

## DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO NA CAMADA CHIPANGA, SEÇÃO 2A, MINA DE CARVÃO MOATIZE \*

Rogério Sendela <sup>1</sup>  
Leonardo Xerinda<sup>2</sup>  
Andre Vilanculos<sup>3</sup>  
Anivaldo Chevane<sup>4</sup>

### Resumo

A Mina Carvão Moatize está localizada na Província de Tete, no centro de Moçambique. O depósito contém carvão alóctone de tipo Gondwana e tem uma grande quantidade de bandas de arenito e siltito. Os níveis de fósforo no carvão são altos em alguns plies específicos, o que afeta o uso dos carvões na produção de aço, onde o fósforo é considerado um contaminante. A camada Chipanga na bacia de Moatize-Minjova mostra uma variabilidade considerável, vertical e lateralmente. Os dados disponíveis do trabalho de exploração indicam que o fósforo está predominantemente presente como Apatita, mas os minerais de Crandalita também são significativos. A concentração de fósforo varia com a densidade de partículas de carvão com os mais altos níveis de fósforo encontrados para o carvão de densidade média, que também mostra os níveis mais altos de apatita ou fluorapatita. Os minerais de Crandalita apresentam maiores concentrações no carvão de menor densidade.

**Palavras-chave:** Fósforo, Carvão, Vale Moçambique, Mina de Carvão Moatize.

### PHOSPHOROUS DISTRIBUTION IN CHIPANGA COAL SEAM, SECTION 2A, MOATIZE COAL MINE

#### Abstract

Moatize Coal Mine is located in Tete Province, in centre of Mozambique. The deposit contains Gondwana allochthonous coals, and has a large amount of mudstone and siltstone banding. Phosphorus levels in the coal can be high which impacts the use of the coals in steel making where phosphorus is considered a contaminant. The Chipanga seam in the Moatize deposit shows considerable variability, vertically within the seam and laterally across the deposit. The data available from the exploration work indicates that the phosphorus is predominantly present as Apatite but the Crandallite minerals also are significant. The concentration of phosphorus varies with coal particle density with the highest phosphorus levels found for the mid density coal which also shows the highest likely levels of apatite or fluorapatite. Crandallite minerals show higher potential concentrations in the Lower density coal..

**Keywords:** Phosphorous, Coal, Vale Mozambique, Moatize coal mine.

<sup>1</sup> Geologo, Especialista de Desenvolvimento Carvão, GAPST, Vale Moçambique, Tete, Tete Moçambique.

<sup>2</sup> Geologo, Gerente de Planejamento e Serviços Técnicos, GAPST, Vale Moçambique, Tete, Tete Moçambique.

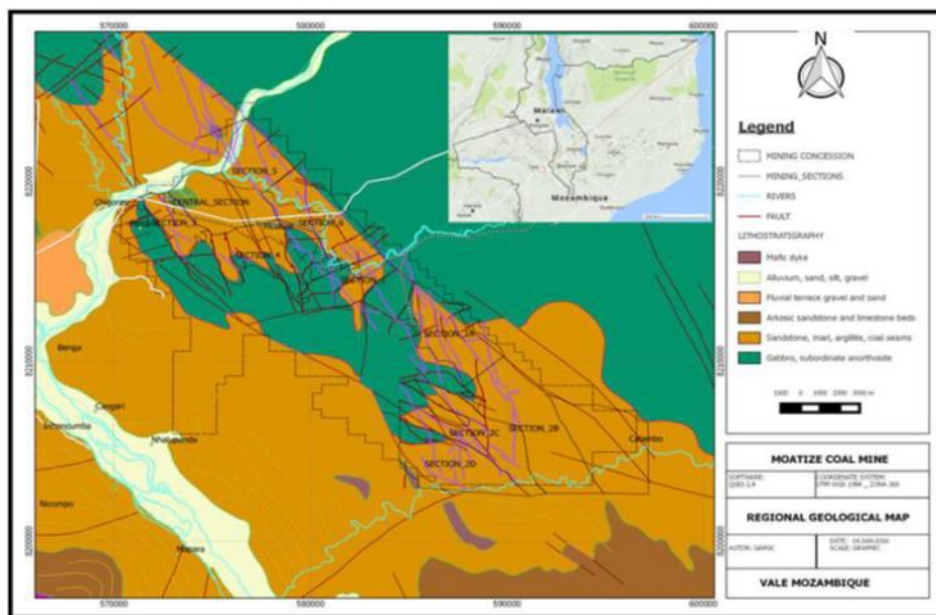
<sup>3</sup> Geologo, Supervisor de Controle de Qualidade, Planejamento Integrado, Vale Moçambique, Tete, Tete Moçambique.

