



ANÁLISE MINERALOQUÍMICA DO MINÉRIO MANGANESÍFERO DE GUAÇUÍ (ES)

BELLON, U.D.¹, VINCO, J.H.², GUIMARÃES, D.³

¹Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Geofísica. e-mail: ualisson.bellon@usp.br

²Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Engenharia Rural. email:
joseh.vinco@outlook.com

³Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Engenharia Rural. email:
guimaraes.damaris@yahoo.com.br

RESUMO

No Sul do Espírito Santo, estão catalogadas ocorrências de minério de manganês numa faixa estreita pertencente ao município de Guaçuí. O objetivo das análises realizadas foi determinar quantitativamente a composição química do minério e determinar as principais fases minerais associadas. Os métodos utilizados envolveram a fragmentação de amostras de campo, seguida por secagem e peneiramento a 325 *mesh*. Parte das amostras foram homogeneizadas junto a um ligante industrial e, em seguida, foram submetidas à prensa hidráulica para geração de pastilhas que foram analisadas por fluorescência de raios-X (FRX). Na outra porção das amostras, foi aplicado o método de difração de raios-X (DRX). A FRX indicou um minério com teores médios superiores a 60% para MnO, secundariamente composto por Al₂O₃ (14,46%) e Fe₂O₃ (14,30%), além de baixos teores de SiO₂ (3,63%). Essa análise indicou também teores consideráveis de elementos traço (Tb, Ce, Co). A DRX indicou presença de quartzo, gibbsita, spessartita e litiofiorita. Os resultados indicam um minério de enriquecimento supergênico de alto teor, o que é discrepante aos dados de trabalhos anteriores e requer, dessa forma, estudos mais aprofundados por meio de outros métodos analíticos de precisão superior.

PALAVRAS-CHAVE: Minério de manganês, Fluorescência de raios-X, Difração de raios-X.

ABSTRACT

In the South of Espírito Santo, manganese ore occurs in a narrow belt belonging to the municipality of Guaçuí. The objective of these analyzes was to quantitatively determine the chemical composition of the ore and determine the main mineral phases associated with it. The methods involved fragmentation of field samples, followed by drying and sieving at 325 mesh. Part of the samples were homogenized together with an industrial binder and following were submitted to a hydraulic press for the generation of pellets which were analyzed by X-ray fluorescence (XFR). In the other portion of the samples, the X-ray diffraction (XRD) method was applied. The FRX indicated an average ore content higher than 60% for MnO, secondarily composed of Al₂O₃ (14.46%) and Fe₂O₃ (14.3%), as well as low SiO₂ (3.63%). This analysis also indicated considerable trace element contents (Tb, Ce, Co). The XRD indicated the presence of quartz, gibbsite, spessartine and lithiophorite. The results indicate a high-grade supergen enrichment ore, which is inconsistent with previous work data and thus requires further studies using other analytical methods of higher precision.

KEYWORDS: Manganese ore, X-ray fluorescence, X-ray diffraction.

físico-químicas do minério. Nesses estudos devem ser destacados dados acerca da granulometria do mineral de interesse, da sua relação com os minerais de ganga e da composição mineralógica do minério. É prioritário, portanto, que se identifique: a composição química total de um conjunto amostral, com o intuito de verificar o teor do minério; o grau de cristalinidade do material e a mineralogia associada; e as características texturais e estruturais petrológicas do minério analisado.

O presente trabalho objetiva, dessa forma, realizar uma análise quantitativa de óxidos do minério manganêsífero de Guaçuí e das principais fases mineralógicas a esse associadas, com o intuito de disponibilizar novos dados desse importante recurso mineral na região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas num perfil de solo localizado no distrito de São Miguel do Caparaó, em Guaçuí. Tais amostras fazem parte de uma série de estudos texturais e químicos qualitativos realizados anteriormente (BELLON; VINCO; GUIMARÃES, 2018). O material (Fig.2) foi levado ao laboratório e cada amostra foi submetida à fragmentação por meio de sucessivos golpes com marreta de ferro (devidamente capeada de um envoltório de plástico), até que se atingisse uma granulação média que permitisse que o material fosse conduzido ao moinho de panela. Antes de cada amostra de minério ser processada, lavou-se o recipiente metálico do moinho mantendo-o devidamente higienizado. Em seguida, foi moído quartzo puro e sua fração fina foi coletada para caracterização do branco amostral e, com isso, verificar possível contaminação provinda do moinho.

