



ELEMENTOS-TRAÇO EM CINZAS DE CARVÕES AFLORANTES DE MOÇAMBIQUE

L. Vasconcelos, A Muchangos & E. Siquela

Deptº Geologia, Universidade Eduardo Mondlane, CP 257, Maputo, Moçambique.

Email: lopovasconcelos@gmail.com

Recebido em 04/09 e aprovado para a publicação em 06/09.

ABSTRACT

Mozambique has several coal deposits, the best known of all being the Moatize coal basin in Tete Province. In several places of this basin, coal crops out and local people utilize this coal as domestic fuel for heating cooking and for ovens for block production. The resulting ashes of these combustion processes are thrown into the environment with no respect for whatever environmental and/or health regulation. On the other hand, very little is known about the concentration of trace elements in these coals and the possible effects its use can have on human health. Thus the concentration of 24 trace elements in ashes of outcropping coals of Sousa Pinto, Grande Falésia and André seams were determined. The concentrations obtained (minimum-average-maximum) were: Ba (101-476-1300 ppm), Co (3.8-9.9-26 ppm), Cr (9.3-23.2-56 ppm), Cu (14.4-32.7-68 ppm), Mn (9.5-37.4-109 ppm), Ni (4.9-20.8-153 ppm), Pb (3.9-18.8-74 ppm), Sr (8.9-151.9-379 ppm), Ti (183-1511-4584 ppm), V (21-46.2-128 ppm), Zn (17.6-47-94 ppm), e Zr (8.3-27.4-109 ppm). Although more studies must be carried out not only in coal ashes (remaining elements, bioavailability) but also in total coal, it can be concluded that some elements deserve special attention from the point of view of human health, as it is the case of the elements Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Ti and Zn. Vanadium and Zn are not problematic while Pb may have implications if inhaled.

RESUMO

Moçambique possui vários jazigos de carvão, sendo o mais conhecido o de Moatize, na Província de Tete. Em vários locais desta bacia, o carvão aflora e as populações utilizam este carvão como combustível doméstico, quer para aquecimento, quer para cozinha, quer ainda para fornos de fabrico de tijolos de construção. As cinzas resultantes destes processos de combustão são largadas no ambiente sem qualquer respeito por normas ambientais e/ou sanitárias. Por outro lado, pouco se conhece sobre a concentração de elementos-traço nestes carvões e os possíveis efeitos na saúde humana resultante da utilização frequente dos mesmos. Por isso foi analisada a concentração de 24 elementos em amostras de cinzas de carvões aflorantes das camadas Sousa Pinto, Grande Falésia e André. As concentrações obtidas (mínima-média-máxima) foram: Ba (101-476-1300 ppm), Co (3.8-9.9-26 ppm), Cr (9.3-23.2-56 ppm), Cu (14.4-32.7-68 ppm), Mn (9.5-37.4-109 ppm), Ni (4.9-20.8-153 ppm), Pb (3.9-18.8-74 ppm), Sr (8.9-151.9-379 ppm), Ti (183-1511-4584 ppm), V (21-46.2-128 ppm), Zn (17.6-47-94 ppm), e Zr (8.3-27.4-109 ppm). Se bem que se considere que devem ser realizados mais estudos não só em cinzas (restantes elementos,

biodisponibilidade) como no carvão total, os resultados obtidos permitem concluir que alguns elementos merecem atenção especial sob o ponto de vista de impactos na saúde humana, como é o caso dos elementos Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Ti e Zn por apresentarem teores relativamente elevados. O V e o Zr parecem não constituir problema, enquanto o Pb poderá ter implicações por inalação.

INTRODUCTION

Moçambique situa-se na costa sudeste de África, com um comprimento de cerca de 3000 km no sentido Norte-Sul, e uma largura variando de 1100 km na zona centro (Tete-Zambézia) a 60 km na zona sul (paralelo de Maputo).

Entre outros variadíssimos recursos minerais, Moçambique possui extensas reservas de carvão em várias bacias pertencentes ao Supergrupo do Karoo, as mais importantes das quais encontrando-se na zona centro do País, sendo de menção especial a Bacia de Moatize na Província de Tete, a mais conhecida delas todas. Outras bacias importantes na Província de Tete são: Mucanha-Vúzi (uma sub-bacia da

Bacia de Chicôa-Mecúcoè), a Bacia de (Moatize)-Muarázi-Minjova (a leste de Moatize), a Bacia de Ncondédzi-Minjova-Mutarara (ao longo da fronteira com o Malawi) e a Bacia de Sanângoè-Mefidzi (a sudoeste da cidade de Tete). Há ainda outras bacias, a maior das quais na Província do Niassa – Bacia de Maniamba – e outras pequenas ocorrências ao longo do contacto com o Precâmbrico, desde a zona de Canxixe até à fronteira com o Zimbabwe (em M’potepote). No Niassa ocorre ainda a Bacia do Lugenda e outras pequenas manchas isoladas ao longo deste rio. A figura 1 mostra as várias bacias carboníferas de Moçambique, bem como alguns aspectos da geografia da zona.

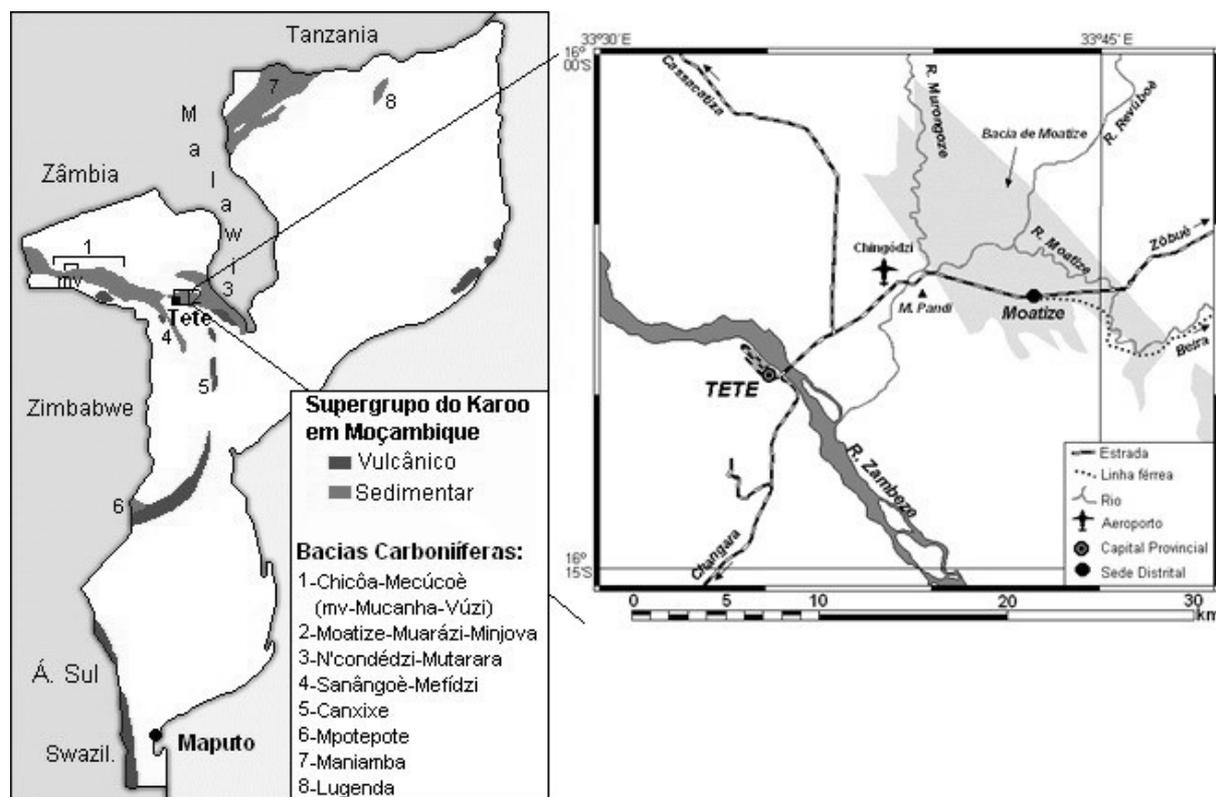


Figura 1: Bacias do Karoo em Moçambique (esq., adaptado de Vasconcelos & Pedro, 2004) e principais aspectos geográficos da zona de Tete-Moatize (dir.).