<sup>4</sup> Geologo, Geologo de Controle de Qualidade, GAPST, Vale Moçambique, Tete, Tete Moçambique.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Estratigrafia e Área geológica Regional

A Mina Carvão Moatize está localizada na região central do país, na província de Tete, no distrito de Moatize, dentro de uma concessão com uma área de 23.780 hectares. Localiza-se a 35 Km NW da cidade de Tete, na margem esquerda do rio Zambeze, a 180 Km SE da Barragem de Cahora Bassa e a 80 Km da fronteira com o Malawi (Figura 1). O carvão mineral faz parte da bacia de carvão de Moatize - Minjova, que se estende na direção noroeste-sudeste, onde os sedimentos de carvão do Karoo Inferior, são preservados em estruturas graben ou semi-graben com 20 km de comprimento e 7 km de largura.



**Figura 1.** Mapa Geológico Regional, mostrando todos os trechos da área de concessão da Vale.

Muitos dos recursos carboníferos moçambicanos estão situados em bacias e sub-bacias ao longo do rio Zambeze, onde os sedimentos de carvão Karoo Inferior (Pós Carbonífero-Permiano) são preservados em estruturas graben ou semi-graben. A bacia de Moatize - Minjova, indiscutivelmente a mais importante de todas, contém a jazida onde as minas foram desenvolvidas. Rochas pré-quaternárias que vão desde a Formação Proterozóica Chíduè até o Supergrupo Karoo (Pós Carbonífero e Jurássico Inferior) afloram na bacia de Moatize-Minjova. No campo carbonífero de Moatize, o embasamento para os estratos carboníferos do Karoo Inferior é constituído principalmente pelas rochas ígneas mesoproterozóicas do complexo Gabro-Anortosítico de Tete. A Suíte de Tete, é um complexo ultrabásico metamorfoisado em camadas compostas principalmente por serpentinito, metaperidotitos, metapiroxenites e metagabros com anfíbolito e anortosites associados.

Dentro do campo de carvão de Moatize, os sedimentos que contêm carvão estão em contacto com a falha ou sobre eles e, sobrepõem-se às rochas do embasamento no que se acredita ser uma sequência de sobreposição. Um tillito (diamictitos e margas) comumente ocorrem na base dos sedimentos do Baixo Karoo e acredita-se que esteja correlacionado com os depósitos glaciais carboníferos tardios do Grupo Dwyka na África do Sul.

A Figura 1 ilustra claramente uma importante zona de extensão ou graben noroeste ao longo do Rio Zambeze (Zambezi Rift). Nesta região, o Rift do Zambeze é limitado por duas grandes falhas ou complexos de falha:

- Falha no Limite do Rift a Sudoeste: localizada no lado sudoeste do Rio Zambeze, traz rochas neoproterozóicas (principalmente gnaisses, migmatitos e granitóides) do Complexo Báruè em contacto de falha com unidades de rocha Karoo;
- Falha no limite do Rift à Nordeste: esta falha, denominada Fronteira de Fronteira, localizada no lado nordeste do Rio Zambeze, faz com que as rochas intrusivas Mesoproterozóicas da Suíte de Tete entrem em contato com a falha com unidades de rochas Karoo. Deslocamentos ao longo dessas grandes falhas em locais são postulados até 800 m ou mais. Os sedimentos inferior e superior de Karoo dominam as rochas que afloram dentro da área de graben entre essas duas grandes falhas, embora haja algum embasamento elevados também.

