



## LITOQUÍMICA E GEOCROLOGIA U-Pb DO “DIABÁSIO” DA REGIÃO DE ITATAIA, CEARÁ CENTRAL, NE DO BRASIL

Ana Flávia da Conceição CAVALCANTE<sup>1</sup>, César Ulisses Vieira VERÍSSIMO<sup>2</sup>,  
José Carvalho CAVALCANTE<sup>3</sup>, Martha Noélia LIMA<sup>4</sup>, José de Araújo  
NOGUEIRA NETO<sup>4</sup>, Elton Luiz DANTAS<sup>5</sup>

**RESUMO:** O dique de diabásio estudado apresenta disposição regional em torno de E-W e tem sido vinculado ao magmatismo Rio Ceará-Mirim (Cretáceo Inferior); encontrando-se alojado em litotipos da Unidade Independência do Complexo/Grupo Ceará, onde as rochas metacarbonáticas (mármore puros e impuros, com níveis/lentes calcissilicáticas) constituem as principais hospedeiras do minério fósforo-uranífero (colofanito) da Jazida de Itataia. Em termos tectonoestratigráficos, a área, geograficamente localizada a sudeste do município de Santa Quitéria (CE), Nordeste do Brasil, encontra-se inserida no Domínio Ceará Central da Subprovíncia Borborema Setentrional. Os dados litoquímicos apontam que as amostras analisadas são classificadas como de composição química variando de andesítica à andesito basáltica e inerente aos toleitos de alto Ti ( $\text{TiO}_2 \geq 1.5 \text{ wt. } \%$ ), sendo correlacionáveis a termos similares decorrentes do magmatismo Sardinha da porção ocidental da Bacia Parnaíba. A cronoradiometria U-Pb (LA-ICPMS) mostrou o predomínio de zircões derivados de um embasamento arqueano-paleoproterozóico, com isócronas de  $1931 \pm 16 \text{ Ma}$ ,  $2021 \pm 7,6 \text{ Ma}$ ,  $2148,9 \pm 8,2 \text{ Ma}$  e  $2695 \pm 37 \text{ Ma}$ , marcadas por interceptos inferiores de  $635 \pm 22 \text{ Ma}$ ,  $551 \pm 11 \text{ Ma}$  e  $594 \pm 14$  refletindo eventos metamórficos/ígneos neoproterozóicos, ligados ao Ciclo Brasileiro/ Panafricano).

**Palavras-chave:** Litoquímica; Geocronologia U-Pb; Diabásio; Itataia; Domínio Ceará Central.

**ABSTRACT:** *The studied diabase dike has a regional trend around E-W and that has been linked to the Rio Ceará-Mirim magmatism (Lower Cretaceous); being hosted Independence Unit (Ceará Complex / Group), where the metacarbonate rocks (pure and impure marbles) constitute the main hosts of the phosphorus-uraniferous ore (colophanite) from the Itataia deposit. In tectonostratigraphic terms, the area, geographically located southeast of Santa Quitéria municipality (CE), Northeast Brazil, is located in the Central Ceará Domain of the Northern Borborema Subprovince. The lithochemical data indicate that the analyzed samples are classified as having chemical composition varying from andesitic to basaltic andesite and related to high Ti tholeites*

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará (UFC)

<sup>2</sup> Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará (UFC)

<sup>3</sup> Pesquisador aposentado do Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

<sup>4</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) - Universidade Federal de Goiás (UFG)

<sup>5</sup> Instituto de Geociências - Universidade de Brasília (UnB)

( $TiO_2 \geq 1.5$  wt.%), being correlated to similar terms resulting from the Sardinha magmatism, eastern portion of the Parnaíba basin. U-Pb chronoradiometry (LA-ICPMS) revealed the predominance of zircons inherited from an archaean-paleoproterozoic basement, with isochrones of  $1931 \pm 16$  Ma,  $2021 \pm 7.6$  Ma,  $2148.9 \pm 8.2$  Ma and  $2695 \pm 37$  Ma, marked by lower intercepts of  $635 \pm 22$  Ma,  $551 \pm 11$  Ma and  $594 \pm 14$  signaling for Neoproterozoic metamorphic / igneous events, linked to the Brasiliano / Panafricano Cycle.

**Keywords:** Lithochemistry; U-Pb Geochronology; Diabase; Itataia; Ceara Central Domain.

## 1. INTRODUÇÃO

Exemplares da rocha ígnea máfica, objeto do presente estudo, foram extraídos de um dique encaixado em litotipos neoproterozóicos do Complexo/Grupo Ceará (predomínio de paragnaisses migmatíticos, mármore e quartzitos) cortados por diques leucogranitoides (em parte vinculados ao magmatismo ácido cambro-ordoviciano). Situa-se em uma área onde se encontra a Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia que tem sido foco de diversas pesquisas realizadas desde a década de 70, envolvendo desde temas geológico-metalogenéticos até de metalurgia e de contaminação ambiental. O maior interesse, obviamente, relaciona-se à presença dos corpos mineralizados a U e P, onde o principal corpo do minério encontra-se encaixado num segmento onde predominam rochas metacarbonáticas da Unidade Independência do referido Complexo/Grupo Ceará.

Neste século 21, a partir de 2005, diversos autores (CASTRO *et al.*, 2005 e 2005a; CAVALCANTI e BESSA, 2011; Cavalcanti *et al.*, 2018; VERÍSSIMO *et al.*, 2016) tem

procurado elementos petrológico-litoquímicos, de química mineral, geocronologia e carstologia que apontem para uma consistente visão dos processos que levaram a formação do depósito fósforo-uranífero de Itataia. Neste contexto, levando-se em consideração questões de metalogênese e geocronologia, o objetivo do presente estudo é de agregar elementos de geoquímica e de cronoradiometria do dique máfico Itataia-Morrinhos na trilha do entendimento sobre a influência hidrotermal do magmatismo eocretácico do nordeste do Brasil (evento Ceará-Mirim - Sardinha) na gênese da Jazida de Itataia.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de afloramentos da rocha objeto do estudo (Figura 1) encontra-se localizada num trato ocidental da Subprovíncia Setentrional da Província Borborema (Delgado *et al.* 2003), perfazendo uma pequena fração do Domínio Ceará Central, onde posiciona-se a leste do Complexo Tamboril-Santa Quitéria (granitóides e migmatitos neoproterozóicos; Figura 1) e noroeste do Complexo Cruzeta

(Núcleo Arqueano-Paleoproterozóico de Tróia) constituído de metaplutônicas granitóides e sequências metavulcanossedimentares do tipo *greenstone belt*). A estratigrafia local é marcada pelo predomínio de supracrustais neoproterozóicas da Unidade Independência do Complexo/Grupo Ceará (CAVALCANTE et al., 2003; ALMEIDA et al., 2007; ATHAUD, 2007), a qual é formada, essencialmente, de paragneisses (em grande parte migmatíticas e por vezes miloníticas),

mármore, quartzitos e rochas calciossilicáticas que servem de encaixantes para diques de leucogranitóides e de diabásio. O conjunto metassedimentar exibe um arranjo estrutural de dobras fechadas de vergência S e SSE, superpostas por dobras abertas de eixos em torno de E-W (interferência tipo 3), perfazendo fração da chamada *Nappe* de Itaitira (ARTHAUD et al., 2004; GARCIA e ARTHAUD, 2004).

