

# ELEMENTOS-TRAÇO EM CINZAS DE CARVÕES AFLORANTES DE MOÇAMBIQUE

L. Vasconcelos, A. Muchangos & E. Siqueira

Depo<sup>o</sup> Geologia, Universidade Eduardo Mondlane, CP 257, Maputo, Moçambique.

Email: [lopvasconcelos@gmail.com](mailto:lopvasconcelos@gmail.com)

*O mesmo artigo foi apresentado no 9<sup>o</sup> Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa (Santiago, Cabo Verde, 15-20.03.2008) e submetido para publicação no *Geochimica brasiliensis*, aguardando decisão.*

## 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 da utilização dos mesmos. Por isso foi estudada a concentração de 24 elementos nas cinzas de carvões aflorantes das camadas Sousa Pinto, Grande Falésia e André. As concentrações (mínima-média-máxima) em ppm obtidas foram: Ba (101-476-1300), Co (3.8-9.9-26), Cr (9.3-23.2-56), Cu (14.4-32.7-68), Mn (9.5-37.4-109), Ni (4.9-20.8-153), Pb (3.9-18.8-74), Sr (8.9-151.9-379), Ti (183-1511-4584), V (21-46.2-128), Zn (17.6-47-94), e Zr (8.3-27.4-109). Se bem que mais estudos devam ser feitos não só em cinzas (restantes elementos) como no carvão total, pode desde já concluir-se que alguns elementos merecem atenção especial sobre o ponto de vista de impactos na saúde humana, como é o caso dos elementos Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Ti e Zn. O V e o Zr parecem não constituir problema, e o Pb poderá ter implicações por inalação.

Palavras-chave: Moatize (Moçambique), carvão, elementos-traço

## 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 utilizes 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 in 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 in ppm (minimum-average-maximum) were: Ba (101-476-1300), Co (3.8-9.9-26), Cr (9.3-23.2-56), Cu (14.4-32.7-68), Mn (9.5-37.4-109), Ni (4.9-20.8-153), Pb (3.9-18.8-74), Sr (8.9-151.9-379), Ti (183-1511-4584), V (21-46.2-128), Zn (17.6-47-94), and Zr (8.3-27.4-109). Although more studies must be carried out not only in coal ashes (remaining elements) but also in total coal, it can be concluded that some elements deserve special attention on 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 seem to pose no problem and Pb may have implications if inhaled.

Key words: Moatize (Mozambique), coal, trace elements

## 1. introdução

Moçambique situa-se na costa sudeste de África, com um comprimento de cerca de 3.000 km no sentido Norte-Sul, e uma largura variando de 1.100 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 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 Ncondézi-Minjova-Mutarara (ao longo da fronteira com o Malawi) e a Bacia de Sanãgoè-Mefidézi (a sudoeste da cidade de Tete). Há ainda outras bacias, a maior das quais na Província de 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 Zimbábwe (em M'potepote). No Niassa ocorre ainda a Bacia do Lugenda e outras pequenas manchas isoladas ao longo deste rio. A Fig. 1 mostra as várias bacias carboníferas de Moçambique, bem como alguns aspectos da geografia da zona.

Fig. 1

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 para fornos para fabrico de tijolos.

Em Moatize, zona escolhida para o nosso estudo, ocorrem variados afloramentos de carvão junto de aglomerados populacionais mais ou menos densos e que utilizam este carvão que se encontra ao alcance de todos sem 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 se verificou na zona aquando do conflito armado, com pessoas fugidas das zonas rurais. Assim, as zonas mais arborizadas encontram-se cada vez mais distantes, obrigando as pessoas a deslocarem-se distâncias maiores para esta actividade, acabando elas por se virar para o carvão mineral que ocorre mesmo à mão de semear.

As actividades de 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, indo assim inquirar os solos, águas subterrâneas e fluviais, bem como o ar atmosférico. De referir que Moatize se encontra numa região quente e relativamente seca, em que o ar se encontra normalmente carregado de poeiras transportadas pelo vento. Sendo as cinzas materiais de granulometria muito fina, elas são facilmente levadas pelo ar, entrando no sistema respiratório das pessoas.

**Fig. 2**

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 nada se fez em relação aos carvões aflorantes, a não ser uma tese de Licenciatura em Geologia (Ocuane, 1998), que refere 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, que impactos no ambiente e na saúde das pessoas (e dos animais) tem a utilização destes carvões. O presente trabalho constitui um primeiro passo 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.

## **2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO**

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 (Fig. 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 Zóbué (cerca de 90 km). Perto de Moatize há ainda a estrada que vai para a Zâmbia, através da fronteira de Cassacaitza. 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. Conclui-se que Moatize 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 Revúboé, que corta a bacia no sentido NE-SW em direcção ao Rio Zambeze, e pelos seus afluentes Rio Moatizé, que corre na direcção ESE-WNW, e Rio Múrongódzi, que corre na direcção N-S. É ao longo do Rio Moatize que aparecem os afloramentos das camadas de carvão em estudo neste trabalho.

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 precâmbricas. A feição mais notória é o Monte M'Pandi, no limite SW da bacia, junto ao Rio Revúboé, com uma altitude de 321 m (GTK Consortium, 2006).

Segundo MAE (2005), a população de Moatize em 01.01.2005 era de 70,795 pessoas, das quais 34.489 homens (48,7%) e 36.306 mulheres (51,3%).

## **3. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO**

A bacia carbonífera de Moatize (Fig. 1) pertence ao Supergrupo do Karoo. As camadas de carvão pertencem à Formação de Moatize (Pérmico Inferior, PeM na Fig. 3), sendo composta de arenito arcóscico 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 Chipanga é a camada 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, PeI na Fig. 3) composta por arenito arcóxico 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., P<sub>2</sub>Tg<sub>b</sub> 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'Pandi.