## 1.2. Gênese do Carvão de Moatize

O carvão é uma rocha sólida, quebradiça, combustível e carbonácea, formada pela decomposição e alteração da vegetação por compactação, temperatura e pressão. Varia de cor marrom a preto e é geralmente estratificada. (Speight, 2005). Existem dois grupos diferentes de carvão Paleozóico, classificados por sua formação floral: Gondwana e Carbonífero (Wilson et al, 2010). Os carvões carboníferos (carvões do hemisfério norte) são formados pelo tipo de flora Lepidophita, grande equisentrum (cavalinha) e uma variedade de samambaias. Este tipo de flora produziu esporos maiores e mais abundantes. O carvão Permiano (carvão Gondwana) é formado a partir de cavalinhas que crescem como juncos e de árvores decíduas e arbustos do tipo flora de glossopteris. Neste caso, maior proporção de resinas e ceras são produzidas. Os carvões de Gondwana, incluindo os carvões Karoo de Moatize, são considerados alóctones. Nos carvões alóctones, a maior parte da vegetação formadora de turfa não se acumula in situ, mas é transportada para áreas baixas mal drenadas ou pântanos de turfa e carvão pode ser retrabalhado e depositado novamente em um sistema fluvial. Tipicamente, os carvões alóctones acumulam-se em ambientes deposicionais dinâmicos, incluindo sistemas paleo-canal depositados em camadas que introduzem sedimentos finos (lama e silte) e às vezes sedimento grosseiro (areia) na turfa. Portanto, os carvões de Gondwana são substancialmente mais elevados no conteúdo de cinzas do que os carvões autóctones e tipicamente contêm numerosas faixas ou divisórias de carvão de argilito, siltito e xisto. Outra característica dos carvões alóctones é a ausência de estruturas radiculares no piso da camada. Estruturas radiculares são coalificadas e normalmente aparecem como veias dispersas na camada do carvão. Estruturas radiculares normalmente implicam que o carvão se formou virtualmente in situ. Em Moatize, as folhas da mina de carvão foram encontradas impregnadas no fundo da camada de carvão Chipanga provando a origem deste carvão (Figura 2).



Figura 2. Vistas de flora *Glossopteris* impregnado na parte inferior da camada Chipanga, na Seção 2A.

No caso de Moatize, a fonte de sedimentos fluviais e relativos era quase certamente as rochas de embasamento, uma vez que os carvões se acumulavam em grabens ou semi-grabens que eram delimitadas por rochas do embasamento. O fósforo foi identificado como um componente crítico na comercialização bem-sucedida dos recursos de carvão de Moatize como uma fonte potencial de carvão de coque. Tipicamente, a faixa de concentração de fósforo no carvão é de 0,001% a 0,150% (Ryan & Khan, 1997). Há autores que assumem que o teor médio de fósforo no carvão em escala mundial é estimado por Bertine & Goldeberg (1971) em Ward et al. (1996) em 0,050% ou 500 ppm. Speight, J. (2005), consideram como (1) elementos principais, elementos em concentrações superiores a 0,50% de teor no carvão, e estes normalmente incluem silício, alumínio, cálcio e ferro, (2) elementos menores, aqueles em o intervalo de concentração de cerca de 0,02% a 0,50% de teor no carvão, e estes geralmente incluem potássio, magnésio, sódio e titânio, e às vezes fósforo, bário, estrôncio, boro e outros, dependendo da área geológica, e (3) oligoelementos, todos os outros elementos inorgânicos geralmente detectados no carvão tem menos de 0,02% (200 ppm) até partes por bilhão e abaixo. Parte deste elemento pertence a moléculas orgânicas ou nutrientes essenciais das plantas que estão mais concentrados nas folhas, a parte da planta que cresce mais rapidamente. O carvão betuminoso de média volatilidade tem mais de 85% de carbono na base dry ash free (daf). Ryan & Khan (1997) observaram que, com base nos dados de seu estudo, parece que a distribuição de fósforo no carvão é controlada pela composição petrográfica. Com isso, é importante classificar os principais macerais como estruturados e não estruturados para entender seu comportamento e capacidade de reter ou atrair elementos de fósforo. O carvão de Moatize contém principalmente vitrinita estruturada (colotelinita) e inertinita (fusinita e semifusinita). Espera-se que o vitrinita estruturado retenha o elemento fósforo presente no material vegetal original, enquanto no inerte estruturado terá a porosidade física para reter o fósforo que foi mobilizado de macerais não estruturados (detrovitrinita, gelovitrinita, macrinita, micrinite e inertodetrinite); este parece ser o caso do carvão de Moatize, onde os níveis mais altos de fósforo estão associados a fração inerte do carvão (inertinita).

