

**ESTUDO DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO UV-VIS
DA GAHNITA GEMOLÓGICA DO PEGMATITO ALTO MIRADOR,
PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA, NE DO BRASIL**

Dwight Rodrigues Soares¹
Ana Cláudia Mousinho Ferreira¹
Hartmut Beurlen²
Rodrigo José da Silva Lima³
José Suassuna Filho³
Miguel Lourenço Neto⁴

¹IFPB, Campus Campina Grande, [dwightsoares@yahoo.com.br](mailto:dwrightsoares@yahoo.com.br); a.claudia1@hotmail.com

²Departamento de Geologia, UFPE, beurlen@ufpe.br

³UFCEG/CCT, Unidade Acadêmica de Física, rodrigofisico@gmail.com,
Suassuna@df.ufcg.edu.br

⁴IF do Sertão Pernambucano, campus Petrolina, miguellneto@gmail.com

RESUMO

A gahnita gemológica clara (verde-cana) e escura (verde-folha) do pegmatito Alto Mirador, Província Pegmatítica da Borborema, têm índice de refração que varia entre 1,788 a 1,789 nos cristais claros e de 1,789 a 1,792 nos escuros. As composições químicas médias obtidas por análises de microsonda eletrônica são ${}^A(\text{Zn}_{7,51}\text{Fe}^{2+}_{0,14}\text{Mn}_{0,19}\text{Mg}_{0,06}\text{Ca}_{0,002})_{7,90}{}^B(\text{Al}_{16,06}\text{Si}_{0,004}\text{Fe}^{3+}_{0,004}\text{Ti}_{0,003}\text{Cr}_{0,001})_{16,07}\text{O}_{32}$ para a gahnita verde clara e ${}^A(\text{Zn}_{6,98}\text{Fe}^{2+}_{0,39}\text{Mn}_{0,21}\text{Mg}_{0,44}\text{Ca}_{0,001})_{8,02}{}^B(\text{Al}_{15,95}\text{Fe}^{3+}_{0,04}\text{Si}_{0,004}\text{Ti}_{0,002}\text{Cr}_{0,001})_{16}\text{O}_{32}$ para a gahnita verde escura. Dois espectros de absorção UV-VIS obtidos respectivamente para cristais de gahnita verde clara e gahnita verde escura, respectivamente, para a faixa de 190nm a 1100nm, exibem bandas centradas em aproximadamente 370, 430, 510, 660nm. Estas bandas são atribuídas à presença típica de Fe^{3+} em sítios octaédricos, indicando uma substituição do alumínio por ferro.

Palavras chave: espectroscopia UV-VIS, gahnita gemológica, pegmatito Alto Mirador, Província Pegmatítica da Borborema

ABSTRACT

The gemological gahnites clear (green cane) and dark (green leaf) of the Alto Mirador pegmatite, Borborema Pegmatite Province (BPP) have refractive index (RI) ranging from 1.788 to 1.789 for clear and 1.789 to 1.792 for the dark. The chemical composition from electron microprobe analyses are: light green gahnite - ${}^A(\text{Zn}_{7,51}\text{Fe}^{2+}_{0,14}\text{Mn}_{0,19}\text{Mg}_{0,06}\text{Ca}_{0,002})_{7,90}{}^B(\text{Al}_{16,06}\text{Si}_{0,004}\text{Fe}^{3+}_{0,004}\text{Ti}_{0,003}\text{Cr}_{0,001})_{16,07}\text{O}_{32}$; dark green gahnite - ${}^A(\text{Zn}_{6,98}\text{Fe}^{2+}_{0,39}\text{Mn}_{0,21}\text{Mg}_{0,44}\text{Ca}_{0,001})_{8,02}{}^B(\text{Al}_{15,95}\text{Fe}^{3+}_{0,04}\text{Si}_{0,004}\text{Ti}_{0,002}\text{Cr}_{0,001})_{16}\text{O}_{32}$. Gahnite samples were subjected to UV-visible spectroscopy to obtain two spectra (one for green light gahnite and one for dark green gahnite). The absorption spectrum of UV-visible obtained for range 190nm to 1100nm, exhibits bands centered at approximately 370, 430, 510, 660nm. These bands are typically attributed to the presence of Fe^{3+} in octahedral sites, indicating a replacement of aluminum by iron.

