

**DADOS PRELIMINARES DA ESTRUTURA CRISTALINA DA GAHNITA
GEMOLÓGICA DO PEGMATITO ALTO MIRADOR, PROVÍNCIA
PEGMATÍTICA DA BORBOREMA, NE DO BRASIL**

Dwight Rodrigues Soares¹
Ana Cláudia Mousinho Ferreira¹
Rodrigo José da Silva Lima²
José Suassuna Filho²
José Aderaldo de Medeiros Ferreira³

¹ IFPB, Campus Campina Grande/Núcleo de Estudos de Pegmatitos (N-PEG) –
[dwightsoares@yahoo.com.br](mailto:dwrightsoares@yahoo.com.br)

² UFCG/CCT – Unidade Acadêmica de Física

³ F&T Ltda., Campina Grande/ PB

RESUMO

O pegmatito granítico Alto Mirador é um corpo zonado, complexo, localizado no município de Carnaúba dos Dantas, Estado do Rio Grande do Norte, inserido na Província Pegmatítica da Borborema (PPB), nordeste do Brasil. A gahnita ocorre neste pegmatito com qualidade gemológica nas cores verde clara e verde escura. Sua composição química mostra que trata-se de uma fase mineral quase pura, com traços de Mn, Mg, Ca, Si, Ti e Cr. A sua composição molecular, apresenta 95mol% de gahnita (Gh). As composições químicas médias obtidas por análises de microsonda eletrônica são dadas por: $^A(\text{Zn}_{7,51}\text{Fe}^{2+}_{0,14}\text{Mn}_{0,19}\text{Mg}_{0,06}\text{Ca}_{0,002})_{7,90} \text{ } ^B(\text{Al}_{16,06}\text{Si}_{0,004}\text{Ti}_{0,003}\text{Cr}_{0,001})_{16,07}\text{O}_{32}$ para a gahnita verde clara e $^A(\text{Zn}_{6,98}\text{Fe}^{2+}_{0,38}\text{Mn}_{0,21}\text{Mg}_{0,44}\text{Ca}_{0,001})_{8,01} \text{ } ^B(\text{Al}_{15,95}\text{Fe}^{3+}_{0,04}\text{Si}_{0,004}\text{Ti}_{0,002}\text{Cr}_{0,001})_{16}\text{O}_{32}$ para a gahnita verde escura. Os resultados de difração de raios X e refinamento Rietveld para a gahnita verde claro indicam a presença da fase única da ZnAl_2O_4 (gahnita), com simetria cúbica e grupo espacial $Fd3m$ (espinélio). Os resultados obtidos por refinamento Rietveld exibem os seguintes parâmetros: $a = 8,07995 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, volume da célula unitária $V = 527,505 (\text{ \AA})^3$ e densidade $d_{\text{calc}} = 4.497 \text{ g/cm}^3$.

Palavras chave: Pegmatito Alto Mirador, gahnita, Província Pegmatítica da Borborema, refinamento Rietveld, estrutura cristalina, Carnaúba dos Dantas

ABSTRACT

The granitic pegmatite Alto Mirador is zoned, and complex, located in the municipality of Carnauba dos Dantas, State of Rio Grande do Norte, inserted in the Borborema Pegmatite Province (BPP), northeastern Brazil . The gemological gahnite occurs in light to dark green colors with good transparency and frequently without fractures and inclusions . Its chemical composition shows that it is an nearly end-member phase with only traces of Mn , Mg , Ca , Si , Cr and Ti. In terms of molecular composition, it has approximately 95 mol % gahnite (Gh) . The average chemical compositions obtained by electron microprobe analyzes are given by: $^A(\text{Zn}_{7,51}\text{Fe}^{2+}_{0,14}\text{Mn}_{0,19}\text{Mg}_{0,06}\text{Ca}_{0,002})_{7,90} \text{ } ^B(\text{Al}_{16,06}\text{Si}_{0,004}\text{Ti}_{0,003}\text{Cr}_{0,001})_{16,07}\text{O}_{32}$ for light green gahnite and $^A(\text{Zn}_{6,98}\text{Fe}^{2+}_{0,38}\text{Mn}_{0,21}\text{Mg}_{0,44}\text{Ca}_{0,001})_{8,01} \text{ } ^B(\text{Al}_{15,95}\text{Fe}^{3+}_{0,04}\text{Si}_{0,004}\text{Ti}_{0,002}\text{Cr}_{0,001})_{16}\text{O}_{32}$ for dark green gahnite . The results of X-ray diffraction and Rietveld refinement for light green gahnite indicate the presence of a single phase of ZnAl_2O_4 (gahnite) with cubic symmetry and space group $Fd3m$ (spinel) . The results obtained by Rietveld refinement exhibit the following

