

CARACTERIZAÇÃO CRISTALOFÍSICA E CRISTALOQUÍMICA DE UMA TURMALINA - (FE) ORIUNDA DE PEGMATITO DA REGIÃO DE SOLONÓPOLE NO ESTADO DO CEARÁ

CRYSTALLOPHYSICAL AND CRYSTALLOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF A TOURMALINE - (FE) FROM PEGMATITE FROM THE SOLONÓPOLE REGION IN THE STATE OF CEARÁ

Débora Macêdo do Nascimento Freire ^{1*}, Lucilene dos Santos ¹, José Gervásio Freire Junior ², Bruno Sousa Araújo ³, Alejandro Pedro Ayala ³

¹ Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Fortaleza, Ceará, Brasil. *autor correspondente, e-mail: deboramacedo.geo@gmail.com

² JGgeo geologia e meio ambiente, Fortaleza, Ceará, Brasil.

³ Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Física, Fortaleza, Ceará, Brasil.

<https://doi.org/10.51359/1980-8208.2023.261513>

RESUMO

O Distrito Pegmatítico de Solonópole-Banabuiú (DPSB) está localizado na porção centro-oeste do Estado do Ceará, encaixado no embasamento paragnáissico do Domínio Ceará Central da Província Borborema. É o de maior expressão econômica da região e tem suas principais mineralizações associadas ao caráter lítio-berilo-tantalífero dos corpos. Nesta pesquisa foi selecionado um pegmatito localizado no município de Solonópole no DPSB. É classificado como pegmatito misto entre os tipos homogêneo e heterogêneo, não apresentando zoneamento bem definido. É um pegmatito complexo, formando corpos de substituição (bolsões) de muscovita, quartzo e berilo, com cristais bem desenvolvidos. Enquadra-se na classe dos Elementos Terras Raras, da família LCT. Sua mineralogia difere de outros pegmatitos da região pela presença de minerais de lítio, a turmalina apresenta uma variação de cor do verde para azul. A caracterização cristaloquímica se deu por análise de microsonda eletrônica e a amostra obteve os seguintes teores para elementos maiores ($\text{Al}_2\text{O}_3=34,18\%$, $\text{MgO}=1,10\%$, $\text{FeO}=11,44\%$) classificada como elbaíta/oxi-schorlita. As turmalinas do Pegmatito de Solonópole são oxi-espécies, caindo no limite do campo dos pegmatitos graníticos e aplitos ricos em Li e estágio endogranítico/endogreisen. A caracterização cristaloquímica através da difração de raios-X em monocristal foi realizada em amostras de turmalina, apresentando uma estrutura cristalina romboedral, grupo espacial $R3m$ e os parâmetros da cela unitária sendo $a=15,90 \text{ \AA}$, $b=15,90 \text{ \AA}$ e $c=7,12 \text{ \AA}$, considerados favoráveis para um cristal de turmalina rica em Fe.

Palavras-chave: pegmatito; turmalina; microsonda eletrônica; monocristal.

ABSTRACT

The Pegmatitic District of Solonópole-Banabuiú (DPSB) is located in the central-west portion of the State of Ceará, embedded in the paragneissic basement of the Ceará Central Domain of the Borborema Province. It is the most economically significant in the region and its main mineralizations are associated with the lithium-beryl-tantaliferous character of the bodies. In this research, a pegmatite located in the municipality of Solonópole in the DPSB was selected. It is classified as a mixed pegmatite between homogeneous and heterogeneous types, with no well-defined zoning. It is a complex pegmatite, forming replacement bodies (pockets) of muscovite, quartz and beryl, with well-developed crystals. It belongs to the Rare Earth Elements class of the LCT family. Its mineralogy differs from other pegmatites in the region due to the presence of lithium minerals, tourmaline presents a color variation from green to blue. The crystallochemical characterization was carried out by electron microprobe analysis and the sample obtained the following contents for major elements ($\text{Al}_2\text{O}_3=34.18\%$, $\text{MgO}=1.10\%$, $\text{FeO}=11.44\%$) classified as elbaite/oxy-schorlite. The tourmalines of the Solonópole Pegmatite are oxy-species, falling in the limit of the field of granitic pegmatites and Li-rich aplites and endogranitic/endogreisen stage. Crystallophysical characterization through single crystal X-ray diffraction was performed on tourmaline samples, presenting a rhombohedral crystal structure, space group $R3m$ and unit cell parameters being $a=15.90 \text{ \AA}$, $b=15.90 \text{ \AA}$ and $c= 7.12 \text{ \AA}$, considered favorable for a Fe-rich tourmaline crystal.

Keywords: pegmatite; tourmaline; electronic microprobe; single crystal.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de Província Pegmatítica da Borborema foi pioneiramente lançado por Scorza (1944), abrangendo um denso agrupamento de pegmatitos nióbiotantalífero-glucíniferos em partes dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, delimitada aproximadamente pelas coordenadas geográficas $5^\circ 30'$ e $7^\circ 15'$ da latitude S e $35^\circ 45'$ e $37^\circ 15'$ de longitude W, correspondendo à parte oriental da Faixa Seridó. Santos et al. (2014) denominam Província Pegmatítica do Seridó (PPS) para essa província mineral que ocorre nos limites dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, que concentra a maior quantidade de pegmatitos do Nordeste do Brasil.

De acordo com Beurlen et al. (2011), existem na PPB mais de 750 pegmatitos mineralizados principalmente em Be-Li-Ta (Sn), além de milhares de pegmatitos supostamente estéreis de aproximadamente 430 a 540 Ma. Segundo Beurlen et al. (2014) os

pegmatitos seriam do tipo “enriquecidos em elementos raros” e família LCT (Černý & Ercit, 2005).

O Distrito Pegmatítico de Solonópole-Quixeramobim, conhecido desde o início do século XX, tem sido explorado de diferentes maneiras ao longo dos últimos anos. É o distrito de maior expressão econômica presente no Domínio Ceará Central (DCC), possuindo cerca de 2.375 km^2 de área e tem suas principais mineralizações associadas ao caráter lítio-berilo-tantalífero dos corpos (SANTOS et al 2014).

Os pegmatitos da área W e NW de Solonópole (que concentram as principais ocorrências de pegmatitos litiníferos) foram subdivididos em sete grupos (Figura 1), descritos de Sul para Norte (SOUZA, 1985): Grupo I: Logradouro - Belo-Horizonte; Grupo II: Algodão; Grupo III: Soledade; Grupo IV: Nobreza e Alto dos Cristais; Grupo V: Alto Mineiro; Grupo VI: Vargem Torta; Grupo VII: Pegmatitos Peba e Americano.

