

Características Isotópicas (Nd e Sr) do Plutonismo Intrusivo no Extremo NW do Cráton Amazônico, Venezuela, e Implicações para a Evolução Paleoproterozóica

Wilson Teixeira¹, Colombro Celso G. Tassinari¹, M. Mondin²

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

²Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia - Instituto de Geociências - USP, SP, BRA

Palavras-chave: Paleoproterozóico, granitos, Cráton Amazônico, Geoquímica isotópica (Nd e Sr).

RESUMO

Rochas granitóides intrusivas em terrenos arqueanos e paleoproterozóicos contíguos, em território venezuelano, foram estudadas em termos da geoquímica isotópica de Nd e Sr, para fins de caracterização petrogenética. Tais plútons estão associados à evolução tectônica das províncias paleoproterozóicas Maroni-Itacaiúnas e Ventuari-Tapajós da parte setentrional do Cráton Amazônico. A suíte Encrucijada (2187 ± 94 Ma), intrusiva no Complexo Imataca, originou-se predominantemente da fusão parcial do substrato arqueano, conforme evidenciam parâmetros negativos de $\epsilon_{Nd(2,1Ga)}$ ($-2,2$ a $-4,9$) e idades T_{DM} entre 2,82 e 2,49 Ga. Por outro lado, os plútons do Complexo Supamo (2230 - 2050 Ma) e do Grupo Cuchivero (1980 - 1830 Ma), que ocorrem nas províncias crustais adjacentes, são caracteristicamente juvenis (derivados de protólitos paleoproterozóicos). Suas idades T_{DM} concentram-se entre 2,13 e 2,22 Ga, e os valores de $\epsilon_{Nd(2,1Ga)}$ são sistematicamente positivos, entre +0,74 e +3,05. Interpretação tectônica em diagramas de correlação isotópica ($^{143}Nd/^{144}Nd$ vs. $^{147}Sm/^{144}Nd$ e $^{143}Nd/^{144}Nd$ vs. idade) comparando os dados das rochas plutônicas e do Complexo Imataca, tendo em consideração o acervo geocronológico e geológico da extremidade NW do Cráton Amazônico, permite inferir que a justaposição tectônica entre o Complexo Imataca e a província Maroni-Itacaiúnas (proto-cráton Amazônico) ocorreu durante a orogênese Transamazônica (2,25 - 2,05 Ga). Além disso, a assinatura isotópica contrastante do Grupo Cuchivero aponta a existência de uma sutura crustal entre o substrato arqueano (Imataca) e a província Ventuari-Tapajós.

Keywords: Paleoproterozoic, granites, Amazonian Craton, Isotopic geochemistry (Nd and Sr).

ABSTRACT

Nd and Sr analyses were performed on selected granitoid plutons that intrude Archean and Paleoproterozoic domains of the Guyana shield (Venezuela). The isotopic signatures of these plutons together with the geochronologic background of the country rocks are used to constrain their magma genesis and tectonic setting within the Paleoproterozoic evolution of mobile belts (Maroni-Itacaiunas and Ventuari-Tapajós provinces) of the Amazonian Craton. The Encrucijada Suite (2187 ± 94 Ma), which intrudes Archean rocks of the Imataca Complex, originated predominantly from partial melt of this crust, as supported by negative $\epsilon_{Nd(2,1Ga)}$ values (-2.2 to -4.9) and T_{DM} ages between 2.82 and 2.49 Ga. Conversely, the plutons from the Supamo Complex (2230 - 2050 Ma) and Cuchivero Group (1980-1830 Ma), occurring within the adjoining Paleoproterozoic provinces, are juvenile in nature (derived from roughly contemporary protoliths). These bodies display T_{DM} ages between 2.13 and 2.22 Ga, as well as positive $\epsilon_{Nd(2,1Ga)}$ values ($+0.74$ to $+3.05$). Isotopic correlation diagrams ($^{143}Nd/^{144}Nd$ vs. $^{147}Sm/^{144}Nd$ and $^{143}Nd/^{144}Nd$ vs. time) plotted together with the plutonic rocks and Imataca Complex rocks were evaluated taking into account the geologic background of the NW part of the Amazonian Craton. Interpretation of these isotopic data supports the idea of tectonic juxtaposition between the Imataca Complex and the Maroni-Itacaiunas province during the Transamazonian orogeny (2.25 - 2.05 Ga). On the other hand, the Cuchivero Group plutons have a contrasting isotopic signature compared to the other Paleoproterozoic plutonic rocks. This is consistent with the existence of a tectonic boundary between the Maroni-Itacaiunas and the Ventuari-Tapajós province in the late Paleoproterozoic.

INTRODUÇÃO

São apresentados dados isotópicos Sm-Nd e Rb-Sr em rochas granitóides que intrudem o substrato cristalino arqueano e paleoproterozóico da porção NW do Cráton Amazônico. A investigação faz parte de um projeto geocronológico amplo que enfoca a evolução crustal do Complexo Imataca, com a participação de instituições brasileiras e venezuelanas.

A área estudada situa-se na extremidade ocidental do Escudo das Guianas, abrangendo parte do território venezuelano. Este escudo tem ampla representação geográfica na Colômbia, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e Amapá-Brasil (Gibbs & Barron, 1983). O domínio tectônico estudado envolve as províncias crustais paleoproterozóicas (Maroni-Itacaiúnas e Ventuari-Tapajós) e o Complexo Imataca – este último um dos fragmentos arqueanos do setor setentrional do Cráton Amazônico (Teixeira *et al.*, 1989; Tassinari *et al.*, 2000) - Figura 1.

A zona limítrofe entre o segmento norte das províncias Ventuari-Tapajós e Maroni-Itacaiúnas (Tassinari & Macambira, 1999) possui uma importante indefinição no tocante à natureza e idade do substrato que foi envolvido na gênese do plutonismo granítico paleoproterozóico. Estudos isotópicos, especialmente de Nd, em rochas magmáticas, intrusivas em ambas as províncias, podem trazer informações úteis na resolução deste problema. As características isotópicas dos diferentes conjuntos de rochas magmáticas com ampla distribuição geográfica são interpretadas em termos da participação de componentes crustais e juvenis na petrogênese, comparativamente ao padrão isotópico das rochas do substrato adjacente tendo-se como parâmetro a evolução tectônica do Cráton Amazônico conforme concepção de Tassinari *et al.* (2000).

CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTECTÔNICO

Processos de acreção e retrabalhamento crustal, associados a sucessivos cinturões móveis desenvolvidos marginalmente a um núcleo primitivo, culminaram com a construção do Cráton Amazônico ao final do Mesoproterozóico (Teixeira *et al.*, 1989; Sato, 1998). Em especial, o cinturão colisional paleoproterozóico Maroni-Itacaiúnas retrata um evento juvenil importante do proto-cráton, que proporcionou a aglutinação de diversos fragmentos arqueanos, a exemplo do Complexo Imataca e outros núcleos primitivos relativamente maiores como o de Carajás

e do Cráton Oeste-Congo (p.ex., Tassinari & Macambira, 1999; Tassinari *et al.*, 2000). Deste modo, uma ampla massa continental atingiu estabilidade tectônica no final da orogenia Transamazônica (2,25 - 2,05 Ga), abrangendo frações paleogeográficas da Amazônia e África (NW), conforme sustentado por interpretações paleomagnéticas (Onstott & Hargraves, 1981; Vachette, 1998).

A região objeto do estudo abrange duas unidades tectônicas maiores no âmbito da parte setentrional do Cráton Amazônico, as quais se encontram parcialmente cobertas pelo Grupo Roraima e por vezes intrudidas por suítes rapakivi de idade mesoproterozóica (p.ex., Gibbs & Barron, 1983; Wynn *et al.*, 1993). São elas:

1. província Maroni-Itacaiúnas, representada por rochas metavulcano-sedimentares e terrenos metamórficos de médio a alto grau;
2. extremidade NW da província Ventuari-Tapajós, representada por uma associação predominantemente vulcano-plutônica (Figura 1).

Província Maroni-Itacaiúnas

Contém grande número de seqüências metavulcano-sedimentares (incluindo greenstone belts) paleoproterozóicas de baixo grau metamórfico e suítes TTG, além de rochas granulíticas, que se distribuem ao longo da margem Atlântica (Escudo das Guianas) e na contraparte africana (Cráton Oeste-Africano) – Gibbs (1980); Meyer & MacCallum (1993); Gibbs & Barron (1983); Vachette (1988). Dados geocronológicos U-Pb, Pb-Pb e Sm-Nd em rochas distribuídas ao longo de toda esta província indicam que os processos tectonomagmáticos ocorreram durante a orogênese Transamazônica, entre 2,25 e 2,05 Ga (p.ex., Posadas & Kalliokoski, 1967; Gibbs & Olszewski, 1982; Gruau *et al.*, 1985; Teixeira *et al.*, 1989; Lafon *et al.*, 1998; Vanderhaeghe *et al.*, 1998; Tassinari *et al.*, 2000).

Em sua extremidade ocidental, o conjunto de rochas metavulcanosedimentares, paragneisses, migmatitos e granitóides constitui a subprovíncia Pastora-Barama-Mazaruni (p.ex., Gibbs & Barron, 1983; Wynn *et al.*, 1993). Em território venezuelano, estas associações litológicas correspondem ao Supergupo Pastora de *trend* NE-SW, o qual por sua vez se subdivide nos grupos Carichapo (inferior) e Pastora. O primeiro grupo corresponde a uma seqüência de anfíbolitos e anfíbolio-xistos (cujo protólito foi provavelmente constituído de material máfico), metagrauvacas e meta-arcósios subordinados. O Grupo

Pastora é formado por rochas metavulcânicas e metassedimentares imaturas (metagrauvacas, meta-arcósios), filitos e quartzitos manganésíferos subordinados. Todas as unidades citadas foram afetadas por dobramento, metamorfismo e intensa atividade magmática vinculada à orogênese Transamazônica (Sidder & Mendoza, 1995).

Também integrante da Província Maroni-Itacaiúnas em território venezuelano, o Complexo Supamo inclui paragneisses, xistos, migmatitos e rochas ortoderivadas de afinidade cálcica (p.ex., granitóide Supamo). Plútons trondhjemiticos deste complexo, intrusivos nas seqüências vulcano-sedimentares do Supergrupo Pastora (Wynn *et al.*, 1993), possuem idades U-Pb entre 2,23 e 2,05 Ga (Klar, 1979). O Complexo Supamo inclui ainda uma segunda geração de plútons representada por rochas graníticas tardi- a pós-tectônicas com alto potássio e afinidade cálcio-alcalina (Sidder & Mendoza, 1995).

Tectonicamente justaposto às unidades paleopro-

terozóicas, na extremidade ocidental do Escudo das Guianas, o Complexo Imataca (Arqueano) foi parcialmente retrabalhado por eventos mais jovens (Sato & Tassinari, 1997; Tassinari *et al.*, 2000). Representa um bloco crustal com direção NE-SW, constituído predominantemente por paragneisses de facies de médio a alto grau metamórfico, parcialmente migmatizados, além de rochas ortoderivadas (p.ex., Sidder & Mendoza, 1995).

Dobramentos isoclinais e tectonismo polifásico foram importantes na evolução geológica do complexo, a exemplo do Sistema Guri (Swapp & Onstott, 1989): uma zona de falhamentos múltiplos, situada ao longo da sua borda sudeste, que baliza o contato abrupto com as rochas supracrustais do domínio Supamo-Pastora (Figura 1). Dados paleomagnéticos do Complexo Imataca e de rochas coevas na contraparte africana, posicionam o Sistema Guri contíguo às falhas Sassandra (Costa do Marfim) e Zednes (Mauritânia) (Onstott & Hargraves, 1981; Vachete, 1988), dando suporte à idéia da existência pretérita de uma extensa massa continental, ao final da orogênese Transamazônica.