Keywords: UV-visible spectroscopy, gemological gahnite, Alto Mirador pegmatite, Borborema Pegmatite Province

INTRODUÇÃO

A gahnita com fórmula ideal ZnAl_2O_4 é um mineral do grupo do espinélio, que ocorre geralmente nas cores verde ou azul. Os minerais desse grupo têm fórmula geral $\text{A}^{2+}\text{B}^{3+}_2\text{O}_4$ com 32 íons de oxigênio e 8 cátions na posição A, com domínio de Zn (no caso da gahnita) podendo ser substituído por Fe^{2+} , Mg, Mn^{2+} , Co^{2+} e Ni^{2+} e 16 cátions na posição B com domínio de Al na gahnita, mas podendo ser substituído por Fe^{3+} , Cr, Ti (Deer *et al.*, 2010 e Klein & Dutrow, 2012).

Para Batchelor & Kinnaird (1984), a cor verde em gahnitas se deve a uma combinação entre o ferro ferroso (Fe^{2+}) e o ferro férrico (Fe^{3+}), enquanto a cor azul está relacionada ao cátion Fe^{2+} .

Apesar da gahnita não ser um mineral incomum como componente acessório em pegmatitos, muito raramente apresenta qualidade gemológica, sendo, por isso, pouco citado na literatura especializada. Assim “as ocorrências são limitadas e pouco são os cristais que apresentam qualificação para gemas” segundo Franco (1957) e constituem “uma raridade para o colecionador” (Schumann, 1983) ou ainda “espécies lapidadas de gahnita, virtualmente espinélio de zinco puro, têm sido encontrados, mas são raros demais, não passando de um item para colecionadores” (Anderson, 1984).

Na Província Pegmatítica da Borborema (PPB), no Nordeste do

Brasil, conhecida como produtora de várias gemas como água marinha, heliodoro, morganita, euclásio, espessartita e turmalinas, incluindo a excepcional elbaíta azul turquesa, conhecida internacionalmente por “turmalina Paraíba” (Paraíba tourmaline) destaca-se também uma única ocorrência gemológica de gahnita,

Este mineral foi citado inicialmente na PPB por Murdoch (1958) como ocorrendo no pegmatito Alto Boqueirão e descrito pioneiramente por Rodrigues da Silva & Santiago (1961), nos pegmatitos Pihauí e Maracujá. Ocorre também no Alto Mirador (Ferreira, 1997; Ferreira *et al.*, 2003), Quintos, Capoeira 1 e 2 (Soares, 2004; Soares *et al.*, 2007) e Roncadeira (Beurlen *et al.*, 2012). Com qualidade gemológica, no entanto, somente foi encontrada no pegmatito Alto Mirador, estudada neste trabalho, ocorrendo nas cores verde-cana (claro) e verde-folha (escuro), com ligeiras variações nestas tonalidades.

PEGMATITO ALTO MIRADOR

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 (Fig. 1), inserido na PPB, com dimensões aflorantes de 150m x 4m, com direção de N70°W e forte mergulho de 80°N, heterogêneo, encaixado em quartzitos neoproterozóicos da Formação Equador.