A SW do Rio Zambeze, o contacto da bacia do Karoo é através de uma falha com os Granitos de Chacocoma (1046 ± 20 Ma, P<sub>2</sub>CGr na Fig. 3), que têm intercalações de granadas, e com os granitogneiss das Suites de Mungári e Tete (P<sub>2</sub>MG na Fig. 3), ambos pertencentes ao Mesoproterozóico Inferior. Ainda na Fig. 3, outra formação pode ser vista — o granito-gneiss do Monte Calinga-Mucei (P<sub>3</sub>ROgm) da Suite do Guro, com uma idade de 867 ± 15 Ma (Neoproterozóico) (GTK Consortium, 2006).

Como se pode ver na Fig. 3, a bacia do Karoo é intruída por uma série de diques máficos de idade Jurássica pertencentes à Suite de Rukore (JrRmd na Fig. 3), a maior parte dos quais não está representada no mapa da Fig. 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 (Fig. 3).

Fig. 3

#### 4. AMOSTRAGEM

Para este estudo, foi feita a amostragem de 3 camadas em três afloramentos (Fig. 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 concentrações populacionais.

A espessura média das camadas AN e GF é 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, sendo 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 Fig. 4 podem ver-se aspectos das três camadas em estudo.

Fig. 4

Tabela 1

## 5. METODOLOGIA DE ANÁLISE

As amostras em estudo foram preparadas por Chimucho e Lembura (2006) para a sua Tese de Licenciatura.

As análises dos elementos-traço foram feitas no laboratório do Inspectorate M&L de Johannesburg, África do Sul. Os elementos-traço estudados foram Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn, Zr. O método de análise foi o varimento quantitativo por ICP seguido de Dissolução em Mistura Ácida e Diluição ao Volume. (*Quantitative ICP Scan following a Mixed Acid Dissolution and Dilution to Volume*).

## 6. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises dos elementos-traço estudados (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). Chegou-se assim aos valores apresentados respectivamente nas Tabelas 3 e 4. Esta última também apresenta os factores de enriquecimento dos elementos-traço estudados nas camadas (Valor global). Assim, iremos concentrar a nossa análise nos valores dessas duas últimas tabelas. Em todas as três tabelas é apresentada uma coluna com os Valores de Clarke (VCK) dos vários elementos em cinzas de carvão, segundo Yudovich et al. (1985).

A Fig. 5 mostra histogramas com as 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). Já a Fig. 6 mostra o mesmo mas em relação à camada total.

Fig. 5

Fig. 6

Olhando para a Fig. 5, verifica-se que há três situações:

Casos em que a concentração do elemento é sempre superior ao VCK: Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Ti, V, Zn;

Casos em que a concentração do elemento é normalmente superior ao VCK: Pb, Sr, Zr;

Caso em que a concentração do elemento é geralmente inferior ao VCK: Mn.

Ou seja, nas cinzas dos carvões em estudo, a maioria dos elementos estudados aparece com concentrações superiores ao VCK em cinzas de carvão. Em geral, a base e meio das camadas têm concentrações muito mais altas que o topo, sendo essas as zonas de mais fácil acesso pelas populações.

Já a Fig. 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.

**Fig. 7**

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).

#### **Ba - Bário**

A camada GF é a que apresenta maiores concentrações de Ba, tanto a nível das zonas da camada (Fig. 5) como a nível da camada total (Fig. 6). Nas camadas GF e SP, as zonas da base são as que apresentam concentrações mais altas de Ba. A camada AN, no geral, não tem muito menor concentração deste elemento que a 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 do Ba nas cinzas de carvão (910 ppm). Em termos de camada total, verifica-se um enriquecimento de Ba em relação ao VCK. Assim, os factores de enriquecimento são de 2,5 - 7,9 - 3,5 respectivamente nas camadas AN-GF-SP.

#### **Co - 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. Mas neste caso, em todas as camadas se verifica que as partes basais são as que têm 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 para Co 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).

#### **Cr - Crómio**

Em termos das camadas totais, verifica-se a mesma situação que nos casos anteriores, 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 do Cr 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).

#### **Cu - 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 tem a zona de base mais rica 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 do Cu 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 respectivamente de 5,7-4,9-3,8.

#### **Mn - Manganês**

No caso do Mn, 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 é a zona intermédia. Na camada AN, as zonas têm concentrações têm concentrações idênticas e mais ricas que a zona basal. Em geral, as zonas têm concentrações inferiores ao VCK do Mn para cinzas (485 ppm). Exceptuam-se as zonas intermédia da GF e a de base da SP. Em termos de camada total, todas elas têm concentrações abaixo do VCK. De todos os elementos estudados, o Mn é o único que apresenta factor de enriquecimento negativo nas três camadas, sendo de 0,2-0,8-,9 nas camadas AN-GF-SP.

## Ni - Níquel

No caso do Ni, as camadas AN e GF apresentam as zonas de base mais ricas neste elemento, seguidas das zonas intermediárias 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 do Ni 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 maior na SP (3,9).

## Pb - Chumbo

Em termos das camadas totais, verifica-se a mesma situação que nos casos do Ba, Co, Cr e Cu, ou seja, a camada GF é a mais rica 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. Comparado com o VCK do Pb em cinzas de carvão (110 ppm), verifica-se que na camada total, a GF e a SP têm valores superiores, o mesmo não acontecendo na camada AN, 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).

## Sr - Estrôncio

O Sr 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 do Sr 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 inferior ao VCK, mas muito próxima dele. Quanto ao factor de enriquecimento, o Sr está empobrecido na camada AN, com um factor de 0,9. Nas camadas GF e SP, ele está enriquecido, mais na camada SP (2,5) do que na camada GF (1,7).

## Ti - 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 superior ao VCK de Ti em cinzas de carvão (3.600 ppm). E em todas as camadas, são as secções basais as mais ricas em Ti. O factor de enriquecimento é maior na camada GF (5,0), e semelhante nas outras duas (AN=3,8; SP=3,1).

## V - Vanádio

Em termos das camadas totais, verifica-se a mesma situação que nos casos do Ba, Co, Cr, Cu e Pb, ou seja, a camada GF é a mais rica em V, seguida da camada SP e da camada AN. De novo a concentração de V nas zonas das camadas e na camada total é superior ao VCK do V em cinzas de carvão (150 ppm). As camadas GF e SP são mais ricas em V na base e no meio. 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: 1,8-3,5-3,0.

