

# Mineralogia das Vênulas Brancas e do Material Afanítico Preto em Planos de Fraturas em Sodalititos de Cor Azul do *Stock* Itajú do Colônia, Bahia

A. C. S. Pimenta<sup>1,2</sup>; H. Conceição<sup>1,2</sup>; M. L. S. Rosa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Petrologia Aplicada a Pesquisa Mineral (LAPA), Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias (PGAB), 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil  
adjanine.pimenta@gmail.com

(Recebido em 18 de outubro de 2013; Aceito em 11 de maio de 2014)

O *Stock* Itajú do Colônia é um corpo elipsóide, com aproximadamente 2 km<sup>2</sup>, localizado na Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia. Atualmente este *stock* constitui a maior reserva brasileira de sodalita-sienitos e sodalititos de cor azul intensa, a qual é explotada com fins ornamentais e para confecção de peças de joalheria. A presença de vênulas brancas é um aspecto indesejável nessas rochas por dificultarem o seu processamento, depreciando o seu valor comercial. A granulação muito fina e o aspecto friável dessas vênulas brancas foram fatores relevantes na escolha do procedimento denominado Método do Pó, da técnica de Difractometria de Raios-X, para identificar os minerais constituintes das vênulas, assim como do material poroso e afanítico escuro presentes em planos de fraturas nessas rochas de cor azul. Os minerais identificados foram Tetranatrolita [Na<sub>2</sub>(Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)], Paranatrolita [Na<sub>2</sub>(Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)], Gonnardita [Na<sub>2</sub>CaAl<sub>4</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>20</sub>], Halloysita [Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>], Fluorannita [KFe<sub>3</sub>AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>F<sub>2</sub>], Illita [(K,H<sub>2</sub>O)(Al,Mg,Fe)<sub>2</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)2(H<sub>2</sub>O)] e Glauconita [(K,Na)(Fe<sup>3+</sup>,Al,Mg)<sub>2</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]. A mineralogia presente nas vênulas brancas e o material afanítico preto em planos de fraturas nessas rochas constituem uma paragênese de baixa temperatura (< 300 °C) resultante da precipitação de fluidos que interagiram com os minerais alcalinos precoces destas rochas (nefelina e sodalita).

Palavras-chave: Mineralogia, Sodalitito, Difractometria de Raios-X, Itaju do Colônia, Bahia

## Mineralogy of White Venules and Dark Material in Fracture Plans in Sodalitites with Blue Colour of the Itaju do Colônia *Stock*, Bahia State

The *Stock* Itajú of Colônia is an ellipsoid body, with approximately 2 km<sup>2</sup>, located in the South Bahia Alkaline Province. Currently this stock is the largest reserve for brazilian sodalite-syenite and sodalitites of intense blue color which is exploited as dimension stones and jewelery. The presence of white venules is an undesirable aspect in these rocks, depreciating its market value. The very fine grained and friable aspect of these white venules were the relevant factors in choosing the procedure called "Powder Method", of the technique of X-ray diffraction to identify mineral constituents venules, as well as the dark, affanitic and porous material present in these blue rocks. The minerals identified were Tetranatrolite [Na<sub>2</sub>(Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)], Paranatrolite [Na<sub>2</sub>(Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)], Gonnardite-[Na<sub>2</sub>CaAl<sub>4</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>20</sub>], Halloysite-[Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>], Fluorannite [KFe<sub>3</sub>AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>F<sub>2</sub>], Illite [(K,H<sub>2</sub>O)(Al,Mg,Fe)<sub>2</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)2(H<sub>2</sub>O)] and Glauconite [(K,Na)(Fe<sup>3+</sup>,Al,Mg)<sub>2</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]. This mineralogy, present in the white venules and dark material in the fractures plains, is a low temperature (<300 °C) paragenesis resulting from the precipitation of fluids that interacted with the early alkaline minerals of these rocks (nepheline and sodalite).

Keywords: Mineralogy, Sodalitite, X-Ray Diffractometry, Itaju do Colônia, Bahia State

## 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de corpos alcalinos Neoproterozoicos, com sodalita azul, na Bahia é relativamente bem conhecida, com destaque para as intrusões localizadas na Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia (PASEBA, Figura 1). Na maioria dos corpos da PASEBA nota-se a ocorrência de sodalita sienitos de cor azul. Contudo, somente nos *stocks* Floresta Azul, Rio Pardo, Itajú do Colônia e no Batólito Itarantim os volumes destas rochas viabilizam explorações comerciais. Dentre estes corpos aquele que apresenta a mais importante reserva de sienito azul é o *Stock* Itajú do Colônia (SIC), onde

a qualidade destas rochas permite que elas sejam explotadas não somente para fins ornamentais mas igualmente para a confecção de peças de joalheria<sup>1</sup>.

