

# INTEGRACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS Y GEOLÓGICOS PARA LA DEFINICIÓN GENÉTICA DEL TOPACIO IMPERIAL DE LA REGIÓN DE OURO PRETO MINAS GERAIS, BRASIL

Rojas A.J.<sup>1</sup>, Newman J.A.<sup>1</sup>, Endo I.<sup>1</sup>, Newman Carvalho D.T. de<sup>1</sup>, Bello R.M.S.<sup>2</sup>,  
Gandini A.L.<sup>1</sup>, Torres S.I.R.<sup>3</sup>.  
arol@degeo.ufop.br.

<sup>1</sup>Universidad Federal de Ouro Preto, Departamento de Geología, Escuela de Minas. (Brasil). <sup>2</sup>Universidad de São Paulo, Instituto de Geociencias. (Brasil). <sup>3</sup>Instituto Nacional de Geología y Minería. (Venezuela).

## RESUMEN

A través de la integración de datos geofísicos y geológicos, se intenta dilucidar aspectos genéticos sobre la formación del topacio imperial de la Región de Ouro Preto, utilizando métodos indirectos gamaespectrométricos los cuales definen los litotipos y estructuras, a partir de la creación de imágenes mediante las concentraciones de los elementos radiactivos Uranio (U), Potasio (K) y Torio (Th), aunado a estos mapas se implementó el parámetro F, el cual define anomalías con altas concentraciones de potasio que indican áreas donde ocurrieron eventos hidrotermales, y los datos magnéticos fueron interpretados a partir del mapa de señal analítica partiendo de la variación de las concentraciones magnéticas permitiendo diferenciar los elementos estructurales de la región. De esta forma se determinó el conjunto de elementos presentes en la zona donde se encuentran las minas, concluyendo que la génesis del topacio imperial de esta región esta relacionada a eventos hidrotermales asociado a estructuras definidas por zonas de fallas.

## INTRODUCCIÓN

La región de Ouro Preto es ampliamente conocida por sus depósitos de topacio imperial, existen varios trabajos publicados sobre la región, los cuales abarcan aspectos mineralógicos y geológicos, faltando aún indicios para un completo entendimiento de su génesis. En la región existen más de veinte ocurrencias de topacio imperial que están distribuidas a lo largo del eje E-W del Anticlinal de Mariana, que corresponde a la porción sureste del Cuadrilátero Ferrífero, con una única ocurrencia que se encuentra en el Distrito de *Antônio Pereira*. Existen dos hipótesis para explicar el posicionamiento actual de estas ocurrencias. La primera es debido a fallas normales, de tipo *horst* y *grabens* (Santos 1998). La segunda es debido a fallas de corrimiento que permitieron la percolación de fluidos hidrotermales. Esta última hipótesis parece ser la más acertada, y en base a esta se realizó el estudio a partir de datos geofísicos, que integrados con datos geológicos, permitieron determinar un alto tectonismo en la región así como un alto hidrotermalismo que pueden estar relacionados a la génesis del topacio.

## LOCALIZACIÓN

El área seleccionada para este estudio se encuentra ubicada en la región centro-oeste del Estado de Minas Gerais. Específicamente dentro de los límites del Municipio Ouro Preto (Figura 1).

## GEOLOGÍA LOCAL

Los depósitos de topacio imperial de la Región de Ouro Preto, están distribuidos en el Anticlinal de Mariana y el Sinclinal *Dom Bosco* en rocas de los grupos *Itabira* y *Piracicaba* (Pires *et al.* 1983). El Supergrupo Minas se sobrepone al Basamento y al Supergrupo *Rio das Velhas*, en muy clara discordancia erosiva y angular. El Grupo *Itabira*, según Dorr II (1969), está constituido por meta-sedimentos predominantemente químicos, siendo compuesto por las Formaciones *Cauê* y *Gandarela*. La Formación *Cauê*, es la inferior, y tiene su sección tipo localizada en el pico *Cauê*, Municipio de *Itabira*. Está constituida por lechos alternados de cuarzo y minerales de hierro, pudiendo ser

