

Petrografia e geoquímica de gnaisses da região de Indiara, porção central do arco magmático de Goiás

Petrography and geochemistry of gneisses from Indiara region, central portion of the Goiás magmatic arc

Guillermo Rafael Beltran Navarro¹, Antenor Zanardo¹, Cibele Carolina Montibeller², Fabiano Tomazini da Conceição³, Claudio de Morisson Valeriano⁴

¹Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Avenida 24 A, 1.515 - CEP 13506-900, Rio Claro, SP, BR (navarro@rc.unesp.br, azanardo@rc.unesp.br)

²Pós-graduação em Geociência e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Rio Claro, SP, BR (cibele.cm@outlook.com)

³Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Rio Claro, SP, BR (ftomazini@rc.unesp.br)

⁴Faculdade de Geologia, Departamento de Geologia Regional e Geotectônica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ - Rio de Janeiro, RJ, BR (valeriano.claudio@gmail.com)

Recebido em 13 de maio de 2016; aceito em 17 de agosto de 2017

Resumo

Na região de Indiara, Goiás, ocorre uma extensa faixa de gnaisses relacionados ao Arco Magmático de Goiás, próximo ao contato com as rochas supracrustais da Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí. Dados geoquímicos e isotópicos (Sm/Nd) mostram que os gnaisses da região de Indiara não são semelhantes às rochas de regiões tipo do Arco Magmático de Goiás (regiões de Arenópolis, Firminópolis, Iporá e Mara Rosa). São rochas cálcio-alcálicas e peraluminosas, com composição predominantemente granítica, em contraste com o caráter prevalentemente cálcico e metaluminoso das regiões tipo, que também apresentam composição predominantemente tonalítica a granodiorítica. Os altos teores de SiO₂, o caráter fortemente peraluminoso e os altos teores de coríndon normativo sugerem que os gnaisses da região de Indiara são derivados de granitos tipo-Sin-colisionais e/ou correspondem à mistura de protólitos ígneos e sedimentares. As idades modelo TDM (1,88 e 1,90 Ga) sugerem que os gnaisses da região evoluíram de crosta sílica mais antiga do que as rochas que compõem o Arco Magmático de Goiás.

Palavras-chave: Gnaisses; Faixa Brasília; Província Tocantins.

Abstract

In the region of Indiara, Goiás, there is an extensive belt of gneisses related to the Goiás Magmatic Arc, near the contact with the supracrustal rocks of the Anicuns-Itaberaí Metavolcanosedimentary Sequence. Although rocks from different locations associated with the Goiás Magmatic Arc have similar petrographic characteristics, geochemical and isotopic data show that the gneisses of Indiara region are not chemically similar to the rocks of type regions from the Arc (regions of Arenópolis, Firminópolis, Iporá and Mara Rosa). They have calcium-alkaline and peraluminous character, with predominantly granitic composition, in contrast to the prevalently calcic and metaluminous character of the type region, which also presents dominantly tonalitic to granodioritic compositions. The high SiO₂ content, strongly peraluminous character and the high levels of normative corundum suggest that the gneisses of Indiara region are derived from Type-S syn-collisional granites and/or are related to mixing of igneous and sedimentary protoliths. TDM model ages (1.88 and 1.90 Ga) suggest that the gneisses of this region evolved from sialic crust older than the rocks that form the Goiás Magmatic Arc.

Keywords: Gneisses; Brasília Belt; Tocantins Province.

INTRODUÇÃO

Em trabalhos regionais, Barbosa et al. (1966, 1970), Oliveira e Bittar (1971), Schobbenhaus et al. (1975a, 1975b), Marini et al. (1978, 1984a, 1984b), Danni e Fuck (1981), Ianhez et al. (1983), Barbosa (1987), Valente (1986), Lacerda Filho et al. (1999), entre outros, relacionaram os gnaisses e as sequências supracrustais que ocorrem de Arenópolis-Piranhas até Pontalina-Buriti Alegre ao embasamento da Faixa Brasília, de idade arqueana e/ou paleoproterozoica. Entretanto, dados isotópicos e geocronológicos demonstraram que esses gnaisses e sequências supracrustais correspondem a terrenos juvenis neoproterozoicos e são incluídos no Arco Magmático de Goiás (Pimentel e Fuck, 1991, 1992; Pimentel et al., 1997, 2000a, 2000b, 2004; Dardenne, 2000; Fuck, 1994; Fuck et al., 1994, 2005; Viana et al., 1995; Rodrigues et al., 1999; Laux et al., 2003, 2005, 2010; Navarro et al., 2004, 2013; Moreira et al., 2008). Os dados geocronológicos e isotópicos disponíveis atualmente sugerem que o Arco Magmático de Goiás é resultado de um sistema de arcos de ilhas, formado entre ~900 e ~600 Ma, a partir de dois eventos de acreção crustal: um entre ~900 e ~800 Ma e o outro entre ~670 e ~600 Ma (Pimentel et al., 2004; Laux et al., 2005; Hasui, 2012).

A porção sul do Arco Magmático de Goiás — denominado Ortognaisses do Oeste de Goiás (Moreira et al., 2008) — corresponde a uma faixa de direção NW-SE que se estende desde a região de Arenópolis-Piranhas até a região de Pontalina-Aloândia-Buriti Alegre. Essa faixa é constituída por ortognaisses de composição diorítica a granítica originados a partir de rochas plutônicas geradas em ambiente de arco de ilhas (insulares ou de margens ativas – Hasui, 2012), que ocorrem associados a sequências metavulcanossedimentares (sequências Arenópolis, Iporá, Amarinópolis, Jaupaci, Bom Jardim de Goiás, Anicuns-Itaberaí, Mara Rosa e Santa Terezinha) e granitos miloníticos (granitos Macacos, Serra do Tatu e Mina de Posse). Corpos intrusivos de composição granítica (granitos Serra Negra, Serra do Irã, Caiapó, Iporá, Israelândia, Serra do Impertinente, Fazenda Nova, Novo Brasil, Faturinha e São João) e básica-ultrabásica (Americano do Brasil e Anicuns-Santa Bárbara, diorito Córrego do Lajeado), com características tardi- a pós-orogênicas, também ocorrem associados (ou subordinados).

Apesar de sua grande extensão — cerca de 480 km de extensão por ~60 km de largura —, algumas áreas da porção sul do Arco Magmático de Goiás — como a área foco deste trabalho, na região de Indiara-GO — ainda não foram estudadas em detalhe. Este trabalho teve como objetivo apresentar dados preliminares sobre as características químicas de gnaisses relacionados ao Arco Magmático de Goiás, que ocorrem na região de Indiara (GO), próximos ao contato com as rochas supracrustais da Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí (Figura 1).

GEOLOGIA LOCAL

A estruturação da região corresponde, de modo geral, ao traçado tectono-estratigráfico proposto por outros trabalhos (Oliveira e Bittar, 1971; Araújo et al., 1980; Ianhez et al., 1983; Lacerda Filho et al., 1999; Simões, 2005; Moreira et al., 2008) para a área de estudo, sendo que os litotipos dominantes são gnaisses, relacionados por esses autores ao Arco Magmático de Goiás (Figura 2), aos quais se associam rochas metamáficas (anfíbólio xistos e anfibólitos) e, mais raramente, rochas metassedimentares (mármore, granada-biotita xistos e biotita xistos).

Na área de estudo ocorrem muscovita gnaiss com biotita e biotita gnaiss com muscovita, comumente quartzosos, leucocráticos a mesocráticos. Localmente ocorre granada-biotita-muscovita xisto porfiroblástico intercalado em muscovita gnaiss. Os gnaisses são fracamente bandados — apresentam bandamento milimétrico descontínuo (Figuras 3A, 3B, 3C e 3D) — de cor cinza a cinza-esbranquiçada ou branca acinzentada, frequentemente com matiz avermelhada em razão da alteração; possuem aspecto xistoso, que também é realçado pela alteração intempélica. Apresentam foliação bem desenvolvida (forte anisotropia), localmente dobrada (dobras métricas suaves), raramente apresentando dobras intrafoliares, assimétricas (Figuras 3E e 3F) e apertadas, e normalmente constituem tectonitos S-L a L-S. A textura dessas rochas é granoblástica, com domínios lepidoblásticos, ou transicionais entre granoblásticos e lepidoblásticos. A granulação das rochas é média a fina, localmente com porções porfiroclásticas. As porções porfiroclásticas (Figura 3D) são constituídas principalmente por biotita gnaiss porfiroclástico com ou sem muscovita, sendo que os porfiroclastos são constituídos por feldspato e possuem tamanho médio menor que 1 cm de comprimento — localmente podem chegar a 4 cm —, possuem formas sub-retangulares a ovaladas e estão orientados segundo a foliação principal. Porções pegmatíticas ocorrem localmente, intercaladas paralelamente ao bandamento composicional dos gnaisses, podendo, em alguns casos, atingir até 3 m de espessura. Esses pegmatitos são constituídos por muscovita de granulação grossa a pegmatoide, feldspato potássico (microclínio), que pode atingir até 5 cm de comprimento, e quartzo branco a transparente. Alguns desses pegmatitos contêm cristais de turmalina (schorlita), podendo, em alguns casos, atingir prismas de até 6 cm de comprimento.

Na região E-NE da área de estudo aflora biotita gnaiss porfiroclástico (Figura 2 e Figuras 4A, 4B, 4C e 4D), de cor branca-acinzentada a cinza-esbranquiçada, granulação média a grossa e matriz granoblástica. Os porfiroclastos de feldspato possuem tamanho médio de ~2 cm de comprimento — localmente podem chegar a 6 – 7 cm. Apresenta manchas e/ou agregados lenticulares lepidoblásticos constituídos por biotita e, subordinadamente, por muscovita, dispostos paralelamente à

foliação. Localmente mostra porções mais finas de cor branca-acinzentada a cinza-esbranquiçada, constituídas por muscovita-biotita gnaisse de granulação fina a média.

Granada-biotita-muscovita xisto e/ou granada-biotita-muscovita gnaisse porfiroblástico ocorre como camadas e/ou lentes de espessuras métricas. Apresentam textura lepidoblástica com domínios granoblásticos, cor cinza, granulação fina a média e estrutura xistosa dobrada. Os porfiroblastos são de granada idiomórfica a hipidiomórfica, de dimensões médias de 0,5 cm.

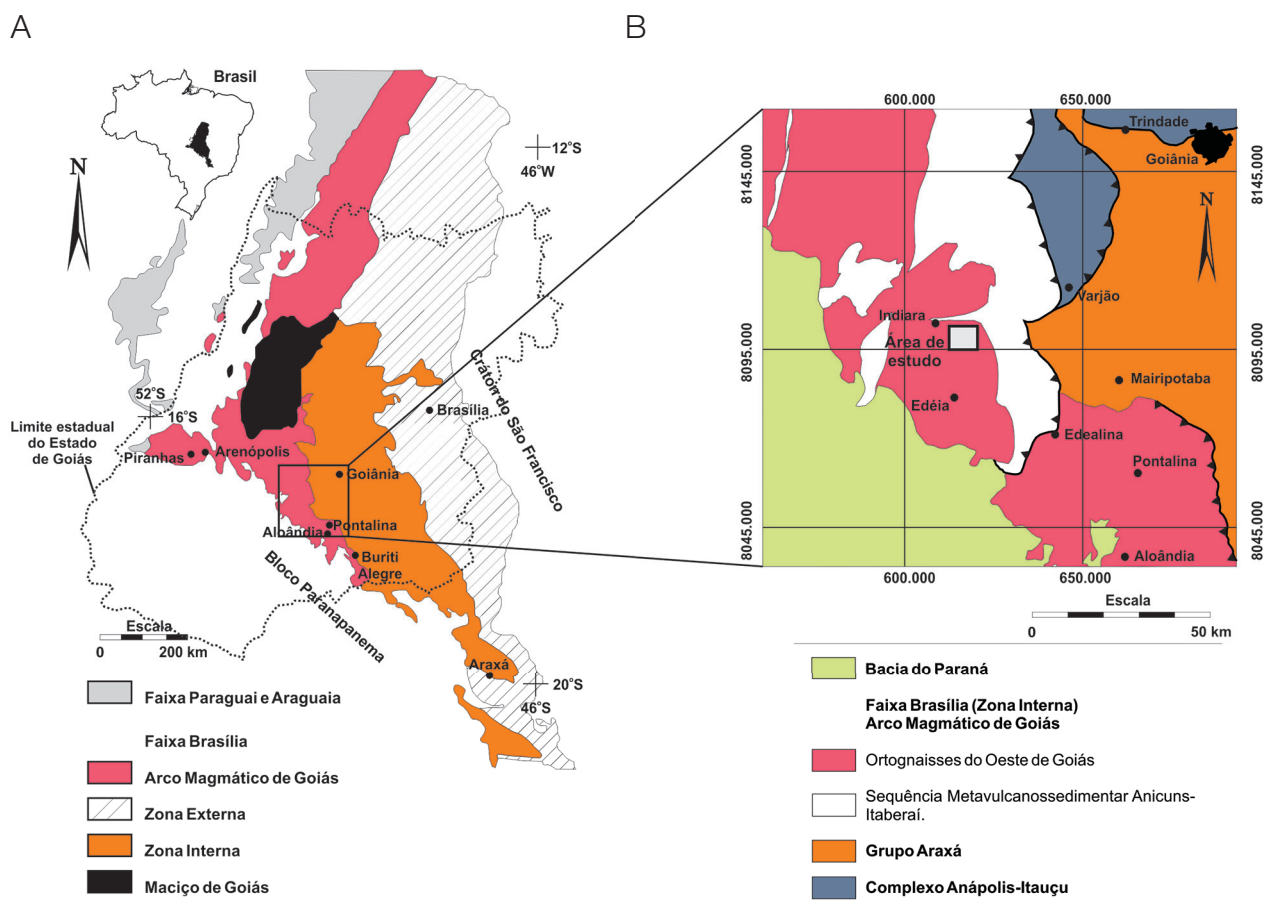
Veios de quartzo de cor branca ou transparentes, de granulação média a grossa, com muscovita e, às vezes, com turmalina (schorlita), e mais raramente com cristais centimétricos (de até 10 cm) hipidiomórficos de cianita, ocorrem na forma de blocos em meio às áreas de pastagens e nas drenagens.

