solo foi crivada a 80 mesh, homogeneizada e quarteada. As amostras de solos foram digeridas por dois processos: a) em água régia com auxílio de micro-ondas (Microwave 3000 – Anton Par); b) em acetato de amónio para se obter a concentração biodisponível e também com o auxílio do micro-ondas. Em ambos os casos as concentrações de Co, Cr, Cu, Ni e Zn foram determinadas por espectrofotometria de absorção atómica (Thermo Solar M2).

As raízes e partes aéreas das plantas foram moídas separadamente e quarteadas para se retirarem amostras representativas. As análises efetuadas seguiram o método da via húmida, as plantas foram digeridas em ácido nítrico 65% e peróxido de hidrogénio a 30%, com auxílio do micro-ondas, sendo posteriormente determinados os mesmos elementos que para os solos, também por espectrofotometria de absorção atómica. Em todas elas foram efetuadas três réplicas e os valores obtidos considerados como a sua média.

### 4 – Resultados e Discussão

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos para os solos das áreas de estudo. Pela sua análise verifica-se que estes solos apresentam, como é característica dos solos serpentínicos, níveis elevados de Co, Cr e Ni, embora bastante variáveis em termos espaciais. Nesta primeira abordagem, e apesar de ainda não se dispor de uma grande quantidade de dados, verifica-se que os solos do maciço de Morais apresentam uma maior quantidade de Cr relativamente ao maciço de Bragança, enquanto que para os restantes elementos se observa o inverso. Relativamente à biodisponibilidade verifica-se que é maior nos solos do maciço de Morais para Co, Cr e Zn, enquanto que o Cu e Ni se encontram mais biodisponíveis no maciço de Bragança.

Tabela 1 – Resultados analíticos dos solos da área de estudo (resultados expressos em mg/kg; para as plantas expressos em peso seco).

Amostra	Solos (mg/kg)										
	Água régia				Biodisponível						
	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Co	Cr	Cu	Ni	Zn	
Bragança	1	79,3	955	206,2	1240	59,4	1,3	2,0	11,5	65,8	1,3
	2	79,4	597	158,0	1515	86,4	1,3	0,9	5,7	148,2	1,6
	3	150,6	248	73,6	1736	87,4	0,6	1,4	3,5	55,8	0,5
	4	155,1	509	46,9	2814	68,2	2,1	1,1	2,4	86,2	0,3
	5	125,6	507	46,5	2453	75,4	2,8	0,7	3,3	99,3	1,1
Morais	6	161,8	2887	21,7	2462	109,4	2,1	0,9	3,2	77,1	0,7
	7	64,9	1065	36,9	1726	67,2	0,2	1,1	1,2	96,1	0,3
	8	53,9	1831	19,2	867	67,6	1,2	0,5	3,9	48,5	0,6
	9	55,1	642	54,9	1027	74,2	2,4	1,4	4,9	14,4	4,6
	10	84,9	1574	14,2	1454	63,3	3,9	3,7	3,0	56,7	3,1
Bragança											
Média	118,0	563	106,2	1951	75,4	1,6	1,2	5,3	91,1	1,0	
D.p.	37,0	255	72,1	659	12,0	0,8	0,5	3,7	36,2	0,5	
Morais											
Média	84,1	1600	29,4	2507	76,3	2,0	1,5	3,2	58,6	1,9	
D.p.	45,2	853	16,6	633	18,9	1,4	1,3	1,4	30,8	1,9	

Com base nestes dados e efetuando uma análise de correlação múltipla, verifica-se que apenas existe correlação significativa entre as concentrações de Co e Ni total no solo e entre o Cu total e o biodisponível, o que leva a concluir da existência de uma grande discrepância entre o comportamento destes solos, que pode ser devido tanto ao seu grau evolutivo como à diferença litológica da rocha mãe ou mineralogia dos componentes do solo que contêm estes elementos.

Relativamente ao material vegetal; à exceção do Cr, as partes aéreas *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* concentram muito maior quantidade dos elementos analisados que as suas raízes (Tabela 2). Este comportamento poderá estar relacionado com a fraca mobilidade do Cr, relativamente aos restantes elementos. Também se verifica que de um modo global a concentração destes elementos na planta é superior no maciço de Morais.

