



## XI SILUBESA Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

### VI-3 – BRIÓFITAS AQUÁTICAS COMO BIOINDICADORES DA POLUIÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS POR METAIS PESADOS

#### **Ramiro José Espinheira Martins<sup>(1)</sup>**

Licenciatura em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia do Porto, 1991. Mestrado em Tecnologia do Ambiente pela Universidade do Minho, 1995. Aluno de Doutoramento no Laboratório de Engenharia de Separação e Reacção (LSRE) da Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP). Autor de 3 artigos em revistas internacionais, 4 comunicações em reuniões científicas internacionais e 1 em reunião científica nacional.

#### **Rui Alfredo da Rocha Boaventura**

Licenciatura em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia do Porto, 1969. Doutoramento em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia Porto, 1986. Orientou ou co-orientou 3 teses de doutoramento e 25 de mestrado. Actualmente orienta ou co-orienta 5 teses de doutoramento e 4 de mestrado. Co-autor de 30 artigos em livros e revistas internacionais, 8 artigos em revistas nacionais, 56 comunicações em reuniões científicas internacionais e 45 em reuniões científicas nacionais.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Tecnologia Química, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão – Instituto Politécnico de Bragança - Campus de Santa Apolónia - Ap 134 – 5301-857 Bragança - Portugal - Tel: (+351) 273303091 - e-mail: [rmartins@ipb.pt](mailto:rmartins@ipb.pt)

#### **RESUMO**

A bacia do Rio Ave tem sido ao longo dos anos alvo de descargas ilegais dos mais variados tipos de indústrias, tendo atingido níveis de contaminação por metais pesados que põem em perigo todo o ecossistema aquático.

O homem, como elemento último dum conjunto de cadeias alimentares, por ingestão de peixe, utilização da água para rega ou consumo de água produzida a partir das águas captadas nesta bacia, será certamente o mais afectado com consequências múltiplas para a sua saúde.

A relativa abundância de espécies de briófitas aquáticas fez com que fossem aproveitadas como bons indicadores de poluição por metais pesados em vários estudos sobre a qualidade de águas superficiais.

A utilização de briófitas aquáticas surgiu, assim, como um instrumento de avaliação global da contaminação por metais pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb e Zn) na bacia hidrográfica do Rio Ave (Norte de Portugal).

Os resultados indicam factores de contaminação máximos nos musgos entre 2,6 / 2,5 (Hg) e 86,0 / 28,8 (Zn) em duas campanhas realizadas em épocas diferentes do ano, respectivamente.

Os locais de amostragem foram classificados em três classes de qualidade. Na 1ª campanha, duas das estações (Rio Este) foram classificadas na Classe C (maior poluição) não existindo nenhuma na Classe A. Registou-se uma melhoria global significativa na 2ª campanha.

**PALAVRAS-CHAVE:** Musgos Aquáticos, Bioindicadores, Metais Pesados, Factor de Contaminação, Índice de Poluição.

#### **INTRODUÇÃO**

O uso de metais pelo homem começou a afectar seriamente o ambiente durante a Revolução Industrial. Hoje, duzentos anos mais tarde, encontramos-nos na 'Idade da Remoção de Metal' e todos nós temos consciência dos riscos associados a uma disseminação não controlada de metais pesados no ambiente. A dispersão de metais, devida quer a acontecimentos naturais (lixiviação e desagregação de rochas ígneas ou metamórficas, águas de drenagem de terrenos marginais aos cursos de água) quer a actividades humanas (descargas de águas residuais urbanas e industriais), ocorre nos diferentes compartimentos terrestres: água, ar e solo.

A presença de metais pesados nas águas superficiais é na actualidade um facto incontestável. A monitorização da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, bem como o controlo e a vigilância sanitária das águas de consumo humano têm evidenciado a presença de diversos iões metálicos em concentrações que são muito variáveis no tempo e no espaço. Os iões metálicos são encarados como sérios poluentes do meio aquático devido à sua larga permanência como resultado da sua não degradação, à sua toxicidade mesmo em baixas



## XI SILUBESA Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

concentrações e, ainda, à facilidade com que se incorporam nas cadeias alimentares e consequente concentração nos organismos. Esta última característica torna-os particularmente perigosos para o Homem, dado situar-se no topo de uma série de cadeias alimentares.

As briófitas aquáticas, com destaque para os musgos, têm demonstrado ser um dos mais aptos bioindicadores no ecossistema aquático. Phillips (1980) constatou que as briófitas cumprem todos os critérios de bom indicador: fácil colheita, tolerância a elevadas concentrações de metal, fácil manipulação em laboratório, acumulação de quantidade de metal suficiente para uma análise sem pré-concentração, exibindo uma correlação simples entre a concentração de metal acumulado e a concentração no meio circundante (Gonçalves *et al.*, 1994; Martins e Boaventura, 1998; Martins e Boaventura, 2002). Possuem, além disso, capacidade para concentrar metais pesados até valores notavelmente elevados, devido à ausência de cutícula nos seus tecidos, à elevada razão entre a área superficial e o peso e à abundância de grupos carregados negativamente na parede das células para permuta de catiões (Ruhling and Tyler, 1970; Tyler, 1990). Diversas espécies de musgos têm sido utilizadas com sucesso como bioindicadores da contaminação por metais pesados em ecossistemas aquáticos (Tyler, 1990; Gonçalves *et al.*, 1994; ; Siebert *et al.*, 1996).

