

PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA E IDADE U/Pb DO ORTOGNAISSE ROCINHA, NO DOMÍNIO PERNAMBUCO-ALAGOAS W DA PROVÍNCIA BORBOREMA

Rodrigo Fabiano da Cruz
Ana Cláudia de Aguiar Accioly

CPRM - Serviço Geológico do Brasil – SUREG-RE rodrigo.cruz@cprm.gov.br
ana.accioly@cprm.gov.br

RESUMO

O Ortognaisse Rocinha foi reconhecido durante os trabalhos de mapeamento da CPRM. Sua localidade tipo se encontra nos arredores da Fazenda Rocinha no norte do município de Cabrobó, formando um extenso corpo de aproximadamente 15 km de extensão, de direção WNW/ESSE, e com largura máxima de 4 km. Ocorrendo também na forma de um corpo em formato circular com cerca de 70 Km², abrangendo a localidade de Milagres também em Cabrobó. Geotectonicamente se posiciona no interior do Domínio Pernambuco-Alagoas da Província Borborema. Se constitui de ortognaisses de composição predominantemente granítica, de granulação média a grossa, porfiroclásticos a porfiroblásticos, de cor avermelhada, submetidos a um grau metamórfico médio, sob condições P/T da fácies xisto verde superior a anfibolito. Dados de análises litogeoquímicas de suas amostras apontam uma afinidade química metaluminosa, alcalina a subalcalina álcali cálcica, com algumas amostras com tendência fracamente peraluminosa. As assinaturas químicas são condizentes com rochas oriundas de magmatismo intraplaca e com características de magmatismo tipo A. Determinações U-Pb em zircão (LAM-MC-ICP-MS) de uma amostra da sua localidade tipo forneceu uma idade concordante de 956±2 Ma (Toniana), com MSWD de 1,6. Determinação isotópica Sm/Nd de amostra do mesmo ponto forneceu idade modelo de 1.45 Ga., com eNd(956Ma) de -0.8 indicativo de material de origem mantélica com ligeira contaminação crustal do magma gerador da rocha. O Ortognaisse Rocinha tem como protólito mais provável granitos porfiríticos gerados por magmatismo intraplaca, colocados nos estágios finais a posteriores do Evento Cariris Velhos.

Palavras chave: *Ortognaisse Rocinha, Domínio Pernambuco-Alagoas, Província Borborema, Evento Cariris Velhos, Geologia Isotópica*

ABSTRACT

The Rocinha Orthogneiss was initially described in mapping projects performed by CPRM. Its type locality is situated in the surrounds of Fazenda Rocinha in northern of Cabrobó city. It appears as an extensive body about 15 km in length, from WNW / ESSE, and with a maximum width of 4 km. The Rocinha Orthogneiss also occurs as a body with a circular shape with about 70 square kilometers of diameter in the location of Milagres at northern part of Cabrobó. It is part of the Pernambuco-Alagoas Domain from Borborema Province. The unit consists of orthogneisses with granitic compositions, with medium to coarse grained, porphyroclastics to porphyroblastics textures, red colors tones, medium-grade metamorphism, submitted to upper greenschist facies to amphibolite P/T conditions. Their lithogeochemical data for the selected samples exhibit chemical affinity ranging from metaluminous (subalkaline) to weakly peraluminous. With chemical signatures consistent with rocks derived from within plate magmatism context, compatible with anorogenic magmatism. Determinations U-Pb zircon ages (LAM-MC-ICP-MS) of a sample of its type locality shows an age of 956 ± 2 Ma (Tonian), with MSWD of 1.6. Isotopic Sm /Nd analyses for the same sample provided model age of 1,5Ga, with $\epsilon_{\text{Nd}}(956\text{Ma})$ of -0.8, indicative of mantle source material with a slight crustal contamination of magma rise to the rock. Rocinha Orthogneiss has the most likely protolith bodies of porphyritic granites generated by within plate magmatism, placed in the final to post stages of Cariris Velhos Event.

Keywords: *Rocinha Orthogneiss, Pernambuco-Alagoas Domain, Borborema Province, Cariris Velhos Event, Isotopic Geology.*

INTRODUÇÃO

O Ortogneisse Rocinha foi individualizado inicialmente nos arredores da Fazenda Rocinha no norte do município de Cabrobó-PE, durante a execução dos projetos de mapeamento das folhas Parnamirim (SC.24-V-B-II) e Salgueiro (SC.24-V-B-I), pela CPRM, Superintendência de Recife. Posteriormente outros corpos foram identificados como semelhantes e assim foram enquadrados como uma unidade litoestratigráfica. Geotectonicamente, a unidade litoestratigráfica ortogneisse Rocinha faz parte do Domínio Pernambuco-Alagoas W (DPEAL W) da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977), e em trabalhos anteriores era considerada como parte dos ortogneisses que constituíam o Complexo Belém do São Francisco, de idade Mesoproterozóica (Santos 1995 e 1996).

A unidade ocorre como dois corpos principais, o primeiro, que abrange sua localidade tipo, foi mapeado com um formato

alongado na direção WNW/ESSE e dimensões de aproximadamente 15 km de extensão com espessura chegando a 4 km. O segundo corpo apresenta-se com um formato circular, ocupando cerca de 70 km² de área nos arredores da localidade de Milagres e do Riacho Logradouro, ambos no município de Cabrobó. Em sua área tipo, ocorre na forma de extensos lajedos em região de baixo a moderado destaque topográfico, sendo composto por rochas graníticas, gnaissificadas, de granulação média a grossa, porfiroclásticos a porfiroblásticos, de cor avermelhada, com feições de deformação dinâmica como dobramentos sigmoides e bandas de cisalhamentos. As rochas que constituem o corpo de Milagres afloram principalmente sob a forma de lajedos e grandes matacões, onde predomina uma textura do tipo *augen*, pontualmente apresentando porções de injeções graníticas neossomáticas, associadas a uma migmatização. Em seu afloramento tipo é observado diques de gnaiss graníticos finos

similares aos dos corpos de granitoides brasileiros encontrados nas imediações do Ortognaisse Rocinha (Fig. 2). Não foram encontrados xenólitos de metassedimentos que são mapeados nas cercanias dos corpos da Unidade Ortognaisse Rocinha, o que pode indicar que a mesma possa servir de embasamento, assim o corpo de Milagres é interpretado como uma janela estrutural.

CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A Província Borborema definida por Almeida *et al.* (1977 e 1981), constitui um sistema de faixas de dobramentos relacionadas às orogêneses do Neoproterozóico, associada a uma intensa granitogênese. Inclui fragmentos antigos do Arqueano/Paleoproterozoico, bacias sedimentares tafrogênicas mesozoicas e coberturas superficiais mais recentes. Segundo Caby (1989) a província, dentro de um contexto pré-deriva Mesozoica, fazia parte de um megacinturão móvel Panafricano/Brasiliano, inserido no norte do Supercontinente Gondwana.

Diversos autores sugeriram divisões internas na Província Borborema. A primeira compartimentação tectônica da província deve-se a Brito Neves (1975) que incluía faixas, sistemas de dobramentos ou cinturões metamórficos, separados por maciços medianos e zonas geoanticlinais de natureza gnáissico-migmatítico-granítica, que abrigam nos seus interiores faixas de supracrustais. Jardim de Sá (1987), estudando a Faixa Seridó, aventou uma evolução policíclica para a Província Borborema, com suas faixas dobradas em tectônica tangencial do Paleoproterozoico relacionada ao Ciclo Transamazônico (2,0-1,8 Ga) e com retrabalhamento essencialmente transcorrente no Ciclo Brasileiro (0,75-0,57 Ga).

Com base na determinação de idades entre 1,0 e 0,92 Ga de rochas graníticas com assinaturas geoquímicas de ambientes colisionais e metavulcânicas de ambiente de arco encaixadas em supracrustais, alguns autores idealizaram a atuação de mais um evento orogênico, além daqueles já reconhecidos na Província Borborema

(Riaciano-Orosiriano e Brasileiro), o que foi denominado Evento Cariris Velhos (Campos Neto *et al.*, 1994; Santos *et al.*, 1994; Santos, 1995; Brito Neves *et al.*, 1995, Santos *et al.*, 2010, Van Schmus *et al.*, 2011), equivalente ao Kibariano na África, Sunsás em Rondônia e Grenville no Canadá. Embasado na tectônica acrescionária, Santos (1996 e 1998), propõe nova compartimentação geotectônica para a Província Borborema, dividindo-a em domínios e terrenos tectonoestratigráficos, cuja colagem teria ocorrido durante os eventos Cariris Velhos e Brasileiro/Panafricano. Este último teria atuado tanto na justaposição de terrenos tectonoestratigráficos distintos, como no retrabalhamento e dispersão dos limites da colagem relativa ao Evento Cariris Velhos.

Outra teoria seria que as rochas de idade Mesoproterozoica/Toniana foram formadas em um contexto anorogênico/rifte com deformação relacionada principalmente ao Ciclo Brasileiro (Bittar, 1998, Neves *et al.*, 2000 e 2003) desconsiderando como um ciclo Wilsoniano o Evento Cariris Velhos, dentro dessa concepção a província teria sofrido somente dois eventos orogênicos tectonotermiais, um no Paleoproterozoico e outro no fim do Neoproterozoico (Orogenia Brasileira) e entre esses dois ciclos teria ocorrido o evento tafrogênico Cariris Velhos.

As divisões dentro da Província Borborema (Fig.1) neste trabalho foram baseadas nas compartimentações sugeridas por diversos autores (Van Schmus *et al.*, 1995 e 2008; Brito Neves *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2000 e Santos *et al.*, 2010) que observando o mosaico estrutural da província e dados geocronológicos em suas rochas a dividiram em diferentes domínios litoestratigráficos: na região norte da província tem-se os domínios Médio-Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte; o Domínio da Zona Transversal, na área central da província, que inclui os terrenos Piancó-Alto Brígida, Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe; e na porção meridional da província, ocorrem o Domínio Pernambuco-Alagoas e as faixas Sergipana e Riacho do Pontal.

