

Idades U-Pb em Zircão de Alguns Granitos Clássicos da Província Borborema

Benjamim Bley de Brito Neves¹ (bbleyn@usp.br), Cláudia Regina Passarelli², Miguel Angelo Stipp Basei¹, Edilton José dos Santos³

¹Departamento de Mineralogia e Geotectônica - Instituto de Geociências - USP
R. do Lago 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, BRA

²Centro de Pesquisas Geocronológicas - Instituto de Geociências - USP, São Paulo, SP, BRA

³Departamento de Geologia - Centro de Tecnologia e Geociências - UFPE, Recife, PE, BRA

Palavras-chave: plutonismo granítico, granitos tipo Conceição, granitos tipo Itaporanga, Província Borborema, Ciclo Brasileiro-Pan Africano.

RESUMO

A evolução neoproterozóica da Província Borborema, no Nordeste Oriental da plataforma Sul Americana, exibe como característica marcante o plutonismo granítico, objeto de diversas teses e outras publicações em revistas especializadas. Já em 1967, F. F. de Almeida e colaboradores identificaram uma série de tipologias graníticas, Conceição, Itaporanga etc, com base em feições de geologia regional e estudos petrográficos. Estas identificações persistiram praticamente em todas as publicações posteriores, mesmo quando um número significativamente maior de granitos foi observado, com o respaldo de estudos geoquímicos, tectônicos e isotópicos. Neste trabalho, estes tipos clássicos foram analisados pelo método U-Pb em zircão, para sanar uma carência de há muito reclamada pela comunidade, posto que para todos eles preexistiam apenas determinações isotópicas de menor poder de resolução. Estes dados novos foram compatibilizados com outros dados existentes na bibliografia da última década e permitiram definir três etapas principais de magmatismo granítico na Borborema: 650 - 625 Ma; 580 - 570 Ma e 545 - 520 Ma, estes últimos com íntima relação com os eventos de extrusão tectônica da colagem orogênica Brasileiro-Pan Africana, que antecedeu a consolidação de uma massa supercontinental (Gondwana Ocidental).

Keywords: granitic plutonism, Conceição-type granite, Itaporanga-type granite, Borborema Province, Brasileiro-Pan African Cycle.

ABSTRACT

The Neoproterozoic evolution of the Borborema Province in the east-northeast part of the South American platform exhibits remarkable, much studied granitic plutonism. In 1967 F. F. M. Almeida and co-workers discriminated a series of granitic typologies as "Conceição type", "Itaporanga type" etc, mostly based upon general geological features and petrographic grounds. This preliminary classification has somehow been maintained in all subsequent papers up to now, despite all the newly observed plutons and the newly generated tectonic, geochemical and isotopic data since then. Samples of these classical types of granites from their type-localities were analyzed geochronologically using the U-Pb method in zircons in response to the felt needs of the geological community, because previous age-determinations involved less accurate methods. The new data have been added to all other preexisting U-Pb data (from other granitic bodies) obtained over the last decade, making it possible to recognize three main stages of granitic magmatism for the Borborema Province: 650 - 625 Ma, 580 - 570 Ma and 545 - 520 Ma. The last group of dates is closely association with the escape tectonics of the Brasileiro-Pan African collage, which preceded the assembly of the supercontinental landmass of Western Gondwana.

Os tipos graníticos discriminados naquela oportunidade para a área Caririana (designação então adotada para a Borborema) foram: os granitos sinorogênicos tipo Conceição (granodioritos e tonalitos) e Itaporanga (granitos ricos em fenocristais de microclina); granitos tardiorogênicos tipo Itapetim (granitos de granulação fina tardiorogênicos, de dimensões modestas e diques) e Catingueira (granitos peralcalinos, quartzo sienitos e sienitos); granitos pós-orogênicos (granito a biotita da Serra da Meruoca); granito anorogênico (cretácico) do Cabo de Santo Agostinho.

Muito avanço nos conhecimentos pode ser registrado desde esse precioso início, que foi também deflagrador de várias frentes de pesquisas. O número de corpos conhecidos e estudados aumentou consideravelmente, nos três domínios principais da província, assim como as formas e técnicas de abordagem variaram bastante, em quantidade e em qualidade, com a adição das ferramentas da geoquímica (de rocha e de minerais), da geologia isotópica e até mesmo (em alguns casos), da geofísica, tudo isto sob o respaldo de um conhecimento bem mais evoluído (avanço substancial ocorreu no setor de mapeamento geológico regional) da geologia e da tectônica do conjunto.

Ainda assim, nas sínteses mais recentes que cobrem o progresso sobre o tema em epígrafe, de Ferreira *et al.* (1998, este precedido por sínteses de Sial *et al.*, 1986, 1987) e de Santos & Medeiros (1999, este reiterado quase integralmente em Brito Neves *et al.*, 2000), as discriminações originais de Almeida *et al.* (1967) estão preservadas. Isto é importante acrescentar, ainda que estas tipologias tenham sido ampliadas e tenham tido seu conhecimento sobejamente enriquecido, tanto por subdivisão dos grupos inicialmente propostos, como pelo reconhecimento de novos grupos. E, também porque estas sínteses mencionadas são diferentes entre si em concepção, formas de abordagem e parâmetros gerais.

GRANITOS DA BORBOREMA - SÍNTESES RECENTES

Como preliminarmente exposto acima, a província em análise apresenta grande diversidade de granitos, nos seus três maiores domínios (setentrional, central/zona transversal e meridional/zona perifranciscana, vide Brito Neves *et al.*, 2000), e nestes domínios em diferentes circunstâncias geológicas (natureza e idade de encaixantes) e estruturais (associadas ou não com zonas de falhas). Embora o progresso do conhecimento tenha sido expressivo nas últimas três décadas, as perspectivas de investigação científica sempre são crescentes (em termos do número e tipos de ocor-

rências, e do método a adotar), de forma que qualquer tentativa de classificação sempre apresentará problemas, neste estágio de pleno fluxo do conhecimento. Já foi assinalado devidamente que em todas as classificações e sistematizações propostas, os tipos reconhecidos pelo trabalho de Almeida *et al.* (1967) permanecem, ainda que com desdobramentos.

A classificação proposta por Ferreira *et al.* (1998) é produto da evolução de várias propostas anteriores do mesmo grupo de pesquisas (Núcleo de Estudos de Granitos/NEG da Universidade Federal de Pernambuco), já sintetizadas por Sial (1986) e Sial *et al.* (1987). Consideram a província como um todo, em seus diferentes domínios, e nestes – dentro do possível –, levando em conta (além de afinidades petrogenéticas, geoquímicas, estudos isotópicos, parâmetros de susceptibilidade magnética) a trama dos terrenos pré-Cambrianos. Estes autores ampliaram desta forma para nove os tipos de granitos reconhecíveis, entre os quais quatro tipos pelo menos de natureza cálcio-alcalina, a saber:

1. cálcio-alcalino normal (Conceição), com típico epidoto magmático;
2. cálcio alcalino de alto potássio sem epidoto magmático (tipo Itaporanga);
3. cálcio-alcalino de alto potássio com epidoto (Tipo São Rafael);
4. cálcio-alcalinos peraluminosos (tipo Ouro Branco);
5. trondhjemitos (tipo Serrita);
6. peralcalinos (Catingueira) e shoshoníticos (limites geoquímicos não bem definidos entre estes dois);
7. sienitóides metaluminosos de alto potássio (tipo Terra Nova);
8. sienitóides peralcalinos ultrapotássicos (tipo Triunfo/Baixa Verde).

Este trabalho acima referido é notável pelo acervo de dados petrográficos, geoquímicos e isotópicos (isótopos estáveis principalmente), discussão de protólitos e tentativa de identificação com os terrenos tectono-estratigráficos, porém não aborda frontalmente os modelos tectônicos, nem os propõe, embora se deva compreender o suporte multidisciplinar adicional que seria necessário.