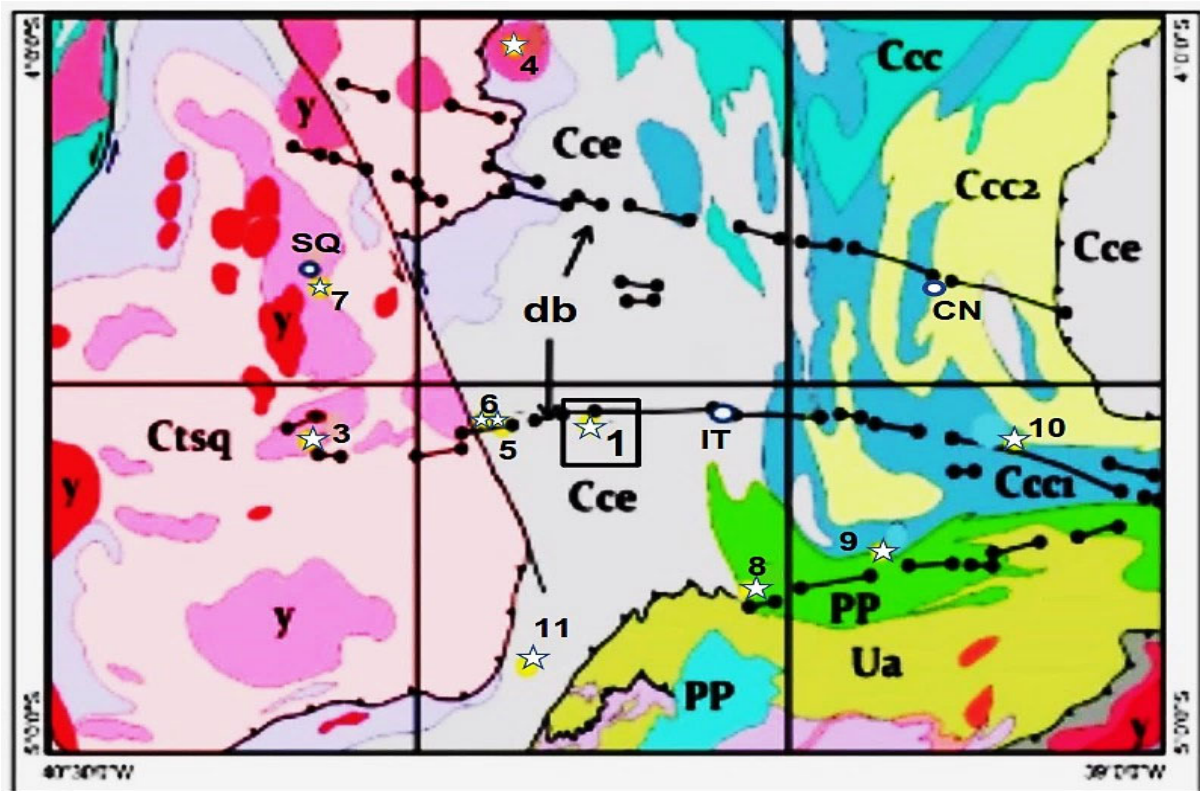


Figura 1: Mapa de localização da área de Itaitira no contexto geológico da Folha Quixadá 1:250.000; Legenda: Eocretáceo – **db**) diques “básicos” do Enxame de Diques Canindé (Macedo et al. 2017); Neoproterozóico-Eopaleozóico – **y**) Granitóides; **Ctsq**) Complexo Tamboril-Santa Quitéria; **Cce**) Complexo/Grupo Ceará; Paleo-Neoproterozóico: **Ccc**, **Ccc1** e **Ccc2** – Associações litológicas do Complexo Canindé do Ceará (embasamento paleoproterozóico bastante solicitado pelos processos geodinâmicos do Ciclo Brasileiro, encerrando restos de supracrustais e produtos anatéticos neoproterozóicos); Paleoproterozóico – **PP**) Metagranitóides, **Ua**) Unidade Algodões. **1**) Jazida fóssforo-uranífero de Itaitira; **2 a 11**) Ocorrências/indícios de material fóssforo-uranífero (rocha vulcânica hidrotermalizada em **10** e **11**). Polígono que insere **1** encerra o segmento do dique amostrado. Fonte: Cavalcanti e Bessa (2012) com modificações.

### 3. LITOQUÍMICA

Em relação às amostras analisadas (Tabela 1), os valores litoquímicos (% em peso) da SiO<sub>2</sub>, do K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O oscilam, respectivamente, entre 55,09 – 55,44, 2,02-2,24 e 2,93-2,94. Segundo os teores de sílica, tratam-se de rochas com composição intermediária e com o somatório de álcalis (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) variando entre 4,95 e 5,18. Estes exemplares, quando

plotadas no diagrama TAS (Total Álcalis versus Sílica) de Le Bas et al. (1986), são classificadas como do campo do andesito basáltico (Figura 2), situados no domínio da série subalcalina de Irvine e Baragar (1971). Já no diagrama de Cox et al. (1979) estas amostras projetam-se na transição de andesito-andesito basáltico (Figura 3).

Tabela 1: Dados geoquímicos de amostras da rocha máfica do dique Itataia-Morrinhos.

Amostras	Elementos maiores/óxidos (%)											
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	LOI
AFM11	12,77	6,82	0,01	14,20	2,02	3,3	0,18	2,93	0,75	55,09	2,93	0,64
AFM18	12,53	7,07	0,02	14,17	2,24	3,6	0,20	2,99	0,71	55,44	2,88	0,59
Amostras	Elementos traços/terras raras (ppm)											
	Ba	Sr	Zn	Zr	V	Ce	Co	Cs	Cu	Dy	Er	Eu
AFM11	647	509	147	329	216	95,6	32,3	0,80	76	8,81	4,69	3,88
AFM18	577	514	146	322	257	92,7	31,6	0,66	63	8,80	4,71	3,77
Amostras	Elementos traços/terras raras (ppm)											
	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo	Nb	Nd	Ni	Pt	Rb
AFM11	24,3	11,59	8,58	1,79	43	0,55	3	28,93	59,2	25	13,33	48,1
AFM18	24,6	11,54	8,47	1,78	44	0,53	3	23,81	56,5	26	12,9	57
Amostras	Elementos traços/terras raras (ppm)											
	Sm	Sn	Ta	Tb	Th	Tl	Tm	U	W	Y	Yb	
AFM11	13,2	5	2,76	1,7	4,8	<0,5	0,66	1,22	1	44,17	3,5	
AFM18	12,8	4,4	1,73	1,68	4,2	<0,5	0,65	1,18	0,4	43,47	3,5	

Notas: - Todos os processos e técnicas laboratoriais são de responsabilidades dos SGS Geosol Laboratórios Ltda. Referência analítica: - Elementos maiores e traços determinados, respectivamente, por fusão com metaborato de lítio do tipo ICP OES e ICP MS; LOI) loss on ignition (perda ao fogo por calcinação da amostra a 405°C e/ou 1000°C).

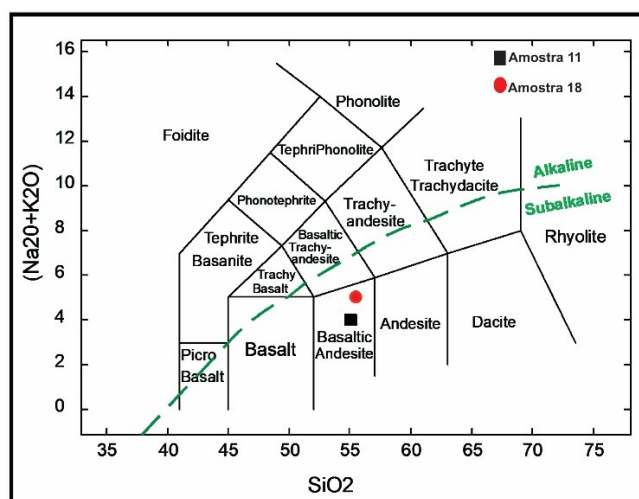


Figura 2: Arranjo das amostras do dique Itataia-Morrinhos no diagrama TAS (Total Alkali versus Silica; Le Bas et al., 1986).



Notas: - Amostras AF18 e AF11 inseridas no campo andesito basáltico, relacionado ao domínio da Série Subalcalina de Irvine e Baragar (1971); - linha verde interrompida como divisória entre os campos das séries alcalina e subalcalina.