A presença de vênulas brancas é comum nesses sodalititos e, ocasionalmente ocorrem também fraturas preenchidas por material preto afanítico. Entretanto, esta particularidade é um aspecto estético indesejável por manchar a rocha azul. Até o momento o estudo petrográfico usual não permitiu identificar a mineralogia presente nestes defeitos devido a granulação muito fina dos seus minerais constituintes ou ao seu aspecto friável<sup>2</sup>. O presente trabalho tem por objetivo investigar, por Difractometria de Raios X, a composição mineral das vênulas brancas presentes nos sodalititos ou sodalita sienitos de cor azul, assim como o material afanítico frequente em fraturas do *Stock* Itajú do Colônia.

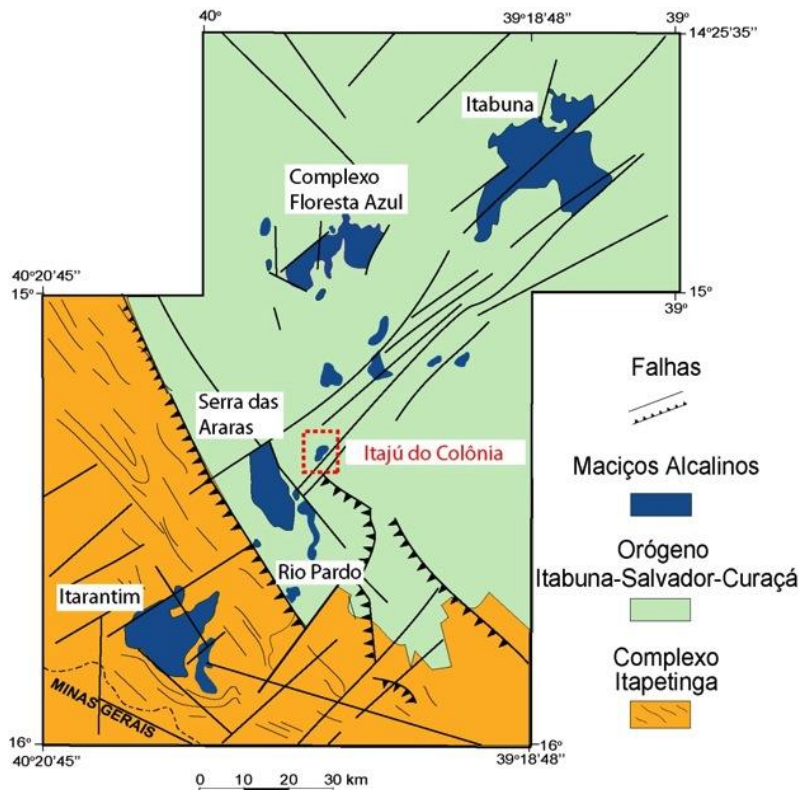


Figura 1: Mapa geológico<sup>1</sup> simplificado da Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia. Em laranja, rochas do Complexo Itapetinga e em verde, rochas do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá, ambos os terrenos representam o embasamento arqueano-paleoproterozoico da província. Em azul são representados os corpos plutônicos dessa província alcalina.

**Localização:** O SIC, com coordenadas 15°11'S e 39°49'W, está localizado na Fazenda Hiassu, no município de Itajú do Colônia, a cerca de 25 km a sudoeste da sede municipal, a qual dista 722 km de Aracaju.

**Aspectos Geológicos:** O SIC é uma intrusão com forma elipsoide e idade de 732±8 Ma, essencialmente constituída por rochas foidolíticas a *foid*-sieníticas com aspecto pintado, apresentando tonalidades azul-branco-verde-preto, sendo as porções azul-preto referentes às concentrações de sodalita e biotita respectivamente<sup>3</sup>. A porção branca nessas rochas é composta por albita e feldspato alcalino, sendo a porção verde constituída por nefelina e aegirina. Dados geoquímicos classificam essas rochas como fortemente diferenciadas<sup>4</sup>, de natureza metaluminosa/peralcalina e miasquítica<sup>2</sup>.