O Domínio Pernambuco-Alagoas, onde ocorre o Ortognaise Rocinha, está limitado ao norte pela Zona Transversal através do Lineamento Pernambuco, a oeste pela Faixa Riacho do Pontal através de zona de cisalhamento contracional e a sul pela Faixa Sergipana e o Cráton São Francisco. Foi definido originalmente por Brito Neves *et al.* (1982) como um maciço formado por gnaisses e migmatitos de idade arqueana a paleoproterozoica, intrudidos por granitoides brasileiros. Uma concepção mais atualizada compreende o domínio como uma complexa colagem de unidades de diversas idades (Van Schmus *et al.* 1995; Silva Filho *et al.* 2002; Oliveira, 2006). Santos (1995), Medeiros & Santos (1998) e Medeiros (2000) reconheceram dois complexos metamórficos principais neste domínio, o Complexo Cabrobó e o Complexo Belém de São Francisco.

O Complexo Cabrobó é formado por sequências metassedimentares e

metavulcanossedimentares metamorfizadas na fácies anfibolito, localmente possuindo termos migmatíticos e granitoides neossomáticos, ao passo que o Complexo Belém do São Francisco compreende gnaisses de composições predominantemente graníticas a granodioríticas com níveis máficos, e também migmatitos ortoderivados com restos de supracrustais. Os complexos metamórficos do Domínio Pernambuco-Alagoas são intrudidos por rochas plutônicas relacionadas ao Evento Cariris Velhos (Esteniano/Toniano) e ao Ciclo Brasileiro (Ediacarano). Os granitoides caririanos se encontram em sua totalidade deformados devido à sobreposição da tectônica brasileira. Os granitoides brasileiros apresentam-se em parte intensamente deformados (pré a sin tectônicos em relação ao ápice da deformação principal) e em partes pouco a não deformados (tardi a pós-tectônicos).

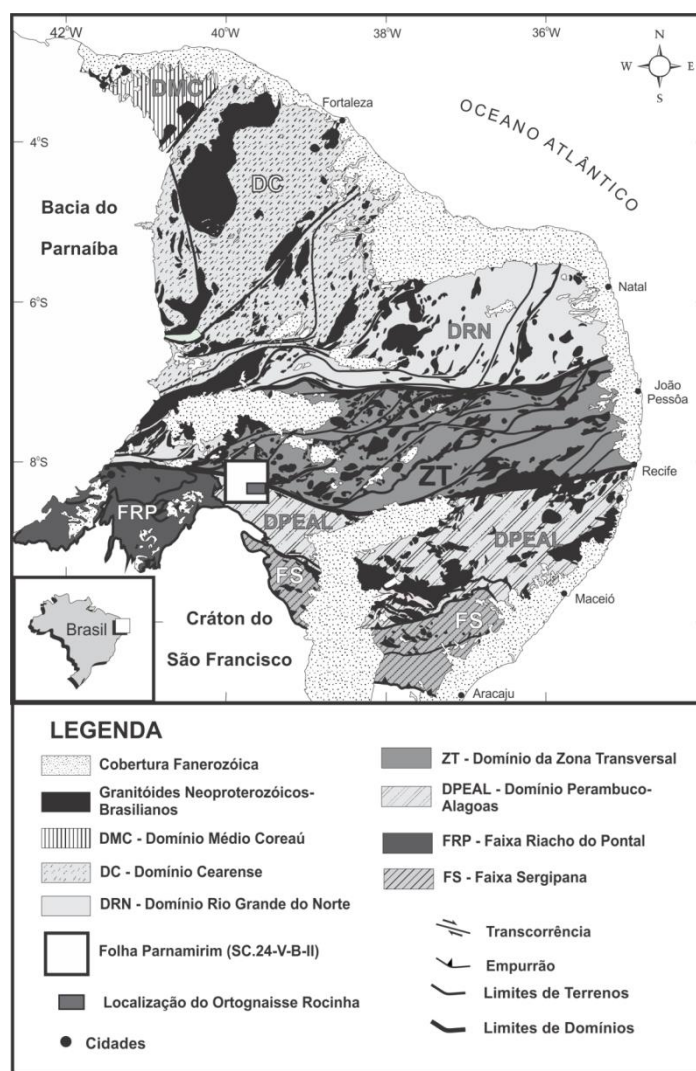


Figura 1: Província Borborema e a compartimentação em domínios geotectônicos, modificado de Medeiros (2004). Localização da Folha Parnamirim e da área de ocorrência dos corpos de Ortognaisses Rocinha.

GEOLOGIA LOCAL E PETROGRAFIA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

O Ortognaisse Rocinha e seus corpos correlatos encontram-se em contatos abruptos com os metassedimentos do Complexo Cabrobó (Fig. 2), por vezes formando imbricamentos e lascas tectônicas. O Complexo Cabrobó aflora principalmente constituído por granada-biotita xistos/gnaisses, localmente migmatizados, e de maneira mais restrita ocorrem quartzitos e mármore. Nas proximidades dos corpos estudados encaixam-se neste Complexo rochas (meta) plutônicas relacionadas ao Ciclo Brasileiro, de composição granítica a

granodiorítica, por vezes bandadas, localmente miloníticas a catacladasas.

Em geral todas as rochas que constituem o Ortognaisse Rocinha se encontram deformadas e fraturadas, principalmente devido aos efeitos da Tectônica Brasileira.

O ortognaisse Rocinha apresenta textura granoblástica inequigranular média a grossa (Fig. 3A), é afetado por dobramentos suaves em escala métrica e outros menores associados ao efeito de milonitização (Fig. 3B). Apresenta uma composição predominantemente sienogranítica variando até monzogranítica, com fenocristais porfiroblásticos (Fig. 3C) a porfiroclásticos de feldspato alcalino formando na maior parte

das amostras analisadas uma textura *augen*. Feições miloníticas de assimetria dos fenocristais são comuns em algumas amostras. Os cristais de feldspatos e quartzo estão estirados e recrystalizados, além da orientação dos cristais de biotita (Fig. 3D), todos envolvidos por uma matriz quartzo-feldspática também estirada.

No Ortognaisse Rocinha, microscopicamente, o quartzo aparece com cerca de 30-35% modal como cristais xenomórficos, fortemente estirados, sempre com extinção ondulante, já o K-feldspato aparece com cerca de 42-43% do total modal e o plagioclásio com média de 25% modal. Algumas poucas amostras apresentam fácies mais finas com maior estiramento mineral associado. A biotita é o mineral máfico principal, com teores entre 5 e 15%, hornblenda e epidoto aparecem em algumas amostras com concentrações em torno de 1 a 3%. Os minerais acessórios mais comuns são apatita, allanita, opacos, titanita, zircão e clorita.

Corpos correlatos do Ortognaisse Rocinha na localidade de Milagres embora apresentem mesoscopicamente composições e texturas muito semelhantes, são mais

enriquecidos em quartzo constituindo ortognaisses de composição sienogranítica mais quartzosos que os demais ortognaisses tipo Rocinha, são biotita augen-gnaisses sienograníticos, onde fenocristais assimétricos de K-feldspato constituem os “augens” destas rochas. Dentre os acessórios a biotita se destaca com proporções modais de 15-20%. Estas diferenças estão refletidas na litoquímica, como discutido mais abaixo.

Os ortognaisses foram submetidos a um grau metamórfico médio, de condições P/T do fácies xisto verde superior a anfibólito, marcado pela recrystalização de cristais de feldspato alcalino e presença de anfibólio. Parcial migmatização foi vista em um afloramento do Ortognaisse Rocinha, o que indica que localmente esta unidade litoestratigráfica esteve submetida a condições mais altas de metamorfismo, com formação localizada de neossoma. Todos os corpos estudados do Ortognaisse Rocinha apresentam em lâmina petrográfica feições que indicam um retrometamorfismo para condições de P/T de metamorfismo de fácies xisto verde inferior, representadas pelo aparecimento de clorita e desestabilização de anfibólio para formação de biotita.