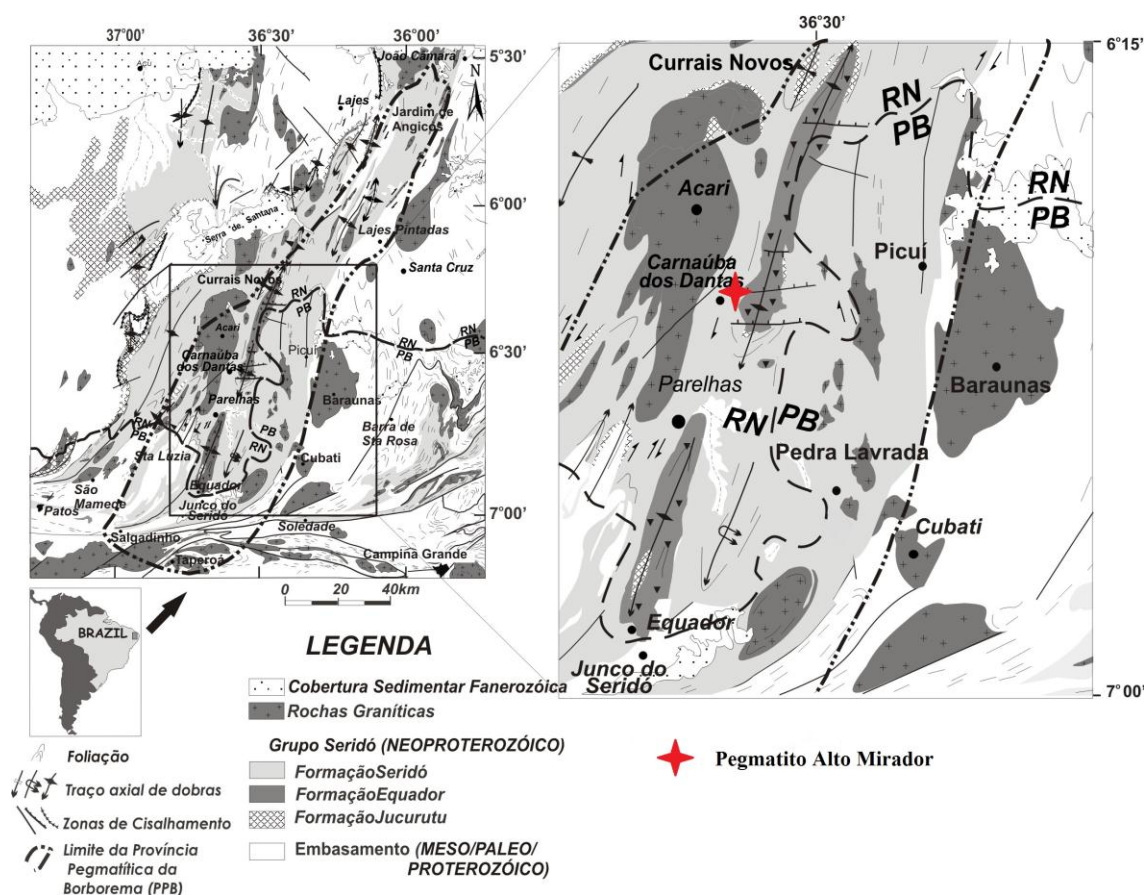


Figura 1 – Localização do pegmatito Alto Mirador em mapa geológico simplificado com delimitação da PPB

Seu zoneamento interno é constituído das seguintes unidades, conforme Ferreira *et al.* (2000):

- Zona de muro está em contato direto com o quartzito encaixante, sendo 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.

MÉTODOS UTILIZADOS

Foram selecionados 2 cristais de gahnita do pegmatito Alto Mirador para análises químicas, através de microsonda eletrônica (MSE) no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP) obtendo-se 6 análises pontuais em cada cristal. Utilizou-se um equipamento JEOL, modelo JXA-8600, de 5 espectrômetros (4 WDS e 1 EDS), sob condições de 15kv, com diâmetro do feixe de 3µm e tempo de contagem de 20 segundos para todos os elementos. Os cristais analisadores utilizados foram TAP, PET e LIF, com os seguintes padrões internos: Wollastonita (Si -Kα, Ca-Kα), TiO₂ (Ti-Kα), anortita (Al-Kα), olivina (Fe-Kα), espessartita (Mn -Kα), diopsídio (Mg-Kα), ZnO (Zn-Kα) e Cr₂O₃ (Cr-Kα).

A composição estequiométrica em átomos por fórmula unitária (apfu) foi calculada normatizada para 32 oxigênios, conforme Deer *et al.* (1981), considerando-se a fórmula estrutural $R^{2+}_8R^{3+}_{16}O_{32}$, onde R₈ e R₁₆ são respectivamente os sítios estruturais A e B da fórmula AB₂O₄. As concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ foram estimadas pelo método de Droop (1987).

A densidade foi obtida com balança hidrostática convencional, modelo RECORD com capacidade máxima de 200g e o índice de refração (IR) utilizando refratômetro Eickhorst para sólidos, modelo GEMled, com iluminação interna e líquido de refração de IR = 1,81, ambos do Centro Gemológico do Nordeste, da UFCG.