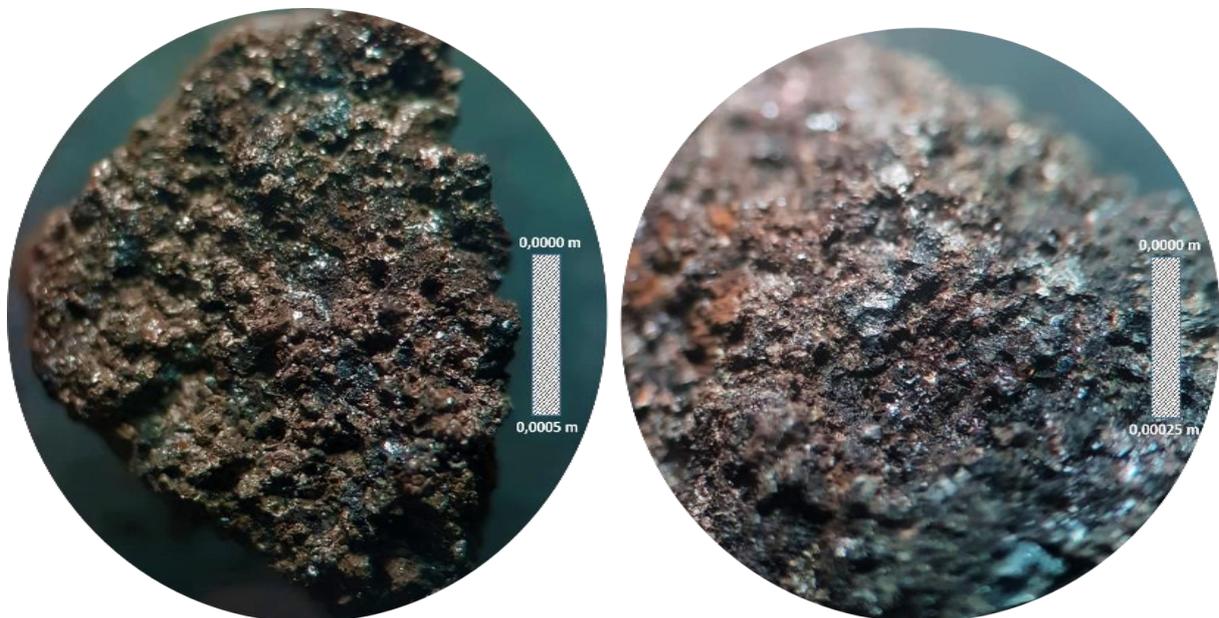


Figura 2. Minério manganêsífero de Guaçuí sob diferentes visadas macro e microscópicas. Fonte: modificado de BELLON; VINCO; GUIMARÃES (2018).

Já em relação ao minério, as amostras foram cominuídas até o ponto que pudessem passar por uma peneira com 325 *mesh* de abertura em uma superfície vibrante. Após a cominuição, o minério de granulometria requerida foi pesado e levado à estufa numa temperatura de 323,15 K. A massa foi consecutivamente medida até que sua estabilização

fosse atingida, indicando que a umidade havia sido eliminada. Parte dessas amostras secas em estufa foi direcionada para análise química e outra para análise mineralógica. Para a primeira, foram separadas 0,008 quilogramas de minério de cada amostra, os quais foram homogeneizados com 0,0016 quilogramas de ligante (amido de milho), sendo ambos devidamente macerados num almofariz de ágata com o auxílio de um pistilo. O material foi transferido individualmente para uma matriz metálica cilíndrica e esta, por sua vez, levada a uma prensa hidráulica que exerce o peso de 10.000 quilogramas durante sete minutos. Além das amostras de minério propriamente ditas, foi confeccionada também uma pastilha do branco amostral. Todas as pastilhas foram levadas a um Espectrômetro Bruker-S8-Tiger para análise química de óxidos por Fluorescência de Raios-X.