As primeiras determinações U-Pb em zircão e dados isotópicos Sm-Nd de parte desses granitos foram realizados por Guimarães *et al.* (1998), os quais apresentaram, na forma de resumo, uma classificação considerando composição mineralógica, afinidade geoquímica, natureza das

encaixantes e dos possíveis protólitos, principalmente no contexto do domínio central da província, a Zona Transversal. Estes autores distinguiram 5 grupos, incluindo alguns tipos já identificados por Sial (1987) e por Ferreira *et al.* (1998), desde os mais antigos (644 -620 Ma) até os mais jovens (540 – 520 Ma), a saber:

1. cálcio-alcálinos normais;
2. cálcio-alcálinos de alto potássio (com afinidades shoshoníticas);
3. sienogranitos, quartzo sienitos e sienitos com afinidades shoshoníticas;
4. biotita granitos (transicionais entre alcálinos e shoshoníticos);
5. biotita sienogranitos leucocráticos; biotita sienogranitos comagmáticos com basalto e dacitos (idades mais jovens).

A destacar, adicionalmente nesta classificação, as observações/sugestões de modelos tectônicos: para as primeiras quatro tipologias, os autores enfatizam as características de rochas relacionadas com evolução de arcos magmáticos, e para o último grupo apontaram localização do interior de placas litosféricas (altos valores de idade modelo, T_{DM}).

A proposição de Santos & Medeiros (1999) aqui evocada (como já o fora em Brito Neves *et al.*, 2000), procurou posicionar as diversas associações petrogenéticas e tipos de plútons (descritos previamente na literatura) utilizando os conceitos de suíte e supersuíte da escola australiana (*ibidem* Pitcher, 1993). De acordo com estes autores, a grande variedade de associações graníticas (pulsos, *surges* e suítes) pode ser englobada em três grandes supersuítes, considerando-se modelos petrogenéticos propostos e a colocação dessas suítes ao longo da colagem do Brasileiro. Apesar de persistirem dúvidas com respeito ao enquadramento de algumas associações petrogenéticas, esta classificação procurou ser a mais coerente possível com o quadro geotectônico regional, razão pela qual esta classificação está sendo reiterada neste trabalho. Foram identificadas três supersuítes:

a. suítes derivadas de fontes híbridas e crustais – abrangem os principais eventos de plutonismo afetando a província, das fases contracionais iniciais até os movimentos finais de extrusão. Inclui os cálcio-alcálinos normais (Conceição), os cálcio alcálinos de alto potássio (Itaporanga), os cálcio alcálinos peraluminosos (Ouro Branco, Xingó e Rajada, crustais colisionais), os trondhjemiticos (composição granodiorítica e tonalítica) e os peralcalinos com aegirina-

augita e anfibólios azuis (Catingueira), incluindo muitos outros corpos menores associados com as extensões laterais/ “*feather faults*” das grandes zonas de cisalhamento de Patos e de Pernambuco, a maioria dos quais já identificados desde Almeida *et al.* (1967), e que foram objeto da análises geocronológicas aqui apresentadas. Entre os dois primeiros tipos cálcio-alcálinos há tipos intermediários, onde a discriminação é problemática, ao nível de corpos e mesmo no interior polidiapírico de um mesmo corpo, além disso, é bastante provável que tenha havido mais de uma geração no tempo destas tipologias, o que é praticamente comprovado para os de alto potássio (há evidências de relações diretas no campo).

b. suítes derivadas de manto-enriquecido – abrangendo rochas sin-cinemáticas e tardi-cinemáticas às grandes zonas transcorrentes, aparentemente marcando descontinuidades crustais profundas (lineamentos de Patos e Pernambuco). A suíte cálcio-alcálica de alto potássio exibe rochas monzoníticas e monzograníticas, sendo seus principais representantes os batólitos de Esperança e Campina Grande (limite norte do terreno Alto Pajeú, da Zona Transversal) e o batólito de Fazenda Nova (norte do Lineamento Pernambuco, na Zona Transversal). Uma expressiva suíte shoshonítica-ultrapotássica foi colocada na Zona de Cisalhamento Fernandes Vieira, ao longo do limite dos terrenos Alto Pajeú e Piancó-Alto Brígida (interior da Zona Transversal/Domínio Central), o batólito sienítico de Triunfo, a aegirina-augita e richterita, com inclusões flogopitapiroxenitos, tendo fragmentos do manto litosférico (Ferreira, 1991) considerados como fonte do magma. Outros batólitos de natureza semelhantes são encontrados ao longo do alto tectônico Teixeira-Terra Nova e de outras zonas de cisalhamento expressivas. Os batólitos de Teixeira, Solidão e Serra Branca, incluídos nesta supersuíte, e em condições tectônicas semelhantes, foram considerados (em acordo com Guimarães *et al.*, 1998); estas rochas sienograníticas, quartzo-monzoníticas e quartzo monzodioríticas são consideradas parte de uma suíte transicional shoshonítica-alcálica.

c. suítes híbridas, intrusivas graníticas menores e enxames de diques relacionados com as fases pós-colisionais. As principais áreas de ocorrência estão no noroeste do Ceará (Terrenos Médio Coreaú e Ceará Central), nas imediações dos lineamentos Sobral e Groaíras-Tauá. Estão incluídos os *stocks* de Meruoca (discriminado já no trabalho de Almeida *et al.*, 1967), Mucambo e Serra da Barriga e um conjunto de diques de mesma idade. O corpo de Meruoca apresenta facies granítica e quartzo sienítica (com aegirina e riebeckita) e facies locais com faialita (Sial *et al.*, 1981; Sial, 1989). O corpo de Mocambo consiste de granodiorito, granito e quartzo-sienito com hornblenda e biotita. No maciço do Rio Piranhas (granito de Umarizal) próximo de zona de cisalhamento

(Portalegre, Frutuoso Gomes) e no maciço do S. José do Campestre (corpos de Dona Ignês e Monte das Gameleiras), assim como o Complexo de Prata (Guimarães *et al.*, acima citados) há várias ocorrências que devem ser incluídas nesta supersuíte.

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS USUAIS

(utilizados no CPGeo - USP)

A concentração de minerais pesados foi feita através de mesa vibratória, seguindo-se separação magnética usando o aparelho *Frantz* e o tratamento em líquidos densos. O material não magnético é passado novamente no separador *Frantz* a 1,5 A com diferentes inclinações para obtenção de frações com susceptibilidades magnéticas distintas (*split*). Nesta etapa o material pode ser submetido à abrasão mecânica para eliminação das porções mais externas dos cristais, que contém alto teor em Pb comum. A purificação final das frações, preferencialmente as menos magnéticas, é realizada por catação manual sob lupa binocular. Após a pesagem (relação volume/ densidade), é realizada a lavagem com HCl e HNO₃.

O ataque químico foi realizado com ácido fluorídrico (HF) e HNO₃ em micro-bombas de Teflon, onde o conjunto, já com *spike* Pb²⁰⁵ (10µl) é colocado em estufa a 200°C, por três dias. A solução resultante, condicionada em HCl, é então passada em colunas de troca iônica para separação e purificação do U e Pb, através da lixiviação de outros elementos químicos por diferentes concentrações de HCl. O U e Pb são coletados com água MiliQ. A partir da solução final desta etapa adquire-se uma microgota que é depositada em filamentos de Re, para posterior leitura no espectrômetro de massa, que fornece as razões isotópicas. Utiliza-se o espectrômetro Finnigan MAT 262 com multicoletores, e os resultados obtidos são tratados em programas de *software* PbDAT (1993) e ISOPLOT de Ludwig (2001), para confecção dos diagramas.

DETERMINAÇÕES GEOCRONOLÓGICAS EFETUADAS

Granodiorito Conceição

As rochas associadas a esta tipologia são típicas (mas não exclusivas) aflorando ao longo do Sistema Piancó-Alto Brígida, na porção centro-ocidental da Zona Transversal (também não exclusivamente) intrudindo rochas supracrustais metamórficas de baixo grau (Grupo Santana dos

Garrotes/Cachoeirinha e Complexo Riacho Gravatá).

Em geral, tratam-se de rochas de composição tonalítica a granodiorita, com biotita e hornblenda, e epidoto magmático. Apresentam de granulação média (alguns raros tipos de textura grossa a porfirítica) e com autólitos dioríticos e *clots* de anfibólio (vide Sial, 1986 e Sial *et al.*, 1987), em número e dimensões bastante variáveis. São rochas metaluminosas a peraluminosas, cálcio-alcálicas tipo I, guardando muitas semelhanças gerais com aquelas de arcos magmáticos modernos (andes chilenos, por exemplo, batólitos costeiros). A farta bibliografia preexistente sobre estas ocorrências (*e. g.* Sial *et al.*, 1997) deve ser consultada para detalhes adicionais de composição, barometria, razões isotópicas e fontes etc.