**Importância Econômica:** O Estado da Bahia é o terceiro maior produtor brasileiro de rochas ornamentais<sup>5</sup>, e o único produtor, no país, do raríssimo sodalitito azul, de nome comercial Azul Bahia, Blue-Bahia, ou ainda Granito Azul. Essa é uma rocha ornamental de grande valor nos mercados nacional e internacional. O valor médio de 1 m<sup>3</sup> está diretamente relacionado ao aspecto visual desta rocha. Porções que possuem um baixo teor de sodalita (Figura 2A), apresentam valores em torno de US\$ 600, valor do 1 m<sup>3</sup> em mina, enquanto porções com alto teor de sodalita (Figura 2B) podem custar mais de US\$ 6000/m<sup>3</sup>. Estes valores podem ser multiplicados até por 6 vezes quando as rochas são beneficiadas sob a forma de placas polidas com 3 cm de espessura<sup>6</sup>.

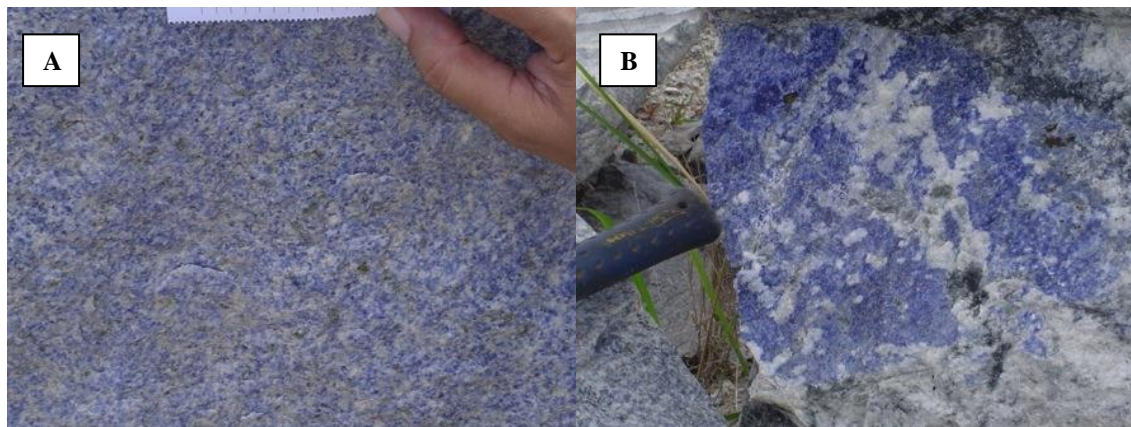


Figura 2: Tipos de sodalita sienitos de cor azul existentes do Stock Itajú do Colônia. Sodalita-Sienito [A] e Sodalitito de cor azul intensa [B].

**Aspectos Físicos das Vênulas:** De forma geral as vênulas são muito friáveis, desintegrando-se durante a confecção de lâminas delgadas. Nos poucos casos nos quais conseguiu-se confeccionar a lâmina delgada desta porção das rochas, pode-se observar que os minerais constituintes dessas vênulas possuem granulometria muito fina. Ante a esse fato, que impede o uso do microscópio petrográfico para a identificação da assembleia mineralógica presente, utilizou-se a Difratomia de Raios-X.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra estudada corresponde a um sodalitito (Figura 3A), de alta qualidade estética, similar àqueles utilizados pelas indústrias de confecção de peças de joalheria para fins ornamentais. A presença de vênulas brancas é facilmente identificável nessas rochas. Elas têm aproximadamente 2 cm de espessura (Figura 3B), e encontram-se dispersas aleatoriamente. Um aspecto intrigante observado nessa rocha foi a presença de um material disposto em planos de fraturas ou falhas descontínuos, com espessura inferior a 0,5 mm, de cor escura, afanítico, e com aspecto micáceo (Figura 3D). Entre esse material e o sodalitito verificou-se a ocorrência de uma região clara e com aspecto poroso (Figura 3C). Os materiais destas três partes da rocha - vênulas brancas, material preto afanítico, e material branco poroso - foram coletados e submetidos a análises por Difratomia de Raios-X.

As análises foram realizadas no Laboratório de Difratomia do Departamento de Geologia, na Universidade Federal de Sergipe, e a técnica utilizada foi o Método do Pó<sup>7</sup>. Para retirada do material utilizou-se pinça e estilete metálico. O material obtido teve a sua granulagem reduzida manualmente com auxílio de graal e pistilo de ágata até atingir a granulometria inferior a 200 mesh. Em seguida esse material foi prensado em cavidade circular de uma lâmina de vidro para ser submetido à análise.