## Zn - Zinco

Em termos das camadas totais, verifica-se a mesma situação que nos casos do 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 está mais concentrado 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 do Zn 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 está (2,1).

## Zr – Zircônio

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 ao VCK do Zr em cinzas de carvão (210 ppm). A camada AN tem uma concentração de Zr ligeiramente inferior ao VCK, e a camada SP também tem concentração menor que o 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 do gráfico da Fig 6 verifica-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 a primazia vai para a camada SP. A camada AN é a mais empobrecida em todos os elementos, excepto no caso do Ti, em que a camada SP é a que se encontra mais empobrecida.

## 7. DISCUSSÃO

O descarte 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, indo depositar-se em vários locais longe da origem e ainda sendo inaladas pelas pessoas. Esta forma de poluição é de bastante peso em Moatize, já que a região se caracteriza por ter um clima quente e seco, e onde o ar se apresenta muitas vezes enevoado 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 alhuras 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 elementos-traço solo abaixo, entrando no sistema hidrológico, quer nas águas subterrâneas quer em águas superficiais (rios e lagos) inquinando assim muitos 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 consequências 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 12.500 ppm, e que o factor de enriquecimento está entre 2,8 e 7,9 (Tab. 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 muito baixa por contacto dérmico. 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 MEO (2001) revela que plantas crescendo em solos com  $\text{Co} \leq 28$  ppm têm concentrações de  $\text{Co} \leq 11$  ppm, muito abaixo do limiar de toxicidade para plantas, de 25-100 ppm  $\text{Co}$ , sendo pouco provável que ocorram efeitos tóxicos em plantas onde a concentração nos solos é de 40 ppm. No caso de Moatize, a concentração máxima de  $\text{Co}$  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  $\text{Co}$  pelas águas meteoricas que se infiltram nos solos, sendo pouco provável que apresentem algum efeito tóxico nas plantas.

O  $\text{Cr}$  pode aparecer em várias valências, mas as mais importantes são as  $\text{Cr}^{3+}$  e  $\text{Cr}^{6+}$ , sendo o  $\text{Cr}^{6+}$  mais tóxico que o  $\text{Cr}^{3+}$ . De acordo com RAIS (1992), estudos em animais mostram que a ingestão oral de ambos os crómios não é tóxica, manifestando-se a toxicidade do  $\text{Cr}$  a nível respiratório e dérmico. Segundo Goodarzi & Huggins (2001), o  $\text{Cr}^{6+}$  pode causar cancro do pulmão quando inalado como poeira, enquanto que o  $\text{Cr}^{3+}$  é um elemento nutriente fundamental para os mamíferos. Ainda segundo os mesmos autores, o  $\text{Cr}$  está muitas vezes associado ao conteúdo argiloso dos solos, e 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  $\text{Cr}$  na maioria dos carvões é  $\text{Cr}^{3+}$  mantendo-se nessa valência nas cinzas. Desconhecendo-se por ora qual a forma principal de  $\text{Cr}$  nas cinzas dos carvões em estudo, e atendendo ao facto que a toxicidade é fundamentalmente por inalação e por contacto dérmico, atenção deve ser dada a este elemento, pois, como se disse atrás, na região de Moatize as poeiras são facilmente levantadas para a atmosfera, sendo por isso fácil serem inaladas, além de se agarrarem à pele devido ao suor. Para este cuidado, concorre ainda o factor de enriquecimento nestas cinzas que varia de 1,6 a 3,3.

Segundo DEH (2006), o limite de concentração de  $\text{Cu}$  em poeiras é de 1 mg/m<sup>3</sup> para locais de 8h de trabalho. Em Moatize, as cinzas (facilmente transformadas em poeiras levadas pelo ar) têm teores de  $\text{Cu}$  entre 71-654 ppm, ou seja, muito acima do limite atrás definido. É verdade que as pessoas não respiram as poeiras 8 horas por dia, porque nem sempre venta, mas dever-se-á estudar mais em detalhe este elemento. De acordo com ATSDR (2004b), os solos geralmente contêm entre 2 e 250 ppm de  $\text{Cu}$ . O teor médio de cobre nas cinzas da camada total varia de 246-365 ppm, ou seja, estas cinzas vão aumentar o teor de  $\text{Cu}$  dos solos da região (que não se sabe quanto é), sendo por isso necessário monitorar o comportamento deste elemento. Acresce ainda que o factor de enriquecimento do  $\text{Cu}$  nestas cinzas varia de 3,8 a 5,7 e que o limite de toxicidade do  $\text{Cu}$  é de 60 ppm (Mearnes, 1974).

De acordo com NIOSH (2005) as principais vias de entrada de  $\text{Mn}$  e  $\text{Ni}$  no corpo é por ingestão e inalação, com limite de exposição recomendado de 0.44 ppm. Acreditamos que em Moatize a principal via de exposição das populações é por inalação de poeiras de cinzas de carvão (incluindo o contacto dérmico), que contém teores de  $\text{Mn}$  de 114-638 ppm em amostras individuais (com valores médios de camada total entre 121-456 ppm), sendo os valores para o  $\text{Ni}$  de 103-544 ppm em amostras individuais e de 145-275 ppm para cinzas da camada total. Isto significa que o comportamento destes dois elementos tem de ser mais investigado, apesar de que o factor de enriquecimento do  $\text{Mn}$  seja sempre  $<1$ , o que não acontece com o  $\text{Ni}$ , cujo factor de enriquecimento varia de 2,1-3,9.

De acordo com CSIRO (s/d), o  $\text{Pb}$  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 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 finas partículas de cinzas volantes. Contudo, algum concentra-se nas cinzas de fundo. Os valores de  $\text{Pb}$  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  $\text{Pb}$  para solos é de 400 ppm, valor muito acima das concentrações nas cinzas. Atendendo a que o  $\text{Pb}$  poderá ter maior impacto na saúde via inalação,

não nos parece que ele possa constituir um problema nas cinzas. Atenção deverá ser dada à 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<sup>90</sup>, 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<sub>2</sub> 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) declara que em 5000 ppm, já foi reportada uma ligeira fibrose pulmonar, concluindo que esta substância é cancerígena. Como os teores de Ti em cinzas de carvão variam entre 11.327 e 17.878 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 eliminado 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 resíduos vários. 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). O Zn ocorre com teores médios variando entre 261 e 589 ppm com um factor de enriquecimento variando de 2,1 a 4,7, pelo que se deverá ter em atenção a concentração deste elemento nas cinzas.