Rochas metamáficas — anfibólio xisto e, mais raramente, anfibolito — ocorrem intercaladas nos gnaisses, com dimensões

variadas, formando lentes métricas (podem chegar a ter algumas dezenas de metros de espessura e largura). Possuem textura nematoblástica a granoblástica, com anisotropia em grau variável, e estrutura xistosa, exibindo raros relictos de textura ígnea preservada (textura subofítica). São levemente bandados (bandamento milimétrico) ou homogêneos de granulação fina a média e cor verde-escura. Quimicamente, essas rochas apresentam composições de basaltos subalcalinos e de basaltos andesíticos e possuem afinidade toleítica subalcalina (Navarro et al., 2015).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas 26 amostras de gnaisses da região, sendo 8 de (muscovita)-biotita gnaisse porfiroclástico e 18 de (biotita)-muscovita gnaisse e (muscovita)-biotita gnaisse,

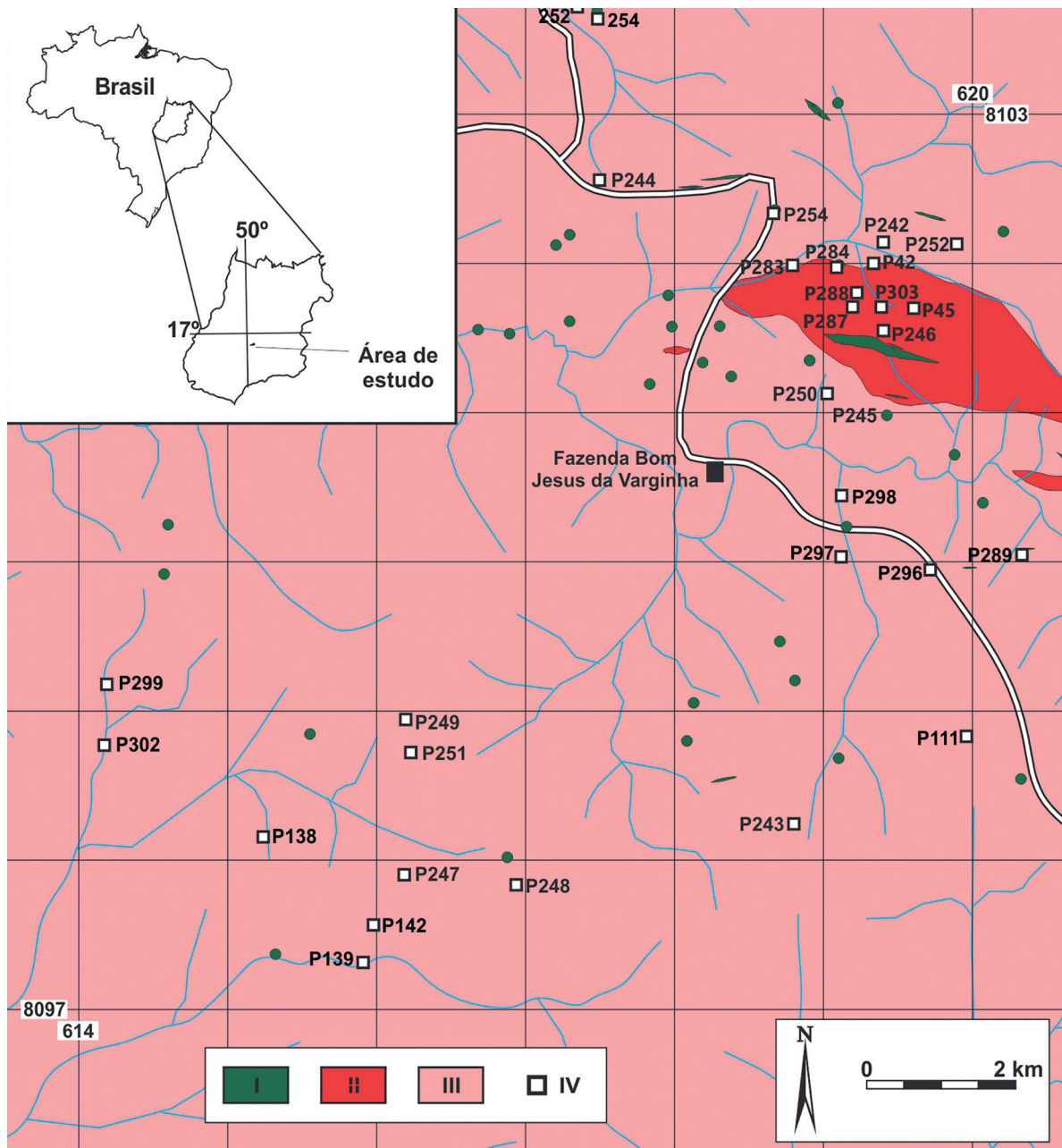


I: rochas metamáficas, incluindo lentes metamáficas não cartografáveis na escala do mapa (círculos verdes); II: biotita gnaisse porfiroclástico; III: muscovita gnaisse e biotita gnaisse; IV: amostras analisadas.

Figura 1. (A) Mapa esquemático da Província Tocantins (modificado de Fuck, 1990); (B) mapa geológico regional simplificado de parte da Província Tocantins na porção sul de Goiás, mostrando a localização da área de estudo (modificado de Moreira et al., 2008).

para estudos petrográficos e geoquímicos de elementos maiores, traços e elementos terras raras (ETR). A análise petrográfica consistiu de observação de seções delgadas por meio de microscopia de luz transmitida, realizada em microscópio monocular de marca Leitz (Wetzlar SM-Lux Pol), com aumentos de 40, 100, 250 e 630 vezes.

As análises químicas foram realizadas pelo Laboratório Acme (*Analytical Laboratories Ltd.*, Vancouver, Canadá). Os óxidos — SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , T , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 e Cr_2O_3 — foram obtidos por espectrômetro de emissão atômica em plasma indutivamente acoplado (ICP-AES). Os elementos traços — Ba, Co,



I: rochas metamáficas, incluindo lentes metamáficas não cartografáveis na escala do mapa (círculos verdes); II: biotita gnaíse porfiroclástico; III: muscovita gnaíse e biotita gnaíse; IV: amostras analisadas.

Figura 2. Mapa geológico esquemático da área de estudo, mostrando a localização das amostras analisadas (modificado de Navarro et al., 2015).

Cs, Ga, Hf, Nb, Pb, Rb, Sc, Sr, Ta, Th, U, V, Y e Zr — e ETR — La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu — foram analisados no espectrômetro de massa em plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). O tratamento dos dados geoquímicos e a construção de diagramas foram realizados com emprego do programa MINPET versão 2.02 (Richard, 1995). Os resultados

são apresentados na tabela 1 e a localização das amostras na Figura 2.

Duas amostras (G34 e G35) foram selecionadas para análises isotópicas Sm-Nd. Essas análises foram feitas no Laboratório de Geocronologia e Isótopos Radiogênicos (LAGIR) da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), segundo o método descrito

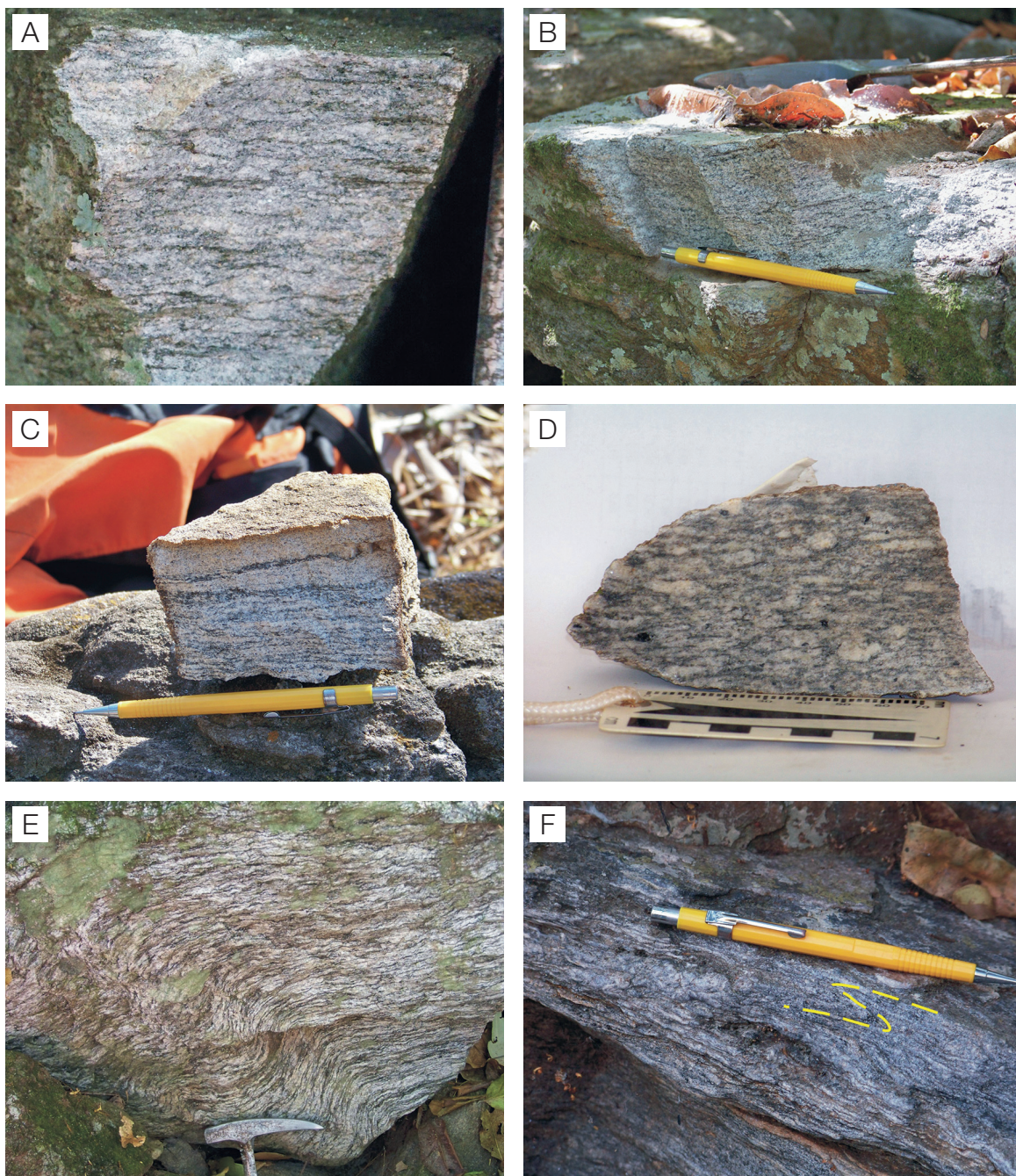


Figura 3. (A), (B) e (C) muscovita e/ou biotita gnaisses com bandamento e diferentes graus de anisotropia; (D) biotita gnaisse porfioroclástico; (E) e (F) dobras suaves e intrafoliares, assimétricas, observadas nos gnaisses da região.

por Valeriano et al. (2009). As leituras das razões foram realizadas utilizando o espectrômetro de massa por ionização térmica TRITON-TI. A razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foi normalizada em função da razão $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0,7219 (La Jolla). Os valores de $T_{\text{DM}}\text{Nd}$ foram calculados usando o modelo de DePaolo (1981). Os resultados das análises são mostrados na Tabela 2.