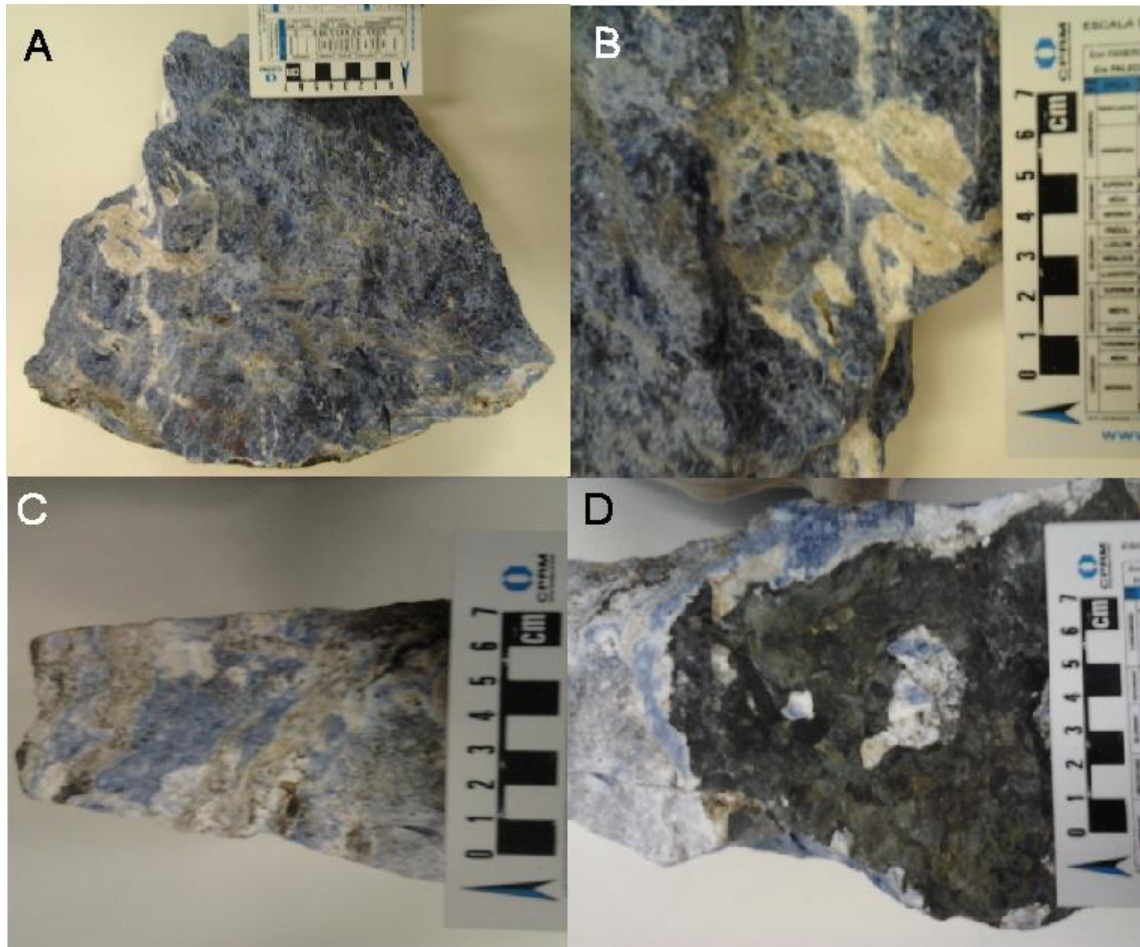


Figura 3. Amostra do sodalítico estudado do Stock Itajú do Colônia (A) e as outras imagens correspondem a detalhes dessa mesma amostra. Fotografia de vênulas brancas presentes nos sodalíticos do Stock Itajú do Colônia (B). Fotografia da região clara e aspecto esponjoso presente nos sodalíticos do Stock Itajú do Colônia (C). Fotografia de destaque ao material afanítico de cor escura associado ao sodalítico (D).