Em geral, o Zr e seus sais têm baixa toxicidade (Lemtech, s/d). A maior parte do Zr ingerido passa através do tubo digestivo sem ser absorvido, e que 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 constitui problema de maior.

## 8. 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 Geotécnica dos Países de Língua Portuguesa, realizado na Cidade da Praia, República de Cabo Verde, ocorrido de 15-20 de Março de 2008.

## BIBLIOGRAFIA

- ATSDR, 1992. Public Health Statement: Vanadium. 4 pp. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [www.atsdr.cdc.gov/](http://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/](http://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/](http://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/](http://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/](http://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, Provincia de Tete. Tese de Licenciatura, Deptº Geologia, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique.
- CSIRO, s/d. Lead (Pb). <http://www.det.csiro.au/science/e/Clean%20Air/PDF/LEAD.pdf>
- DEH, 2006. Copper & compounds fact sheet. Department of the Environment and Heritage, Australian Government. <http://www.mpi.gov.au/database/substance-info/profiles/27.html>
- Godinho, I. & Salazkine, 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. Lennotech Water treatment & air purification Holding B.V. <http://www.lennotech.com/Periodic-chart-elements/Zn-en.htm>
- MAE, 2005. Perfil do Distrito de Moatize. Provincia de Tete. Republica 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>
- Meinikov, P., 2007. Metabolismo e mecanismos de toxicidade de cádmio e cobalto. Química Inorgânica 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\\_%20meinikov\\_%20cd\\_%20co.pps](http://quimred.fq.uh.cu/inorganica/materiales_seminario/dr_pedro_%20meinikov_%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 Tambari, João Pessoa (PB), Brasil, 07-11.10.2007. [http://portal.engq.com.br/pdfs/Curso\\_1\\_ENQA\\_6.pdf](http://portal.engq.com.br/pdfs/Curso_1_ENQA_6.pdf)
- Ocuame, 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/dicomed/pdamed\\_0001\\_15453.php](http://www.pdamed.com.br/dicomed/pdamed_0001_15453.php)
- PDAMED, s/db. Bário. Dicionário Digital de Termos Médicos 2007. Acedida em 19.05.2008. [http://www.pdamed.com.br/dicomed/pdamed\\_0001\\_03199.php](http://www.pdamed.com.br/dicomed/pdamed_0001_03199.php)
- RAIS, 1992. Toxicity Profiles. Toxicity Summary for Chromium. The Risk Assessment Information System. <http://rais.onl.gov/tox/profiles/chronium.shtml#42>
- RAIS, 1997. Toxicity Profiles. Toxicity Summary for Barium. The Risk Assessment Information System. [http://rais.onl.gov/tox/profiles/barium\\_f\\_VI.shtml](http://rais.onl.gov/tox/profiles/barium_f_VI.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 (Budapest, 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).

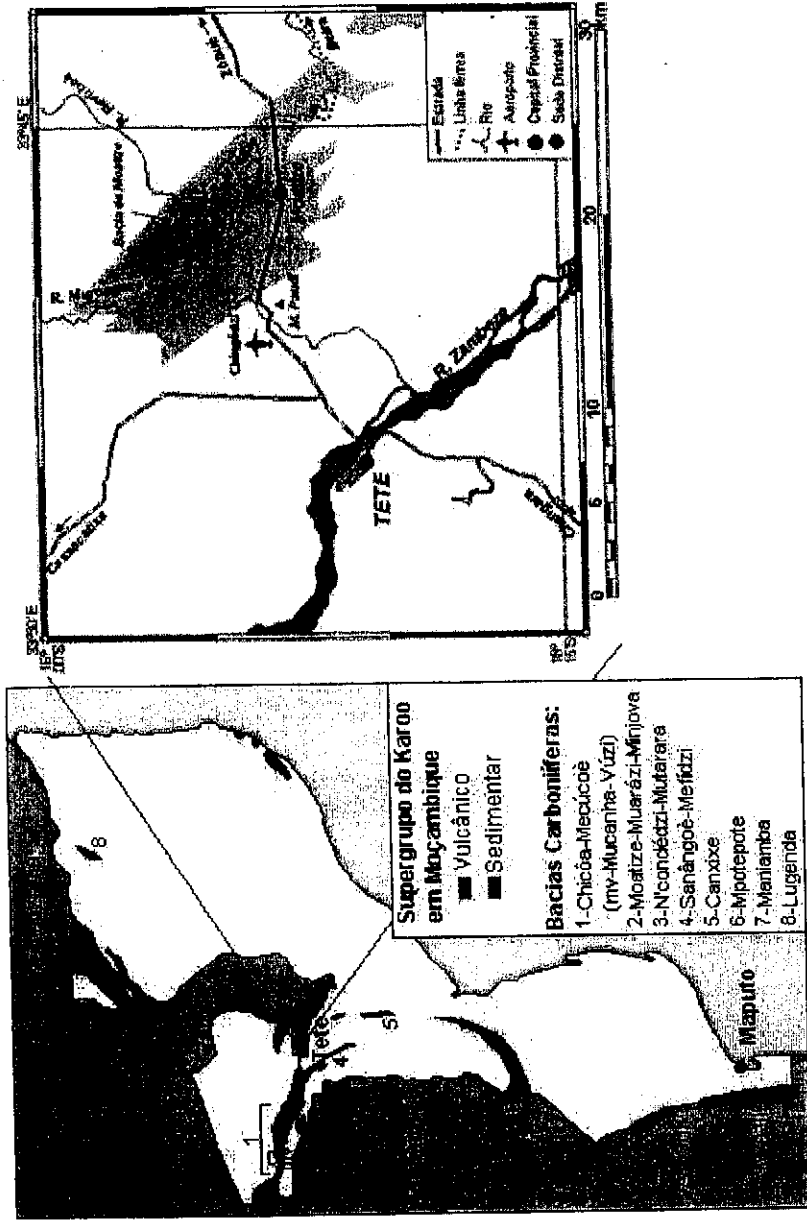


Fig. 1. Bacias do Karoo em Moçambique (esq., adaptado de Vasconcelos & Pedro, 2004) e principais aspectos geográficos da zona de Tete-Moatize (dir.).