Os espectros de absorção UV-VIS foram obtidos em um

espectrofotômetro VARIAN, modelo CARY 50, com lâmpada de Arc-Xenônio pulsada, utilizando um intervalo de varredura entre 190nm e 1100nm, do Laboratório de Espectroscopia Fotoacústica da Unidade Acadêmica de Física da UFCG. O feixe de luz produzido pela a lâmpada é monocromatizado e posteriormente dividido em dois por meio de um divisor “beam splitter”, sendo que um atravessa a amostra e o outro atravessa o meio de referência (ar). Devido a isso, foram utilizadas placas polidas de gahnita com aproximadamente 1mm de espessura para que se tornassem transparentes ou translúcidas. Os espectros de absorção registrados são constituídos pela comparação de intensidade nos detectores de silício entre os feixes de referência e o transmitido pela amostra.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA GAHNITA

Os cristais de gahnita provenientes do pegmatito Alto Mirador, conforme Tabelas 1 e 2, são caracterizados pelo alto conteúdo de Zn (7,51apfu e 6,98 apfu, para as gahnitas verde clara e escura, respectivamente), o que corresponde a 93,9 e 87% do total teórico do sítio estrutural A (8,00 apfu) respectivamente, significando que no caso das mais claras trata-se de gahnita quase pura, indicando elevado grau de fracionamento do magma pegmatítico no Alto Mirador, em comparação com a gahnita de outro pegmatitos da PPB (Soares *et al.*, 2007). O conteúdo de outros elementos (Fe, Mg, Mn, Ca, Ti, Si, Al, Cr) também é coerente com a composição química teórica deste mineral, citada por autores como, Černý & Hawthorne (1982), Batchelor & Kinnaird (1984), Soares (2004), Deer *et al.* (2010).

Tabela 1: Dados químicos representativos da gahnita verde clara do pegmatito Mirador, amostra MR-001, analisadas por microsonda eletrônica (IG-USP), com cátions calculados para 32 (O), conforme Deer *et al.* (2010) e Fe^{2+} e Fe^{3+} estimados pelo método de Droop (1987). Ghn = gahnita; Hc = hercinita; Spl = espinélio; Glx = galaxita (símbolos conforme Whitney & Evans, 2010)

Óxidos (% peso)	1	2	3	4	5	6	Valor Médio
SiO_2	0,008	0,022	0,007	0,006	0,000	0,054	0,016
TiO_2	0,003	0,000	0,000	0,053	0,009	0,033	0,016
Al_2O_3	56,560	55,727	55,813	55,674	56,787	56,769	56,222
Cr_2O_3	0,000	0,001	0,015	0,000	0,013	0,000	0,005
FeO	0,739	0,666	0,719	0,657	0,652	0,704	0,690
MnO	0,902	0,923	0,919	0,883	0,993	0,941	0,927
MgO	0,171	0,154	0,159	0,178	0,157	0,133	0,159
ZnO	41,742	42,498	42,370	42,548	41,377	41,355	41,982
CaO	0,011	0,009	0,000	0,000	0,012	0,012	0,007
Total	100,136	100,000	100,002	99,998	100,002	100,001	100,023
apfu							
Zn	7,444	7,632	7,606	7,643	7,372	7,365	7,510
Fe^{2+}	0,149	0,122	0,146	0,121	0,132	0,142	0,135
Mn	0,185	0,190	0,189	0,182	0,203	0,192	0,190
Mg	0,062	0,056	0,058	0,065	0,056	0,048	0,058
Ca	0,003	0,002	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002
Total A	7,843	8,002	7,999	8,011	7,766	7,750	7,895
Al	16,102	15,978	15,996	15,966	16,152	16,141	16,056
Si	0,002	0,005	0,002	0,001	0,000	0,013	0,004
Ti	0,001	0,000	0,000	0,010	0,002	0,006	0,003
Cr	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,001
Fe^{3+}	0,000	0,013	0,000	0,013	0,000	0,000	0,004
Total B	16,105	15,996	16,001	15,990	16,156	16,160	16,068
Ghn	94,95	95,40	95,09	95,41	94,96	95,07	95,15
Hc	1,90	1,53	1,83	1,51	1,70	1,83	1,72
Spl	0,79	0,70	0,73	0,81	0,72	0,62	0,73
Glx	2,36	2,38	2,36	2,27	2,61	2,48	2,41