Uma vantagem adicional desta metodologia é a possibilidade de ter conhecimento de descargas poluentes ocorridas, o que por análise directa da água seria praticamente impossível, pois exigiria um complexo programa de monitorização em contínuo com elevadíssimos custos. Trata-se pois de uma metodologia eficiente em termos dos resultados que disponibiliza, aliado ao baixos custos de implementação, o que a torna bastante interessante e economicamente atractiva.

Retomando o trabalho efectuado por Gonçalves *et al.* (1994), foram determinados os teores de um grupo de metais em musgos aquáticos colhidos em várias estações de amostragem localizadas na Bacia do Rio Ave. Foi feita uma classificação e ordenação, em termos de contaminação, dos diversos locais de amostragem tendo por base dois parâmetros: Factor de Contaminação e Índice de Poluição Metálica.

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### Área de estudo

O rio Ave tem uma extensão de aproximadamente 98 km e a sua bacia de drenagem (Figura 1), situada no Norte de Portugal, abrange uma área de cerca de 1388 km<sup>2</sup> (Gonçalves *et al.*, 1992). Os afluentes mais importantes são o rio Vizela (47 km de comprimento, 342 km<sup>2</sup> de área de drenagem), na margem esquerda e o rio Este (52 km, 246 km<sup>2</sup>), na margem direita.

Os rios Pelhe e Pele correm praticamente lado a lado, tendo ambos uma extensão de 20 km e áreas de drenagem de 44 e 61 km<sup>2</sup>, respectivamente. Cobrindo uma área de 59 km<sup>2</sup> e com um comprimento de 20 km, aparece o rio Selho.

A bacia do Ave localiza-se numa das zonas mais pluviosas do país, apresentando valores médios anuais de 1800 ml/m<sup>2</sup>.

Devido a esta região apresentar uma elevada taxa de industrialização têm sido registados alguns problemas com a qualidade da água. O sector com maior implantação é o têxtil, absorvendo cerca de 70% da população empregue na indústria. Outras indústrias com significado são os curtumes, manufactura de borracha, produção de plásticos e de revestimento metálico (cromagem, níquelagem). Uma percentagem significativa dos efluentes industriais ainda é descarregada directamente nos rios com tratamento inadequado.

#### Amostragem

Foram seleccionadas quatro estações de amostragem no rio Ave (AV), três no rio Este (ES), duas no rio Vizela (VZ) e as restantes três em pequenos afluentes (rios Pele, PL; Pelhe, PH; Selho, SH).

Neste escolha foram tidos em consideração a existência de dados anteriores, a existência no local de briófitas, a proximidade de fontes poluidoras conhecidas e de captações de água para abastecimento público e a sua acessibilidade.

O conjunto de catiões de metais pesados seleccionados (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb e Zn) pretende ser representativos da contaminação esperada face ao tipo de efluentes industriais conhecidos na área.