A amostra datada representa fração de composição granodiorítica, de granulação média, foi coletada na periferia da cidade topônima, cerca de 1 km ao norte do centro. Foram utilizados cristais de zircões prismáticos, com bi-terminação bem definida (Foto 1), razão comprimento/largura próximo de 4, transparentes, incolores, sem fraturas, e com marcante zoneamento magmático. A idade obtida foi de 635 ± 9 (± 10) Ma, dada pelo intercepto superior de uma discordância de seis pontos, forçada através da origem (Figura 2), sendo interpretada como época de formação desta rocha.

Duas frações magnéticas de zircões, mais concordantes em relação às demais, apontam uma idade *ca.* de 570 Ma, podendo refletir algum evento térmico sobreposto que pode ter permitido a recristalização parcial dos cristais analisados. Tal possibilidade pode ser corroborada tendo em vista a existência de idades desta ordem e valor em outros eventos granitogênicos e tectônicos da região. A opção pelo valor de idade de 635 Ma foi feita pelo maior número de pontos na corda e pela boa qualidade dos dados analíticos em geral, mas o ideal seria um aprofundamento na análise isotópica (utilização de SHRIMP, por exemplo). Adicionalmente, a idade de 635 ± 9 Ma, interpretada como época de formação do granodiorito, é reiterada pela existência prévia de uma determinação Ar-Ar em anfibólio na ordem de 625 Ma (Dallmeyer *et al.*, 1987).

Convém lembrar que o plúton de Conceição se situa na parte sul do batólito da Serra da Lagoinha formado por granitos do tipo Itaporanga, que exibem exemplos típicos de mecanismo de mistura e coexistência de magmas máfico e félsico, para os quais um modelo *MASH* foi sugerido por Santos & Medeiros (1999). Assim sendo, em coerência com estas observações, pode ser levantada a hipótese de que a idade *ca.* 635 Ma represente uma herança do evento primário de colocação de magmas máficos e sua mistura com fundidos crustais, enquanto que a idade mais jovem poderia estar balizando a extração de um *blend* intrusivo subsequente, conforme preconiza este modelo.

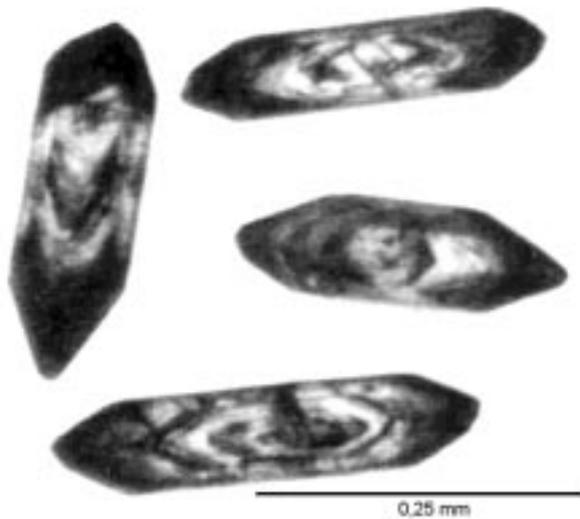


Foto 1. Imagem fotográfica dos zircões datados de Conceição.

Para uma amostra do mesmo corpo, foi obtida uma idade modelo $T_{DM} = 1223$ Ma, com valor de $\epsilon_{Nd 600} = -1,23$, o que pode ser inferido como resultante da participação importante de materiais juvenis no magma original, o que vem em acordo com a presença de fragmentos de metabasaltos (interpretado como material fonte, Ferreira *et al.*, 1998, entre outros). Vide Tabela 1.

Batólito de Tavares

O Batólito de Tavares foi reconhecido como um corpo cálcio-alcálico de alto potássio, tipo Itaporanga, de há muito, e foi recentemente objeto de uma tese de doutoramento (Pessoa, 2002, inédito; Pessoa *et al.*, 1999), sendo tratado nesta oportunidade por uma série de características geológicas especiais:

a. sua posição no alto estrutural (borda norte do Terreno Alto Pajeú, reativado no Terciário) Teixeira – Terra Nova, intrudindo ortognaisses Cariris Velhos (augen gnaisses tipo Ambó, eo-neoproterozóicos/Cariris Velhos) e contendo alguns enclaves deles;

b. a excepcional presença e preservação de estruturas magmáticas primárias (*ladder dikes*, *snail*, *mushroom like*, estruturas em bolhas, estruturas concêntricas, descritas por Weinberg *et al.*, 2001);

c. do ponto de vista textural (porfiríticos com fenocristais de feldspato potássico) como o tipo Itaporanga, mas apresenta algumas características (contém epidoto magmático,

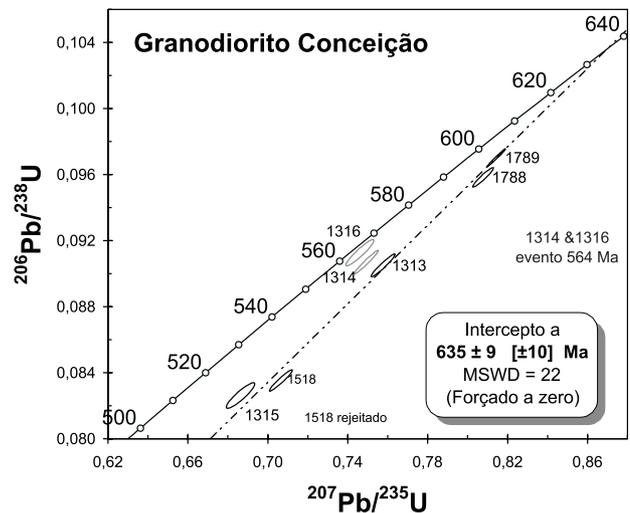


Figura 2. Diagrama discórdia para os zircões do granodiorito Conceição.

feições cedo-tectônicas/não deformadas) do tipo Conceição.

Sienogranitos, quartzo-sienitos, monzogranitos e quartzo-monzonitos são as litofácies predominantes, invariavelmente porfiríticos (cristais de feldspato potássico de até 20 cm), com hornblenda, biotita e epidoto magmático, composição cálcio-alcálica de alto potássio, metaluminosa ou levemente peraluminosa (Pessoa *et al.*, 1999).

A amostra foi coletada a cerca de 1 km oeste do centro da cidade de Tavares. Os cristais de zircão analisados são prismáticos (algumas arestas algo arredondadas), bi-terminação bem definida, razão comprimento/largura entre 2 e 4, e excepcionalmente até 6, são incolores, livres de fraturas e inclusões, com conspícuo zoneamento magmático (Foto 2). Cinco cristais mostram pontos analíticos na discórdia e indicam uma idade de 651 ± 15 (± 16 Ma), com o intercepto inferior forçado a origem (Figura 3). Este valor de idade foi apontado pelo intercepto superior, sendo interpretado como época de cristalização/formação desta rocha.

Uma isócrona Rb-Sr foi traçada (CPGeo-USP, não publicado) para diversos tipos litológicos do Tavares, fornecendo uma isócrona de boa qualidade analítica na faixa de 590 Ma, considerado um valor mínimo de idade, relacionado ao fechamento do sistema Rb-Sr. Outra vez estamos diante de dois valores de idades, para os quais se pode novamente evocar o caráter híbrido da associação tipo Itaporanga para tentar explicar esta dualidade de tempo. Em verdade, reiteramos que o valor de idade de 651 Ma está mais em acordo com o modelo *MASH* de Santos & Medeiros (1999), anteriormente referido.



Foto 2. Imagem fotográfica dos zircões datados de Tavares.

Para uma amostra do mesmo corpo foi obtida uma idade $T_{dm} = 1390$ Ma, para valor de $\epsilon_{Nd600} = -3,3$ (M. Kozuch, informação escrita), valores compatíveis com a posição geológica de complexo intrusivo em rochas do embasamento Cariris Velhos (do Eo-Neoproterozóico), onde certa “contaminação” com tratos crustais mais antigo deve ter ocorrido, sem mascarar a participação de materiais juvenis na formação do corpo.