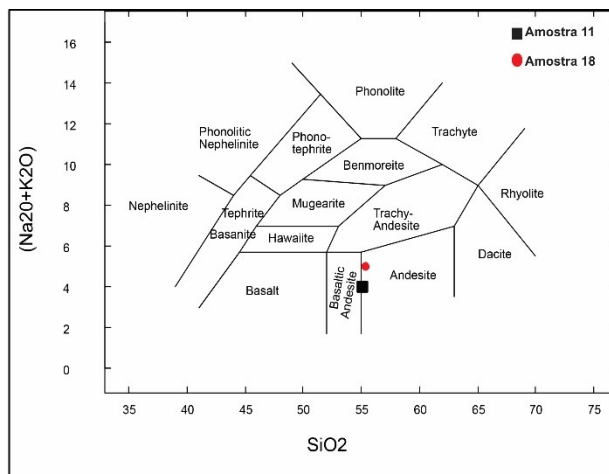


Figura 3: Exemplos do dique Itataia-Morrinhos projetados no diagrama TAS direcionado às rochas vulcânicas (Cox et al., 1979).

No diagrama  $K_2O$  versus  $SiO_2$  de Piccerillo e Taylor (1976; Figura 4), tem-se uma inserção das amostras no campo da série cálcio-alcalina de alto-K, enquanto no  $K_2O$  versus  $Na_2O$  de Winter (2001; Figura 5) revelam-se no campo das séries potássicas (*K-series*). Também, estas porcentagens de  $K_2O$  e  $SiO_2$ , em relação aos basaltos alcalinos, sinalizam uma contaminação crustal durante o processo de ascensão do magma.

No diagrama triangular AFM ( $A = Na_2O + K_2O$  versus  $F = FeO^*$  versus  $M = MgO$  de Irvine e Baragar (1971; Figura 6) os exemplares são revelados no campo da série toleítica. Contudo, o registro de um aumento de  $SiO_2$  e uma diminuição de  $P_2O_5$ , da amostra AF11 para AF18, reflete uma tendência que é comum em litotipos das séries cálcio-alcalinas (GILL, 1981). Além disto, observa-se que o pequeno aumento no teor  $SiO_2$ , da primeira à segunda amostra, associa-se aos acréscimos nas porcentagens de outros óxidos, tais como:  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$  e  $K_2O$ .

Por sua vez, em relação aos diagramas discriminantes litoquímico-tectônicos, tem-se no diagrama Ti-Zr-Y de Pearce e Cann (1973; Figura 7) as amostras projetadas no campo C relativo aos basaltos cálcio-alcalinos, refletindo a mesma assinatura marcada no diagrama Ti-Zr-Sr, dos mesmos autores (1973; Figura 8).

No diagrama Y versus Zr/4 versus  $Nbx_2$  (Meschede, 1986), para rochas basálticas, as amostras projetam-se no campo All (Figura 9) que é comum aos basaltos alcalinos e toleíticos intraplacas (continentais). No entanto, no diagrama Th-Hf-Ta de Wood (1980; Figura 10), o exemplar AF11 aparece no campo dos basaltos alcalinos intraplaca (*Within Plate Basalt – WPA*), enquanto que o AF18 insere-se no campo dos basaltos tipo E-MORB e toleitos intraplacas.

No que tange aos elementos traços e terras raras, assinala-se que o “diabasio” amostrado caracteriza-se através de um valor de Sr mediano (ca. 510 ppm) e alto de Y (ca. 44 ppm),

enquanto a razão La/Yb de ~ 12,5 aponta para um moderado fracionamento dos elementos de terras raras. Por sua vez, a razão Ce/Yb = 53,8 (média) muito alta em relação ao

intervalo 6,5 a 21,2 assinalado por Sengupta & Ray (2010, *apud* ALMEIDA et al., 2012) para os toleitos intraplacas. As razões Zr/Nb situam-se em torno de 5,6.

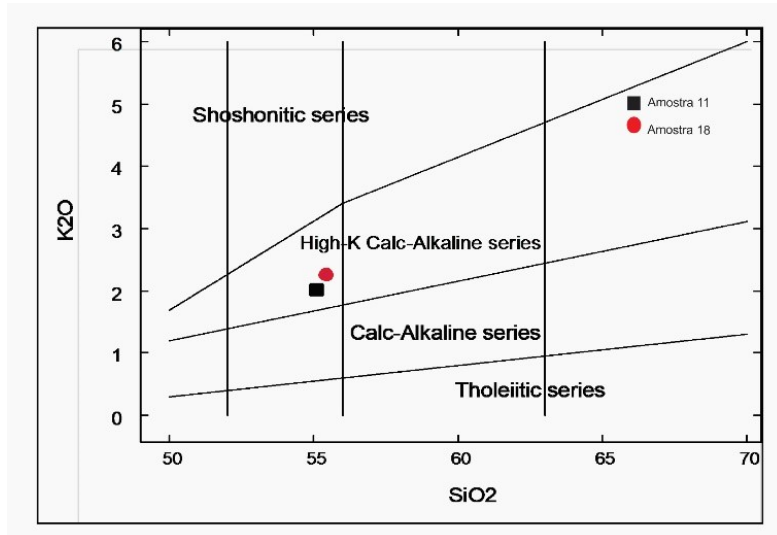


Figura 4: Inserção das amostras no campo da série cálcio-alcalina de alto-K, segundo do diagrama K2O versus SiO2 de Piccerillo e Taylor (1976).

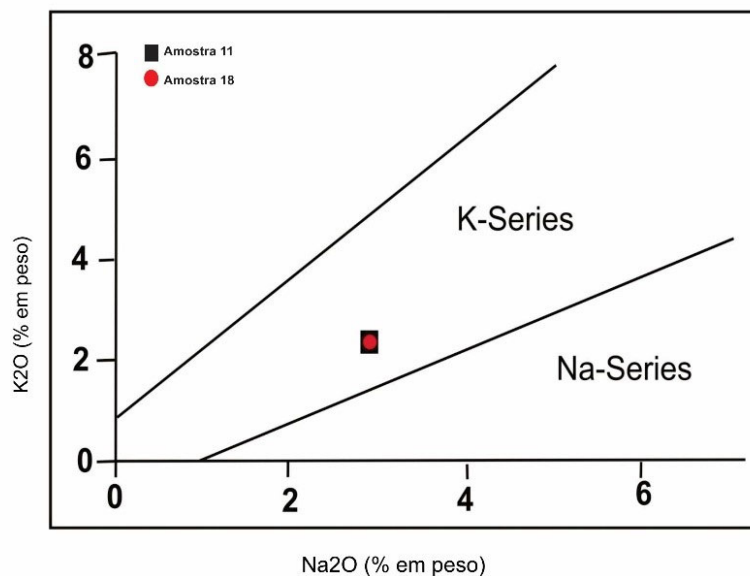


Figura 5: Dados K2O versus Na2O plotados no diagrama de Winter (2001), revelando-se como inclusos no campo das séries potássicas (K-Series).

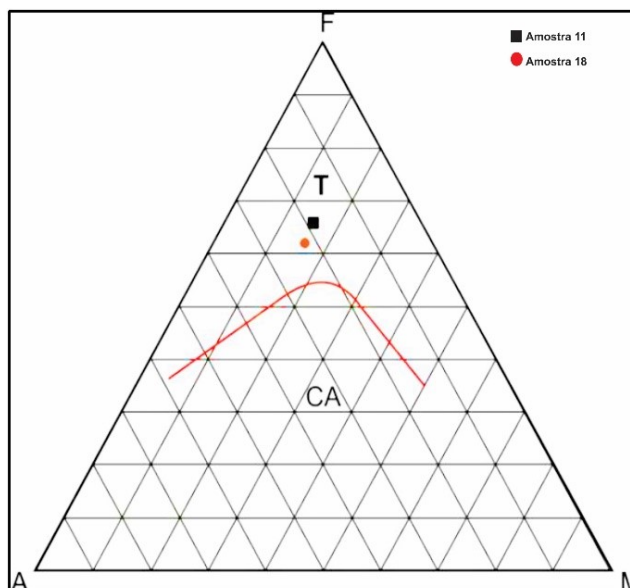


Figura 6: Plot das amostras do dique máfico Itataia-Morrinhos no diagrama AFM (Irvine e Baragar, 1971).