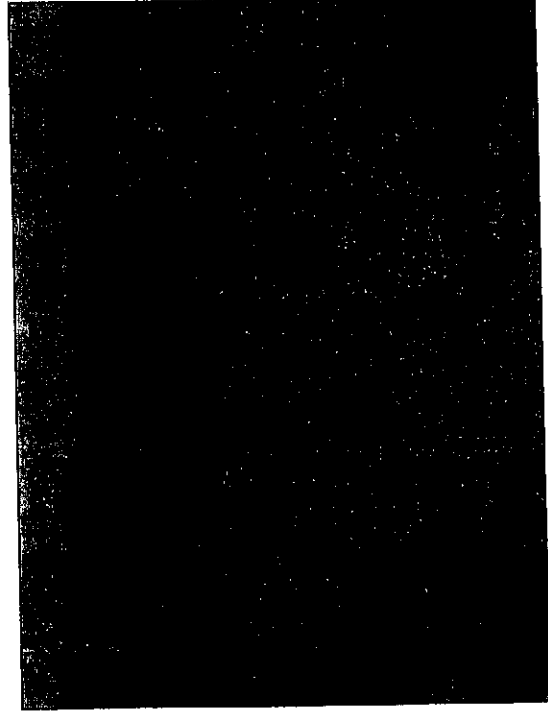


Fig. 2. Fabrico de tijolos; cinzas largadas no ambiente. Foto de E. Siquela, 2007

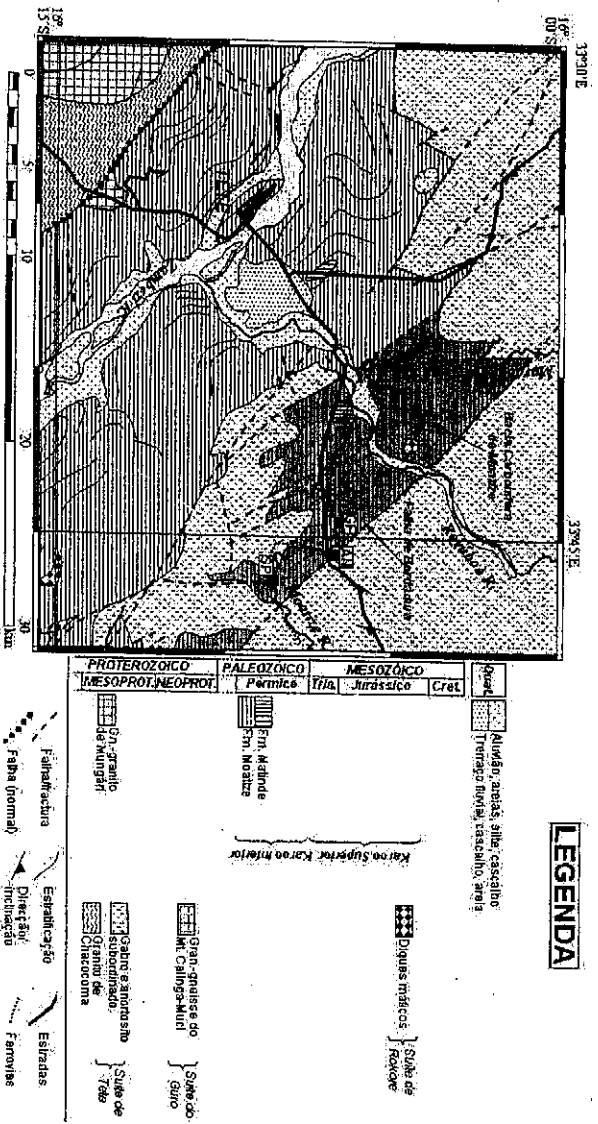


Fig. 3. Mapa Geológico da área de Tete-Moatize (adaptado de Folha No. 1633, 1:250.000, GTK Consortium, 2006)  
 com os pontos de amostragem (■) nas camadas André (AN), Grande Falésia (GF) e Sousa Pinto (SP).

