

Augen gnaisses riacianos no Domínio Rio Piranhas-Seridó – Província Borborema, Nordeste do Brasil

Riacian Augen gneisses in Piranhas River-Seridó Domain – Borborema Province, Brazil Northeast

Vladimir Cruz de Medeiros¹, Marcos Antonio Leite do Nascimento², Antônio Carlos Galindo², Elton Luiz Dantas³

¹CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Núcleo de Apoio de Natal - Superintendência Regional de Recife - NANA/SUREG-RE, Rua Prof. Antônio Henrique de Melo 2.010, CEP 59078-580, Natal, RN, BR (vladimir.medeiros@cprm.gov.br)

²Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - DG/UFRN, Natal, RN, BR (marcos@geologia.ufrn.br; galindo@geologia.ufrn.br)

³Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - IG/UnB, Brasília, DF, BR (elton@unb.br)

Recebido em 06 de dezembro de 2011; aceito em 14 de março de 2012

RESUMO

Augen gnaisses da Serra da Formiga/Fazenda Genezaré, borda do Núcleo São Vicente-Florânia (RN) e corpos a SW/NW da cidade de São José do Seridó (RN) foram estudados através de mapeamento geológico, petrografia, litogeoquímica e datação U-Pb. Estes são constituídos por biotita *augen* gnaisses e ortognaisses grossos graníticos/granodioríticos, leucocráticos, de textura porfirogranoblástica e cor cinza clara/rosa. A mineralogia é dada por microclina perítica, oligoclásio, quartzo, além de biotita e anfíbólio, tendo como acessórios epidoto, titanita, clorita, minerais opacos, apatita, zircão e allanita. As relações petrográficas/texturais indicam que estes atingiram a fácies anfibolito com retrometamorfismo para xisto verde. Apresentam foliação de baixo ângulo de direção NW-SE associada a lineações de estiramento com rake forte. Análises litogeoquímicas indicam assinatura de termos metaluminosos a peraluminosos, cálcio-alcálinos de alto potássio, orogênicos de ambiente colisional. Datações U-Pb em zircão (ICP-MS-LA) forneceram idades (intercepto superior) de 2252 ± 17 Ma e de 2171 ± 20 Ma, respectivamente para as rochas situadas a norte de Florânia (RN) e a leste de Genezaré (Caicó/RN). Neste último também foram obtidos valores de TDM de 2,84 Ga e $\epsilon\text{Nd}(0)$ de -20,76. Os dados obtidos permitem associar estes *augen* gnaisses ao Período Riáciano, com idade em torno de 2,25 a 2,17 Ga, e consequentemente ao magmatismo do Complexo Caicó.

Palavras-chave: Província Borborema; Núcleo São Vicente-Florânia; Serra da Formiga; *Augen* gnaisse; Complexo Caicó.

ABSTRACT

Augen gneisses occurring at the Fazenda Genezaré in the Serra da Formiga east of Caicó, at the border of the São Vicente-Florânia (RN) nucleus, and in exposures SW and NW of São José do Seridó (RN) were studied by geologic mapping, petrography, lithogeochemistry and U-Pb dating. These rocks consist of biotite *augen* gneisses, and granitic/granodioritic orthogneisses, with porphyro-granoblastic textures and light gray to pink colors. Their mineralogy consists of perthitic microcline, oligoclase, quartz, besides biotite and amphibole, with epidote, titanite, chlorite, opaque minerals, apatite, zircon and allanite as accessory minerals. Petrography indicates that these rocks were affected by amphibolite facies metamorphism, and a later greenschist facies retrometamorphism. They have a prominent low-angle NW-SE foliation containing a high rake stretching lineation. Lithogeochemistry indicates high-K, metaluminous to peraluminous and calc-alkaline geochemical signatures related to a collisional environment. U-Pb dating of zircon (LA-ICP-MS) provided an upper intercept age of 2252 ± 17 Ma and 2171 ± 20 Ma, for the rocks found north of Florânia (RN), and east of Genezaré, respectively. In the latter values of 2.84 Ga TDM and $\epsilon\text{Nd}(0)$ of -20.76 were also obtained. The data allow attribution of the *augen* gneisses to the Rhyacian period, and are consequently associated with to the magmatism which formed the Caicó Complex.

Keywords: Borborema Province; São Vicente-Florânia nucleus; Serra da Formiga; *Augen* gnaiss; Caicó Complex.

INTRODUÇÃO

Inserido no Domínio Rio Piranhas-Seridó da Província Borborema (Almeida et al., 1977), Nordeste do Brasil, o Complexo Caicó foi inicialmente definido por Meunier (1964) e por Ferreira e Albuquerque (1969) como uma sequência litológica de alto grau metamórfico, constituída, basicamente, por gnaisses e migmatitos, que incluem indistintamente litotipos do Grupo São Vicente de Ebert (1969).

De acordo com a revisão de Jardim de Sá (1994), este conjunto de rochas representa um embasamento gnáissico-migmatítico, incluindo supracrustais mais antigas, em caráter subordinado.

Mais recentemente, Souza et al. (2007) também descrevem o Complexo Caicó como sendo o embasamento de alto grau metamórfico do Grupo Seridó, constituído principalmente por rochas paleoproterozoicas metaplutônicas, intrudidas e/ou intercaladas com unidades metassupracrustais mais antigas.

No contexto das unidades ortoderivadas do Complexo Caicó, corpos de *augen* gnaisses foram alvos de estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos (Figuras 1 e 2), com o objetivo de caracterizá-los como pertencentes ao referido complexo.

AUGEN GNAISSES

Feições de campo

Os *augen* gnaisses estudados afloram na região da Serra da Formiga/Fazenda Genezaré (Caicó – RN), na borda do Núcleo São Vicente-Florânia, e de corpos situados a sudoeste e noroeste da cidade de São José do Seridó (RN – Serra de São Bernardo e a sul do Sítio Serraria), conforme ressaltado na Figura 2.

As rochas estudadas são constituídas por biotita *augen* gnaisses e ortognaisses grossos de composição predominantemente granítica a granodiorítica, leucocráticos, com textura porfirogranoblástica a granonematoblástica (Figuras 3 e 4), apresentando coloração cinza clara ou rosada, por vezes contendo cristais de anfibólio. Em geral, destacam-se porfiroclastos e agregados feldspáticos, lenticulares, alongados seguindo a estrutura gnáissica, dando à rocha a feição de *augen*, onde a biotita contorna aqueles porfiroclastos.

Na região estudada, estes *augen* gnaisses estão inseridos no interior de unidades do Complexo Caicó, com alguns segmentos em contato direto com as rochas metassedimentares do Grupo Seridó (Figura 2), este último sempre posicionado sobre os *augen* gnaisses.