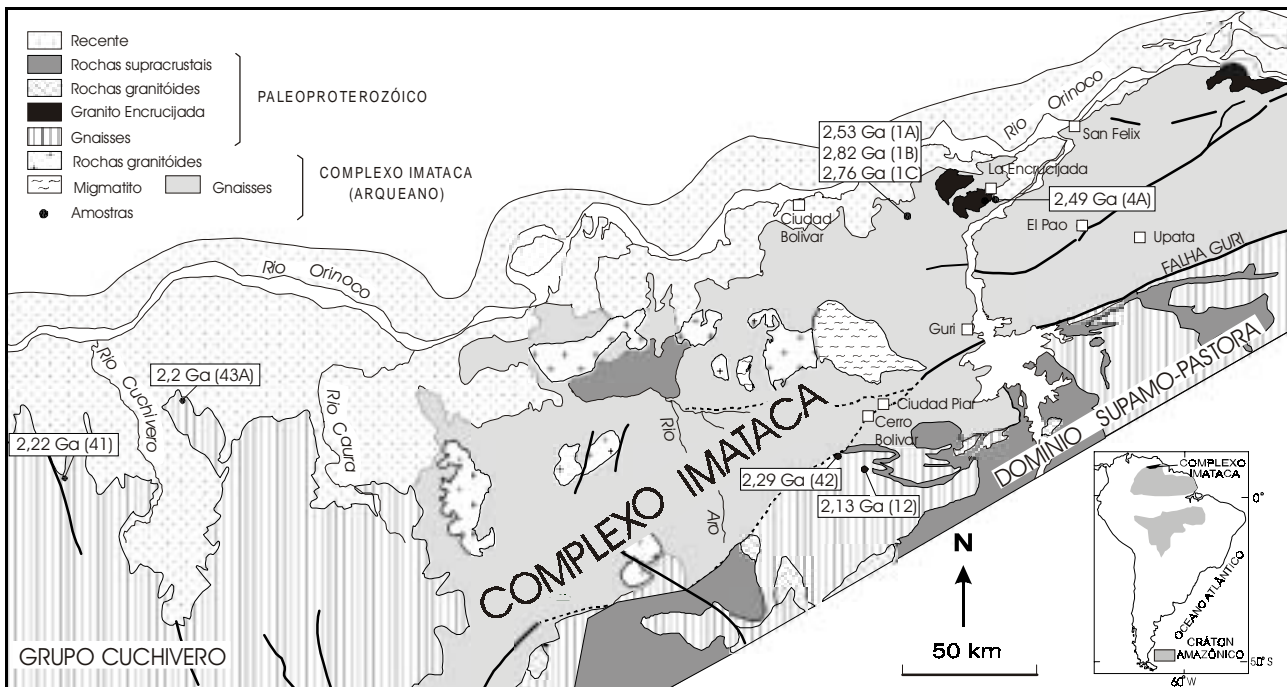


Figura 1. Esboço geológico do setor ocidental do Escudo das Guianas (adaptado de Wynn *et al.*, 1993), destacando as três unidades geotectônicas maiores que se acham intrudidas pelo plutonismo paleoproterozóico, objeto da presente investigação: Complexo Imataca, domínio Supamo-Pastora (Província Maroni-Itacaiúnas) e Grupo Cuchivero (Província Ventuari-Tapajós). A localização das amostras e respectivas idades modelos T_{DM} estão também representadas. Ver texto para detalhes.

Província Ventuari-Tapajós

Compreende uma associação granito-gnáissica cálcio-alcalina com intercalação de rochas sedimentares e vulcânicas, denominada de Grupo Cuchivero, caracterizada por Tassinari & Macambira (1999) como um arco magmático juvenil de idade paleoproterozóica tardia.

No setor norte da província (Venezuela) as rochas granito-gnáissicas possuem composição quartzo-diorítica, granodiorítica a granítica (Barrios, 1983; Wynn *et al.*, 1993). As rochas vulcânicas do Grupo Cuchivero (Formação Caicara) englobam tufos, lavas, além de diques e intrusões granofíricos. Cabe notar, contudo que, ocorrências de rochas vulcânicas na província Amazônia Central, tentativamente correlacionadas na literatura à Formação Caicara, são interpretadas como por Tassinari *et al.* (2000) como distintas e mais antigas (porém ainda paleoproterozóicas) que esta unidade, sendo como tal correlacionáveis ao Grupo Surumu de grande distribuição geográfica na parte norte do Cráton. Esta concepção é aqui adotada – vinculando, portanto, a Formação Caicara exclusivamente à associação predominantemente plutono-vulcânica exposta na província Ventuari-Tapajós.

Esta associação exhibe *trend* NW-SE, ortogonal à estruturação ao ramo ocidental da província Maroni-Itacaiúnas (e do Complexo Imataca), embora o nível de conhecimento geológico regional ainda impeça delimitar o limite entre ambas as províncias. De outra parte, essa característica estrutural distinta das rochas da província Ventuari-Tapajós é coerente com o seu padrão geocronológico mais jovem relativamente aos domínios adjacentes. As idades U-Pb e Rb-Sr em gnaisses e granitóides concentram-se entre 1,98 e 1,83 Ga (Gaudette & Olsewski, 1981; Brooks *et al.*, 1995; Tassinari *et al.*, 1996). Já o episódio de diferenciação mantélica da província Ventuari-Tapajós ocorreu entre 2,1 e 2,0 Ga, conforme corroborado por idades modelo T_{DM} e valores de $\epsilon_{Nd(2,1Ga)}$ positivos (Sato, 1998), portanto em época pouco anterior ao intervalo temporal proposto por Tassinari & Macambira (1999).

ACERVO GEOCRONOLÓGICO

Dados geocronológicos do Escudo das Guianas e do Cráton do Oeste-África demonstram a importância dos eventos arqueanos e paleoproterozóicos durante a evolução geológica (Teixeira *et al.*, 1989; Meyer & MacCallum, 1993). Em especial, o conjunto de dados isotópicos permite destacar os seguintes marcos evolutivos em território

venezuelano:

a. Metamorfismo de alto grau e eventos tectono-magmáticos, responsáveis pela construção do Complexo Imataca, ocorreram entre 2800 - 2700 Ma e posteriormente entre 2150 - 2000 Ma, conforme evidenciado por determinações radiométricas Rb-Sr e Pb-Pb (Hurley *et al.*, 1968, 1972, 1976; Montgomery & Hurley, 1978; Montgomery, 1979). Isto demonstra a natureza policíclica da evolução crustal. Em adição, estes autores reportaram idades U-Pb em feldspatos em rochas granulíticas da região de Guri entre 3,4 e 3,7 Ga, interpretadas tentativamente como idades primárias do Complexo Imataca.

b. Datações U-Pb SHRIMP em cristais de zircão detriticos em aluviões do rio Orinoco que se situa ao longo da borda leste do Complexo Imataca (Goldstein *et al.*, 1997) reiteram o caráter policíclico da evolução crustal, com base na ampla variação de idades com picos em 2,8 Ga, 2,1 Ga e 1,0 Ga (Figura 2). Contudo, um grande número de zircões indicou idades significativamente menores (0,5 a 0,1 Ga), denunciando a participação de fontes crustais outras que o próprio complexo na constituição dos sedimentos fluviais.

c. Análises isotópicas Sm-Nd, Rb-Sr e U-Pb SHRIMP em zircão de gnaisses de médio a alto grau metamórfico do Complexo Imataca (Teixeira *et al.*, em preparação) definiram dois períodos principais de geração crustal, entre 3,25 - 3,00 Ga e 2,9 - 2,8 Ga, portanto não corroborando interpretações anteriores com base em datações U-Pb em feldspatos (ver item “a”). Por outro lado, isócrona Rb-Sr