parameters: $a = 8.07995 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, the unit cell volume $V = 527.505 (\text{ \AA})^3$ and $d_{\text{calc}} = 4.497 \text{ g/cm}^3$.

Keywords: Alto Mirador pegmatite, gahnite, Borborema Pegmatite Province, Rietveld refinement, Carnaúba dos Dantas

INTRODUÇÃO

Gahnita é um dos numerosos minerais do grupo dos espinélios, de fórmula geral AB_2O_4 , onde as posições estruturais A e B são dominados por Zn e Al. A substituição completa ou considerável de Zn por Fe (hercinita), Mn (galaxita) e Mg (espinélio SS) é possível. Cristaliza-se no sistema cúbico, grupo espacial $Fd\bar{3}m$, com $a = 8,08 \text{ \AA}$ (Deer *et al.*, 2010). Gahnita não é uma fase mineral abundante. Todavia, não é rara em pegmatitos graníticos. Quando apresenta qualidade gemológica torna-se uma raridade. Gahnita em pegmatitos ocorre usualmente associada a almandina-espessartita, muscovita, berilo, turmalina e ocasionalmente esfalerita (Cerny & Hawthorne, 1982) e também crisoberilo (Alfonso *et al.*, 1995).

Na Província Pegmatítica da Borborema (PPB), a gahnita ocorre, entre outros, nos pegmatitos Pihauí, Maracujá, Quintos, Capoeira, Alto Mirador, Carrascão (Soares *et al.*, 2007; Bitner *et al.*, 2011) e Roncadeira (Beurlen *et al.*, 2013). Gahnita com qualidade gemológica só foi observada, até o momento, no pegmatito Alto Mirador, também conhecido na literatura como Ermo. Na maioria dos casos a gahnita ocorre apenas em uma das zonas desses pegmatitos, dificultando o estabelecimento da variação composicional condicionada ao avanço da cristalização dos pegmatitos.

Estudos pioneiros de difração de raios X foram desenvolvidos por Rodrigues da Silva & Santiago (1961) em gahnita dos pegmatitos de Acari e Carnaúba dos Dantas.

No presente trabalho a gahnita gemológica do pegmatito Alto Mirador é estudada cristalograficamente, a partir de dados de difração de raios X e refinamento Rietveld.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

A Província Pegmatítica da Borborema (PPB), designação proposta por Scorza (1944) abrange partes dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, delimitada pelas coordenadas geográficas $5^{\circ}30'$ e $7^{\circ}15'$ de latitude S e $35^{\circ}45'$ e $37^{\circ}15'$ de longitude W, correspondendo à parte oriental da Faixa de Dobramentos Seridó (Figura 1).

A Faixa de Dobramentos Seridó é constituída de um embasamento gnáissico-granítico-migmatítico Paleoproterozóico (com eventuais núcleos Arqueanos) e uma sequência supracrustal metavulcanossedimentar Neoproterozóica, esta última designada de Grupo Seridó, constituída, da base para o topo, das seguintes unidades litoestratigráficas:

Formação Jucurutu - constituída de paragneisses quartzo-feldspáticos, com pouca biotita \pm epidoto, com importantes intercalações de mármore, escarnitos e metavulcânicas;

Formação Equador - constituída essencialmente por muscovita-quartzitos com facies arcoseanas e metaconglomeráticas;

Formação Seridó - é a unidade estratigráfica mais típica da região, constituída por uma sequência metapelítica (com biotita-granada-sillimanita-cordierita-gnaisses a -xistos como litologia dominante), com variações para psamítica (com

muscovita-quartzitos intercalados na sequência pelítica) e carbonática.