generalmente hematita y magnetita. Según Alkmim & Marshak (1998) es caracterizada por las Formaciones bandeadas de hierro (*BIFF's*), y La Formación *Gandarela*, está constituida por mármoles dolomíticos, filitas dolomíticas, itabiritas dolomíticas, siendo la litología típica el mármol dolomítico (Dorr II 1969). Estas litologías cuando se descomponen se asemejan a la “borra de café”. En donde se encuentra el topacio. En el Grupo *Piracicaba* se hospedan las demás ocurrencias de topacio imperial de la Región de Ouro Preto y están distribuidas en las Formaciones *Cercadinho* y *Fecho do Funil* al sur del Anticlinal de Mariana a lo largo del Sinclinal *Dom Bosco*. El Grupo *Piracicaba* se sobrepone a la Formación *Gandarela* y según Dorr II (1969) está constituido por las Formaciones *Cercadinho*, *Fecho do Funil*, *Taboões* y *Barreiro*. Según Dorr II (1969) la Formación *Cercadinho* está caracterizada por cuarcitas ferríferas, cuarcitas, *grit*, filitas y filitas ferríferas y la Formación *Fecho do Funil* está constituida por filitas dolomíticas y dolomito silicoso.

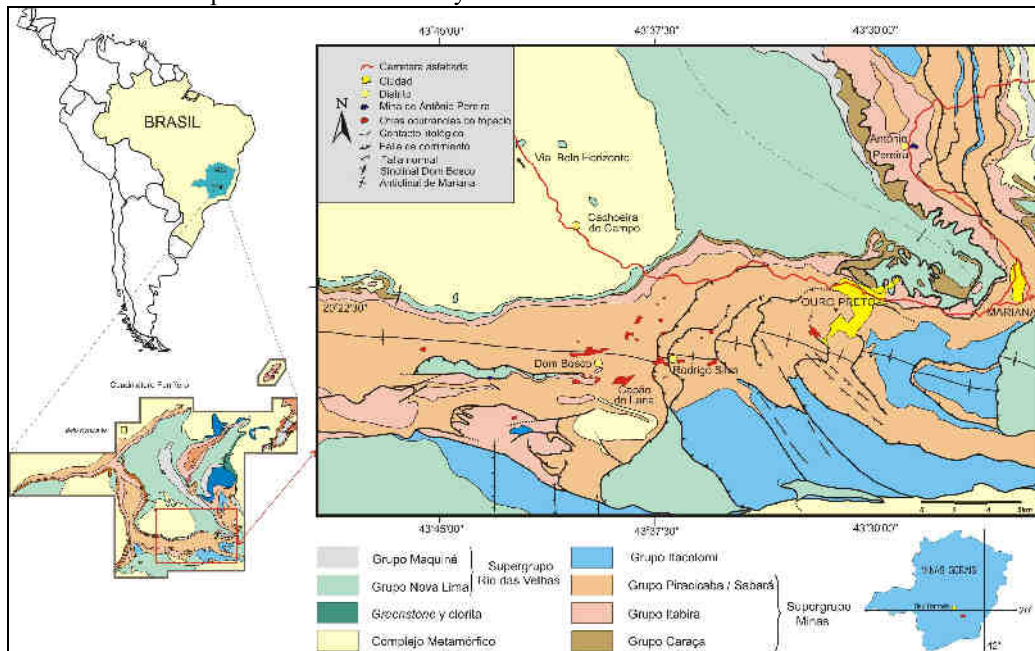


Figura 1: Mapa Geológico de la Región de Ouro Preto con las principales minas de topacio imperial. (Modificado de Almeida 2.004).