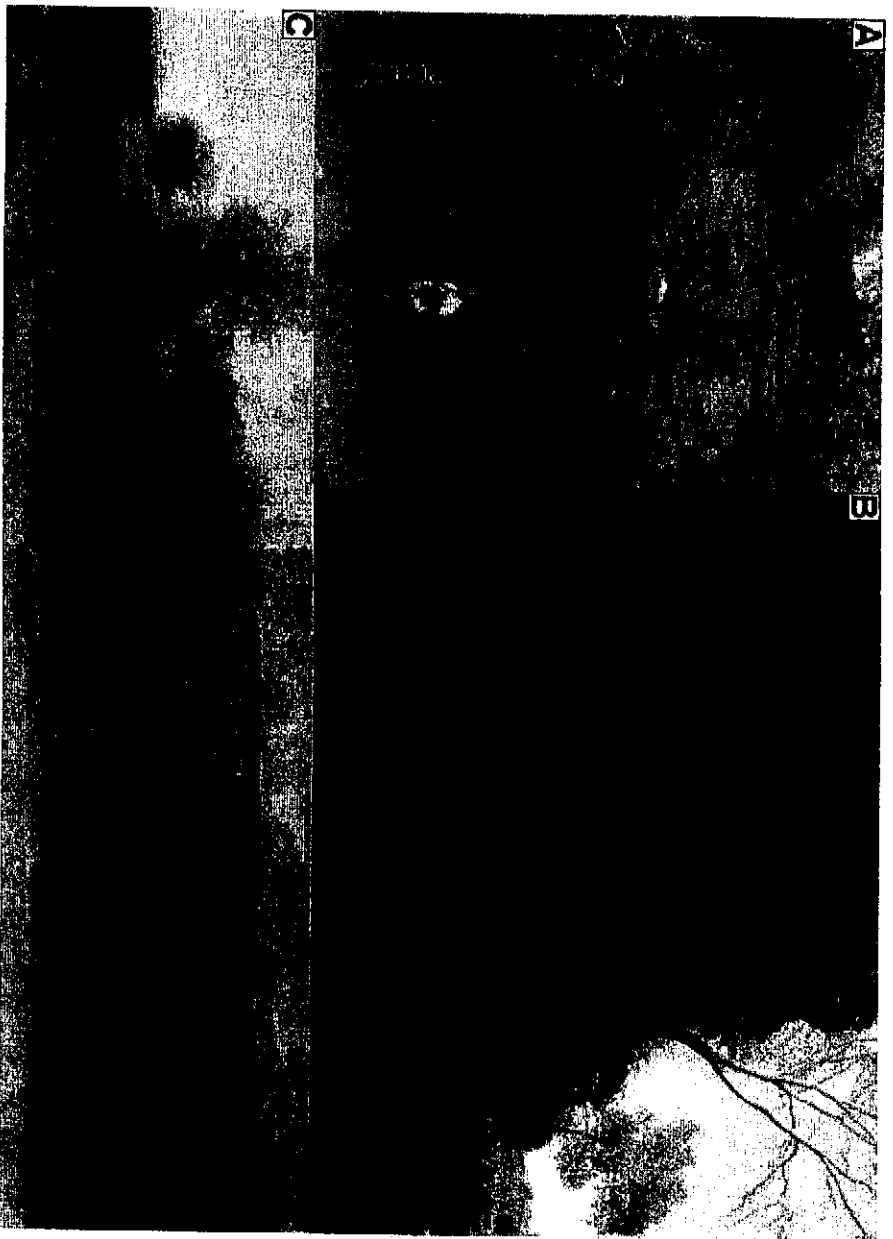


Fig. 4. Fotografias da Camadas André (A), Grande Falésia (B) e Sousa Pinto (C).  
 A e C: Fotos de L. Vasconcelos. B: Foto de E. Siquela

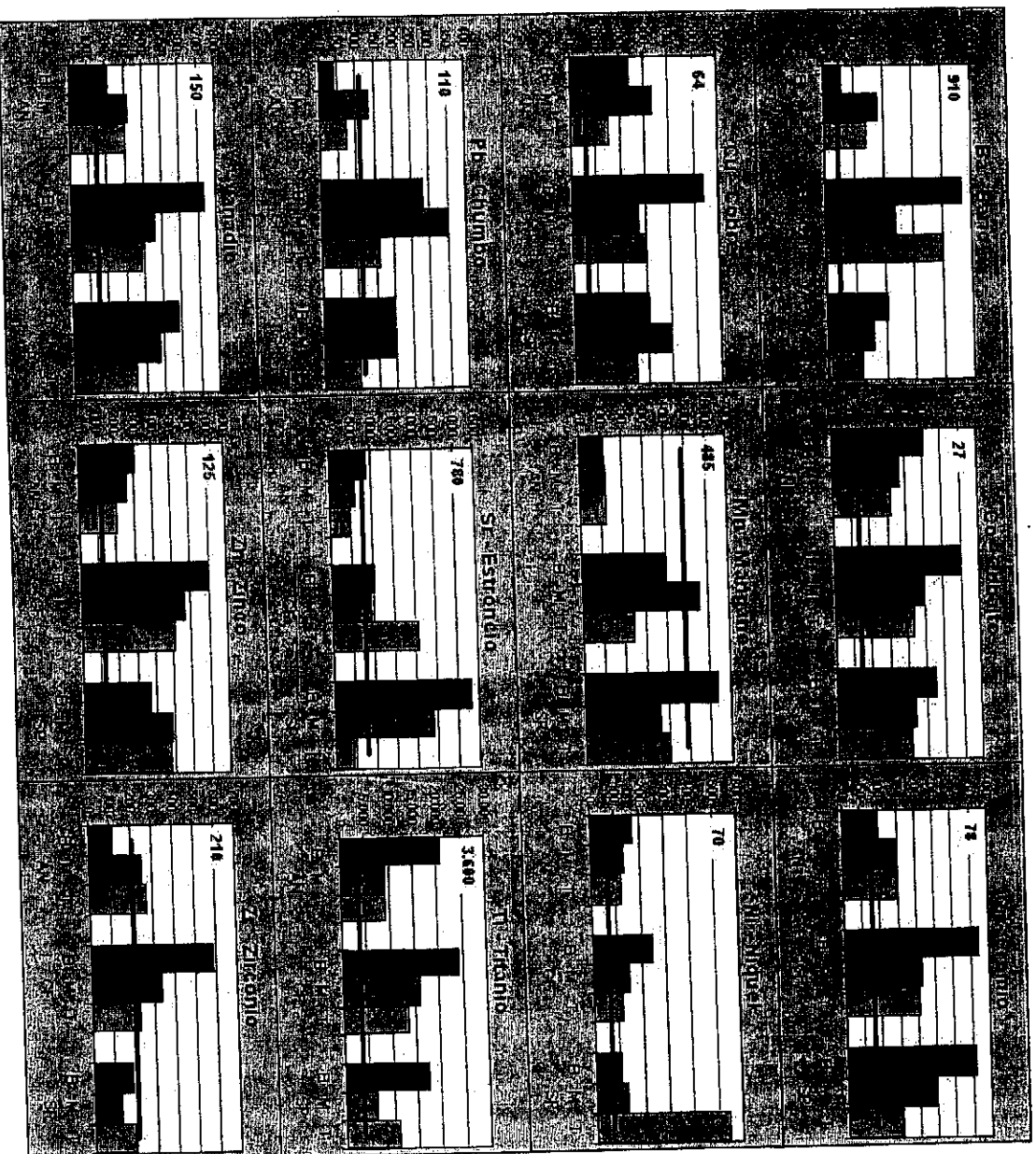


Fig. 5. Gráficos mostrando a concentração dos elementos-traço (em ppm) nas zonas de base, meio e topo das três camadas.