Granito Itaporanga

Trata-se do tipo litológico granítico mais comum em diferentes tipos de terrenos e de circunstâncias geológicas da província, geralmente formando batólitos complexos/compostos, com muitas variações de facies. Apresentam geralmente composição granítica, granodiorítica, quartzo monzonítica, quartzo-monzodioríticas, normalmente são rochas porfíricas (cristais de feldspato potássico até superiores a 10 cm), com biotita e hornblenda como máficos principais. São rochas de natureza cálcio-alcálica de alto potássio, metaluminosas predominantemente, mas também peraluminosas. Ocorrem intrudindo contextos do embasamento, de supracrustais e de zonas de contato entre ambos (como é o caso da localidade típica, nas imediações de Itaporanga-PB).

Freqüentemente estas rochas estão associadas de forma subordinada com rochas dioríticas ricas em potássio (corpos cedo a sinplutônicos), com feições usuais de *mixing* e *mingling*, que também aparecem como enclaves máficos. Muito comum também é a presença de foliações metamórficas

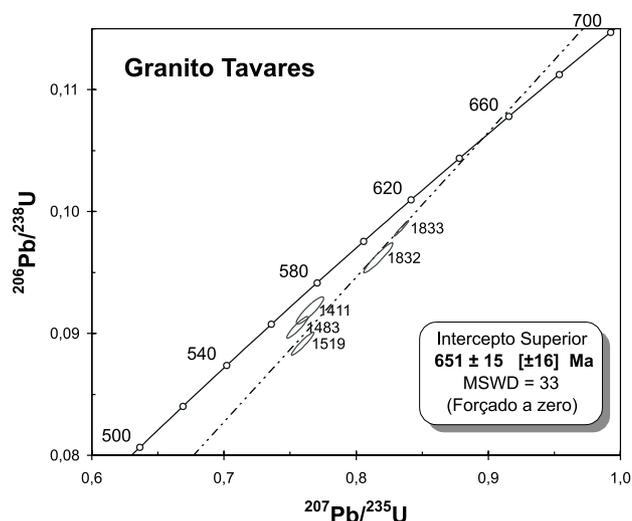


Figura 3. Diagrama discórdia para os zircões do granito de Tavares.

e mesmo de estruturas migmatíticas (estromáticas e agmáticas).

Um trabalho de petrologia e geoquímica, referência obrigatória para a localidade típica é a tese de Mariano (1989), assim como o trabalho de ASM de Archanjo *et al.* (1998).

As amostras para análise U-Pb foram coletadas na pedreira situada a 1,3 km leste da cidade de Itaporanga (na BR-361), na típica unidade porfírica. Foram selecionados cristais de zircões prismáticos, tanto com arestas arredondadas como com bi-terminações bem definidas, normalmente translúcidos, mas que apresentavam inclusões e algumas fraturas (Foto 3). Foi obtido o alinhamento de muito boa qualidade de quatro pontos no diagrama discórdia para idade $T = 584,5 + 2/-1,9$, para o intercepto inferior forçado a zero (Figura 4).

Este valor de idade, definido pelo intercepto superior, é compatível com dados Ar/Ar em hornblenda de 580 Ma (Dallmeyer *et al.*, 1987; Mariano, 1989), valor este considerado como idade mínima para a alocação do granito. Preexistem isócronas Rb/Sr com valores de idade variáveis de 550 Ma (inérita) e 620 Ma (Mariano, 1989), mas todas elas com pequenos valores da razão Rb/Sr e, portanto, qualitativamente de pouca expressão. Apesar disto, a dualidade de valores de idade – já ressaltada no trato dos granitos acima, volta a aparecer e reforçar as interpretações a ela já consignadas.

Da mesma pedreira foi coletada amostra para determinação Sm-Nd, que forneceu a idade $T_{DM} = 1600$ Ma para $\epsilon_{Nd600} = -9,0$, consignando assim a participação substancial de materiais continentais preexistentes (e retrabalhados) no

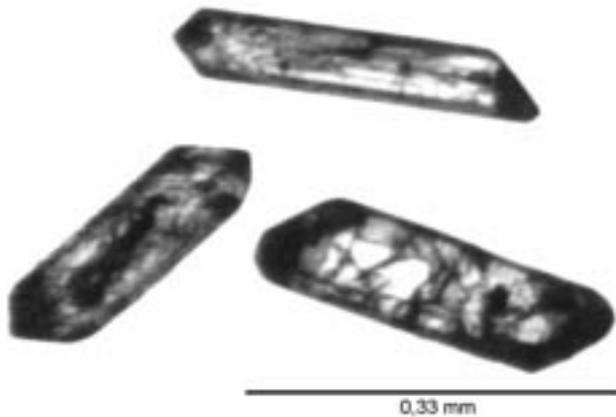


Foto 3. Imagem fotográfica dos zircões datados de Itaporanga.

protólito, o que é compatível com as observações na zona de contato (gradacional, ao norte, com rochas do embasamento paleoproterozóico).

Granitóide Peralcalino de Catingueira

O corpo de Catingueira tem forma tabular estreita e está colocado intrudindo rochas vulcano-sedimentares de baixo grau da Faixa Piancó-Alto Brígida (ao sul), sendo alongado na direção E-W (por cerca de 12 km) em paralelo ao lineamento de Patos, segundo o qual desenvolve estreita faixa de milonitos. Composicionalmente trata-se de sienogranitos e monzogranitos alcalinos (Ferreira *et al.*, 1998; Galindo & Sá, 2000) com clinopiroxênios da série aegirina-augita (máficos dominantes) e com anfibólios da série riebeckita-arfverdsonita e biotita. Conforme pode ser observado em campo, e como consignado por Galindo & Sá (2000), uma faixa de termometamorfitos (em torno de 1,5 km) é formada na auréola do corpo, com indicações mineralógicas do crescimento da temperatura no sentido do corpo ígneo (chegando a cordierita + sillimanita). O corpo de Catingueira apresenta foliação marcada pelos seus máficos, mas não de forma proeminente, de forma que estruturas ígneas primárias puderam ser preservadas nas partes mais internas.

Tratam-se de rochas extremamente enriquecidas em alcalis, e a classificação de peralcalinas já mencionada em itens anteriores é plenamente confirmada pelos estudos petrográficos e geoquímicos, em várias instâncias de diagramas analíticos de Galindo & Sá (2000). Do ponto de vista

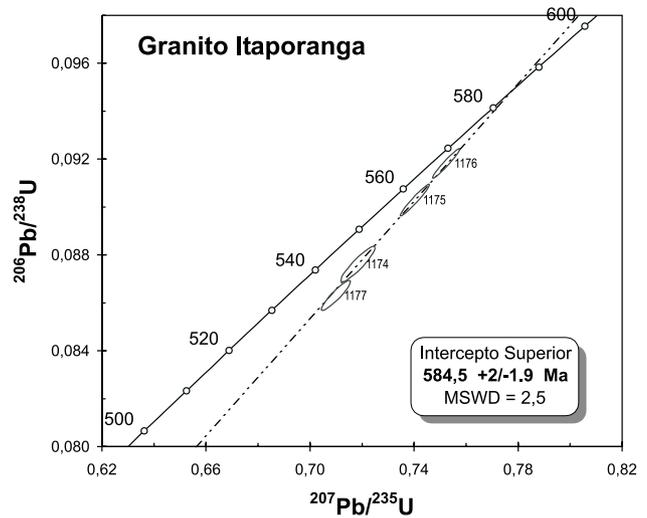


Figura 4. Diagrama discórdia para os zircões do granito de Itaporanga.

da discriminação de ambientes tectônicos obtida por estes autores aparece como notória a assinatura para granitos de arcos, indicações estas que são fato novo (e surpreendente, apesar do número pequeno de análises geoquímicas) para estes granitóides, consoantes as referências bibliográficas da Borborema (sempre foram consideradas de eventos tardi- a pós-orogênicos).