## CONTROL ESTRUCTURAL DE LA MINERALIZACIÓN

Las relaciones estructurales demuestran que las vetas que contienen el topacio imperial están asociadas a un sistema de fracturas de extensión relacionadas a los pliegues suaves de direcciones axiales NS y EW, así como a *boudines*. Ambas secciones estructurales fueron originadas durante la orogénesis de edad *Brasiliana* que afectó la Región del Cuadrilátero Ferrífero, las cuales ya fueron caracterizadas y reconocidas por diversos autores (Endo 1988, 1997, Chemale Jr. *et al.* 1994).

## METODOLOGÍA

Fue realizada la interpretación de datos aéreo-geofísicos correspondientes a levantamientos magnetométricos y gamaespectrométricos de la Región de Ouro Preto, suministrados por la *Companhia de desenvolvimento econômico de Minas Gerais* (CODEMIG), en escala de semi-detalle (1:25.000). Los mapas geofísicos fueron confeccionados utilizando el programa *Oasis Montaj Geosoft®* 4.3.

Se elaboró el mapa de parámetro F para determinar la alteración hidrotermal la cual es asociada al enriquecimiento relativo de potasio, según Ostrovskiy (1973) este parámetro estudia el antagonismo entre los elementos potasio, torio y uranio, donde el efecto aislado del K es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$F = \frac{K \cdot eU}{eTh} = \frac{K}{\frac{eTh}{eU}} = \frac{eU}{\frac{eTh}{K}}$$

En este aspecto, el potasio es considerado un elemento rastreador de mineralizaciones relacionadas con la presencia de intrusiones de alteración hidrotermal en la zona, de la misma forma en que se ha utilizado para determinar la presencia de vetas de cuarzo, en prospecciones auríferas (Dickinson & Scott 1997). Por lo que se realizó un análisis de los mapas gamaespectrométricos de U, K, Th y CT sumados, el mapa de señal analítica con los cuales se reconocieron litologías y estructuras.

## RESULTADOS

Mediante la integración de los diferentes mapas geofísicos con los diferentes datos obtenidos a partir del mapa geológico y los diferentes estudios realizados para este bien mineral, fue posible reconocer las diferentes litologías así como los contactos geológicos que generalmente están asociados a fenómenos estructurales e hidrotermales.

En lo referente al análisis de los datos magnéticos, los resultados obtenidos de la interpretación del mapa de Señal Analítica (Figura 2), permitieron observar lineamientos con la presencia de altas amplitudes que indican altas concentraciones de minerales con contenidos magnéticos, lo que permitió reconocer las estructuras que están relacionadas con planos de fallas y lineamientos, de tal forma que líneas asociadas a bajas concentraciones están relacionadas con zonas de cizallamiento. Si se comparan las estructuras del flanco sur del Anticlinal de Mariana con las estructuras del flanco norte, se puede determinar que el flanco sur se encuentra fuertemente tectonizado a diferencia del flanco norte.