PETROGRAFIA DOS GNAISSES

(biotita)-muscovita gnaisse e (muscovita)-biotita gnaisse granodiorítico a monzogranítico

As rochas que constituem esses tipos litológicos possuem como minerais essenciais: quartzo, feldspato potássico (microclínio), plagioclásio (oligoclásio/andesina), biotita e muscovita. Como minerais acessórios e/ou secundários ocorrem sericita, granada, zircão, apatita, epidoto, allanita, rutilo, minerais opacos e, mais raramente, cianita (observada em apenas uma lâmina). A composição modal desses gnaisses é correspondente aos campos dos monzogranitos a granodioritos. São rochas com estrutura

gnáissica homogênea a difusamente bandada com bandamento descontínuo. A textura é granoblástica orientada, inequigranular serial, de granulação fina a média, com difusos domínios lepidoblásticos. A foliação é marcante e constituída pela orientação de domínios lenticulares descontínuos granoblásticos e lepidoblásticos (com até 2 mm de espessura) e por trilhas de minerais opacos e de minerais micáceos.

O quartzo (28 – 43%) constitui cristais xenomórficos, com dimensões médias de aproximadamente 800 μm , podendo atingir, localmente, 3.000 μm de tamanho. Os cristais são alongados, inequidimensionais e bem orientados, chegando a formar trilhas e agregados fortemente orientados. Constitui agregados policristalinos de contato lobulado, com variações locais para poligonal e engrenado, relativamente equigranular a inequigranular serial.

O oligoclásio/andesina (15 – 33%) constitui cristais com tamanho médio de 800 μm , podendo atingir até 1.200 μm de tamanho, xenomórficos a hipidiomórficos, às vezes com forma lenticular a sigmoidal, e ocorrem parcialmente ou bem orientados, exibindo, localmente, recristalização. Os limites dos cristais são retos a lobulados e localmente exibem textura de equilíbrio. Geminações polissintética ou simples

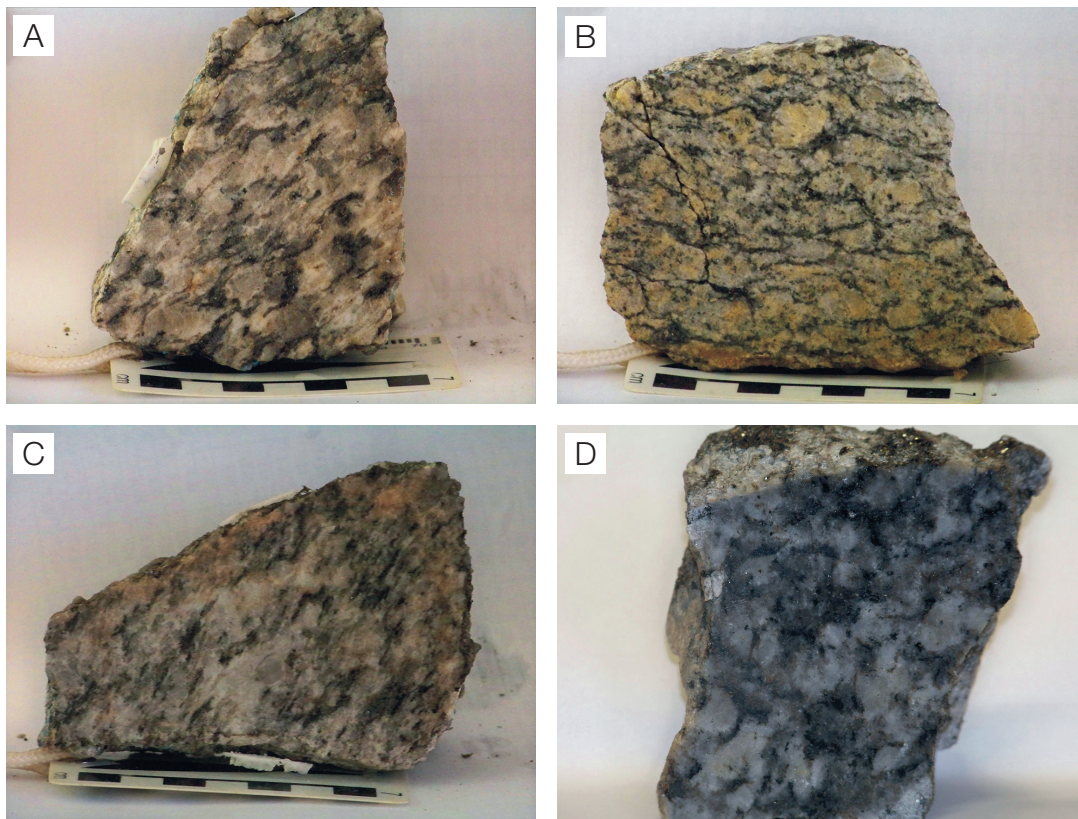


Figura 4. Diferentes aspectos texturais e estruturais de biotita gnaisse porfiróclástico da região de Indiará, Goiás.

Tabela 1. Teores de elementos maiores (em %), elementos traço (em ppm) e ETR (em ppm) dos gnaisses analisados.

Sample	G1	G2	G3	G4	G5	G7	G8	G9	G11	G12	G14	G15	G16
SiO ₂	74,04	74,71	73,76	74,45	73,6	75,34	73,81	73	74,1	73,36	72,81	74,82	73,22
TiO ₂	0,27	0,26	0,3	0,21	0,26	0,18	0,28	0,28	0,24	0,32	0,26	0,13	0,14
Al ₂ O ₃	13,42	13,16	13,63	13,27	13,47	12,5	13,59	13,61	13,52	13,62	13,21	13,02	13,75
Fe ₂ O ₃	2,63	2,22	2,49	2,15	2,42	2,58	2,6	2,78	2,37	2,66	3,41	2,97	2,88
MnO	0,06	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
MgO	0,32	0,27	0,35	0,21	0,34	0,21	0,33	0,36	0,35	0,37	0,36	0,13	0,33
CaO	1,02	0,67	1,22	0,86	1,24	0,45	0,92	1,07	0,95	1,14	1,19	0,44	0,6
Na ₂ O	2,24	1,92	2,22	2,16	2,28	1,83	1,94	2,2	2,44	1,79	2,32	2,38	2,4
K ₂ O	4,89	4,75	4,98	5,36	5,14	5,91	5,11	5,6	4,86	5,1	4,98	5,33	5,09
P ₂ O ₅	0,2	0,15	0,2	0,18	0,22	0,12	0,12	0,22	0,17	0,2	0,19	0,22	0,23
LOI	0,8	1,7	0,7	1	0,9	0,8	1,2	0,8	0,9	1,3	0,15	0,03	0,06
Total	99,9	99,89	99,88	99,92	99,87	99,95	99,94	99,98	99,95	99,93	99,85	99,97	99,94
ACNK	1,24	1,38	1,21	1,22	1,16	1,22	1,31	1,17	1,23	1,29	1,16	1,24	1,3
c	6,5	4,6	7,7	5,7	7,8	3,1	5,9	6,5	6,1	7,3	7,2	2,9	3,8
Sc	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
V	12	12	13	8	14	*	12	10	*	13	11	*	*
Cr	*	20,53	20,53	*	20,53	13,68	*	*	13,68	*	54,73	41,05	47,89
Co	2,5	1,5	2,1	1,5	2,8	1,7	2,6	2,8	2,4	3,4	3,2	1,7	2,4
Ni	2,4	2,2	3,1	2,3	3,1	*	3,6	*	*	3	26	*	*
Cu	2,3	1,7	6,5	6,3	7,7	3,3	1	3,6	2,4	3,5	18,5	17,3	16,4
Zn	75	48	61	46	64	69	52	64	54	48	60	49	19
Rb	285,8	261,2	252,2	258,2	248,6	311,3	210,7	269,2	276,4	222,7	233,2	336,6	287
Cs	11	7,1	12,1	11,6	9	8,7	7,3	8,9	16	8,7	8	8,7	16,6
Sr	60,3	60,9	86,7	64	99,4	40,2	76,5	57,6	64,5	99,8	95	22,3	50,2
Ba	419	481	556	330	649	305	686	664	504	743	776	77	306
Y	14,3	14	15,8	14,5	16,5	16,2	17,8	12,6	13,8	19,5	22,1	13,6	16,7
Zr	164,7	168	191,7	153,6	166,4	143,4	194,1	201,9	158,5	214,6	174,9	93,8	72
Hf	5,3	5,2	6	5,1	5	4,9	5,6	6	5,1	6,6	4,7	2,9	2,3
Nb	13,4	12,5	13,5	10,9	12,1	10,3	11,8	13,9	12,2	13,4	10,4	10,8	9,1
Ta	1,1	0,9	1,2	1,1	1,2	1,2	0,9	1,4	1,4	1,3	0,9	1	1,7
Pb	2	2,8	2,6	1,7	2,1	2,7	3,2	2,1	2,5	6,8	3,2	1,5	2,9
Th	12,7	13,2	13,9	12,4	13,1	12,7	15,4	13,6	11,8	13,9	13,8	10	6
U	6,5	4,5	3,7	4,6	4,1	2,3	4,4	2,2	2,4	3,6	3,9	4	3,9
Ga	25,7	20,8	21,4	18,9	19,7	18,6	19,5	20,3	19,8	20,1	18,7	20,4	17
La	32	33,4	26	32,5	26,5	21,2	36,1	8,3	24,2	30,7	35,9	13,4	10,6
Ce	70,2	76,1	77,3	61	91,1	57,6	68,1	66	61	67,7	75,1	29	27
Pr	7,94	9,58	7,49	7,85	7,19	6,24	9,46	2,57	7,77	8,19	8,68	3,68	2,82
Nd	32,9	40	28	31,4	27,5	24,5	36,6	10	29,6	31,6	35,3	13,2	9,6
Sm	6,46	8,18	6,23	6,87	6,44	6,11	7,93	2,6	6,88	6,89	7,77	3,8	2,68
Eu	0,73	1,01	1	0,77	1,08	0,56	1	0,55	1	1,11	1,29	0,28	0,4
Gd	6,02	6,41	5,56	6,25	6,29	5,71	6,59	2,64	5,36	6,01	7,83	4,13	3,3
Tb	0,82	0,89	0,86	0,85	0,94	0,91	0,93	0,5	0,8	0,91	1,11	0,68	0,55
Dy	3,34	3,67	4,06	3,8	3,93	4,03	4,44	2,53	3,44	4,28	5,19	3,02	3,23
Ho	0,41	0,51	0,51	0,46	0,54	0,54	0,64	0,44	0,46	0,61	0,82	0,39	0,53
Er	0,9	1,12	1,22	1,06	1,4	1,23	1,52	1,1	1,04	1,38	1,98	0,89	1,46
Tm	0,11	0,14	0,15	0,12	0,17	0,15	0,2	0,16	0,13	0,17	0,26	0,11	0,22
Yb	0,69	0,72	0,88	0,79	1,08	0,85	1,11	0,84	0,73	0,94	1,6	0,67	1,21
Lu	0,09	0,1	0,68	0,09	0,11	0,11	0,17	0,12	0,1	0,13	0,23	0,09	0,16