Plútons e diques de granitos neoproterozoicos (brasilianos) intrusivos nos *augen* gnaisses são comumente observados,

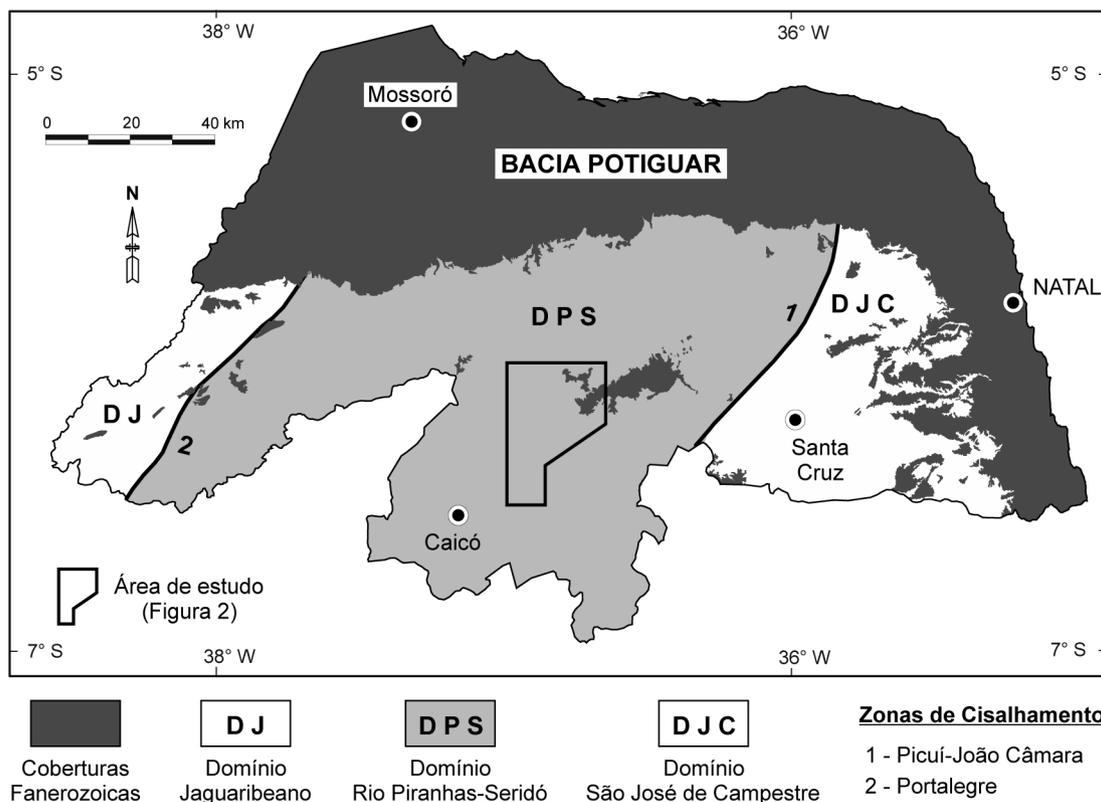
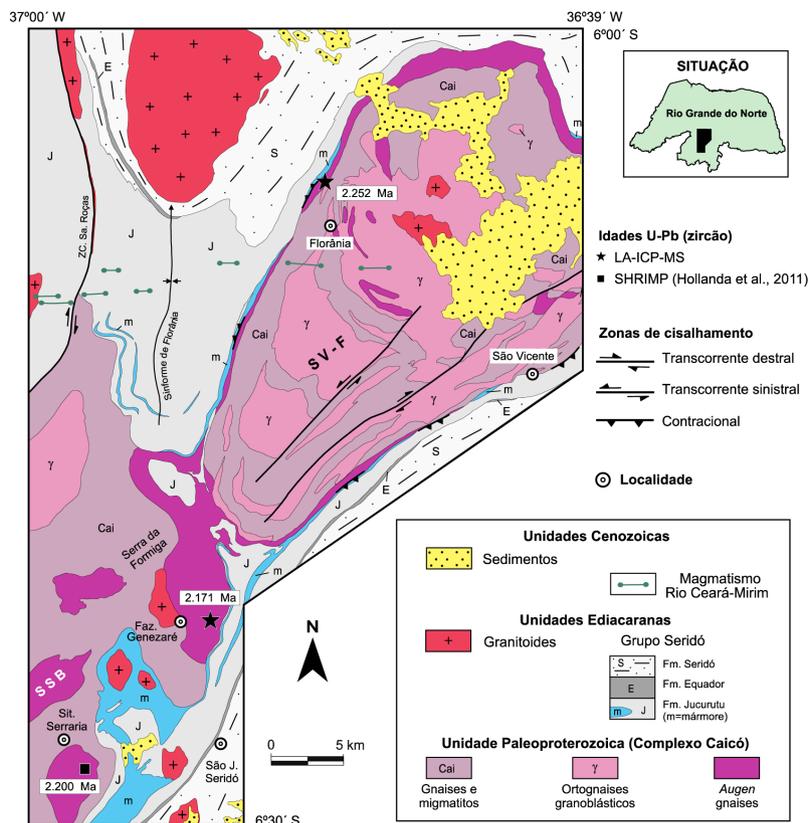


Figura 1. Arcabouço tectônico do estado do Rio Grande do Norte com a localização da área estudada.



SV-F=Núcleo São Vicente-Florânia.

Figura 2. Esboço geológico da região estudada, ressaltando os *augen* gnaisses paleoproterozoicos.

principalmente na região do Núcleo São Vicente-Florânia. Além destes também são observados diques de basaltos/diabásios com direção aproximadamente leste-oeste associados ao magmatismo Rio Ceará-Mirim (Cretáceo Inferior), os quais são intrusivos em litotipos paleoproterozoicos (incluindo os *augen* gnaisses aqui ressaltados) e neoproterozoicos, que na área estudada afloram segundo um lineamento situado a sul de Florânia (RN) (Figura 2).

Petrografia

Composicionalmente essas rochas são, principalmente, gnaisses monzograníticos (Figura 5) com plagioclásio+K-feldspato+quartzo somando mais de 75% modal, com biotita como o mineral máfico principal, podendo apresentar anfíblio nos termos mais máficos (granodioríticos), e com titanita, epidoto, allanita, minerais opacos, granada, apatita e zircão como os acessórios. Clorita, muscovita e carbonato são principalmente fases secundárias de alteração/desestabilização de biotita e plagioclásio. Hidróxidos de ferro são relatados como fase secundária em apenas uma amostra.

O K-feldspato é representado por cristais xeno-hipidioblásticos de microclina pertítica, com geminações albita-periclina compondo o típico padrão xadrez (*tartan*), comumente com

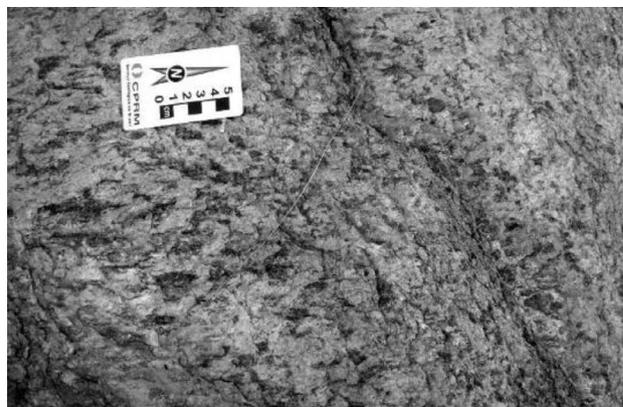


Figura 3. Feição de campo do *augen* gnaisse na região da Fazenda Genezaré (Caicó/RN). Notar finos agregados/clots máficos no plano da foliação.

extinção ondulante. Os cristais maiores podem apresentar textura poiquiloblástica onde plagioclásio é a inclusão mais comum, mas ocorrendo ainda biotita, titanita e anfíblio (Figura 6). O plagioclásio, em geral, é do tipo oligoclásio cálcico com An_{26-20%}, com geminação polissintética (albita e/ou periclina), xeno-hipidioblástico, com extinção ondulante, por vezes com os planos de maclas levemente deformados (Figura 7) e comumente sofrendo alteração moderada para calcita e/ou saussurita

(epídoto fino granular). O quartzo é essencialmente xenoblástico, apresenta moderada a forte extinção ondulante, ocorrendo frequentemente em agregados policristalinos e/ou com textura de subgrãos, ou ainda estirados no plano da foliação (Figura 6).