Notas: - Posicionamentos no campo toleítico (tendência dominante para os diabásios e gabros dos enxames de diques Rio Ceará-Mirim); T) Série toleítica; CA) Série cálcio-alcalina.

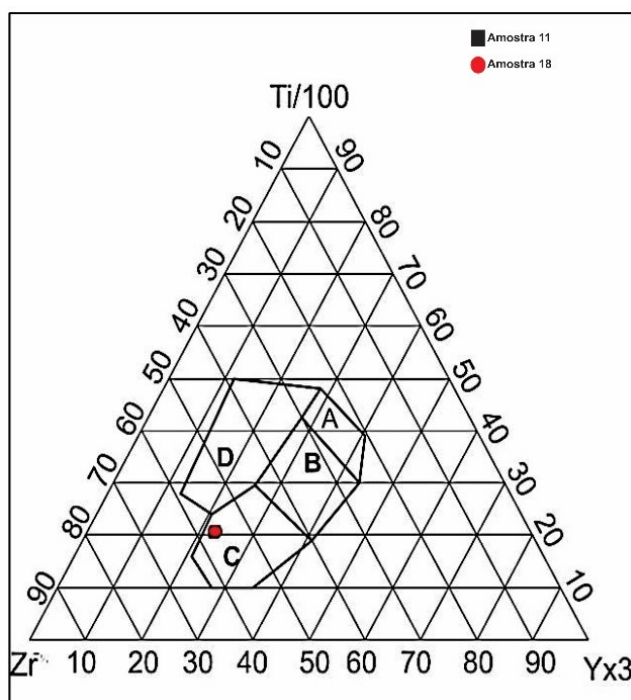


Figura 7: Dados químicos de exemplares do dique máfico Itataia-Morrinhos projetados no diagrama discriminante Ti-Zr-Y de Pearce e Cann (1973).

Legenda: **A)** Toleitos de arco de ilha; **B)** campos dos basaltos MORB (Middle Ocean Ridge Basalt) e cálcio-alcalinos; **C)** basaltos cálcio-alcalinos; **D)** basaltos intra-placas. **A** e **C** são os campos dos IAB (Island-arc basalt), **D** o campo do OIB (Ocean Island Basalt) e **B** um campo híbrido, envolvendo uma mistura de MORBs e IABs (assim, além dos basaltos de assoalho oceânico, incluem toleitos de arco de baixo K e basaltos cálcio-alcalinos).

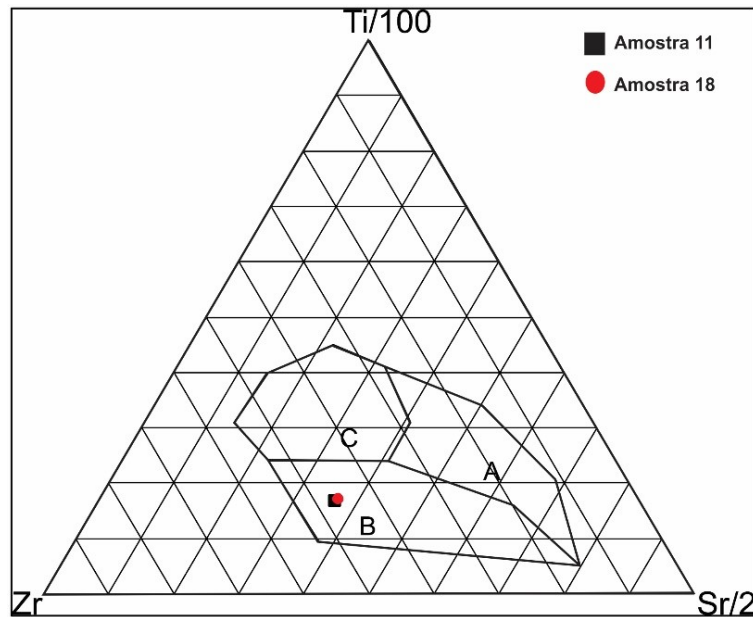


Figura 8: Dados das amostras AF11 e AF18 plotados no diagrama Ti-Zr-Sr de Pearce e Cann (1973).

Legenda: **A)** Campo dos basaltos de arco de ilhas (IAB); **B)** basaltos cálcio-alcálicos; e **C)** basaltos de assoalho oceânico (tipo MORB).

Com base no diagrama *spider* normalizado segundo o Manto Primitivo (Figura 9), tem-se um certo enriquecimento em terras raras leves (*LREE*), Ce e Nd, em relação as terras raras pesadas (*HREE*) representada pelo Y; sendo a anomalia negativa de Sr o principal destaque.

Em síntese, as amostras analisadas (augita-diopsídio diabásio, segundo análises micropetrográficas) relacionam-se aos magmas de ambientes intraplacas continentais, do grupo de alto-Ti ( $\text{TiO}_2 \geq 1,5\%$  em peso), sendo classificadas quimicamente como andesitos basálticos (Figura 2) e andesitos (Figura.3) toleíticos/subalcalinos (o teor de  $\text{SiO}_2$  em torno de 55%, em peso, já as classificariam como do tipo intermediário, mostrando proximidades com o limite superior do intervalo admitido para as básicas – 45 a 52%). A razão  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{K}_2\text{O}$  em torno de

0,343 aproxima-se daquela exibida por Ngonge *et al.* (2016) para as amostras relacionadas aos toleitos de alto-Ti, do Enxame de Diques Rio Ceará-Mirim, isto é, em ca. 0,3; onde parte daqueles de baixo-Ti, marcada por contribuição crustal, exibem valores mais baixos (ca. 0,18). Mesmo assim, no presente estudo litoquímico preliminar, tratando-se de toleitos de alto-Ti, as baixas razões Ta/Th (Figura 10) e Nb/Th sinalizam para uma contaminação de crosta continental,

Por seu turno, a classificação de andesito basáltico coincide com aproximadamente 50 % das amostras de rochas básicas toleíticas da porção oriental da Bacia do Parnaíba analisadas por Silva *et al.* (2017) e quase a totalidade daquelas estudadas por Guimarães (2017), a despeito dos diques Rio Ceará-Mirim, onde Ngonge *et al.* (2016) mostram uma única amostra plotada no campo andesito basáltico. Enquanto isto, no diagrama



TAS (e.g. LE BAS *et al.*, 1986) apresentado por Macêdo *et al.* (2017), tem-se amostras dos enxames de diques Ceará-Mirim E-W e NE com

valores concentrados, predominantemente, no quadrante noroeste do campo dos andesitos basálticos.

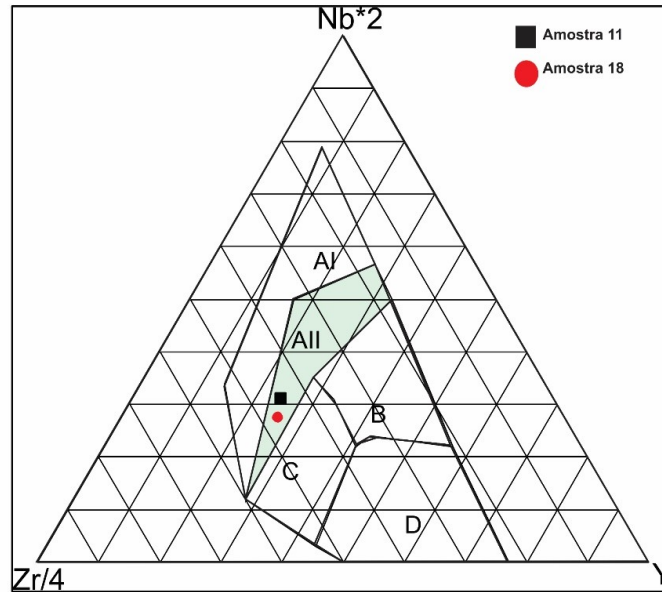


Figura 9: Plot de valores da química de amostras do dique Itataia-Morrinhos, no diagrama discriminante Y-Zr/4- Nbx2 de Meschede (1986) para rochas basálticas. Legenda: **A1 + AII**) Basaltos alcalinos intraplacas (continentais); **AII + C**) toleitos intraplacas (continentais); **B**) tipo E-MORB; **D**) tipo N-MORB; **C + D**) basaltos de arco vulcânico.