As amostras para as análises geocronológicas foram coletadas numa pedreira a cerca de 1km a leste da cidade, na BR 230, em rocha leucocrática muito homogênea, de granulação média e composição sienogranítica. Os cristais de zircão são prismáticos, com razões comprimento/largura bastante variáveis, bi-terminação bem desenvolvida, transparentes, incolores (Foto 4), contendo algumas inclusões e microfaturas. Quando plotados em diagrama isotópico, as frações analisadas se mostraram bastante discordantes, indicando possibilidade de forte herança isotópica. O alinhamento de quatro pontos analíticos (Figura 5) definiu no intercepto inferior a idade $T = 573 \pm 45$ Ma, com o intercepto superior indicando valores de idade superiores a 2150 Ma (de várias interpretações possíveis, mas sempre com controvérsias). O erro de cerca de 10% no valor da idade é muito elevado, e serão necessários pontos adicionais para aprimoramento do resultado ora obtido.

Da mesma pedreira foi coletada amostra para análise Sm/Nd que forneceu idade modelo $T_{dm} = 2397$ Ma para $\epsilon_{Nd, 600} = -15,65$. Este valor encontrado, juntamente com o valor de idade apontado pelo intercepto superior da discórdia, abre várias possibilidades de discussão (contribuição importante de protólitos paleoproterozóicos??) que deman-



Foto 4. Imagem fotográfica dos zircões datados de Catingueira.

dam estudos adicionais. As indicações petrogenéticas requerem uma fonte anidra de caráter mantélico ou de base de crosta para a origem do magma deste granitóide (Galindo & Sá, op. cit.), em ambiente de arco, ao mesmo tempo em que os dados isotópicos indicam uma forte contaminação crustal.

Preexiste uma determinação K/Ar em piroxênios deste corpo granítico peralcalino, com ($T = 1200 \pm 220$ Ma, CPGeo-USP), olhada com reservas, em vista da baixa qualidade analítica.

Granitos de Meruoca e Mocambo (Supersuíte III)

Estas rochas intrusivas do Noroeste do Ceará, nas imediações do Lineamento Sobral-Pedro II/Transbrasiliano (e da Bacia de Jaibaras) já haviam sido pinçadas como *post-orogenic granites* desde o clássico trabalho de Almeida *et al.* (1967).

O batólito de Meruoca apresenta uma facies granítica avermelhada (*brick*) e uma facies cinzenta a faialita, e foi estudado por vários autores nas últimas décadas, destacando-se a tese de Sial (1989), como o trabalho mais completo do ponto de vista petrológico. A composição é majoritariamente granítica, com porções de alcali-feldspato granito e de quartzo sienitos subalternas.

O autor sênior obteve uma isócrona Rb-Sr de $T = 520 \pm 6$ Ma ($n = 4$, razão inicial de 0,706, em trabalho inédito). Sial *et al.* (1981) obtiveram - para um conjunto de

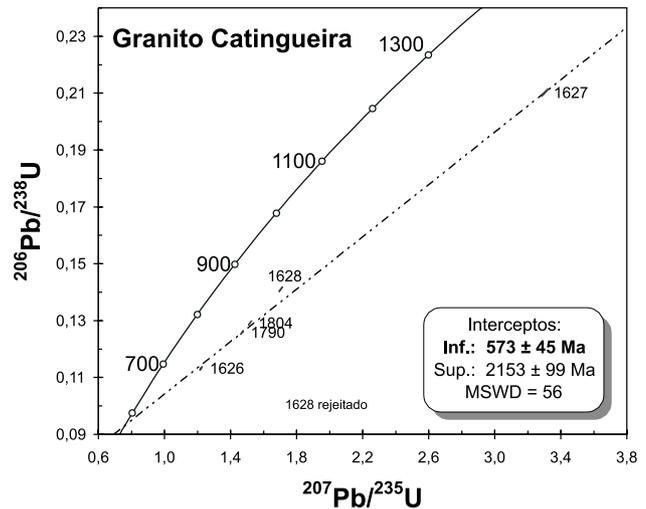


Figura 5. Diagrama discórdia para os zircões do granitóide peralcalino de Catingueira.

14 amostras do granito Meruoca -, com determinações Rb-Sr em rocha total uma idade $T = 491 \pm 19$ (razão inicial $0,707 \pm 0,00028$). Mas, em ambos os casos, os autores observaram distúrbios no sistema Rb-Sr, e colocaram pendências nas retas isocrônicas obtidas, deixando claro a necessidade de novas técnicas analíticas.

Mais recentemente, Fetter (1999) encontrou uma série de dificuldades (qualidade, formas e imperfeições nos zircões) para determinar a idade do granito pelo método U-Pb, para o qual, os dados Rb-Sr servem de referencial, assim como a idade obtida no Mucambo.

O granito de Mucambo é geralmente de granulação grosseira até porfirítico, com a presença característica de muitos autólitos (quartzo-dioríticos e gabróides) e xenólitos de rochas encaixantes (Grupo Ubajara), além de exibir bem marcada auréola de metamorfismo de contato. Composicionalmente, predominam granitos, com biotita e hornblenda, e com composições de granodioritos e quartzo sienitos subordinadas.

Sial *et al.* (1981) apresentaram uma isócrona Rb-Sr para o Mucambo com idade de 548 ± 24 Ma (razão inicial $0,710 \pm 0,0011$), para um conjunto de seis determinações. Para esta rocha, Fetter (1999) obteve uma discórdia U-Pb indicando valor de idade de 532 ± 6 Ma no intercepto superior, de muito boa qualidade, além de ter obtido uma idade Ar-Ar de 527 ± 3 Ma. Estes valores de idades são de qualidade suficiente para indicar os eventos extrusionais do Ciclo Brasileiro dentro do Cambriano, e estes valores de idades são reforçados por outras indicações isotópicas, no Ceará

(domínio setentrional da província) e fora dele (como por exemplo, os dados Ar-Ar disponíveis na Zona Transversal).

CONCLUSÕES PRELIMINARES

O cotejo entre os dados geocronológicos preexistentes em rochas graníticas da Província Borborema e aqueles aqui discutidos permitem esboçar um quadro muito preliminar da evolução regional (Quadro 1), consistente na escala de reconhecimento. Os dados aqui computados vêm reiterar fortemente valores de idades muito próximos daqueles intervalos principais preconizados para as três supersuítas (I – 630 - 620 Ma; II - ca. 590 Ma; III - ca. 512 Ma) de Santos & Medeiros (1999). Os intervalos propostos por estes autores são considerados e revisados com o refinamento que se segue.

Dois intervalos de tempo do Neoproterozóico III – ca. 650 – 625 Ma (Eo-Neoproterozóico III) e ca. 580 – 570 Ma estão sendo sinalizados na maioria das determinações como marcadores de eventos de formação de granitos, ligados com interação acrescionária de placas litosféricas. Uma terceira etapa/estágio de formação de rochas graníticas se estende do final do Neoproterozóico III

para a primeira metade do Cambriano (de ca. 545 para 520 Ma), onde as ocorrências graníticas são muito variadas em composição, e estão vinculadas com processos extrusivos (sobretudo) e outros de natureza intraplacas.

A presença de eventos acrescionários graníticos bem mais precoces (e.g. 750 ± 20 Ma, Riacho do Icó, Floresta – PE, Santos, 1995; > 665 Ma, oeste do Ceará, Fetter *et al.*, 2002) é uma possibilidade, com poucos dados ainda, e que deve ser explorada em programas de investigação complementares. Estes processos precoces podem ter ocorrido, tendo em vista informações geológicas e geocronológicas outras, bastante seguras (Brito Neves *et al.*, 2000), de que eventos de extensão e tafrogênese significativa (e provável fissão) foram consignados desde ca. 800 Ma. De forma que uma história delongada (e diacrônica) pode ser preconizada para a colagem da província como um todo, com eventos distribuídos ao longo de 300 Ma (Cedo-Brasiliano para Pós-Brasiliano), do Neo-Toniano para o Cambriano.

Diante da complexidade e das dimensões do problema da granitogênese na Borborema, os dados aqui apresentados constituem uma contribuição pequena, mas valiosa e digna de registro, podendo alicerçar e servir de referência para as etapas seguintes do avanço do conhecimento.

Quadro 1. Principais determinações geocronológicas (Ma) de rochas graníticas da Província Borborema (Pb-Pb e U-Pb). Afora os dados ora introduzidos (e sinalizados #), os demais dados devem ser consultados na bibliografia (todos estão referenciados devidamente, vide Referências Bibliográficas).