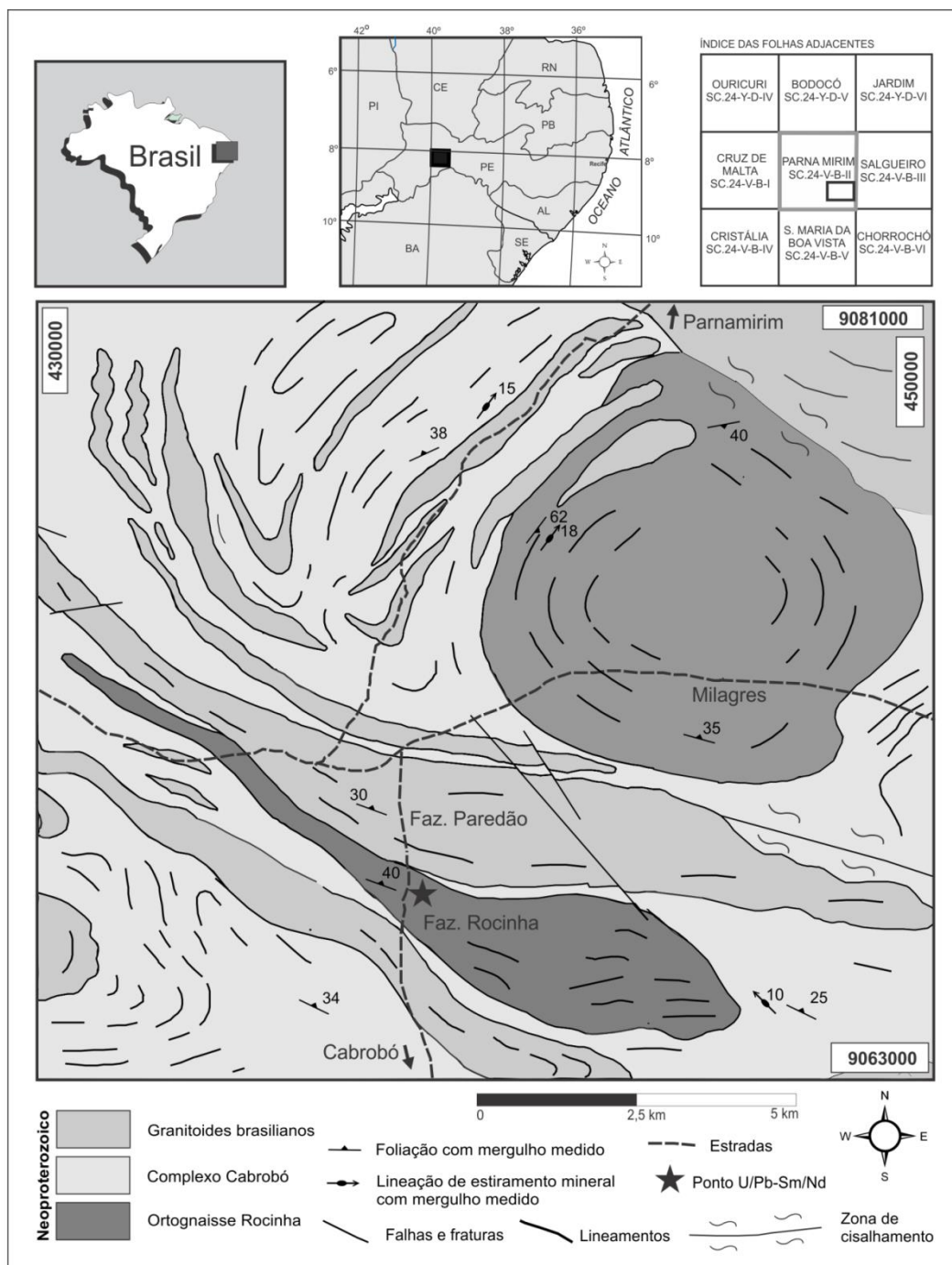


Figura 2: Mapa geológico simplificado da área de ocorrência dos corpos dos Ortognaisses Rocinha.

CARACTERÍSTICAS LITOGEOQUÍMICAS

Foram coletadas amostras para litogeoquímica de afloramentos do Ortognaisse Rocinha, seis amostras do

ortognaisse de sua localidade tipo, na Fazenda Rocinha (Tabela 1), e quatro em biotita-ortognaisses sienograníticos nas imediações da localidade de Milagres (Tabela 2). Todas as amostras foram analisadas por ICPMS na SGS Geosol Laboratórios Ltda, para óxidos

maiores, elementos traço e terras raras, e preparadas por fusão com metaborato de lítio.

As concentrações de SiO_2 das amostras variam de 68 a 77%, se tratando de granitoides bastante diferenciados, os teores mais altos em sílica são observados nos corpos de Milagres. As amostras da Fazenda Rocinha apresentam teores médios de K_2O variando de 6,3 até 7% e as amostras da Localidade de Milagres exibem teores de 4,7 a 5,3%, todas as amostras possuem $\text{CaO} < 1,8\%$. Em diagramas de variação, usando a sílica como indicador de fracionamento, há um espalhamento para as amostras do Ortognaisse Rocinha na sua localidade tipo, ao passo que as amostras de Milagres exibem “*trends*” mais homogêneos positivos em relação K_2O , CaO e Al_2O_3 . Este aumento da alumina com a diferenciação

magmática destes últimos corpos citados está refletido no diagrama de balanço de alumina (Maniar & Picolli, 1989), onde estas seguem uma tendência fracamente peraluminosa de acordo com o índice de *Shand* ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO} - \text{A/CNK}$), variando de 1,01 a 1,07 ($< 1,1$). As amostras da Fazenda Rocinha se concentram principalmente no campo metaluminoso (Figura 4A), com o índice de *Shand* ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO} - \text{A/CNK}$) variando de 0,8 a 1,0. As rochas analisadas são quartzo-diopsídio-hiperstênio normativas (Fazenda Rocinha) e quartzo-corindon-hiperstênio normativas (localidade de Milagres).

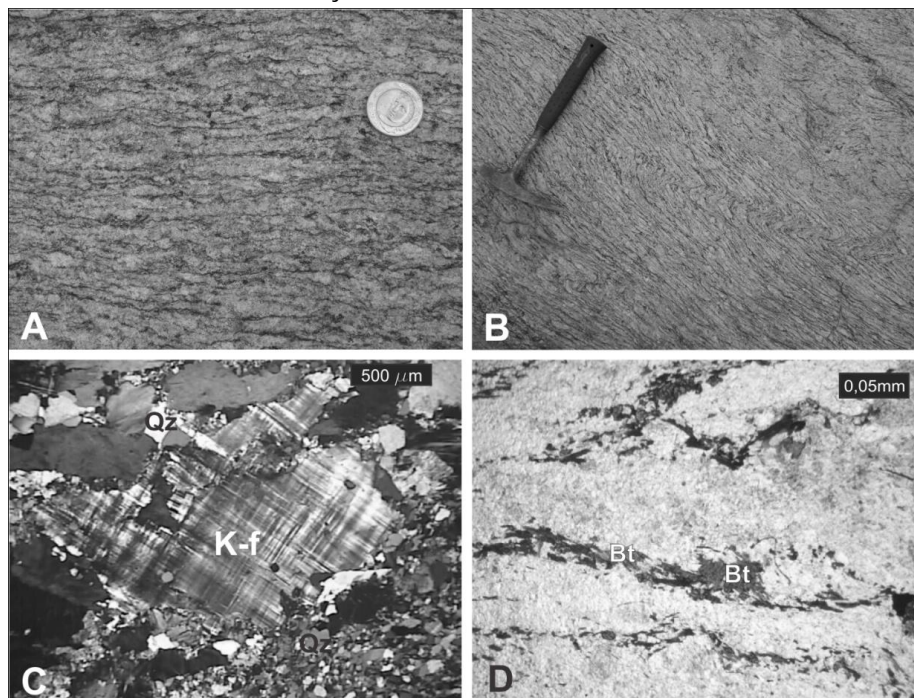


Figura 3: Fotos de afloramentos rochosos do Ortognaisse Rocinha em sua localidade tipo. (A) Textura porfiroclástica com *augens* de feldspato alcalino, (B) dobras sigmoidais em afloramento, (C) Fotomicrografia com fenocristal de K-feldspato envolvidos por quartzo formando subgrãos, (D) fotomicrografia mostrando biotitas orientadas desenhando a foliação da rocha.

Tabela 1: Dados químicos em rocha total dos ortognaisses tipo Rocinha

Ortognaisse Rocinha - Amostras do corpo da Localidade tipo						
	RF-311	RF-323	RF-323B	RF-323C	RF-466	RF-467
SiO ₂	77,38	74,33	70,37	72,94	68,54	71,19
TiO ₂	0,17	0,3	0,29	0,15	0,29	0,31
Al ₂ O ₃	12,15	13,4	13,06	11,82	13,43	13,19
Fe ₂ O ₃	1,9	3,13	2,85	2,04	2,83	2,86
MnO	0,01	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
MgO	0,13	0,31	0,33	0,17	0,23	0,27
CaO	0,68	0,78	1,71	0,77	0,74	0,92
Na ₂ O	2,73	2,86	2,7	2,48	3,05	2,68
K ₂ O	6,63	6,82	6,49	6,33	6,47	6,96
P ₂ O ₅	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,01
Cr ₂ O ₃	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Total	101,98	102,12	98,11	97,25	95,72	98,57
LOI	0,23	0,19	0,29	0,41	0,23	0,16
Ni	1,4	1,7	2,1	2,2	5,6	2,1
Co	0,8	2,3	2,2	1,2	2,9	2,3
Cu	5,3	2	2,5	2,5	16,8	6,9
Pb	4,8	5,9	7	7	7,3	5,7
Zn	30	48	49	23	52	46
Rb	314	298	286	285	297	285
Cs	3,66	10	9,37	4,88	10,87	6,95
Ba	323	453	466	280	443	475
Sr	79,4	50,2	120	59,2	50,9	52,7
Ga	19,6	20,5	20,4	19	22,1	20,4
Ta	2,79	4,79	4,13	2,79	4,02	2,86
Nb	21,01	26,91	23,47	18,64	27,63	22,56
Hf	7,73	9,63	10,04	5,05	10,5	10,27
Zr	240	338	329	164	367	379
Y	60,77	54,22	60,06	54,35	71,24	57,22
Th	37,9	25	26,8	24,6	27,7	27,8
U	6,47	4,31	4,84	3,81	4,31	5,57
La	92	85,7	95,7	85,8	106,1	92
Ce	133,2	138,8	144,1	134,2	157,8	145,2
Pr	17,17	16,2	17,66	16,33	20,23	17,8
Nd	59,1	54,7	61,4	56	71,8	62,5
Sm	11,4	10,4	11,2	10,5	13,7	11,6
Eu	0,57	1,3	1,22	0,77	1,38	1,18
Gd	10,76	9,73	11,56	10,09	13,63	11,37
Tb	1,76	1,72	1,73	1,6	2,12	1,78
Dy	10,79	9,56	10,65	10,05	12,7	10,65
Ho	2,03	1,97	2	1,86	2,47	2
Er	6,07	5,52	5,81	5,45	7,32	6,07
Tm	0,88	0,97	0,93	0,81	1,11	0,88
Yb	5,8	5,6	5,5	5,2	7,2	5,5
Lu	0,8	0,88	0,83	0,69	1,03	0,76

Tabela 2: Dados químicos em rocha total dos ortognaisses tipo Rocinha.