Tabela 2: Dados químicos representativos da gahnita verde escura do pegmatito Mirador, amostra MR-001a, analisadas por microsonda eletrônica (IG-USP), com cátions calculados para 32 (O), conforme Deer *et al.* (2010) e Fe^{2+} e Fe^{3+} estimados pelo método de Droop (1987). Ghn = gahnita; Hc = hercinita; Spl = espinélio; Glx = galaxita (símbolos conforme Whitney & Evans, 2010)

Óxidos (% peso)	7	8	9	10	11	12	Valor Médio
SiO_2	0,040	0,017	0,000	0,000	0,031	0,015	0,017
TiO_2	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,013
Al_2O_3	56,097	56,366	56,223	56,624	56,487	56,619	56,403
Cr_2O_3	0,000	0,023	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004
FeO	2,073	2,077	2,031	2,084	1,963	2,140	2,061
MnO	1,089	0,923	1,037	0,996	0,998	1,030	1,012
MgO	1,332	1,285	1,227	1,174	1,181	1,249	1,241
ZnO	39,338	39,307	39,480	39,462	39,340	39,529	39,409
CaO	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000	0,008	0,002
Total	99,999	100,001	99,999	100,344	100,000	100,639	100,164
apfu							
Zn	6,980	6,970	7,008	6,977	6,976	6,969	6,980
Fe^{2+}	0,417	0,385	0,341	0,401	0,394	0,390	0,388
Mn	0,222	0,188	0,211	0,202	0,203	0,208	0,206
Mg	0,477	0,460	0,440	0,419	0,423	0,445	0,444
Ca	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001
Total A	8,096	8,004	8,000	8,000	7,996	8,014	8,018
Al	15,891	15,956	15,933	15,984	15,992	15,936	15,949
Si	0,010	0,004	0,000	0,000	0,007	0,004	0,004
Ti	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,002
Cr	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Fe^{3+}	0,080	0,032	0,067	0,016	0,000	0,037	0,039
Total B	15,986	15,996	16,000	16,000	15,999	15,986	15,995
Ghn	86,22	87,09	87,60	87,22	87,24	86,98	87,06
Hc	5,15	4,81	4,26	5,01	4,93	4,87	4,84
Spl	5,89	5,75	5,50	5,24	5,29	5,55	5,54
Glx	2,74	2,35	2,64	2,53	2,54	2,60	2,56

A gahnita verde clara se distingue quimicamente da verde escura pelos conteúdos de Fe e Mg menores (em média 0,135 apfu Fe e 0,058 Mg), que na verde escura são de 0,388 Fe e 0,444 Mg). Diferença menos proeminente é observada para o Mn (0,19 na clara e 0,206 na escura). Os valores de Cr, Si, Ti variam dentro da faixa de erro analítico do método.

As gahnitas verde clara têm uma composição molecular média, em termos de gahnita (Ghn), hercinita (Hc), espinélio (Spl) e galaxita (Glx) de $Ghn_{95,1}Hc_{1,8}Spl_{0,7}Glx_{2,4}$, enquanto que a gahnita verde escura tem uma composição molecular média de $Ghn_{87,1}Hc_{4,8}Spl_{5,5}Glx_{2,6}$.

MINERALOGIA E GEMOLOGIA

No pegmatito Alto Mirador a gahnita ocorre nas cores verde “cana”

(claro) e verde “folha” (escuro), como mostrado nas Figuras 2, 3 e 4, ambas com boa transparência, e geralmente associadas a cleavelandita e espessartita, exibindo frequentemente o hábito típico octaédrico com faces estriadas, brilho vítreo e fratura conchoidal e clivagem pouco pronunciada (Ferreira *et al.*, 2003). Elas apresentam as seguintes propriedades mineralógicas e gemológicas: dureza variando entre 7,5 e 8,0, em 6 amostras; densidades variando entre 4,38 e 4,74g/cm³, com valor médio de 4,59g/cm³ para 6 amostras, segundo Ferreira (1997). Para a obtenção dos índices de refração (IR) foram utilizadas 8 amostras lapidadas, pesando entre 0,5 e 1ct, sendo 4 claras e 4 escuras. Os IR medidos foram 1,788 a 1,789 para os cristais claros e 1,789 a 1,792 para os escuros.