Para a análise mineralógica, parte das amostras secas em estufa foram submetidas à Difração de Raios-X à temperatura ambiente (298,15 K) por 91 segundos. Os ângulos 2θ de análise variaram de 0° a 80° e os resultados foram analisados em softwares computacionais com o intuito de verificar o enquadramento dos difratogramas gerados com as mineralogias referentes. A Fig. 3 sintetiza os principais processos metodológicos acima descritos.

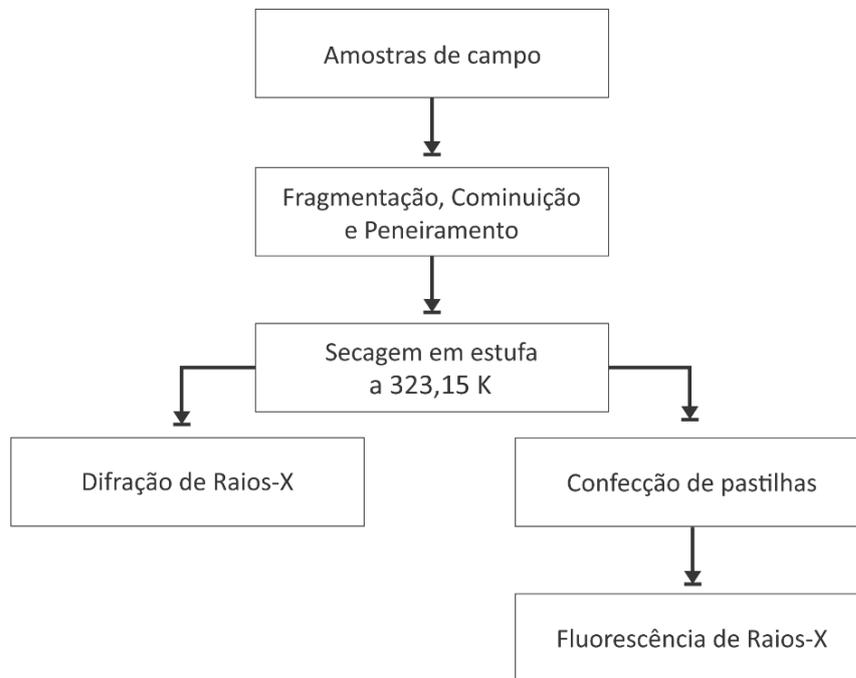


Figura 3. Fluxograma de processos metodológicos das amostras de minério analisadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fluorescência de Raios-X e Difração de Raios-X

As amostras de minério analisadas foram nomeadas como U1, U2, U3, U4 E U5 e o resultado da composição química em função de óxidos pode ser analisada na Tab. 1.

Tabela 1. Resultados analíticos de Fluorescência de Raios-X para o minério manganêsífero de Guaçuí. LD: limite de detecção.

Oxidos	Amostras				
	U1	U2	U3	U4	U5
MnO (%)	63,86	63,76	63,85	63,31	63,73
Fe ₂ O ₃ (%)	14,58	14,81	14,51	13,36	14,26
Al ₂ O ₃ (%)	14,31	14,55	14,32	14,47	14,66
SiO ₂ (%)	3,50	3,36	3,46	4,13	3,71
K ₂ O (%)	0,88	0,83	0,87	0,85	0,87
BaO (%)	0,86	0,83	0,86	0,79	0,95
CaO (%)	0,74	0,71	0,71	0,71	0,68
TiO ₂ (%)	0,37	0,33	0,39	0,34	0,36
P ₂ O ₅ (%)	0,34	0,34	0,38	0,39	0,27
CoO (ppm)	1,4 x10 ³	1,2 x10 ³	< L.D	1,3 x10 ³	1,2 x10 ³
ZnO (%)	0,14	0,11	0,12	0,12	0,11
Tb ₄ O ₇ (ppb)	1,3 x10 ⁶	< L.D	< L.D	1,2 x10 ⁶	< L.D
CeO ₂ (ppb)	< L.D	< L.D	2,5 x 10 ⁶	< L.D	< L.D
SO ₃ (%)	0,11	0,10	0,11	0,13	0,13
SrO (%)	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04
Cr ₂ O ₃ (%)	< L.D	0,03	< L.D	0,04	< L.D
V ₂ O ₅ (ppm)	< L.D	< L.D	600	< L.D	< L.D
NiO (ppm)	< L.D	< L.D	500	500	600
ZrO ₂ (ppm)	200	100	200	200	91
TOTAL (%)	100,02	99,93	100,00	99,0	100,04