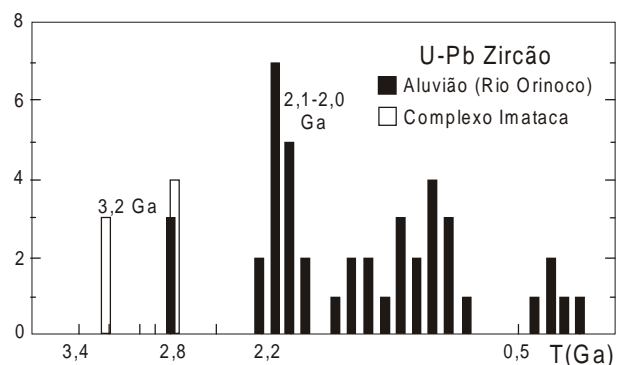


Figura 2. Histograma de idades U-Pb SHRIMP em cristais de zircão detriticos de sedimentos fluviais do rio Orinoco (Goldstein *et al.*, 1997).

em mobilizados félsicos de gnaisses reafirma a importância de processos de fusão parcial, produzidos por metamorfismo regional de alto grau, ocorridos entre 2,78 - 2,67 Ga.

d. Isócronas Rb-Sr em granulito finamente bandado da região de Guri forneceram idades entre 2020 - 1900 Ma ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0,7404$). Estas idades foram interpretadas como registro local de um metamorfismo de alto grau associado à orogênese Transamazônica, e que nesta região foi acompanhado de deformação por cisalhamento (Hurley *et al.*, 1976).

e. Errócrona Rb-Sr em rocha total para o granito Encrucijada, um dos vários plútons intrusivos no Complexo Imataca, indicou idade de 2187 ± 94 Ma e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0,7010 \pm 0,0011$ (dados recalculados, com erros 2σ , de Posadas & Kalliokoski, 1967). Esta idade, apesar de pouco precisa, sinaliza que a geração deste plúton está vinculada à orogênese Transamazônica (Figura 3).

f. Idades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em hornblenda em diferentes rochas do Complexo Imataca revelaram que o resfriamento regional, por conta do soerguimento crustal se deu pouco após o final da orogênese Transamazônica, há cerca de 1,85 Ga (Onstott *et al.*, 1989). Em adição, outras idades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ reportadas, entre 1,7 e 1,1 Ga, evidenciaram que setores da crosta sofreram reativações tectônicas, a exemplo da região ao longo do Sistema de falhas Guri.

CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS PLUTÔNICAS

Os plútons objeto da investigação isotópica são principalmente intrusivos no Complexo Imataca e no Complexo Supamo (Província Maroni-Itacaiúnas). Em adição, foram estudadas rochas intrusivas do Grupo Cuchivero na Província Ventuari-Tapajós.

A seguir são apresentadas as principais características das diferentes unidades plutônicas investigadas.

No âmbito do Complexo Imataca, as rochas plutônicas intrusivas situam-se na sua parte setentrional nas proximidades de Ciudad Bolívar, a oeste do rio Caroni (Figura 1). O conjunto representa a Suíte Encrucijada (Kalliokoski, 1965; Posadas & Kalliokoski, 1967; Sidder & Mendoza, 1995), constituída por granitos, granodioritos e

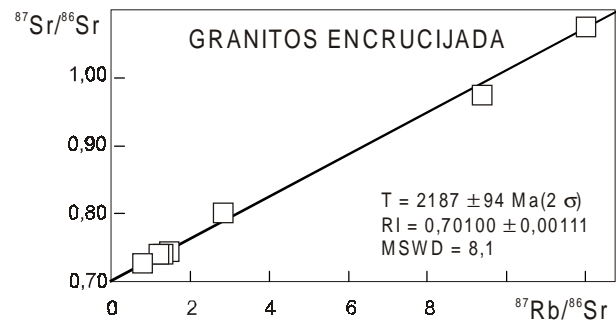


Figura 3. Diagrama Isocrônico Rb-Sr em rocha total para o Granito Encrucijada (dados recalculados de Posadas & Kalliokoski, 1967).

principalmente quartzo-monzonitos porfíricos. Estas rochas apresentam fenocristais de microclínio, são cinza a róseas e de granulação média a grossa. As quantidades de microclínio e plagioclásio são semelhantes, ocorrendo ainda quartzo (15 - 30%), biotita (2 - 8%), hornblenda (5%) e muscovita (rara). A biotita e/ou hornblenda formam uma tênue foliação mineral que é localmente planar. Contudo, as rochas nas proximidades de zonas de cisalhamento exibem foliação penetrativa e estruturas "flaser". Os minerais acessórios são: zircão, apatita e epidoto.

No caso das amostras aqui estudadas, observa-se uma textura alotriomórfica-granular porfírica. Os fenocristais são tanto de microclínio, com pequenas zonas equidimensionais de pertita em manchas, como, em menor proporção, de plagioclásio zonado. A matriz apresenta granulação fina a média, formada por microclínio, plagioclásio e quartzo com abundantes inclusões. Intersticialmente ocorrem biotita, hornblenda, apatita, zircão, allanita e minerais opacos.

Os plútons situados em setores mais internos do Complexo Imataca apresentam composição granítica com plagioclásio anti-pertítico variando de 30 a 37% (oligoclásio), feldspato potássico pertítico (30 a 40%) e conteúdo variável de biotita (5 a 15%), com o quartzo apresentando extinção ondulada. Muscovita, apatita e zircão são os minerais acessórios.

Os plútons do Complexo Supamo e Grupo Cuchivero apresentam estrutura maciça e localmente foliada. Geralmente exibem granulação média a grossa, texturas equigranular a porfírica, e composição granítica a granodiorítica. Os granitos contêm plagioclásio variando de 30 a 35%, feldspato potássico pertítico (40 a 42%) e biotita (5 a 10%), além de quartzo. Apresentam como mine-

rais acessórios apatita, muscovita, hornblenda e titanita. Já os granodioritos contêm plagioclásio anti-perfítico variando de 36 a 40% (andesina), feldspato potássico (15 a 20%), hornblenda (5 a 10%), quartzo e eventualmente titanita (até 7%). Como minerais acessórios aparecem allanita, epidoto, muscovita e zircão.