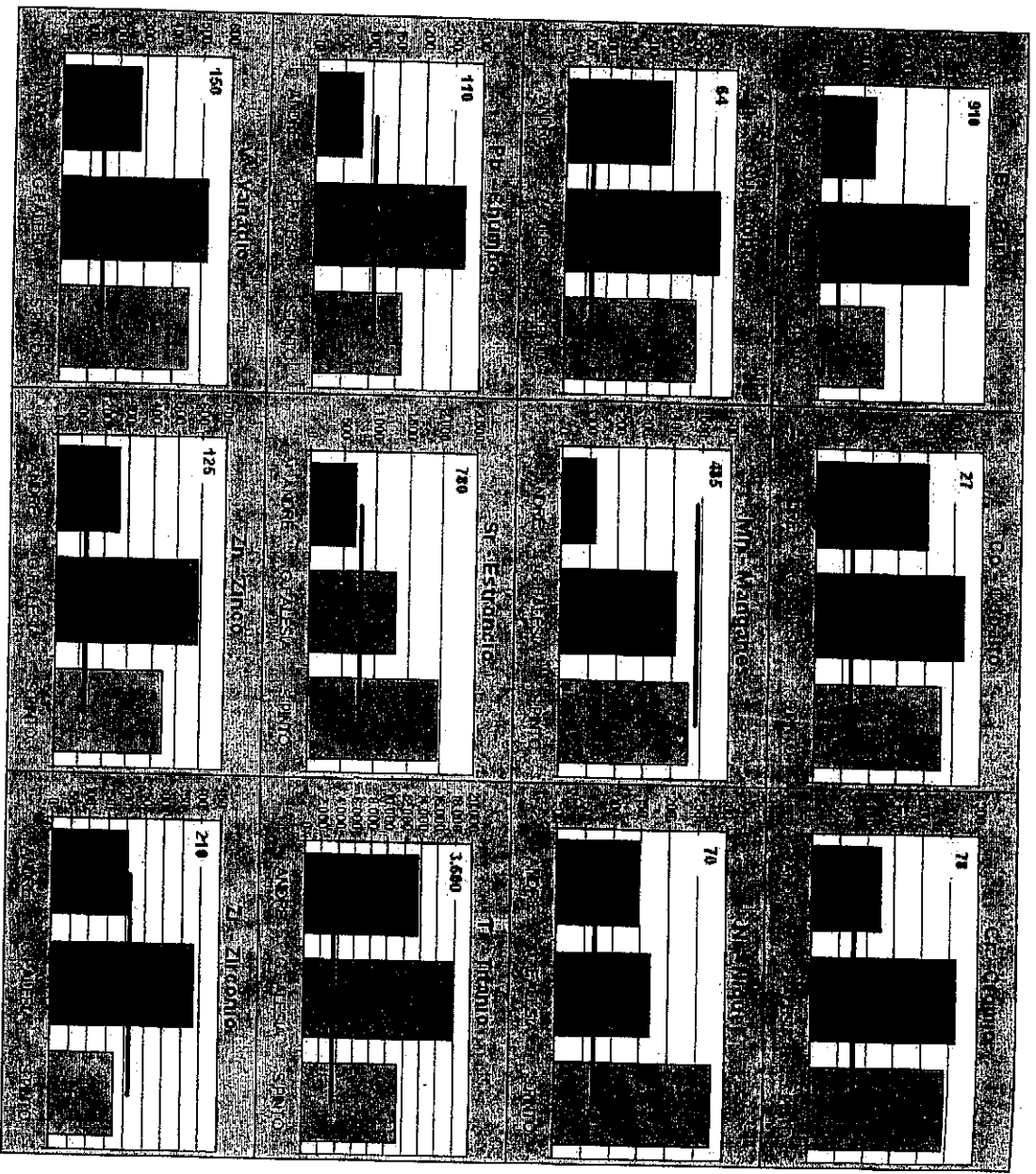


Fig. 6. Gráficos mostrando a concentração dos elementos-traço (em ppm) nas três camadas.

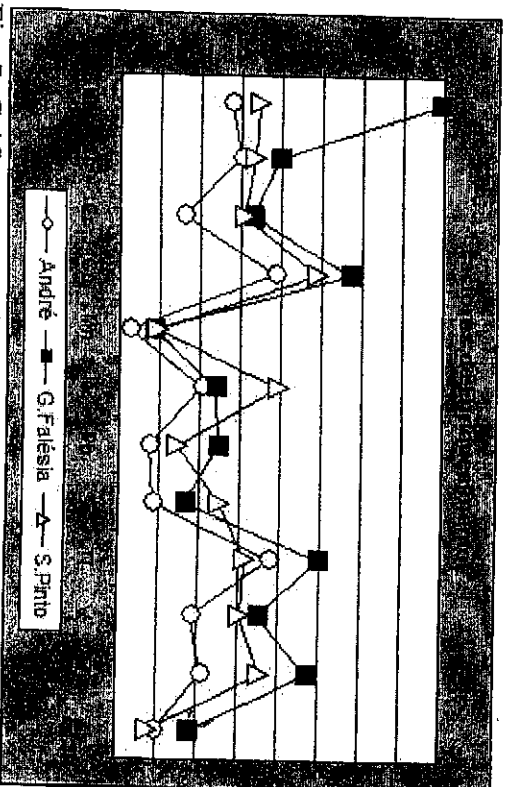


Fig. 7. Gráfico mostrando os factores de enriquecimento dos elementos-traço (em ppm) nas três camadas.