O fechamento da composição total da amostra ficou entre 99% e 101%, indicando uma análise eficiente dos analitos. Os resultados para o branco amostral apresentaram uma composição de 99,94% de SiO₂ e 0,06% de Cr₂O₃, transparecendo que o moinho de panela contribui com uma contaminação de cromo detectado nas amostras U2 e U4. Nos resultados de FRX fica evidente a superior concentração de MnO em comparação a todos os outros componentes da amostra, cujo teor médio é de 63,70% ± 0,2%. Seguidamente, Fe₂O₃ e Al₂O₃ compõem nas amostras uma média de 14,30% ± 0,5% e 14,46% ± 0,13%, respectivamente. A sílica apresentou teores baixos em todas as amostras, com uma média total de 3,63% ± 0,27%. Todos os outros elementos detectados apresentaram teores individuais inferiores a 1% no total das amostras. Entretanto, alguns elementos raros como o cobalto (CoO), térbio (Tb₄O₇), cério (CeO₂) e vanádio (V₂O₅) compõem uma porcentagem do minério analisado. Desses elementos, o cobalto pôde ser detectado em todas as amostras, com exceção da U3, compondo cerca de 0,13% ± 0,01% das outras amostras. Já o térbio, detectado nas amostras U1 e U4, apresentou um teor médio de 0,13% ± 0,01%.

As amostras analisadas para DRX foram nomeadas como A1, A2, A3, A4 e A5. O resultado do processamento dos arquivos de assinatura foram difratogramas individuais (Fig. 4) de cada uma das amostras. Em todas elas foram detectados sinais ruidosos, inerentes ao próprio material. As fases minerais identificadas foram comuns a todos os difratogramas, sendo essas quartzo (SiO₂), gibbsita (γ-Al₂(OH)₃), espessartita (MnAl₂(Si₃O₁₂)₃) e litiofiorita ((Al,Li)Mn₃O₂(OH)₂).