O pegmatito estudado, foi denominado pela autora de pegmatito Auriverde e está localizado no grupo V que compreende os pegmatitos Alto do Mineiro I e II, e o pegmatito Aroeira, NW de Solonópole. Nestes, houveram produção de amblygonita, berilo, espodumênio, localizados nos corpos de substituição (Souza, 1985). Quanto a classificação de Souza (1985), a área pesquisada está inserida no grupo V.

Além da mineralogia principal, encontra-se turmalina verde e azul, espodumênio, tantalita/columbita berilo industrial e gemológico, e mica rica em Li da série polytitionita-trillionita.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Província Borborema compreende um embasamento gnáissico – migmatítico de idade paleoproterozoica, com núcleos arqueanos remanescentes, retrabalhados na orogênese Riacciana-Orosiriana (2.0 a 2.2 Ga), (Dantas, 1997; Souza et al., 2008). O embasamento é parcialmente coberto por rochas metassedimentares e metavulcânicas de idade Neoproterozoica (Toniano e Brasileiro). Em adição a orogênese Riacciana-Orosiriana a Província Borborema foi afetada pelos eventos Cariris Velhos (1000 Ma – 920 Ma) e Brasileiro (Jardim de Sá, 1994; Van Schmus et al. 1995; Dantas et al., 1998; Fetter, 1999; Brito Neves et al., 2001; Kozuch, 2003; Van Schmus et al., 2003; Neves, 2003; Guimarães et al. 2004; 2012; 2016; Silva Filho et al., 2016; 2017; Holanda et al., 2010). O evento Brasileiro afetou toda a Província Borborema e foi responsável por intenso magmatismo granítico, desenvolvimento de zonas de cisalhamentos de escalas continentais e metamorfismo em condições de alta temperatura e baixa pressão.

A subprovíncia Norte, onde está situada a área estudada, compreende os domínios Rio Grande do Norte, Ceará e Médio Coreá. Esta subprovíncia

compreende rochas de idade Paleoproterozoica (2,2 Ga – 2,1 Ga) constituído por ortognaisses e migmatitos (Dantas, 1997; Souza et al., 2008; Holanda et al., 2011).

O Domínio Ceará Central compreende um arco magmático e cinturão dobrado metamorfizado em condições de alta pressão, com paragêneses que atingem a fácies eclogito, situado entre o Lineamento Transbrasiliano, a NW, e a zona de cisalhamento transcorrente Senador Pompeu, a SE (Santos et al., 2014). Em termos tectono-estratigráficos apresenta a seguinte organização: i) sequência metassedimentar neoproterozoica do Complexo Ceará (Cavalcante et al., 2003; Castro, 2004; Arthaud, 2008) com idades U-Pb em zircão convencionais entre 740 Ma e 634 Ma, interpretadas como depósitos de margem passiva e que posteriormente foram envolvidas em uma tectônica do tipo fore-arc (Castro, 2004); ii) o complexo granítico-migmatítico Neoproterozoico Tamboril- Santa Quitéria (Campos et al., 1979), datado pelo método U-Pb em zircão com idades no intervalo entre 657 Ma – 591 Ma (Fetter et al., 2003, Castro, 2004; Ziccone, 2011); iii) granitoides Neoproterozoicos/Cambrianos, com idades de cristalização variando de 523 Ma a 460 Ma (Castro et al., 2008; ARCHANJO et al., 2009); iv) molassas Paleozoicas associadas às mega transcorrências brasileiras; e v) magmatismo básico cretáceo representado pelo enxame de diques básicos Rio Ceará- Mirim, relacionado ao rifteamento em escala global e à atividade de hotspot durante a abertura do Atlântico Sul e Equatorial, com idades U-Pb em torno de 130 Ma (Holanda et al., 2006).

Na subprovíncia Ceará Central ocorrem distritos pegmatíticos de menor expressão, seja associado no âmbito das supracrustais Ediacaranas, seja no domínio do embasamento Paleoproterozoico retrabalhado. Ao longo dessas estruturas, granitos, aplitos e

pegmatitos penetraram durante episódios transtensionais, criando espaços que funcionaram como condutos de remobilização dos elementos mineralizantes (Santos et al., 2014).

No Estado do Ceará distinguem-se três distritos pegmatíticos principais: (i) Solonópole-Quixeramobim; (ii) Cristais-Russas e (iii) Itapiúna. Além de minerais de emprego industrial, é comprovada a grande variedade de ocorrência de minerais-gemas nesses distritos, incluindo quartzo, feldspato, rubelita, afrisita, turmalinas verde e azul, fluorita, ametista, água-marinha, dentre outros (Vidal & Nogueira Neto, 2000).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram confeccionadas três lâminas delgadas para caracterização petrográfica e um estudo mais detalhado dos minerais indicadores petrogenéticos, dando ênfase nesta pesquisa para a turmalina (Figura 1). Da mesma amostra que foram confeccionadas as lâminas foi retirado um pequeno fragmento do cristal de turmalina para a difração de raios-X em monocristal.



Figura 1. Amostra coletada para preparação de lâminas delgadas do pegmatito de Solonópole.

A petrografia foi realizada no Laboratório de Microscopia

Eletrônica/LME da Universidade Federal do Ceará/UFC, utilizando um microscópio petrográfico Nikon modelo Eclipse Ci-POL, equipado com mecanismo de captura de imagens.

As análises químicas quantitativas foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da UnB. As seções delgadas polidas foram metalizadas com carbono em câmara de vácuo. As análises químicas desses minerais foram determinadas usando a microsonda eletrônica JEOL JXA-8230 com cinco espectrômetros de dispersão de comprimento de onda (WDS), operada em uma voltagem de aceleração de 15 kV, uma corrente de 10 nA, e um diâmetro de ordem $<5\mu\text{m}$ do feixe eletrônico. Para os recálculos das fórmulas estruturais foram utilizadas planilhas do *Microsoft Office Excel 2013*, para a confecção dos diagramas foi utilizado o programa *Grapher 8 – Golden Software*. O diagrama Henry & Guidotti (1985) (Fe^{3+} - Fe^{2+} -Mg) foi feito usando o Software *WinTcac* (Yavuz, 2014).