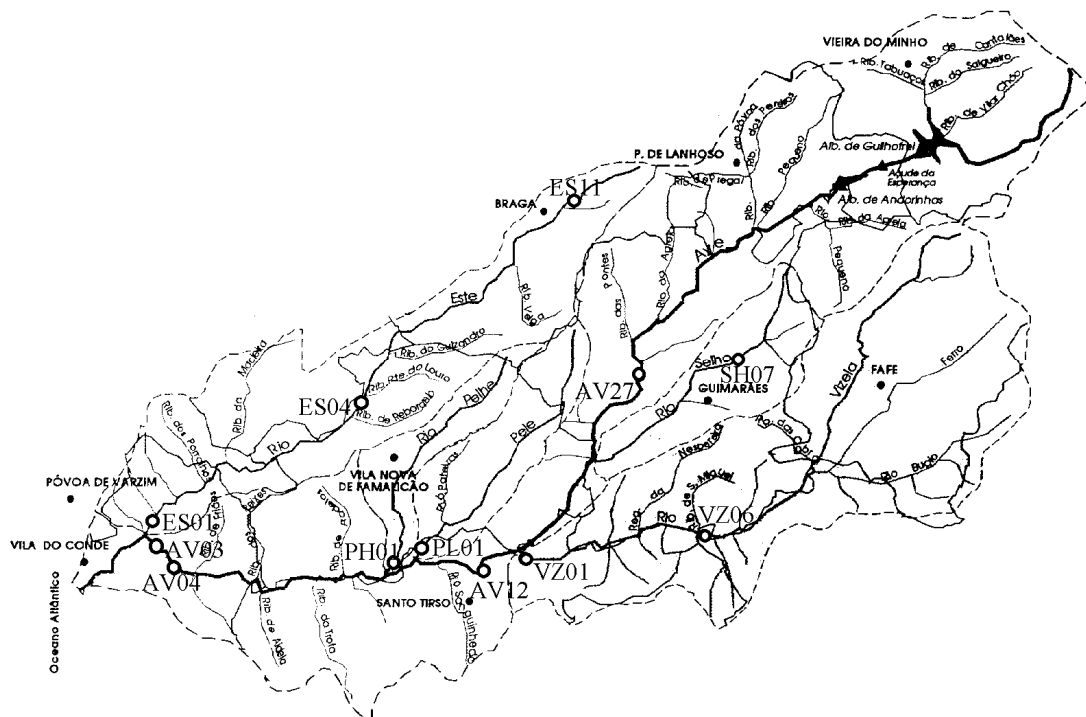


Figura 1: Bacia de drenagem do Rio Ave. Estações de amostragem.

#### Métodos analíticos

Para a análise dos metais, as amostras de musgo (Figura 2) foram secas, moídas e digeridas, conforme descrito em trabalho anterior (Martins e Boaventura, 2002).



Figura 2: Musgo aquático (*Fontinalis antipyretica*).

A quantidade de metal foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica (EAA). O Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn foram determinados com chama ar-acetileno num espectrofotômetro GBC 902. Para a determinação do Hg foi usado um espectrofotômetro PYE UNICAM SP9 com gerador de hidretos UNICAM VP90.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as quantidades de metal por unidade de massa de musgo (peso seco), registadas nas 12 estações de amostragem localizadas na bacia do rio Ave, para as duas campanhas realizadas (Março e Maio de 1998).

**Tabela 1: Concentrações de metal registadas nas estações de amostragem na bacia do Ave.**

Estação de Amostragem	Concentração de metal no musgo ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) 1 <sup>a</sup> / 2 <sup>a</sup> campanha															
	Cd		Pb		Cu		Cr		Fe		Hg		Ni		Zn	
ES01	18	5	110	28	442	198	326	102	14176	6147	2.7	2.5	344	134	5932	1984
ES04	13	5	194	59	926	277	298	160	16608	7345	2.0	3.0	340	118	3373	907
ES11	8	5	125	<13	602	129	160	50	19956	7290	4.1	2.7	13	36	211	285
AV03	---	4	---	13	---	41	---	370	---	12455	---	---	---	42	---	586
AV04	9	4	104	<13	74	52	483	84	9359	5522	1.6	1.8	39	32	883	1102
AV12	9	5	58	<13	76	33	732	66	10180	3019	---	2.4	40	35	219	338
AV27	7	<4	63	<13	50	30	204	54	16962	7486	3.1	2.8	13	36	294	127
PH01	10	5	162	59	63	54	494	99	21689	13315	---	4.0	89	109	1169	876
PL01	8	4	68	<13	101	70	468	121	22424	12055	---	---	49	63	316	378
VZ01	9	5	104	13	112	72	334	82	8940	12981	---	---	26	62	963	278
VZ06	9	4	53	13	40	43	178	96	10075	10177	2.2	1.9	<13	63	143	316
SH07	7	5	62	13	38	42	330	31	10633	9455	1.7	2.1	<13	50	217	113

Tendo em conta os resultados obtidos, a maior acumulação de metal nos musgos verificou-se para o Fe com  $22424 \mu\text{g.g}^{-1}$  e a menor para Hg com  $1.6 \mu\text{g.g}^{-1}$ , ambas na primeira campanha. Da análise dos locais mais contaminados por cada um dos metais, é possível estabelecer a seguinte ordenação para a acumulação:  $Fe > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Cd > Hg$ .

Na primeira campanha, numa ou mais estações do rio Este, foram obtidos teores relativamente elevados dos vários metais, excepção feita ao crómio: estação ES01 (Cd, Cu, Ni e Zn), estação ES04 (Cd, Cu, Ni, Pb e Zn) e estação ES11 (Cu, Fe e Hg). Para o crómio foram registados valores elevados no rio Ave (AV12) e, para o ferro, ocorreram nos rios Pele e Pelhe (PH01 e PL01).