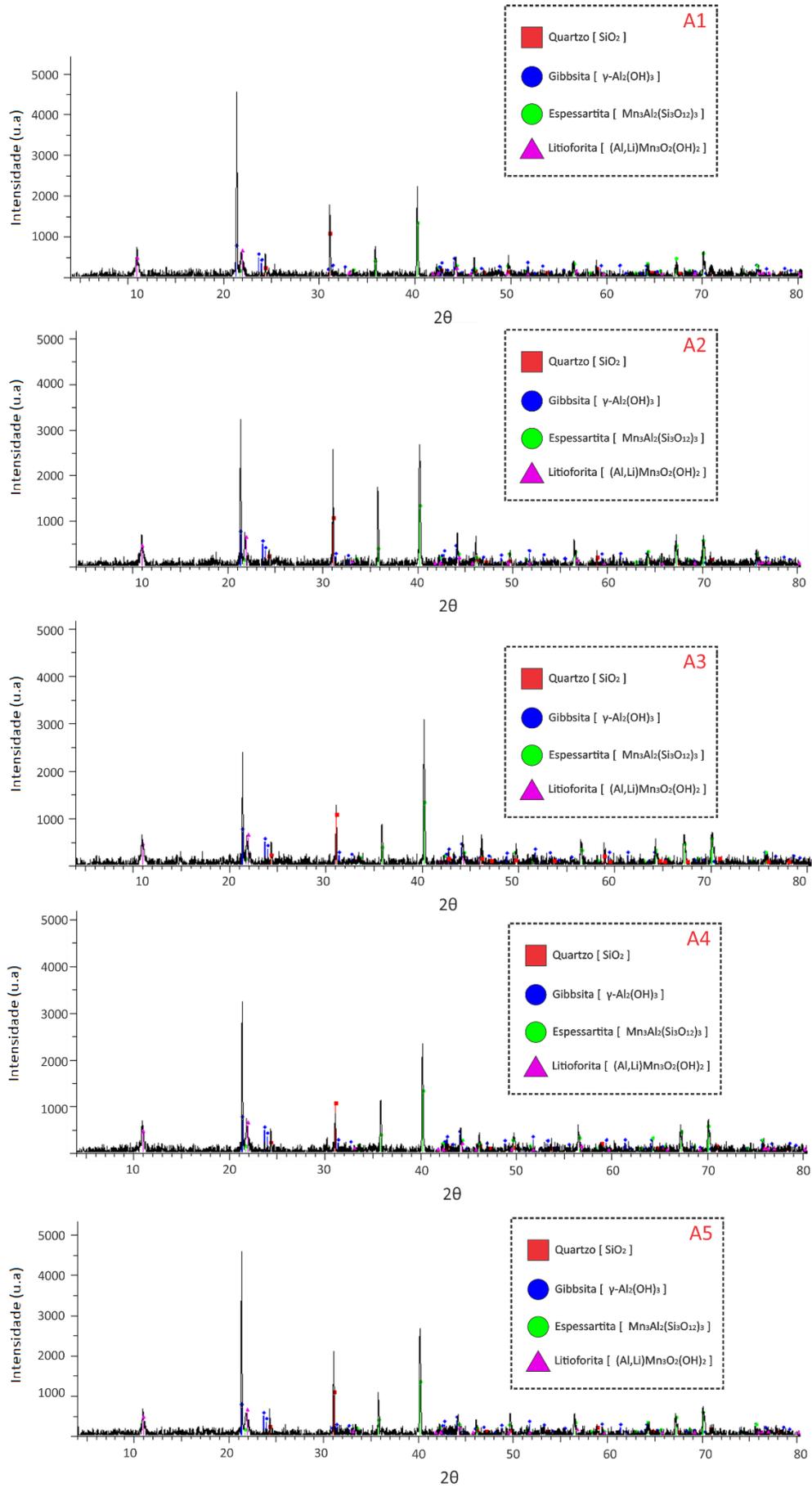


Figura 4. Difratomogramas das amostras analisadas.

3.2 Interpretação dos dados coletados.

Para a discussão dos dados obtidos por meio dos métodos experimentais, é preciso recorrer à natureza geológica dos processos que culminaram no minério estudado. Partindo da rocha protominério, descrita por Vieira e Menezes (2015), tem-se gnaisse kinzigítico, rochas formadas essencialmente por quartzo e espessartita com outros minerais metamórficos com grande teor de alumínio. Os processos intempéricos num meio de pH ácido e Eh oxidante condicionam os termos ideais para que a sílica presente no quartzo e em outros silicatos seja lixiviada junto de outros elementos móveis sobre essa condição. Os elementos mais imóveis retidos no meio poderiam sofrer processos de oxidação e formar novas fases minerais mais estáveis (BIONDI, 2015).

Especificamente no caso desse minério, a sílica provinda das espessartitas e do quartzo seriam mobilizadas e carregadas para outro horizonte estratigráfico no perfil estudado. Estudos texturais anteriores (BELLON; VINCO; GUIMARÃES, 2018) já mostraram características físicas e estruturas como alta-porosidade, hábitos amigdaloidais, dureza e traços característicos de materiais secundários provindos de alteração. Reforçando tais evidências estão os baixos teores de sílica detectados em todas as amostras. Os altos teores de manganês devem estar diretamente ligados à espessartita, cujos picos se destacam nos difratogramas de todas as amostras (Fig 4). Uma porção do manganês detectado na FRX deve também ser componente dos cristais de litiofiorita. Entretanto, como é notável, o lítio (Li) não é detectado nessa mesma análise química, uma vez que o método utilizado pelo equipamento não detecta elementos químicos de número atômico inferior a dez ($Z < 10$). Pode-se inferir, entretanto, que devido aos fechamentos obtidos das amostras analisadas, a litiofiorita deve compor pequenas concentrações das mesmas. O alumínio das amostras deve estar diretamente relacionado à gibbsita detectada pela DRX. A gibbsita é um hidróxido de alumínio consonante a um meio de alteração em que minerais aluminosos são alterados, cuja ocorrência é comum em meios de enriquecimento supergênico (BIONDI, 2015).