A coleta de dados de difração de raios-X em monocristal foi realizada no Laboratório de Cristalografia Estrutural (LabCEs) do departamento de Física da Universidade Federal do Ceará. Os resultados apresentados foram obtidos em um difratômetro *Bruker-AXS Smart-APEXII-CCD* (graus de liberdade em θ , ϕ , ω e κ), utilizando radiação $\text{MoK}\alpha$ monocromática ($0.71073 \text{ \AA}$) em temperatura ambiente. A indexação foi feita no APEX3, assim como a posterior determinação do grupo espacial, no software *Saint v8.34A* (Bruker, 2012) a integração e redução dos dados. Os parâmetros finais foram obtidos usando todas as reflexões.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Petrografia

A rocha investigada é leucocrática, granulação muito grossa, textura pegmatítica preservada, com mineralogia essencial, à vista desarmada, composta por espodumênio, mica rica em Li da série Polyolithionita-Trilitionita, plagioclásio, berilo, quartzo e turmalina verde e azul (Figura

3). Como minerais acessórios encontra-se zircão e óxidos.

O espodumênio é o mineral mais abundante nas lâminas confeccionadas, possui um pleocroísmo variando do cinza para o amarelo, apresenta uma geminação geométrica, seus contatos são retilíneos e serrilhados, grãos euédrico e subeuédrico, inclusões de berilo, turmalinas e Mica rica em Li da série Polyolithionita-Trilitionitas (Figura 2).

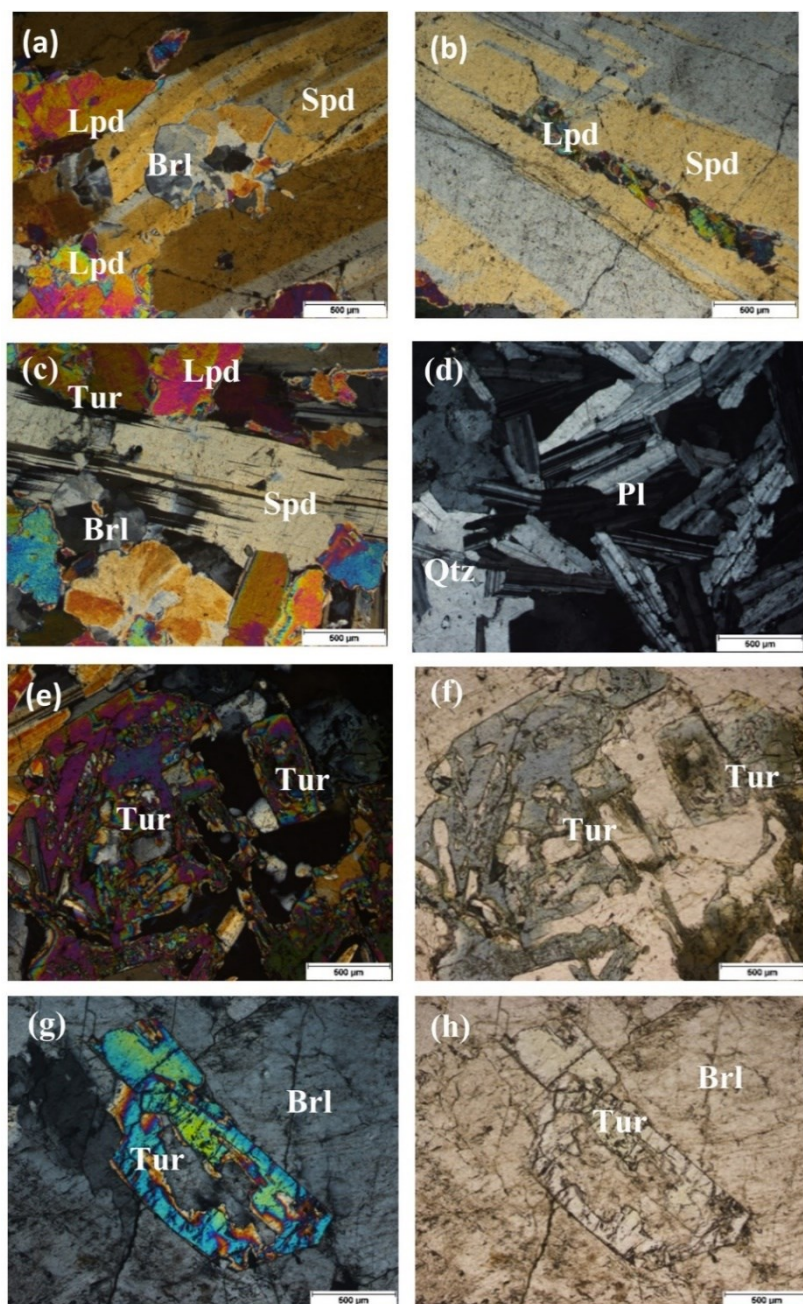


Figura 2. Fotomicrografia - (a) espodumênio (Spd) com inclusão de berilo (Brl) em contato retos e serrilhados com Mica rica em Li da série Polyolithionita-Trilitionita (Lpd); (b) espodumênio (Spd) com inclusão de Mica rica em Li da série Polyolithionita-Trilitionita (Lpd); (c) espodumênio (Spd) com inclusão de berilo (Brl) e turmalina (Tur) em contato retos e serrilhados com Mica rica em Li da série Polyolithionita-Trilitionita (Lpd); (d) Plagioclásio (Pl) imbricado, em contatos serrilhados com quartzo (Qtz), inclusão de zircão (Zr) no quartzo (Qtz); (e) cristal de turmalina (Tur) zonado no sistema ortoscópico; (f) cristal de turmalina (Tur) zonado em luz natural; (g) cristal de turmalina (Tur) zonado incluso em cristal e berilo (Brl) no sistema ortoscópico; (h) cristal turmalina (Tur) zonado incluso em cristal e berilo (Brl) em luz natural.

A Mica rica em Li da série Polyolithionita-Trilitionita tem uma variação

de pleocroísmo de azul para rosa com cores bem intensas, aparecem em formas

de megacristais, aglomeradas ou como inclusões, seus contatos são serrilhados e retilíneos, possuem formas anedrais e subeuédrico.

O plagioclásio presente na lâmina apresenta pequenos cristais aglomerados e imbricados; subeuédrico e anédrico; contatos retilíneos e serrilhados com cristais de quartzo e espodumênio.

O berilo encontra-se com uma textura gráfica, ausente no berilo da mina Mendonça; aparece incluso ou em contato com o espodumênio; contatos serrilhados, cristais anedrais.

O quartzo apresenta forma anedral; extinção ondulante; seus contatos são retilíneos e serrilhados com plagioclásio e Mica rica em Li da série Polyilitonita-Trilitonita.