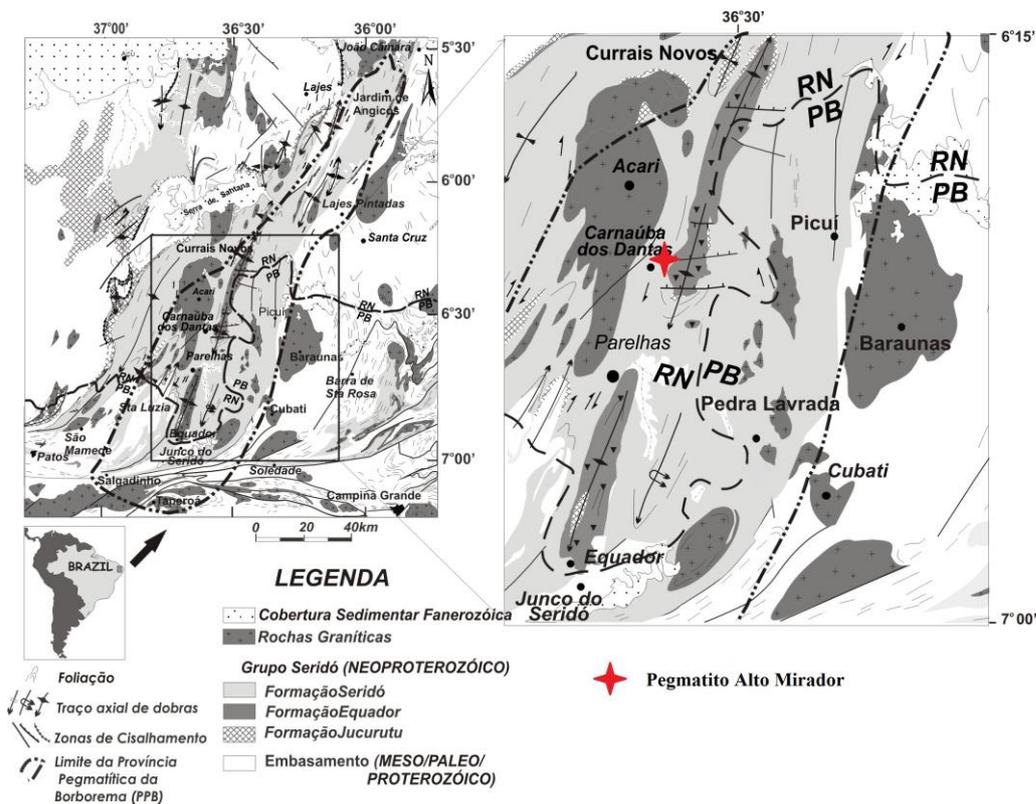


Figura 1 – Localização do pegmatito Alto Mirador em mapa geológico simplificado com delimitação da PPB

É notável a presença de corpos graníticos Brasilianos intrudidos nas diversas unidades estratigráficas da Faixa Seridó, além de pegmatitos graníticos, alguns deles mineralizados principalmente em Be, Nb-Ta, Li, Sn e Bi. Muitos desses corpos são portadores de gemas diversas, com destaque para a excepcional elbaíta gemológica, rica em CuO, de cor azul anil, conhecida por “turmalina Paraíba”.

O pegmatito Alto Mirador (também conhecido por Ermo) localiza-se 15km a NE da cidade de Carnaúba dos Dantas, Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), inserido na PPB, com dimensões aflorantes de 150m x 4m, com direção de N70°W e forte mergulho de 80°N. Trata-se de um pegmatito de elementos raros,

heterogêneo, encaixado em quartzitos neoproterozóicos da Formação Equador.