PROCEDIMENTO ANALÍTICO Sm - Nd

Foram analisadas 8 amostras representativas de diferentes corpos graníticos intrusivos no Complexo Imataca e no domínio geográfico Supamo-Pastora, bem como representantes plutônicos do Grupo Cuchivero (Figura 1, Tabela 1). As análises foram realizadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, e fizeram parte de um projeto de iniciação científica CNPq/PIBIC (M. Mondin).

No CPGeo os valores médios medidos para os padrões de Nd La Jolla e BCR-1 são: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,511849 \pm 0,000025$ e $0,512662 \pm 0,000027$, respectivamente, com nível de erro de 1σ . Erros máximos medidos das razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ são de 0,004% e 0,1% com nível de precisão de 2σ e 1σ , respectivamente. Os procedimentos analíticos acham-se reportados em Sato *et al.* (1995) e Sato (1998). As razões isotópicas foram obtidas com erro estatístico 2σ em espectrômetro de massa multi-coletor VG 354. O branco para o ataque químico, durante a preparação das análises do CPGeo, foi 0,4 ng para Nd e 0,7 ng para Sm.

Os cálculos de idade-modelo foram baseados em valores para o manto empobrecido, utilizando os parâmetros: $a = 0,25$; $b = -3$; $c = 8,5$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ para normalizar as razões isotópicas. Os valores do Reservatório Uniforme Condritico (CHUR) utilizados foram:

$$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} (\text{CHUR})_0 = 0,512638 \text{ e}$$

$$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} (\text{CHUR})_0 = 0,1967$$

Duas amostras tiveram o cálculo de idade segundo o modelo duplo-estágio (Sato, 1998), uma vez que apresentaram $f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$ anômalos (amostras 1A e 12; Tabela 1). Os parâmetros $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ foram calculados usando a equação simplificada:

$$\epsilon_{\text{Nd}}(T) = \epsilon_{\text{Nd}}(0) - Q_{\text{Nd}} f_{\text{Sm}/\text{Nd}} T$$

Com valores do CHUR mencionados anteriormente e $Q_{\text{Nd}} = 25,09$ (De Paolo *et al.*, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Oito análises Sm-Nd em rocha total (Tabela 1) nos plútons intrusivos localizados nos compartimentos tectônicos já citados foram obtidas a partir de amostragem realizada pelos autores e exemplares cedidos pelo Ministério de Energia e Minas da Venezuela. Estes dados foram interpretados tendo por comparação o padrão isotópico do Complexo Imataca (Tabela 2) (Teixeira *et al.*, em preparação). Para fins da caracterização dos aspectos petrogenéticos das diferentes ocorrências, os parâmetros de ϵ_{Nd} foram modelados para a idade de referência 2,1 Ga, muito embora se reconheça a necessidade de melhor controle geocronológico (p.ex. SHRIMP) dos corpos investigados.

Com base na compilação geocronológica e adotando-se o modelo evolutivo de Tassinari *et al.* (2000), a Suíte Encrucijada (2187 ± 94 Ma) representaria o reflexo tectonomagmático da orogênese Transamazônica no interior do Complexo Imataca em decorrência da evolução da Província Maroni-Itacaiúnas. A magnitude deste evento pode ser extrapolada com base na geocronologia U-Pb SHRIMP em cristais de zircão detríticos dos sedimentos do rio Orinoco (Goldstein *et al.*, 1997), que revelam uma concentração de idades entre 2,1 e 2,0 Ga (Figura 2). Por outro lado, os plútons do Complexo Supamo (2,20 - 2,05 Ga) e Grupo Cuchivero (1,98 - 1,83 Ga), que, conforme Sidder & Mendoza (1995), vincular-se-iam, respectivamente, às etapas sintectônica e tardi- a pós-tectônica da orogênese Transamazônica, na verdade estariam associados, respectivamente, à evolução das Províncias Maroni-Itacaiúnas e Ventuari-Tapajós, de acordo com a concepção tectônica de Tassinari & Macambira (1999).

Os granitóides tipo Encrucijada (Figuras 1 e 3) foram estudados por meio de quatro análises Sm-Nd (CTWT-1A, B, C e CTWT-4A), que forneceram idades T_{DM} entre 2,82 e 2,49 Ga (Tabela 1). Os valores sistematicamente negativos de $\epsilon_{\text{Nd}(2,1\text{Ga})}$ (-2,24; -4,20; -4,64; -4,93) sugerem uma gênese por fusão parcial predominante de materiais da crosta inferior profunda com participação de componentes arqueanos. Esta interpretação é também corroborada pela variação das idades T_{DM} (Tabela 1) e pela baixa razão inicial Rb/Sr da errócrona disponível para esta suíte (RI = 0,7010) – ver item anterior. Tais características são consistentes com a composição litológica do Comple-

Tabela 1. Dados analíticos Sm-Nd em rocha total para os corpos plutônicos investigados e principais características petrográficas.

Rocha (AMOSTRA)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	T_{DM} (Ga)	$\epsilon_{(0)}$	ϵ_{TDM}	$\epsilon_{(2,1 \text{ Ga})}$	Coord. (UTM)	Localização**	Textura
Granito (1A)	0,0743	0,510742	-0,62	2,53*	-36,99	2,50	-4,20	474362 e 892011	La Encrucijada-Ciudad Bolívar	Inequigranular granoblástica
Granodiorito (1B)	0,1217	0,511355	-0,38	2,82	-25,03	2,01	-4,93	474362 e 892011	La Encrucijada - Ciudad Bolívar	Inequigranular granoblástica anfibolítica
Granito (1C)	0,1173	0,511310	-0,40	2,76	-25,91	2,10	-4,64	474362 e 892011	La Encrucijada - Ciudad Bolívar	Inequigranular granoblástica
Granito (4A)	0,1023	0,511310	-0,48	2,49	-27,52	2,55	-2,24	502675 e 892312	La Encrucijada	Inequigranular n. grossa granoblástica
Granodiorito (12)	0,1394	0,512008	-0,29	2,13*	-12,29	3,24	3,05	455471 e 800889	Sudoeste de Cerro Bolívar	Inequigranular fibrosa
Granito (42)	0,1064	0,511436	-0,46	2,29	-23,45	2,93	0,74	n. d.	Sul de Cerro Bolívar	Inequigranular s. granoblástica
Granito (41)	0,1066	0,511489	-0,46	2,22	-22,41	3,07	1,72	n. d.	Entre rios Caura e Cuchivero	Granoblástica fibrosa porfiroclástica
Granodiorito (43A)	0,1076	0,511506	-0,45	2,21	-22,08	3,07	1,77	n. d.	Entre rios Caura e Cuchivero	Granoblástica fibrosa hipidiomórfica retilínea

Obs: Suíte Encrucijada (1A, B, C) 4A; Complexo Supamo (12, 42); Grupo Cuchivero (41, 43A).

n. d. = não disponível (amostra de litoteca). * Idades duplo-estágio. ** A localização das amostras encontra-se na Figura 1.