A turmalina exibe cristais zonados, com pleocroísmo bem intenso variando do verde ao roxo; a luz natural apresenta-se na cor verde e azul; subeuédrico e anédricos; incluso no espodumênio e berilo. Apresenta variações texturais com núcleo de elbaíta e bordas de schorlita (Figura 2F).

O zircão aparece incluso no quartzo, turmalina e Mica rica em Li da série Polyilitonita-Trilitonita.

O óxido encontra-se nas fraturas do espodumênio, nos contatos das porções imbricadas do plagioclásio, incluso na Mica rica em Li da série Polyilitonita-Trilitonita e turmalina.

A amostra analisada é oriunda de um pegmatito misto entre os tipos homogêneo e heterogêneo, não apresentando zoneamento completo visivelmente bem definido. É um pegmatito complexo, formando corpos de substituição (bolsões) de muscovita com cristais bem desenvolvidos. A formação de minerais em bolsões indica o estágio final de cristalização do pegmatito, segundo (London, 1986b).

É enquadrado na classe dos pegmatitos Elementos Terras Raras, da família LCT devido à presença de minerais de Li, como a mica rica em Li da série

polyilitonita-trilitonita e espodumênio, mineral metálico da família dos tantalatos/columbita e minerais gemas como berilo e turmalina nas cores verde, azul e preta (Figura 1).

4.2. Química mineral

Para química mineral utilizou-se análise quantitativa por meio da microsonda eletrônica (Figura 3) e como complementação foram confeccionados diagramas utilizando o programa *Grapher 8 - Goldensoftware®*. O diagrama Henry & Guidotti (1985) (Fe^{3+} - Fe^{2+} -Mg) foi feito usando o Software *WinTcac* (Yavuz, 2014).

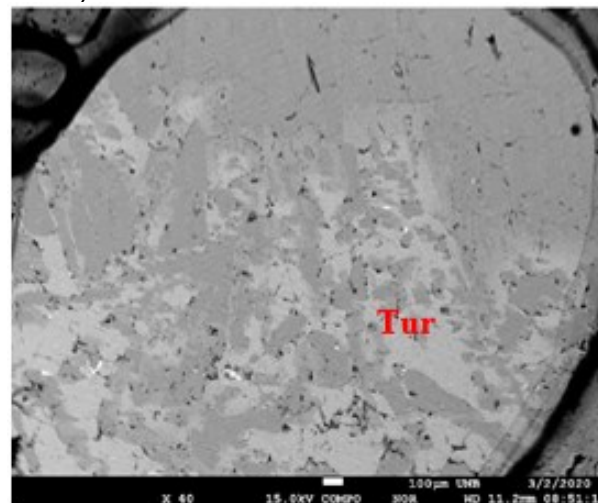


Figura 3. Foto obtida em microsonda eletrônica, com aumento de 40x para a amostra de turmalina do pegmatito de Solonópole mostrando zonas de intercrescimento da turmalina azul e verde indicada pelas cores cinzas claras e escuras.

A turmalina é tipicamente um mineral de pegmatitos graníticos, filões pneumatolíticos e de alguns granitos, mas também ocorre em rochas metamórficas como produto do metassomatismo do boro ou como resultado da recristalização de grãos detríticos, a partir do sedimento original (Deer et al., 2000).

Henry & Guidotti (1985) entendendo que a turmalina é um mineral que pode ser útil como mineral indicador do seu ambiente de formação devido a

sua estabilidade química e mecânica, apesar do grande número de substituições químicas possíveis e de seu forte zoneamento, propuseram um diagrama ternário com vértices representados por Al–Fe–Mg, obtidos a partir de turmalinas provenientes de

diversas litologias. A turmalina do pegmatito de Solonópole macroscopicamente apresenta coloração verde, (Figura 4A), microscopicamente, a luz natural apresenta-se nas cores verde e azul (Figura 4B).

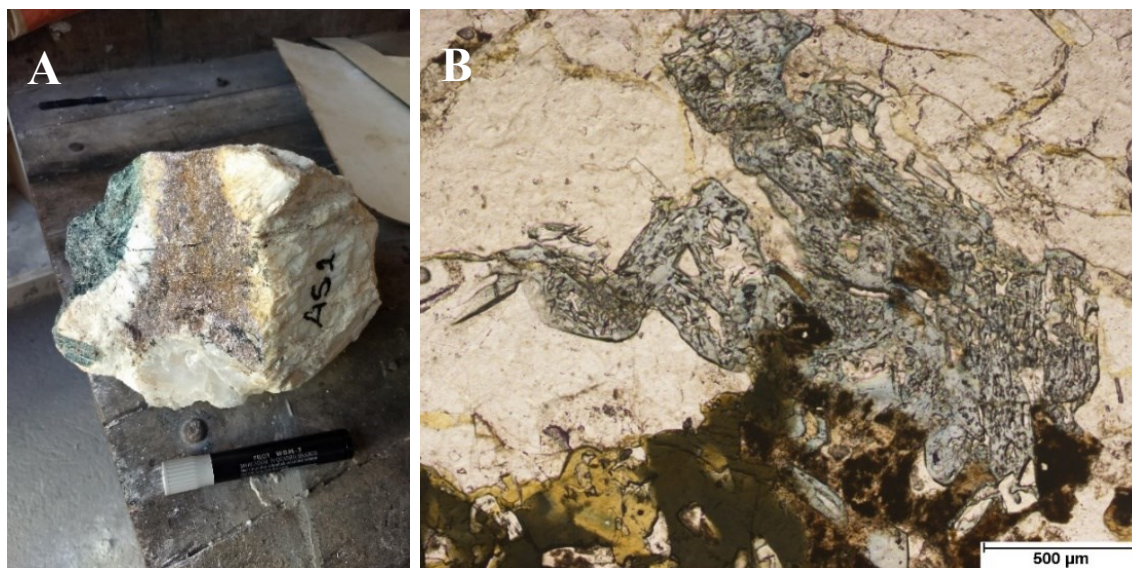


Figura 4. A – amostra coletada para confecção de lâmina delgada apresentando turmalinas na cor verde; B – Amostra observada através do microscópio petrográfico, exibindo a variação composicional da turmalina à luz natural apresentando-se nas cores verde e azul.

Para interpretação dos dados, foi utilizado o software do Yavos (2014). No sistema ternário Ca^{2+} - Vacância sítio-X - $\text{Na}^{1+}(\text{K}^{1+})$ de classificação dos grupos das turmalinas, as amostras estão situadas no grupo alcalino (Figura 5 A).