Em todas estas bacias ocorrem afloramentos de carvão mais ou menos extensos, sendo este recurso mineral utilizado pelas populações como combustível doméstico, seja para a confecção de alimentos, seja para o aquecimento em alturas da estação mais fresca, seja ainda como combustível em fornos para fabrico de tijolos.

Em Moatize, zona escolhida para o nosso estudo, ocorrem variados afloramentos de carvão na proximidade de aglomerados populacionais mais ou menos densos. Este recurso é utilizado facilmente pela população já que é de fácil acesso e não implica custos financeiros que não sejam os de aquisição dos meios de produção.

Tradicionalmente na zona, e como na generalidade do País, as populações recorrem normalmente à produção de carvão de lenha a partir das árvores da vegetação local. Contudo, na zona de Moatize verifica-se uma escassez de vegetação devido ao abate descontrolado de árvores para o fabrico do carvão de lenha e ao grande aumento populacional que ocorreu na zona aquando do conflito armado (1981-1992), e que implicou uma forte migração da população das zonas rurais. Esta desarborização tem obrigado a população a recorrer a zonas cada vez mais distantes, ou a optar pelo recorrer ao uso carvão mineral dada a proximidade e ao seu baixo custo.

O uso doméstico do carvão por combustão em fogueiras/fogões caseiros ou fornos de tijolos, leva à produção de enormes quantidades de cinzas (Fig. 2), ainda não quantificadas, e que são largadas no ambiente, tendo como consequência a eventual contaminação dos solos, águas subterrâneas e fluviais por alteração das cinzas. Por outro lado encontrando-se a região de Moatize numa região quente e relativamente seca, as cinzas de granulometria muito fina, são facilmente levadas pelo ar, podendo entrar no sistema respiratório das pessoas.



Figura 2: Fabrico de tijolos; cinzas largadas no ambiente. Foto de E. Siquela, 2007

Têm sido pouco os estudos sobre concentração de elementos-traço nos carvões de Moçambique. Há algumas referências aos carvões subterrâneos, que foram explorados por várias empresas até ao fecho das minas de Moatize (Godinho & Salazkhine, 1980; VEB-GFE, 1981; Tivane, 1998; USGS, 2005), mas pouco ou nenhuma informação existe em relação aos carvões aflorantes, a não ser a que se encontra disponível numa tese de Licenciatura em Geologia (Ocuane, 1998). Este trabalho menciona a ocorrência de alguns elementos-traço nas cinzas de carvão aflorante desta bacia carbonífera. De referir que a empresa brasileira CVRD adquiriu a licença de exploração do depósito de carvão de Moatize, estando na fase de preparação da abertura de uma mina a céu-aberto na zona SE da licença.

Desconhecem-se, assim, quais os impactos no ambiente e na saúde humana (e dos animais) resultantes da utilização destes carvões. O presente trabalho é um contributo para um melhor conhecimento das características do carvão aflorante em Moatize em termos de elementos-traço. Mais estudos serão necessários para se saber se há ou não impactos desta actividade na saúde das populações e assim alertar as autoridades de direito para os problemas que possam surgir da utilização deste carvão.

ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

A Bacia Carbonífera de Moatize localiza-se na Província de Tete, a cerca de 20 km a nordeste da capital provincial, e a uns escassos 6 km do aeroporto de Chingódzi (Figura 1). A capital distrital de Moatize localiza-se dentro da bacia carbonífera, e situa-se na estrada que liga Tete ao Malawi, através da vila fronteiriça do Zóbuè (cerca de 90 km). Perto de Moatize há ainda a estrada que vai para a Zâmbia, através da fronteira de Cassacatiza. Da vizinha cidade capital parte a estrada que liga ao Zimbabwe via Changara/Cuchamano, e daqui para a cidade portuária da Beira, no centro do País. De Moatize parte uma linha férrea de quase 600 km que liga ao porto da Beira, e que se encontra em reabilitação. Na zona de Mutarara sai um ramal para norte que liga aos caminhos-de-ferro do Malawi. O posicionamento de Moatize permite concluir que é um importante nó rodoviário e ferroviário na Província de Tete, sem falar na proximidade do aeroporto com capacidade para aviões de grande porte.

A rede fluvial na Bacia de Moatize é constituída pelo Rio Revúboè, que corta a bacia no sentido NE-SW em direcção ao Rio Zambeze, e pelos seus afluentes Rio Moatize, que corre na direcção ESE-WNW, e Rio Murongódzi, que corre na direcção N-S.

Em termos de orografia, a Bacia de Moatize apresenta um relevo aplanado algo ondulado, sendo bordejado a NE, NW e SW por zonas de montanhas referentes às formações precâmblicas. A feição mais notória é o Monte M'Pandí, no limite SW da bacia, junto ao Rio Revúboè, com uma altitude de 321 m (GTK Consortium, 2006).

Segundo MAE (2005), a população de Moatize em 01.01.2005 era de 70795 pessoas, das quais 34489 homens (48,7%) e 36306 mulheres (51,3%).

A bacia carbonífera de Moatize (Figura 1) pertence ao Supergrupo do Karoo. As

camadas de carvão pertencem à Formação de Moatize (Pérmico Inferior, PeM na Figura 3), sendo composta por arenito arcósico branco-acinzentado, arenito fino argiloso ou micáceo com fósseis de plantas, e intercalações de argilito negro com camadas de carvão (GTK Consortium, 2006).

A sequência estratigráfica tem 6 camadas de carvão principais, designadas de baixo para cima como: Sousa Pinto, Chipanga, Bananeiras, Intermédia, Grande Falésia e André.

A camada Chipanga é a mais espessa de todas e a única que foi explorada. Sobreposta à Formação de Moatize encontra-se a Formação de Matinde (Pérmico Inferior a Médio, PeT na Fig. 3) composta por arenito arcósico e algumas margas e pequenas camadas de carvão, com pouco valor económico. As formações de Moatize e Matinde são respectivamente equivalentes ao Dwyka Superior/Ecca Inferior e ao Ecca Médio/Superior da Bacia Principal Karoo da África do Sul.

A bacia carbonífera de Moatize está orientada no sentido NW-SE e está rodeada por gabros e anortositos da Suite Tete, de idade Mesoproterozóica (1600-1000 M.a., P₂Tgb na Fig. 3). O limite NE da bacia é uma falha normal de cerca de 30 km de comprimento, orientada NW-SE. O limite SW é tanto por inconformidade, como também por contacto de falha, como é o caso da Falha do Monte M'Pandí.

A SW do Rio Zambeze, o contacto da bacia do Karoo é através de uma falha com os Granitos de Chacocoma (1046 ± 20 Ma, P₂Cgr na Figura 3), que têm intercalações de granadas, e com os granito-gneisses das Suites de Mungári e Tete (P₂MG na Figura 3), ambos pertencentes ao Mesoproterozóico Inferior. Ainda na figura 3, outra formação pode ser vista – o granito-gneisse do Monte Calinga-Muci (P₃ROgm) da Suite do Guro, com uma idade de 867 ± 15 Ma (Neoproterozóico) (GTK Consortium, 2006).

Como se pode ver na figura 3, a bacia do Karoo é intruída por uma série de diques máficos de idade jurássica pertencentes à Suite de Rukore (JrRmd na figura 3), a maior parte dos quais não se encontra representada no mapa da figura 3, devido a questões de escala. Eles cortam frequentemente as camadas de carvão, levando a uma coquefação natural. Ao

longo dos rios podem ser encontrados depósitos de aluvião (Qa) e terraços fluviais (Qt). Nas encostas dos montes podem encontrar-se depósitos de vertente (Vasconcelos *et al.*, 2006). Os afloramentos de carvão amostrados para este estudo encontram-se ao longo do Rio Moatize (Figura 3).