As análises foram efetuadas em difratômetro de marca Shimadzu<sup>®</sup>, modelo XDR-6000, tendo como fonte dos Raios-X de Cu. As condições analíticas foram voltagem de 40Kv, corrente de 30mA e velocidade média de leitura/análise de 1-2°/min, com coleta de dados a cada 0,01-0,02 graus. Durante a realização das análises utilizou-se o monocromador e o *software Overlapping Peak Separation*, utilizado para o refinamento dos picos individuais de intensidade. O tratamento dos dados obtidos foram realizados pelo *software Powder Diffraction File (PDF2)*, comercializado pelo *International Centre for Diffraction Data (ICDD)*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Resultados

Foram realizadas várias análises de cada um dos materiais coletados na amostra de sodalítico apresentada na figura 3. A paragênese identificada nas vênulas brancas (Figura 3B) é constituída por Tetranatrolita  $[\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})2(\text{H}_2\text{O})]$ , Paranatrolita  $[\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})3(\text{H}_2\text{O})]$ , Hidrocancrinita  $[\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}) 10(\text{H}_2\text{O})]$  (Figura 4), Gonnardita  $[\text{Na}_2\text{CaAl}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}]$ , Halloysita  $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$  (Figura 5).

As análises realizadas na camada clara de aspecto poroso (Figura 3C) identificaram a presença de Gonnardita  $[\text{Na}_2\text{CaAl}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}]$ , Tetranatrolita  $[\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}) 2(\text{H}_2\text{O})]$ , Halloysita  $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ , Cloromagnesita  $[\text{MgCl}_2]$  (Figura 6), Glauconita  $[(\text{K},\text{Na})(\text{Fe}^{3+},\text{Al},\text{Mg})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$  e Illita

$[(K,H_2O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2(H_2O)]$  (Figura 7). O material escuro afanítico e com aspecto micáceo presente em fraturas (Figura 3D) é monominerálico e composto unicamente por fluorannita ( $[KFe_3AlSi_3O_{10}F_2]$ ) (Figura 8).

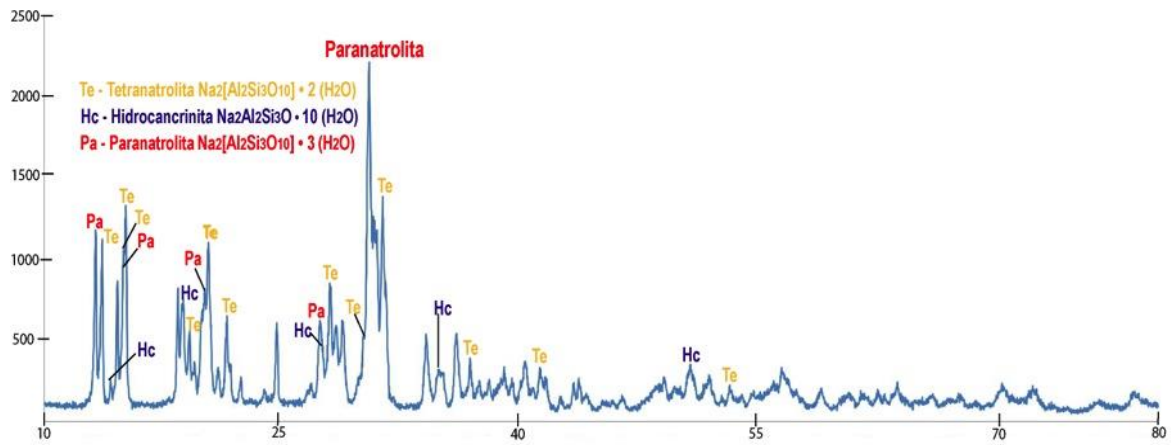


Figura 4. Difratoograma da análise realizada nas vênulas brancas presentes na amostra de sodalito.

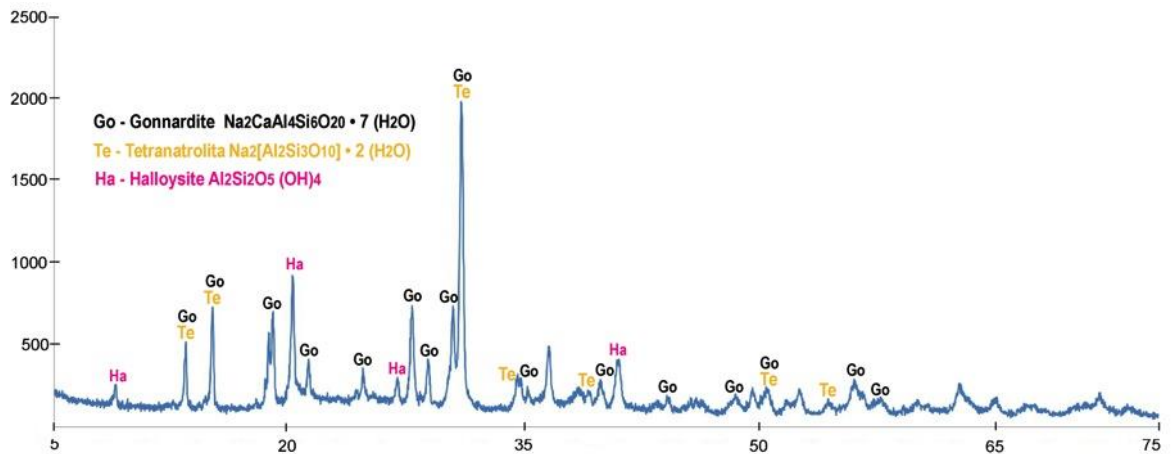


Figura 5. Difratoograma da análise realizada nas vênulas brancas presentes na amostra de sodalito.