De acordo com Ferreira *et al.* (2000) seu zoneamento interno é constituído das seguintes unidades, :

- Zona de muro, em contato direto com a encaixante, é constituída de microclina, quartzo, muscovita e biotita em intercrescimento granular homogêneo, com espessura variável, não ocorrendo em toda a extensão do pegmatito.
- Zona intermediária externa está presente em toda a extensão do pegmatito, sendo caracterizada pela presença de uma matriz de granito gráfico, quartzo e muscovita nos interstícios de grandes cristais de K-feldspato que podem atingir dimensões superiores a 1 metro.

- Zona intermediária média, unidade mais importante do ponto de vista econômico, é constituída basicamente de quartzo, K-feldspato, muscovita, albita, lepidolita, turmalina negra, contendo como acessórios vários minerais gemológicos além da própria gahnita, a espessartita, euclásio róseo, bertrandita, além de tantalita, berilo e apatita. Faixas de enriquecimento por substituição interceptam o pegmatito, principalmente na zona intermediária média, favorecendo a cristalização dos minerais gemológicos anteriormente citados. Nessas faixas a gahnita ocorre em cavidades miarolíticas, associada principalmente à cleavelandita. Muitas vezes nessas cavidades ocorre também euclásio rosa em cristais milimétricos. Observou-se o enriquecimento em Na e Li atestado pela formação de massas de albita e nódulos de lepidolita.

- Zona intermediária interna é pouco espessa (<20 cm), descontínua, constituída principalmente de muscovita, microclina, lepidolita, além de crisocola, malaquita e digenita.

- Núcleo é constituído de quartzo leitoso branco acinzentado de forma irregular, quase não se observando a presença de outros minerais.

METODOLOGIA

Uma amostra de gahnita verde clara, de aproximadamente 5mg foi submetida a ensaios de difração de raios X (método do pó) obtidos com o uso de

um difratômetro *Rigaku DMAX100* com geometria *Bragg Brentano* do Departamento de Física da UFS, campus de São Cristóvão, equipado com monocromador, no modo contínuo com 2θ variando entre 20° e 70° , com fonte de radiação de $CuK\alpha$ ($\lambda=1,5417\text{\AA}$). Com base nos padrões de raios X, a estrutura cristalina da gahnita foi refinada pelo método Rietveld com o uso dos programas DBWS(Young) e DBWS-Tools(Bleicher).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A gahnita do pegmatito Alto Mirador ocorre nas cores verde-claro e verde-escuro (Fig. 2), sendo caracterizada por alto conteúdo de Zn. Sua composição química mostra que ela é uma fase mineral quase pura, com traços de Mn, Mg, Ca, Si, Ti e Cr. As composições químicas médias das gahnitas, obtidas por microsonda eletrônica (Soares *et al.*, 2007) são ${}^A(Zn_{7,51}Fe^{2+}_{0,14}Mn_{0,19}Mg_{0,06}Ca_{0,002})_{7,90}{}^B(Al_{16,06}Si_{0,004}Ti_{0,003}Cr_{0,001})_{16,07}O_{32}$ para a gahnita verde claro e ${}^A(Zn_{6,98}Fe^{2+}_{0,38}Mn_{0,21}Mg_{0,44}Ca_{0,001})_{8,01}{}^B(Al_{15,95}Fe^{3+}_{0,04}Si_{0,004}Ti_{0,002}Cr_{0,001})_{16}O_{32}$ para a gahnita verde escuro, com composição molar variando entre 86,22 a 95,41mol% de gahnita. Desse modo, a gahnita verde escuro pode se distinguir da gahnita verde claro pelo teor de Fe^{2+} no site A.



Figura 2 – Lotes brutos de gahnitas verde claro e verde escuro, de qualidade gemológica, provenientes do pegmatito Alto Mirador.

A estrutura cristalina da gahnita foi determinada a partir de difração de raios X, obtendo-se os valores exibidos na Tabela 1, utilizando-se os softwares DBWS-Tools e DBWS, cujo difratograma é mostrado na Figura 3.