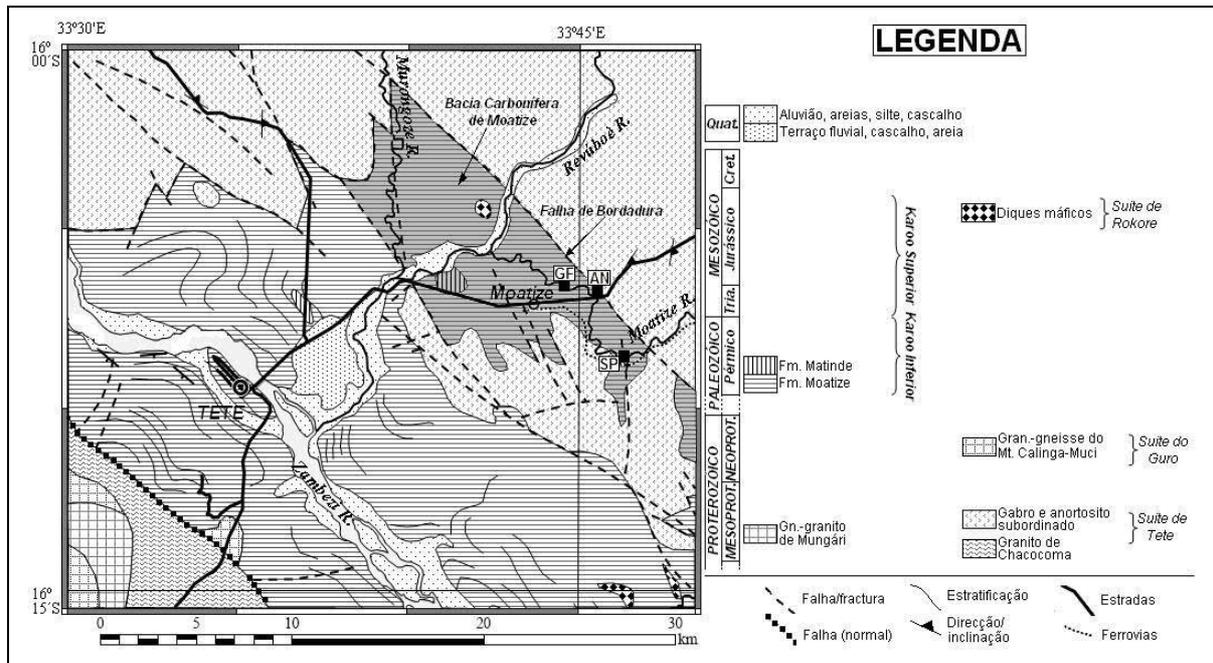


Figura 3: Mapa Geológico da área de Tete-Moatize (adaptado de Folha No. 1633, 1:250.000, GTK Consortium, 2006) com os pontos de amostragem (■) nas camadas André (AN), Grande Falésia (GF) e Sousa Pinto (SP).

AMOSTRAGEM E MÉTODOS DE ANÁLISE

Para este estudo, foi feita a amostragem de 3 camadas em três afloramentos (Figura 3) da bacia de Moatize (Chimucho & Lembura, 2006). Os critérios de selecção dos pontos de amostragem foram, entre outros: (i) a facilidade de acesso e (ii) a proximidade de grandes aglomerados populacionais.

A espessura média das camadas AN e GF é de cerca de 2m e 3,5 m respectivamente. As amostras foram colhidas da base ao topo de cada camada em intervalos de 30-50 cm, tentando, na medida do possível, respeitar os limites entre os litótipos. O total de amostras estudadas foi de 24,

distribuídas da seguinte forma: 6 da Camada André, 9 da Camada Grande Falésia e 9 da Camada Sousa Pinto. O peso das amostras variou entre 1,238 g e 2,639 g (Tab. 1). Na figura 4 podem observar-se pormenores das três camadas em estudo.

As amostras em estudo foram preparadas de acordo com a metodologia descrita em Chimucho e Lembura (2006). As análises dos elementos Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn, Zr foram realizadas no laboratório do Inspectorate M&L de Johannesburg, África do Sul. O método de análise foi o varrimento quantitativo por ICP após uma dissolução em mistura ácida (*Quantitative ICP Scan following a Mixed Acid Dissolution and Dilution to Volume*).

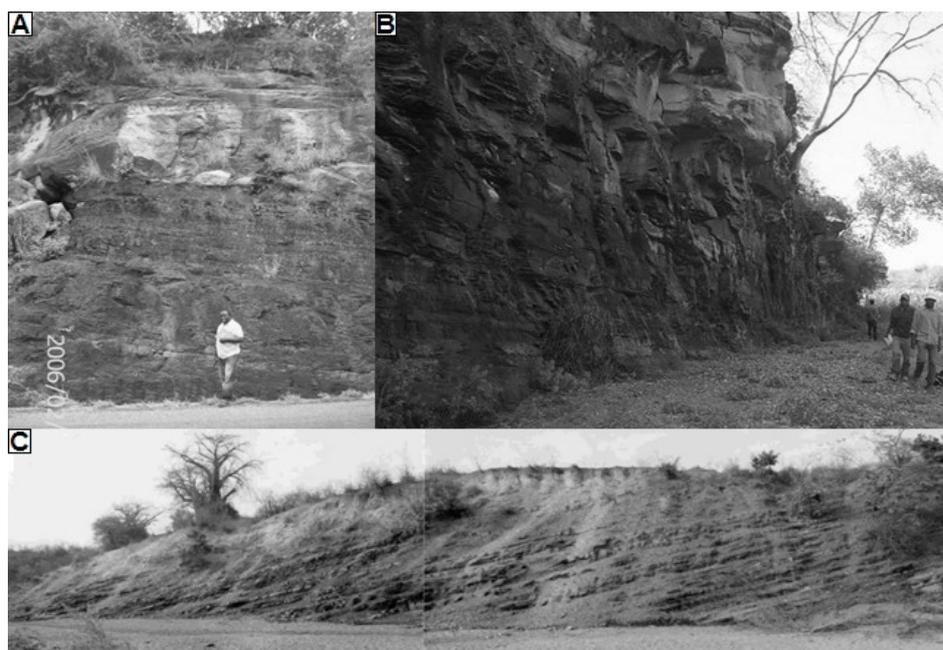


Figura 4: Fotografias da Camadas André (AN –(A)), Grande Falésia (GF –(B)) e Sousa Pinto (SP –(C)). A e C: Fotos de L. Vasconcelos. B: Foto de E. Siquela

Tabela 1: Amostragem e peso das amostras colhidas (Chimucho & Lembura, 2006)

Camada		Referência das amostras	Peso (g) de cada amostra	Peso total (g)	
Nome	Zona			por zona (e %)	Por camada
ANDRÉ	Topo	GL/ 04-AN-06	1958,11	4189,52	14089,84
		GL/ 04-AN-05	2231,41	29,70%	
	Meio	GL/ 04-AN-04	2202,63	4674,24	
		GL/ 04-AN-03	2471,61	33,20%	
	Base	GL/ 04-AN-02	2256,58	5226,08	
		GL/ 04-AN-01	2969,50	37,10%	
GRANDE FALÉSIA	Topo	GL/ 04-GF-09	1971,18	5751,57	18391,67
		GL/ 04-GF-08	1746,97	31,30%	
		GL/ 04-GF-07	2033,42		
	Meio	GL/ 04-GF-06	2092,12	6664,58	
		GL/ 04-GF-05	2357,15	36,20%	
		GL/ 04-GF-04	2215,31		
	Base	GL/ 04-GF-03	2547,75	5975,52	
		GL/ 04-GF-02	1705,70	32,50%	
		GL/ 04-GF-01	1722,07		
SOUSA PINTO	Topo	GL/ 04-SP-09	2375,94	7249,90	19801,14
		GL/ 04-SP-08	2557,20	36,60%	
		GL/ 04-SP-07	2316,76		
	Meio	GL/ 04-SP-06	2480,30	6646,06	
		GL/ 04-SP-05	2058,36	33,60%	
		GL/ 04-SP-04	2107,40		
	Base	GL/ 04-SP-03	2202,53	5905,18	
		GL/ 04-SP-02	2181,11	29,80%	
		GL/ 04-SP-01	1521,54		

RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises dos elementos Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn, Zr (em ppm) na base “cinzas”. Dado que as populações não colhem o carvão das camadas em função dos horizontes amostrados, decidimos calcular as concentrações dos elementos nas zonas de base, meio e topo de cada camada (bem como na camada total) a partir dos pesos das amostras colhidas em cada perfil da camada (Tabela 1) que são apresentados respectivamente nas Tabelas 3 e 4. A Tabela 4 também apresenta os factores de enriquecimento dos elementos

estudados nas camadas (valor global). Os valores apresentados nas tabelas referidas anteriormente são sempre comparados com valores de Clarke (Vck) dos vários elementos em cinzas de carvão, segundo Yudovich et al. (1985).