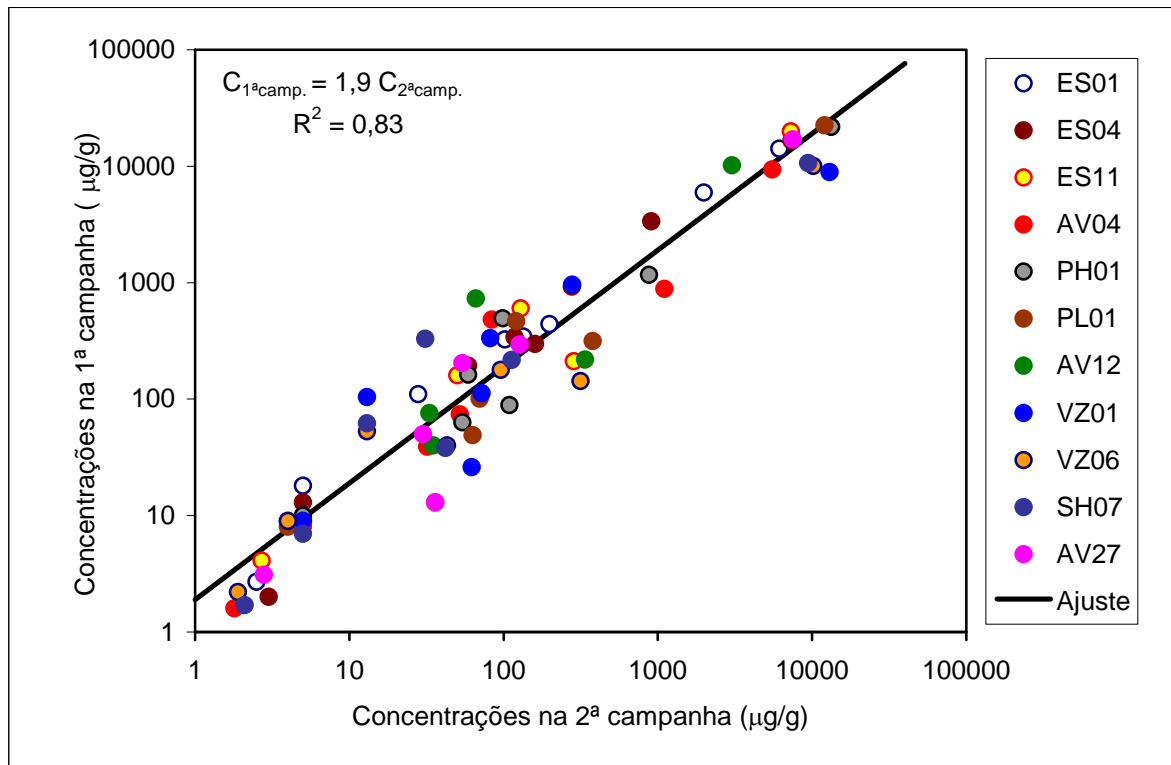
A forte contaminação observada no rio Este é muito provavelmente o resultado de descargas de efluentes industriais não tratados, reflexo das unidades de revestimento metálico localizadas na área urbana de Braga. Quanto à elevada contaminação por crómio registada em Santo Tirso (AV12) presume-se que seja consequência de descargas a montante, concretamente para o rio Selho, das indústrias de curtumes e cromagens aí sediadas.

A segunda campanha realizou-se no mês de Maio, em que se registou forte pluviosidade com o conseqüente aumento dos caudais dos rios, que se traduziu numa menor acumulação. Comparando com a primeira campanha, é no rio Este que se continuam a registar os valores mais elevados para o Cu, Ni e Zn; de salientar ainda, nas estações ES01 e ES04, uma contaminação por Cr. Manteve-se na foz dos rios Pele e Pelhe a elevada contaminação por Fe, a que se juntou uma nova estação de amostragem no rio Ave, AV03. Nesta estação registou-se ainda a concentração mais elevada de Cr. De salientar o aumento de contaminação por Zn no rio Ave (AV04).

Da comparação dos resultados das duas campanhas constata-se que existe uma relação aproximadamente linear, sendo os valores da primeira campanha, em média, 1,9 vezes superiores aos da segunda (Figura 3).

Como seria de esperar a contaminação por metais pesados registada reflecte as indústrias de revestimento metálico, têxtil e curtumes implantadas na área. Comparando as estações do rio Este, onde marca forte presença a indústria de revestimento metálico, é a jusante da estação ES11 que o seu efeito se faz mais sentir.

A contaminação da água num dado local pode ser representada de uma forma simples por um Factor de Contaminação,  $F_c = CM / CR$ , em que  $CM$  é a concentração de metal no musgo recolhido nesse local e  $CR$  a sua concentração de referência ou natural. Existirá contaminação metálica num dado local para valores de  $F_c > 1$ , podendo considerar-se que não existe contaminação quando  $F_c \leq 1$ .



**Figura 3: Relação linear entre os resultados globais obtidos nas duas campanhas.**

Em estudos similares realizados anteriormente na bacia do Ave (Branquinho *et al.*, 1990; Gonçalves *et al.*, 1992) foram estabelecidas concentrações de referência para alguns metais. A conjugação destes valores com as concentrações mínimas detectadas neste trabalho, conduziram à fixação das seguintes concentrações de referência ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ):

$$\text{Cd-4; Cr-30; Cu-30; Fe-3000; Hg-1,6; Ni-7; Zn-69}$$

Saliente-se que todos os valores (excepção feita ao cádmio, crómio e mercúrio) estão próximos de valores adoptados internacionalmente (Mouvet *et al.*, 1986).