	DOMÍNIO SETENTRIONAL		ZONA TRANSVERSAL	DOMÍNIO MERIDIONAL
	NW CEARÁ	GEARÁ CENTRAL		
TARDI-BRASILIANOS	507 ± 36 (Meruoca)			505 ± 4 (Palmeira) 517 ± 18 (Jati/Bodocó)
	532 ± 4		530 ± 54 * (S. Algodão)	528 ± 4 (Águas Belas)
	532 ± 6 (548 ± 24 *) (Mucambo)			540-520 (Diversos)
	563 ± 17 (Tucunduba)		557 ± 13 * D. Inês	551 (Tuparetama) 570 ± 10 (S. João) 570 ± 24 (Queimadas) 572 ± 20 (S. Branca) 573 ± 45 # (Catingueira) 574 ± 54 (Solidão) 580 ± 4 # (Itaporanga)
		574 ± 32 (NW S. Quitéria)		581 ± 2 (C. Grande)
			576 ± 24 (Caraúbas) 578 ± 14 ** (Caxexa) 579-555 (Acari) 579 ± 7 (S. Rafael) 580 ± 4 (Tourão)	583-591 (Brejo M. Deus) 585 ± 2 588 ± 12 (Faz. Nova)
		585 ± 5 (Quixadá) 587 ± 19 (Anil)		
	591 ± 10 (Chaval)		593 ± 5 (Umarizal)	592 ± 7 (B. Jardim) 593 ± 5 (Correntes)
		599 ± 16 (Poço Verde)		608 ± 8 (O. d'Água) 612 ± 9 * (Tabira)
		614 ± 2 (Central Ceará) 622 ± 4 (Sul Fortaleza)		613 ± 8 (S. Catú) 614 ± 18 (C. João Sá) 616 ± 4 (Caiçara) 624 ± 5 (A. Branca)
CEDO - BRASILIANOS	630 ± 18 (NW Ceará)		628 ± 11 (Macaíba)	621 ± 14 (Tabira) > 620 (Teixeira) 635 ± 9 # (Conceição) 638 ± 5 (Brejinho) 644 ± 5 (Timbaúba) 651 ± 15 # (Tavares) 750 ± 20 (Riacho Icó)
		660 ± 15 (S. Quitéria) 665 ± 40 (W Ceará)		

* Datação Rb/Sr; ** Datação Sm/Nd; # Neste trabalho.

Tabela 1. Dados analíticos das determinações U-Pb relativos aos diagramas das Figuras 2 a 5.

SPU	Fração	Tipologia	207/235#	Erro	206/238#	Erro	COEF.	Erro	207/206#	Erro	206/204*	Pb	U	Peso	206/238	207/235	207/206
	Magnética	Mineral		(%)		(%)		(%)		(%)		(ppm)	(ppm)	(mg)	Idade (Ma)		
SPAB / GP / ITAP - Gr. Itaporanga																	
1174	M(-4)	P(3-4/1),Dt,Ot,I,F	0,718444	0,752	0,0876178	0,69	0,9194	0,69	0,0594702	0,296	847,5	27,1	289,3	0,117	541	550	584
1175	M(-5)	P(3-4/1),Dt,Ot,I,F	0,740295	0,621	0,0902912	0,601	0,9679	0,601	0,0594645	0,156	1987,6	45,6	496,0	0,097	557	563	584
1176	M(-6)	P(3-4/1),Dt,Ot,I,F	0,752391	0,572	0,0918269	0,553	0,9685	0,553	0,0594254	0,142	1300,5	35,7	373,5	0,111	566	597	583
1177	M(-3)	P(3-4/1),Dt,Ot,I,F	0,70996	0,647	0,0863094	0,596	0,923	0,596	0,0596588	0,249	539,1	21,7	227,7	0,113	534	545	591
1572	M(-5)	P(3-4/1),Dt,Ot,I,F	0,699234	0,538	0,0857249	0,522	0,96991	0,522	0,0591581	0,131	3678,3	55,2	627,2	0,078	530	538	573
1573	M(-6)	P(3-4/1),Dt,Ot,I,F	0,714741	0,572	0,0872237	0,564	0,98682	0,564	0,059431	0,0925	5261,0	59,6	671,8	0,086	539	548	583
SPAB / GD - Gr. Conceição																	
1313	M(-4)	P(4/1),Dt,I,Mz	0,757655	0,655	0,090497	0,629	0,9622	0,629	0,0607206	0,178	751,6	24,3	263,8	0,122	558	572	629
1314	M(-3)	P(4/1),Dt,I,Mz	0,7493	0,671	0,0907	0,653	0,975	0,653	0,0599166	0,149	610,6	21,6	230,4	0,111	559	567	600
1315	M(-2)	P(4/1),Dt,I,Mz	0,686294	0,854	0,0826178	0,771	0,9046	0,771	0,060247	0,364	595,7	30,1	351,3	0,086	511	530	612
1316	NM(-4)	P(4/1),Dt,I,Mz	0,746066	0,774	0,0912684	0,72	0,9371	0,72	0,0592865	0,27	670,3	14,1	152,2	0,110	563	565	577
1518	M(-2)	P(4/1),Dt,I,Mz	0,70652	0,666	0,0835326	0,636	0,95759	0,636	0,0613433	0,192	333,2	58,1	612,3	0,048	517	543	651
1788	M(-2)	P(4/1),Dt,I,Mz	0,807714	0,53	0,095829	0,502	0,95006	0,502	0,0611307	0,165	612,8	54,5	536,9	0,068	590	601	644
1789	M(-4)	P(4/1),Dt,I,Mz	0,814303	0,474	0,0970171	0,469	0,99078	0,469	0,0608746	0,0642	2518,6	54,4	573,7	0,077	597	605	635
SPAB-CAT - Gr. Catingueira																	
1626	M(-2)	P(1.5-2/1),Dt,T,C,I,F	1,22133	0,555	0,113215	0,5	0,91112	0,5	0,0782394	0,229	139,7	126,5	695,8	0,069	691	810	1153
1627	M(-3) A	P(1.5-2/1),Dt,T,C,I,F	3,30333	0,544	0,210202	0,533	0,98072	0,533	0,113976	0,106	282,2	80,0	296,9	0,079	1230	1482	1864
1628	M(-3) B	P(1.5-2/1),Dt,T,C,I,F	1,70401	0,522	0,140994	0,506	0,97255	0,506	0,0876539	0,121	251,8	103,6	561,2	0,059	850	1010	1375
1790	M(-3)	P(1.5-2/1),Dt,T,C,I,F	1,46899	0,478	0,125847	0,472	0,98747	0,472	0,0846592	0,0754	661,5	76,8	517,3	0,085	764	918	1308
1804	M(-2)	P(1.5-2/1),Dt,T,C,I,F	1,51705	0,489	0,12909	0,482	0,98566	0,482	0,0852324	0,0825	910,8	58,4	397,8	0,074	783	937	1321
SL-GR-TV - Gr. Tavares																	
1411	M(-3)	P(2-4/1),Pr/Dt,(T,C,Cl)I,Mz	0,765064	1,11	0,0918858	0,994	0,9001	0,994	0,0603876	0,485	190,0	14,0	121,2	0,075	566	576	617
1483	NM(-3)	P(2-4/1),Pr/Dt,(T,C,Cl)I,Mz	0,755477	0,872	0,0904912	0,801	0,9216	0,801	0,0605499	0,339	280,1	63,7	599,0	0,060	558	571	623
1519	M(-2)	P(2-4/1),Pr/Dt,(T,C,Cl)I,Mz	0,759559	0,919	0,0891515	0,867	0,94977	0,867	0,0617919	0,288	166,7	47,9	405,5	0,026	551	574	667
1832	M(-3)	P(2-6/1),Dt,T,C,Cl,Mz	0,816817	1,11	0,0962027	1,05	0,94944	1,05	0,0615795	0,349	254,4	29,3	263,5	0,020	592	606	660
1833	M(-3)	P(2-6/1),Dt,(T,C,Cl)I,F,Mz	0,834398	0,542	0,0986259	0,531	0,98101	0,531	0,0613594	0,105	1694,5	66,1	680,0	0,059	606	616	652

LEGENDA

SPU: número de laboratório

Frações magnéticas: números entre parênteses indicam o ângulo de inclinação utilizado no Separador Frantz a uma corrente de 1,5 A

Pb radiogênico corrigido pelo branco e Pb inicial; U corrigido pelo branco;

* Não corrigido pelo branco ou Pb não radiogênico

Concentrações totais de U e Pb corrigidas pelo branco analítico

Idades (Ma): utilizando-se do programa de Ludwig Isoplot/Ex (2001), e constantes de decaimento recomendadas por Steiger & Jäger (1977).