Os minerais máficos são representados principalmente por biotita hipidioblástica em cristais ripiformes, de coloração amarelada e com pleocroísmo em tons castanhos, no geral orientados na foliação contornando *augens* sigmoidais e aglomerados feldspáticos, sendo relativamente comum sua substituição para clorita e minerais opacos (Figura 8). O anfibólio é de cor verde, com pleocroísmo em tons de verde amarelado a verde escuro, da família das hornblendas, xeno-hipidioblástico, por vezes esquelético e/ou poiquiblastico com inclusões principalmente de quartzo, plagioclásio e biotita. O epídoto, mais comuns nos termos granodioríticos, ocorre como pequenos cristais idio-hipidioblásticos fracamente colorido, com cores

fortes de birrefringência, no geral como inclusões na biotita ou, nos termos mais félsicos, compondo finas e irregulares coroas em núcleo de allanita, ou ainda como resultado da saussuritização de plagioclásio (Figura 8). A titanita ocorre como pequenos cristais idio-hipidioblástica losangulares, fraturados e/ou corroídos, por vezes intergranulares e/ou como finas e irregulares coroas sobre cristais de opacos (processo de esfenitização).

Os minerais opacos ocorrem desde pequenos cristais idio-oblásticos em seções losangulares, quadráticas e/ou hexagonais (típicas de magnetitas), até cristais xenoblásticos, alguns desses últimos podendo apresentar finas e irregulares coroas de titanitas (Figura 9). A granada, observada apenas em uma amostra e associada à biotita, epídoto e opacos, ocorre de maneira bastante peculiar como cristais xenoblásticos esqueléticos, de coloração marrom claro/bege, e com tamanhos chegando a no máximo 0,5 mm (Figura 9). Pequenos

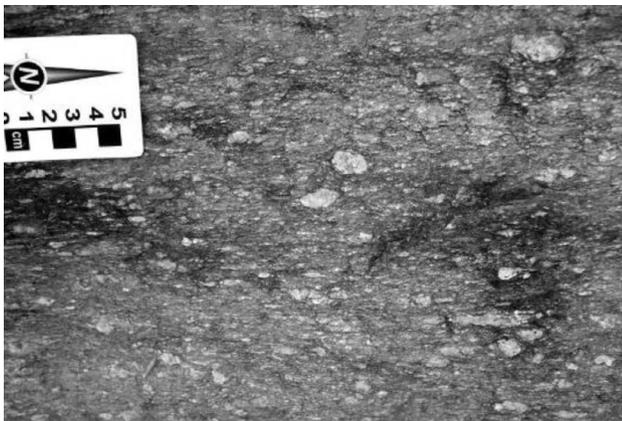


Figura 4. Feição de campo do *augen* gnaiss situado a norte da cidade de Florânia (RN), com porfiroclastos de feldspatos estirados na foliação.

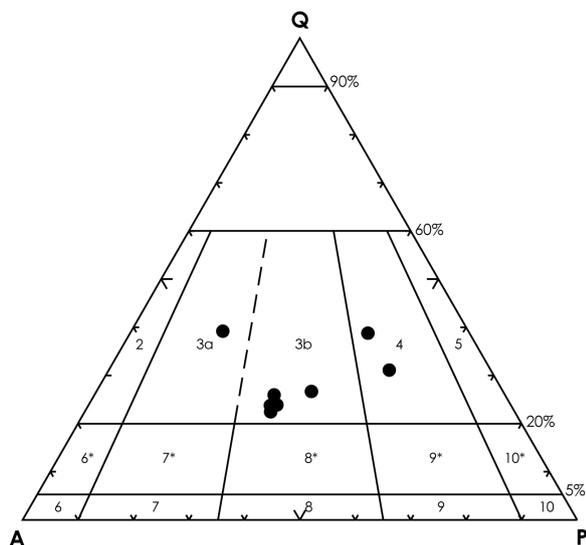


Figura 5. Composições modais para os *augen* gnaisses estudados (4-granodiorito; 3b-monzogranito; 3a-sienogranito).

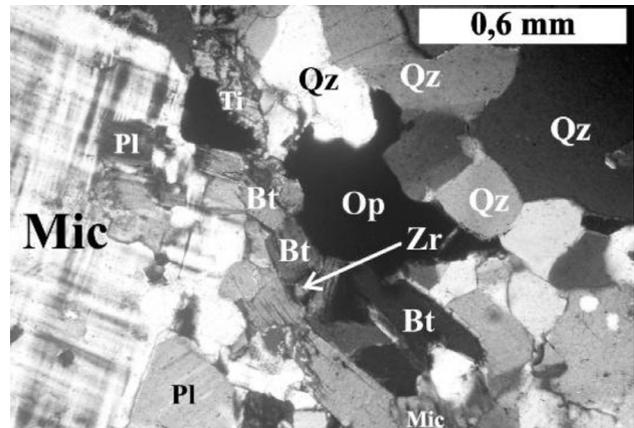


Figura 6. Cristal de microclina (Mic) com inclusões de plagioclásio (Pl), e agregado policristalino de quartzo (Qz). Notar ainda diminuto zircão (Zr) incluído na biotita (Bt).

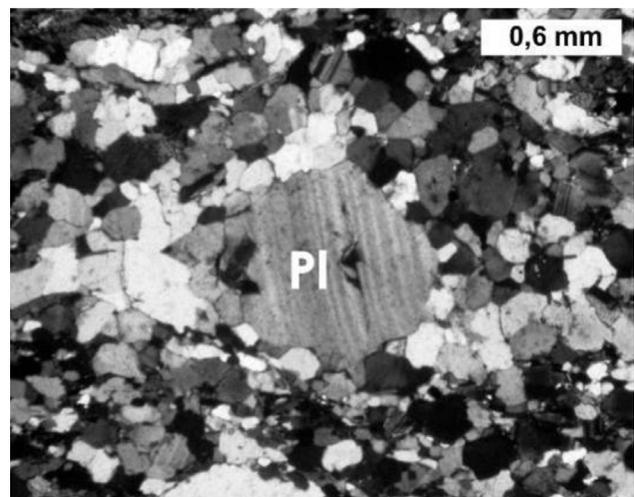


Figura 7. Porfiroclasto de plagioclásio (Pl) em matriz fina quartzo-feldspática, apresentando deformação (vergimento) dos planos das maclas polissintéticas.

cristais idióblásticos de apatita e zircão encontram-se inclusos nos demais minerais. Clorita, muscovita e minerais opacos intergranulares ocorrem como produto de desestabilização da biotita e, juntamente com carbonato e fino epidoto granular (saussaurita) a partir do plagioclásio, são as principais fases minerais secundárias presentes nessas rochas.

Com base nas paragêneses minerais presentes e suas inter-relações texturais, pode-se inferir que as condições metamórficas destas rochas atingiram a fácies anfibolito, evidenciada pela recristalização de feldspatos contornando fenocristais centimétricos de microclina, além da microclinização de plagioclásio e do consumo da biotita pelos feldspatos. Retrometamorfismo para a fácies xisto verde é evidenciado pela desestabilização de cristais de biotita produzindo minerais opacos e clorita, bem como pela saussuritização dos plagioclásios.

Geocronologia

Os estudos geocronológicos aqui apresentados procuraram esclarecer o questionamento da literatura se estes *augen* gnaisses seriam associados ao magmatismo de 1,8 – 1,9 Ga – granitoides do tipo G₂ de Jardim de Sá, Legrand e McReath (1981) ou Suíte Poço da Cruz de Ferreira (1998) – ou de 2,10 – 2,25 Ga – Complexo Caicó e correlatos de Hackspacher, Silva e Santos (1986), Dantas (1992), Magini (1995), Legrand, Liegeois e Deutsch (1991), Petta (1995) e Souza et al. (2007).