A Tabela 2 mostra os factores de contaminação obtidos para cada estação de amostragem nas duas campanhas efectuadas. Genericamente, os resultados da Tabela 2 indicam que para as duas campanhas existe contaminação da água na quase totalidade dos locais, sendo contudo de realçar uma melhoria evidente da qualidade da água da primeira para a segunda campanha de amostragem.

Os valores mais elevados de contaminação foram encontrados para o Cd, Pb, Cu, Hg, Ni e Zn no Rio Este, Cr no Rio Ave e Fe no Rio Pele. Estes níveis de poluição mostram que as principais fontes de contaminação destes rios são as indústrias de curtumes, recobrimento metálico e têxtil (tingimento e estamparia).

**Tabela 2: Factores de contaminação na 1ª / 2ª campanhas para a totalidade das estações de amostragem.**

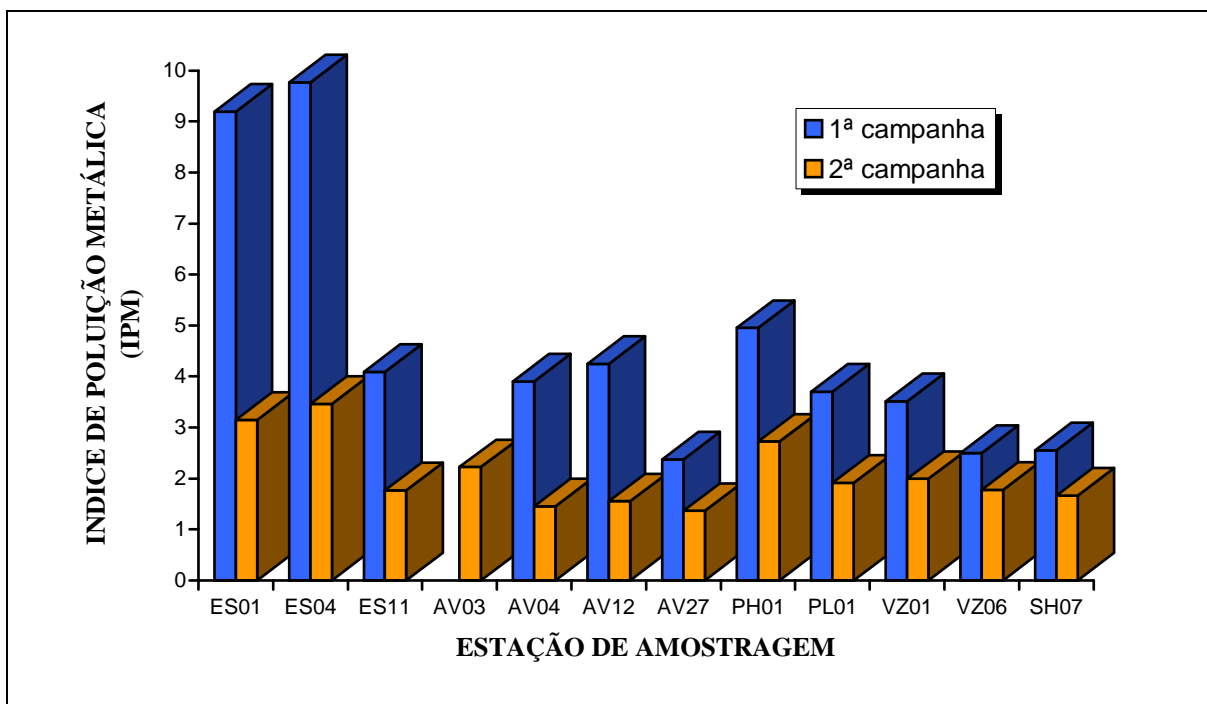
Estação de	Factores de contaminação (FC) 1ª / 2ª campanha
------------	--