Tabela 2. Características isotópicas Sm-Nd das rochas do Complexo Imataca (Teixeira et al., em preparação).

Rochas	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	T_{DM} (Ga)	$\epsilon_{(0)}$
Gnaisses	0,1201 - 0,1237	0,511132 - 0,511052	3,16 - 3,44	-29,38 a -30,94
Granulitos	0,1003 - 0,1201	0,510373 - 0,510855	3,08 - 3,16	-34,80 a -44,20
Mangeritos	0,0949 - 0,1554	0,510778 - 0,511813	2,93 - 3,11	-36,28 a -16,09
Granitóides	0,996 - 0,1717	0,511104 - 0,512131	2,61 - 3,08	-9,89 a -29,92

xo Imataca que hospeda esses plútons (Teixeira *et al.*, em preparação), sendo também coerente com a proposta de origem catazonal para esta suíte (Kalliokoski, 1965). Portanto, trata-se de granitos paleoproterozóicos com uma assinatura isotópica de Nd tipicamente de mistura com protólitos arqueanos, conforme sugerem os gráficos de correlação isotópica (Figuras 4 e 5).

De outra parte, os dois plútons representantes do Complexo Supamo (CTWT-12 e 42, Tabela 1) revelaram idades T_{DM} paleoproterozóicas, a semelhança dos dois granitóides do Grupo Cuchivero (CTWT - 41 e 43A; Tabela 1). As idades T_{DM} obtidas foram, respectivamente, de 2,13 Ga (12), 2,29 Ga (42), 2,22 Ga (41) e 2,21 Ga (43A). Adicionalmente, os valores de $\epsilon_{Nd(2,1Ga)}$ calculados positivos (+0,74 a +3,05), indicando que um componente juvenil paleoproterozóico foi importante na gênese desses plútons. Esta interpretação pode inclusive extrapolada para o plutonismo do Grupo Cuchivero que, embora apresente idades relativamente mais jovens (1980 e 1830 Ma; Gaudette & Olsewski, 1981), possui valores de $\epsilon_{Nd(t)}$ ainda positivos. Portanto, as características isotópicas do plutonismo paleoproterozóico reforçam a hipótese do caráter predominantemente juvenil das províncias Maroni-Itacaiúnas e Ventuari-Tapajós.

A assinatura genética dos plútons paleoproterozóicos estudados (ver seção anterior) foi também comparada com as características isotópicas das rochas arqueanas policíclicas do Complexo Imataca (Figuras 4 e 5), como forma de melhor ilustrar a gênese das diferentes amostras (Figura 1; Tabelas 1 e 2). O diagrama $^{143}Nd/^{144}Nd$ vs. $^{147}Sm/^{144}Nd$ (Figura 4) sugere que as diferenças genéticas estão vinculadas à distribuição geográfica dos plútons no interior do Complexo Imataca, representado por padrões de variação, específicos das razões isotópicas. Nesse comportamento, distingue-se a maior variação das razões $^{147}Sm/^{144}Nd$ do conjunto formado pelos plútons Cuchivero e Supamo e de suas razões $^{143}Nd/^{144}Nd$, as quais tendem a ser mais elevadas que as obtidas para os plútons da Suíte Encrucijada e do Complexo Imataca (Figura 4). Neste diagrama as amostras dos plútons Cuchivero apresentam razões $^{143}Nd/^{144}Nd$ mais radiogênicas do que as rochas do Complexo Imataca, sugerindo que este complexo não contribuiu para o magma parental destes granitóides paleoproterozóicos.

No caso da suíte Encrucijada, o comportamento dos dados isotópicos de Nd no diagrama de evolução isotópica (Figura 5), reforça a hipótese de que os protólitos são predominantemente derivados do substrato arqueano (Complexo Imataca), cujo campo evolutivo tem superposição parcial com as evoluções isotópicas das amostras desta

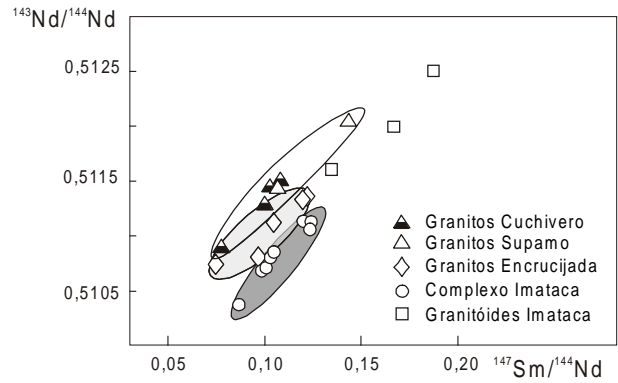


Figura 4. Diagrama $^{143}Nd/^{144}Nd$ vs. $^{147}Sm/^{144}Nd$ para os plútons paleoproterozóicos do setor ocidental do Escudo das Guianas. Dados inéditos do Complexo Imataca (Teixeira *et al.*, em preparação) estão representados para interpretação comparativa. Os dados analíticos utilizados estão apresentados nas tabelas 1 e 2.

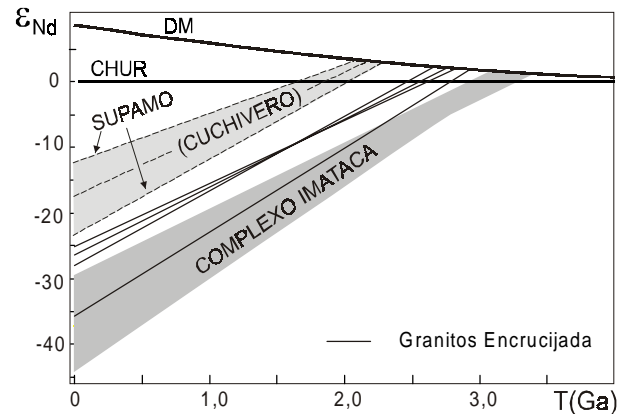


Figura 5. Diagrama de evolução isotópica de Nd para as rochas graníticas paleoproterozóicas. Campo isotópico de materiais do Complexo Imataca está também representado para comparação. Os dados analíticos utilizados estão apresentados nas tabelas 1 e 2.

suíte. Por outro lado, no caso dos granitos tipo Cuchivero e Supamo a evolução isotópica é novamente distinta e claramente dissociada do campo evolutivo do Complexo Imataca. Este fato demonstra que os protólitos destas duas unidades plutônicas, situadas em províncias geocronológicas distintas, são paleoproterozóicos, conforme já comentado.