TIPOLOGIA - ZIRCÃO

FORMA		COR/TRANSPARÊNCIA		CARACTERÍSTICAS INTERNAS	
P(x/y)	Cristal prismático (comprimento/largura)	T	Cristal transparente	Cl	Cristal sem ou c/ raras inclusões ou fraturas
Pr(x/y)	Cristal prismático c/ faces e arestas arredondadas	Ot	Cristal opaco ou translúcido	I	Cristal com inclusões frequentes
Dt	Cristal prismático/ bi-terminação bem desenvolvida	C	Cristal incolor	F	Cristal com fraturas frequentes
Py	Cristal prismático c/ faces piramidais bem desenvolvidas			Mz	Cristal com zoneamento magmático
Tb	Cristal com tendência tabular (altura<<largura)				
R	Cristal com tendência esférica				
Fr	Cristal em fragmentos				

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M.; LEONARDOS JR., O. H.; VALENÇA, J. (1967) Granitic rocks of Northeast South America. In: INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES, Recife, 1967. Recife, IUGS/UNESCO. 37 p.
- ALMEIDA, N. C.; GUIMARÃES, I. P.; SILVA FILHO, A. F. (2002) A-type post-collisional granites in the Borborema Province – NE Brazil – the queimadas pluton. *Gondwana Research*, v. 5, n. 3, p. 667-681.
- ALMEIDA, N. C.; GUIMARÃES, I. P.; SILVA FILHO, A. F.; BEURLEN, H. (1997) Sm-Nd isotope geochemistry and U/Pb geochronological data of the Campina Grande Complex, Paraíba State, NE Brazil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17., Fortaleza. *Resumos Expandidos*. Fortaleza, SBG-NO. Boletim n. 15, p. 3-6.
- ARCHANJO, C. J.; SILVA, E. R.; CABY, R. (1999) Magnetic fabric and pluton emplacement in a transpressive shear zone system: the Itaporanga porphyritic granitic pluton (northeast Brazil). *Tectonophysics*, v. 312, p. 331-345.
- BORGES, S. V. (1996) *Geologia da região do Médio Curimataú (PB) e o alojamento do Granito de Dona Inês associado a zonas de cisalhamentos transcorrentes brasileiras*. São Paulo, 139 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. (2000). Tectonic History of the Borborema Province. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (eds.) *Tectonic evolution of South-America*. Rio de Janeiro, p. 151-182.
- CASTELLANA, C. H.; LONG, L. E.; SIAL, A. N. (2000) Origin of the Coronel João Sá Pluton: implications for the tectonic evolution of NE Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., Rio de Janeiro, 2000. *Abstracts*. Rio de Janeiro. (CD-ROM).
- DALLMEYER, R. D.; SIAL, A. N.; LONG, L. E.; Mc MURRY, J. (1987). New evidence for polyphase tectonothermal evolution of the Brasileiro Orogeny, northeastern Brazil. In: GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA ANNUAL MEETING PHOENIX-ARIZONA, 1987. *Abstracts with Program*. Phoenix, Arizona, p. 634.
- DANTAS, E. L. (1997) *Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de Terrenos Arqueanos e Paleoproterozóicos do Maciço das Brandão, NE do Brasil*. Rio Claro-SP, 209 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista.
- FERREIRA, V. P. (1991) *Petrology and geochemistry of Late Proterozoic ultrapotassic peralkaline Triunfo batholith and related dikes, State of Pernambuco, Northeast Brazil*. Athens, 269 p. Tese (Doutorado) - Department of Geology, University of Georgia.
- FERREIRA, M. A. F.; FERREIRA, V. P.; SIAL, A. N.; PIMENTEL, M. M. (2002) Origin and intensive parameters in the crystallization of ultrapotassic syenites: The Serra do Man Pluton, Northeastern Brazil. *Gondwana Research*, v. 5, n. 2, p. 275-285.
- FERREIRA, V. P.; SIAL, A. N.; JARDIM DE SÁ, E. F. (1998) Geochemical and isotopic signatures of Proterozoic Granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, n. 5, p. 438-455.
- FETTER, A. H. (1999) *U/Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal framework and geological history of the Ceará State, NW Borborema Province, NE Brasil: Implications for the assembly of Gondwana*. Lawrence, 164 p. Tese (Doutorado) - Department of Geology of the Faculty of the Graduate School, University of Kansas, Campus de Lawrence.
- FETTER, A. H.; SANTOS, T. S.; VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO NEVES, B. B.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRANETO, J. A.; WERNICK, E. (2002) Evidence for Neoproterozoic rifting and subsequent convergence along the northwest margin of the Borborema province, Ceará State, NE Brazil: implications for the breakup of Rodinia and the assembly of West Gondwanan. In: INTERNATIONAL GONDWANAN SYMPOSIUM, 11., Christchurch, New Zealand, 2002. *Correlations and Connections*. New Zealand, University of Canterbury.
- GALINDO, A. C.; SÁ, J. M. (2000) Contexto tectônico e geoquímico do granitóide Catingueira: um magmatismo alcalino-peralcalino no limite norte da Zona Transversal da Província Borborema. *Geochimica Brasiliensis*, v. 14, n. 1, p. 1-21.
- GUIMARÃES, I. P.; ALMEIDA, C. N. (2001) The Calk-alkaline Brasileiro granitoids in the Pajeú-Paraíba belt, Northeast Brazil: the Timbaúba Complex. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 19., Natal. *Resumos*. Natal, SBG-NO. Boletim n. 17, p. 232-233.
- GUIMARÃES, I. P.; SILVA FILHO, A. F. (2000) Evidence of multiple involved sources in the genesis of the neoproterozoic Itapetim Granitic Complex, NE Brazil, based on geochemical and isotopic data. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p. 561-586.
- GUIMARÃES, I. P.; SILVA FILHO, A. S. (2000) Caracterização geoquímica e isotópica do Complexo Granítico de Itapetim-PE. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NOR-