Ortognaisse Rocinha:

Amostras do corpo da Localidade de Milagres

	FL-180	FL-181	FL-185	SF-182
SiO ₂	75,56	75,99	77,47	75,5
TiO ₂	0,14	0,2	0,27	0,13
Al ₂ O ₃	11,8	11,83	12,5	11,12
Fe ₂ O ₃	1,61	2,6	2,34	1,97
MnO	0,05	0,06	0,04	0,05
MgO	0,21	0,25	0,3	0,13
CaO	0,95	1,05	1,23	0,66
Na ₂ O	2,63	2,62	2,62	2,58
K ₂ O	4,77	4,73	5,3	4,53
P ₂ O ₅	0,03	0,09	0,08	0,03
Cr ₂ O ₃	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Total	97,91	99,51	102,39	97,21
LOI	0,17	0,08	0,23	0,52
Ni	2,2	2,9	3	2,2
Co	1,6	2,4	2,7	1,4
Cu	6,7	9,2	6,7	5,2
Pb	2,5	4,3	23,4	5,8
Zn	29	48	41	39
Rb	365	339	267	338
Cs	16,76	17,18	9,06	7,02
Ba	315	393	461	188
Sr	70,5	90	77	35,8
Ga	21,1	22,2	21,8	23,4
Ta	4,12	3,66	3,06	3,78
Nb	24,35	25,88	22,57	23,7
Hf	14	21,92	21,92	18,66
Zr	95,6	156	190	120
Y	46,1	46,34	41,83	68,2
Th	17,9	38,1	24,1	26,3
U	5,16	5,95	3,05	3,92
La	43,4	45	63,8	37,8
Ce	75,8	87,5	116	70,6
Pr	10,33	9,83	14,32	10,06
Nd	36,6	34,2	51,9	38,9
Sm	7,8	6,9	9,3	8,4
Eu	0,68	0,78	1,1	0,68
Gd	7,89	6,35	8,73	9,38
Tb	1,19	1,01	1,22	1,47
Dy	7,56	7,19	6,67	8,7
Ho	1,46	1,47	1,33	1,74
Er	4,11	4,35	3,59	5,11
Tm	0,63	0,61	0,5	0,75
Yb	3,8	4,6	3,3	5
Lu	0,64	0,69	0,54	0,75

No diagrama TAS (Irvine & Baragar, 1971) é observada uma maior concentração de amostras no campo das séries subalcalinas, com algumas da localidade tipo atingindo o campo da série alcalina (Fig. 4B). Todas as amostras plotadas em diagrama AFM alinham-se nas proximidades da linha AF, paralelamente a esta. No diagrama litogeoquímico proposto por Frost *et al.* (2001) para as amostras estudadas, se percebe uma separação das amostras em dois grupos: um grupo de amostras plotando no campo alcali-cálcico (Fazenda Rocinha) e outro grupo no campo calcioalcalino (Milagres) (Fig. 5A), porém em outro diagrama de Frost *et al.* (2001), todo o conjunto de amostras apresenta-se em concordância em relação a assinatura química de granitoides ferrosos (Figura 5B). Assim, as amostras da Fazenda Rocinha apresenta uma tendência alcalina a subalcalina álcali-cálcica, ao passo que as amostras da Localidade de Milagres possuem uma tendência fracamente peraluminosa, corroborada pela presença de coríndon normativo.

De acordo com Frost *et al.* (2001) as classificação dos granitoides em relação aos álcalis indicam diferentes fontes de material de fusão, com os alcali-cálcicos indicando

fusão de magmas básicos com assimilação crustal e os de afinidade química metaluminosa calcioalcalina a fracamente peraluminosa sendo fusão de material eminentemente crustal. Esses mesmos autores fazem uma correlação destes tipos com granitoides ferrosos de assinatura anorogênica ou tipo A.

Os padrões de ETR (Fig. 6A) normalizados em relação ao condrito (Boynton, 1984) exibem fortes anomalias negativas de Eu, com razões Eu/Eu^* variando de 0,16 a 0,40 para todas as amostras e são levemente fracionados, com La_N/Yb_N variando de 5 a 13. As amostras da Fazenda Rocinha exibem padrões de ETRs mais enriquecidos que aquelas analisadas da Localidade de Milagres. Os padrões são semelhantes aqueles de assinatura condizente com rochas oriundas de magmatismo pós-orogênico a anorogênico (Moghazi *et al.*, 2011). Os padrões no diagrama multielementar normalizado pelo manto primordial, mostram anomalias negativas de Nb, tipicamente encontradas em magmas provenientes de fontes modificadas por subducção, e também acentuadas anomalias negativas de Sr e Ba, além de enriquecimento de Th e La (Fig. 6B).

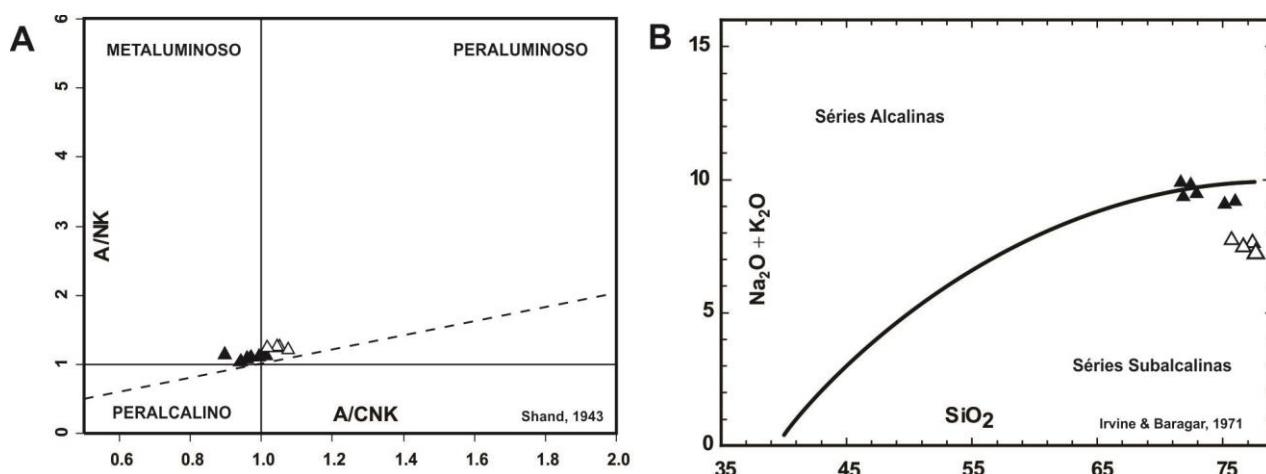


Figura 4: (A) Diagrama A/CNK versus A/NK (Maniar & Picolli, 1989) e (B) Diagrama de álcalis total versus sílica (TAS) (Irvine & Baragar, 1971). Triângulos brancos representam as amostras do corpo de Milagres, triângulos pretos representam as amostras do corpo da Fazenda Rocinha.

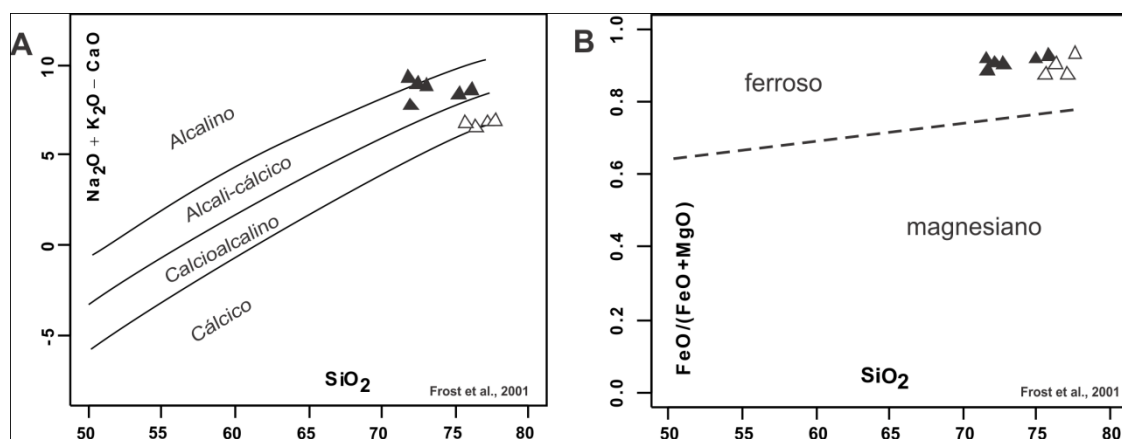


Figura 5: Diagramas discriminatórios de séries magmáticas para as amostras estudadas, os campos são aqueles propostos por Frost et al., 2001. (A) diagrama de alcalinidade e (B) diagrama da razão Fe total/ ferro total mais Mg versus sílica. Triângulos brancos representam as amostras do corpo de Milagres, triângulos pretos representam as amostras do corpo da Fazenda Rocinha.

Todas as amostras apresentam razões de $\text{Ga} \cdot 10000/\text{Al}$ acima de 2.5, razão associada a granitoides do tipo A (Rao & Reddy, 2007). No diagrama discriminatório de ambientes tectônicos proposto por Pearce *et al.* (1984); e redefinido por Pearce (1996), as amostras estudadas se posicionam predominantemente no campo intraplaca (Fig. 7A) nas bordas do círculo onde se ajustam granitoides pos-colisionais, já no diagrama A1/A2 (Eby, 1992), as amostras se concentram no campo A2, diagnóstico de granitos tipo A oriundo de fontes mistas ou crustais (Fig. 7B). Seguindo o critério proposto por Whalen *et al.* (1987) (Fig. 9) o Ortognaisse Rocinha de acordo com suas características geoquímicas pode ser considerado um granitoide tipo A de origem infracrustal. Baseado nestes diagramas litogeoquímicos os granitoides Rocinha são semelhantes aqueles cujo magmatismo foi gerado e posicionado nos estágios finais da

orogênese formadora desses corpos, no caso o Evento Cariris Velhos. Em um contexto tectônico de relaxamento crustal, gerando espaço para magmatismo intraplaca cuja fonte mantélica apresenta contaminação/mistura por material afetado por subducção/reciclagem orogênica.