## 2 DESENVOLVIMENTO

O objetivo deste estudo é resumir as informações disponíveis geradas durante os programas de exploração e melhorar o nível de conhecimento em relação ao fósforo, especialmente na Mina Carvão Moatize. Esta revisão, é limitada à camada Chipanga na Seção 2A do depósito de Moatize. A camada Chipanga foi dividida nas seguintes sub-camadas (Figura 3) que foram combinadas em subseções maiores para testes em vários estágios dos programas de teste.

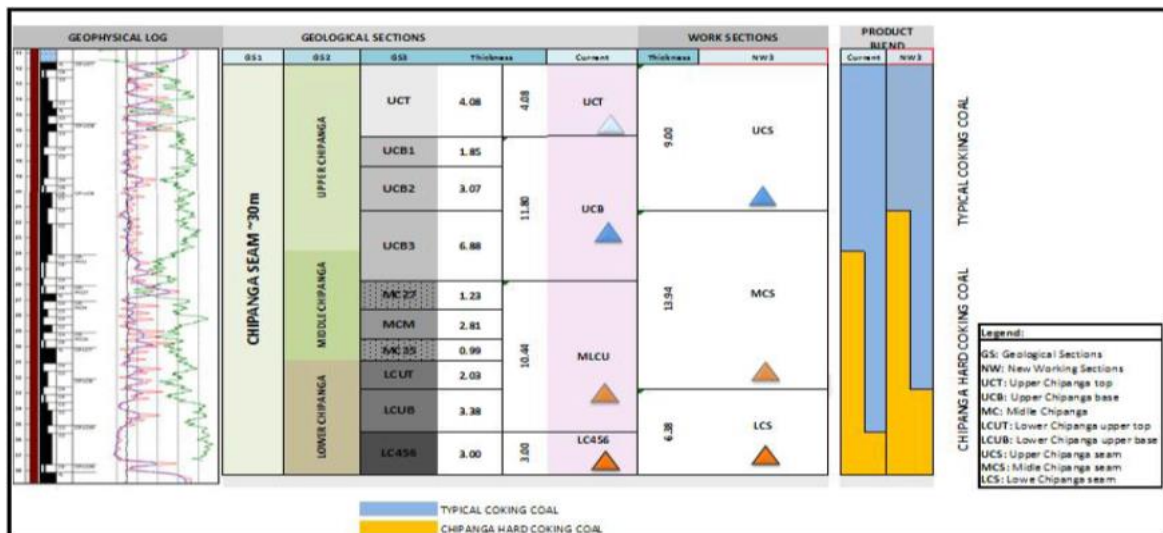


Figura 3. Camada de carvão Chipanga mostrando diferentes seções geológicas e mistura de produtos

## 2.2. Distribuição do teor de Fósforo nas camadas

Tomando um teor médio de 0,100% no carvão como padrão, os elementos do carvão podem ser divididos em elementos principais (teor médio > 0,100%) e elementos traços (teor médio ≤ 0,100%) (Tu, H. et al, 2011). Existem duas camadas onde o teor de fósforo é muito alto, especialmente no Domínio Central: Lower Chipanga Top (LCUT) com 0.321% e Lower Chipanga Bottom (LCUB) com 0.294% (ALS Coal Technology Report, 2011). Os valores das camadas remanescentes são muito menores, mas a variabilidade do fósforo é alta em termos de profundidade e distribuição espacial.

## 2.3. Distribuição espacial de resultados de Fósforo

As distribuições espaciais de fósforo nas sub-camadas do Chipanga Coal são mostradas na Figura 4, por exemplo, LCUT e LC456 (Figura 4). As maiores concentrações de fósforo são observadas no domínio central da Seção 2A. Esta área possui várias falhas e sistema de falhas com diferentes direções. A melhor área é o domínio norte, especialmente para Upper Chipanga Top (UCT), Upper Chipanga Bottom 1 (UCB1), LCUB e Lower Chipanga 456 (LC456), onde o F1.45 (o material que flutua em um líquido com densidade relativa de 1,45) os níveis de fósforo estão abaixo da especificação primária do produto de coqueificação (0,085%) e é possível combine LCUB com LC456. Os mesmos cenários não são possíveis devido a um alto nível de fósforo nos domínios central e sul. Essa é a razão para a adoção da combinação de carvão de diferentes domínios para alcançar a especificação do produto para o produto de coqueificação primário. Se o carvão não for misturado a partir dos diferentes domínios, haverá uma perda de rendimento (produção) se o carvão for lavado a uma densidade mais baixa para reduzir os níveis de fósforo ou a proporção de alto fósforo na mistura de produtos for maior.