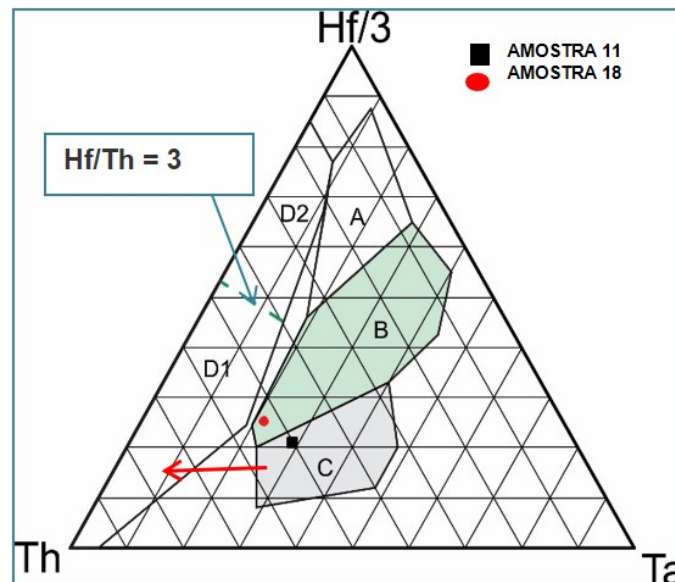


Figura 10: Localização das amostras do dique máfico Itataia-Morrinhos, no diagrama discriminante geoquímico-ambiente tectônico de Wood (1980), que usa os valores de Th, Hf e Ta. Legenda: **A**) Basaltos tipo N-MORB; **B**) Basaltos tipo E-MORB e toleitos intraplaca; **C**) WPA - basaltos alcalinos intraplaca; **D1** ( $Hf/Th < 3$ ) - CAB - basaltos cálcio-alcalinos de arcos; **D2** ( $Hf/Th > 3$ ) - IAT - Toleitos de arcos de ilhas; linha interrompida: razão  $Hf/Th = 3$ . A seta vermelha mostra a tendência de contaminação da crosta se o contaminante pertencer à crosta continental superior (Wood, 1980, apud. Morata *et al.* 1997).

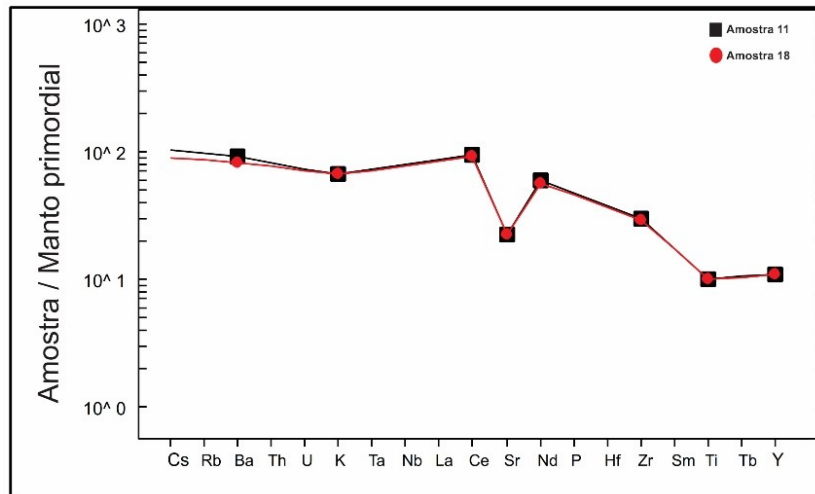


Figura 11: Diagrama multielementar normalizado aos valores do manto primitivo (primordial) de Wood et al. (1979).

Em relação às rochas “básicas” de alto-Ti da Fm. Sardinha estudadas por Silva et al. (2017), as amostras AF11 e AF18 apresentam maiores teores de  $P_2O_5$  (0,71-0,75 vs. 0,16 a 0,30),  $K_2O$  (2,02 e 2,24 vs. 0,25 a 1,14), Rb (48,1 e 57 vs. 5 a 36), Sr (509 e 514 vs. 181 a 352), Nb (23,61 e 28,93 vs. 6 a 12) e U (1,18 e 1,22 vs. 0,21 a 0,99); exibindo, em relação a maioria das amostras (75%), menores teores de CaO (6,82 e 7,07 vs 10,26 a 10,68) e MgO (3,3 e 3,6 vs 5,91 a 6,68).

Já para o contexto dos diques do Domínio Ceará Central, Cavalcanti e Bessa (2011) descrevem a presença de rochas vulcânicas hidrotermalizadas (pontos 10 e 11 da Figura 1) de composição química bastante diferente daquela do dique da área Itataia-Morrinhos; mostrando baixo- $TiO_2$  (0.23 e 0.93 wt.%) e teores inferiores dos elementos maiores, com exceção do P ( $P_2O_5 > 25$  e razão  $P_2O_5/K_2O = 1.250$ ); com representação dos elementos traços/terras raras em diagrama *spider* (tipo normalizado segundo manto primitivo de Sun e McDonough 1989) bastante movimentado e marcado de

importantes anomalias negativas de Pb, K e Ti e um forte enriquecimento em U.

#### 4. GEOCRONOLOGIA

Dos zircões extraídos do “diabásio” do dique Itataia-Morrinhos (amostra AF-11) foram analisadas 55 unidades, sendo descartadas 20, para efeito dos cálculos das idades, algumas em decorrência do elevado  $^{204}Pb$ .

No geral, com base na Tabela 2, a maioria das idades  $^{206}Pb/^{238}U$  não exibe valor inferior a 564 Ma, ficando uma maior porcentagem no intervalo de 2.300-1.800 Ma (Era Paleoproterozóico do Período Riaciano ao Orosiriano); onde os registros neoproterozóicos (1.000-541±1 Ma) são de 564, 610, 676, 776, 783 e 958 Ma.

De acordo com a Figura 12, as idades relativas aos interceptos superiores, entre ca. 2.000 e ca. 2.200 Ma, além daquela de ca. 2.695 Ma, encontram marcante compatibilidade com idades de ortogneisses do Núcleo Arqueano- Paleoproterozóico de Tróia, envolvendo, principalmente, o Complexo Cruzeta (CAVALCANTE et

al., 2003). Desta unidade, as idades U-Pb de zircões de diversos litotipos, registradas por vários autores, são agrupadas por Costa et al. (2018, in Costa, 2018) nos seguintes intervalos:  $2.675 \pm 64$  a  $3.270 \pm 5$  (rochas do embasamento);  $2.130 \pm 3$  a  $2.190 \pm 6$  (evento acrescionário/pré-colisional);  $2.036 \pm 28$  a  $2103 \pm 3$  (evento colisional). No caso da cronologia dos zircões arqueanos, de ca. 2.695 Ma, relaciona-se ao intervalo de tempo que tem sido estabelecido para rochas da Unidade Pedra Branca, do referido Complexo Cruzeta, onde exemplares de metatonalitos exibem idades de  $2.698 \pm 8$  Ma (ARAÚJO et al., 2017) e  $2.675 \pm 64$  (FETTER, 1999).