A diferença entre as rochas da localidade tipo do Ortognaisse Rocinha em relação ao corpo de Milagres, pode indicar que no corpo de Milagres houve uma maior diferenciação e contaminação/assimilação de material crustal em relação ao corpo de Fazenda Rocinha, também que poderia representar um novo pulso de magmatismo de fontes semelhantes. Outra explicação para a variação de elementos maiores entre um corpo e outro, seria a presença de zona de cisalhamento próxima ao corpo da Fazenda Rocinha o que provocaria uma remobilização de elementos a qual o corpo de Milagres não foi exposto.

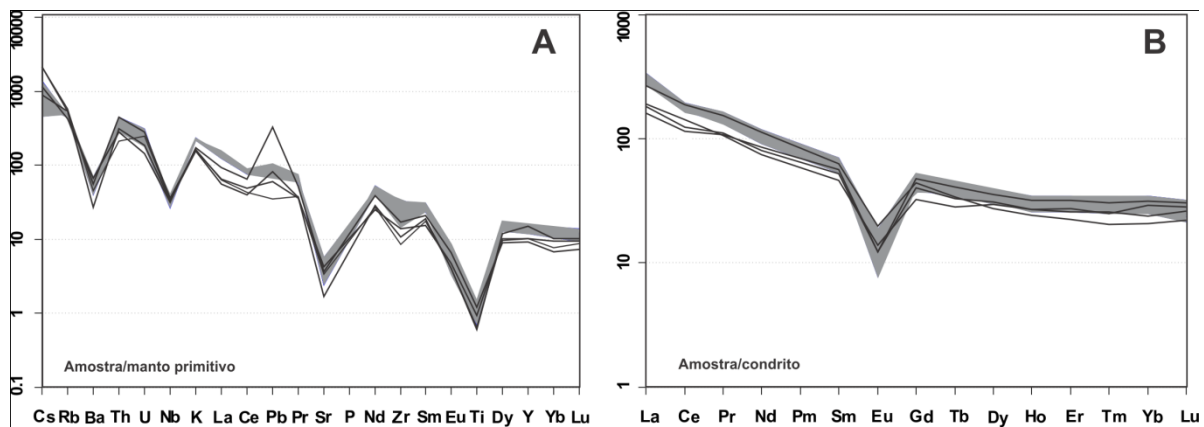


Figura 6: (A) Padrões de ETRs para as amostras estudadas normalizadas em relação ao condrito (Boynnton, 1984). Linha cheia cinza representa as amostras do corpo da Fazenda Rocinha, e em linhas separadas e negras representativas das amostras do corpo de Milagres. (B) Diagrama multielementar normalizado ao manto primitivo primordial (Wood *et al.*, 1979),

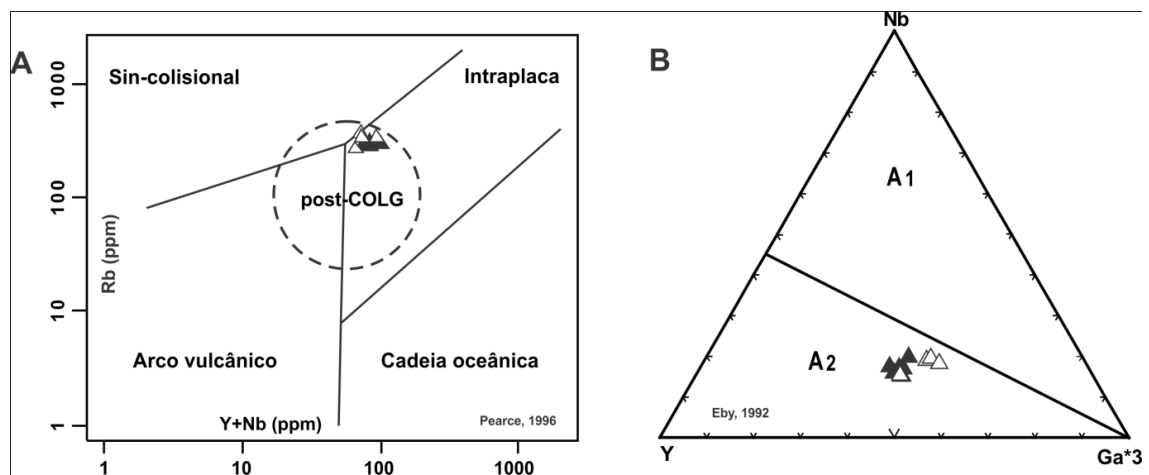


Figura 7: (A) Diagrama discriminante de ambiente tectônico (Pearce *et al.*, 1984), com as amostras plotando predominantemente no campo intraplaca. (B) Gráfico proposto por Eby (1992) para as amostras estudadas, as quais plotam como rochas provenientes de magmatismo intraplaca de fonte com assimilação de material crustal. Triângulos brancos representam as amostras do corpo de Milagres, triângulos pretos representam as amostras do corpo da Fazenda Rocinha.

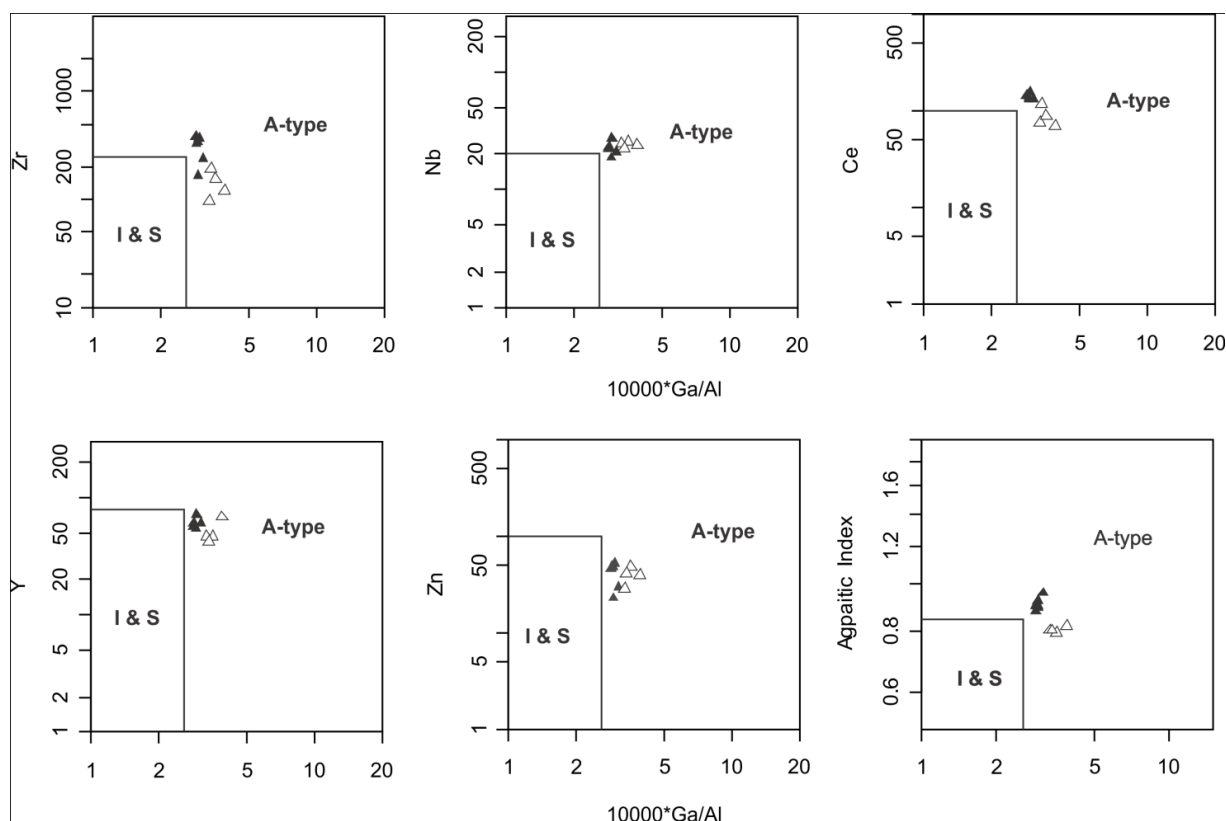


Figura 8: Diagramas de classificação geotectônica de Whalen *et al.* (1987), com as amostras de ambos os corpos analisados do Ortognaisse Rocinha plotando no campo de granitoides tipo A. Triângulos brancos se referem ao corpo de Milagres, triângulos escuros se referem ao corpo de Fazenda Rocinha.

CARACTERIZAÇÃO DE GRANITOIDES TIPO-A

A designação clássica de granitos tipo A está associado a granitos e sienitos alcalinos a peralcalinos, anorogênicos e anidros (Loiselle and Wones 1979, Pitcher 1983 e Brown *et al.* 1984). O enriquecimento dos granitos tipo A em $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ observado por Collins *et al.* (1982) e Whalen *et al.* (1987), é também considerado como parâmetro definidor deste tipo de granito, que também se associa a altos teores de Zr, Nb, W, Mo e ETRs com elevada razão $\text{Ga}(\text{ppm})/\text{Al}(\text{ppm})$.

O enriquecimento de HFSE (*High Field-Strength Elements*) foi enfatizado por Eby (1992), que identificou dois grupos de rochas de granitos tipo A, a saber: A1, relacionado a fontes do tipo OIB (*Ocean*

Island Basalts), e A2, relacionado a fontes afetadas por subducção ou fontes crustais. Por sua vez, King *et al.* (2001) reconheceu também granitos tipo A baseados nas altas concentrações de $\text{Fe}^t/(\text{Fe}^t + \text{Mg})$, de elementos terras raras e de alguns elementos traço, tais como Ga e Zn.