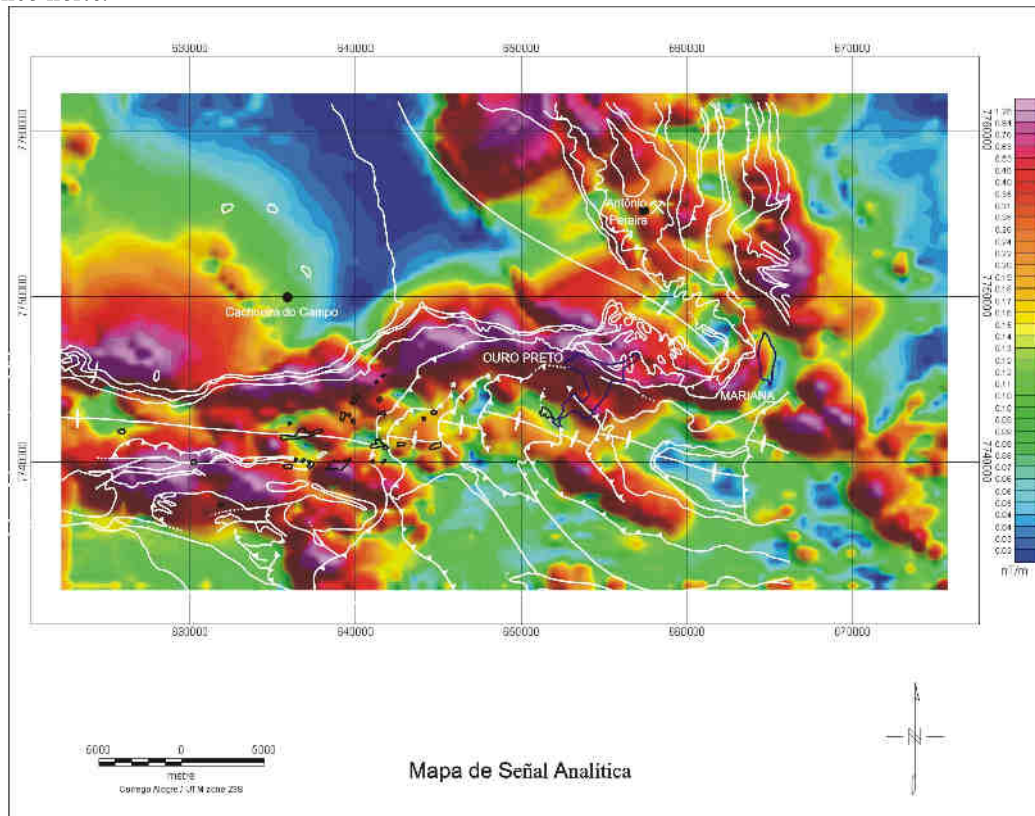


Figura 2: Mapa de Señal Analítica.

Estudiando los mapas de gamaespectrometría U, K, Th y CT, se puede observar que estos presentan alta compatibilidad con los datos representados en el mapa geológico de la región, siendo que a partir de estos se puede distinguir claramente los litotipos presentes en la región, en el caso del mapa del canal uranio es posible reconocer litologías de altas concentraciones de este elemento las cuales están relacionadas con litologías ácidas como los granitoides del Complejo *Bação*, así como rocas meta-sedimentarias tipo ferríferas, en este canal fue posible identificar zonas de fallas NW-SE. En el mapa

del canal Torio también se identificaron fallas principales con orientaciones NW-SE y otro secundario NS-EW diferenciando los contactos geológicos entre las rocas ácidas y las intermedias con valores medios a elevados. Se debe destacar que las rocas intemperizadas no presentan grandes variaciones en el contenido de torio en relación a las rocas originales. En el mapa del canal potasio se observó con mayor claridad lineamientos en la porción SW del mapa, y además se pueden distinguir los límites geológicos correspondientes a las litologías que caracterizan el Supergrupo *Rio das Velhas* y el Supergrupo Minas, en este mismo mapa también se observó en la porción NE los grupos *Nova Lima*, *Piracicaba* y *Sabará*. En referencia al mapa de conteo total (Figura 3), se puede decir que los datos gamaespectrométricos muestran una imagen que presentan similitud con el mapa geológico.

El torio, frecuentemente, es empobrecido en estas condiciones y el uranio revela un comportamiento variado. Es importante mencionar que la alteración hidrotermal es un proceso que causa modificaciones sustanciales en el contenido de radioelementos de la roca encajante, debe ser efectuado de forma complementaria. El parámetro F es utilizado para detectar regiones anómalas de potasio por el antagonismo entre el torio y el potasio, el cual es típico de procesos de alteración acompañado por enriquecimiento secundario de potasio.

Los valores bajos representan las anomalías de torio, mientras que altos valores representan anomalías de potasio. Regiones con valores bajos, próximos de valores altos pueden servir de guía prospectiva para mineralizaciones asociadas a eventos hidrotermales.