A figura 5 mostra a variação das concentrações (em ppm) dos elementos nas zonas de base, meio e topo das camadas André (AN), Grande Falésia (GF) e Sousa Pinto (SP), bem como os Vck desses elementos nas cinzas de carvão (Yudovich et al., 1985). A figura 6 apresenta a variação das concentrações (em ppm) dos elementos mas em relação à camada total.

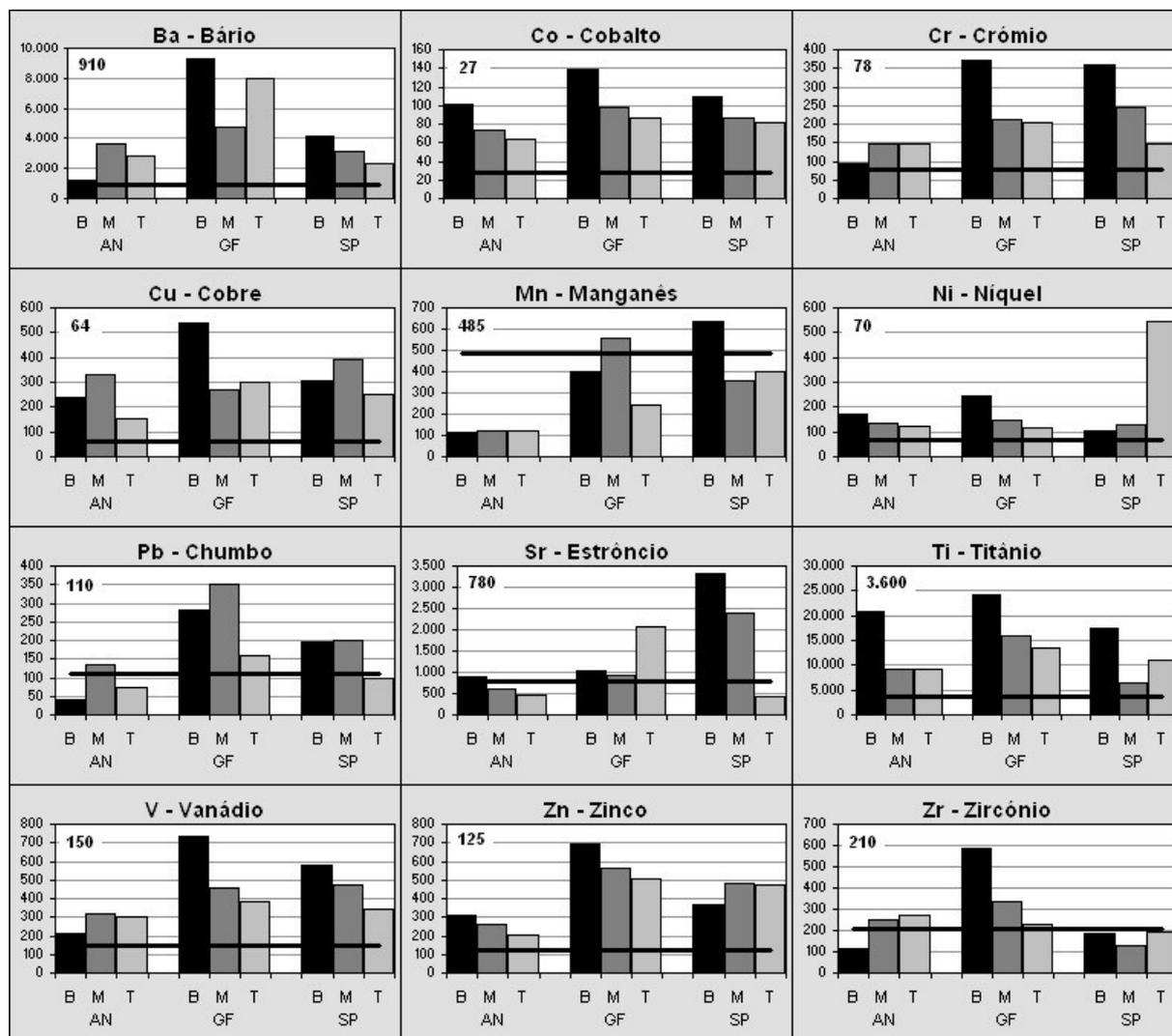


Figura 5: Distribuição das concentrações em Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn, Zr (em ppm) nas zonas de base (B), meio (M) e topo (T) nas camadas André (AN), Grande Falésia (GF) e Sousa Pinto (SP).

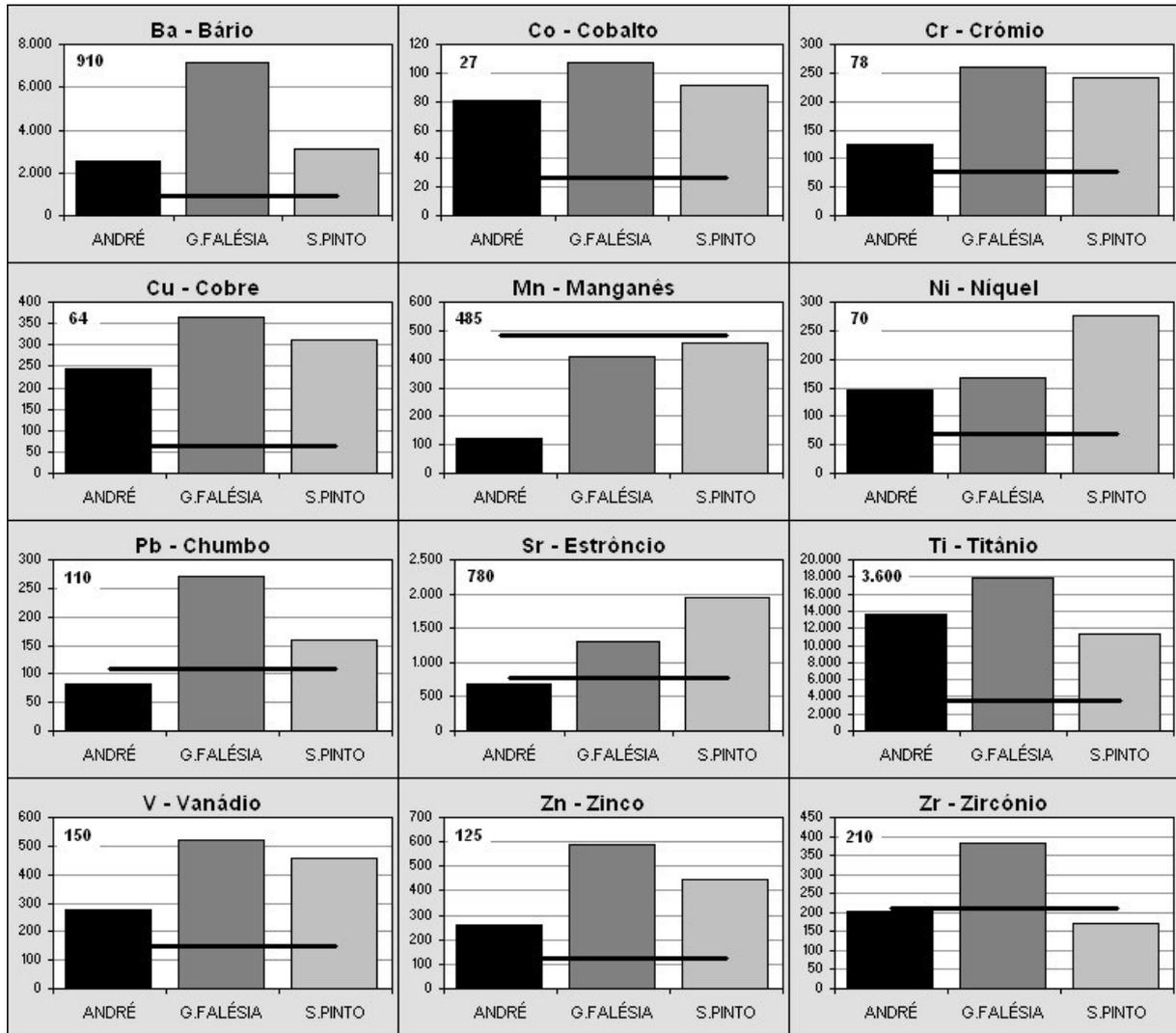


Figura 6: Distribuição das concentrações em Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn, Zr (em ppm) nas camadas André (AN), Grande Falésia (GF) e Sousa Pinto (SP).