Observa-se, a partir da Tabela 1, que os valores de 2Θ são similares aos

valores do padrão de referência de O'Neil & Dollase (1994), significando que a estrutura da gahnita do Alto Mirador está muito próxima do padrão. O mesmo ocorre com as distâncias interatômicas (d_{pad} e d_{obs}).

Tabela 1 – Padrão de raios X da gahnita gemológica do pegmatito Alto Mirador. Θ = ângulo de difração; I = intensidade dos picos; d = distância interplanar.

(h k l)	$2\Theta_{\text{pad}}$ (°)	$2\Theta_{\text{obs}}$ (°)	d_{pad} (Å)	d_{obs} (Å)	I_{pad}	I_{obs}
(2 2 0)	31,61	31,34	2,83	2,85	55	65
(3 1 1)	37,25	36,93	2,41	2,43	100	100
(2 2 2)	38,98	38,64	2,31	2,33	4	2
(4 0 0)	45,32	44,92	2,00	2,02	23	9
(3 3 1)	49,64	49,21	1,83	1,85	3	7
(4 2 2)	56,30	55,81	1,63	1,65	17	17
(5 1 1)	60,06	59,52	1,54	1,55	31	35
(3 3 3)	60,06	59,52	1,54	1,55	4	35
(4 4 0)	66,02	65,42	1,41	1,42	56	21
(5 3 1)	69,47	68,83	1,35	1,36	<1	1
(6 2 0)	74,13	74,12	1,28	1,28	<1	7
(5 3 3)	77,33	77,36	1,23	1,23	<1	6

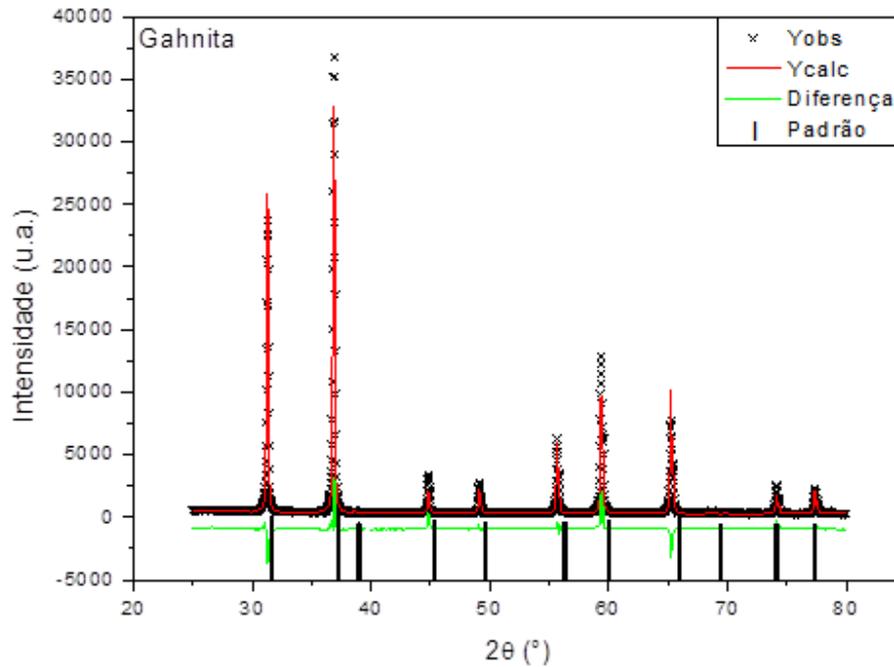


Figura 3 – Difratoograma de raios X da gahnita do pegmatito Alto Mirador, obtida a partir de um difratômetro *Rigaku DMAX100*. Padrões utilizados: O’Neil & Dollase (1994).