Amostragem	Cd		Pb		Cu		Cr		Fe		Hg		Ni		Zn	
ES01	4,5	1,3	8,5	2,2	14,7	6,6	10,9	3,4	4,7	2,0	1,7	1,6	49,1	19,1	86,0	28,8
ES04	3,3	1,3	14,9	4,5	30,9	9,2	9,9	5,3	5,5	2,4	1,3	1,9	48,6	16,9	48,9	13,1
ES11	2,0	1,3	9,6	1,0	20,1	4,3	5,3	1,7	6,7	2,4	2,6	1,7	1,9	5,1	3,1	4,1
AV03	-	1,0	-	1,0	-	1,4	-	12,3	-	4,2	-	-	-	6,0	-	8,5
AV04	2,3	1,0	8,0	1,0	2,5	1,7	16,1	2,8	3,1	1,8	1,0	1,1	5,6	4,6	12,8	16,0
AV12	2,3	1,3	4,5	1,0	2,5	1,1	24,4	2,2	3,4	1,0	-	1,5	5,7	5,0	3,2	4,9
AV27	1,8	1,0	4,8	1,0	1,7	1,0	6,8	1,8	5,7	2,5	1,9	1,8	1,9	5,1	4,3	1,8
PH01	2,5	1,3	12,5	4,5	2,1	1,8	16,5	3,3	7,2	4,4	-	2,5	12,7	15,6	16,9	12,7
PL01	2,0	1,0	5,2	1,0	3,4	2,3	15,6	4,0	7,5	4,0	-	-	7,0	9,0	4,6	5,5
VZ01	2,3	1,3	8,0	1,0	3,7	2,4	11,1	2,7	3,0	4,3	-	-	3,7	8,9	14,0	4,0
VZ06	2,3	1,0	4,1	1,0	1,3	1,4	5,9	3,2	3,4	3,4	1,4	1,2	1,0	9,0	2,1	4,6
SH07	1,8	1,3	4,8	1,0	1,3	1,4	11,0	1,0	3,5	3,2	1,1	1,3	1,0	7,1	3,1	1,6

Pode efectuar-se uma classificação global qualitativa, distribuindo os locais por Classes de Qualidade, recorrendo a um novo parâmetro designado por *Índice de Poluição Metálica (IPM)*. O *IPM* é definido como sendo a média ponderada dos vários factores de contaminação para um dado local,  $IPM = (\sum w_i \times F_{ci}) / \sum w_i$ , em que  $F_{ci}$  - Factor de contaminação do metal  $i$  e  $W_i$  - peso de cada metal. Recorrendo à legislação portuguesa (Decreto Lei nº 236/98) e da União Europeia, foram definidos, a partir do valor máximo admissível (*VMA*) para cada metal em águas superficiais destinadas ao abastecimento público, que tem em conta a respectiva toxicidade, pesos para os diversos metais. Considerou-se que a toxicidade de um dado metal varia na razão inversa do seu *VMA*. Assim, foram fixados os seguintes pesos:

$$W_{Cd}=600; W_{Pb}=60; W_{Cu}=60; W_{Cr}=60; W_{Ni}=60; W_{Fe}=10; W_{Zn}=1$$

Na Figura 4 podem ser observados os valores de *IPM* para as duas campanhas.



**Figura 4: Índice de poluição metálica para as diversas estações de amostragem.**

De acordo com o *IPM* podemos classificar as estações de amostragem em Classes de Qualidade: *Classe A* ( $0 < IPM \leq 2$ ), *Classe B* ( $2 < IPM \leq 6$ ) ou *Classe C* ( $6 < IPM \leq 18$ ). Nas estações de amostragem da classe



## XI SILUBESA Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

A considera-se que a contaminação pelos metais pesados analisados é nula ou insignificante, na classe B é moderada e na classe C é significativa.

Como já havia sido referido anteriormente, verifica-se uma diferença acentuada nos níveis de contaminação entre a primeira e a segunda campanha.

Na primeira campanha, somente as estações ES01 e ES04 apresentam um nível elevado de poluição (classe C); sendo moderado nas restantes (classe B).

Devido ao efeito da intensa pluviosidade registada na segunda campanha, a maioria das estações baixaram de classe. As duas estações do rio Este desceram de nível passando para a classe B, onde também ficaram colocadas as estações PH01 e AV03. A contaminação detectada nos restantes locais foi insignificante.

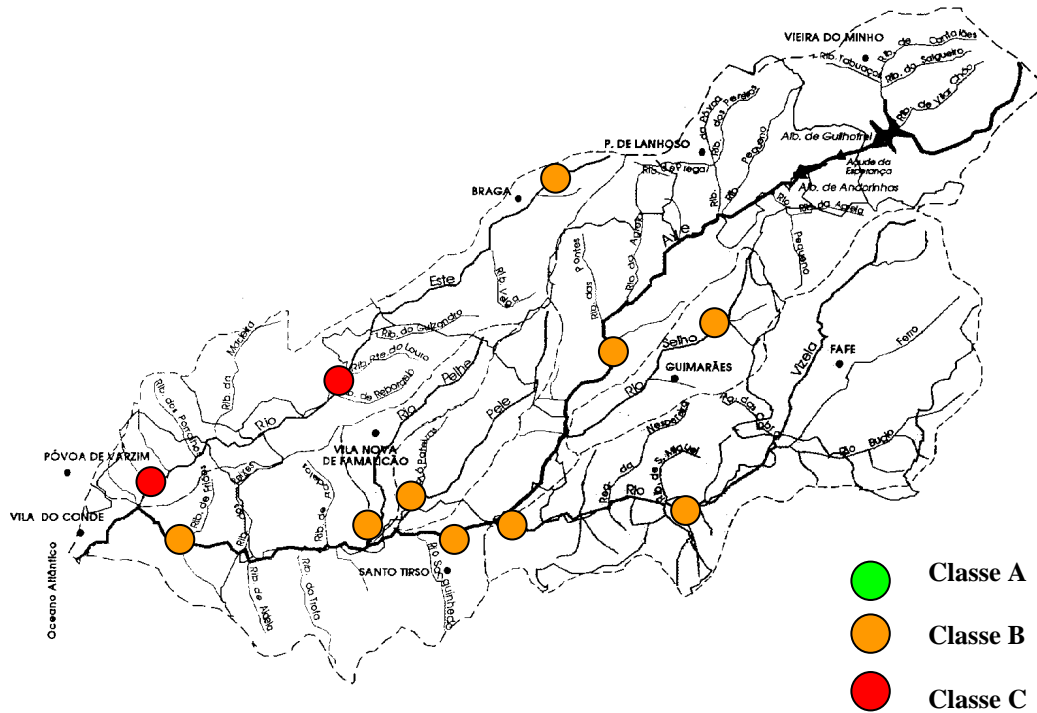
Nas Figuras 5 e 6 pode observar-se o resultado da classificação das estações de amostragem por classes de qualidade.