Granitos tipo A são classicamente reconhecidos como rochas anorogênicas. No entanto, os dados apresentados por diversos autores nas últimas décadas (Harris *et al.*, 1986; Sylvester 1989; Bonin, 1990; Bonin, 2007; Nardi & Bonin, 1991; Bitencourt & Nardi, 2000) indicam que a maioria dessas rochas são formadas também em cenários pós-colisionais. Granitos tipo A são em geral descritos como produtos de fusão da crosta (Haapala & Rämö 1992, Dall'Agnol *et al.*, 2006), ou fusão de crosta metassomatizada (Martin, 2006) Outro modelo petrogenético.

comumente aplicado a estas rochas é de cristalização fracionada de basaltos alcalinos e até magmas toleíticos (e.g Frost & Frost, 1997).

Frost *et al.*, (2001) e Frost & Frost (2008 e 2011) abordam as diferenças dos granitos tipo A dos demais pelo seu alto teor de ferro em relação ao magnésio, definindo-os como granitos *ferroan* (ferrosos), classificando os mesmos em diferentes categorias pelo seu conteúdo de álcalis versus sílica. Os autores inclusive sugerem o fim da terminologia granitos tipo A por suas implicações tectônicas e atual abrangência de diferentes tipologias de granitos. Os granitoides do tipo Rocinha de sua localidade tipo seriam classificados como granitos ferrosos dos tipos Alkali-cálcicos com as amostras mais diferenciadas da localidade de Milagres com tendência metaluminosa a fracamente peraluminosa (Fig 5). O Ortognaisse Rocinha de acordo com as características litogeoquímicas apresentadas pode ser considerado um granitoide tipo A de origem infracrustal.

DADOS ISOTÓPICOS E GEOCRONOLOGIA

A idade do Ortognaisse Rocinha foi obtida em amostras do ponto RF-323 (coordenadas UTM: 439093/9068005), no afloramento tipo da unidade, localizado nos arredores da fazenda Rocinha no interior do município de Cabrobó, durante etapa de campo de mapeamento da Folha Parnamirim. A amostra enviada ao laboratório de geologia isotópica seguiu na forma de concentrado mineral, preparado em laboratório da CPRM, na superintendência regional de Recife. O método utilizado na determinação geocronológica foi o de datação U-Pb em zircão por LA-ICP-MS (*Laser Ablation Inductively coupled plasma mass spectrometry*). A amostra foi analisada no instrumento *Neptune* da *Finnigan*, com sistema de ablação acoplado (Nd-YAG laser - $\lambda=213$ nm) da *New Wave Research*, nas dependências do Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As imagens de *backscattering*

foram obtidas no equipamento de microscopia eletrônica JEOL JSM 5800, na mesma universidade.

O procedimento analítico utilizado foi a da montagem/junção de um grupo de zircões com resina epóxi (a frio), desgastado e polido para exposição do interior dos grãos. Para a identificação dos grãos durante a análise, a superfície do concentrado foi fotografada seguida da aquisição de imagens por *backscattering* dos grãos de zircão, para o melhor posicionamento dos pontos a serem analisados. Após a aquisição dos dados brutos pelo equipamento, o tratamento e correção destes dados foram realizados em planilha EXCEL (Buhn *et al.*, 2009). As incertezas associadas às razões apresentadas nas tabelas são de 1σ , em porcentagem. As idades foram calculadas utilizando o ISOPLOT 3.0 (Ludwig, 2003) e os diagramas (confiabilidade de 95%) confeccionados no mesmo programa.

Os grãos de zircão analisados possuem tamanho médio, são prismáticos, com bordas arredondadas e proporções variáveis entre 2x1 e 4x1 (Fig. 9 A-D). Os grãos mais alongados possuem coloração mais avermelhada e algumas inclusões. Os grãos menores tendem a ser mais rosados. As imagens de *backscattering* evidenciaram o predomínio de grãos homogêneos podendo-se, em alguns casos, observar zoneamentos e bordas estreitas. Alguns grãos diferenciam-se por apresentarem núcleos e bordas mais largas e porosas, as quais podem sugerir um processo de formação durante uma alteração hidrotermal. Foram analisados diversos pontos, incluindo os grãos homogêneos, núcleos, bordas e bordas porosas. No entanto, várias análises tiveram que ser interrompidas devido ao alto teor de chumbo comum. Dezesete análises foram obtidas nos grãos homogêneos, em núcleos e em bordas menos fraturadas. Não foi possível obter análises nas bordas porosas. Das dezessete análises, três não foram consideradas no cálculo da idade devido ao erro elevado, o que foi relacionado com as características dos grãos. Os outros 14 pontos analisados (Tabela 3) permitiram obter uma idade concórdia de 956 ± 2 Ma, com MSWD de 1,6 (Figura 9E). Não foi observada

diferença significativa de idade entre os núcleos, bordas e grãos homogêneos. Determinação isotópica Sm/Nd (Tabela 4) também realizada no Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS em amostra do mesmo ponto forneceu idade modelo de 1.5 Ga., com $\epsilon\text{Nd}(956\text{Ma})$ de -0.8 indicativo de material de origem mantélica com ligeira contaminação crustal do magma gerador da rocha.

O EVENTO CARIRIS VELHOS NA PROVÍNCIA BORBOREMA

No âmbito da Província Borborema a maior parte das exposições de rochas de idade toniana conhecidas estão inseridas no Terreno Alto Pajeú (TAP) da Zona Transversal. Onde está presente um cinturão de rochas metassedimentares, metavulcânicas e metaplutônicas com idades entre 1000 e 920 Ma formadas durante o Evento Cariris Velhos (Santos *et al.*, 2010). As rochas supracrustais Cariris Velhos no TAP congregam três sequências metavulcanossedimentares, os complexos Salgueiro-Riacho Gravatá, São Caetano e Lagoa das Contendas (Santos, 1995; Bittar, 1998; Gomes & Santos, 2001).

Em estudos geoquímicos (Kozuch, 2003; Santos, 1995) as rochas vulcânicas desses complexos apresentam características de distintos ambientes tectônicos, no caso do Complexo Lagoa das Contendas as assinaturas de elementos traços apresentaram semelhanças aos padrões encontrados em

rochas formadas em arcos vulcânicos, enquanto que no Complexo Salgueiro-Riacho Gravatá as assinaturas se assemelham a de rochas formadas em ambiente extensional. O mesmo padrão é verificado em metagranitoides caririanos (Kozuch, 2003) com um grupo com assinaturas de protólitos gerados em ambiente de arco vulcânico e outro grupo com assinaturas condizentes com geração em contexto extensional.

Uma análise preliminar regional dos padrões geoquímicos dos metagranitoides Cariris Velhos no TAP mostra que aqueles com afinidades relacionadas a ambiente de arco (VAG) estão localizados entre Zona de Cisalhamento Afogados da Ingazeira e a Zona Tectônica Teixeira-Terra Nova de Brito Neves *et al.* (2005), enquanto que ortognaisses de afinidade com rochas de ambiente intraplaca (WPG) se encontram a oeste da Zona de Cisalhamento Afogados da Ingazeira (Santos *et al.*, 2010).

Cada vez mais se encontram rochas de idade Cariris Velhos dentro do DPEAL W, tido como um maciço que agrega rochas Paleoproterozoicas, Mesoproterozoicas e Criogenianas-Ediacaranas. Em trabalhos de mapeamento realizado pela CPRM, análises isotópicas tem apontado importante presença de rochas de idade toniana no interior do domínio, que podem estar correlacionada ao grupo de rochas caririanas encontradas no interior do TAP.

Tabela 3: Dados de amostras do Ortognaisse Rocinha utilizados para o cálculo das idades.

Sample	f(206)%	Th/U	6/4 ratio	7/6 ratio	1s(%)	7/5 ratio	1s(%)	6/8 ratio	1s(%)	Rho	7/6 age	1s	7/5 age	1s	6/8 age	1s	Conc (%)
MT32_01	0,06	0,21	27376	0,07109	0,7	1,54777	1,2	0,15791	0,9	0,75	960,0	15,1	949,6	7,1	945,1	7,8	98,46
MT32_08	0,04	0,16	45528	0,07113	0,7	1,60268	1,4	0,16343	1,2	0,87	961,0	13,7	971,3	8,7	975,8	11,1	101,54
MT32_10	0,06	0,21	27490	0,07004	0,7	1,55387	1,3	0,16089	1,0	0,80	929,7	15,1	952,0	7,8	961,7	9,1	103,45
MT32_20	0,04	0,23	49129	0,07059	0,6	1,56495	1,2	0,16078	1,1	0,88	945,6	11,4	956,4	7,6	961,1	9,7	101,64
MT32_21	0,03	0,27	53653	0,07073	0,5	1,53479	1,0	0,15738	0,8	0,81	949,6	10,8	944,4	5,9	942,2	7,0	99,21
MT32_23	0,06	0,21	30858	0,07124	0,7	1,58430	1,4	0,16130	1,3	0,87	964,2	14,1	964,1	8,9	964,0	11,2	99,98
MT32_27	0,02	0,24	91483	0,07061	0,6	1,53077	1,0	0,15724	0,8	0,78	946,1	11,9	942,8	6,0	941,4	7,0	99,50
MT32_29	0,08	0,21	19302	0,07029	0,8	1,57387	1,4	0,16239	1,1	0,81	936,9	15,7	960,0	8,4	970,1	10,0	103,54
MT32_31	0,09	0,26	19083	0,07011	0,8	1,56719	1,1	0,16213	0,8	0,71	931,5	15,7	957,3	7,0	968,6	7,5	103,98
MT32_38	0,06	0,17	30154	0,07107	0,9	1,57600	1,3	0,16084	0,9	0,81	959,4	19,0	960,8	7,9	961,4	7,8	100,21
MT32_39	0,05	0,27	31917	0,07137	0,6	1,58020	1,4	0,16058	1,3	0,90	968,0	12,3	962,4	8,7	960,0	11,3	99,17
MT32_38	0,00	0,16	607511	0,07172	1,1	1,58902	1,4	0,16070	0,9	0,77	977,9	22,3	965,9	8,7	960,7	7,7	98,24
MT32_43	0,09	0,19	18806	0,07026	0,8	1,57160	1,2	0,16223	0,9	0,75	936,0	16,1	959,1	7,6	969,2	8,5	103,55
MT32_46	0,21	0,22	8237	0,07053	1,0	1,55485	1,7	0,15988	1,4	0,81	943,9	19,9	952,4	10,4	956,1	12,1	101,30

Tabela 4: Dados Sm/Nd da amostra RF-323 do Ortognaisse Rocinha.