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Sample	G18	G19	G21	G22	G24	G25	G26	G27	G28	G29	G30	G31	G32
SiO ₂	76,13	73,33	73,42	76,81	74,39	71,89	73,13	73,88	73,73	73,35	74,19	75,53	71,67
TiO ₂	0,23	0,26	0,26	0,05	0,02	0,33	0,3	0,33	0,21	0,27	0,11	0,21	0,32
Al ₂ O ₃	11,81	13,3	13,19	14,08	15,25	14,3	13,91	12,77	13,14	13,48	13,44	12,44	14,26
Fe ₂ O ₃	3,57	3,08	3,11	0,8	0,72	2,96	2,36	3,73	2,88	3,33	2,62	2,7	3,4
MnO	0,02	0,02	0,02	*	0,01	0,12	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03
MgO	0,25	0,35	0,32	0,09	0,05	0,43	0,35	0,39	0,21	0,3	0,31	0,27	0,42
CaO	0,39	0,74	1,03	1,45	1	1,37	1,28	0,85	0,64	1,09	0,64	0,72	0,98
Na ₂ O	1,53	2,2	2,64	4,16	3,89	2,14	2,21	1,96	1,88	2,09	2,28	1,74	1,88
K ₂ O	4,93	5,44	4,73	1,33	3,31	4,9	5,16	4,74	6,27	5,03	5,23	5,23	5,16
P ₂ O ₅	0,13	0,16	0,18	0,02	*	0,26	0,21	0,2	0,17	0,14	0,1	0,14	0,18
LOI	0,09	0,12	0,11	1,3	1,4	1,2	0,9	0,11	0,1	0,13	0,06	0,1	0,17
Total	99,91	99,88	99,89	100,13	100,05	99,87	99,85	99,89	99,9	99,87	99,94	99,9	99,83
ACNK	1,38	1,23	1,16	1,29	1,29	1,26	1,2	1,29	1,19	1,24	1,27	1,27	1,36
c	2,8	4,6	6,4	10	6,5	8,1	7,9	5,4	4,1	6,7	4,1	4,9	5,9
Sc	2	2	2	1	*	3	2	3	3	3	3	2	4
V	12	12	12	*	*	16	14	16	12	11	11	9	13
Cr	13,68	13,68	13,68	*	*	13,68	13,68	68,42	34,21	47,89	27,36	34,21	41,05
Co	1,5	3,6	2,6	1,2	0,8	3,3	2,6	3,5	2,3	2,5	2,5	2,2	3,4
Ni	*	*	*	1,7	0,4	3,2	3,6	29	*	*	*	*	*
Cu	31,1	20,7	16,8	1,7	*	2,6	7,1	40,5	17,2	24,6	15,4	14,3	16,9
Zn	20	49	39	2	5	70	62	56	31	39	16	36	58
Rb	232,4	229,7	240,3	81,4	154,5	254,3	242,4	266,1	263,7	227,7	254,6	253,2	212,7
Cs	3	4,4	5,8	3,7	7,6	14,9	10,4	15	8,2	8,4	11,2	11,2	7,1
Sr	56,2	104,6	88,7	67,4	67,2	92,1	105,2	61,4	63,1	75,7	55,9	68,4	95,4
Ba	521	616	517	43	126	583	798	405	534	685	368	512	788
Y	16,6	12,7	14	7,6	11,5	18	11,1	13,9	13,2	21	16	11,7	21
Zr	129,9	164,2	163,8	20,6	7,4	208,6	176,6	182,8	127,9	165,8	63,8	135,9	199,7
Hf	3,9	4,1	4,8	0,8	0,5	6,5	5,3	5,2	4,1	5	2,1	3,6	6,2
Nb	9,3	11,1	11,8	6,9	7,6	15,1	13,7	15,8	11	11,4	5,8	10,1	14,6
Ta	0,5	0,9	1,2	2,7	4,6	1,3	1,2	1,3	1,1	1,2	0,8	1,1	1,1
Pb	3,8	8	7,9	8,3	8,3	2,4	2,4	2,5	3,1	2,9	1,6	2,5	3,5
Th	11,7	13,9	14	3,3	4,2	16,5	14,8	15,3	9,6	13	5,3	9	15,5
U	3,7	3,3	3,9	1,3	1,7	4,9	2,7	5	3,1	2,8	2,1	2,4	2,5
Ga	16,5	17	20,2	17,4	15,5	24,9	22,8	21,3	17,6	18,1	14,3	17,2	19,8
La	23	28,3	30,7	6,2	3,3	28,8	22,5	36,6	21,4	33,7	10,1	30,1	38,2
Ce	53,9	57,2	65,1	8,3	4,9	68,4	89,1	94,5	39,7	72,6	22,6	57,6	86,1
Pr	6,28	7,63	7,88	1,37	0,7	7,85	6,64	9,95	5,54	8,99	2,72	7,41	9,81
Nd	23,6	28,1	28,5	5,4	2,4	32,7	27	37,5	20,9	32,4	10,4	28,2	37
Sm	5,2	6,8	6,74	1,27	0,78	6,88	5,62	8,31	4,65	6,75	2,31	5,93	7,51
Eu	0,71	0,98	0,94	0,41	0,41	1,04	0,96	0,9	0,71	0,93	0,38	0,95	1,32
Gd	4,76	5,77	5,92	1,23	1,19	5,74	4,51	6,78	4,44	5,77	2,74	5,24	6,57
Tb	0,66	0,76	0,79	0,29	0,32	0,88	0,62	0,94	0,67	0,81	0,47	0,67	0,92
Dy	3,82	3,74	3,37	1,58	2,09	4,45	2,78	4	2,95	4,11	3,01	2,87	4,81
Ho	0,46	0,48	0,43	0,25	0,35	0,66	0,4	0,57	0,49	0,84	0,57	0,36	0,79
Er	1,21	1,03	1,09	0,64	0,88	1,62	0,84	1,03	1,06	2,26	1,34	0,82	1,74
Tm	0,17	0,14	0,13	0,07	0,11	0,21	0,12	0,15	0,13	0,35	0,21	0,11	0,22
Yb	1,01	0,62	0,82	0,45	0,64	1,05	0,68	0,82	0,9	2,33	1,29	0,68	1,38
Lu	0,15	0,09	0,11	0,06	0,08	0,17	0,09	0,13	0,12	0,33	0,19	0,09	0,17

*valores abaixo do limite de detecção. c = corindon normativo

bem definidas são relativamente raras. Alguns cristais mostram grau variado de saussuritização.

O microclínio (20 – 35%) ocorre sob a forma de cristais xenomórficos, com tamanho médio menor que 700 μm , sendo que os maiores cristais atingem 3.000 μm de comprimento. Apresenta geminação em grade característica, bem definida ou não. Os limites dos cristais são retos, lobulados a irregulares, e os cristais ocorrem concentrados em bandas ou intersticialmente nos agregados ricos em plagioclásio. Localmente ocorre como porfiroclastos xenomórficos, com forma ovalada, com geminação em grade característica e com inclusões de quartzo e muscovita.

A biotita (15 – 27%) é de cor marrom, com pleocroísmo marrom a marrom amarelado. Os cristais são hipidiomórficos a xenomórficos, com tamanho médio menor que 350 μm , sendo que alguns cristais podem atingir aproximadamente 700 μm de comprimento. Ocorre dispersa pela lâmina ou

formando agregados policristalinos com forma de difusas lâminas, bandas e/ou trilhas. Encontra-se parcialmente substituída por muscovita e/ou sericita.

A muscovita (3 – 15%) ocorre como cristais hipidiomórficos a xenomórficos, com tamanho médio de aproximados 800 μm , chegando a atingir 1.500 μm de comprimento. Ocorre isolada, formando agregados de poucos cristais lenticulares ou trilhas e/ou bandas junto com a biotita. Exibe grau de orientação variando de forte a incipiente, às vezes, com bordas simplectíticas. Alguns cristais de muscovita são resultado de substituição de biotita e plagioclásio.

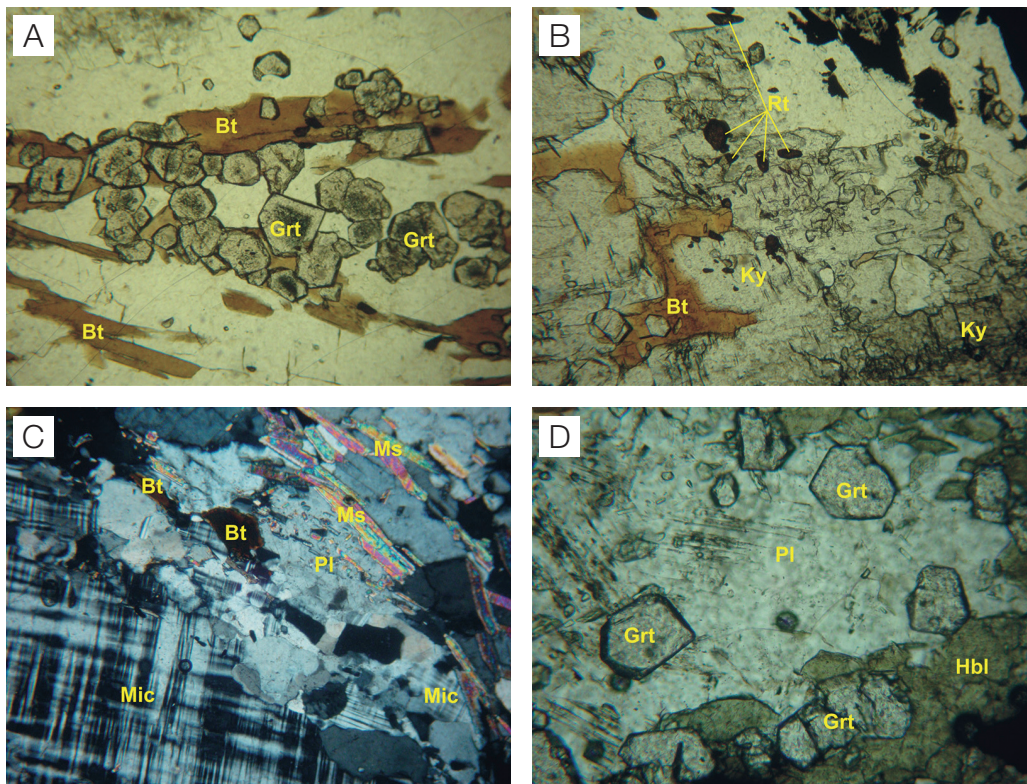
A granada (< 1%), quando ocorre, é hipidiomórfica a xenomórfica (Figura 5A), ocorre dispersa pela lâmina e possui tamanho médio menor que 700 μm . Localmente ocorre com bordas biotitizadas.

O epidoto (< 2%) ocorre como cristais xenomórficos a hipidiomórficos prismáticos, com dimensões menores

Tabela 2. Dados isotópicos Sm/Nd de gnaisses da região de Indiará.

Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	(+2SE)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}(0)$	$T_{\text{DM}}\text{Nd}$
G34	6,0	27,7	0,511940	0,000005	0,1300	-13,6	1,88
G35	6,3	29,3	0,511917	0,000005	0,1290	-14,1	1,90

ppm: partes por milhão; 2SE: desvio padrão; $T_{\text{DM}}\text{Nd}$: idade modelo.



Bt: biotita; Grt: granada; Hbl: hornblenda; Ky: cianita; Mic: microclínio; Ms: muscovita; Pl: plagioclásio; Rt: rutilo.

Figura 5. Aspectos petrográficos de gnaisses da região de Indiará, Goiás.

que 100 μm . Ocorrem intersticialmente e/ou sobre biotita e raramente como pequenos cristais no interior do plagioclásio, ou com dimensões relativamente grandes associados a muscovita.

A allanita (< 1%) ocorre como cristais xenomórficos, metamórficos, arredondados, com dimensões menores que 100 μm , frequentemente com coroas de epidoto.

O zircão (< 1%) ocorre sob a forma de minúsculos cristais (menores que 100 μm) idiomórficos a hipidiomórficos, normalmente arredondados, zonados ou não. Formam halos pleocroicos na biotita.

A titanita (< 1%) ocorre sob a forma de cristais pequenos a médios (menores que 100 μm), xenomórficos, frequentemente constituindo coroas no rutilo. Este ocorre como cristais menores que 100 μm , xenomórficos a hipidiomórficos, dispersos pela lâmina e normalmente envoltos por titanita.

A apatita (< 1%) ocorre dispersa pela lâmina sob a forma de cristais xenomórficos a hipidiomórficos, com dimensões menores que 300 μm .

A cianita (< 1%) foi observada em apenas uma lâmina. É anedral, porfiroblástica (com dimensões entre 2.000 e 3.000 μm). Alguns cristais contêm inclusões de rutilo, biotita (Figura 5B), quartzo e muscovita. Ocorre dispersa pela lâmina, com bordas parcialmente muscovitizadas e/ou biotitizadas.

Os minerais opacos (magnetita e/ou ilmenita?) constituem cristais xenomórficos, com dimensões menores que 300 μm . Ocorrem como raras pontuações irregulares, ou intersticialmente formando trilhas.

Biotita gnaiss granodiorítico porfiroclástico

As rochas que constituem esse tipo litológico possuem como minerais essenciais: quartzo, feldspato potássico (microclínio), plagioclásio (oligoclásio/andesina), biotita e muscovita. Como minerais acessórios e/ou secundários ocorrem zircão, apatita, epidoto e minerais opacos. A composição modal desses gnaisses é correspondente aos campos dos monzogranitos a granodioritos. São rochas com estrutura blastomilonítica e textura granoblástica, porfiroclástica a inequigranular serial, de granulação fina a média, com foliação marcante constituída pela orientação de domínios lenticulares descontínuos granoblásticos e lepidoblásticos.

O quartzo (30 – 45%) ocorre como cristais xenomórficos, com contatos lobulados a engrenados, de tamanho médio entre 300 e 800 μm , podendo atingir 1.300 μm de comprimento. Ocorre em domínios lenticulares granoblásticos constituídos apenas por quartzo ou associado a cristais de feldspato. Apresenta extinção ondulante leve a moderada acompanhada de recuperação.

O feldspato potássico (microclínio, 30 – 45%) ocorre sob a forma de cristais xenomórficos, que ocorrem junto ao quartzo e ao plagioclásio em domínios lenticulares

granoblásticos. Possui tamanho médio menor que 700 μm . Os maiores cristais (porfiroclastos) podem exibir geminação *carlsbad*, formas elípticas, extinção ondulante e recristalização, atingindo dimensões da ordem de 5.000 μm . Possuem textura poiquilítica (inclusões de plagioclásio e quartzo) e geminação em grade malformada a ausente, além de extinção ondulante. Também estão deformados com recristalização parcial, formando cristais lenticularizados.