SÚMULA DA EVOLUÇÃO CRUSTAL E CONCLUSÕES

Foram estudados, no contexto isotópico, diversos corpos de granitóides paleoproterozóicos (2,20 – 1,90 Ga) que ocorrem nas províncias adjacentes Maroni-Itacaiúnas (que inclui o Complexo Imataca) e Ventuari-Tapajós. Os resultados obtidos, comparados com o quadro geocronológico regional, permitiram delinear a história crustal do setor NW do Cráton Amazônico.

A evolução geológica do Complexo Imataca foi pontuada por vários eventos tectonomagmáticos que envolveram retrabalhamento crustal e adição subordinada de material juvenil, durante o Arqueano e Paleoproterozóico. Esta interpretação pode ser extrapolada a partir do conjunto de idades das rochas do próprio complexo arqueano e também com base no histograma de dados geocronológicos SHRIMP para cristais de zircões detríticos (Figura 2; Goldstein *et al.*, 1997). Neste histograma, destaca-se a concentração de idades radiométricas entre 2,2 e 2,0 Ga, que refletem episódios tectonomagmáticos associados à orogenia Transamazônica. Tal situação, ao lado de evidências geológicas (deformação polifásica, falhas, zonas de cisalhamento, retrabalhamento crustal), é coerente com um processo de justaposição tectônica do Complexo Imataca à província Maroni-Itacaiúnas durante a orogênese Transamazônica. Dados geocronológicos, em conjunto com evidências isotópicas de rochas distribuídas no Escudo das Guianas (p.ex., Gibbs & Barron, 1993), retratam a evolução de um arco magmático cálcio-alcalino (2250 a 1950 Ma), que envolveu processos deformacionais e magmáticos, associados a uma margem convergente paleoproterozóica. Esta evolução, por sua vez, propiciou a aglutinação de diversos outros fragmentos primitivos dos proto-crátons Amazônico (p.ex., Carajás) e Oeste África, conforme sustentado por evidências paleomagnéticas (p.ex., Tassinari *et al.*, 2000, Vachete, 1988).

Neste contexto paleotectônico, a origem dos granitóides aqui investigados estaria vinculada a diferentes etapas do processo colisional transamazônico. Com base na distribuição geográfica das idades modelo T_{DM} (Figura 1), em conjunto com as evidências isotópicas de Nd caracteristicamente juvenis em parte das rochas graníticas (p.ex., Complexo Supamo) e orto-anfibolíticas (Teixeira *et al.*, em preparação), sugere-se que a extremidade sudeste do Complexo Imataca é constituída por material predominantemente acrecionado no Paleoproterozóico - sinalizando se tratar, na verdade, de segmento crustal que integra a província Maroni-Itacaiúnas. Dados

isotópicos adicionais são necessários para comprovar esta hipótese.

Os granitos paleoproterozóicos (2190 Ma) da Suíte Encrucijada apresentam uma assinatura isotópica de mistura com predominância de protolitos arqueanos, conforme sugerem as idades T_{DM} entre 2,8 e 2,5 Ga e $\epsilon_{Nd(t)}$ negativos (-2 a -5), bem como os gráficos de correlação isotópica (Figuras 4 e 5). De outra parte, os plútons do Complexo Supamo são de natureza predominantemente juvenil, por derivação de material com curta vivência crustal (idades T_{DM} entre 2,29 e 2,13 Ga). Com base em idades U-Pb reportadas (2230 - 2050 Ma; Gibbs & Barron, 1983), estas rochas intrusivas representariam a etapa sintectônica da orogenia Transamazônica.