A análise da figura 5, permite constatar que há três situações: (a) casos em que a concentração do elemento é sempre superior ao VCK: - é o caso das variáveis **Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Ti, V, Zn**; (b) casos em que a concentração do elemento é normalmente superior ao VCK - é o caso

das variáveis **Pb, Sr, Zr**; (c) caso em que a concentração do elemento é geralmente inferior ao VCK - caso observado para a variável **Mn**.

Estes resultados mostram claramente que nas cinzas dos carvões em estudo, a maioria dos elementos estudados ocorre em concentrações superiores ao VCK em

cinzas de carvão. Em geral, a base e meio das camadas apresentam concentrações muito mais altas que o topo, sendo essas as zonas de mais fácil acesso pelas populações.

A figura 6 mostra que a camada GF é a que apresenta maiores concentrações dos elementos: Ba, Co, Cr, Cu, Pb, Ti, V, Zn, Zr. Por seu lado, a camada SP é a que apresenta maiores concentrações de Mn, Ni, Sr, e a camada AN é a que apresenta geralmente menores concentrações de elementos. A Fig. 7 mostra os factores de enriquecimento de cada elemento em relação aos respectivos VCK nas camadas totais.

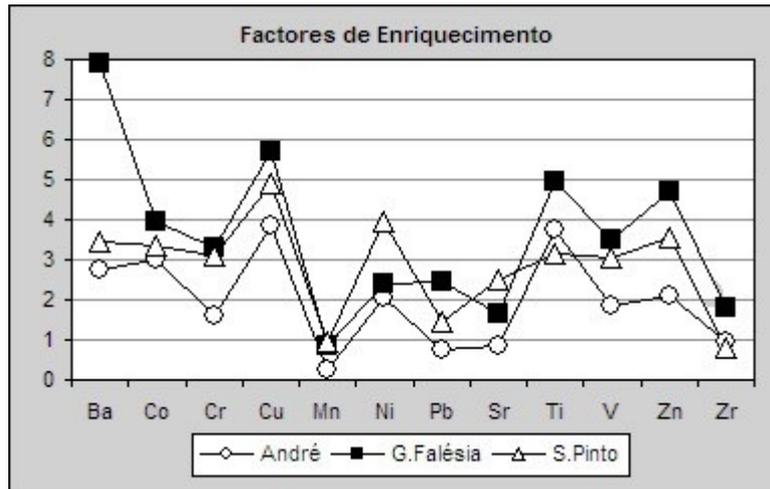


Figura 7: Variação dos factores de enriquecimento em Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn, Zr nas três camadas estudadas.

Passamos a descrever as concentrações dos vários elementos nas três camadas (chama-se a atenção para os VCK que estão expressos no canto superior esquerdo de cada gráfico nas Figs. 5 e 6).

Bário: a camada GF é a que apresenta maiores concentrações de Ba, tanto a nível das zonas da camada (Figura 5) como a nível da camada total (Figura 6). Nas camadas GF e SP, as zonas da base são as que apresentam concentrações mais altas de Ba. A camada AN, no geral, tem concentrações muito semelhantes à da camada SP, mas a sua secção de base é a que apresenta menores concentrações de Ba. Todas as zonas das camadas (à excepção da zona de base da camada AN) têm concentrações de Ba bastante superiores ao VCK nas cinzas de carvão (910 ppm). Em termos de camada total, verifica-se um enriquecimento de Ba em relação ao VCK. Os factores de enriquecimento calculados são de 2,5 – 7,9 – 3,5 respectivamente nas camadas AN-GF-SP.

Chumbo: os resultados indicam que em termos das camadas totais, verifica-se uma situação idêntica à do Ba, ou seja, a camada GF é a que apresenta os valores mais elevados em Pb, seguida da camada SP e da camada AN. No entanto, no caso do Pb verifica-se que a zona intermédia das três camadas é a mais rica nesse elemento, seguida da zona

de base nas camadas GF e SP. A comparação dos valores obtidos com o VCK em cinzas de carvão (110 ppm), verifica-se que a camada total, a GF e a SP têm valores superiores, o mesmo não acontecendo na camada AN, em que só a secção intermédia tem concentração mais alta que o VCK. O Pb encontra-se mais enriquecido na camada GF (factor de 2,5) que na camada SP (factor de 1,5), verificando um empobrecimento na camada AN (factor de 0,7).

Cobalto: do mesmo modo que no caso anterior, a camada GF é a que apresenta concentrações mais altas de Co, seguida da camada SP e finalmente da camada AN. No entanto constata-se que em todas as camadas as partes basais são as que apresentam maiores concentrações de Co, e as de topo as menores concentrações. Em todos os casos, as concentrações de Co são sempre muito superiores ao VCK nas cinzas de carvão (27 ppm). No caso do Co, também se verifica um enriquecimento em todas as camadas, sendo o factor de enriquecimento mais uniforme, variando de 3,0 (AN) a 4,0 (GF).

Crómio: em termos da camada total, verifica-se um comportamento semelhante ao das variáveis Ba e Co, ou seja, a camada GF é a mais rica em Cr, seguida da camada SP e da camada AN. Nas camadas GF e SP, a zona basal é a mais rica em Cr, seguida da zona intermédia. Já na camada

AN se verifica a situação oposta, isto é, a secção de base é a menos rica e a de topo a mais rica. Todas as zonas das camadas (à excepção da zona basal da camada AN) têm concentrações de Cr bastante superiores ao VCK nas cinzas de carvão (78 ppm). As camadas GF e SP têm factores de enriquecimento de Cr muito semelhantes, respectivamente 3,3 e 3,1, cerca do dobro do que se verifica na AN (1,6).

Cobre: em termos da camada total, de novo a GF apresenta as maiores concentrações, seguida da SP e da AN. Contudo, só a camada GF apresenta a zona de base mais enriquecida em Cu. No caso das camadas AN e SP são as zonas intermédias as que apresentam maiores concentrações de Cu, e as de topo as menores concentrações. Todas as zonas têm concentrações bastante superiores ao VCK em cinzas de carvão (64 ppm). A camada GF é a que se apresenta mais enriquecida em Cu, seguida da SP e da AN, com factores de enriquecimento de 5,7-4,9-3,8, respectivamente.

Estrôncio: este elemento aparece mais concentrado nas zonas de base das camadas AN e SP e de topo da camada GF. Em geral as zonas das camadas têm concentrações de Sr superiores ao VCK em cinzas de carvão (780 ppm). A camada SP é a que apresenta maior concentração de Sr, seguida da GF e da AN, sendo que a concentração de Sr na camada total na SP e na GF é superior ao VCK. No caso da camada AN, essa concentração é ligeiramente inferior ao VCK. Quanto ao factor de enriquecimento, na camada AN apresenta um factor de 0,9 (empobrecimento) enquanto que as camadas GF e SP, apresentam um enriquecimento neste elemento (1,7 e 2,5), respectivamente.