O plagioclásio (15 – 25%) possui composição variando entre oligoclásio e andesina. Constitui cristais xenomórficos, inequidimensionais — de dimensões médias menores que 700 μm —, às vezes com forma lenticular a sigmoidal, parcialmente ou bem orientados, exibindo, localmente, recristalização. Alguns cristais são poiquilíticos e mostram inclusões de quartzo em gota e muscovita. Ocorre constituindo domínios lenticulares granoblásticos, em alguns casos constituindo lóbulos mirmequíticos em cristais de feldspato potássico. Os limites dos cristais são retos a lobulados. Geminações polissintéticas ou simples bem definidas são relativamente raras.

A muscovita (5 – 10%) forma cristais hipidiomórficos a xenomórficos, normalmente menores que 700 μm , chegando a atingir 1.400 μm de comprimento. Ocorre isolada, formando agregados lenticulares e/ou trilhas orientadas segundo a foliação.

A biotita (15 – 30%) apresenta cor marrom com pleocroísmo marrom a marrom-amarelado claro, ocorre como cristais hipidiomórficos a xenomórficos, com dimensões médias de 700 μm , podendo atingir até 1.300 μm de comprimento. Ocorrem bem orientados, isolados, ou constituindo manchas irregulares ou agregados policristalinos lepidoblásticos de até 800 μm de espessura.

O epidoto (< 1%) ocorre como cristais xenomórficos a hipidiomórficos prismáticos, menores que 300 μm e disperso pela lâmina. Raramente ocorre como pequenos cristais no interior do plagioclásio.

A apatita (< 1%) ocorre sob a forma de cristais xenomórficos a hipidiomórficos pequenos (< 300 μm) dispersos pela lâmina.

Os minerais opacos (< 1%) constituem pequenos cristais xenomórficos, formando pequenas trilhas ou agregados irregulares dispersos pela lâmina.

O zircão (< 1%) ocorre como cristais xenomórficos a idiomórficos, menores do que 300 μm , dispersos pela lâmina.

As paragêneses e associações minerais presentes nas rochas da região, relacionadas ao pico do metamorfismo, são típicas da fácies anfibolito. Nos gnaisses as associações minerais relacionadas ao ápice metamórfico são marcadas pela presença de oligoclásio/andesina + microclínio + biotita (Figura 5C), com quartzo e muscovita associados, e localmente com granada e rutilo + titanita associados. A paragênese cianita + granada + microclínio + oligoclásio + biotita + muscovita + rutilo foi observada em apenas uma amostra.

Nas rochas metamáficas que ocorrem na região, as assembleias minerais relacionadas ao metamorfismo são representadas pelas associações hornblenda + oligoclásio/andesina e granada + hornblenda + oligoclásio (Figura 5D), ambas com quartzo, rutilo e/ou ilmenita e epidoto. Essas associações indicam que o metamorfismo atingiu condições de fácies anfibolito médio a superior (no campo de estabilidade da cianita).

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DOS GNAISSES DA REGIÃO DE INDIARA

(biotita)-muscovita gnaisse e (muscovita)-biotita gnaisses (amostras G1 a G24)

Esse conjunto de gnaisses analisados apresenta composição predominantemente ácida (72,81 – 76,81% de SiO_2), com

teores de Al_2O_3 variando entre 11,81 e 15,25%, de CaO variando entre 0,3 e 1,45%, de Na_2O variando entre 1,53 e 4,16% e de K_2O variando entre 1,33 e 5,91%. Possuem baixos conteúdos em TiO_2 (0,02 – 0,32%), Fe_2O_{3T} (0,72 – 3,57%), MnO (0,01 – 0,06%), MgO (0,05 – 0,37%) e P_2O_5 (0,02 – 0,23%) (Figura 6).

Essas rochas apresentam teores relativamente baixos de Y (7,60 – 22,10 ppm), Nb (6,90 – 13,90 ppm), Ta (0,50 – 4,60 ppm), Th (3,30 – 15,40 ppm), U (1,30 – 6,50 ppm), Pb (1,50 – 8,30 ppm), Hf (0,50 – 6,60 ppm), Sc (1 – 3 ppm), Cs (3,00 – 16,60 ppm), V (8 – 14 ppm) e Ga (15,50 – 25,70 ppm), teores baixos a médios de Zr (7,40 – 214,60 ppm), Rb (81,40 – 336,60 ppm), Sr (22,30 – 104,60 ppm) e conteúdos baixos a altos de Ba (43,0 – 776,0 ppm). Nos diagramas tipo Harker (Figuras 6 e 7) não se observam *trends* bem definidos entre os elementos maiores e traços em relação ao teor de SiO_2 , exibindo fracas correlações negativas em relação a Al_2O_3 , Fe_2O_{3T} , MgO , CaO, Ba, Sr, Zr e Th.

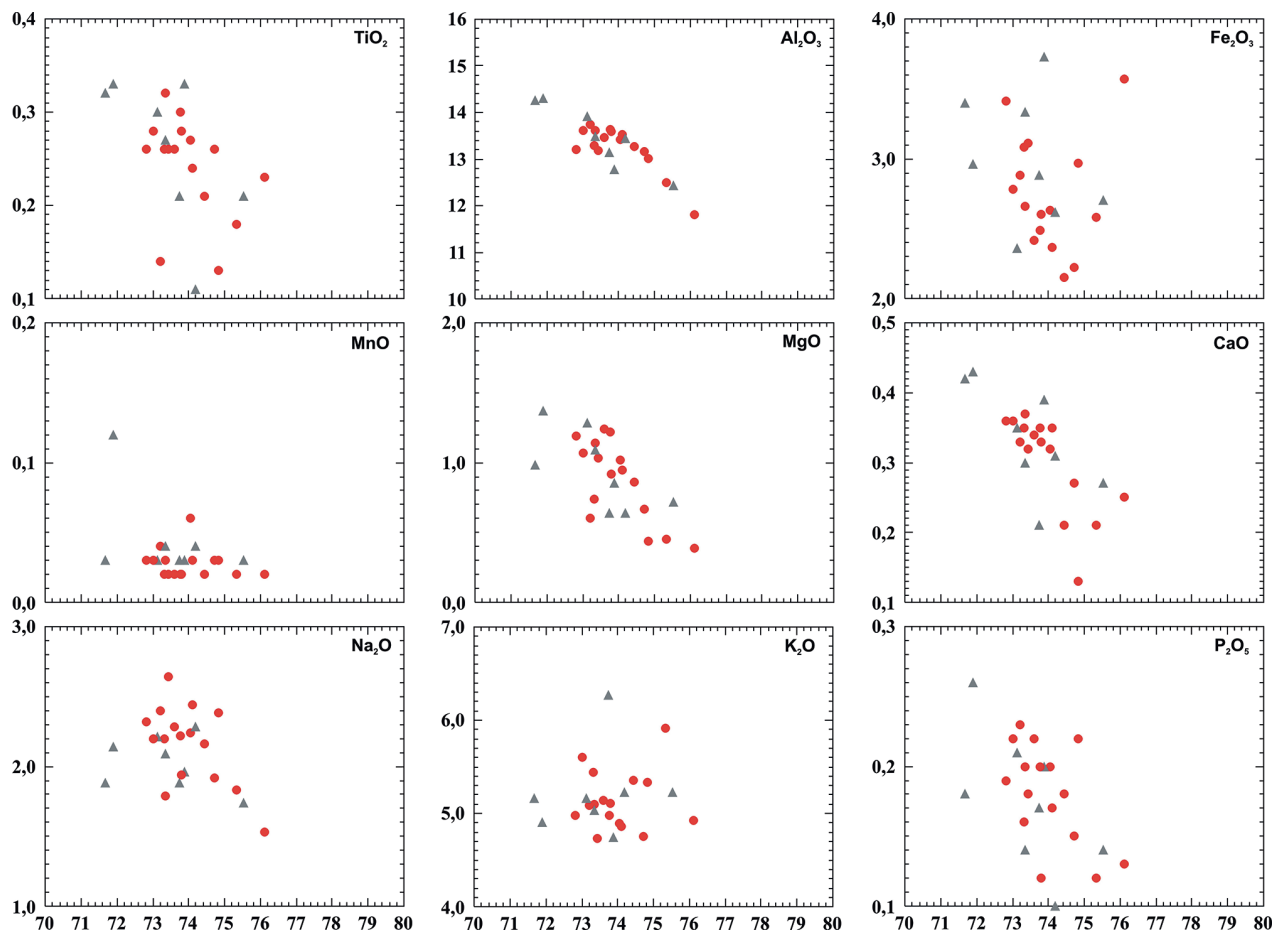


Figura 6. Diagramas do tipo Harker para elementos maiores (% óxidos); círculos vermelhos: amostras de (biotita)-muscovita gnaisse e (muscovita)-biotita gnaisses; triângulos cinzas: (muscovita)-biotita gnaisse porfiroclástico.

São rochas de afinidade cálcio-alcalina e peraluminosa (razão molecular A/CNK de 1,16 a 1,38) (Figuras 8A, 8B e 8C). Apresentam composição granítica, de acordo com o conteúdo de anortita, albita, ortoclásio normativos (O'Connor, 1965) (Figura 8D).

O conteúdo total de ETR é baixo ($\Sigma ETR_{\text{total}} = 63,76$ a 183,06 ppm), com predomínio entre 120 e 180 ppm. Os elementos terras raras leves (ETRL) normalizados pelo manto

primitivo (Taylor e McLennan, 1985) apresentam concentrações entre 1,67 e 52,55 vezes acima deste, enquanto os elementos terras raras pesados (ETRP) apresentam concentrações entre 1,22 e 13,14 vezes os valores do manto primitivo. O padrão de distribuição de ETR das amostras analisadas demonstra enriquecimento em ETRL em relação a ETRP (razões $La_N/Eu_N = 3,69 - 11,70$, $Gd_N/Lu_N = 1,02 - 8,62$, $La_N/Lu_N = 4,12 - 38,90$) (Figura 9A), e exibe fortes

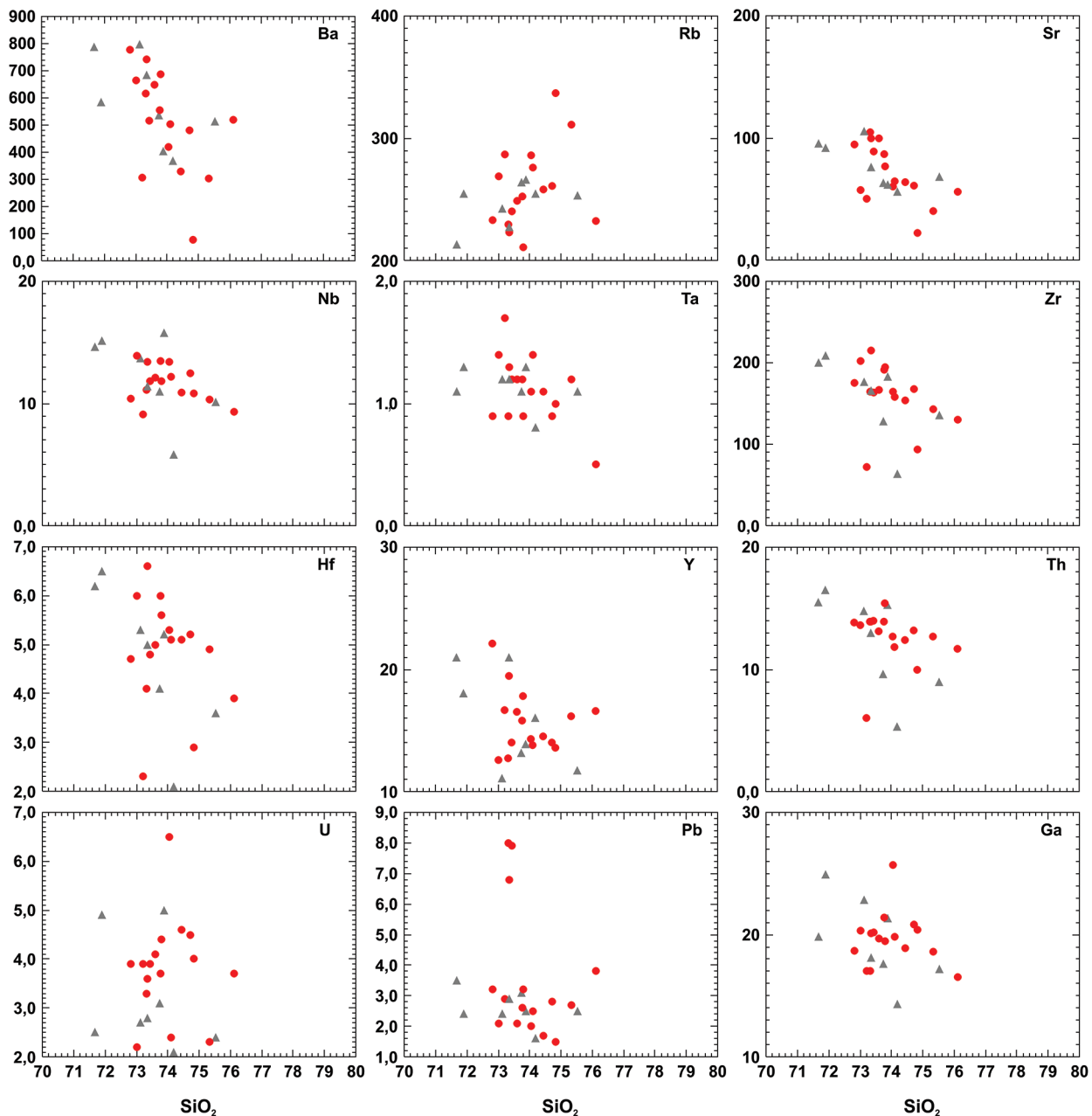


Figura 7. Diagramas do tipo Harker para elementos traços (ppm); círculos vermelhos: amostras de (biotita)-muscovita gnaiss e (muscovita)-biotita gnaisses; triângulos cinzas: (muscovita)-biotita gnaiss porfiroclástico.