Duas datações U-Pb em zircão (*laser ablation*) forneceram idades (intercepto superior) de 2252 ± 17 Ma (MSWD = 1,8) e de 2171 ± 20 Ma (MSWD = 0,55) para os *augen* gnaisses estudados.

A idade de 2252 ± 17 Ma (intercepto superior) foi obtida em um biotita *augen* gnaisse de coloração cinza e composição granodiorítica, aflorante a norte de Florânia (RN), utilizando-se 15 determinações U-Pb em zircões (Figura 10 e Tabela 1),

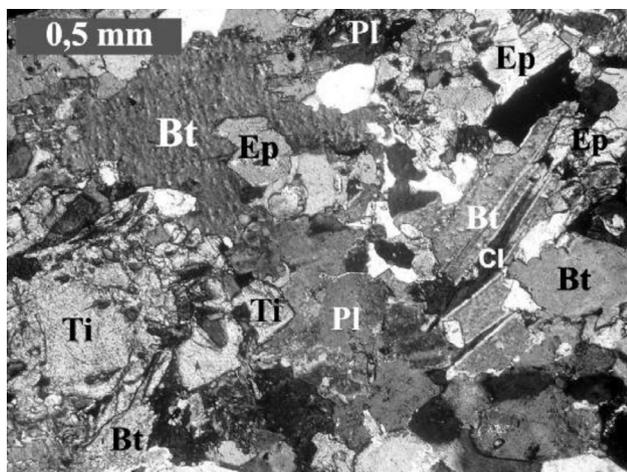


Figura 8. Paragênese máfica dominante nos gnaisses com cristais idio-hipidioblásticos de biotita (Bt), titanita (Ti) e epidoto (Ep) incluído na biotita. Notar clorita (Cl) ao longo dos planos de clivagens da biotita.

a qual foi aqui atribuída como a idade de cristalização deste litotipo, tendo em vista o posicionamento de frações próximas à linha de caimento isotópico U-Pb (Figura 10). A idade obtida no intercepto inferior da referida figura, apesar de apontar para uma idade compatível com a orogênese brasileira, seu erro elevado não permite traçar maiores considerações.

A idade de 2171 ± 20 Ma refere-se em um *augen* gnaisse com biotita, de coloração rosada e composição monzogranítica, situado a leste de Genezaré (Caicó – RN) a partir da seleção de oito determinações U-Pb em zircões (Figura 11 e Tabela 2). Utilizando outra seleção com quatro zircões, o novo valor obtido seria de 2240 ± 41 Ma (MSWD = 0,06). Este segundo valor apresenta um erro um pouco mais elevado, entretanto, a idade obtida é bastante próxima da idade da amostra EL-17 (norte de Florânia – RN).

Hollanda et al. (2011) obtiveram em um *augen* gnaisse localizado a sudoeste da cidade de São José do Seridó uma idade U-Pb em zircão (SHRIMP) de 2200 ± 12 Ma, em consonância com as idades apresentadas no presente trabalho.

As idades supracitadas para os *augens* gnaisses estudados (ca. 2,2 Ga), permitem considerar estes como do Período Riachiano e correlacionar os litotipos estudados ao magmatismo do Complexo Caicó.

Litogeoquímica

Foram obtidas sete análises geoquímicas (Tabela 3), as quais mostram que os *augens* gnaisses estudados são formados por rochas ácidas com ampla variação de sílica, podendo ser individualizados em dois conjuntos distintos: um com SiO₂ entre 63,2 – 69,3%, e outro com SiO₂ entre 74,0 – 76,7%. O primeiro possui teores baixos a moderados de K₂O (1,5 – 4,3%), e altos de Fe₂O₃ (3,0 – 6,2%), MgO (0,8 – 2,3%) e CaO (2,4 – 5,1%), em relação ao conjunto de

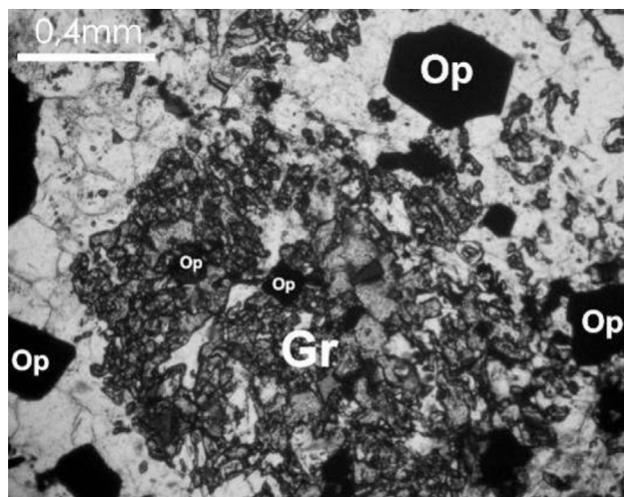


Figura 9. Cristais idióblásticos de opacos (Op) tipo magnetita, alguns inclusos em granada (Gr) xenoblástica esquelética.

Tabela 1. Dados analíticos/isotópicos de determinações U-Pb em zircões do *augen* gnaisse do Complexo Caicó, situado a norte de Florânia (RN). Amostra EL-17, coordenadas UTM: 74.1617 mE; 9.323.181 mN (Datum WGS84, Zona 24).

Grão spot	f206 (%)	Th/U	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	Razões		Idades aparentes					Conc. (%)		
					erro (%) 1σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	erro (%) 1σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	erro (%) 1σ	Rho	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ (Ma)		Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ (Ma)	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ (Ma)
Z01#	0,03	0,24	55.972	0,139862	1,79	7,467	1,34	0,387227	1,18	0,89	2226 ± 31	2169 ± 12	2110 ± 21	97,27
Z02#	0,03	0,31	53.913	0,140599	1,44	7,494	1,11	0,386561	0,92	0,81	2235 ± 25	2172 ± 10	2107 ± 16	96,99
Z03n#	0,03	0,33	60.230	0,127989	2,21	4,658	1,64	0,263937	1,47	0,90	2071 ± 38	1760 ± 14	1510 ± 20	85,81
Z04b#	0,02	0,37	88.504	0,133712	1,38	6,156	1,05	0,333927	0,89	0,85	2147 ± 24	1998 ± 9	1857 ± 14	92,95
Z06#	0,03	0,33	58.713	0,136187	1,46	6,651	1,11	0,354207	0,95	0,84	2179 ± 25	2066 ± 10	1955 ± 16	94,60
Z09#	0,02	0,31	187.346	0,137913	2,18	6,878	1,62	0,361686	1,46	0,90	2201 ± 37	2096 ± 14	1990 ± 25	94,96
Z10#	0,03	0,46	46.020	0,140594	2,12	7,537	1,58	0,388785	1,42	0,89	2235 ± 36	2177 ± 14	2117 ± 26	97,24
Z11#	0,02	0,31	73.400	0,138438	2,01	6,443	1,50	0,337551	1,34	0,88	2208 ± 35	2038 ± 13	1875 ± 22	91,99
Z12#	0,01	0,31	868.295	0,139269	1,75	6,781	1,32	0,353135	1,14	0,83	2218 ± 30	2083 ± 12	1950 ± 19	93,58
Z13#	0,02	0,30	96.887	0,137336	1,63	6,258	1,25	0,330495	1,05	0,79	2194 ± 28	2013 ± 11	1841 ± 17	91,46
Z15#	0,02	0,32	74.258	0,134723	2,23	5,830	1,64	0,313861	1,51	0,92	2160 ± 38	1951 ± 14	1760 ± 23	90,20
Z16#	0,02	0,56	120.860	0,131898	0,66	5,099	1,88	0,280363	1,76	0,94	2123 ± 12	1836 ± 16	1593 ± 25	86,78
Z18#	0,05	0,31	35.524	0,127444	2,18	4,515	1,73	0,256933	1,32	0,83	2063 ± 38	1734 ± 14	1474 ± 17	85,03
Z20#	0,02	0,37	162.305	0,125881	2,57	4,179	1,89	0,240749	1,75	0,92	2041 ± 45	1670 ± 15	1391 ± 22	83,28
Z21#	0,03	0,31	58.662	0,132123	2,26	5,268	1,67	0,289206	1,52	0,90	2126 ± 39	1864 ± 14	1638 ± 22	87,86
Z05	0,02	0,37	221.020	0,113975	1,86	3,238	1,42	0,206030	1,20	0,84	1864 ± 33	1466 ± 11	1208 ± 13	82,36
Z08	0,10	0,41	16.629	0,116219	2,96	3,552	2,20	0,221683	1,97	0,89	1899 ± 52	1539 ± 17	1291 ± 23	83,87
Z14	0,05	0,34	34.274	0,114864	0,88	2,983	1,79	0,188373	1,56	0,90	1878 ± 16	1403 ± 14	1113 ± 16	79,28
Z17	0,05	0,71	33.668	0,118521	2,16	3,388	1,62	0,207315	1,42	0,87	1934 ± 38	1502 ± 13	1214 ± 16	80,88
Z19	0,08	0,54	21.583	0,120397	2,87	3,303	2,18	0,198975	1,87	0,84	1962 ± 50	1482 ± 17	1170 ± 20	78,95