Manganês: no caso deste elemento, é a camada SP a que, no seu todo, apresenta a maior concentração deste elemento, se bem que não muito mais que a camada GF. A camada AN é a menos rica em Mn. Em termos de zonas das camadas, a situação é muito variada. Assim, a camada SP tem a

zona basal mais rica em Mn, ao passo que na camada GF esse enriquecimento ocorre na zona intermédia. Na camada AN, as zonas intermédia e de topo têm concentrações idênticas e mais ricas que a zona basal. Em geral, as zonas têm concentrações inferiores ao VCK para cinzas (485 ppm). Exceptuam-se as zonas intermédia da GF e a de base da SP. Em termos de camada total, todas elas apresentam concentrações abaixo do VCK. De todos os elementos estudados, o Mn é o único cujo factor de enriquecimento é inferior à unidade nas três camadas, sendo de 0,2-0,8-0,9 nas camadas AN-GF-SP.

Níquel: as camadas AN e GF apresentam as zonas de base mais ricas neste elemento, seguidas das zonas intermédias e de topo. A situação inverte-se no caso da camada SP. Em termos de camada total, é a SP a que se apresenta mais rica em Ni, seguida da GF e da AN. Em todos os casos, as concentrações de Ni estão bastante acima do VCK para cinzas de carvão (70 ppm). O factor de enriquecimento do Ni é semelhante nas camadas AN e GF (respectivamente 2,1 e 2,4), e mais elevado na SP (3,9).

Titânio: a camada GF é a que apresenta maior concentração de Ti, seguida da camada AN e da camada SP. Em todos os casos (de zonas e camada total), a concentração de Ti é sempre superior ao VCK em cinzas de carvão (3.600 ppm). Refira-se também que em todas as camadas, são as secções basais as que apresentam as maiores concentrações em Ti. O factor de enriquecimento é maior na camada GF (5,0), e semelhante nas outras duas (AN=3,8; SP=3,1).

Vanádio: em termos da camada total, verifica-se a mesma situação que a descrita para as variáveis Ba, Co, Cr, Cu e Pb, ou seja, a camada GF é a mais enriquecida em V, seguida da camada SP e da camada AN. De novo a concentração de V nas diferentes camadas e na camada total é superior ao VCK em cinzas de carvão (150 ppm). As camadas GF e SP são mais ricas em V na base e na parte intermédia. A

camada AN é mais rica em V no meio e no topo. Os factores de enriquecimento do V são semelhantes ao do Cr. Assim, para as três camadas AN-GF-SP os factores são de 1,8-3,5-3,0, respectivamente.

Zinco: em termos das camadas totais, verifica-se a mesma situação que nos casos das variáveis Ba, Co, Cr, Cu, Pb, e V, ou seja, a camada GF é a mais rica em Zn, seguida da camada SP e da camada AN. No caso das camadas AN e GF, o Zn regista os maiores valores na base, seguindo-se o meio e o topo. Na SP a base é a mais pobre em Zn. Em todos os casos, contudo, a concentração de Zn é sempre superior ao VCK em cinzas do carvão (125 ppm). Quanto ao factor de enriquecimento, a camada GF apresenta um valor de 4,7, seguida da camada SP (3,6), sendo a camada AN a que menos enriquecida, apresentando um factor de enriquecimento de 2,1.

Zircónio: os resultados obtidos sugerem que em termos de camada total, o comportamento é idêntico ao do Ti, isto é, a camada GF é a que apresenta maior concentração de Zr, seguida da camada AN e da camada SP. Em termos de zonas das camadas, a concentração é muito irregular, sendo maior na base da camada GF, e no topo das camadas AN e SP. Só a camada GF tem uma concentração global superior à do valor de referência (VCK) em cinzas de carvão (210 ppm). A camada AN e apresentam uma concentração de Zr inferior ao VCK. Na camada AN não há enriquecimento de Zr (factor de 1,0), havendo empobrecimento na SP (factor de 0,8) e um ligeiro enriquecimento na GF (1,8).

Da análise da Figura 6 constata-se que a camada GF é a que se encontra mais enriquecida na maior parte dos elementos estudados, excepto nos casos do Ni, Sr e Mn, em que os maiores valores são registados para a camada SP. A camada AN é a mais empobrecida em todos os elementos, excepto no caso do Ti, em que é a camada SP a que se encontra mais empobrecida.

DISCUSSÃO

A rejeição das cinzas de carvão utilizado em fornos de tijolos e em fogueiras/fogões domésticos para o ambiente é uma prática comum em Moatize (e em qualquer outra parte que utilize o carvão como combustível doméstico). Estas cinzas são extremamente finas e facilmente transportadas pelo ar em alturas de vento, e conseqüentemente depositar-se em vários locais longe da origem e inaladas pelas pessoas. Esta forma de poluição é de bastante significativa em Moatize, já que a região se caracteriza por ter um clima quente e seco, e frequentemente com partículas de poeira em suspensão. Este transporte pelo ar leva também a que haja um forte contacto dérmico com as cinzas, as quais se agarram facilmente à pele em especial em alturas de grande sudação. Por outro lado, as mesmas cinzas depositam-se sobre a vegetação que é ingerida pelos animais herbívoros (gado caprino e bovino) que, por seu lado, entram na alimentação humana. Há ainda a referir outra forma de poluição, resultante das águas meteóricas que lixiviam os elementos existentes no solo, entrando no sistema hidrológico, quer nas águas subterrâneas quer em águas superficiais (rios e lagos) contaminando assim muitos dos sistemas de abastecimento de água às populações.

O Ba é um elemento com uma alta toxicidade, em especial na sua forma iónica (Ba^{2+}) associada a sais solúveis. O sulfato de bário é insolúvel e não tem conseqüências no organismo (Nóbrega, 2007; PDAMED, s/da; PDAMED, s/db). O óxido de bário é considerado um irritante dérmico e nasal (RAIS, 1997). A ATSDR (2007) não refere níveis de risco mínimo (NRM) por inalação de Ba por os estudos sobre o assunto serem inadequados. Ainda segundo ATSDR (2007a) não há metodologias apropriadas desenvolvidas para determinar o NRM para exposição dérmica ao Ba. Contudo, a WHO (1991) refere que o limite de toxicidade do Ba é de 3-7 ppm. Considerando que os teores de Ba nas cinzas das amostras (Tab. 2) variam entre 971 ppm e 12500 ppm, e que o factor

de enriquecimento varia entre 2,8 e 7,9 (Tabela 4), é provável que este elemento possa levantar alguns problemas de saúde e ambiental, especialmente porque se desconhece a forma química de ocorrência deste elemento nas cinzas, como acontece para todos os elementos analisados e a seguir descritos.

De acordo com Melnikov (2007), a principal via de absorção do Co pelo organismo humano é gastrointestinal. Segundo o mesmo autor, alguma absorção é feita por via respiratória (cerca de 30% da quantidade inalada), sendo a absorção por contacto dérmico muito baixa. Melnikov (2007) refere que o Co é um metal pesado apenas potencialmente tóxico já que existem mecanismos da sua eliminação do organismo. Não se encontraram referências sobre a toxicidade do Co no ser humano. O MEO (2001) refere que a concentração mundial média de Co nos solos é de 8 ppm (a ASTDR, 2004a refere 7 ppm). O mesmo trabalho (MEO, 2001) revela que plantas que se desenvolvem em solos com $Co \leq 28$ ppm apresentam concentrações de $Co \leq 11$ ppm, muito abaixo do limiar de toxicidade para plantas, (25-100 ppm), sendo pouco provável que ocorram efeitos tóxicos em plantas onde a concentração nos solos é da ordem dos 40 ppm. No caso de Moatize, a concentração máxima de Co encontrada nas cinzas dos carvões em camada total, foi de 107 ppm na camada GF. Esta concentração nas cinzas será com certeza diluída devido à lixiviação do Co pelas águas meteóricas que se infiltram nos solos, sendo pouco provável que apresentem algum efeito tóxico nas plantas.