a médias anomalias negativas em európio ($Eu^* = 0,22 - 0,64$), quando normalizadas pelo manto primitivo (Taylor e McLennan, 1985). Duas amostras (G22 e G24, não exibidas nas Figuras 9A e 9B) possuem menores teores de ETR ($\Sigma ETR_{Total} = 18,15$ a $27,52$ ppm), e apresentam um padrão de distribuição que varia de 0,81 a 9,02 vezes o valor do manto primitivo, e exibe fraco a médio enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP (razões $La_N/Eu_N = 1,97 - 3,70$; $Gd_N/Lu_N = 1,85 - 2,55$; $La_N/Lu_N = 4,44 - 11,13$). A amostra G24 mostra anomalia positiva de európio ($Eu^* = 1,30$).

A distribuição dos elementos traço e ETR, normalizados pelos valores do manto primitivo (Taylor e McLennan, 1985), mostra que os gnaisses são enriquecidos de Cs, K, Ba, Rb, Th e U em relação a Nb, Ta, ETR (principalmente ETRP), P, Zr, Hf, Ti e Y, apresentando fracas a médias anomalias negativas em Nb, Ta, Sr, P, Eu e Ti (Figura 9B).

(Muscovita)-biotita gnaisse porfiroclástico (amostras G25 a G32)

As amostras do (muscovita)-biotita gnaisse porfiroclástico (Tabela 1) apresentam composição ácida ($SiO_2 = 71,67 - 75,53\%$), com teores de Al_2O_3 variando entre 12,44 e 14,30%, de CaO variando entre 0,64 e 1,37%, de Na_2O oscilando entre 1,74 e 2,28% e de K_2O variando entre 4,74 e 6,27%. Possuem baixos conteúdos em TiO_2 (0,11 - 0,33%), Fe_2O_{3T} (2,36 - 3,73%), MnO (0,03 - 0,12%), MgO (0,21 - 0,43%) e P_2O_5 (0,10 - 0,26%) (Figura 6).

As amostras desse conjunto de gnaisses (Tabela 1) possuem pequena variação no conteúdo de elementos traço, com teores relativamente baixos de Y (11,1 - 21,00 ppm), Nb (5,80 - 15,80 ppm), Ta (0,80 - 1,30 ppm), Th (5,30 - 16,50 ppm), Pb (1,60 - 3,50 ppm), Hf (2,10 - 6,50 ppm),

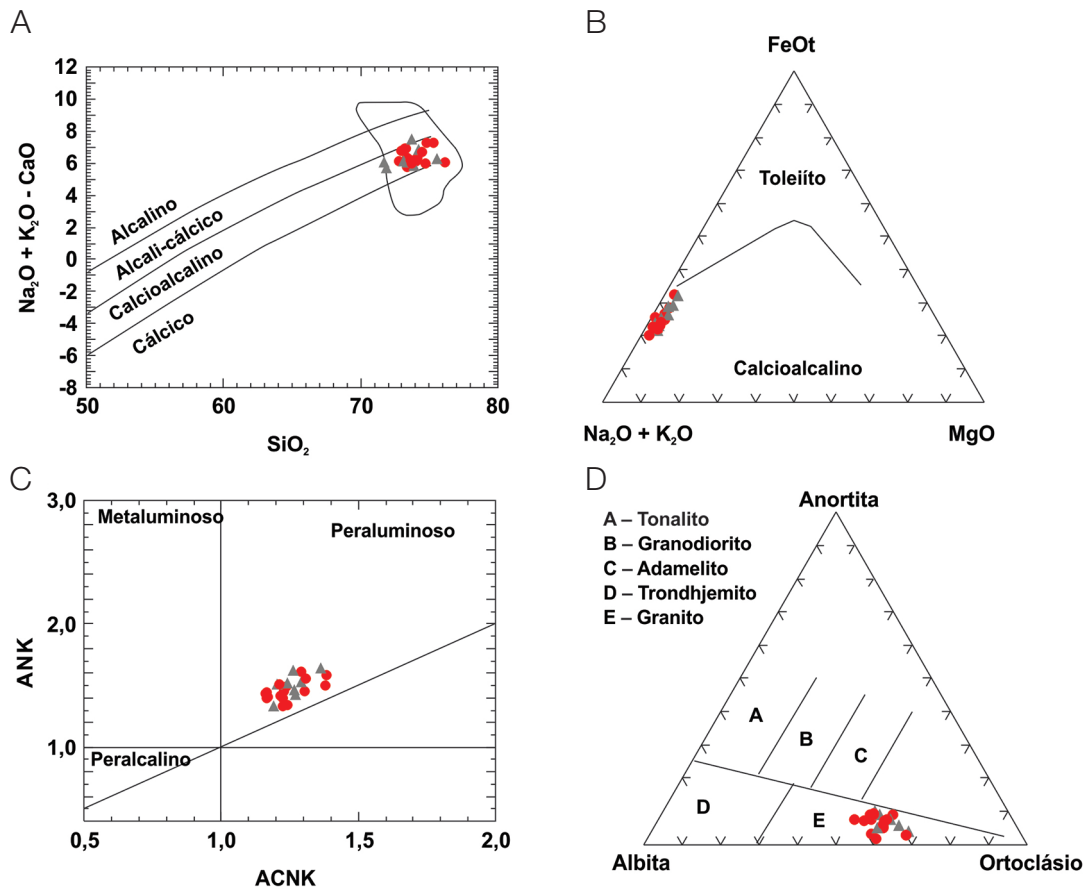


Figura 8. (A) e (B) Diagrama $Na_2O + K_2O - CaO$ versus SiO_2 (Frost et al., 2001) e diagrama AFM (Irvine e Baragar, 1971, A = $Na_2O + K_2O$; F = FeO_T , M = MgO), respectivamente, mostrando o caráter calcioalcalino dos gnaisses da região de Indiara; (C) gráfico ANK ($Al_2O_3/Na_2O + K_2O$) versus ACNK ($Al_2O_3/CaO + Na_2O + K_2O$) (índice de Shand, 1943, modificado por Maniari e Piccoli, 1989) indicando natureza peraluminosa dos gnaisses da região; (D) gráfico de classificação baseado no diagrama normativo anortita-albita-ortoclásio (O'Connor, 1965), demonstrando predominância de composição granítica das amostras analisadas; círculos vermelhos: amostras de (biotita)-muscovita gnaisse e (muscovita)-biotita gnaisse; triângulos cinzas: (muscovita)-biotita gnaisse porfiroclástico.

Sc (2,00 – 4,00 ppm), Ga (14,30 – 24,90 ppm), Cs (7,10 – 15,00 ppm) e conteúdos baixos a médios de Zr (63,80 – 208,60 ppm) e Sr (55,90 – 105,20 ppm). Possuem teores médios a altos de Ba (368,0 – 798,0 ppm) e médios de Rb (212,70 – 266,10 ppm). Nos diagramas tipo Harker de elementos traço *versus* SiO₂ (Figuras 6 e 7) observam-se fracas correlações negativas em relação a TiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO, P₂O₅, Ba, Nb, Zr e Hf, e positivas com relação a Rb.

As amostras desse conjunto possuem composição calcioalcalina (Figuras 8A e 8B) e peraluminosa (razão molecular A/CNK de 1,19 a 1,36) (Figura 8C). A composição, com base no conteúdo de anortita, albita, ortoclásio normativos (O'Connor, 1965), é granítica (Figura 8D).

O conteúdo total de ETR é baixo ($\Sigma ETR_{Total} = 58,33 - 202,18$ ppm), com predomínio de conteúdos maiores que 100 ppm. Os ETRL normalizados pelo manto primitivo

(Taylor e McLennan, 1985) apresentam concentrações entre 2,26 e 55,60 vezes acima deste, enquanto os ETRP, entre 1,22 e 11,38 vezes (Figura 8C). O padrão de distribuição de ETR (Figura 9C) aponta que as amostras desses gnaisses são enriquecidas em ETRL em relação aos ETRP, indicando médio a alto fracionamento ($La_N/Lu_N = 5,73 - 36,02$; $La_N/Eu_N = 5,73 - 9,94$; $Gd_N/Lu_N = 1,79 - 7,23$), exibindo moderadas a fortes anomalias negativas de európio ($Eu^* = 0,36 - 0,57$).

A distribuição dos elementos traço e ETR (Tabela 1, Figura 9D), normalizados pelos valores do manto primitivo (Taylor e MacLennan, 1985), mostra que os gnaisses dessa unidade são enriquecidos de Cs, K, Ba, Rb, Th e U em relação a Nb, Ta, ETR, Pb, P, Hf, Zr, Ti e Y, apresentando fracas a médias anomalias negativas de Ta, Nb, Sr, P, Eu e Ti (Figura 9D).

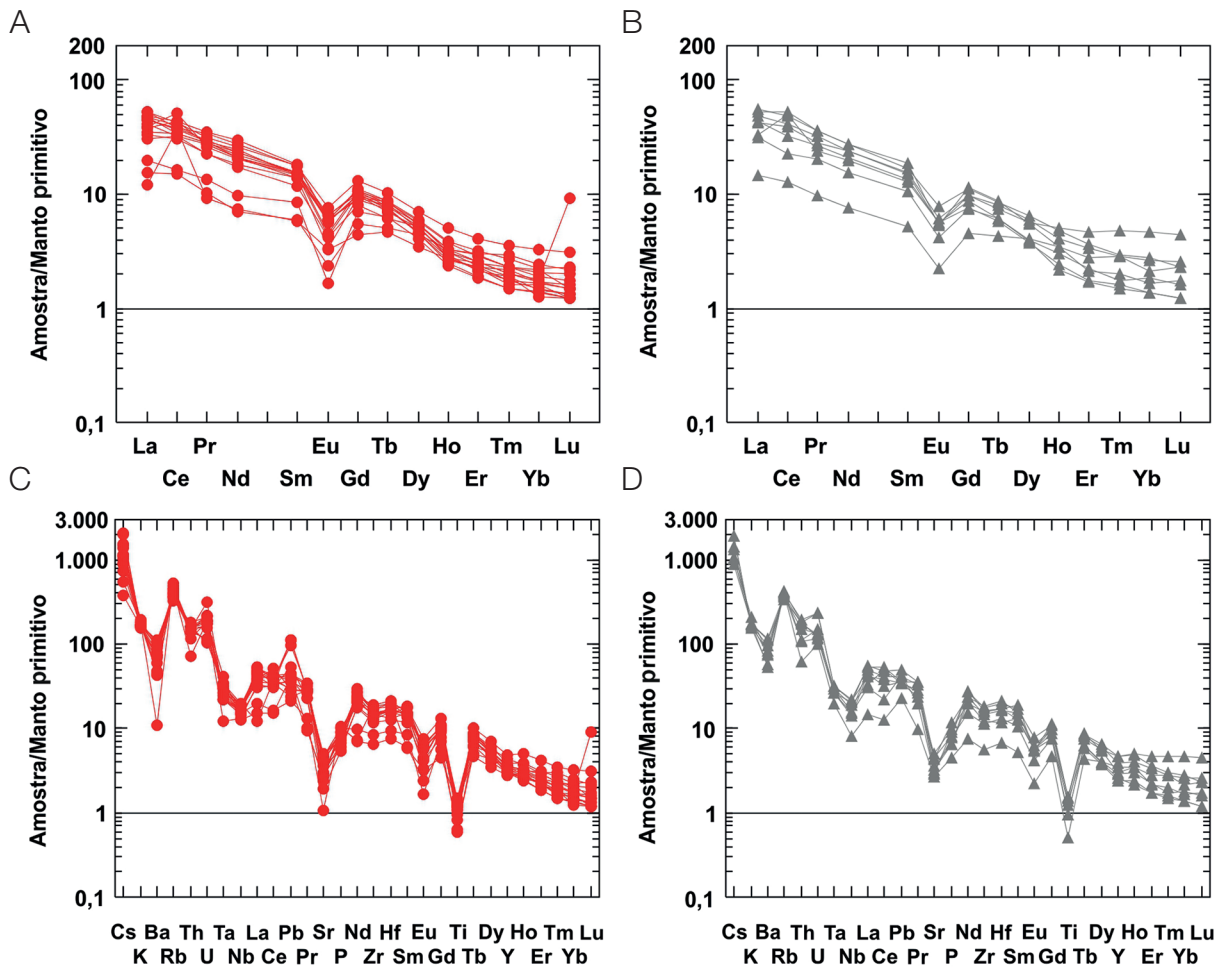


Figura 9. (A) e (C) Diagrama de distribuição dos elementos terras raras (normalizados pelo manto primitivo – Taylor e McLennan, 1985) das amostras analisadas; (B) e (D). Diagrama de distribuição de elementos menores, traços e elementos terras raras (normalizados pelo manto primitivo – Taylor e McLennan, 1985) das amostras analisadas; círculos vermelhos: amostras de (biotita)-muscovita gnaisse e (muscovita)-biotita gnaisse; triângulos cinzas: (muscovita)-biotita gnaisse porfiroclástico.