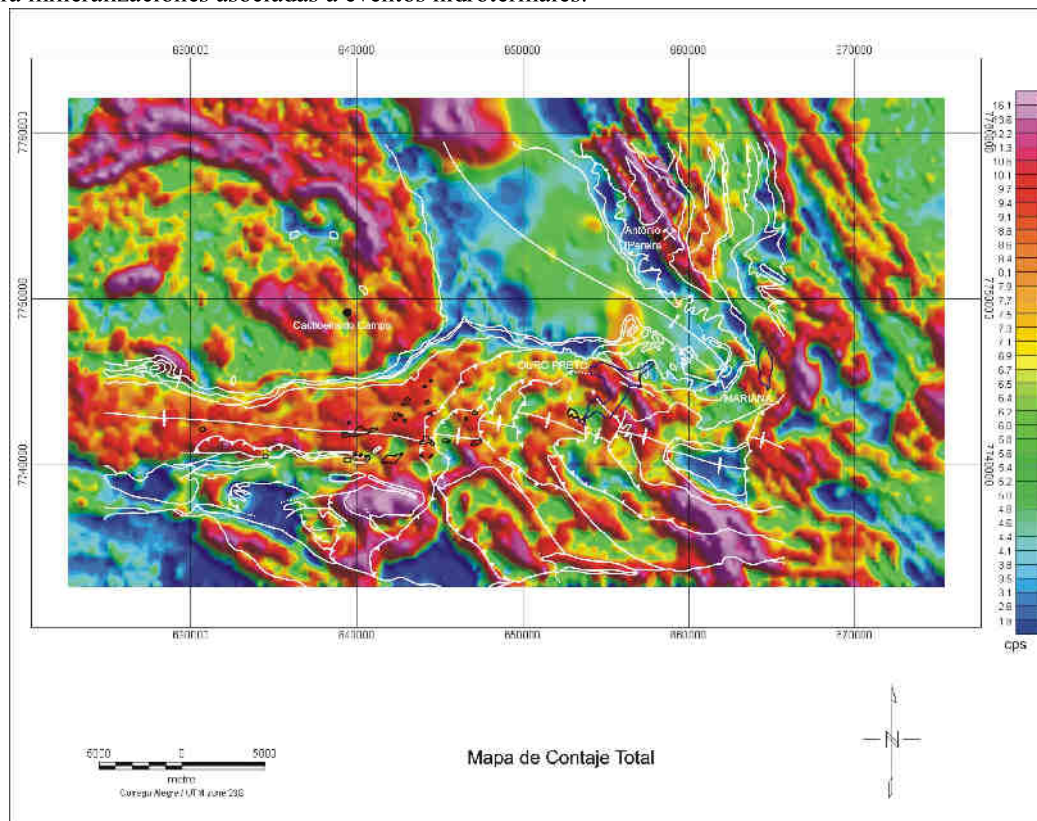


Figura 3: Mapa de Contaje Total.

Se debe resaltar que la utilización de las imágenes generadas a partir del parámetro F, comprobaron que los depósitos de topacio imperial, se encuentran en las zonas definidas por concentraciones de potasio como hidrotermales, por lo que se puede decir que este parámetro geofísico, obtenido a partir de datos gamaespectrométricos, puede ser aplicado como un elemento rastreador dentro de una metodología de prospección de bienes minerales asociados a eventos hidrotermales y cuyo modelo genético este bien definido.

A partir del mapa del Parámetro F (Figura 4), fue posible diferenciar zonas con altas concentraciones de K, el que puede evidenciar que en estas zonas existe la presencia de eventos hidrotermales, además

de esto, tales concentraciones están asociadas a estructuras que son definidas por fallas, que pueden ser los canales por donde percolaron los fluidos hidrotermales, Barbosa *et al.* (2007). Se debe resaltar que fue observado que la Región de *Antônio Pereira*, donde se encuentra la ocurrencia de topacio imperial, está caracterizada por anomalías en el mapa de Parámetro F, con altas concentraciones que van desde 0.5 hasta 0.8 cps, evidenciando el evento de hidrotermalismo. También fue posible observar unidades geológicas regionales a partir de las concentraciones anómalas de potasio que pueden estar relacionadas con mineralizaciones y/o ocurrencias auríferas.