O Cr pode aparecer em várias valências, mas as mais importantes são as Cr^{3+} e Cr^{6+} , sendo o Cr^{6+} mais tóxico que o Cr^{3+} . De acordo com RAIS (1992), estudos em animais demonstraram que a ingestão oral de ambas as espécies não é tóxica, manifestando-se a toxicidade do Cr a nível respiratório e dérmico. Segundo Goodarzi & Huggins (2001), o Cr^{6+} pode causar cancro do pulmão quando inalado como poeira, enquanto que o Cr^{3+} é um elemento nutriente fundamental

para os mamíferos. Ainda segundo os mesmos autores, o Cr está muitas vezes associado ao conteúdo argiloso dos solos. Uma vez que os minerais de argila são geralmente os constituintes principais dos carvões, ele pode aparecer nas cinzas dos carvões, se bem que 95% do Cr na maioria dos carvões esteja na forma Cr^{3+} mantendo-se nessa valência nas cinzas. Desconhecendo-se por ora qual a forma principal de Cr nas cinzas dos carvões em estudo, e atendendo ao facto que via de exposição é fundamentalmente a inalação e o contacto dérmico, estudos mais detalhados deverão ser realizados na região de Moatize já que as poeiras são facilmente levantadas para a atmosfera. As condições locais e as características das poeiras favorecem a sua inalação assim como a sua aderência à pele devido ao suor. Os valores relativamente elevados do factor de enriquecimento nestas cinzas justifica também a realização de estudos complementares.

Segundo DEH (2006), o limite de concentração de Cu em poeiras é de 1 mg/m³ para locais de 8h de trabalho. Em Moatize, as cinzas (facilmente transformadas em poeiras levadas pelo ar) apresentam teores de Cu entre 71-654 ppm, ou seja, muito acima do limite anteriormente referido. É verdade que as pessoas não respiram as poeiras 8 horas por dia, porque nem as condições do tempo são favoráveis ao transporte das poeiras no ar mas os resultados sugerem que se deva estudar mais em detalhe este elemento. De acordo com ATSDR (2004b), os solos geralmente contêm teores de Cu que variam entre 2 e 250 ppm. O teor médio de cobre nas cinzas em estudo, relativas à camada total, varia de 246-365 ppm. Estes resultados sugerem que poderá ocorrer um aumento dos teores de Cu nos solos da região pela sua incorporação nesses solos pela actividade agrícola, sendo por isso necessário monitorar o comportamento deste elemento. Acresce ainda que o factor de enriquecimento do Cu nestas cinzas varia de 3,8 a 5,7 e que o limite de toxicidade do Cu é de 60 ppm (Mearnes, 1974).

De acordo com NIOSH (2005) as principais vias de exposição de Mn e Ni no corpo humano é a ingestão e a inalação, com limite de exposição recomendado de 0.44 ppm. Acreditamos que em Moatize a principal via de exposição das populações a estes elementos é por inalação de poeiras de cinzas de carvão (incluindo o contacto dérmico). As amostras contêm teores de Mn que variam entre 114-638 ppm em amostras individuais (com valores médios de camada total entre 121-456 ppm), sendo os valores para o Ni variam entre 103-544 ppm em amostras individuais (variação entre 145-275 ppm para cinzas da camada total). Os resultados sugerem que o comportamento destes dois elementos tem de ser mais investigado, apesar de principalmente com o Ni, cujo factor de enriquecimento varia entre 2,1-3,9.

De acordo com CSIRO (s/d), o Pb encontra-se em teores baixos no carvão e nas suas cinzas, estando predominantemente presente na pirite em carvões betuminosos. Apesar de não termos estudos sobre o conteúdo de sulfuretos nestes carvões, sabe-se que em geral os carvões de zona de Moatize, em especial os da Camada Chipanga, são pobres em enxofre (Vasconcelos, 1995), pelo que o conteúdo de sulfuretos poderá ser baixo. O chumbo é volátil e tende a condensar-se sobre as partículas finas de cinzas volantes. Contudo, algum Pb pode concentrar-se nas cinzas de fundo. Os valores de Pb nestas cinzas variam de 82 a 270 ppm, com factores de enriquecimento de 0,8 a 2,5. De acordo com ATSDR (2005a), o limite de toxicidade do Pb para solos é de cerca de 400 ppm, valor muito acima das concentrações nas cinzas. Atendendo a que o Pb poderá ter maior impacto na saúde via inalação, não nos parece que, no caso de estudo, ele possa constituir um problema. No entanto deverá ser avaliada a quantidade de Pb que vai para a atmosfera na combustão e que possa vir a ser inalada pelas pessoas.

O Sr encontra-se nos solos em concentrações variáveis, mas a concentração típica é de 0,2mg/kg (ATSDR,

2004c). Este teor pode aumentar com a acumulação de cinzas de carvão nos solos. Segundo o mesmo autor, os principais efeitos adversos do Sr vêm do seu isótopo radioactivo Sr^{90} , o qual ocorre em percentagens ínfimas sobre o Sr total. Desconhece-se qual a situação deste isótopo nas cinzas em estudo. Este aspecto deverá ser tido em consideração, já que as concentrações nas cinzas variam de 680-1944 ppm, o que poderá grandemente aumentar o teor de Sr nos solos e a quantidade de Sr radioactivo.

Embora não tenha sido estudado, presume-se que Ti ocorre principalmente na forma de TiO_2 devido aos elevados conteúdos de titano-magnetite presentes nos gabros encaixantes. O dióxido de titânio é considerado como uma substância inerte, não tóxica, por muitos organismos reguladores e outros com a responsabilidade de salvaguardar a saúde ocupacional dos trabalhadores e de saúde pública (Stryker, 2007). No entanto, Stryker (2007) mencionou a presença de uma ligeira fibrose pulmonar para teores da ordem dos 5000 ppm concluindo que esta substância é cancerígena. Como os teores de Ti em cinzas de carvão variam entre 11327 e 17878 ppm, com valores máximos nas secções basais das três camadas, há que dar alguma atenção a este elemento.

O V tende a ser volatilizado na forma de óxido quando há queima de carvão, sendo assim possível entrar no organismo por inalação. Contudo, a maior parte do vanádio que entra no sangue é excretado na urina (ATSDR, 1992). De acordo com Saranko et al (2000) o limite de toxicidade do V no organismo é de 430 ppm. Sendo os valores médios de V nas cinzas de 274 a 523 ppm, não nos parece que este elemento possa causar problemas de saúde.

O Zn entra no meio ambiente como o resultado de mineração, purificação de zinco, produção de aço, combustão do carvão e queima de vários resíduos. O nível de Zn no solo aumenta principalmente a partir de eliminação de resíduos de zinco

metálico de indústrias transformadoras e de cinzas de carvão. A maior parte do zinco no solo não se dissolve em água. No entanto, parte dele pode atingir águas subterrâneas. Assim, o Zn pode ser absorvido pelo organismo via alimentos, sendo esta a principal via de entrada do elemento no corpo (ATSDR, 2005b). No presente estudo o Zn ocorre com teores médios variando entre 261 e 589 ppm apresentando um factor de enriquecimento variando de 2,1 a 4,7, pelo que se devará ter em atenção a concentração deste elemento nas cinzas.

Em geral, o Zr e seus sais têm baixa toxicidade (Lenntech, s/d). A maior parte do Zr ingerido passa através do tubo digestivo sem ser absorvido, e o que é absorvido tende a acumular-se mais no esqueleto do que nos tecidos. Nas cinzas em estudo, o Zr ocorre em quantidades em geral inferiores ao seu VCK (factor de enriquecimento entre 0,8 e 1,8). É de concluir que o Zr não constitua problema de maior.

CONCLUSÕES

Em face dos resultados analíticos encontrados pode concluir-se que as cinzas dos carvões aflorantes de Moatize estão enriquecidas na maioria dos elementos estudados, à excepção do Mn. Os factores de enriquecimento variam de camada para camada e de elemento para elemento, mas a camada Grande Falésia é a que em geral está mais enriquecida, excepção feita para os elementos Ni e Sr.