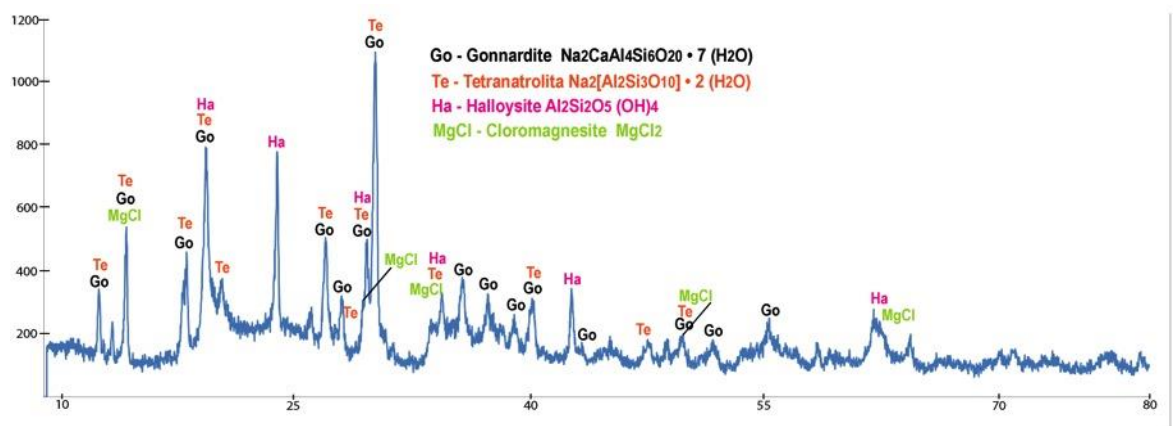


Figura 6. Difratoograma referente à camada de coloração clara e aspecto 'esponjoso'.

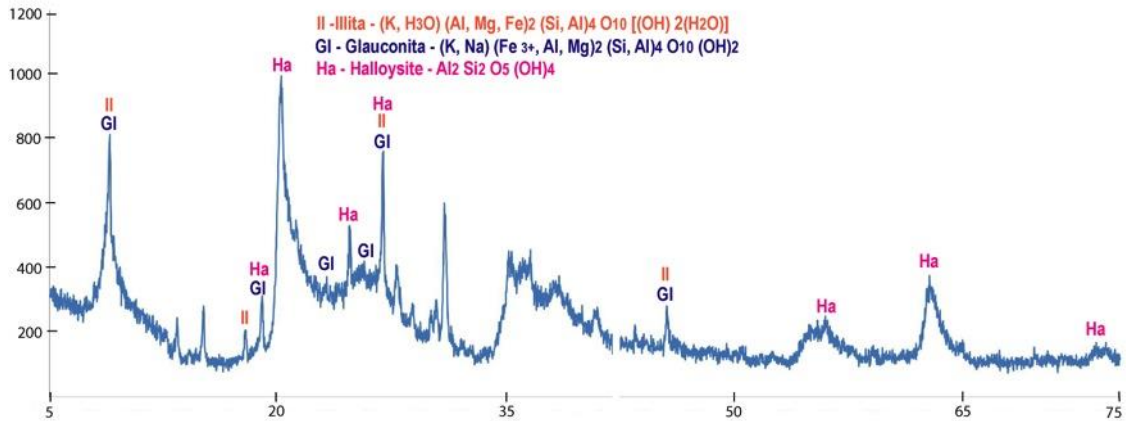


Figura 7. Difratoograma referente à camada de coloração clara e aspecto 'esponjoso'.