No sistema ternário O^{2-} - F^{1-} - OH^{1-} de espécies de turmalinas, as amostras do pegmatito de Solonópole encontram-se no campo das oxi-espécies (Figura 5 B).

No sistema ternário Fe^{2+} - Li^{1+} - Mg^{2+} a amostra encontra-se disposta no campo das schorlitas. No sistema ternário Fe^{2+} - Li^{1+} - Mg^{2+} de classificação das oxi-espécies, a turmalina localizou-se no campo das oxi-schorlitas. (Figura 5 C e D).

No subsistema ternário V^{3+} - Cr^{3+} - Al^{3+} (baixo F^{3+}) usado para explicar a ocupação dominante do sítio-Z, as amostras enquadram-se no campo do Al-dominante (Figura 6 A).

No diagrama de espécies generalizadas de turmalinas ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ vs. $x_{\square}/(x_{\square} + \text{Na}^{1+} + \text{K}^{1+})$, as amostras localizam-se no campo turmalinas-schorlíticas (Figura 6 B).

No diagrama de espécies generalizadas de turmalinas ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ vs. $x_{\square}/(x_{\square} + \text{Na}^{1+} + \text{K}^{1+})$, as amostras localizam-se no campo turmalinas-schorlíticas (Figura 7 A) e no Diagrama sítio-Y [Al (Al+Fe)] vs. Sítio-X [Ca (Ca+Na)] a amostra está localizada no limite shorlita/elbaita, fluor elbaita.

No diagrama de Li (apfu) vs. Mg (apfu), as amostras estão situadas no campo da elbaíta (Figura 8).

No diagrama ternário Al-Fe-Mg as amostras estão situadas no campo da oxi-schorlita (Figura 9).

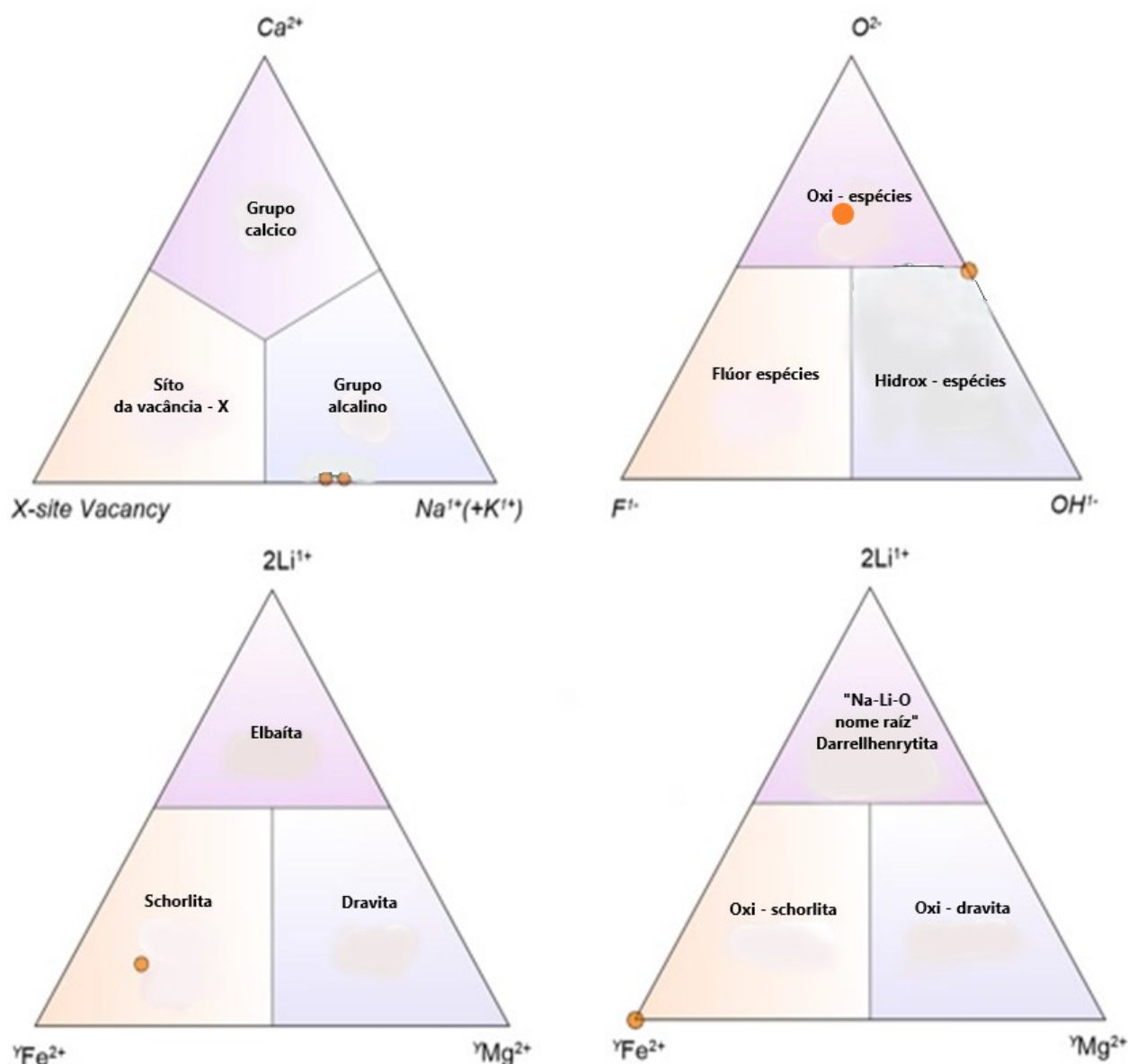


Figura 5. (a) Classificação dos grupos de turmalinas primárias no sistema ternário Ca²⁺ - Vacância sítio-X - Na¹⁺(K¹⁺) baseado na ocupação dominante no sítio-X. (b) Plotagem de espécies turmalinas no sistema ternário O²⁻ - F¹⁻ - OH¹⁻ baseado em ocupação aniônica do sítio-W. Classificação das espécies de turmalinas dos grupos alcalinos no subsistema ternário 2Li¹⁺ - YFe²⁺ - YMg²⁺. (c) Dominância de OH¹⁻ no sítio-W. (d) Dominância de O²⁻ no sítio-W. (Henry et al., 2011).