Na Tabela 3 comparam-se os resultados obtidos nas duas campanhas do presente estudo com resultados obtidos na mesma bacia em Junho/Julho de 1986 (Gonçalves *et al.*, 1992). Foram analisados somente os metais e as estações de amostragem comuns aos dois trabalhos

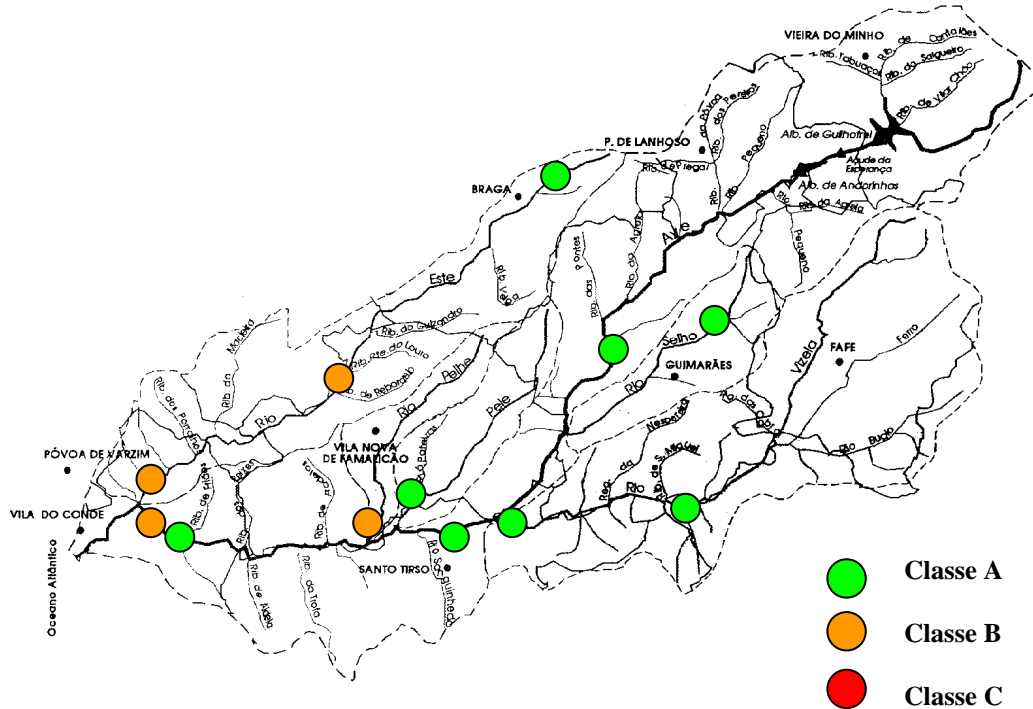
**Tabela 3: Comparação dos resultados actuais com resultados de 1986.**

Estação de Amostragem	Concentração de metal no musgo ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ): Dados de 1986 / 1ª campanha / 2ª campanha														
	Cd			Pb			Cu			Cr			Zn		
ES01	5,2	18	5	73	110	28	1496	442	198	38	326	102	4828	5932	1984
ES04	2,3	13	5	97	194	59	430	926	277	65	298	160	1427	3373	907
AV04	1,3	9	4	32	104	<13	34	74	52	23	483	84	86	883	1102
AV12	0,30	9	5	17	58	<13	49	76	33	30	732	66	112	219	338
PH01	0,64	10	5	38	162	59	77	63	54	7,5	494	99	585	1169	876
PL01	0,56	8	4	16	68	<13	167	101	70	14	468	121	154	316	378
VZ01	1,9	9	5	25	104	13	95	112	72	6,5	334	82	689	963	278
SH07	0,46	7	5	21	62	13	47	38	42	7,5	330	31	67	217	113

Conclui-se que o crómio apresenta actualmente valores bastante mais elevados para todas as estações de amostragem. Atendendo somente à primeira campanha, verifica-se também um agravamento da situação no que respeita ao cádmio, ao chumbo e ao zinco. Para o cobre não é possível tirar conclusões face aos dados obtidos.