No âmbito da província Ventuari-Tapajós, as rochas graníticas do Grupo Cuchivero apresentam idades radiométricas comparativamente mais jovens, entre 1980 e 1830 Ma. Com base nas idades T_{DM} paleoproterozóicas (2,3 a 2,1 Ga), estas rochas representam, similarmente, materiais juvenis, conforme atestam os valores de $\epsilon_{Nd(2,1Ga)}$ positivos (+0,74 até +3,05). Este conjunto de dados aliado ao padrão geocronológico da Província Ventuari-Tapajós (Tassinari *et al.*, 2000) sugere que a crosta continental arqueana do Complexo de Imataca não se prolonga para o interior desta Província. Portanto, esta última representa um segmento de crosta continental acrecionado ao Cráton Amazônico em épocas tardias do Paleoproterozóico, conforme já aventado anteriormente (p.ex., Tassinari *et al.*, 2000). Por extrapolação, o conjunto de dados isotópicos permite aventar a existência de uma sutura entre as províncias Maroni-Itacaiúnas e Ventuari - Tapajós. Esta hipótese é corroborada pelo *trend* regional das rochas desta província, que truncam as estruturas não só da província Maroni-Itacaiúnas como do bloco tectônico que constitui o Complexo Imataca. Não obstante, estudos geológicos de detalhe são necessários para comprovar esta hipótese.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro para a pesquisa da FAPESP e PRONEX, bem como ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica a um dos autores (M. Mondin). Agradecimentos também são devidos ao corpo técnico do CPGeo, à Cia. Minera SOPVEN S/A e ao Ministério de Minas da Venezuela, pelo apoio prestado. Agradecemos, finalmente, aos relatores do manuscrito pelas críticas construtivas apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRIOS, F. J. (1983) *Caracterização geocronológica da região amazônica da Venezuela*. São Paulo, 123p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BROOKS, W. E. ; GUERRA, A. ; NUNEZ, F. J. (1995) Gold prospecting in the Cerro Arrendajo study area, Estado Bolívar, Venezuela. *U. S. Geological Survey Bulletin*, n. B 2124, p. G1-G8.
- DEPAOLO, D. J.; LINN, A. M.; SCHUBBERT, G. (1991) The continental age distribution: methods of determining mantle separation ages from Sm-Nd isotopic data and application to the southwestern United States. *Journal of Geophysical Research*, v. 96, p. 2071-2088.
- GAUDETTE, H. E.; OLSZEWSKI JR., W. J. (1981) Geochronology of the basement rocks, Amazonas Territory, Venezuela. In: SYMPOSIUM AMAZONICO, Puerto Auyacucho, 1981. *Resúmenes*. Puerto Auyacucho. p. 24-25.
- GIBBS, A. K. (1980) *Geology of Barama-Mazaruni supergroup of Guyana*. 387p. Phd (Dissertation) - Harvard University Microfilms Intern. Ann. Aarbor MI, 81022054.
- GIBBS, A. K.; OLSZEWSKI JR., W. J. (1982) Zircon U-Pb ages of Guyana greenstone-gneiss terrane. *Precambrian Research*, v. 17, p. 199-214.
- GIBBS, A. K.; BARRON, C. N. (1983) The Guiana Shield reviewed. *Episodes*, v. 2, p. 7-14.
- GOLDSTEIN, S. L.; ARNDT, N. T.; STALLARD, R. F. (1997) The history of a continent from U-Pb ages of zircons from Orinoco River sand and Sm-Nd isotopes in Orinoco basin river sediments. *Chemical Geology*, v. 139, p. 271-286.
- GRUAU, G.; MARTIN, H.; LEVEQUE, B.; CAPDEVILA, R. (1985) Rb/Sr and Sm/Nd geochronology of lower Proterozoic granite-greenstone terrains in French Guiana, South America. *Precambrian Research*, v. 30, p. 63-80.
- HURLEY, P. M.; MELCHER, G. C.; PINSON JR., W. H.; FAIRBAIRN, H. W. (1968) Some orogenic episodes in South America by K-Ar and whole rock Rb-Sr datings. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 5, p. 633-638.
- HURLEY, P. M.; KALLIOKOSKI, J.; FAIRBAIN, H. W.; PINSON, W. H. (1974) Progress report on the age of granulite facies rocks in the Imataca Complex, Venezuela. In: INTER-GUAYANAS GEOLOGICAL CONFERENCE, 9., Caracas, 1974. *Memoria*. Caracas, Dirección Geología. p. 431-433. (Boletín de Geología, Publicación Especial, 6).
- HURLEY, P. M.; FAIRBAIRN, H. W.; GAUDETTE, H. E. (1976) Progress report on early Archean rocks in Liberia, Sierra Leone, and Guayana, and their general stratigraphic setting. In: WINDLEY, B.F. (ed.) *The early history of the earth*. Chichester, John Wiley. p. 511-521.
- KALLIOKOSKI, J. (1965) Geology of North-Central Guayana Shield, Venezuela. *Geological Society of America Bulletin*, v. 76, p. 1027-1050.
- KLAR, G. (1979) *Geology of the El Manteco-Guri and Guazipati areas, Venezuelan Guayana Shield*. Cleveland, 168p. Phd (Dissertation) - case Western reserve University,
- LAFON, J. M.; ROSSI, P.; DELOR, C.; AVELAR, V. G.; FARACO, M. T. C. (1998) Novas testemunhas de relíquias arqueanas em crosta continental paleoproterozóica (sudeste do Escudo das Guianas). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. *Anais*. Belo Horizonte, SBGMG. p. 64.
- MEYER, H. O. A.; MacCALLUM, M. E. (1993) Diamonds and their sources in the Venezuelan portion of the Guyana Shield. *Economic Geology*, v. 88, p. 989-998.
- MONTGOMERY, C. W. (1979) Uranium-Lead geochronology of the archean Imataca Series, Venezuelan Guayana Shield. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. v. 69, p. 167-176.
- MONTGOMERY, C. W.; HURLEY, P. M. (1978) Total-rock U-Pb systematics in the Imataca Series, Guayana Shield, Venezuela. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 39, p. 281-290.
- ONSTOTT, T. C.; HALL, C. M.; YORK, D. (1989) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Thermochronometry of the Imataca Complex, Venezuela. *Precambrian Research*, v. 42, p. 255-291.
- ONSTOTT, T. C.; HARGRAVES, R. B. (1981) Proterozoic transcurrent tectonics: palaeomagnetic evidence from Venezuela and Africa. *Nature*, v. 289, p. 131-136.
- POSADAS, V. G.; KALLIOKOSKI, J. (1967) Rb/Sr ages of the encrucijada granite intrusive into the Imataca complex, Venezuela. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 2, p. 210-214.
- SATO, K. (1998) *Evolução crustal da plataforma Sul Americana, com base na geoquímica isotópica Sm/Nd*. São Paulo, 299 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- SATO, K.; TASSINARI, C. C. G.; KAWASHITA, K.; PETRONILHO, L. (1995) O método geocronológico Sm-Nd no IG/USP e suas aplicações. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 67, n. 3, p. 315-336.
- SIDDER, G. B.; MENDOZA, V. S. (1995) Geology of the Venezuelan Guayana Shield and its relation to the Geology of the entire Guayana Shield. *U. S. Geological Survey Bulletin*, n. 2124 B, p. 1-33.
- SWAPP, S. M.; ONSTOTT, T. C. (1989) P-T-time characterization of the Transamazonian orogeny in the Imataca Complex, Venezuela. *Precambrian Research*, v. 42, p. 293-314.
- TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. (1999) Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v. 22, n. 3, p. 174-182.
- TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.; NUTMAN, A. P.; VAN SCHMUS, W. R.; BETTENCOURT, J. S.; TAYLOR, P. N. (1996) Geochronological systematics on basement rocks from the Rio Negro-Juruena Province (Amazonian Craton) and tectonic implications. *International Geology Review*, v. 38, n. 2, p. 161-175.
- TASSINARI, C. C. G.; BETTENCOURT, J. S.; GERALDES, M. C.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. (2000) The Amazonian cráton. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (eds.) *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, s.n. p. 41-95.
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. (1989) A review of the geochronology of the Amazonian Cráton: tectonic implications. *Precambrian Research*, v. 42, p. 213-227.
- VACHETTE, M. C. (1988) Le cráton Ouest-Africain et le bouclier Guyanais: un seul cráton au Protérozoïque inférieur? *Journal of African Earth Sciences*, v. 7, n. 2, p. 479-488.
- VANDERHAEGHE, O.; LEDRU, P.; THIÉMLEMONT, D.; EGAL, E.; COCHERIE, A.; TEGYEV, M.; MILÉSI, J. P. (1988) Contrasting mechanism of crustal growth: geodynamic evolution of the paleoproterozoic granite-greenstone belts of French Guiana. *Precambrian Research*, v. 92, p. 165-193.
- WYNN, J. C.; SIDDER, G. B.; GRAY, F.; PAGE, N.; MENDOZA, S. V. (1993) Geology and mineral deposits of the Venezuelan Guayana Shield. *U. S. Geological Survey Bulletin*, n. B2124, p. A1-A7.