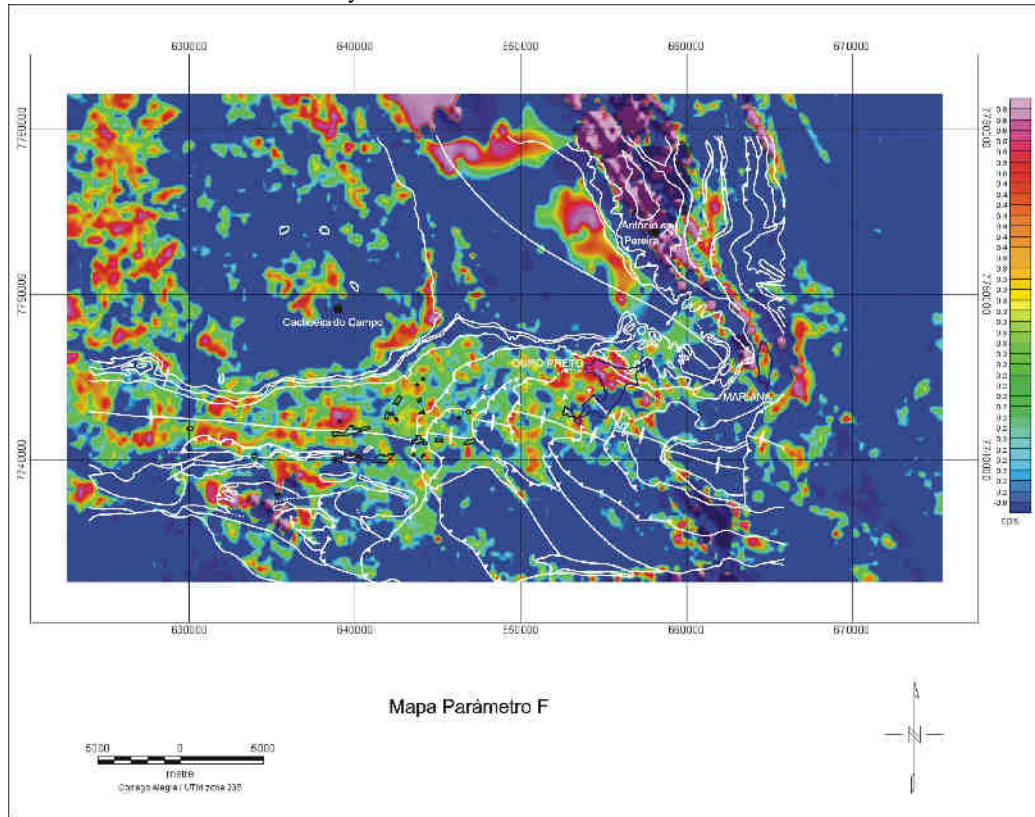


Figura 4: Mapa de Parámetro F.

## DISCUSIONES

Diversos estudios indican que la mineralización de topacio imperial representa la manifestación del proceso neumatolítico/hidrotermal, debido a esto no hay un consenso en cuanto a la edad de esta mineralización. A través de un levantamiento detallado de campo y análisis estructural y petrográfico se demostró que las ocurrencias principales de topacio imperial, conocidas en la Región de Ouro Preto y que se encuentran localizadas en los Sinclinales *Dom Bosco* y *Santa Rita*, están hospedadas en horizontes carbonáticos de las Formaciones *Cercadinho*, *Fecho do Funil* y *Gandarela* incluso hasta las facies carbonáticas del Grupo *Sabará*, Endo *et al.* (2007).

Estructuralmente la migración y la deposición de los fluidos mineralizantes del topacio son controlados por los esfuerzos tectónicos que originó el sistema de pliegues de los ejes N-S del Cuadrilátero Ferrífero. En el dominio del Sinclinal *Santa Rita*, en la Región de *Antônio Pereira*, el topacio imperial ocurre tanto en los mármoles dolomíticos de la Formación *Gandarela* así como en cuarcitas ferríferas y horizontes carbonáticos de las Formaciones *Cercadinho* y *Fecho do Funil*.