**Figura 5: Distribuição das estações de amostragem por classes de qualidade – 1ª campanha.**



**Figura 6: Distribuição das estações de amostragem por classes de qualidade 2ª ca...**





## CONCLUSÕES

Dos oito metais pesados analisados nas amostras de musgos aquáticos, a fixação dos cátions metálicos comportou-se aproximadamente do seguinte modo: Ferro > Zinco > Cobre > Crómio > Níquel > Chumbo > Cádmio > Mercúrio.

Registaram-se diferenças significativas entre as duas campanhas de amostragem, correspondendo os valores mais elevados à primeira campanha, realizada em Março de 1998. Em média, as concentrações na primeira campanha são 1,9 vezes superiores às da segunda.

No rio Este foram detectados teores relativamente elevados de Zn, Cu, Ni, Pb, Cd e Hg, quando comparados com os valores encontrados nos restantes locais.

A contaminação por Cr e Fe é sobretudo evidente no rio Ave (em Santo Tirso), na foz do rio Pelhe e no rio Pele.

As estações AV12, AV27, ES04 e VZ06 localizam-se na proximidade de locais onde existiam captações de água para abastecimento público, merecendo atenção especial a captação do Louro (estação ES04), sobretudo pelos teores de zinco, níquel, cobre e chumbo aí detectados.

Na 1ª campanha, apenas as estações ES01 (Foz do Este) e ES04 (Louro) apresentaram um nível elevado de poluição (Classe C); nas restantes, o nível é moderado (Classe B). Todas as estações baixaram de classe na 2ª campanha.

Comparando os resultados actuais com os obtidos num estudo realizado em 1986, concluiu-se que o crómio apresenta agora valores bastante mais elevados em todas as estações de amostragem.

Tendo em conta apenas a 1ª campanha, também se nota um agravamento da situação no que respeita aos cátions cádmio, chumbo e zinco. Face à disponibilidade de musgos aquáticos na maioria dos rios do Norte de Portugal, esta metodologia é bastante atractiva como indicador da evolução e do grau de contaminação das águas de rios e lagos por iões de metais pesados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRANQUINHO, C., MÁGUAS, C., SÉNECA, A., SÉRGIO, C., CATARINO, F. AND KRATZ, W. Heavy metal and chlorophyll analysis in *Sphagnum auriculatum* transplants along the River Ave (Portugal). Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Environmental Contamination. Barcelona, October 1990.
2. GONÇALVES, E. P. R., BOAVENTURA, R. A. R., MOUVET, C. Sediments and aquatic mosses as pollution indicators for heavy metals in the Ave River basin (Portugal). Science Total Environment, v.114, p.7-24, 1992.
3. GONÇALVES, E. P. R., SOARES, H. M. V. M., BOAVENTURA, R. A. R., MACHADO, A. S. C., ESTEVES, J. C. G. Seasonal variations of heavy metals in sediments and aquatic mosses from the Cávado River Basin (Portugal). Science Total Environment, v.142, p.143-156, 1994.
4. MARTINS, R. J. E., BOAVENTURA, R. A. R. Fixação e libertação de Zn por musgos aquáticos (*Fontinalis antipyretica* L. ex Hedw.). Proceedings of CHEMPOR'98, 7ª Conferência Internacional de Engenharia Química. Lisboa. v.II, p.1157-1164, 1998.
5. MARTINS, R. J. E., BOAVENTURA, R. A. R. Uptake and release of zinc by aquatic bryophytes (*Fontinalis antipyretica* L. ex Hedw.). Water Research, v.36, n.20, p.5005-5012, 2002.
6. MOUVET, C., CORDEBAR, P., GALLI, C., POINSANT, J. F., ROGER, P. Mousses aquatiques et métaux lourds. Exploitation des résultats du bassin Rhin-Meuse. Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Moulins-lès-Metz, 1986.
7. PHILIPS, D. J. H. The preliminary selection of an indicator organism. Quantitative Aquatic Biological Indicators, 16-17. Applied Science Publishers Ltd., London, 1980.
8. RÜHLING, A., TYLER, G. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch.. Oikos, v.21, p.92-97, 1970.
9. Siebert, A., Bruns, I., Krauss, G.-J., Miersch, J. and Markert, B. (1996). The use of the aquatic moss *Fontinalis antipyretica* L. ex Hedw. as bioindicator for heavy metals. 1. Fundamental investigations into heavy metal accumulation in *Fontinalis antipyretica* L. ex Hedw. The Science of the Total Environment v.177, p.137-144, 1996.
10. TYLER, G. Bryophytes and heavy metals: a literature review. Botanical Journal of the Linnean Society, v.104, p.231-253, 1990.