#frações consideradas para o cálculo da idade (intercepto superior) = 2252 ± 17 Ma (MSWD = 1,8).
f206: parâmetros do cálculo geocronológico; Conc.: concentração.

alta sílica que apresenta $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 2,2\%$, $\text{MgO} \leq 0,2\%$ e $\text{CaO} \leq 1,1\%$. No contexto dos elementos traços, estes dois conjuntos são também distintos, com o de baixa sílica apresentando valores mais elevados para Ba (≥ 650 ppm) e Sr (≥ 300 ppm), e menores para Rb (≤ 112 ppm) e Y (≤ 29 ppm).

Estes dois conjuntos podem ser bem visualizados nos diagramas de variação tipo Harker (Figura 12). Mesmo considerando a pouca quantidade de amostras estes diagramas de variação sugerem, para o conjunto de baixa sílica, correlação negativa para Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , P_2O_5 e Sr, indicando fracionamento importante de minerais máficos (no caso anfibólio, epidoto, titanita, principalmente), e possivelmente de plagioclásio, enquanto que K_2O , Rb e Ba mostram correlação positiva sugerindo o não fracionamento de K-feldspato durante a evolução do magma dessas rochas. Para o conjunto de alta sílica, fica difícil falar em correção negativa ou positiva, haja vista o reduzido número de amostras e o fato de que duas delas mostram valores praticamente iguais de SiO_2 (da ordem de 74,0%) (Tabela 3).

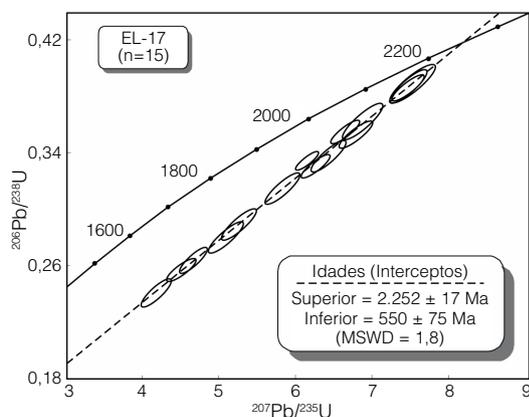


Figura 10. Idade U-Pb com 15 frações de zircão do *augen* gnaisse situado a norte de Florânia (RN).

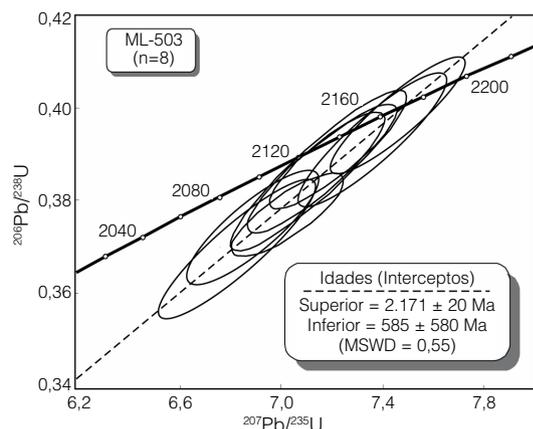


Figura 11. Idade U-Pb com oito frações de zircão do *augen* gnaisse da fazenda Genezaré (nordeste de Caicó/RN).

Com relação aos elementos terras raras (Figura 13), no geral, os dados mostram valores moderados de elementos terras raras (ETRs) (193,4 – 391,6 ppm), com um relativo enriquecimento dos elementos terras raras leves (ETRL) com relação aos elementos terras raras pesados (ETRP) ($\text{Ce}_N/\text{Yb}_N = 3,67$ a 15,36), contudo aqui fica mais claro a individualização dos dois conjuntos de rochas, o de alta sílica com razões Ce_N/Yb_N entre 3,7 e 4,7 e de baixa sílica com maiores razões Ce_N/Yb_N , entre 9,3 e 15,4. Isso se deve, principalmente, a uma quantidade maior de minerais máficos no segundo grupo. Estes dois grupos também se distinguem pela anomalia de Eu, onde o primeiro mostra anomalias negativas de Eu mais pronunciadas com Eu/Eu^* entre 0,14 a 0,26, sugerindo forte fracionamento de plagioclásio, e o segundo com Eu/Eu^* entre 0,65 a 0,85 sugerindo o fracionamento moderado desta fase mineral. Ressalte-se ainda que o primeiro padrão (para as rochas de alta sílica) é bem similar aos apresentados por granitos tipo-A (padrão andorinha), enquanto que o segundo (para as rochas de baixa sílica) assemelha-se a padrões de granitos cálcio-alcálicos a subalcalinos/cálcio-alcálicos potássicos pouco fracionados (ausência e/ou pequenas anomalias negativas de Eu). Da mesma forma, em diagrama multielementos constata-se diferenças entre os dois conjuntos de amostras, onde o grupo de alta sílica apresenta fortes anomalias negativas para Sr, P e Ti, corroborando forte fracionamento de plagioclásio e minerais máficos (titanita, anfibólio e apatita, principalmente) e relativo enriquecimento para Ba, K, Nd e ETR em relação ao conjunto de baixa sílica (Figura 14).

No contexto de séries/associações magmáticas, estes *augen* gnaisses são formados por rochas predominantemente metaluminosas, o conjunto de sílica mais baixa, a peraluminosas, o conjunto de sílica alta (Figura 15A), mostrando em diversos diagramas discriminantes um comportamento transicional entre rochas de afinidades com séries alcalina a cálcio-alcálica potássica (Figuras 15B a 15E), podendo ser classificadas como rochas de natureza cálcio-alcálica de alto K conforme já referido por Souza et al. (2007) e de provável ambiente colisional (Figura 15F).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em alguns trabalhos prévios (Macedo, Jardim de Sá, Sá, 1984; Jardim de Sá, 1994; Angelim, Medeiros, Nesi, 2006), dentre outros, estas rochas (*augen* gnaisses) foram consideradas como associadas ao magmatismo de cerca de 1,8 – 1,9 Ga (granitoides do tipo G_2 de Jardim de Sá, Legrand, McReath, 1981 ou Suíte Poço da Cruz de Ferreira, 1998). Entretanto, os dados geocronológicos apresentados no presente trabalho para a região da Serra da Formiga e Florânia (RN), associados com a idade obtida por Holanda et al. (2011) no corpo situado a sudoeste de São José do Seridó (RN), apontam para uma idade entorno de 2,2 Ga

Tabela 2. Dados analíticos/isotópicos de determinações U-Pb em zircões do *augen* gnaisse do Complexo Caicó, situado a leste de Genezaré (Caicó/RN). Amostra ML-503, coordenadas UTM: 734.098 mE; 9.295.435 mN (Datum WGS84, Zona 24).