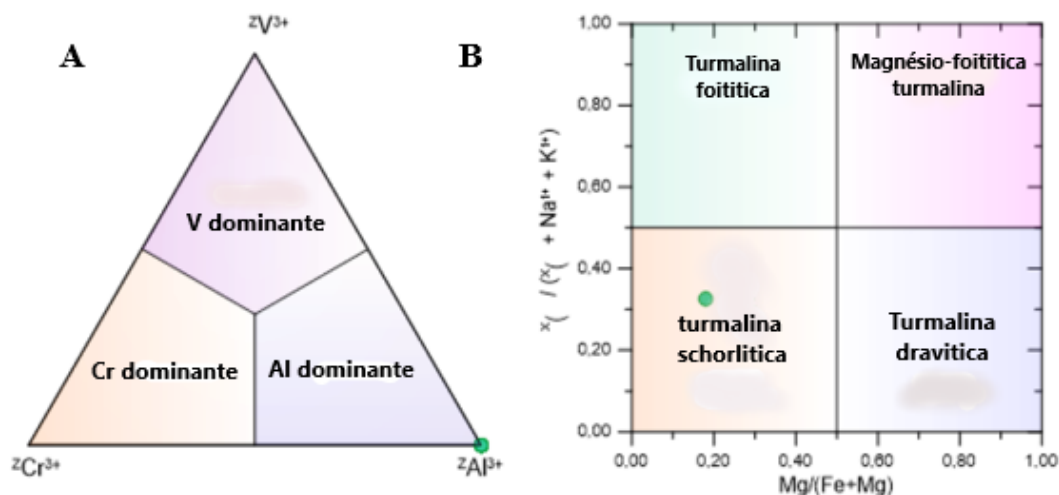


Figura 6. (a) Plotagem de turmalinas no subsistema ternário V^{3+} - Cr^{3+} - Al^{3+} (baixo F^{3+}) usado para explicar a ocupação dominante do sítio-Z. (b) Plotagem de espécies generalizadas de turmalinas no diagrama $(Mg/Mg+Fe)$ vs. $x_{\square}/(x_{\square} + Na^{1+} + K^{1+})$. (Henry et al., 2011).

Associando as informações adquiridas na petrografia e na química mineral, podemos caracterizar a amostra sendo uma elbaíta/oxi-schorlita, através das variações texturais observadas na petrografia (núcleo de elbaíta e bordas de schorlita) e imagem BSE (intercrescimento) podem levar ao resultado de composições heterogêneas

com a cristalização heterogênea da turmalina do Pegmatito de Solonópole. Isto sugere uma mistura de fluidos ricos em Fe e fluxantes (F, Li) contemporaneamente em baixas temperaturas, levando assim as elbaitas caírem quase sempre nos campos das schorlitas nos diagramas apresentados.

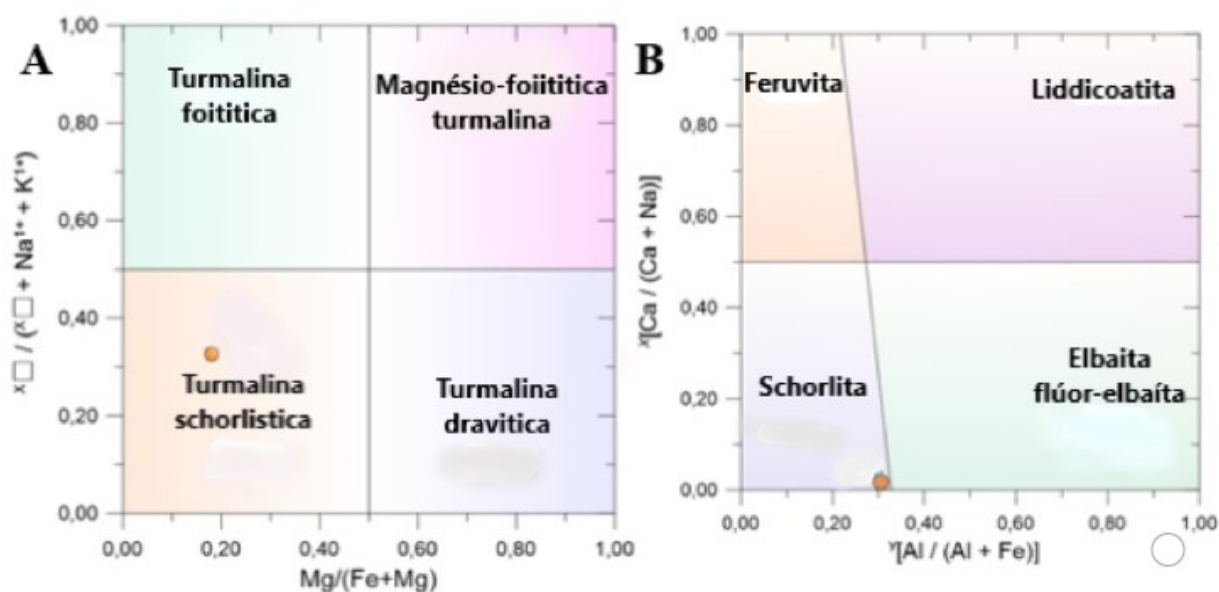


Figura 7. (a) Plotagem de espécies generalizadas de turmalinas no diagrama $(Mg/Mg+Fe)$ vs. $x_{\square}/(x_{\square} + Na^{1+} + K^{1+})$. (b) Diagrama sítio-Y vs. Sítio-X. (Henry et al., 2011).

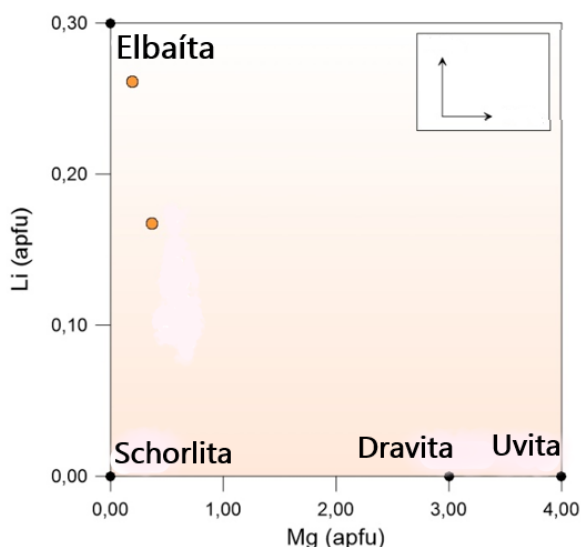


Figura 8. Diagrama de Li (apfu) vs. Mg (apfu).