Os resultados de difração de raios X e refinamento Rietveld indicam a presença da fase única da $ZnAl_2O_4$ (gahnita), com simetria cúbica e grupo espacial $Fd3m$ (espinélio). Os resultados obtidos por refinamento Rietveld exibem parâmetros de cela unitária: $a=b=c= 8,07995 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma$

$= 90^\circ$, volume da célula unitária $V = 527,505 \text{ \AA}^3$ e densidade $d_{\text{calc}} = 4.497 \text{ g/cm}^3$. Esses valores são coerentes com valores citados por Deer *et al.* (2010). A partir do refinamento Rietveld obteve-se a estrutura cristalina da gahnita, conforme Figura 4.

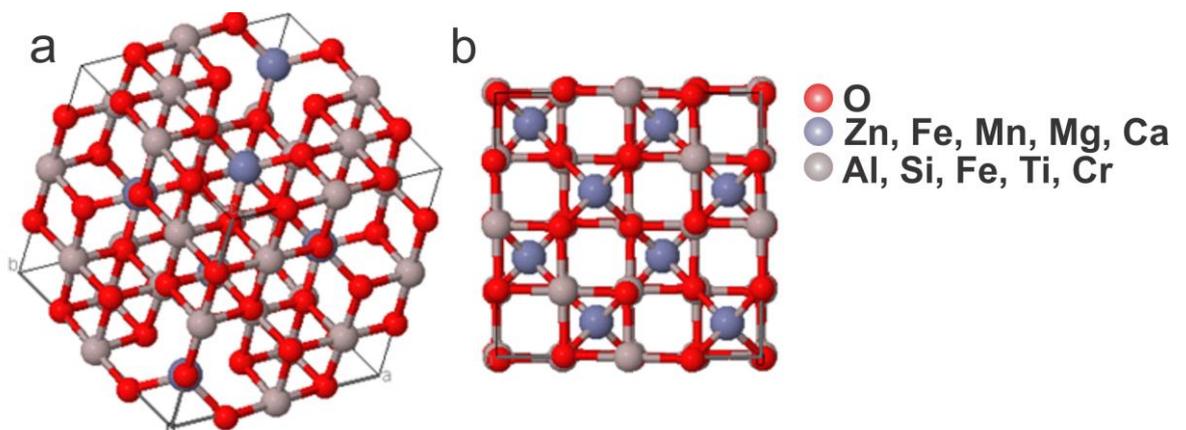


Figura 4 – Representação da estrutura cristalina da gahnita do pegmatito Alto Mirador. a) Arranjo atômico na direção [111] e b) Arranjo atômico na direção [100].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na PPB registra-se a presença de gahnita em diversos pegmatitos, entre eles Alto Mirador, Pinga, Quintos, Capoeira 1 e 2, Caiçara e Roncadeira. Ganhitas com qualidade gemológica, somente foram encontradas, até o momento, no pegmatito Alto Mirador. Tratam-se de cristais com até 5 quilates, excelente qualidade gemológica (cores homogêneas, sem inclusões visíveis e com poucas fraturas), nas cores verde clara (“verde cana”) e verde escura (“verde folha”). Normalmente está associada com espessartita, euclásio róseo, bertrandita, além de tantalita, berilo e apatita, em porções ricas em albita na zona intermediária média. As composições químicas médias obtidas por análises de microsonda eletrônica são ${}^A(\text{Zn}_{7,51}\text{Fe}^{2+}_{0,14}\text{Mn}_{0,19}\text{Mg}_{0,06}\text{Ca}_{0,002})_{7,90}{}^B(\text{Al}_{16,06}\text{Si}_{0,004}\text{Ti}_{0,003}\text{Cr}_{0,001})_{16,07}\text{O}_{32}$ para a gahnita verde clara e ${}^A(\text{Zn}_{6,98}\text{Fe}^{2+}_{0,38}\text{Mn}_{0,21}\text{Mg}_{0,44}\text{Ca}_{0,001})_{8,01}{}^B(\text{Al}_{15,95}\text{Fe}^{3+}_{0,04}\text{Si}_{0,004}\text{Ti}_{0,002}\text{Cr}_{0,001})_{16}\text{O}_{32}$ para a gahnita verde escura. A composição química e molecular e a estrutura cristalina da gahnita sugerem que ela é uma fase mineral quase pura, além de ter uma estrutura similar à estrutura padrão para esse mineral.