Grão spot	f206 (%)	Th/U	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶	Razões		Idades aparentes							
					erro (%) 1σ	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵	erro (%) 1σ	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸	erro (%) 1σ	Rho	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ (Ma)	Pb ²⁰⁷ /U ²³⁵ (Ma)	Pb ²⁰⁶ /U ²³⁸ (Ma)	Conc. (%)
Z05#	0,06	0,26	26.945	0,134029	2,07	7,138	1,54	0,386267	1,37	0,88	2151 ± 36	2129 ± 14	2105 ± 25	98,90
Z07#	0,04	0,25	39.813	0,135105	1,61	7,027	1,28	0,377202	0,97	0,81	2165 ± 28	2115 ± 11	2063 ± 17	97,56
Z09#	0,10	0,27	13.847	0,133431	2,05	6,891	1,53	0,374539	1,36	0,88	2144 ± 35	2097 ± 14	2051 ± 24	97,77
Z11#	0,03	0,31	43.847	0,134111	1,85	7,207	1,43	0,389726	1,17	0,88	2152 ± 32	2137 ± 13	2122 ± 21	99,26
Z12#	0,10	0,13	12.717	0,133973	2,48	6,822	1,84	0,369331	1,67	0,91	2151 ± 43	2089 ± 16	2026 ± 29	97,01
Z13#	0,05	0,22	32.655	0,135641	1,69	7,426	1,28	0,397074	1,11	0,86	2172 ± 29	2164 ± 11	2156 ± 20	99,60
Z15#	0,06	0,22	25.221	0,134055	2,69	7,148	1,98	0,386711	1,82	0,92	2152 ± 46	2130 ± 18	2108 ± 33	98,95
Z19#	0,05	0,24	28.097	0,135813	2,47	7,395	1,81	0,394911	1,67	0,93	2174 ± 42	2160 ± 16	2146 ± 30	99,31
Z06\$	0,06	0,17	26.494	0,140210	1,72	7,214	1,30	0,373152	1,13	0,86	2230 ± 29	2138 ± 11	2044 ± 20	95,60
Z10\$	0,05	0,20	29.756	0,140603	1,78	7,648	1,33	0,394502	1,19	0,90	2235 ± 31	2191 ± 12	2144 ± 22	97,86
Z14\$	0,03	0,25	42.844	0,140666	2,08	7,564	1,59	0,389975	1,34	0,91	2235 ± 36	2181 ± 14	2123 ± 24	97,35
Z18\$	0,04	0,27	41.341	0,140075	1,88	7,377	1,46	0,381951	1,18	0,89	2228 ± 32	2158 ± 13	2085 ± 21	96,63
Z03	0,04	0,23	41.119	0,130774	3,76	4,484	2,70	0,248703	2,61	0,97	2108 ± 64	1728 ± 22	1432 ± 33	82,85
Z01	0,03	0,18	57.049	0,132441	0,60	5,203	1,17	0,284925	1,00	0,79	2131 ± 10	1853 ± 10	1616 ± 14	87,21
Z08	0,03	0,06	57.695	0,130073	1,45	6,113	1,11	0,340852	0,94	0,77	2099 ± 25	1992 ± 10	1891 ± 15	94,91
Z04	0,08	0,18	17.522	0,144908	1,74	7,898	1,33	0,395285	1,11	0,77	2287 ± 30	2219 ± 12	2147 ± 20	96,75
Z02	0,08	0,33	36.006	0,149503	1,72	8,172	1,36	0,396460	1,05	0,71	2340 ± 29	2250 ± 12	2153 ± 19	95,66
Z16	0,05	0,14	22.111	0,152729	2,61	8,380	1,91	0,397933	1,77	0,93	2377 ± 44	2273 ± 17	2160 ± 32	95,01

frações consideradas para o cálculo da idade (intercepto superior) = 2171 ± 20 Ma (MSWD = 0,55).

\$ frações consideradas para o cálculo da idade (intercepto superior) = 2240 ± 41 Ma (MSWD = 0,06).

f206: parâmetros do cálculo geocronológico; Conc.: concentração.

Tabela 3. Análises químicas em elementos maiores (%), traços (ppm) e terras raras (ppm) dos *augen* gnaisses da região da Serra da Formiga.

Elementos	EL-17	ML-450	ML-458	ML-481B	ML-503	ML-509	ML-554A
SiO ₂ (%)	63,33	74,02	63,21	69,29	76,72	74,15	67,01
TiO ₂	0,61	0,15	0,63	0,37	0,11	0,15	0,45
Al ₂ O ₃	16,49	12,81	15,49	14,44	11,8	12,95	15,15
Fe ₂ O _{3t}	5,39	2,21	6,19	3	2,04	1,87	3,64
MnO	0,09	0,04	0,09	0,06	0,02	0,03	0,06
MgO	1,57	0,12	2,33	0,77	0,02	0,22	1,04
CaO	4,3	0,66	5,05	2,43	0,27	1,12	3,47
Na ₂ O	3,94	3,62	4,16	3,54	3,18	3,53	3,2
K ₂ O	2,96	5,15	1,47	4,3	5,33	4,98	4,42
P ₂ O ₅	0,23	0,03	0,21	0,12	0,02	0,04	0,15
PF	0,6	1	0,9	1,4	0,3	0,8	1,1
Total	99,51	99,81	99,73	99,72	99,81	99,84	99,69
Ba (ppm)	1.503	379	662	1.261	210	429	1.178
Be	2	5	< 1	1	3	5	1
Co	9,3	0,9	14,7	4,2	0,5	1,7	6,4
Cs	0,7	0,9	0,3	0,9	2,5	2,6	0,9
Ga	16,1	19,8	17,9	14	20,8	19,6	14,5
Hf	6,6	10	4,9	4,5	11	6,3	5,8
Nb	11,9	34,7	6,8	12,9	30,7	32,2	12,7
Rb	83,6	189,1	28,8	110,6	234	239,8	112,4
Sn	2	4	1	2	4	3	2
Sr	514,5	45,4	605,4	303,5	22,3	83,9	445,2
Ta	0,9	3,4	0,4	1	1,9	2,1	1
Th	18,1	41	1,7	20,6	29,4	38,2	24,8
U	3,6	7,4	0,2	4,2	6	12,1	3,1
V	62	8	98	32	8	9	41
W	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,9	1,1	< 0,5
Y	29	89,8	23,9	27,7	66,9	55,5	26,5
Zr	281,5	257,9	180,5	161,3	278,9	159,1	206,6
Mo	0,3	0,2	0,1	0,4	0,4	1,2	1,4
Cu	6	2,4	12,5	3,4	3,1	2,1	7,9
Pb	1,9	8,8	0,7	7,4	7,4	10,4	3
Zn	47	53	47	31	29	32	35
Ni	3	1,3	18,6	1,8	0,8	2,4	2,7
La (ppm)	80,7	79,0	37,5	51,8	47,1	50,3	73,9
Ce	133,2	158,1	78,7	98,2	99,1	98,9	134,7
Pr	15,14	18,92	10,46	11,29	12,15	11,64	14,63
Nd	54,1	68,9	41,1	40,6	45,3	39,8	50,8
Sm	8,05	13,63	7,2	6,99	9,74	8,37	8,35
Eu	1,9	0,96	1,85	1,38	0,45	0,71	1,74
Gd	6,69	12,84	5,7	5,61	9,31	7,82	6,43
Tb	0,97	2,29	0,81	0,91	1,86	1,44	0,97
Dy	5,19	13,79	4,14	4,85	11,66	8,74	5,04
Ho	0,98	2,93	0,82	0,95	2,45	1,85	0,94
Er	2,66	8,8	2,23	2,79	7,27	5,63	2,53
Tm	0,43	1,43	0,37	0,42	1,18	0,92	0,38
Yb	2,64	8,71	2,19	2,46	6,98	5,73	2,27
Lu	0,42	1,25	0,31	0,36	0,99	0,87	0,32
ΣETR	313,07	391,55	193,38	228,61	255,54	242,72	303