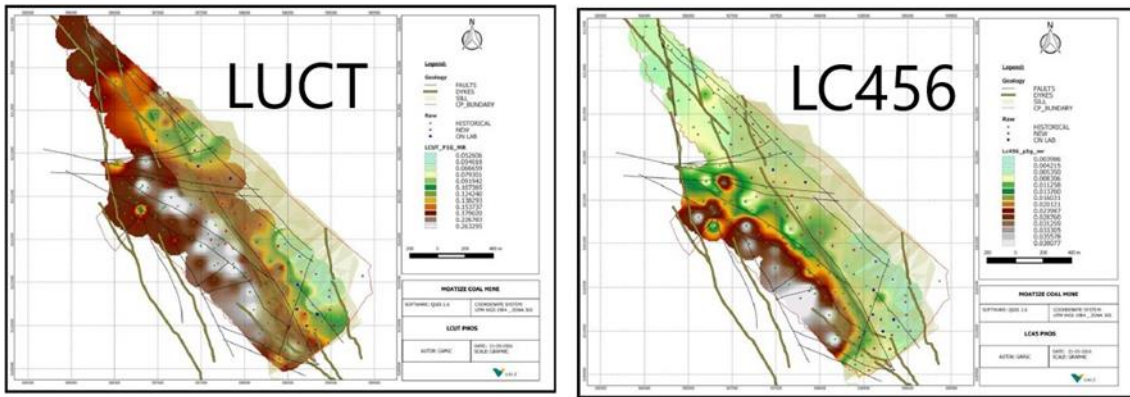


Figura 4. Distribuição espacial de  $P_2O_5$  nas camadas LUCT e LC456

A Figura 05 mostra a variabilidade do fósforo dentro da fração F1.45 de cada subcamada, a saber:

- UCT no topo da costura tem alto nível de fósforo
- UCB 1 tem níveis mais baixos que diminuem ainda mais para UCB2
- Os níveis aumentam até um máximo na LCUT
- LCUB ainda é alto no centro e no Sul, mas muito mais baixo no Norte
- Os níveis mais baixos estão em LC456

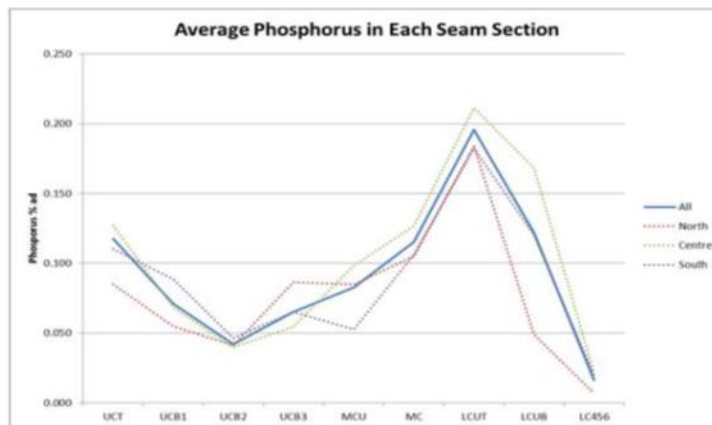


Figura 5. Níveis de fósforo para cada subcamada da camada Chipanga, nos domínios Norte, Centro, Sul e Combinados para a densidade F1.45

Os histogramas da Figura 6 (exemplos LCUT & LC456) mostram o intervalo de resultados de fósforo F1.45 que ocorrem para cada subcamada do Chipanga. Isto mostra as sub-camadas com altos níveis de fósforo, mas também demonstra a variabilidade dentro do depósito. A seção LCUT de alto fósforo tem uma moda de 0,180%, mas tem resultados que variam de 0,020 a 0,300%. O intervalo para o LCUB é de 0,005 a 0,258%. A camada com menor teor de fósforo é LC456 com 0,002 a 0,080% em termos de faixa.