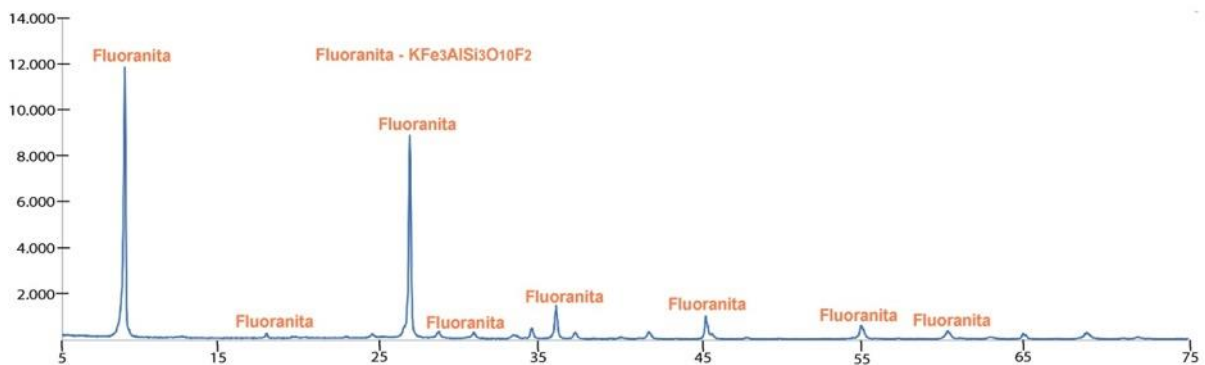


Figura 8. Difratoograma referente à análise realizada no material afanítico escuro. Diagnóstico da ocorrência de um material monominerálico composto por fluorannita.

### 3.2 Discussões

Identificou-se nesse estudo minerais pertencentes ao sub-grupo das zeólitas e ao grupo dos filossilicatos. O primeiro grupo teve como principais minerais identificados: natrolita, tetranatrolita, paranatrolita, thomsonita e gonnardita. O segundo grupo é constituído por: fluorannita, halloysita, illita e glauconita, minerais comumente encontrados em associação com o grupo das zeólitas.

Os filossilicatos são minerais encontrados em ambientes bastante variados. Normalmente eles ocorrem em veios ou camadas, preenchendo fissuras resultantes da decomposição de minerais aluminosos em sienitos, monzonitos, granitos<sup>8</sup>.

O sub-grupo das zeólitas é constituído por alumino-silicatos hidratados<sup>9</sup> de metais alcalinos e alcalino-terrosos<sup>10</sup>. Seus minerais apresentam fórmula geral  $(Na, Ca)_x (Al, Si)_y O_w \cdot nH_2O$ , sendo formados por cadeias de anéis tetraédricos de SiO<sub>4</sub> e AlO<sub>4</sub>, nas quais cada oxigênio é compartilhado entre dois tetraedros. As cadeias são ligadas por cátions intersticiais (Na, Ca, K, Ba, Sr, Li, Mg) de forma que a estrutura originada é aberta, com a presença de grandes canais, nos quais a água e outras moléculas podem se alojar<sup>11</sup>.

O contexto geológico geralmente relatado para as ocorrências dos minerais do grupo das zeólitas indica que suas gêneses são correlacionadas à formação a partir de soluções aquosas que circulam em fissuras abertas, dissolvendo os minerais primários a baixas temperaturas (<300°C)<sup>12</sup>. Enquanto

circulam esses fluidos quentes carregam íons de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$  e ao se supersaturarem, precipitam zeólitas durante o resfriamento<sup>13</sup>. É um clássico processo de dissolução-precipitação<sup>13</sup>. Várias variáveis como o pH,  $p\text{CO}_2$ , a presença de cátions adicionais como Sr, Na e K, e a quantidade de  $\text{H}_2\text{O}$  incorporadas na estrutura dos canais podem afetar as condições de equilíbrio termodinâmico e conseqüentemente, as isógradas de reação.

#### 4. CONCLUSÃO

As análises diagnosticaram a presença de diversos minerais do grupo das zeólitas (natrolita, tetranatrolita, paranatrolita, gonnardita. Esses minerais são comumente encontrados em depósitos hidrotermais como produtos de alteração de rochas como nefelina sienitos, fonólitos e rochas associadas<sup>14</sup>.

Outros autores<sup>15,16</sup> sugerem que esses minerais em sienitos e fonólitos sejam resultantes de reações tardias da nefelina, isso porque durante o estágio intermediário de cristalização magmática, os cristais de nefelina podem ser substituídos por feldspato, cancrinita ou sodalita. Durante a fase final de cristalização pode haver a substituição da nefelina por natrolita, gonnardita e tetranatrolita.