Tratando-se dos valores relativos aos interceptos inferiores (Figura 12), as idades de  $635 \pm 22$ ,  $594 \pm 14$  e  $551 \pm 11$  são próximas daquelas que têm sido relacionadas a eventos tectono-metamórficos diversos e inerentes à evolução neoproterozóica do Sistema/Faixa de Dobramentos Rio Curú-Independência (BRITO NEVES, 1975), envolvendo o Complexo/Grupo

Ceará e cronocorrelatos. Desta unidade estratigráfica são registrados zircões metamórficos com idades em torno de 630 Ma e crescimentos metamórficos, aos redores dos núcleos de zircões detríticos, que apontam para um desenvolvimento de várias fases metamórficas com mecanismos distintos, em 640, 610, 580 e 540 Ma (ARAÚJO et al., 2017).

Ademais, no caso do quartzito de Lagoa do Mato (área SE de Itataia) os zircões detríticos forneceram, predominantemente, idades de 2.101 a 2.190 Ma, além de idades concordantes  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de 578, 575 e 540 Ma, em áreas de sobrecrecimentos (ARAÚJO et al., 2014).

Em decorrência, as idades U-Pb ora exibidas (Tabela 2 e Figura 12) apontam para zircões derivados de uma fonte constituída, predominantemente, de rochas arqueano-paleoproterozóicas metamorizadas no Neoproterozóico, a partir das quais o magma básico foi contaminado.

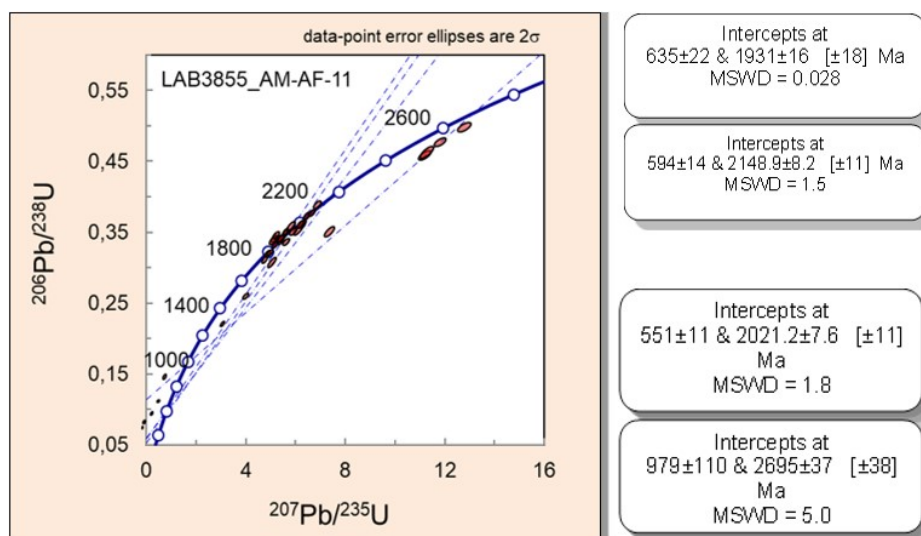


Figura 12: Diagrama concórdia para zircões da amostra AM-AF-11 (“diabásio” do dique Itataia-Morrinhos).

Tabela 2: Resultados analíticos U-Pb (LA-ICPMS) para zircões da amostra AF-11 (“diabásio” do dique Itataia-Morrinhos).

Identifíer	206* (%)	<sup>204</sup> Pb cps	<sup>206</sup> Pb mV <sup>1</sup>	Th/U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	1s%	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1s %	DWp <sup>4</sup> <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U
Idade 1.9 Ga									
017-ZR13	0.0141	6	0.0028	0.145	108343	12.53	0.11825	0.38	5.664
048-ZR37	0.1803	44	0.0013	0.165	8624	41.72	0.07646	0.97	1.349
061-ZR48	0.0114	10	0.0016	0.465	133717	66.17	0.11813	0.59	5.624
065-ZR50	0.0171	14	0.0036	0.367	89203	23.97	0.11835	0.47	5.738
Idade 2.0 Ga									
005-ZR3	0.0098	13	0.0051	0.153	155181	18.24	0.12438	0.36	6.070
006-ZR4	0.0111	13	0.0025	0.694	137197	57.53	0.12408	0.37	6.097
016-ZR12	0.0294	9	0.0014	0.267	51917	14.76	0.12442	0.43	5.892
032-ZR26	0.0820	20	0.0015	0.432	18586	27.13	0.12231	0.47	5.853
033-ZR27	0.0515	8	0.0009	0.319	29551	18.12	0.12381	0.54	5.936
034-ZR28	0.0234	8	0.0019	0.419	65259	14.02	0.12000	0.49	5.404
035-ZR29	0.0269	5	0.0013	0.497	56515	11.74	0.12517	0.50	6.283
036-ZR30	0.0926	8	0.0004	0.564	16821	11.71	0.06083	0.83	0.767
046-ZR35	0.0214	12	0.0022	0.382	71020	17.22	0.12340	0.47	5.902
058-ZR45	0.0158	10	0.0024	0.550	96418	14.60	0.12164	0.45	5.507
069-ZR54	0.0248	7	0.0014	0.435	61549	13.26	0.12052	0.43	5.304
074-ZR59	0.0072	9	0.0048	0.681	211259	15.39	0.12157	0.47	5.679
Idade 2.1 Ga									
004-ZR2	0.1201	17	0.0006	0.519	12662	25.69	0.13221	0.60	6.558
011-ZR9	0.1631	8	0.0003	0.006	9545	19.29	0.06089	2.06	0.833
012-ZR10	0.0291	16	0.0026	0.134	52138	30.02	0.13256	0.60	6.709
020-ZR16	0.0502	14	0.0015	0.466	30117	22.00	0.13385	0.47	7.254
028-ZR22	0.0097	14	0.0036	0.051	157688	35.44	0.12910	0.44	6.096
030-ZR24	0.0155	8	0.0022	0.195	98368	28.10	0.12934	0.50	6.367
043-ZR32	0.0255	17	0.0024	0.364	59384	22.67	0.13205	0.43	6.877
049-ZR38	0.2942	125	0.0095	0.041	5228	12.62	0.12416	0.53	4.611
053-ZR40	0.4194	115	0.0061	0.027	3680	6.75	0.11706	0.47	3.740
054-ZR41	0.1757	45	0.0022	0.089	8858	56.06	0.07254	1.20	1.105
068-ZR53	0.0113	10	0.0015	0.177	134300	68.79	0.13127	0.42	6.633
071-ZR56	0.0028	6	0.0091	0.068	534234	15.38	0.13399	0.37	7.055
072-ZR57	0.0111	10	0.0034	0.481	137543	14.82	0.12832	0.49	5.573
Idade 2.6 Ga									
009-ZR7	0.0127	9	0.0033	0.285	117280	15.78	0.17993	0.43	11.838
015-ZR11	0.1580	4	0.0002	0.307	9821	12.64	0.07208	1.11	1.593
029-ZR23	0.0354	14	0.0015	0.655	42171	18.37	0.17748	0.42	11.253
045-ZR34	0.0137	15	0.0024	0.370	109147	30.30	0.17744	0.46	11.336
047-ZR36	0.8212	187	0.0053	0.453	1852	4.34	0.15698	0.56	7.710
050-ZR39	0.0111	10	0.0033	0.416	133166	16.51	0.18523	0.45	12.715

Notas: (1) O fator de conversão de mV para CPS é 62500000; (2) Incerteza de concentração c.20%; (3) Dados não corrigidos para Pb comum; (4) não corrigido para Pb comum; (5) discordância calculada como  $(1 - (\text{idade } 206\text{Pb} / 238\text{U} / \text{idade } 207\text{Pb} / 206\text{Pb})) * 100$ . As constantes de decaimento de Jaffey et al. (1971).