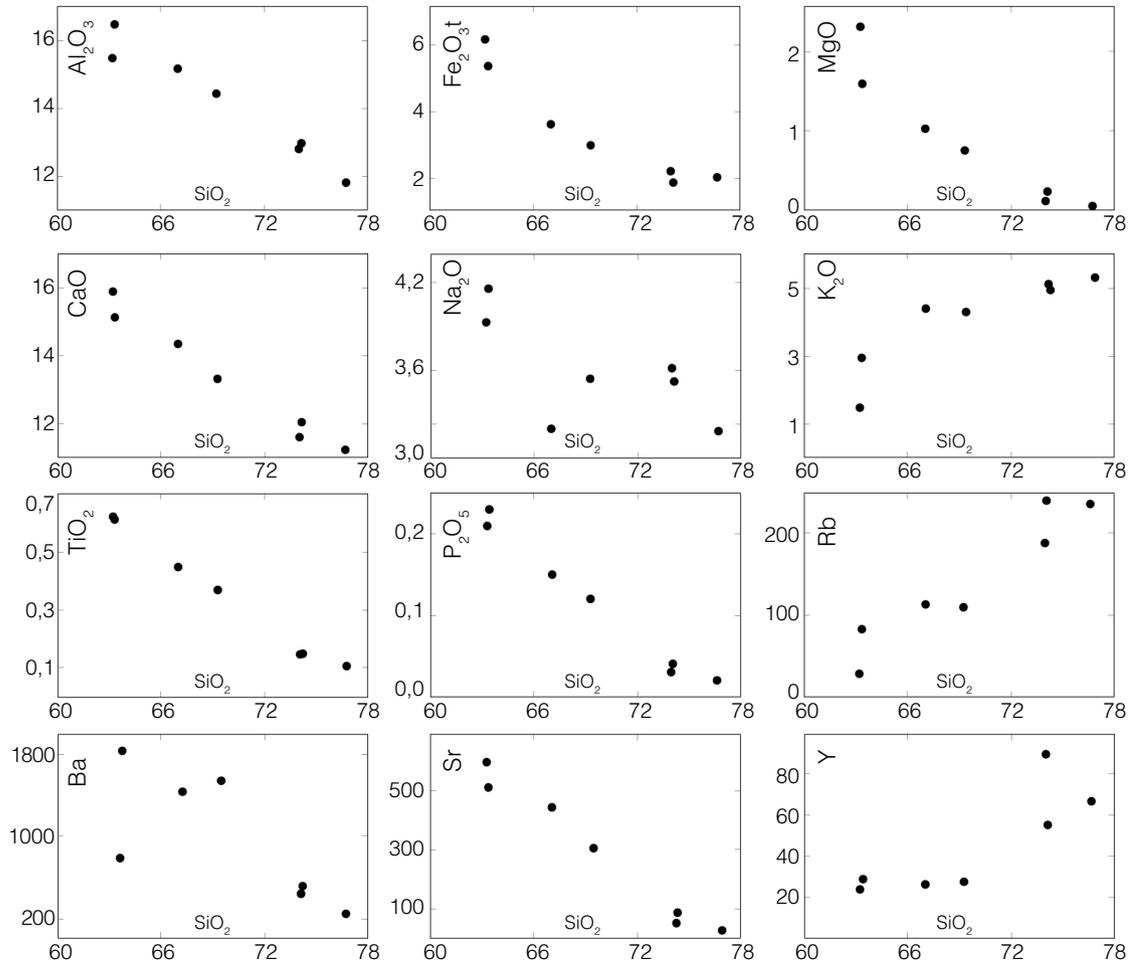


Figura 12. Diagrama de variação para os *augen* gnaisses da Serra da Formiga, usando SiO_2 como índice de diferenciação, para elementos maiores e traços.

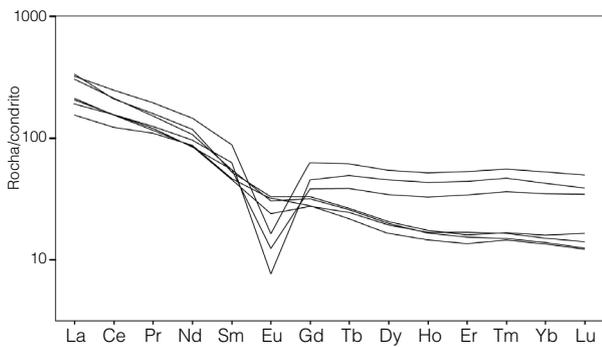


Figura 13. Diagrama de elementos terras raras para os *augen* gnaisses da Serra da Formiga, normalizados segundo Evensen, Hamilton e O’Nions (1978).

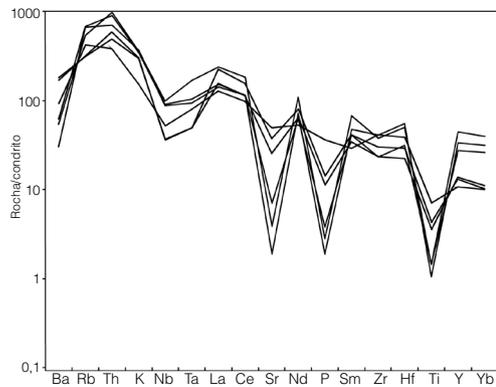


Figura 14. Diagrama multielementos para os *augen* gnaisses da serra da Formiga. Para a normalização foram utilizados os valores condriticos propostos por Thompson (1982), exceto para Rb, K e P que foram normalizados segundo o manto primitivo de acordo com o mesmo autor.