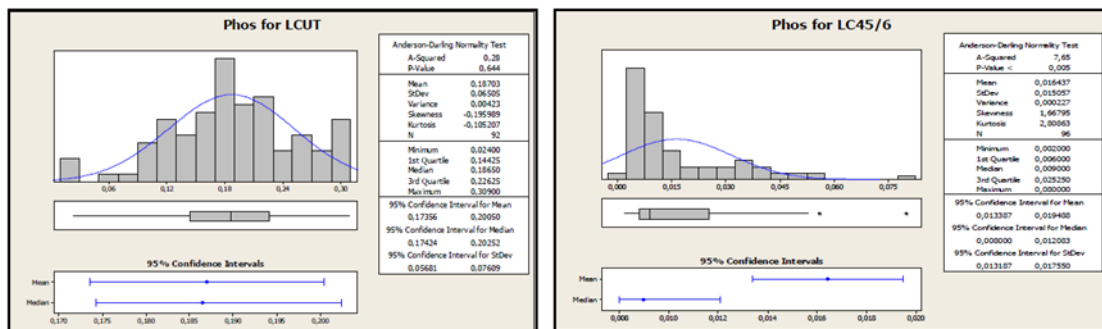


Figura 6. Distribuição dos resultados de P no carvão para as camadas LCUT e LC45/6.

### 3.2. Distribuição dos tipos minerais de Fósforo

O fósforo no carvão tem sido mais frequentemente identificado como dois tipos de minerais, de acordo com Ward et al. (1996):

- Apatita  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$  (F, Cl, OH) - O carvão de Moatize tem níveis significativos de flúor indicando a presença de Fluorapatita
- Grupo de fosfato de alumina de Crandalita:
  - Crandalita  $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2$  (OH)5.H<sub>2</sub>O
  - Goyazite  $\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)_2$  (OH)5.H<sub>2</sub>O
  - Gorceixite  $\text{BaAl}_3(\text{PO}_4)_2$  (OH)5.H<sub>2</sub>O

Os gráficos da Figura 7 mostram os resultados da fração de carvão de coque F1.45 para os slim cores que foram ponderados em média para fornecer resultados para o depósito de S2A para os três domínios; norte, central e sul. Cada gráfico mostra:

- $\text{P}_2\text{O}_5$ , CaO, BaO, SrO nas cinzas
- Inertinita no carvão (fusinita + semi-fusinita)

As seguintes observações podem ser feitas a partir das curvas plotadas:

Existe uma correlação muito forte entre o fosfite e o cálcio, indicando a presença de apatita e / ou de crandalita:

- Existem boas correlações entre fósforo com estrôncio e bário, indicando a presença de goyazite e gorceixite.
- Pode haver alguma correlação entre inertinita e fósforo, mas isso é fraco.
- Deve-se notar que os dados petrográficos são da fração F1.45, que consistem em altos níveis de vitrinita e, portanto, as variações na inertinita são relativamente pequenas e qualquer correlação será difícil de observar.

Para entender melhor os tipos minerais de fósforo e a distribuição dentro do carvão, os dados analíticos disponíveis de outras frações de densidade foram revisados. O programa de teste para slimcores fornecido para testes nas seguintes frações de densidade:

- F1.45 - produto de coqueificação. Estes são os dados referidos acima
- S1.45F1.50 - Exportar Produto Térmico
- S1.50F1.90 - Produto Térmico Doméstico

Os produtos térmicos foram testados com muito menos detalhes do que os produtos de coqueificação e a fração de densidade para as seguintes seções de costura estão disponíveis para revisão:

- UC (UCT + UCB1 + UCB2 + UCB3)
- MC (MCU + MC27 + MCM + MC35)
- LC (LCUT + LCUB + LC456)