Tabela 2: Resultados analíticos U-Pb (LA-ICPMS) para zircões da amostra AF-11 (“diabásio” do dique Itataia-Morrinhos). (continuação)

Data for Wetherill plot <sup>4</sup>						Ages <sup>4</sup>					
1s %	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1s %	Rho	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	2s abs	206Pb/238U	2s abs	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	2s abs	% U-Pb disc <sup>5</sup>	
0.75	0.3474	0.53	0.71	1930	14	1922.098	18	1926	13	0.41	
1.17	0.1280	0.53	0.46	1107	39	776.3419	8	867	14	29.87	
0.98	0.3452	0.69	0.70	1928	21	1911.87	23	1920	17	0.85	
0.83	0.3516	0.57	0.69	1931	17	1942.39	19	1937	14	-0.56	
0.77	0.3539	0.58	0.75	2020	13	1953.272	19	1986	13	3.31	
0.74	0.3563	0.52	0.70	2016	13	1964.821	18	1990	13	2.52	
0.79	0.3435	0.54	0.69	2021	15	1903.312	18	1960	14	5.80	
0.85	0.3470	0.59	0.70	1990	17	1920.496	20	1954	15	3.50	
0.93	0.3477	0.66	0.71	2012	19	1923.457	22	1966	16	4.40	
0.85	0.3266	0.59	0.70	1956	17	1821.847	19	1885	15	6.87	
0.97	0.3640	0.74	0.76	2031	18	2001.117	25	2016	17	1.48	
1.11	0.0915	0.64	0.58	633	35	564.3365	7	578	10	10.87	
0.80	0.3469	0.52	0.65	2006	17	1919.568	17	1962	14	4.31	
0.79	0.3283	0.53	0.68	1980	16	1830.291	17	1902	14	7.58	
0.87	0.3192	0.65	0.75	1964	15	1785.748	20	1870	15	9.07	
0.77	0.3388	0.48	0.63	1979	17	1880.846	16	1928	13	4.98	
1.15	0.3597	0.90	0.79	2127	21	1980.888	31	2054	20	6.89	
2.38	0.0992	1.13	0.48	635	87	609.7788	13	615	22	4.01	
0.92	0.3670	0.59	0.64	2132	21	2015.309	20	2074	16	5.48	
0.81	0.3931	0.54	0.67	2149	16	2136.987	20	2143	14	0.56	
0.79	0.3425	0.54	0.69	2086	15	1898.54	18	1990	14	8.97	
0.84	0.3570	0.58	0.68	2089	17	1968.124	19	2028	15	5.78	
0.78	0.3777	0.53	0.68	2125	15	2065.488	19	2096	14	2.82	
0.93	0.2693	0.67	0.72	2017	19	1537.367	18	1751	15	23.77	
0.91	0.2317	0.69	0.75	1912	17	1343.408	17	1580	15	29.73	
1.54	0.1105	0.88	0.57	1001	48	675.7619	11	756	16	32.49	
0.80	0.3665	0.58	0.72	2115	15	2012.752	20	2064	14	4.84	
0.74	0.3819	0.51	0.70	2151	13	2084.963	18	2118	13	3.06	
1.11	0.3149	0.92	0.83	2075	17	1764.97	29	1912	19	14.95	
0.75	0.4771	0.49	0.65	2652	14	2514.777	20	2592	14	5.18	
1.50	0.1602	0.94	0.63	988	45	958.0592	17	967	19	3.06	
0.80	0.4598	0.57	0.71	2629	14	2438.817	23	2544	15	7.25	
0.91	0.4633	0.69	0.76	2629	15	2454.231	28	2551	17	6.65	
1.04	0.3562	0.80	0.77	2423	19	1964.023	27	2198	19	18.96	
0.79	0.4978	0.52	0.67	2700	15	2604.493	22	2659	15	3.55	

Notas: <sup>4</sup> não corrigido para Pb comum; <sup>5</sup> discordância calculada como  $(1 - (\text{idade } 206\text{Pb} / 238\text{U} / \text{idade } 207\text{Pb} / 206\text{Pb})) * 100$ ; - Todas as etapas laboratoriais foram executadas por técnicos do Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UnB).



## 5. CONCLUSÕES

Mesmo tratando-se de uma abordagem inicial, em decorrência da pequena quantidade de informes laboratoriais, conclui-se que:

- A rocha ígnea máfica constituinte do dique Itataia-Morrinhos, descrita petrograficamente como diabásio, exibe composição química de andesitos basálticos (ou de uma zona transicional entre estes e os andesitos), pertencentes a série subcalina-toleítica de alto-Ti e com indicadores de contaminação de materiais da litosfera continental. Em função dos dados litoquímicos, são correlacionáveis a uma importante fração das rochas dos enxames de diques Ceará-Mirim e da Formação Sardinha.

- Em termos cronoradiométricos U-Pb, em zircões, não foi possível precisar a idade de cristalização desse dique; contudo, as populações de zircões herdados, de idades precambrianas, reforçam o sinalizado pela litoquímica, relativo a uma contaminação do magma durante sua ascensão na crosta continental.

- Sobre a influência hidrotermal do magmatismo eocretácico Ceará-Mirim/Sardinha na gênese da Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia, os dados de petrografia e litoquímica são fortemente díspares daqueles enriquecidos em P ( $P_2O_5 > 25$ ) e U exibidos por Cavalcanti e Bessa (2011) para vulcânicas hidrotermalizadas e relacionadas ao mesmo enxame de diques. As amostras ora estudadas, mesmo sendo de afloramentos próximos ao principal corpo de minério, exibem baixos teores destes dois

elementos ( $P_2O_5$  em torno de 0,73 - % em peso - e U de 1,20 ppm).

### Agradecimentos

Sinceros agradecimentos ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará por fornecer todo o suporte para a realização do presente trabalho; às empresas Industrias Nucleares do Brasil - INB e Galvani S. A. (Consórcio Santa Quitéria) pelo apoio logístico e acesso à área de pesquisa; à equipe do Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília sob a chefia do Prof. Dr. Elton Dantas e à FUNCAP - Fundação Cearense de Pesquisa pela concessão da bolsa de mestrado.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. R., PARENTE, C. V., ARTHAUD, M. H. **Folha Itatira-SB.24-V-B-V, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem.** Convênio UFC-CPRM, Fortaleza-Ceará. 2007.
- ALMEIDA, C. N., MELLO, E. F., IZAQUE, D. N., SILVA, D. da. **Caracterização geológica e geoquímica das intrusões de rochas metamáficas e félsicas nos mármores do Sul do Espírito Santo.** *Revista Brasileira de Geociências*, 42(2): 245-264, 2012. Disponível em: [www.sbgeo.org.br](http://www.sbgeo.org.br). Acesso em: 09 abr. 2019.
- ARAÚJO, C. E. G. de, BASEI, M. A. S., GRANDJEAN, F. C., ARMSTRONG, R., BRITO, R. S. **Contrasting Archaean (2.85–2.68 Ga) TTGs from the Tróia Massif (NE-Brazil) and their geodynamic implications for flat to steep subduction transition.** *Precambrian Research*, 297:1–18, 2017.