- DESTES, 18., Recife, 2000. *Resumos*. Recife, SBG-NO. Boletim n. 16, p. 96.
- GUIMARÃES, I. P.; SILVA FILHO, A. F.; ALMEIDA, C. N.; ARAÚJO, J. M. M.; SALES, A.; MELO, S. C. (1998) The Brasiliano granitoids from the Pajeú-Paraíba belt and Teixeira High: Sm-Nd isotope geochemistry and U-Pb in zircon ages. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. *Anais*. Belo Horizonte, SBG, p. 48..
- JARDIM DE SÁ, E. F. (1994) *A faixa Seridó (Província Borborema, Nordeste do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-africana*. Brasília, 804 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- JARDIM DE SÁ, E. F.; MACEDO, M. H. F.; KAWASHITA, K.; PEUCAT, J. J.; LETERRIER, J.; FUCK, R. A. (1996) A suíte Serra da Esperança: intrusões alcalinas sintectônicas aos nappes brasileiros da Faixa Riacho do Pontal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996. *Anais*. Salvador, SBG, v. 6, p. 499-501.
- JARDIM DE SÁ, E. F.; TRINDADE, R. I. F.; HOLLANDA, M. H. B. M.; ARAUJO, J. M. M.; GALINDO, A. C.; AMARO, V.; SOUZA, Z.; VIGNERESSE, J. L.; LARDEAUX, J. M. (1999) Brasiliano syntectonic alkaline granites emplaced on a strike-slip/extensional setting. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 71, n. 1, p. 17-28.
- KOZUCH, M. (2003) *Isotopic and trace elements 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, Kansas, 199 p. Tese (Doctor of Philosophy) - Department of Geology, the University of Kansas, Kansas.
- KOZUCH, M.; BITTAR, S. M. B.; VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B. (1997) Late mesoproterozoic and middle neoproterozoic magmatism in the zona transversal of Borborema Province, Brazil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17., Fortaleza. *Resumos Expandidos*. Fortaleza, SBG-NO. Boletim n. 15, p. 47-50.
- LEGRAND, J. M.; DEUTSCH, S.; SOUZA, Z. (1991) Datação U/Pb e granitogênese do Maciço Acari (RN). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14., Recife, 1991. *Atas*. Recife, SBG-NO. Boletim n. 12, p. 172-173.
- LEITE, P. R. B.; BERTRAND, J. M.; LIMA, E. S.; LETERRIER, J. (2000) Timing of granitic magmatism in the northern Borborema Province, Brazil: a U-Pb study of granitoids from Alto Pajeú Terrain. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p. 549-559.
- LETERRIER, J.; JARDIM DE SÁ, E. F.; BERTRAND, J. M.; PIN, C. (1994) Ages U-Pb sur Zircon de granitoïdes "brasilianos" de la ceinture du Seridó (province Borborema, NE Brésil). *Compte Rendu Academie des Sciences Paris. Série II*, v. 318, p. 1505-1511.
- LUDWIG, K. R. (2001) Isoplot/Ex, rev. 2.49. kludwig@bgc.org
- MARIANO, G. (1989) *Magma mixing origin of a Potassic Calc-alkaline pluton. The Itaporanga Batholith, State of Paraíba, Northeast Brazil*. Athens, 180 p. Tese (Doutorado) - Graduate Faculty of the University of Georgia, Georgia.
- McREATH, I.; GALINDO, A. C.; DALL'AGNOL, R. (2002) The Umarizal igneous association, Borborema Province, NE Brazil: implications for the genesis of a-type granites. *Gondwana Research*, v. 5, n. 2, p. 339-353.
- MELO, E. B.; GUIMARÃES, I. P. (1995) Os granitóides pós-tectônicos a sul da Zona de cisalhamento de Afogados de Ingazeira-PE. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., Recife, 1995. *Atas*. Recife, SBG-NO. Boletim n. 14, v. 1, p. 287-289.
- MELO, S.; NEVES, S. P.; SILVA, J. M. R.; MARIANO, G. (2000) Petrografia e geoquímica do Batólito Brejo da Madre de Deus/Pernambuco-NE/Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 18., Recife. *Resumos*. Recife, SBG-NO. Boletim n. 16, p. 100.
- MELO, S.; NEVES, S. P.; SILVA, J. M. R.; MOURA, C. (2000) Geocronologia Pb-Pb no Batólito Brejo da Madre de Deus/Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 18., Recife. *Resumos*. Recife, SBG-NO. Boletim n. 16, p. 101.
- NASCIMENTO, M. A. L.; SOUZA, Z. S.; NASCIMENTO, R. S. C.; GALINDO, A. C.; HOLLANDA, M. H. B. M.; PIMENTEL, M. M.; MACEDO, M. F. H. (2000) In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 18., Recife. *Resumos*. Recife, SBG-NO. Boletim n. 16, p. 102.
- NASCIMENTO, M. A. L.; SOUZA, Z.; GALINDO, A. C. (2000) Magmatismo granítico de série alcalina na extremidade oriental da Província Borborema - o plúton Caxexa: Geologia e Geoquímica. *Geochimica Brasiliensis*, v. 14, n. 1, p. 23-40.
- NASCIMENTO, M. A. L.; SOUZA, Z.; HOLLANDA, M. H. B. M.; PIMENTEL, M. M.; MACEDO, M. F. H.; NASCIMENTO, R. S. C.; GALINDO, A. C. (2001) Geocronologia e assinatura isotópica Rb-Sr e Sm-Nd do magmatismo alcalino Neoproterozóico no Maciço São José do Campestre, Nordeste do Brasil, Província Borborema. *Estudos Geológicos. Série B*, v. 11, p. 67-79.
- NUTMAN, A. P. (2001) Relatório de atividades sobre determinações SHRIMP realizadas na Austrália - Progress

- report. São Paulo, Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- PESSOA, R. J. R. P. (2001) *Mecanismos de alojamento e construção do batólito granítico neoproterozóico de Tavares, Estado da Paraíba –Nordeste do Brasil*. Recife, 218 p. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- PESSOA, R. J. R.; SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P. (1999) Upward transport of magmatic epidote in the Neoproterozoic high-K calc-alkalic Tavares Pluton, Alto Pajeú Terrane, NE Brazil. In: HUTTON SYMPOSIUM, 4., Clermont-Ferrand, 1999. *Abstracts*. Clermont-Ferrand, France, p. 60.
- SÁ, J. M. (1991). *Evolution geodynamique de la ceinture proterozoïque d'Orós, Nord-Est du Brésil*. Nancy, 177 p. Tese (Doutorado) – Université de Nancy I, Faculté de Sciences, Laboratoire de Petrologie.
- SAMPAIO, M. A. F.; SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P. (2000) Geoquímica Isotópica e geocronologia do plutão neoproterozóico Água Branca, borda sul do Maciço PE-AL, Província Borborema. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 18., Recife, 2000. *Resumos*. Recife, SBG-NO. Boletim n. 16, p.111.
- SANTOS, E. J. (1995) *O complexo Granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema*. São Paulo, 220 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, E. J.; MEDEIROS, W.C. (1999) Constraints from granitic plutonism on Proterozoic crustal growth of the Transverse Zone, Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 1., p. 73-84.
- SANTOS, E. J.; VASCONCELOS, M. L. S. (1973) Características dos granitóides de tipo moderna do lineamento Pernambuco. *Revista Mineração Metalurgia*, n. 339, p. 28-33.
- SIAL, A. N. (1989) *Petrologia, Geoquímica de elementos maiores, traços, Terras Raras e isótopos (Sr, O, H, S) nos batólitos de Meruoca e Mocambo, Ceará, Nordeste do Brasil*. Recife, 284 p. Tese (Professor-Titular) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco.
- SIAL, A. N. (1986) Granite-types in Northeast Brazil: current knowledge. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 1, p. 54-72.
- SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P.; MARIANO, G. (1987) Proterozoic granitoids, Western Pernambuco and Paraíba States, Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 1., Salvador, 1987. *Excursion Guides*. Salvador, SGM/CBPM, p. 9-32.
- SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P.; SANTOS, E. J. (1997) Magmatic epidote-bearing granitoids and ultrapotassic magmatism of the Borborema Province, Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., Salvador, 1997. *Excursions Guides*. Salvador, SGM/CBPM, p. 35-54.
- SIAL, A. N.; FIGUEIREDO, M. C. H.; LONG, L. (1981) Rare-Earth element geochemistry of the Meruoca and Mocambo plutons, Ceará, Northeast Brazil. *Chemical Geology*, v. 312, p. 271-283.
- SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P.; SIQUEIRA, D.V. (1998) Evidências de manto sublitosférico enriquecido e suas conseqüências geotectônicas; o complexo shoshonítico neoproterozóico Serra do Catú, interface entre o maciço PE-AL e o Sistema de Dobramentos Sergipano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. *Anais*. Belo Horizonte, SBG, p. 24.
- SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P.; VAN SCHMUS, W. R. (2000) Significado geotectônico do magmatismo granítico cálcio-alcálico de alto-K a shoshonítico do Maciço PE-AL, NE Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 18., Recife, 2000. *Resumos*. Recife, SBG-NO. Boletim n. 16, p. 115.
- SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P.; MARIANO, G.; LUNA, E. A. B. ; SIQUEIRA, D. V. (1998) A evolução magmática do Ciclo Brasileiro no domínio meridional da Província Borborema analisada a partir dos dados de Sm-Nd do Complexo Granítico Proterozóico tardi-tectônico Santana do Ipanema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. *Anais*. Belo Horizonte, SBG, p. 12.
- SOUZA, L. C.; HUNZIKER, J.; VERKAEREN, J.; LEGRAND, J. M. (1998) A termocronologia Ar^{40}/Ar^{39} e a história termal dos micaxistos encaixantes do maciço granítico de Acari-RN, durante pelo menos 98 Ma. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. *Anais*. Belo Horizonte, SBG, p. 14.
- WEINBERG, R.; SIAL, A. N.; PESSOA, R. J. R. (2001) Magma flow within Tavares Pluton, northeastern Brazil; compositional and thermal convection. *Geological Society of America Bulletin*, v. 13, n. 4, p. 508-520.