Os parâmetros obtidos por refinamento Rietveld mostram celda unitária: $a=b=c = 8,07995 \text{ \AA}$, $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $\gamma = 90^\circ$, volume da célula unitária $V = 527,505 \text{ \AA}^3$ e densidade $d_{\text{calc}} = 4.497 \text{ g/cm}^3$, valores típicos do mineral gahnita. Os picos do difratograma da gahnita do pegmatito Alto Mirador são praticamente coincidentes com o padrão de raios X de O’Neil & Dollase (1994), mostrando que esse mineral tem estrutura cristalina similar ao padrão. A entrada de pequenas quantidades de elementos como Fe, Mn, Mg, Si, Cr, entre outros, praticamente não alterou a estrutura básica da gahnita.

REFERÊNCIAS

- Alfonso, A.P.; Corbella, M.C. & Melgarejo, J.C. 1995. Nb-Ta minerals from the Cap the Creus pegmatite field, eastern Pyrenees: distribution and geochemical trends. *Mineralogy and Petrology*, 55:53-69.
- Beurlen, H.; Thomas, R.; Melgarejo, J.C.C.; Da Silva, M.R.; Rhede, D.; Soares, D.R. & Da Silva, M.R.R. 2013. Chrysoberyl-sillimanite association from Roncadeira pegmatite, Borborema Province, Brazil: implications for gemstone exploration. *Journal of Geosciences*, 58:79-90.
- Bitner, J.; Heimann, A.; Wise, M.; Soares, D.R. & Ferreira, A.C.M. 2011. Garnet and gahnite from the Borborema Pegmatite Province, Northeastern Brazil, as indicators of pegmatite evolution and potential for rare-metal mineralization. GSA Annual Meeting, Minneapolis. In: GSA Abstracts with Programs, 43(5): 413.
- Bleicher, L.Sasaki, J.M. & Paiva Santos, C.O. 2000. Development of a graphical interface for the Rietveld refinement program DBWS, *J. Appl. Cryst.*, 33: 1189.
- Cerny, P. & Hawthorne, F.C. 1982. Selected peraluminous minerals. In: *Granitic Pegmatites in Science and Industry* (P. Cerny, Ed.). Mineralogical Association of Canada (Short Course), 8:163-186.
- Deer, W.A.; Howie, R.A. & Zussman, J. 2010. *Minerais constituintes das rochas – uma introdução*. Fundação Calouste Gulbenkian, 4ª Edição. Lisboa, 727p.
- Ferreira, A.C.M.; Ferreira, J.A.M. & Tavares, J.F. 2000. O pegmatito Alto Mirador: descrição e mineralogia. XVIII Simpósio de

- Geologia do Nordeste. Boletim 16. Recife, p.157.
- O'Neill, H.S.C.; Dollase, W.A. 1994. Crystal structures and cation distributions in simple spinels from powder XRD structural refinements: $MgCr_2O_4$, $ZnCr_2O_4$, Fe_3O_4 and the temperature dependence of the cation distribution in $ZnAl_2O_4$. *Physics and Chemistry of Minerals*, 20:541-555.
- Rodrigues da Silva, R. & Santiago, O. 1961. Mineralogia da gahnita de Acari e Carnáuba dos Dantas (R.G.N.). Boletim do Instituto de Geologia da Universidade do Recife, Mineralogia, 1:21-33.
- Soares, D.R.; Beurlen, H.; Ferreira, A.C.M & Da Silva, M.R.R. 2007. Chemical composition of gahnite and degree of pegmatite fractionation in the Borborema Pegmatitic Province, northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79(3):395-404.
- Young, R.A.; Larson, A.C. & Paiva Santos, C.O. 2000. Program DBWS-9807A-Rietveld analysis of X-ray and neutrons powder diffraction patterns. User Guide 2000.