Amostra		Sm (ppm)	Nd (ppm)	Sm/Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\text{SE}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	Idade	$\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$	$\text{T}_{\text{DM}}(\text{Ma})$
1	RF-323	12.093785	64.891396	0.186	0.1127	0.5120705	0.00001536	-11.07	956 Ma	-0.80	1455

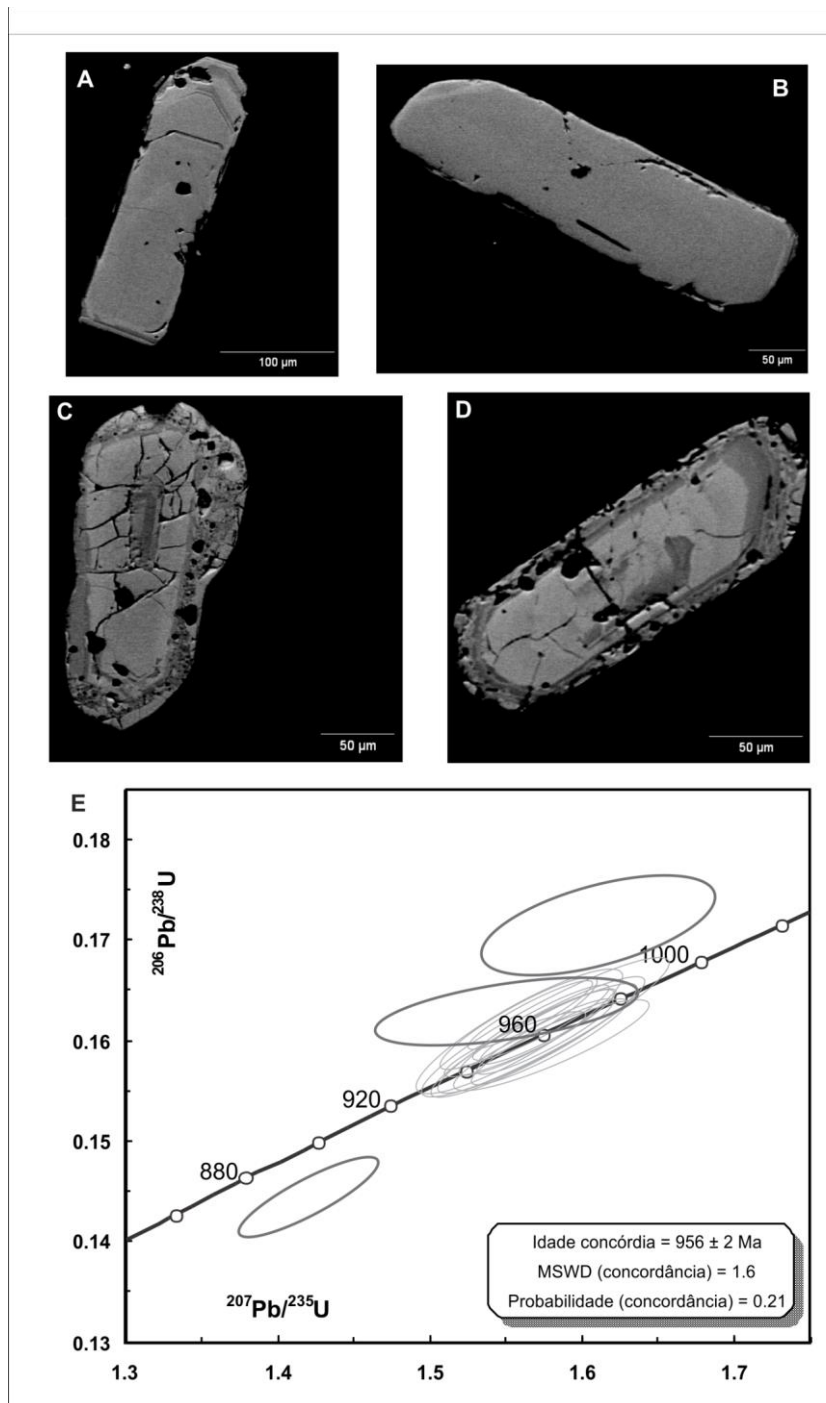


Figura 9: Imagens de *backscattering* ilustrando as características predominantes nos grãos presentes na amostra RF-323, coletadas na Fazenda Rocinha em Cabrobó. No sentido horário: Acima, cristais prismáticos, homogêneos e, eventualmente, com a presença de bordas zonadas, abaixo, grãos com a presença de núcleos bastante diferenciados, bordas mais largas e porosas. Diagrama concórdia com a idade obtida de amostras do ponto RF-323. Número de zircões analisados: 14.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O Ortognaisse Rocinha constitui um conjunto de corpos metaplutônicos, porfiroblásticos a porfiroclásticos, cujo protólito equivale a granitos com assinaturas metaluminosas/ peraluminosas gerados por um magmatismo do tipo A de idade toniana (956 ± 2 Ma). O corpo da Fazenda Rocinha apresenta-se alongado e com feições miloníticas devido à proximidade de zona de cisalhamento, o corpo de Milagres de formato circular e sem milonitização evidente, se encontra menos afetado pela ação das zonas de cisalhamentos mais próximas. Ambos apresentam metamorfismo de grau médio, porém com um retrorretromorfismo menos evidente no corpo de Milagres.

Como apontado pelos diagramas litogeoquímicos utilizados neste trabalho, a classificação dos granitoides está de acordo com uma concepção do termo granitoide do tipo A (Harris *et al.* 1986; Sylvester 1989; Eby 1992; Nardi & Bitencourt 2009, entre outros), onde os ortognaisses do tipo Rocinha se apresentam como granitoides do tipo A em cenário pós colisional, se instalando numa fase de relaxamento crustal ou em zonas de transcorrência, após um evento orogênico. Tendo como fonte geradora magmas oriundos de fusão de material do manto com retrabalhamento e assimilação de material crustal.

O corpo da Fazenda Rocinha com assinaturas químicas metaluminosas, álcali-calcica, apresentam uma menor assimilação de material crustal, contrapondo o corpo de Milagres onde se tem assinaturas levemente peraluminosas, evidência de uma maior contaminação, também apresentando este último um maior nível de diferenciação em relação ao corpo da Fazenda Rocinha, porém ambos provindos de uma fonte magmática comum ou pelo menos, semelhante. Outra possibilidade para essas

diferenças geoquímicas (e também estruturais) refletiriam a entrada de fluídos, corroborada pelas feições observadas nos núcleos e bordas mais largas e porosas de zircões do Ortognaisse Rocinha, assim como a deformação dinâmica sofrida por esse corpo devido à ação de zona de cisalhamento (provavelmente tardia dentro do Ciclo brasileiro), enquanto que o corpo de Milagres teria sido bem menos afetado pela tectônica transcorrente.

A idade obtida no Ortognaisse Rocinha confere com outras idades de granitoides encontradas ao longo da Província Borborema, principalmente no Domínio Alto Pajeú, coincidente com a granitogênese relacionada ao Evento Cariris Velhos, ciclo orogênico que compreende o período do final do Mesoproterozo (Esteniano) ao início do Neoproterozóico (Toniano). Outra opção seria a de que estes granitoides estariam relacionados a uma orogênese mais antiga, em uma fase de relaxamento crustal muito tardia, tendo em vista que as orogêneses conhecidas na região, mais antigas e próximas à idade de cristalização dos granitoides estudados datariam do Paleoproterozoico (riaciano-orosiriano).

Assim se pode entender que a colocação dos ortognaisses tipo Rocinha se deu nos estágios finais (pós colisional) do evento Cariris Velhos, ligeiramente mais tardios em relação a outros granitoides caririanos encontrados em diversas áreas da Província Borborema.

Agradecimentos: Nossos agradecimentos aos técnicos do Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e aos revisores deste trabalho pelas valiosas orientações.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B. de, Fuck, R. A., 1977. Províncias estruturais brasileiras. 8º Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande. *Resumo das comunicações. Campina Grande: SBG*, 79p. (*Boletim Especial SBG, Núcleo Nordeste*, 6) p.12–13.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews* n° 17, 1-29.
- Barbarin, B., 1998. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Elsevier Lithos* 46. 605–626.
- BITENCOURT, M.F. & NARDI L.V.S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Rev Bras Geoc* 30: 184–187.
- BITTAR, S.M.B., 1998. Faixa Piancó-Alto Brígida: Terrenos tectonoestratigráficos sob regimes metamórficos e deformacionais contrastantes. Unpub. Dissertação de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, p. 126.
- BONIN, B., 1990. From orogenic to anorogenic settings: evolution of granitoid suites after a major orogenesis. *Geological Journal* 25, 261–270 (W.S. Pitcher Special Issue).
- BONIN, 2007. A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects. *Lithos*, 97 (2007), pp. 1–29
- BOYNTON, W. V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. *Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, Amsterdam*, p. 63-114.
- BRITO NEVES, B. B., 1975. Regionalização geotectônica do pré cambriano nordestino. São Paulo, 1975. 198p. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências da Universidade Federal de São Paulo.
- BRITO NEVES, B.B.; SANTOS, E.J.; Van Schmus, W.R., 2000. Tectonic History of the Borborema Province, Northeast Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A. Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, p. 151–182.
- BRITO NEVES, B.B., SIAL, A.N., RAND, H.M., MANSO, V.V., 1982. The Pernambuco- Alagoas Massif, northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 12, p. 240-250.
- Brito Neves, B. B.; Van Schmus, W. R.; Santos, E. J.; Campos Neto, M. C., 1995. O evento Cariris Velhos na Província Borborema; integração de dados, implicações e perspectivas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, n. 4, p. 279-296.
- BRITO NEVES, B.B., VAN SCHMUS, W.R., KOZUCH, M., SANTOS, E.J., PETRONILHO, L., 2005. A Zona Tectônica Teixeira-Terra Nova e ZTTTN e Fundamentos da Geologia Regional e Isotópica, vol. 5. *Geologia USP, Série Científica*, pp. 57 e 80.
- BROWN, G G .C., T, THORPE, R R .S. & W W ebb , P P .C., 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Journal of Geological Society*. 141, 413- 426.
- BÜHN, B., PIMENTEL, M. M., MATTEINI, M., DANTAS, E. L., 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-