Comparativamente a valores observados em outras plantas metalotolerantes (PRATAS, 1996; FAVAS *et al.*, 2003; FREITAS *et al.*, 2004; PRASAD *et al.*, 2006), verifica-se que as concentrações de Zn e Cu estão dentro dos valores normais do fundo biogeoquímico, enquanto que para Co e Cr mostram acumulações relativamente elevadas, tal como seria de esperar, em face dos elevados teores encontrados no solo. Relativamente ao Ni, há uma grande capacidade de hiperacumulação contudo bastante variável espacialmente.

Para verificar se existia alguma relação entre as concentrações encontradas no solo e na planta fez-se uma análise de correlação múltipla cujos resultados apenas indicaram a existência de correlação significativa entre o Cr total no solo e na planta e entre o Cu biodisponível e na planta. Também se observou uma correlação significativa entre a concentração de Cr e Ni nas raízes e nas partes aéreas.

Ao contrário do sugerido na literatura (BROOKS, 1983) não se observa uma relação direta entre o teor de Ni no solo ou na fração biodisponível e a concentração de Ni na planta ou na sua raiz, sugerindo que outros fatores interferem no potencial

de hiperacumulação desta espécie, como podem ser a relação Ca/Mg no solo, a disponibilidade de nutrientes, o “stress” hídrico ou a competição entre oligoelementos.

Tabela 2 – Resultados analíticos observados no *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum*. (valores expressos em mg/kg com base em material seco).

		Matéria vegetal (mg/kg DW)									
Amostra		Partes aéreas					Raiz				
		Co	Cr	Cu	Ni	Zn	Co	Cr	Cu	Ni	Zn
Bragança	1	10,3	7,4	7,4	6248	25,8	2,5	5,4	3,1	1419	19,0
	2	3,1	3,5	2,7	1945	17,0	1,1	4,1	2,7	645	14,2
	3	12,5	2,9	5,1	1541	14,4	9,0	6,6	3,2	518	12,5
	4	3,7	5,9	2,1	3965	11,9	8,4	21,9	3,1	1214	12,4
	5	5,9	3,8	2,3	3713	13,5	1,5	1,6	1,5	604	6,9
	6	7,8	17,1	4,8	4284	39,5	6,4	29,0	1,8	1414	25,3
Morais	7	9,1	6,9	2,3	4372	30,1	6,9	47,1	3,9	2177	27,8
	8	12,2	3,8	4,4	3190	47,1	1,3	13,5	1,7	1129	23,6
	9	9,9	6,0	5,8	4560	27,7	6,2	17,6	5,5	1404	36,8
	10	9,7	19,4	4,5	6633	44,3	12,2	108,7	4,5	2620	31,0
Bragança											
	Média	7,1	4,7	3,9	3482	16,5	4,5	7,9	2,7	880	13,0
	D.p.	4,1	1,9	2,3	1875	5,5	3,8	8,1	0,7	407	4,3
Morais											
	Média	9,7	10,6	4,4	4608	37,8	6,6	43,2	3,5	1749	28,9
	D.p.	1,6	7,1	1,3	1252	8,6	3,9	38,9	1,7	624	5,2

Com base nos valores obtidos de biomassa nos diferentes locais de amostragem para o *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum* e nas respectivas concentrações de Ni do mesmo material calculou-se a quantidade de Ni em metal contido nas partes aéreas das plantas por hectare (Tabela 3). Em condições naturais é possível obter entre 4,08t e 9,37t de biomassa por hectare, com teores de Ni que variam de 0,15 a 0,66 %. Verifica-se que a biomassa é mais elevada nos locais amostrados sobre o maciço de Bragança do que sobre o maciço de Morais e inversamente para o teor em níquel. Contudo, esta relação não reflete uma proporcionalidade inversa significativa quando se analisam a totalidade dos locais de amostragem.

Os resultados obtidos também permitem verificar que a produção de Ni em kg por hectare pode variar entre os 12,2 e os 44,0 com uma média de 27,5 kg/ha. Atendendo à cotação atual do níquel (13850 €/t em janeiro de 2012) verifica-se que o valor obtido por hectare e por cada colheita pode variar de cerca de 170€ a 610€, com uma média de 380€. Também se verifica que, apesar da variação de biomassa e teor observada nas amostras das plantas retiradas dos dois maciços, a produção final de metal é similar.

Para verificar a depleção do níquel no solo de modo a termos uma aproximação de uma possível viabilidade dum processo de fitominação sobre estes solos, elaboraram-se os cálculos cujos resultados se apresentam na Tabela 3, tendo por base que o solo terá uma espessura média de 50 cm e ausência de processos pedogénicos que levem à formação de novo solo e à biodisponibilização de Ni.