Também se verifica que as zonas de base e intermédia das camadas são em geral as mais ricas nos elementos estudados, sendo as de mais fácil acesso pelas populações. Dos elementos estudados, os que apresentam maiores probabilidades de

provocarem riscos à saúde humana pela sua presença nas cinzas largadas no ambiente são o Ba, o Cr, o Cu, o Mn, o Ni, o Ti e o Zn. O Pb nas cinzas não parece constituir problema, sendo no entanto de estudar a quantidade deste elemento largada no ar pela combustão. No caso do Sr, dever-se-á dar alguma atenção ao seu isótopo radioactivo. De todos os elementos estudados, somente o V e o Zr parecem não constituir problema.

Apesar de este ser um primeiro estudo sobre a concentração de elementos-traço nas cinzas dos carvões aflorantes em Moatize, e como consequência, não ser possível tirar conclusões de maior sem se fazerem outros estudos, pensamos que os resultados obtidos levam à conclusão de que é necessário olhar-se para o problema do uso do carvão aflorante com mais cuidado. Assim, será necessário estudarem-se os outros elementos, não só nas cinzas, como no carvão total, e também a quantidade de elementos que é volatilizada durante a combustão, para se ter uma ideia dos riscos de contaminação por inalação.

AGRADECIMENTOS

Os autores querem agradecer à SIDA SAREC e à UEM-Universidade Eduardo Mondlane, pelo financiamento do projecto de investigação que levou à produção deste artigo. À UEM vão também os nossos agradecimentos por ter disponibilizado fundos para que um dos autores pudesse apresentar estes resultados no 9º Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, realizado na Cidade da Praia, República de Cabo Verde, ocorrido de 15-20 de Março de 2008.

REFERENCES

ATSDR, 1992. Public Health Statement: Vanadium. 4 pp. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/. Acedida em Dezembro de 2006.

- ATSDR, 2004a. Public Health Statement: Cobalt. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.html>. Acedida em Dezembro de 2006.
- ATSDR, 2004b. Public Health Statement: Copper. 7 pp. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/. Acedida em Dezembro de 2006.
- ATSDR, 2004c. Public Health Statement: Strontium. 10 pp. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/. Acedida em Dezembro de 2006.
- ATSDR, 2005a. Public Health Statement: Lead. 15 pp. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/. Acedida em Dezembro de 2006.
- ATSDR, 2005b. Public Health Statement: Zinc. 7 pp. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/. Acedida em Dezembro de 2006.
- ATSDR, 2007. Toxicological Profile for Barium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, August 2007. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.html>
- Chimucho, A. & Lembura, G., 2006. Estudo das características de lavabilidade dos carvões aflorantes da Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete. Tese de Licenciatura, Deptº Geologia, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique.
- CSIRO, s/d. Lead (Pb). http://www.det.csiro.au/science/e_e/Clean%20Air/PDF/LEAD.pdf
- DEH, 2006. Copper & compounds fact sheet. Department of the Environment and Heritage, Australian Government. <http://www.npi.gov.au/database/substance-info/profiles/27.html>
- Godinho, I. & Salazkhine, E., 1980. Nota preliminar sobre o conteúdo de Ge em carvões de Moçambique. Direcção Nacional de Geologia. Maputo. Moçambique. Não publicado.
- Goodarzi, F. & Huggins, F.E., 2001. Monitoring the species of arsenic, chromium and nickel in milled coal, bottom ash and fly ash from a pulverized coal-fired power plant in western Canada. J. Environ. Monit., 3: 1-6
- GTK Consortium, 2006. Mapa Geológico de Tete, 1:250.000. Folha 1633. Ministério dos Recursos Minerais, Direcção Nacional de Geologia, Maputo, Moçambique.
- LENNTECH, s/d. Zinc (Zn) - Chemical properties, Health and Environmental effects. Lenntech Water treatment & air purification Holding B.V. <http://www.lenntech.com/Periodic-chart-elements/Zn-en.htm>
- MAE, 2005. Perfil do Distrito de Moatize. Província de Tete. República de Moçambique, Ministério da Administração Estatal. Série Perfis Distritais. Maputo, Moçambique. 79 pp.
- Mearns, A.J., 1974. Toxicity studies of chromium. Southern California Coastal Water Research Project Authority (SCCWRP) 1974 Annual Report. Web Site: <http://www.sccwrp.org/pubs/annrpt/1974/ar-01.htm>
- Melnikov, P., 2007. Metabolismo e mecanismos de toxicidade de cádmio e cobalto. Química Inorgánica II (Plan D). Seminário: Aplicaciones biológicas de los elementos de transición (Curso 2007-2008). Facultad de Química de la Universidad de la Habana.

http://quimred.fq.uh.cu/inorganica/materiales_seminario/dr_pedro_%20melnikov_%20cd_%20co.pps

MEO, 2001. Cobalt in the environment. Ministry of the Environment of Ontario Fact Sheet, March 2201, 3 p.

NIOSH, 2005. Pocket Guide to Chemical Hazards. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati, OH.

Nóbrega, J.A., 2007. Análise de alimentos: Aplicações. 14º Encontro Nacional de Química Analítica, Hotel Tambaú, João Pessoa (PB), Brasil, 07-11.10.2007. http://portal.enqa.com.br/pdfs/Curso_1_ENQA_6.pdf

Ocuane, N.A., 1998. Determinação da concentração e das afinidades orgânica e/ou inorgânica dos elementos-traço nos carvões aflorantes ao longo do Rio Moatize e seus afluentes. Trabalho de Licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique.

PDAMED, s/da. Sulfato de bário. Dicionário Digital de Termos Médicos 2007. Acedida em 19.05.2008. http://www.pdamed.com.br/diciomed/pdamed_0001_15453.php

PDAMED, s/db. Bário. Dicionário Digital de Termos Médicos 2007. Acedida em 19.05.2008. http://www.pdamed.com.br/diciomed/pdamed_0001_03199.php

RAIS, 1992. Toxicity Profiles. Toxicity Summary for Chromium. The Risk Assessment Information System. <http://rais.ornl.gov/tox/profiles/chromium.shtml#t42>

RAIS, 1997. Toxicity Profiles. Toxicity Summary for Barium. The Risk Assessment Information System. http://rais.ornl.gov/tox/profiles/barium_f_V1.shtml

Saranko, C.; Jordan, K.; Tolson, J.K. & Roberts, S.M., 2000. Comments on the "Proposed Modifications to Identified Acute Toxicity-Based Soil Cleanup Target Levels (SCTLs)". Prepared by Hazardous Substance & Waste Management Research, Inc., on behalf of the Florida Electric Power Coordinating Group, Center for Environmental & Human Toxicology, University of Florida. January 27, 2000

Stryker, L., 2007. Titanium Dioxide: Toxic or Safe? The Organic Make-up Company Inc. <http://www.theorganicmakeupcompany.com/CA/titaniumdioxide.asp>

Tivane, V.B., 1998. Ocorrência e distribuição vertical do Cu e Ni no carvão de Mina Chipanga VIII – Bacia Carbonífera de Moatize. Trabalho de Licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique.

USGS, 2005. Chemical analysis of an underground coal sample from Chipanga Seam, Chipanga XI Mine, Moatize, Mozambique. Analysis Report, Job Number ERP-00459, 30.12.2005.

Vasconcelos, L. & Pedro, A.J., 2004. Variation of mineral phases of Mozambican coals with different heating temperatures. Poster apresentado no Workshop on Environmental management implications of organic facies studies (Budapeste, Hungria, 15.09.04). Resumo alargado no Abstract Book do Workshop, 64-66.

Vasconcelos, L., 1995. Contribuição para o conhecimento dos carvões na Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete, República de Moçambique. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, Portugal, 2 volumes.

Vasconcelos, L.; Achimo, M. & Amurane, D.P., 2006. Relatório diagnóstico da área da concessão de Moatize. Meio Físico: Geologia – Geomorfologia – Geotecnia. Trabalho de consultoria para a Consultec, Fevereiro de 2006. 119 pp.

VEB GFE, 1981. Steinkohlenasche Moatize. VEB Geologische Forschung und Erkundung, Halle, DDR, 23.02.1981.

WHO, 1991. Barium: health and safety guide. World Health Organization for the International Programme on Chemical Safety, Geneva.

Yudovich, Y.; Ketris, M. & Mertc, A., 1985. Trace elements in coal. Nauka, Leningrad, 239 pp. (in Russian).