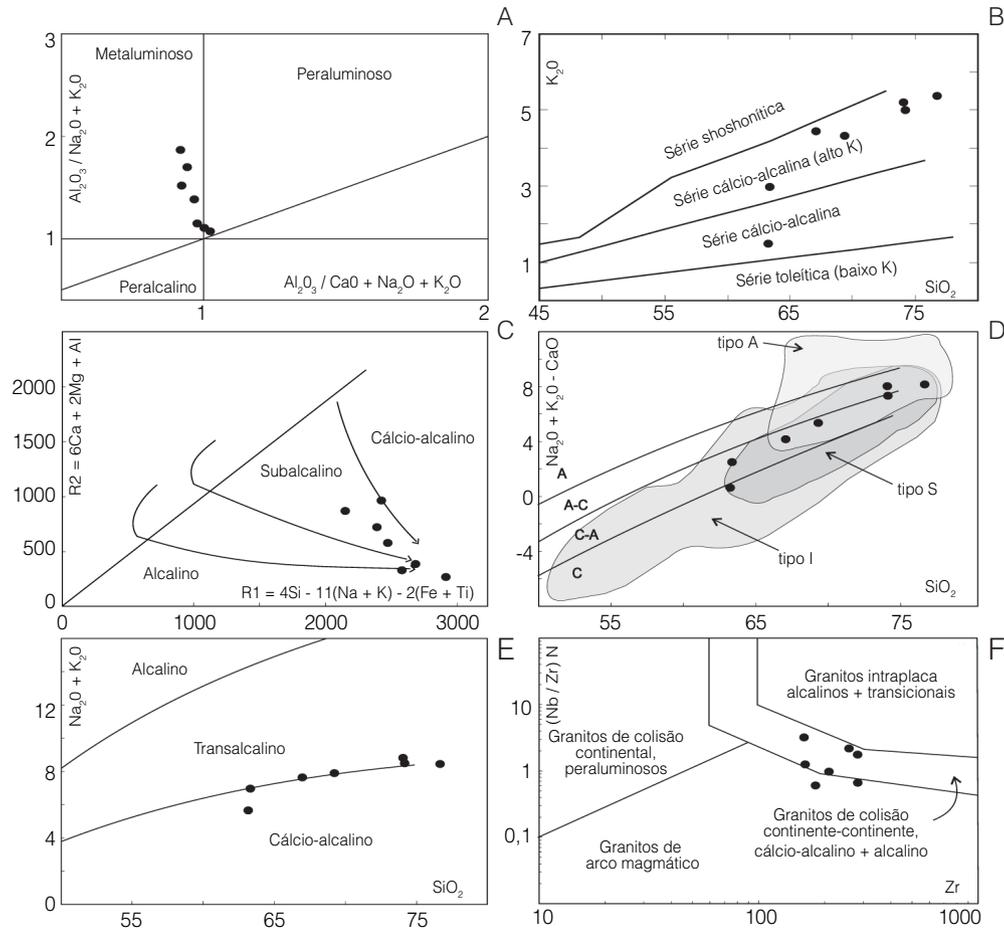


Figura 15. Diagramas discriminantes litogeoquímicos para os *augen* gnaisses da Serra da Formiga. Índice de Shand, segundo (A) Maniar e Piccoli (1989), (B) Rickwood (1989), (C) De La Roche et al. (1980), (D) Frost et al. (2001), (E) Middlemost (1997) e (F) Thiéblemont e Tégely (1994).

para os mesmos, em consonância com as propostas de Hackspacher, Silva e Santos (1986), Dantas (1992), Magini (1995), Legrand, Liegeois e Deutsch (1991), Petta (1995), Souza et al. (2007), dentre outros, que associaram estes corpos com unidades do Complexo Caicó.

Os dados geoquímicos sugerem que estes *augens* gnaisses, apesar de comporem dois conjuntos relativamente distintos, são predominantemente representados por rochas metaluminosas, com assinatura transicional entre rochas de afinidades com séries alcalina a cálcio-alcalina potássica, de provável ambiente colisional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CPRM-Serviço Geológico do Brasil, pela autorização na divulgação de dados apresentados neste trabalho, bem como aos revisores pelas sugestões ao manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B., FUCK, H. A. Províncias estruturais brasileiras. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977, Campina Grande. *Atas do...* Campina Grande: SBG, 1977. v. 8, p. 363-391.
- ANGELIM, L. A. A.; MEDEIROS, V. C.; NESI, J. R. Programa Geologia do Brasil (PGB). Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte*. Escala. 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERNE, 2006.
- DANTAS, E. L. *Evolução tectono-magmática do maciço polidiapírico São Vicente/Florânia - RN*. 1992. 272 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses. Its relationship with current nomenclature. *Chemical Geology*, v. 29, n 1-4, p. 183-210, 1980.
- EBERT, H. *Geologia do Alto Seridó: nota explicativa da folha geológica de Currais Novos*. Recife: SUDENE, 1969. 120p. (Série Geologia Regional, 11).
- EVENSEN, N. H.; HAMILTON, P. J.; O'NIONS, R. K. Rare earth abundances in chondritic meteorite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 42, p. 1199-1212, 1978.
- FERREIRA, C. A. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PGB). Caicó*. Folha SB.24-Z-B (Escala 1:250.000). Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba. Brasília: CPRM, 1998. 152 p.
- FERREIRA, J. A. M.; ALBUQUERQUE, J. P. T. *Sinopse da geologia da Folha Seridó*. Recife: SUDENE, 1969. 52p. (Série Geologia Regional, 18).
- FROST, B. R.; BARNES, C. G.; COLLINS, W. J.; ARCULUS, R. J.; ELLIS, D. J.; FROST, C. D. A chemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, v. 42, n. 11, p. 2033-2048, 2001.
- HACKSPACHER, P. C.; SILVA, C. A.; SANTOS, J. P. A geologia do complexo gnáissico-migmatítico entre São Vicente e Florânia - RN; uma análise preliminar. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 12, 1986, João Pessoa. *Atas do...* João Pessoa: SBG, 1986. v. 10, p. 252-269.
- HOLLANDA, M. H. B. M.; ARCHANJO, C. J.; SOUZA, L. C.; DUNYI, L.; ARMSTRONG, L. Long-lived Paleoproterozoic granitic magmatism in the Seridó-Jaguaribe domain, Borborema Province-NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 32, n. 4, p. 287-300, 2011.
- JARDIM DE SÁ, E. F. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana*. 1994. 803 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.
- JARDIM DE SÁ, E. F.; LEGRAND, J. M.; MCREATH, I. "Estratigrafia" de rochas granitoides na região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 11, n. 1, p. 50-57, 1981.
- LEGRAND, J. M.; LIEGEOIS, J. P.; DEUTSCH, S. Datação U/Pb e Rb/Sr das rochas precambrianas da região de Caicó. Reavaliação da definição de um embasamento arqueano. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14, 1991, Recife. *Atas...* Recife: SBG, 1991. v. 12, p. 276-279.
- MACEDO, M. H. F.; JARDIM DE SÁ, E. F.; SÁ, J. M. Datações Rb-Sr em ortognaisses e a idade do Grupo Seridó. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11, 1984, Natal. *Atas do...* Natal: SBG, 1984. v. 9, p. 253-262.
- MAGINI, C. *Evolução metamórfica do batólito São Vicente-Caicó-RN e sua relação com os metassedimentos Seridó e Jucurutu*. 1995. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.
- MANIAR, P. D.; PICCOLI, P. M. Tectonic discrimination of granitoids. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 101, n. 5, p. 635-643, 1989.
- MEUNIER, A. R. Succession stratigraphique et passages lateraux dus au metamorphisme dans la Série Ceará, Antecambrien du Nord-Est brésilien. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, v. 259, p. 3796-3799, 1964.
- MIDDLEMOST, E. A. K. *Magmas, rocks and planetary development*. Harlow: Longman, 1997. 299 p.
- PETTA, A. R. *Estudo geoquímico e relações petrogenéticas do batólito múltiplo composto São Vicente/Caicó (RN-Brasil)*. 1995. 304 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.
- RICKWOOD, P. C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, v. 22, p. 247-263, 1989.
- SOUZA, Z. S.; MARTIN, H.; PEUCAT, J. J.; JARDIM DE SÁ, E. F.; MACEDO, M. H. F. Calc-alkaline magmatism at the archaean-proterozoic transition: the Caicó Complex basement (NE Brasil). *Journal of Petrology*, v. 48, n. 11, p. 2149-2185, 2007.
- THIÉBLEMONT, D.; TÉGYEY, M. Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calco-alcalins. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris II*, v. 319, p. 87-94, 1994.
- THOMPSON, R. N. Magmatism of the British tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, v. 18, p. 49-107, 1982.