Com base nos valores aqui obtidos verifica-se que esse solo poderá suportar 5 a 60 culturas, com uma média de 23 culturas, considerando apenas o Ni biodisponível.



Considerando o Ni total presente no solo esse número de culturas variará entre as 211 e as 1067. Estes valores permitem esperar que não haverá problemas de esgotamento do Ni no solo, tanto mais que se está a considerar uma situação extrema, na prática não expectável.

Tabela 3 – Valores da biomassa, níquel bioacumulado e seu valor económico e número de culturas suportadas pelo solo.

	Amostra	Biomassa (kg/ha)	Teor (mg/kg)	Ni metal (kg/ha)	Valor (€/ha)	Ni biodisponível		Ni total	
						kg/ha	nº culturas	kg/ha	nº culturas
Bragança	1	7040	6248	44,0	609	493	11	9299	211
	2	9370	1945	18,2	252	1112	61	11359	623
	3	7920	1541	12,2	169	419	34	13017	1067
	4	8300	3965	32,9	456	647	20	21103	641
	5	7950	3713	29,5	409	745	25	18396	623
	6	8890	4284	38,1	527	578	15	18463	485
Morais	7	5830	4372	25,5	353	721	28	12941	508
	8	7640	3190	24,4	338	364	15	6504	267
	9	5100	4560	23,3	322	108	5	7704	331
	10	4080	6633	27,1	375	425	16	10903	403
Bragança									
	Média	8116	3482	27,4	379	683	30	14635	633
	D.p.	841	1875	12,5	173	271	19	4945	303
Morais									
	Média	6308	4608	27,7	383	439	16	11303	399
	D.p.	1943	1252	6,0	83	231	8	4746	102
Total									
	Média	7212	4045	27,5	381,0	561	23	12969	516
	D.p.	1703	1616	9,2	128,0	270	16	4895	246

#### 4 – Conclusões

Este estudo preliminar sobre o potencial da fitominação nos solos serpentínicos dos maciços de Bragança e Morais, permite concluir que:

- O teor de Ni total no solo e o biodisponível são bastante variáveis em ambos os maciços sendo maior no maciço de Bragança do que no de Morais, contrariamente ao que acontece com o Cr, demonstrando uma diferente composição mineralógica e litológica dos dois maciços.
- Não se observa uma relação de proporcionalidade direta entre as concentrações dos elementos biodisponíveis e totais, com exceção do Cu, o que mostra uma diferente maturação dos solos e composição das rochas adjacentes.
- A hiperacumulação de Ni na planta não é dependente nem da concentração de Ni total no solo nem da fracção biodisponível, existindo outros factores que interferem no potencial de hiperacumulação desta espécie, como podem ser a relação Ca/Mg no solo, a disponibilidade de nutrientes, o “stress” hídrico ou a competição entre oligoelementos.

- A concentração de Ni nas partes aéreas é superiores à das raízes, pelo que em fitominação apenas deverão ser utilizadas as partes aéreas. Além disso, e sendo esta espécie perene, poderá possibilitar cortes sucessivos, sem necessidade de sementeira, podendo aumentar em muito o seu potencial de extração em função do tempo.
- Nestas condições naturais a concentração máxima encontrada na planta, expressa em material seco é de cerca de 0.66% Ni e a mínima de 0.15% de Ni tendo como média 0.41% Ni (0.35% no maciço de Bragança e 0.46% no maciço de Morais).
- A biomassa média calculada foi de 7.2 t/ha, com um mínimo de 4.1 t/ha e um máximo de 9.4 t/ha, verificando-se maior produtividade no maciço de Bragança.
- A depleção do elemento no solo não é significativa, mesmo com o estabelecimento de culturas e com a utilização de agentes que promovam a biodisponibilidade de níquel no solo, não incluindo a atividade dos processos pedogénicos na formação de novo solo.
- O quantidade de Ni retirada pela planta apresenta uma média de cerca de 27.5 kg/ha, sendo similar em ambos os maciços, tendo um valor de cerca de 380€, considerando as cotações de aneiro de 2012.