AMBIENTES TECTÔNICOS, DADOS ISOTÓPICOS E COMPARAÇÃO COM OUTRAS REGIÕES DO ARCO MAGMÁTICO DE GOIÁS

Nos diagramas discriminantes Rb *versus* Y + Nb, Nb *versus* Y (Pearce et al., 1984), Rb/Zr *versus* SiO₂, Ta *versus* Nb, Rb/30 – Hf – Ta*3 (Harris et al., 1986) e R2 *versus* R1 (De La Roche et al., 1980, modificados por Batchelor e Bowden, 1985), as amostras de ambos os conjuntos de gnaisses exibem composições químicas predominantemente semelhantes a rochas plutônicas geradas em arcos magmáticos com características sin-colisionais/pós-colisionais (Figura 10).

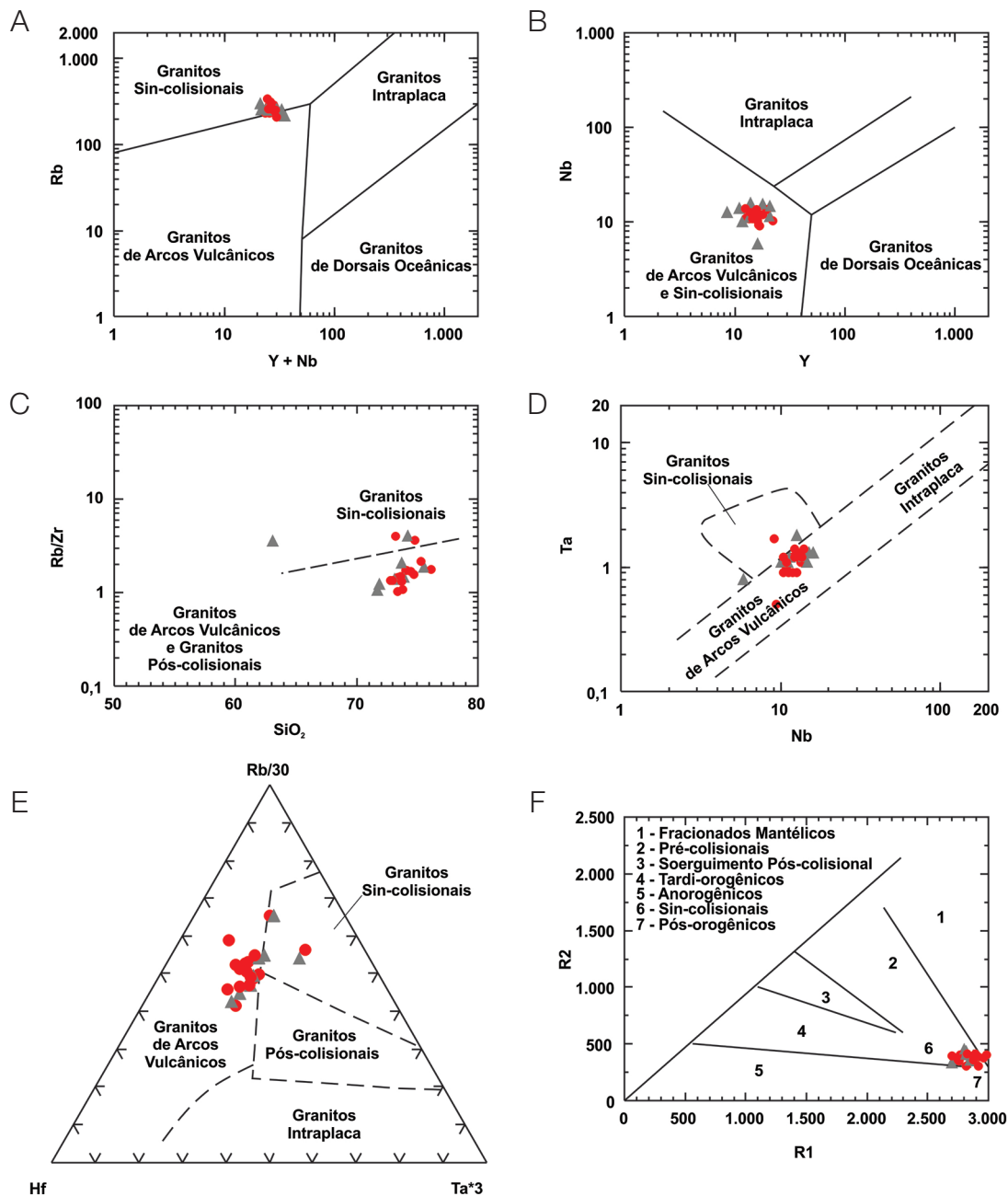


Figura 10. Gráficos discriminantes de ambientes tectônicos para os gnaisses da região de Indiará. (A) e (B) Pearce et al. (1984); (C), (D) e (E) Harris et al. (1986); (F) diagrama R1 (R1= 4Si-11(Na + K)-2(Fe + Ti)) e R2 (R2 = 6Ca + 2Mg + Al) (De La Roche et al., 1980, modificado por Batchelor e Bowden, 1985); círculos vermelhos: amostras de (biotita)-muscovita gnaisse e (muscovita)-biotita gnaisses; triângulos cinzas: (muscovita)-biotita gnaisse porfiroclástico.

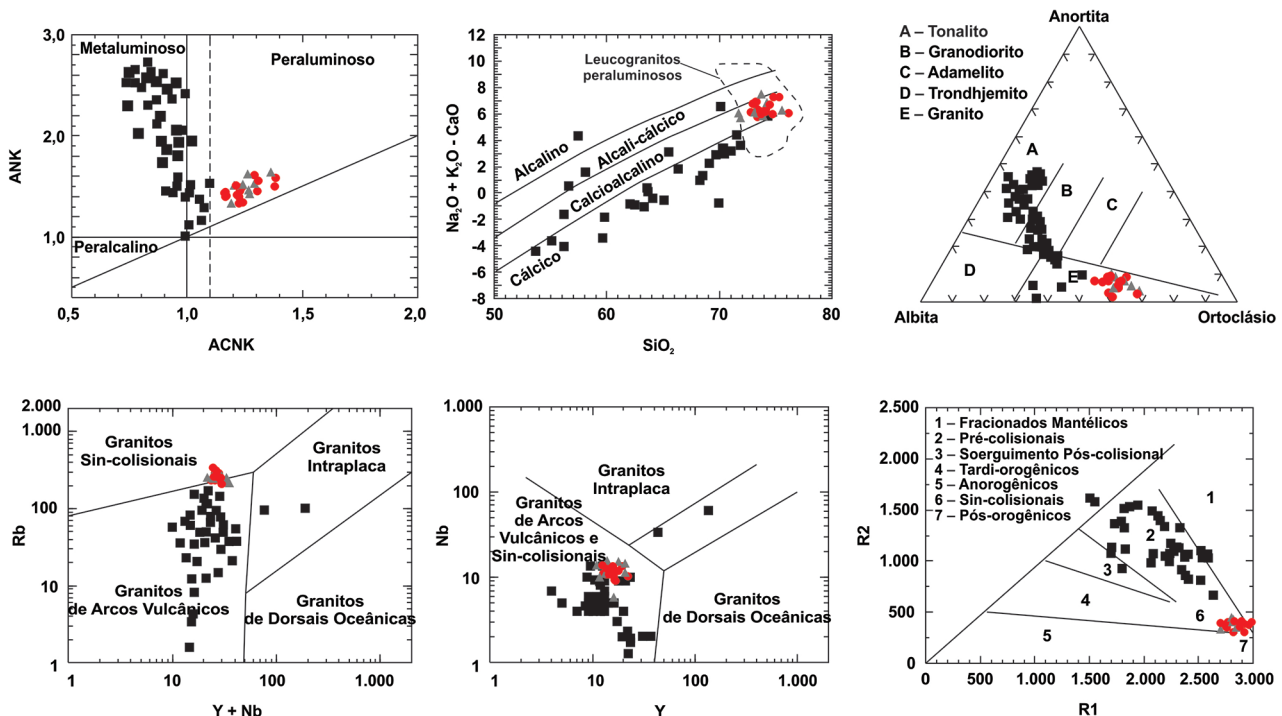
Na Figura 11, as amostras de gnaisses da região de Indiará são comparadas com as das regiões tipo do Arco de Goiás (regiões de Arenópolis, Firminópolis, Iporá e Mara Rosa). Os gnaisses de outras regiões são predominantemente metaluminosos a fracamente peraluminosos e cálcicos (Figuras 11A, 11B e 11C), com composição predominantemente tonalítica a granodiorítica e subordinadamente granítica, com base no conteúdo de anortita, albíta e ortoclásio normativos (O'Connor, 1965) (Figura 11C). Esses gnaisses não apresentam ou possuem valores de coríndon normativo baixos. Já os gnaisses da região de Indiará são predominantemente peraluminosos e calcioalcalinos (Figuras 11A, 11B e 11C), de composição granítica (com base no conteúdo de anortita, albíta e ortoclásio normativos – Figuras 11C) e possuem altos teores de coríndon normativo (Tabela 1).

Nos diagramas discriminantes Rb versus Y + Nb, Nb versus Y (Pearce et al., 1984) e R2 versus R1 (De La Roche et al., 1980, modificados por Batchelor e Bowden, 1985), as amostras dos gnaisses de outras regiões de Goiás classificam-se no campo de rochas plutônicas geradas em arcos magmáticos com características pré-colisionais, enquanto os gnaisses da região de Indiará são classificados no campo de rochas plutônicas geradas em arcos magmáticos com características sin-colisionais (Figuras 11D, 11E e 11F).

As idades modelo (T_{DM}) obtidas para as amostras de gnaisses da região de Indiará variam entre 1,88 e 1,90 Ga, com valores $\epsilon Nd_{(0)}$ entre -13,6 e -14,1, razões $^{147}Sm/^{144}Nd$ variando entre 0,511917 e 0,511940 e $^{143}Nd/^{147}Nd$ variando entre 0,1290 e 0,1300 (Tabela 2), idades semelhantes às de granitos miloníticos peraluminosos, obtidas por Pimentel et al. (2000a) na região de Edeia – Indiará e por Junges et al. (2002) na região de Amaralina – Mara Rosa (Figura 12).

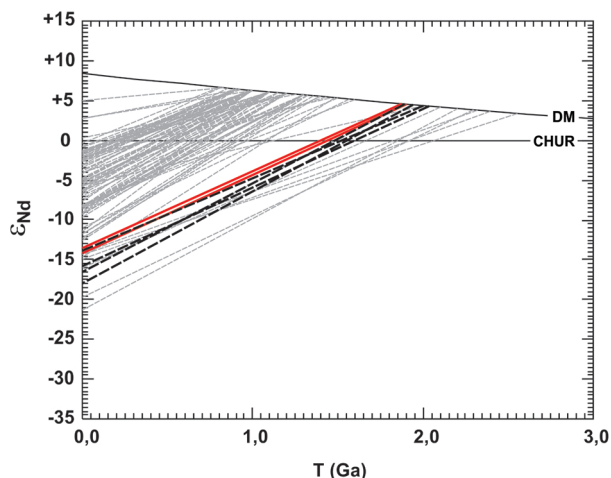
CONCLUSÕES

As características químicas e isotópicas (Sm/Nd) das amostras analisadas indicam que os gnaisses da região de Indiará são quimicamente diferentes das rochas de regiões tipo do Arco Magmático de Goiás (regiões de Arenópolis, Firminópolis, Iporá e Mara Rosa). São rochas calcioalcalinas e peraluminosas, que possuem enriquecimento em LILE (*large ion lithophile elements*) em relação à HFSE (*high field strength elements*) e ETR, anomalias negativas de Nb, Ta, Sr, P e Ti e baixos conteúdos de Y e Yb. A composição mineralógica — rochas de composição monzogranítica a granodiorítica com biotita e muscovita, sem anfíblio —, em associação aos altos teores de SiO₂ (71,67 – 76,81%),



Fonte: Pimentel e Fuck, 1991; Viana et al., 1995; Rodrigues et al., 1999.