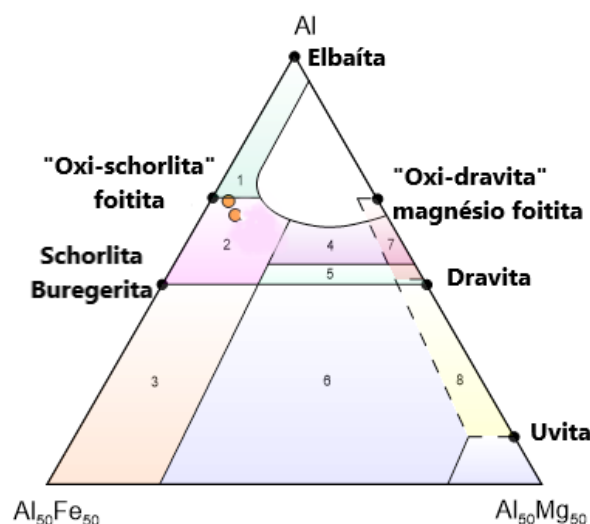


Figura 9. Diagrama ternário Al-Fe-Mg (Henry & Guidotti, 1985), em proporções moleculares para as turmalinas estudadas. Os campos numerados referem-se a: (1) Aplitos e pegmatitos graníticos ricos em Li, (2) Granitoides pobre em Li e pegmatitos a eles associados, (3) Rochas quartzo-turmaliníferas ricas em Fe³⁺, (4) metapelitos e metapsamitos associados com fases saturadas em Al, (5) metapelitos e metapsamitos não saturados em Al, (6) Rochas metapelíticas e calciossilicáticas pobres em Ca e metassedimentares ricas em Cr e V, (8) metapiroxenitos e metacarbonatos.

Tabela 1. Resultado da análise de microsonda eletrônica da turmalina de Solonópole.

Turmalina														
Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	NiO	Cl	F
1,90	1,10	34,18	34,33	0,03	0,06	0,06	0,22	0,02	0,00	0,08	11,43	0,01	0,01	0,19
TOTAL														83,64

4.3. Difração de raios-x em monocrystal

A difração de raios-X por monocristais é uma técnica importante para a caracterização cristalográfica de minerais. Neste contexto, propomos a referida análise para uma amostra de turmalina, no intuito de comparar os dados aqui obtidos com pesquisas anteriores.

Selecionou-se um cristal representativo de turmalina verde de um pegmatito do município de Solonópole

para análise de difração de raios-X em monocrystal (Figura 10). Os resultados obtidos através do grupo espacial e cela unitária da turmalina analisada foram compatíveis com os dados de turmalina-(Fe). Tais resultados, foram obtidos em um difratômetro *Bruker-AXS SMART-APEXII-CCD* (graus de liberdade em θ , φ , ω e κ), utilizando radiação MoK α monocromática (0.71073 Å) em temperatura ambiente.

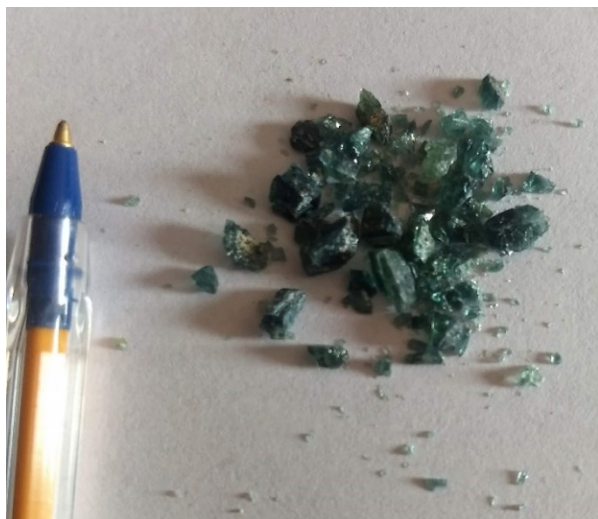


Figura 10. Amostra de turmalina utilizada para análise de difração de raios-X em monocristal.

Ertl et al. (2012) estudaram turmalinas ricas em Fe^{2+} e Mn^{2+} para comprovar a substituição do Fe^{2+} e do Mn^{2+} no sítio Z em um grau detectável. As turmalinas ricas em Fe foram coletadas de um pegmatito da Baixa Áustria e as ricas em Mn de um pegmatito na Ilha de Elba, na Itália. Iremos utilizar os dados da turmalina rica em Fe para comparar os dados obtidos nesta pesquisa, haja vista que as amostras de turmalina aqui estudadas possuem as mesmas características químicas.

A integração dos dados da amostra analisada foi feita através do software *APEX*. As informações sobre os dados do cristal de turmalina e a comparação com os dados da amostra de Ertl et al. (2012)

estão dispostos na Tabela 3. As amostras de turmalinas rica em Fe (BLS1 / BLS2) escolhidas para comparação com os resultados, foram coletadas de um pegmatito metamorfozado de Blocherleitengraben, Baixa Áustria (Ertl 1995) (WGS84 N 48 ° 23'42 '' / E 015 ° 24 ' 05 ').

Através dos dados obtidos na difração de raio-X em monocristal, concluiu-se que a estrutura do cristal estudado é romboédrica, o grupo espacial é o $R\bar{3}m$ e os parâmetros da cela unitária são os seguintes: a: 15,90 Å, b: 15,90 Å e c: 7,12 Å, o Volume ($\text{\AA}^3$) 1559,0 e o total de reflexões medida 449 (Tabela 2).

Os resultados obtidos através da difração de raios-X em de monocristal para amostra de turmalina do pegmatito de Solonópole foram comparados com os dados da literatura, chegando à conclusão que são considerados favoráveis para um cristal de turmalina rica em Fe.

O objetivo desta análise foi obter as informações sobre a estrutura do cristal, seu grupo espacial e cela unitária para comparar com os dados da literatura. Como não foi feito o refinamento da estrutura do cristal, não foi possível gerar dados para obter uma figura da estrutura cristalina da amostra, optou-se então, por pegar os dados da literatura e criar as figuras das redes cristalinas (Figura 11), haja vista que os parâmetros das mesmas são iguais aos da amostra estudada, não haveria muita diferença no resultado final da figura.

Tabela 2. Dados do cristal de turmalina da mina Auriverde comparados com as turmalinas ricas em Fe de um pegmatito metamorfozado de Blocherleitengraben, Baixa Áustria. Fonte: ERTL et al (2012).