Os resultados preliminares obtidos permitem pensar na utilização de alguns destes espaços como potenciais produtores de Ni utilizando esta espécie endémica. Para tal haverá necessidade de conhecer melhor os mecanismos que levam à acumulação de Ni pelo *Alyssum serpyllifolium* subsp. *lusitanicum*, para se poder definir modos de cultivo desta espécie, levando à sua otimização, como a fertilização, a adição de agentes quelatantes, a hibridação ou a clonagem de exemplares, por forma a aumentar o seu potencial de hiperacumulação e produção de biomassa.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pela FCT (Projecto PTDC/CTE-GEX/66710/2006).

### Referências Bibliográficas

- ADRIANO, D.C. (2001) - Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals, second ed. Springer-Verlag, Inc., New York. p. 866.
- ARIANOUTSOU, M., RUNDEL, P.W. & BERRY, W.L. (1993) - Serpentine endemics as biological indicators of soil elemental concentrations. In: Markert, (Ed.), Plants as Biomonitors. Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment. VCH-Publisher, Weinheim, pp. 179–189.
- BAKER, A.J.M., PROCTOR, J. & REEVES, R.D. (Eds.), (1993) - The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils. Intercept Ltd., Andover, UK, 509pp.
- BROOKS, R.R. (1983) - Biological Methods of Prospecting for Minerals, John Willey, New York, 322pp.
- BROOKS, R.R. (1987) - Serpentine and its Vegetation: A Multidisciplinary Approach. Discorides Press, Portland, Oregon. 454 pp.
- BROOKS, R.R., SHAW, S. & MARFIL, A.A. (1981) - Some observations on the ecology, metal uptake and nickel tolerance of *Alyssum serpyllifolium* subspecies from the Iberian peninsula, *Plant Ecology*, V. 45, 3, 183-188pp
- FAVAS, P., PRATAS, J. & CONDE, L. (2003) - Acumulação de metais pesados e arsénio em solos e plantas das escombreiras e da envolvente das Minas de Vale das Gatas (Sabrosa - Vila Real - Portugal). VI Congresso

Nacional de Geologia, in: Ciências da Terra, Volume V, 96-97, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. CD-Rom H49:H52.

350

FREITAS, H., PRATAS, M.N.V. & PRATAS, J. (2004) - Analysis of serpentinophytes from north-east of Portugal for trace metal accumulation - relevance to the management of mine environment, *Chemosphere*, 54, 11, 1625-42.

PEREIRA E., RIBEIRO, A. & SILVA, N. (1998) - Carta geológica de Portugal na escala 1:50000, folha 7-D Macedo de Cavaleiros. Serviços Geológicos de Portugal

GOOGLE EARTH. Acedido a 1/12/2011

KRUCKEBERG, A.R. (1984) - California serpentines: flora, vegetation, geology, soils and management problems. University of California Press, Berkeley, CA.

MENEZES DE SEQUEIRA, E. (1968) - Toxicity and movement of heavy metals in serpentinic soils (north-eastern Portugal), *Agronomia Lusitana*, 30, 2, 115-154.

MENEZES DE SEQUEIRA, E. & PINTO DA SILVA, A.R. (1991) - The ecology of serpentinized areas of north-east Portugal, in: Roberts, B.A., Proctor, J. (Eds.), *The Ecology of Areas with Serpentinized Rocks. A World Review*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 169-197.

NEIVA, J.M.C. (1948) - Rochas e minérios da região Bragança-Vinhais. PhD Thesis. Universidade de Coimbra.

PINTO DA SILVA, A. R. (1968) - A flora e a vegetação das áreas ultrabásicas do Nordeste Transmontano, *Agronomia Lusitana*, 30, 3-4, 175-364.

PRASAD, M.N.V., FREITAS, H. & PRATAS, J. (2006) - Trace elements in plants and soils of abandoned mines from Portugal: significance for phytomanagement and biogeochemical prospecting, in: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S. and Ravi Naidu (Eds.), 2005, *Trace Elements in the Environment: Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation*, CRC Press, USA., 507-521.

PRATAS, J.A.M.S. (1996) - Aplicações de Prospecção Biogeoquímica - selecção de espécies bioindicadoras em algumas áreas mineiras de Portugal, 3 volumes, PhD Thesis, Universidade de Coimbra, 1064.

REEVES, R.D., BAKER, A.J.M., BORHIDI, A. & BERAZAIN, R. (1996) - Nickel-accumulating plants from the ancient serpentine soils of Cuba. *New Phytologist* 133, 217-224.

ROSS, S.M. (Ed.), (1994) - *Toxic Metals in Soil and Plant Systems*. Wiley, Chichester, UK.