Figura 2 – Lote bruto de gahnitas verde claro e verde escuro do pegmatito Alto Mirador. O cristal em destaque tem (1,4 x 1,0) mm



Figura 3 – Gahnitas verde claro e escuro, facetadas em lapidação oval, medindo 0,8 x 0,6 mm



Figura 4 – Cristais de gahnita. A amostra na cleavelandita mede 1,4 x 1,2 mm e o cristal na pinça pesa 2,5 gramas

A partir de estudos gemológicos das gahnitas do Alto Mirador, Ferreira (1997), identificou os seguintes tipos de inclusões sólidas e gasosas:

- Inclusões protogenéticas de zircão e de mineral metálico de cor amarela, provavelmente ouro.
- Inclusões singenéticas de tantalita tabular, cristais octaédricos de espinélio (a própria gahnita ou magnetita), alguns deles geminados.
- Abundantes inclusões epigenéticas gasosas, em fissuras, sem a presença de líquido.

ESTUDO DAS CORES POR UV-VIS

Todos os espectros de absorção UV-VIS da gahnita verde foram obtidos para a faixa de comprimento de onda de

190 a 1100nm e exibem bandas centradas em aproximadamente 370, 430, 510, 660 nm. As Figuras 5 e 6 exibem os espectros de absorção na faixa de 300 a 1100nm com as intensidades normalizadas para uma melhor visualização. Estas bandas são atribuídas à presença típica de Fe^{3+} em sítios octaédricos (Burns, 2005), indicando uma possível substituição do alumínio por ferro (Fe^{3+}). Adicionalmente, observou-se a presença de um pico centrado em aproximadamente 460nm atribuído à presença de Mn^{3+} (Burns, 2005), em ambos os espectros. Um estudo do campo cristalino encontra-se em andamento para confirmação das linhas espectrais e valências para os íons

de Fe e Mn, devido à presença dos mesmos nos resultados de microsonda eletrônica.

A influência na cor dessas gahnitas pode está associada em maior contribuição as posições e intensidades das bandas atribuídas ao (Fe^{3+}) e em menor ao pico do Mn^{3+} . Os espectros para as amostras verde clara e verde escuras exibem picos nas mesmas posições. Podemos observar na figura 7 que os espectros de transmissão para

região visível estão com um máximo centrado aproximadamente 530nm, indicando que temos uma maior transmissão de fótons com esse comprimento de onda (verde). Percebemos que para a amostra verde escura temos uma banda bem mais acentuada centrada em 530nm indicando uma maior seletividade dos comprimentos de onda transmitidos, podendo ser um fator determinante para cor mais escura.

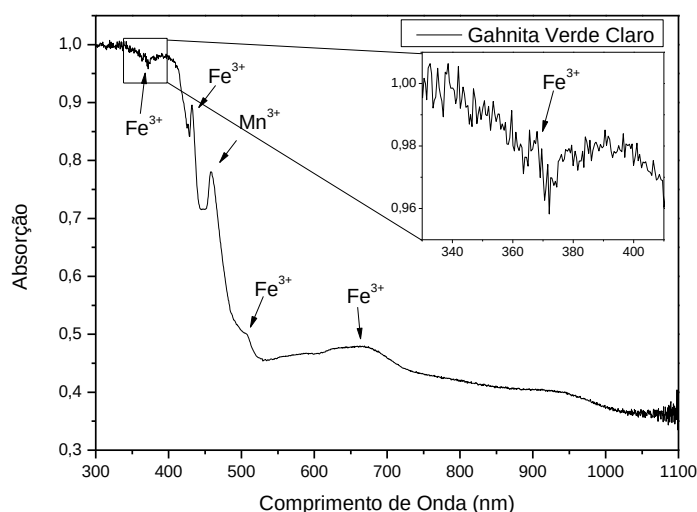


Figura 5 – Espectro de absorção UV-VIS da gahnita verde clara do pegmatito Alto Mirador, para comprimentos de onda na faixa de 300 a 1100nm.