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

Nome	Camada	Zona	Referência das amostras	Peso (g) de cada amostra	Peso total (g)		
					por zona (e %)	Por camada	
ANDRÉ	Topo		GL/ 04-AN-06	1958,11	4189,52		
			GL/ 04-AN-05	2231,41	29,70%		
			GL/ 04-AN-04	2202,63	4674,24		
	Meio		GL/ 04-AN-03	2471,61	33,20%	14089,84	
			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	
				GL/ 04-GF-08	1746,97	31,30%	
				GL/ 04-GF-07	2033,42		
Meio			GL/ 04-GF-06	2092,12	6664,58	18391,67	
			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		
			GL/ 04-SP-08	2557,20	36,60%		
			GL/ 04-SP-07	2316,76			
	Meio		GL/ 04-SP-06	2480,30	6646,06	19801,14	
			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			

Tabela 2. Concentração (em ppm) dos elementos-traço nas várias amostras das três camadas de carvão.

Camada	ANDRÉ						GRANDE FALÉSIA									SOUSA PINTO									Valores de Clarke	
	Zona		Base		Meio		Topo		Base			Meio			Topo			Base			Meio			Topo		
Amostr	01	02	03	04	05	06	01	02	03	04	05	06	07	08	09	01	02	03	04	05	06	07	08	09		
Elementos-traço na Base "Cinzas"	Ba	1212	1288	3827	3471	2654	3135	5279	1250 0	9885	5202	4500	4423	1002 9	6212	7327	3500	3327	5346	2904	3683	3000	971	1135	4962	910 <sup>a</sup>
	Co	106	96	84	61	63	63	99	250	96	82	111	103	94	60	99	73	54	190	85	98	78	103	102	37	27 <sup>a</sup>
	Cr	97	89	150	138	130	167	260	538	337	212	177	250	240	160	202	308	231	519	279	188	260	163	179	93	78 <sup>a</sup>
	Cu	169	337	500	143	138	172	298	654	625	212	269	327	260	71	452	192	212	471	500	385	317	279	279	180	64 <sup>a</sup>
	Mn	121	104	156	91	132	117	423	423	365	740	365	587	250	138	317	1048	423	577	317	337	404	548	529	108	485 <sup>a</sup>
	Ni	185	155	154	113	116	132	145	519	139	117	175	141	126	74	140	92	79	136	115	138	135	1471	145	47	70 <sup>a</sup>
	Pb	38	49	138	127	67	83	182	471	231	167	712	136	167	112	191	158	110	308	288	162	161	114	113	58	110 <sup>a</sup>
	Sr	952	846	779	442	394	519	788	2010	587	529	933	1317	2673	1260	2115	3365	3452	3183	3058	3644	875	1000	86	240	780 <sup>a</sup>
	Tl	4067	44077	8827	9288	8192	10538	1598	4100	1924	1120	1635	2114	1433	1113	1451	645	208	4001	176	375	1198	1203	1308	773	3600 <sup>a</sup>
								1	0	0	2	6	4	7	5	9	2	7	0	0	0	1	8	7	1	
V	221	202	346	268	288	317	500	1231	577	413	442	529	413	288	433	529	365	827	413	510	490	404	413	212	150 <sup>a</sup>	
Zn	327	279	337	169	192	221	394	904	760	500	615	587	471	346	673	317	202	567	548	471	442	606	529	279	125 <sup>a</sup>	
Zr	83	154	269	231	250	288	413	1048	413	346	337	317	240	182	260	126	89	327	103	80	192	221	212	143	210 <sup>a</sup>	

<sup>a</sup> Valor de Clarke para cinzas de carvões de todo o mundo (Yudovich et al., 1985).

Tabela 3. Concentração (em ppm) dos elementos-traço nas zonas de base, meio e topo das três camadas de carvão (média pesada)

E.T.	ANDRÉ			GRANDE FALÉSIA			SOUSA PINTO			Valores de Clarke
	Base	Meio	Topo	Base	Meio	Topo	Base	Meio	Topo	
Ba	1244	3659	2877	9297	4715	7967	4125	3177	2327	910 <sup>a</sup>
Co	102	73	63	139	98	86	110	86	81	27 <sup>a</sup>
Cr	94	145	147	370	211	203	358	244	146	78 <sup>a</sup>
Cu	239	332	154	540	267	300	304	394	248	64 <sup>a</sup>
Mn	114	125	125	397	560	240	638	357	401	485 <sup>a</sup>
Ni	172	134	123	245	145	116	103	130	544	70 <sup>a</sup>
Pb	42	133	74	283	351	159	196	201	96	110 <sup>a</sup>
Sr	908	620	452	1032	913	2062	3330	2394	433	780 <sup>a</sup>
Ti	20832	9045	9281	24262	16065	13452	17349	6308	11060	3600 <sup>a</sup>
V	213	319	302	734	459	383	579	472	346	150 <sup>a</sup>
Zn	307	258	206	696	567	504	367	484	475	125 <sup>a</sup>
Zr	113	251	268	587	334	230	187	130	193	210 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Valor de Clarke para cinzas de carvões de todo o mundo (Yudovich et al., 1985).

Tabela 4. Concentração (em ppm) dos elementos-traço nas três amadas e carvão (média pesada)

E.T.	ANDRÉ	G.FAL.	S.PINT.	Valores de Clarke <sup>a</sup>
Ba	ppm fe. 2,8	2522 7,9	7181 3,5	3142 910
Co	ppm fe. 3,0	81 4,0	107 3,4	91 27
Cr	ppm fe. 1,6	126 3,3	259 3,1	242 78
Cu	ppm fe. 3,8	246 5,7	365 4,9	313 64
Mn	ppm fe. 0,2	121 0,8	410 0,9	456 485
Ni	ppm fe. 2,1	145 2,4	168 3,9	275 70
Pb	ppm fe. 0,7	82 2,5	270 1,5	160 110
Sr	ppm fe. 0,9	680 1,7	1305 2,5	1944 780
Ti	ppm fe. 3,8	13561 5,0	17878 3,1	11327 3600
V	ppm fe. 1,8	274 3,5	523 3,0	457 150
Zn	ppm fe. 2,1	261 4,7	589 3,6	446 125
Zr	ppm fe. 1,0	204 1,8	383 0,8	170 210

<sup>a</sup> Valor de Clarke para cinzas de carvões de todo o mundo (Yudovich et al., 1985).

fe. — factor de enriquecimento; ppm — partes por milhão.