## CONCLUSIONES

A partir del análisis de los mapas geofísicos aunados a evidencias petrográficas y estructurales indican que la mineralización de topacio se encuentra hospedada en secciones estructurales originadas durante

el evento tectono-metamórfico de edad *Brasiliana* ( $\pm 600$ Ma) que afectó la Región del Cuadrilátero Ferrífero. Estas secciones son reconocidas y caracterizadas por diversos autores, e.g. Endo (1988, 1997), Marshak & Alkmim (1989), Chemale Jr. *et al.* (1991). Los fluidos neumatolíticos/hidrotermales se depositaron en sitios extensionales asociados a los pliegues, en horizontes carbonáticos del Supergrupo Minas. Siendo que los fluidos mineralizantes percolaron por fracturas, dando origen a vetas hidrotermales encajadas en mármoles dolomíticos y cuarcitas hematíticas. Adicionalmente la deposición de topázio puede ser cogenética a la última generación de las vetas auríferas del Cuadrilátero Ferrífero así como a las ocurrencias de fluorita, barita, turmalina y cinabrio dentro de otros minerales post-magmáticos del evento *Brasiliano*.

## REFERENCIAS

- Alkmim, F. F. & Marshak, S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90, p. 29-58.
- Almeida A.C.S. 2004. Estudos químico-mineralógicos e microtermométricos do topázio imperial das minas do Vermelho e JJC, Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, p 117.
- Barbosa, M.S.C., Rojas, A.J., Bello, R.M. da S., Gandini, A.L. 2007. Interpretação Geofísica nas áreas de ocorrências de topázio imperial da Região de Ouro Preto (MG), Inseridos no Anticlinal de Mariana. *In: XIV Simpósio de Geologia de Minas Gerais e X Simpósio de Geologia do Sudeste, Diamantina. Anais*, p. 129.
- Chemale, Jr. F., Rosière, C.A., Endo, I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, n. 65, p. 25-54.
- Chemale, Jr. F., Rosière, C.A., Endo, I. 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Pesquisa*, 18 (2), p. 104-127.
- Dickson, M.C. & Scott, B.L.K.M. 1997. AGSO. *J. Austr. Geol. and Geoph.*, 17(2), p. 187-200.
- Dorr II, J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U. S. Geological Survey Professional Paper*, 641 A: p. 1-109.
- Endo, I., Gandini, A.L., Rojas, A.J., Bello, R.M.S. 2007. Controle Estrutural Estratigráfico da Mineralização do Topázio Imperial no Quadrilátero Ferrífero, MG. *In: XIV Simpósio de Geologia de Minas Gerais e X Simpósio de Geologia do Sudeste, Diamantina. Anais*, p. 122.
- Endo, I. 1997. Regimes Tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, p. 243.
- Endo, I. 1988. Análise Estrutural Qualitativa do Minério de Ferro e encaixantes da Mina de Timbopeba - Borda Leste do Quadrilátero Ferrífero, Mariana, MG. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, p. 130.
- Marshak, S. & Alkmim, F.F. 1989. Proterozoic extension/contraction tectonics of the southern São Francisco Cráton and adjacent regions, Minas Gerais, Brazil: a kinematic model relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin and Cordilheira do Espinhaço. *Tectonics*, 8: p. 555-571.
- Ostrovskiy, E. Ya. 1973. Antagonism of radioactive elements in wallrock alterations fields and its use in aerogamma spectrometric prospecting. *International Geology Review*, 17, p. 461-468.
- Pires, F.R.M., Freitas, C.O., Palermo, N., Sarcia, M.N.G. 1983. Geologia e gênese dos depósitos de topázio do Distrito de Ouro Preto - Minas Gerais. *In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 2, *Anais*, 3: p. 283-296.
- Santos, M.C. 1998. Gênese dos corpos argilosos do Morro Caxambu e da Mina do Vermelho, Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, p. 176.