Podemos observar a relação entre as intensidades das bandas de absorção 660nm e 510nm. Na amostra verde escura a banda centrada em 660nm é mais proeminente que a centrada em 510nm gerando uma região de vale bem mais estreita quando comparada com a amostra verde clara onde acontece o contrário, também

evidenciada nos espectros de transmissão da figura 7. Isso pode estar relacionado à diferença nas concentrações de Fe^{3+} das amostras, pois essa banda centrada em 660nm está relacionada com a transição eletrônica mais intensa para o mesmo (${}^6\text{A}_1({}^6\text{S}) \leftrightarrow {}^2\text{E}({}^2\text{T})$).

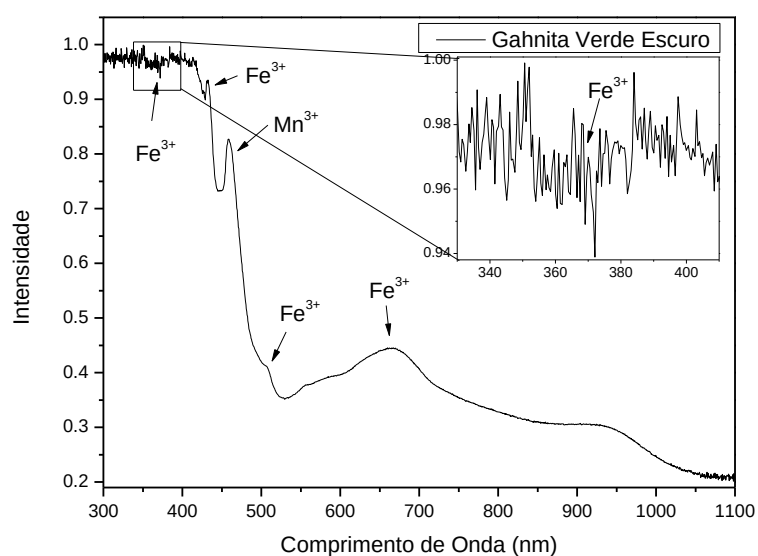


Figura 6 – Espectro de absorção UV-VIS da gahnita verde escuro do pegmatito Alto Mirador, para comprimento de onda na faixa de 200 a 1000nm

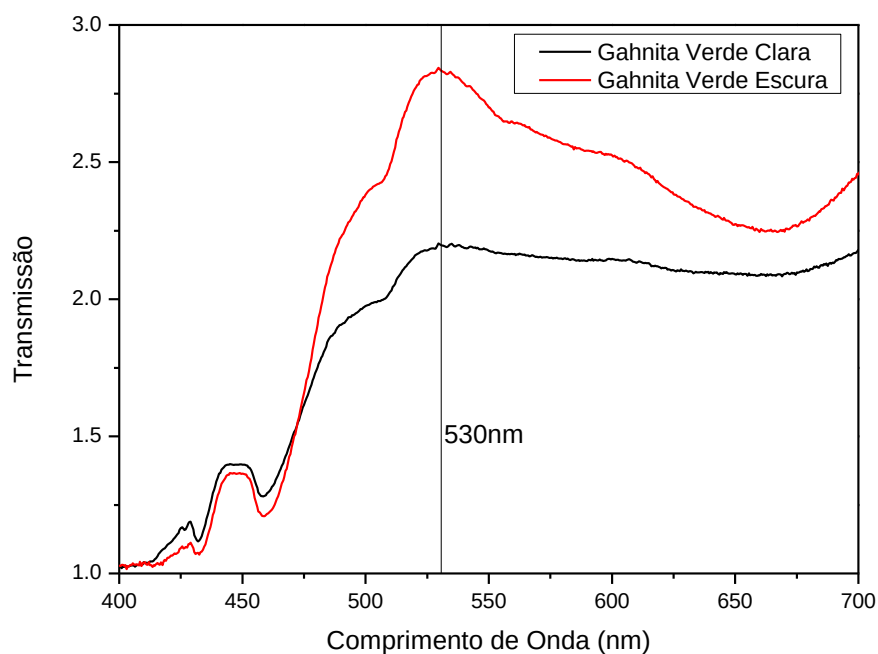


Figura 7 – Espectro de transmissão UV-VIS das gahnitas verde claro e verde escuro do pegmatito Alto Mirador, para comprimentos de onda na faixa de 400 a 700nm.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Gahnita não é um mineral acessório incomum em pegmatitos graníticos. Gahnita com qualidade gemológica, entretanto é extremamente rara, conforme observado por vários autores.