A estabilidade das assembleias zeolíticas estaria limitada a baixas  $p\text{CO}_2$ <sup>17</sup>. Com o aumento da  $p\text{CO}_2$ , as zeólitas são substituídas por minerais do grupo dos Filossilicatos, também diagnosticados no presente estudo.

Dessa forma os minerais diagnosticados por meio da DFR-X indicam a ocorrência de processos em baixas temperaturas com participação de fluidos peralcalinos, provavelmente de natureza autometassomática sobre os cristais de sodalita e nefelina dos sienitos existentes no *Stock* Itaju do Colônia.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Mineralogia e Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral (LAPA-UFS) e apresenta os resultados obtidos no Trabalho de Conclusão de Curso da primeira autora. Essa pesquisa contou com apoio do Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC), Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias (PGAB-UFS) através do projeto Núcleo de Excelência em Geologia (PRONEX-Geologia UFS). Os autores agradecem ao CNPq por suas bolsas: ACSP (Processo nº 138109/2012-5), MLSR (Processo nº 307785/2011-4) e HC (Processo nº 302314/2008-3).

- 
1. Rosa MLS, Conceição H, Macambira MJB, Marinho MM, Marques LS. Idade (Pb-Pb) e aspectos petrográficos e litogeoquímicos do Complexo Floresta Azul, Sul do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*. 2003; 33:13-20.
  2. Cabral EB. Química Mineral do *Stock* Foidolítico Itaju do Colônia, Sul da Bahia [Trabalho de Conclusão de Curso]. [Salvador]: Universidade Federal Bahia; 2008. 61 p.
  3. Rosa MLS, Conceição H, Menezes RCL, Macambira MJB, Galarza MA, Oliveira EC, Marinho MM, Cunha MP, Rios DC. Idade U-Pb da Mineralização de Sodalita-Sienito (Azul-Bahia) no *Stock* Litchfieldítico Itaju do Colônia, Sul do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*. 2005; 35(3):433-436.
  4. Fujimori S. Rochas Alcalinas da Fazenda Hiassu, Itaju do Colônia, Sul da Bahia. Salvador: SBG; 1978. 117 p.
  5. Chiodi Filho C. Exportações estaduais de rochas ornamentais e de revestimento em 2012. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, Informe 02/2013; 2013. 5 p.
  6. Marques MN. Nefelinassienito de Itarantin, Bahia: viabilidade técnico-econômica de utilização indústria. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, Vol. 23. 2006. 32 p.
  7. Cullity BD. Elements of X-Ray Diffraction. Addison-Wesley Publishing Company Inc; 1956. 569 p.
  8. Bailey SW (Ed.). Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy series, Vol. 13. 1984. 584 p.
  9. Parahyba RER, Cavalcanti VMM, Perlatti F. Mineração no Semiárido Brasileiro. Brasília: DNPM; 2009. 200 p.
  10. Neuhoff PS, Fridriksson T, Bird DK. Zeolite parageneses in the north atlantic igneous provinces: implications for geotectonics and groundwater quality of basaltic crust. *International Geology Review*. 2000; 42:15-44.

11. Deer W, Howie RA, Zussman J. Introduction to the Rock-Forming Minerals. 3 ed. Mineralogical Society; Third edition; 2013. 510 p.
12. Armbruster T, Gunter ME. Crystal structure of natural zeolites. In: Natural zeolites: occurrence, properties, applications. ed. Bish DL, Ming DW. Mineralogical Society of America, 45, Geochemical Society; 2001. 68 p.
13. Weisenberger T. Zeolites in fissures of crystalline basement rocks [Dissertation]. [Bresgau] Fakultät für Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; 2009. 161 p.
14. Carmichael DM. On the mechanism of prograde metamorphic reactions in quartz bearing pelitic rocks. In: Contributions to Mineralogy and Petrology. Ed. Hoefs J. Grove TL. 1969. p. 244-267.
15. Flohr MJK, Ross M, Ross DR. Crystalline Solution Series and Order-Disorder Within the Natrolite Mineral Group. *American Mineralogist*. 1992; 77:685-703.
16. Cunha MP. Litogeoquímica dos sítios mineralizados em sodalita azul do Maciço Rio Pardo e do Complexo Floresta Azul, Bahia. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia; 2003. 88 p.
17. Thompson AB.  $PCO_2$  in low-grade metamorphism: zeolite, carbonate, clay mineral, prehnite relations in the system  $CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . In: Contributions to Mineralogy and Petrology. Ed. Hoefs J. Grove TL. 1971; 33(2):145-161.