Amostra	Mina Auriverde	BLS1	BLS2
a, c (Å)	15,90; 7,12	16,04(1); 7,25(1)	16,04(2); 7,50(1)
Dimensões do cristal	0,22 x 0,27 x 0,34	0,15 x 0,15 x 0,15	0,08 x 0,10 x 0,12
Volume ($\text{\AA}^3$)	1559,0	1612,8	1615,3
Total de reflexões medidas	449	1156	2087

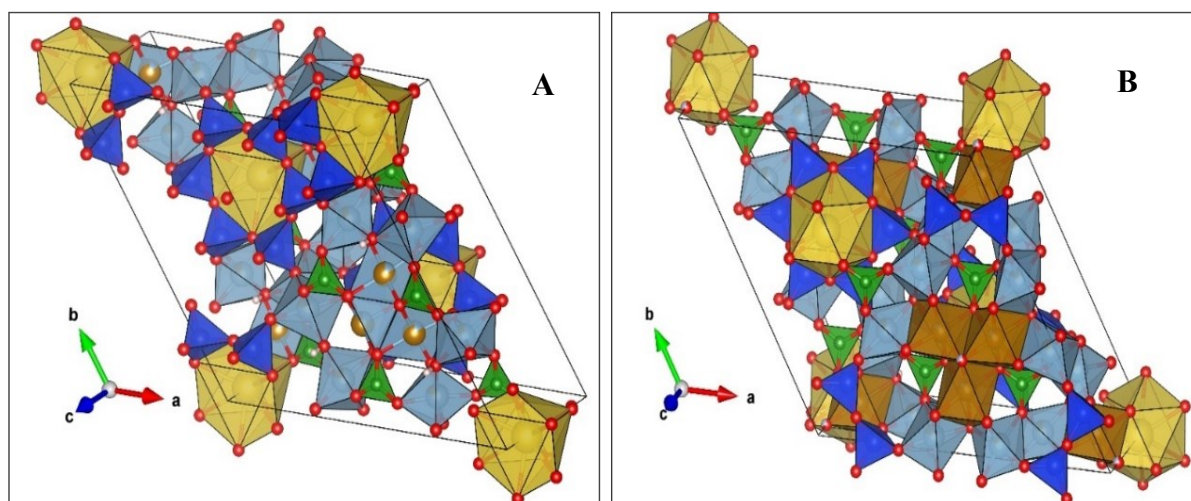


Figura 11. A e B - Estrutura cristalina de turmalinas Fe de um pegmatito metamorfizado de Blocherleitengraben, Baixa Áustria.

5. CONCLUSÕES

Por ser um excelente indicador petrogenético, escolhemos analisar meticulosamente as turmalinas da região.

As variações texturais observadas na petrografia (núcleo de elbaíta e bordas de schorlita) e imagem BSE (intercrescimento) pode levar ao resultado de composições heterogêneas com a cristalização heterogênea da turmalina do Pegmatito de Solonópole. Isto sugere uma mistura de fluidos ricos em Fe e fluxantes (F, Li) contemporaneamente em baixas temperaturas.

Os resultados obtidos através da difração de raios-X em de monocristal para amostra de turmalina do pegmatito de Solonópole foram comparados com os dados da literatura, chegando à conclusão que são considerados favoráveis para um cristal de turmalina rica em Fe, ratificado pela química mineral.

O Distrito Pegmatítico Solonópole-Quixeramobim é dotado de fases minerais muito poderosas petrogeneticamente, se mostrando fundamentais para futuros trabalhos de caracterizações cristalofísicas e cristalquímicas que poderão contribuir com um melhor entendimento da gênese dos pegmatitos mineralizados da região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Laboratório de Cristalografia Estrutural (LabCEs) do departamento de Física da Universidade Federal do Ceará.

REFERÊNCIAS

- Beurlen, H., Moura, O.J.M., Soares, D.R., Da Silva, M.R.R., Rhede, D. (2011). Geochemical and geological controls on the genesis of gem-quality "Paraíba tourmaline" in granitic pegmatites from Northeastern Brazil. *Canadian Mineralogist*, 49:277- 300.
- Beurlen, H., Thomas, R., Da Silva, M.R.R., Müller, A., Rhede, D., Soares, D.R. (2014). Perspectives for Li- and Ta-mineralization in the Borborema Pegmatite Province, NE Brazil: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 56:110-127.
- Castro, N.A. (2004). Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema), São Paulo: s.n.
- Cavalcante, J.C. et al. (2003). Mapa geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. Serviço Geológico do Brasil MME/CPRM.

- Černý, P. & Ercit, T. S. (2005). The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian mineralogist*, 43 (6): 2005-2026.
- Fetter, A. et al. (2003). Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, Volume 6.
- Hollanda, M.H.B.M., Archanjo, C.J., Souza, L.C., Armstrong, R., Vasconcelos, P.M. (2010). Cambrian mafic to felsic magmatism and its connections with transcurrent shear zones of the Borborema Province (NE Brazil): Implications for the late assembly of the West Gondwana. *Precambrian Research*, 178: 1-14.
- Jardim de Sá, E.F. (1994). A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu Significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. UNB, Tese de Doutorado, 803 p.
- Kozuch, M. (2003). Isotopic and trace elemento geochemistry of early neoproterozoic gneissic and metavolcanic rocks in the Cariris Velhos orogen of the Borborema Province, Brazil, and theis bearing on tectonic setting. Ph.D. Thesis, University of Kansas, Lawrence, KS. USA.
- Kozuch, M., Bittar, S.M.B., Van Schmus, W.R., Brito Neves, B.B. (1997). Late Mesoproterozoic and middle Neoproterozoic magmatism in the Zona Transversal of Borborema Province, N.E. Brasil. 17° Simposio de Geologia do Nordeste, Fortaleza, Brasil, Extended Abstracts, 15, 47-49.
- Santos, E.J. (1995). O Complexo Granítico Lagoa das Pedras: Acresção e Colisão na Região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema. USP/IG, Tese de Doutorado, 219 p.
- Santos, L.; Guimarães, I.P.; Silva Filho, A.F.; Farias, D.J.S.; Lima, J.V.; Antunes, J.V. (2014). Magmatismo ediacarano extensional na Província Borborema, NE Brasil: Pluton Serra Branca. *Comunicações Geológicas*, 101, Especial I, 199-203.
- Scorza, E.P. (1944). Província Pegmatítica da Borborema (Nordeste do Brasil). DNPM/DGM (Boletim n. 112). Rio de Janeiro, 55p.
- Souza, J. (1985). Geologia dos Pegmatitos de Metais Raros da Região W e NW de Solonópole – CE (Brasil), Fortaleza: s.n.