Na Tab. 2 estão sumarizados os dados de teor do minério manganésífero de Guaçuí (Mina de Santa Marta) descritos por Vieira e Menezes (2015) em comparação com os teores médios obtidos no presente trabalho. Com exceção à sílica (que representa menos da metade do teor descrito) e do alumínio (ligeiramente superior ao analisado), todos os teores resultantes da FRX apresentam-se superiores aos descritos por Vieira e Menezes (2015). Nota-se a clara discrepância no teor do minério de manganês analisado nesse trabalho, cuja concentração é mais de 1,7 vezes superior e, além disso, o teor de Ferro total (Fe) que também é cerca de 2,1 vezes superior.

Tabela 2. Dados de literatura para os teores do minério de Guaçuí comparados aos resultados da FRX obtidos experimentalmente.

	Amostras						
	Mn (%)	Fe (%)	S (%)	P (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Co (%)
Vieira e Menezes (2015)	35,60	6,40	0,02	0,06	14,70	8,60	0,10
Dados experimentais do presente trabalho	62,90	13,75	0,05	0,24	14,46	3,63	0,11

O aparecimento de elementos traço (que representam teor inferior a 0,1% na Crosta Terrestre) como o cobalto (Co) e um representante terra-rara, o térbio (Tb), já haviam sido destacados em trabalhos anteriores (VIEIRA; MENEZES, 2015; BELLON; VINCO; GUIMARÃES, 2018). O térbio foi detectado na amostra U3 com a concentração de $2,5 \times 10^6$ ppb. Esses resultados apontam que o minério manganífero de Guaçuí tem, além de altos teores de Mn, certo enriquecimento em elementos traço. As discordâncias entre os dados comparados acima demonstram que há, portanto, uma provável heterogeneidade na intensidade dos processos de alteração que acarretaram no enriquecimento supergênico.

4. CONCLUSÕES

Embasado nos dados apresentados, demonstra-se que o minério manganífero de Guaçuí (ES) é composto essencialmente por MnO em alto teor (cerca de 63%), seguido de Fe₂O₃ e Al₂O₃, com concentrações baixas de sílica (menores que 4%). Os minerais que compõem sua mineralogia essencial são espessartita, gibbsita, quartzo e litioforita. O minério apresenta ainda concentrações relevantes de elementos traço (Co, Ni, V) e de elementos terra-rara (Tb, Ce). Dados os resultados desse trabalho, é evidente que uma série de estudos de exploração geológica e mapeamento desses jazimentos em escala de maior detalhe se faz necessário. Com uma malha de dados mais densa, poder-se-ia mapear as regiões com maiores ou menores teores desse minério e determinar se há um controle condicionando à mineralização supergênica em graus de maior ou menor intensidade, ou se tal é relacionado à heterogeneidades composicionais do protominério. É preciso também efetuar análises mais aprofundadas a respeito da mineralogia e da composição química total do minério por métodos analíticos de maior sensibilidade e limite de detecção, em especial, para os elementos Tb, Co, Ce, V e Ni. Tais estudos são fundamentais para se estimar o potencial econômico de extração do minério estudado no presente trabalho.

5. REFERÊNCIAS

Bellon UD, Vinco JH, Guimarães D. Qualificação textural e elementar do minério de manganês de Guaçuí (ES). In: XXI Encontro Nacional de Modelagem Computacional e IX Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais. 2018Oct 08-11; Búzios, Brasil. (XXI ENMC/IX ECTM; vol. XXI)

Biondi JC. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. 2a. ed. São Paulo: Oficina de Textos; 2015.

Pedrosa-Soares AC, Noce CM, Alkmim FF de, Silva LC da, Babinski M, Cordani U *et al.* Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos* 2007; 15(1); 1-16.

Vieira VS, Menezes RG de, editores. Geologia e recursos minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais. 1ª. ed. Belo Horizonte: CPRM; 2015.