- ARAÚJO, C. E. G. de, CORDANI, U. G., BASEI, M. A. S., CASTRO, N. A., SATO, K., SPROESSER, W. M. **U-Pb detrital zircon Provenance of metasedimentary rocks From Ceará Central and Médio Coreau Domains, Borborema Province, NE-Brazil: Tectonic implications for a long-lived Neoproterozoic active continental margin.** In: Araujo, C. E. G. de. *Evolução Tectônica da Margem Ativa Neoproterozóica do Orógeno Gondwana Oeste na Província Borborema (NE-Brasil)*. 2014. Tese Doutado (Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica), Universidade de São Paulo-USP, São Paulo. 189 p., 2014.
- ARTHAUD, M. H., FUCK, R. A., SANTOS, T. J. S., DANTAS, E. L., SANTOS, A. A., **Caracterização estrutural e radiométrica da Nappe de Itatira, Ceará Central.** Congresso Brasileiro de Geologia, 42, Araxá, 2004 (CD ROM, 2p)
- ARTHAUD, M. H. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): Da Sedimentação À Colisão Continental Brasileira.** 2007. Tese Doutorado em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 170 p., 2007.
- BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino.** 1975. 198 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.
- CASTRO, G. L., PARENTE, C. V., VERÍSSIMO, C. U. V., SIAL, A.N., GARCIA, M. G. M., SANTOS, R. V., CASTRO, R. M., SANTOS, A. A. **Isotopos de Carbono e Oxigenio dos Mármoreos Associados com o Deposito Fósforo-Uranífero de Itataia, Ceará.** Rev. Bras. Geociencias. v. 35, p.199-208, 2005.
- CASTRO, N. A., BASEI, M. A. S., ONOE, A. T. **Phosphorous-uraniferous mineralization at Itataia (Ceara state, Brazil): geological aspects and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age.** V. SSAGI Abstr. 603, 1 e 4, 2005a.
- CAVALCANTE, J. C. **Limites e evolução do Sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil.** 1999. Dissertação de mestrado (Área Geodinâmica e Geofísica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil, 183p., 1999.
- CAVALCANTE, J. C., VASCONCELOS, A. M., MEDEIROS, M. F., PAIVA, I. P., GOMES, F. E. M., CAVALCANTE, S. N., CAVALCANTE, J. E., MELO, A. C. R., DUARTE NETO, V. C. e BENEVIDES, H. C. **Mapa Geológico do Estado do Ceará, Escala 1:500.000.** Fortaleza, Ministério das Minas e Energia/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2003.
- CAVALCANTI J. A. D., BESSA M. D. M. R. **A pesquisa de fosfato na área Ceará Central.** In: Abram et al. (eds.). 2011. Projeto fosfato Brasil: parte 1. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Minas e Metalurgia, Ministério das Minas e Energia, Salvador, p. 487-518, 2011.
- CAVALCANTI, J. A. D., BESSA, M. D., SANTOS, R. V., VERÍSSIMO, C. U. V., PARENTE, C. V. **A hydrothermal karst-hosted U-P deposit related to Pangea break-up:Itataia deposit, Borborema Province, Northeastern Brazil - a review.** 2018 Journal of the Geological Survey of Brazil, 1 (1) 43-60, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.29396/jgsb.2018.v1.n1.4>. Acesso em: 23 abr. 2019.

- COSTA, F. G. da. **Geologia e Metalogenese do Ouro do Greenstone Belt da Serra das Pipocas, Maciço de Troia, Província Borborema, NE-Brasil**. 2018. Tese doutorado (Área Geologia), Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociência, Belém-PA. 228 p., 2018.
- COX, K. J., BELL, J. D., PANKHURST, R. J. **The Interpretation of Igneous Rocks**. Allen and Unwin, St Leonards, NSW, Australia. 450 pp, 1979,
- DELGADO, I. de M. et al. **Geotectônica do Escudo Atlântico**. In: Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (Eds.). 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília, CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Capítulo V, p. 227-332, 2003.
- FETTER, A. H. **U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the Assembly of Gondwana**. 1999. Tese (PHD), Department of Geology, Kansas University, Kansas, 164 p., 1999.
- FETTER, A. H., SANTOS, T. J. S., VAN SCHUMUS, W. R., HACKSPACHER, P. C., BRITO NEVES, B. B., ARTHAUD, M. H., NOGUEIRA NETO, J. A.; WERNICK, E. **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*, 6(2): 265-273, 2003.
- GARCIA, M. G. M., ARTHAUD, M. H. **Caracterização de trajetória P-T em nappes brasileiras: região de Boa Viagem/Madalena – Ceará Central (NE Brasil)**. *Revista de Geologia*, Universidade Federal do Ceará, 17:173-191, 2004.
- GILL, J. B. **Orogenic Andesites and Plate Tectonics**, Springer, New York. 358 p., 1981.
- GUIMARÃES, P. M. **Petrografia e litogeoquímica de rochas básicas do poço 1UN-26, porção oriental da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC); Universidade Federal do Rio de Janeiro, Inst. de Geologia, 115p., 2017. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7933/1/GUIMARR%C3%83ES%2C%20P.M.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- IRVINE, T. N., BARAGAR, W. R. A. **A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks**. *Can. J. Earth Sci.*, 8:523–54, 1971.
- LE BAS, M. J., LE MAITRE, R. W., STRECKEISEN, A., and ZANETTIN, B. **A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram**, *J. Petrol.*, 27, 7. 1986.
- MACÊDO, A. A. de, HOLLANDA. M. H.; ARCHANJO, C. J., CASTRO, D. L. de. **A Província Magmática do Atlântico Equatorial (EQUAMP), NE do Brasil**. XVI Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, X International Symposium on Tectonics. Salvador, Bahia, 2017.
- MIYASHIRO, A. **Volcanic rock series in island arcs and active continental margins**. *Am. J. Sci.*, 274 (4): 321-355. 1974.
- NGONGE, E. D., HOLLANDA, M. H. B. M. ARCHANJO, C. J., OLIVEIRA, D. C., VASCONCELOS, P. M. P., MUÑOZ, P. R. M. **Petrology of continental tholeiitic magmas forming a 350-km-long Mesozoic dyke swarm in NE Brazil: Constraints of geochemical and isotopic data**. *Lithos*, vol.258-259, p.228-252, 2016.

- OLIVEIRA, F. V. de. **Chronus: Um novo suplemento para a redução de dados U-Pb obtidos por LA-MC-ICPMS**. 2015. Dissertação de mestrado (Área de Concentração: Geoquímica), Inst. de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília – DF, 91 p., 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/19559>. Acesso em: 12 set. 2019.
- PEARCE, J. A., CANN, J. R. **Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses**, Earth Planet. Sci. Lett., 19 (2):. 290-300. 1973.
- PECCERILLO, A., TAYLOR, S. R. **Geochemistry of Eocene calc-alkaline rocks from Kastamonu area, Northern Turkey**. Contrib. Mineral. Petrol., 58, 63–81. 1976.
- MORATA, D., PUGA, E., DEMANT A, E., AGUIRRE, L. **Geochemistry and tectonic setting of the «ophites» from the external zones of the Betic Cordilleras (S. Spain)**. Estudos Geológicos, 53:107-120, 1997.
- SILVA, A. G. da, ALMEIDA, C. N. de, VALENTE, S. de C., ALMEIDA, L. F. B. de. **The petrogenesis of tholeiitic diábases in eastern Parnaíba Basin:evidence for geochemical heterogeneities in the subcontinental lithospheric mantle in NE Brazil**. Brazilian Journal of Geology, 47(1): 109-126, mar. 2017
- SAUNDERS, A. D., TARNEY, J. **Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basin**. In: Kokelaar, B. P. and Howells, M. F. (Eds.). 1984. Marginal Basin Geology. Geol. Soc. Spec. Publ., 16, 59–76. 1984.
- SUN, S. S. **Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs**. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A, 297, 409–445.
- SUN, S. S., MCDONOUGH, W. F. **Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes**. In: Sandes, A. D. and Norry, J. M. J. (Eds.) 1989..Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ., 42, 313–345. 1989.
- VERÍSSIMO, C. U. V., SANTOS, R. V., PARENTE, C. V., GOUVEIA, C. O., CAVALCANTI, J. A. D., NOGUEIRA, J. A. **The Itataia phosphate-uranium deposit (Ceará, Brazil) new petrographic, geochemistry and isotope studies**. Journal of South America Earth Sciences, v. 70, p. 115-144, 2016.
- WINTER, J.D. **An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology** PrenticeHall Inc, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 697 p. 2001.
- WOOD, D. A. **The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tecnomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic** 11–30. 1980.
- WOOD, D. A., JORON, J. L. TREUIL, M. NORRY, M., e TARNEY, J. **Elemental and Sr isotope variations in basic lavas from Iceland and the surrounding ocean floor**. Contrib. Mineral. Petrol., 70, 3219–3239. 1979.