Na PPB registra-se a presença de gahnita em diversos pegmatitos, entre eles Alto Mirador, Quintos, Capoeira 1 e 2, Caiçara, Pinga entre outros. Com qualidade gemológica, porém somente foi encontrada até o momento no pegmatito Alto Mirador em cristais de até 5 quilates, com excelente qualidade gemológica, 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.

A gahnita de cor verde clara apresenta uma maior valorização comercial que a verde escura, pois esta última tem uma cor mais saturada.

Esse estudo de espectroscopia UV-VIS em cristais de gahnita do pegmatito Alto Mirador indicam que o principal elemento cromóforo responsável por sua cor é o Fe^{3+} , presente na posição estrutural B em pequenas quantidades, atestado a partir de espectros nas gahnitas verde claro e verde escuro, com alguma contribuição do Mn^{3+} .

REFERÊNCIAS

- Anderson, B.W. 1984. A identificação das gemas. Ao Livro Técnico S/A. Rio de Janeiro, 460p.
- Batchelor, R.A. & Kinnaird, J.A., 1984. Gahnite compositions compared. *Mineralogical Magazine*, 48:425-429.
- Beurlen, H.; Thomas, R.; Rhede, D.; Borges, L.E.P.; Soares, D.R. & Yadav, R. 2012. Ocorrência de crisoberilo metamórfico em pegmatito da Província Pegmatítica da Borborema, NE do Brasil. 46º Congresso Brasileiro de Geologia (no prelo).
- Burns, R.G. 2005. *Mineralogical applications of crystal Field Theory*, Cambridge University Press. Cambridge, 560p.
- Černý, P. & Hawthorne, F.C. 1982. Selected peraluminous minerals. In: *Granitic Pegmatites in Science and Industry* (Ed. P. Cerný). 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 Colouste Gulbenkian. Lisboa, 727p.
- Droop, G.T.R. 1987. A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51:431-435.
- Ferreira, J.A.M. 1997. Gemas raras do Seridó – espessartitas e gahnitas do Alto Mirador. *Jornal das Pedras*, 10:18-21.
- 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. Recife, p.157.

- Ferreira, A.C.M.; Soares, D.R.; Ferreira, J.A.M. & Tavares, J.F. 2003. Gahnitas gemas do pegmatito Alto Mirador, Região do Seridó (RN). XX Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza, p.45 XVIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Recife, p.157.
- Franco, R.R. 1957. Pequeno glossário gemológico. *Gemologia*, 15:17-37.
- Klein, C. & Dutrow, B. 2012. Manual de Ciências dos Minerais. Bookman. Porto Alegre, 706p.
- Murdock, J. 1958. Phosphate minerals of the Borborema pegmatites: II – Boqueirão. *American Mineralogist*, 43: 1148-1156
- Rodrigues da Silva, R. & Santiago, O. 1961. Mineralogia da gahnite de Acari e Carnaúba dos Dantas (R.G.N.) *Boletim do Instituto de Geologia da Universidade do Recife. Mineralogia*, 1:21-33.
- Schumann, W. 1983. Gemas do Mundo. Ao Livro Técnico S/A. Rio de Janeiro, 254p.
- Soares, D.R. 2004. *Contribuição à petrologia de pegmatitos mineralizados em elementos raros e elbaítas gemológicas da Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências - UFPE. Recife, 271p.
- Soares, D.R.; Beurlen, H.; Ferreira, A.C.M. & Da Silva, M.R.R. 2007. Chemical composition of gahnite and degree of pegmatitic fractionation in the Borborema Pegmatitic Province, Northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79(3):395-404.
- Withney, D.L. & Evans, B.W. 2010. Abreviation for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95:185-187.