- MC-IC-MS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(1) p. 1-16.
- CABY, R., 1989. Precambrian terranes of Benin-Nigéria and Northeast Brazil and the late Proterozoic south Atlantic. In: Dallmayer, R., D. ed. *Terranes in the Circum-Atlantic Paleozoic Orogens*. USA, Geol. Amer. Spec. Paper, 230, p.145-158.
- COLLINS, W. W. J., BEAMS, S. D., WHITE, A. J. R. & CHAPPELL, B. W., 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contributions of Mineralogical Petrology*, 80, 189-200.
- CAMPOS NETO, M. C.; Bittar, S. M. B.; Brito Neves, B. B., 1994. Domínio tectônico Rio Pajeú - Província Borborema: orogêneses superpostas no ciclo Brasileiro/Panafricano. In: Congresso Brasileiro de Geologia 38, Balneário Camboriú, Anais, 1. Sociedade Brasileira de Geologia, 221-222.
- DALL'AGNOL, R. L. T. ROSA-COSTA, E. L. KLEIN (Eds.), Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. *Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO (2006) 150 pp.
- EBY, G. N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology* 20, 641-644.
- FROST, C. D., FROST, B. R., 1997. Reduced rapakivi-type granites: the tholeiite connection. *Geology* 25, 647-650.
- FROST, B. R., BARNES, C. G., COLLINS, W. J., ARCULUS, R. J., ELLIS, D. J. & FROST, C. D., 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* 42, p. 2033-2048.
- Frost, B. R. & Frost, C. D., 2008. A geochemical classification for feldspathic igneous rocks. *J. Petrol.* 49, 1955-1969.
- FROST, C. D., & FROST, B. R., 2011. On Ferroan (A-type) Granitoids: their Compositional Variability and Modes of Origin. *Journal of Petrology*, Volume 52 Number 1, Pages 39-53
- GOMES, H. A., SANTOS, E. J., 2001. Geologia e Recursos Minerais do estado de Pernambuco, Mapa Geológico/Mapa de Recursos Minerais, Recife, CPRM/PLGB, 198p. II mapas, escala 1:500.000.
- HAAPALA, I., RÄMÖ, O. T., 1992. Tectonic setting and origin of the Proterozoic rapakivi granites of southeastern Fennoscandia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences* 83, 165-171.
- HARRIS, N. W. B., PEARCE, J. A., Tindle, A. G., 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *Collision Tectonics* (M. P. Coward & A. C. Ries, eds.). *Geological Society, Special Paper* 19, p. 115-158.
- IRVINE, T. N., BARAGAR, W. R. A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v.8, p. 523-48.
- JARDIM DE SÁ, E. F.; MACEDO, M. H. F.; LEGRAND, J. M.; MCREATH, I. & GALINDO, A. C., 1987. Proterozoic granitoids in a polycyclic setting: the Seridó region, NE Brazil, International Symposia of Granites Associated Mineralizations. Extended Abstracts, p.103-110.
- KOZUCH M., 2003, Isotope and trace element geochemistry of early Neoproterozoic gneissic and metavolcanic rocks in the Cariris

- Velhos orogen of the Borborema Province, Brazil, and their bearing on tectonic setting. Lawrence. Tese de Doutorado, DG/University of Kansas, 199p.
- KING, P. L., Chappell, B., Whallen, C. M., White, A. J. R., 2001. Are A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite. *Australian Journal of Earth Sciences* 38, 501-514.
- LOISELLE, M.C. & WONES, D.R., 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geolical Society Amsterdan, Abstract Programs* 11, 468.
- LUDWIG, K. R., 2003. Isoplot 3.00 – A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center. *Special Publication* N^o 4.
- MANIAR, P. D. & PICCOLI, P. M. Tectonic discriminations of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* 101, 635–643. 1989.
- MARTIN, R.F., 2006. A-type granites of crustal origin ultimately result from open-system fenitization-type reactions in an extensional environment. *Lithos*, 91, 1–4, p. 125-136
- MEDEIROS, V. C. & Santos, E. J., 1998. Folha Garanhuns (SC.24-X-B, escala 1:250.000). Integração Geológica (Relatório Interno), CPRM. Recife-PE, Brazil.
- MEDEIROS, V. C., 1992., Geologia de uma área a NW de Parnamirim – PE. *Relatório de Graduação, Natal: Departamento de Geologia/UFRN*, 90p.
- MEDEIROS, V. C., 2000. Aracaju NE: folha SC.24-X estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 1 CD-ROM; mapas. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.
- MEDEIROS, V.C.; Evolução geodinâmica e condicionamento estrutural dos terrenos Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeú, Domínio da Zona Transversal, NE do Brasil. Natal. Tese de Doutorado, PPGG/UFRN, p. 200. 2004.
- MOGHAZI, A.M., HARBI, H.M., Ali, K.A. 2011. Geochemistry of the Late Neoproterozoic Habbash Dayheen ring complex, Central Arabian Shield: Implications for the origin of rare-metal-bearing post-orogenic A-type granites. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 42, Issue 6, p. 1324-1340.
- NARDI L.V.S. & BONIN, B. 1991. Post orogenic and non orogenic alkaline granite associations: the Saibro Intrusive Suite, Southern Brazil: a case study. *Chem Geol* 92:197–212.
- NARDI, L. V. S., BITTENCOURT, M. F., 2009. A-type granitic rocks in post-collisional settings In southernmost Brazil: their classification and relationship With tectonics and magmatic series. *The Canadian Mineralogist* vol. 47, p. 1493-1503.
- NEVES, S.P., VAUCHEZ, A., FERAUD, G., 2000. Tectono-thermal evolution, magma emplacement, and shear zone development in the Caruaru area (Borborema Province, NE Brazil). *Precambrian Research* 99, 1–32.
- NEVES, S.P., 2003. Proterozoic history of the Borborema Province (NE Brazil): correlations with neighboring cratons and Pan-African belts, and implications for the evolution of western Gondwana. *Tectonics* 22, 10-31.
- OLIVEIRA, R. G., 2006. *Investigação Gravimétrica e Aeromagnética Integrada da Província Borborema e da sua Margem Continental (NE*

- do Brasil): *Geologia Profunda e História Tectônica*. Exame de Qualificação (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 79p
- PEARCE, J. A., 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, p.120-125.
- PEARCE, J. A., HARRIS, N. W., TINDLE, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, p. 956–983.
- PITCHER, W. W. S., 1983. Granite: typology, geological environment and melting relationships. *Migmatites, Melting and Metamorphism* (M.P. Atherton & C.D. Gribble, ed.). Shiva Publishing Limited, Cheshire, U.K. p. 277-287.
- RAO, C.V. Dharma & REDDY, U.V.B. 2007. Petrology and geochemistry of paleoproterozoic A-type granite at Kanigiri in the Nellore–Khammam schist belt, Andhra Pradesh, India.
- SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B., 1994. Investigação geocronológica U/Pb e Sm/Nd em zona de colisão múltipla de arcos na região de Floresta (PE), Faixa Pajeú-Paraíba, Província Borborema. in: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Balneário de Camboriú. Boletim de resumos expandidos. Balneário de Camboriú: SBG, 3v., v.1, p.247-249.
- SANTOS, E. J., 1995. *O complexo granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de doutorado, 219p.
- SANTOS, E.J., 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. in: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, 1996, Salvador. *anais...* Salvador: SBG, 7v., il., v.6, p.47-50.
- SANTOS, E. J., 1998. Integração geológica e metalogenética, escala 1:250.000, Folha SC.24-X-A Belém do São Francisco, Província Borborema, NE do Brasil. Recife: CPRM.
- SANTOS, E.J.; BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; OLIVEIRA, R.G.; MEDEIROS, V.C., 2000. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE-Brazil. In: 31st International Geological Congress, 2000, Rio de Janeiro. Proceedings, in CD-ROM.
- SANTOS, E.J., VAN SCHMUS, W.R., KOZUCH, M., BRITO NEVES, B.B., 2010. The Cariris Velhos tectonic event in northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 29, p. 61-76.
- SILVA FILHO, A. F., GUIMARÃES, I. P., VAN SCHMUS, W. R., 2002. Crustal evolution of the Pernambuco-Alagoas complex, Borborema province, NE Brazil: Nd isotopic data from Neoproterozoic granitoids. *Gondwana Research* 5, p. 409-422.
- SYLVESTER, P. J., 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Geology* 97, p. 261-280.
- VAN SCHMUS, W. R., BRITO NEVES, B. B., HACKSPACHER, P., BABINSKI, M., 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences* 8, p. 267-288.

- VAN SCHMUS, W.R., OLIVEIRA, E.P., SILVA FILHO, A.F., TOTEU, F., PENAYE, J., GUIMARÃES, I.P., 2008. Proterozoic Links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt, vol. 294. Geological Society, London, Special Publication, pp. 69-99.
- VAN SCHMUS, W.R.; M. KOZUCH, B.B. BRITO NEVES., 2011. Precambrian history of the Zona transversal of the Borborema Province, NE Brazil: insights from Sm-Nd and U-Pb geochronology. *J. South Am. Earth Sci.*, 31, pp. 227-252.
- WHALEN J, B., CURRIE K. L. & CHAPPELL B. W., 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95, p. 407-419.
- WOOD, D. A., JORON, J. L. & TREUIL, M. A., 1979. Reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth and Planetary Science Letters* 45, p. 326-36.