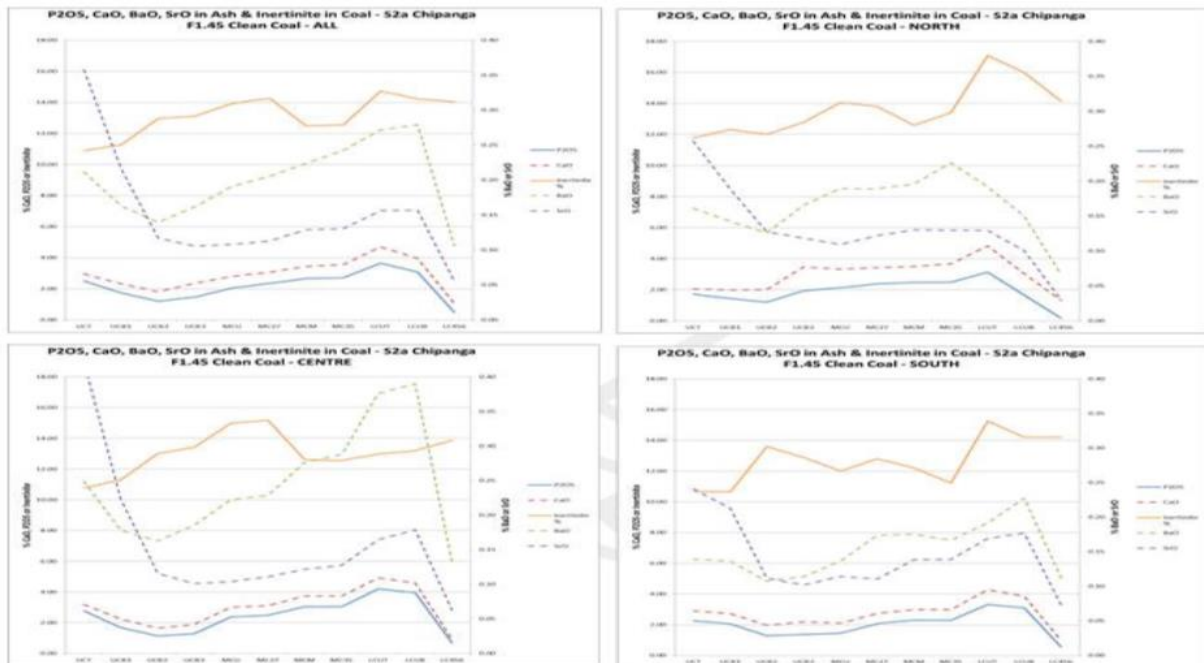


Figura 7. Resultados de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, BrO, Sr) na cinza e inertinita do carvão coking na F1.45

#### 4. CONCLUSÕES

O fósforo é um componente significativo do carvão de Moatize e seu gerenciamento em produtos de coque é uma questão importante no controle de qualidade. Entender a natureza e a distribuição do fósforo no carvão ajudará no desenvolvimento de procedimentos de gerenciamento aprimorados.

Os níveis de fósforo na camada de carvão Chipanga da Seção 2A variam verticalmente com os níveis mais altos em LCUT e os mais baixos em LC456; os níveis de fósforo variam significativamente na Seção 2A, com os níveis mais altos na área central e os níveis mais baixos na área norte.

O carvão rico em vitrinita brilhante é friável e se decompõe rapidamente, tornando-se em frações de menor tamanho, enquanto o carvão baço (inerte) é mais duro e, quando quebrado, não gera grandes quantidades de material fino.

A partir da associação do fósforo com o carvão baço e os dados de análise de cinzas disponíveis para as diferentes frações de densidade, é possível inferir a natureza dos minerais de fósforo no carvão. O principal mineral de fósforo é a apatita, com uma grande porção dessa apatita provavelmente sendo a fluorapatita.



A vitrinita tem níveis mais baixos de porosidade e é menos provável que absorva minerais ou elementos adicionais. Isso certamente coincidiria com o que é visto em Moatize, com níveis de fósforo significativamente mais altos associados ao carvão baço.

## REFERÊNCIAS

1. Ryan, B. & Khan, M. (1997). Maceral affinity of phosphorus in coals from Theelk Valley Coalfield, British Columbia, Geological Field Work, 28-1 to 28-20.
2. Tu H.; Li, W. & Bai, X. (2011). Distribution of phosphorous in Chinese coal, Beijing Research Institute of Coal Chemistry, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; p: 641 – 646.
3. Ward, C.; Corcoran, J; Saxby, J. & Read, H. (1996). Occurrence of phosphorous minerals in Australian coal seams, International Journal of Coal Geology 30, 185 – 210.
4. Speight, J (2005). Handbook of Coal Analysis, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p. 1 & 98.
5. Wilson, W; French, D & Gibson, L (2010). Understanding Coal Quality, Fifth Edition, Mine Skill Australia. Floral Assemblage, p. 28; Phosphorus, p. 36.
6. Nascimento, L; Machado, J & Maranha, S (2014). Coal Handbook, Iron Ore Marketing, p. 181.
7. ALS COAL TECHNOLOGY REPORT (2011), Moatize Batch # 2 – LCU plies Phosphorous investigation, 34007350-R02, Junction Street Telarah NSW 2320, Australia. p.1.