Figura 11. Comparação entre as características geoquímicas de ortognaisses das regiões tipo do Arco Magmático de Goiás e os gnaisses da região de Indiará; círculos vermelhos: amostras de (biotita)-muscovita gnaisses e (muscovita)-biotita gnaisses; triângulos cinzas: (muscovita)-biotita gnaisses porfiroclástico; quadrados pretos: amostras de outras regiões do Arco Magmático de Goiás.



DM: depleted mantle; CHUR: Chondritic Uniform Reservoir.

Figura 12. Idades modelo (T_{DM} , Nd) de gnaisses da região de Indiara; linhas cinza: amostras de outras regiões do Arco Magmático de Goiás (dados de Pimentel e Fuck, 1992; Viana et al., 1995; Rodrigues et al., 1999; Pimentel et al., 2000a; Junges et al., 2002; Laux et al., 2005; Simões, 2005; Navarro e Zanardo, 2007); linhas pretas tracejadas: amostras da região de Indiara – Edeia (Pimentel et al., 2000a; Simões, 2005), linhas vermelhas: amostras de gnaisses da área de estudo.

ao caráter fortemente peraluminoso ($A/CNK =$ variando entre 1,16 e 1,38) e aos altos teores de coríndon normativo (variando entre 2,77 e 10,00), sugere que os gnaisses da região de Indiara são derivados de granitos tipo-Sin-colisionais e/ou correspondem à mistura de protólitos ígneos e sedimentares. As idades modelo T_{DM} (1,88 e 1,90 Ga) sugerem que os gnaisses da região evoluíram de crosta siálica mais antiga, retrabalhada no neoproterozoico.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Proc. 2013/04235-2) e à família Rassi Jorge, proprietária da Fazenda Bom Jesus da Varginha — ou Fazenda Boa Sorte —, em especial a Catharina Rassi Jorge, por permitir o acesso à área e pelo apoio dado à pesquisa.

REFERÊNCIAS

Araújo, V. A., Godoi, P. V. B., Araújo, H. O., Moreton, E. S., Silva, L. C., Sa, M. A. D., Martins, A. M., Matos, E. G., Andrade, S. H. S., Sales, R., Bebert, C. O., Olivatti, O. (1980). *Projeto Pontalina – Fase I*. Goiânia: SURGEO/GO, DNPM, CPRM. 7v.

Barbosa, O., Baptista, M. B., Dyer, R. C., Braun, O. P. G., Fratin, H., Meneguesso, G. (1970). *Projeto Goiânia: relatório preliminar*. Rio de Janeiro: DNPM/PROSPEC. 75 p.

Barbosa, O., Ramos, J. R. A., Gomes, F. A., Helmbold, R. (1966). *Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do “Projeto Araguaia”*. Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia. 94 p.

Barbosa, P. A. R. (1987). *Geologia e recursos minerais das seqüências supracrustais à leste de Mossâmedes-GO*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências – UnB.

Batchelor, R. A., Bowden, P. (1985). Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48, 43-55.

Danni, J. C. M., Fuck, R. A. (1981). Unidades tectono-estratigráficas do embasamento das faixas dobradas da margem ocidental do Cráton do São Francisco. *II Simpósio Sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais*, 130-139. Salvador: SBG.

Dardenne, M. A. (2000). The Brazilia Fold Belt. In: U. G. Cordani, A. Thomas Filho, D. A. Campos (Coords.), *Tectonic evolution of South America* (231-236). Rio de Janeiro: SBG.

De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2 – diagram and major-element analyses – ITS relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29, 183-210.

DePaolo, D. J. (1981). Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust – mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*, 291, 193-196.

Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J., Frost, C. D. A. (2001). Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 42(11), 2033-2048.

Fuck, R. A. (1990). Dobramentos neoproterozóicos da margem Ocidental do Cráton do São Francisco: revisão. *XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia*, 1, 288-289. Natal: SBG.

Fuck, R. A. (1994). A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. *IV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 184-187. Brasília: SBG.

Fuck, R. A., Pimentel, M. M., D’el-Rey Silva, L. J. H. (1994). Compartimentação tectônica na porção oriental da Província Tocantins. *XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 1, 215-216. Camboriú: SBG.

- Fuck, R. A., Pimentel, M. M., Soares, J. E. P., Dantas, E. L. (2005). Compartimentação da faixa Brasília. *IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 26-27. Goiânia: SBG.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A., Tindle, A. G. (1986). Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: M. P. Coward, A. C. Ries (Eds.), *Collision Tectonics, Geological Society Special Publication* (v. 19, 67-81). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Hasui, Y. (2012). Sistema Orogênico Tocantins. In: Y. Hasui, C. D. R. Carneiro, F. F. M. Almeida, A. Bartorelli (Eds.), *Geologia do Brasil* (289-325). São Paulo: Beca.
- Ianhez, A. C., Pitthan, J. H. L., Simões, M. A., Del'Arca, J. O., Trindade, C. A. H., Luz, D. S., Fernandes, C. A. C. (1983). Geologia. *Projeto RADAM BRASIL: Folha SE. 22 Goiânia*, v. 31, 23-348. Rio de Janeiro: MME-SG.
- Irvine, T., Baragar, W. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8(5), 523-548.
- Junges, S. L., Pimentel, M. M., Moraes, R. (2002). Nd isotopic study of the Neoproterozoic Mara Rosa Arc, central Brazil: implications for the evolution of the Brasília Belt. *Precambrian Research*, 117, 101-118.
- Lacerda Filho, J. V., Rezende, A., Silva, A. (1999). *Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil: Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiânia: CPRM/METAGO/UnB.
- Laux, J. H., Pimentel, M. M., Dantas, E. L., Armstrong, R., Armele, A. (2003). New U-Pb data for ortogneisses of the neoproterozoic Goiás Magmatic Arc, central Brazil. *4th South American Symposium on Isotope Geology*, 579-582. Salvador.
- Laux, J. H., Pimentel, M. M., Dantas, E. L., Armstrong, R., Junges, S. L. (2005). Two Neoproterozoic crustal accretion events in the Brasília Belt, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 18(2), 183-198.
- Laux, J. H., Pimentel, M. M., Gioia, S. M. C. L., Ferreira, V. P. (2010). The Anicuns-Itaberai volcano-sedimentary sequence, Goiás Magmatic Arc: new geochemical and Nd-S isotopic data. *Geochimica Brasiliensis*, 24(1), 13-28.
- Maniar, P. D., Picolli, P. M. (1989). Tectonic discriminant of granitoids. *Geological Society of American Bulletin*, 101, 635-643.
- Marini, O. J., Fuck, R. A., Danni, J. C. M., Dardene, M. A., Louguércio, R. O., Ramalho, R. (1984a). As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: C. Schobbenhaus, D. A. Campos, G. R. Derze, H. E. Asmus (Eds.), *Geologia do Brasil* (251-303). Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral.
- Marini, O. J., Fuck, R. A., Dardene, M. A., Danni, J. C. M. (1984b). Províncias Tocantins: setores Central e Sudeste. In: F. F. M. Almeida, Y. Hasui (Eds.), *O Pré-cambriano do Brasil* (205-264). São Paulo: Edgar Blücher.
- Marini, O. J., Fuck, R. A., Dardene, M. A., Teixeira, N. A. (1978). Dobramentos da borda oeste do Cráton do São Francisco. *I Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais*, 3, 155-204. Salvador: SBG.
- Moreira, M. L. O., Moreton, L. C., Araújo, V. A., Lacerda Filho, J. V., Costa, H. F. (2008). *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Brasília/Goiânia: Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral/Fundo de Fomento à Mineração.
- Navarro, G. R. B., Fumes, R. A., Zanardo, A., Oliveira, M. A. F. de, Luvizotto, G. L. (2015). Petrografia e geoquímica das rochas metamáficas intercaladas em gnaisses do Arco Magmático de Goiás na região de Indiará – GO. *Geologia USP. Série Científica*, 15(1), 29-44.
- Navarro, G. R. B., Zanardo, A. (2007). Geoquímica de Gnaisses do Arco Magmático de Goiás na região sul do estado de Goiás. *Geologia USP. Série Científica*, 7(1), 19-28.
- Navarro, G. R. B., Zanardo, A., Conceição, F. T., Montibeller, C. C. (2013). Geoquímica e geocronologia U-Pb e Sm-Nd dos ortogneisses da região de Pontalina (GO), Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 43(2), 317-332.
- Navarro, G. R. B., Zanardo, A., Galembeck, T. M. B., Rocha, M. M. C. (2004). Idades modelo dos gnaisses da Região de Pontalina Goiás. *XLII Congresso Brasileiro de Geologia*. Araxá: SBG. (CD-ROM).
- O'Connor, J. T. (1965). A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *US Geological Survey, Professional Papers*, 525B, 79-84.
- Oliveira, C. C., Bittar, N. (1971). *Geologia das folhas de itauçu, palmeiras de goiás e cesarina e cadastramento de materiais de construção da área Goiânia-Trindade*. Projeto Bandeirante. Goiânia: CPRM. 660 p.

- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Pimentel, M. M., Fuck, R. A. (1991). Origin of orthogneiss and metavolcanic rock units in western Goiás: Neoproterozoic crustal accretion. *Geochimica Brasiliensis*, 5(1/2), 133-152.
- Pimentel, M. M., Fuck, R. A. (1992). Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, 20, 375-379.
- Pimentel, M. M., Fuck, R. A., Gioia, S. M. C. L. (2000a). The neoproterozoic Goiás magmatic arc, central Brazil: A review and new Sm-Nd isotopic data. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 35-39.
- Pimentel, M. M., Fuck, R. A., Jost, H., Ferreira Filho, C. F., Araujo, S. M. (2000b). The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomas-Filho, D. A. Campos (Eds.). *Tectonic evolution of South America (195-229)*. 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro: SBG.
- Pimentel, M. M., Jost, H., Fuck, R. A. (2004). O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro, B. B. Brito-Neves (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida (355-368)*. São Paulo: Beca.
- Pimentel, M. M., Whitehouse, M. J., Viana, M. G., Fuck, R. A., Machado, N. (1997). The Mara Rosa arc in the Tocantins Province: Further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Precambrian Research*, 81, 299-310.
- Richard, L. R. (1995). MinPet—Mineralogical and Petrological Data Processing System. *MinPet Geological Software*, Quebec, Canadá.
- Rodrigues, J. N. B., Gioia, S. M. L. C., Pimentel, M. M. (1999). Geocronologia e geoquímica de ortognaisses da região entre Iporá e Firminópolis: implicações para a evolução do Arco Magmático de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(2), 207-216.
- Schobbenhaus, F. C., Oguino, K., Ribeiro, C. L., Oliva, L. A., Takanohashi, J. T. (1975a). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Folha Goiânia (SE.22)*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral.
- Schobbenhaus, F. C., Ribeiro, C. L., Oliva, L. A., Takanohashi, J. T., Lindenmayer, Z. G., Vasconcelos, J. B., Orlandi, V. (1975b). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Folha Goiás, (SD.22)*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral.
- Shand, S. J. (1943). *Eruptive Rocks: their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite*. New York: John Wiley & Sons.
- Simões, L. S. A. (2005). *Compartimentos crustais do domínio interno da faixa Brasília no Sul de Goiás*. Tese (Livre-Docência). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- Taylor, S. R., MacLennan, S. M. (1985). *The continental crust: its composition and evolution*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Valente, C. R. (1986). *Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais: Folha Morrinhos, SE.22-X-D*. Brasília: DNPM, CPRM, SRG.
- Valeriano, C. M., Medeiros, S. R., Vaz, G. S., Neto, C. C. A. (2009). Sm-Nd isotope dilution TIMS analyses of BCR-1, AGV-1 and G-2 USGS rock reference materials: first results from the LAGIR Laboratory at UERJ, Rio de Janeiro. *I Simpósio 45 Anos de Geocronologia no Brasil*, 146-148. São Paulo: Instituto de Geociências - USP.
- Viana, M. G., Pimentel, M. M., Whitehouse, M. J., Fuck, R. A., Machado, N. (1995). O Arco Magmático de Mara Rosa, Goiás: geoquímica e geocronologia e suas implicações regionais. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(2), 111-123.