UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOCRONOLÓGICO DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO: AVALIAÇÃO DE DADOS ISOTÓPICOS EM ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS—IMPLICAÇÕES NA EVOLUÇÃO CRUSTAL PRÉ-CAMBRIANA

WILSON TEIXEIRA

Concurso para Obtenção do Título de Livre-Docente do Departamento de Geologia Geral, Área de Conhecimento: Geologia Isotópica

SÃO PAULO
1992

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOCRONOLÓGICO DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO: AVALIAÇÃO DE DADOS ISOTÓPICOS EM ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS—IMPLICAÇÕES NA EVOLUÇÃO CRUSTAL PRÉ-CAMBRIANA

WILSON TEIXEIRA

DEDALUS - Acervo - IGC
30900005751

Concurso para Obtenção do Título de Livre-Docente do Departamento de Geologia Geral, Área de Conhecimento: Geologia Isotópica

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T 1152
U. S. P.

SÃO PAULO
1992

+
T266
W.C
e.3

Teixeira, Wilson

Contribuição ao conhecimento geocronológico do Cráton do São Francisco: avaliação de dados isotópicos em rochas ígneas e metamórficas - implicações na evolução crustal pré-cambriana /Wilson Teixeira. São Paulo: 1992.
172p. : 29il.

Tese (Livre - docência) - Instituto de Geociências/USP, 1992.

1. Geocronologia. 2. Evolução crustal - Geocronologia. 3. Cráton do São Francisco - Geocronologia. I. Título.

CDD 551.701

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 001

1.1. Metas e organização do trabalho..... 003

2. INVESTIGAÇÕES GEOCRONOLÓGICAS APLICADAS..... 006

2.1. Método Rb/Sr..... 007
2.1.1. Análise dos Principais Exemplos Brasileiros..... 010
2.1.2. Modelagem e Cálculos Radiométricos... 013

2.2. Método K/Ar..... 014

2.3 Investigações Complementares..... 018
2.3.1. Método U/Pb..... 018
2.3.1.1. Análise dos Principais Exemplos Brasileiros..... 023
2.3.2. Método Pb/Pb..... 027
2.3.3. Método Sm/Nd..... 031
2.3.3.1. Análise dos Principais Exemplos Brasileiros..... 034
2.3.4. Método $^{40}Ar/^{39}Ar$..... 040

3. ACERVO DE DATAÇÕES GEOCRONOLÓGICAS E DADOS ISOTÓPICOS DO CSF..... 043

3.1. Províncias Arqueanas..... 046
3.1.1. Província Arqueana Meridional..... 047
3.1.2. Província Arqueana Setentrional..... 055
3.1.2.1. Seqüências Supracrustais.... 063

3.2. Províncias do Proterozóico Inferior..... 066
3.2.1. Rochas de Infraestrutura..... 069
3.2.1.1. O Cinturão Itabuna..... 070
3.2.1.2. O Cinturão Correntina-Guanambi..... 073
3.2.1.3. O Cinturão Mineiro..... 074
3.2.2. Rochas de Supraestrutura..... 079
3.2.3. Plutonismo Granítico..... 082
3.2.3.1. Intrusivas do setor Setentrional..... 083
3.2.3.2. Intrusivas do setor Meridional..... 088
3.2.4. Plutonismo Alcalino..... 091
3.2.5. Atividades Ígneas Básicas..... 094

4. CARACTERIZAÇÃO GEOCRONOLÓGICA DO PROTEROZÓICO MÉDIO..... 100

5. ATIVIDADES ANOROGÊNICAS DO PROTEROZÓICO MÉDIO E SUPERIOR..... 103

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 107

6.1. A Edificação do Continente Arqueano..... 107

6.2. A Evolução da crosta no Proterozóico Inferior 110

6.3. Outras implicações decorrentes do conjunto de dados isotópicos do Proterozóico Inferior... 112

6.4. A pendência geocronológica das Seqüências Supracrustais..... 114

6.5. A história térmica das Províncias Crustais.. 116

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 120

ÍNDICE DAS TABELAS

TABELA 1: Características isotópicas de rochas ortoderivadas de diferentes níveis da Crosta e do Manto Superior..... 009

TABELA 2: Comportamento dos sistemas isotópicos Rb/Sr, U/Pb e Sm/Nd relativamente aos diferentes reservatórios terrestres..... 033

TABELA 3: Idades principais e características tectônicas do plutonismo granítico do CSF..... 090

TABELA 4: Sumário geocronológico para os principais enxames de diques máficos do CSF..... 098

ANEXO 1: Notações isotópicas..... 165

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1: Províncias geocronológicas do Escudo Canadense, segundo Stockwell (1982)..... 16

Figura 2: Dados comparativos entre zircões submetidos à técnica de abrasão e separação por Frantz, proposta por Krogh (1982a) e sem abrasão... 20

Figura 3: Diagrama U/Pb Concórdia para amostras de rochas metamórficas de Yaringa, Austrália (Page e Williams, 1988)..... 22

Figura 4: Diagrama empírico do comportamento da razão $^{238}U/^{204}Pb$ (μ_1) em diferentes compartimentos terrestres..... 28

Figura 5: Diagrama comparativo concórdia de idades isocrônicas Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$ em rocha total para rochas da parte sul do CSF (dados extraídos de Teixeira et al., 1987a)..... 29

Figura 6: Isócrona $^{207}Pb/^{206}Pb$ em rocha total para calcáreos com estromatólitos de seqüência "greenstone" no Zimbabwe meridional (Moorbath et al., 1987)..... 30

Figura 7: Diagrama isocrônico Sm/Nd para três rochas de corpo satélite do Complexo Cana Brava (Fugi, 1989)..... 32

Figura 8: Diagrama de evolução isotópica do Nd no tempo geológico, representado através dos reservatórios mantélicos (condrítico (CHUR) e manto empobrecido (DM)), extraído de Pimentel & Charnley (1991)..... 35

Figura 9: Diagrama de correlação de valores epsilons de Nd x valores de 1/Nd (recalculado para t=0) indicando a possibilidade de interação entre 2 fontes isotópicas (mistura simples) na formação de sedimentos arenosos fluviais da Bolívia e Perú (Basu et al., 1990)..... 37

Figura 10: Diagrama de correlação isotópica Nd x Sr, representado através de razões iniciais. Exemplo dos diques toleíticos de Olivença (O) - Ilhéus (I), adaptado de Bellieni et al. (1991a)..... 38

Figura 11: Exemplo clássico de diagrama de correlação Nd/Sr (recalculado para valores de epsilon) para rochas graníticas e xenólitos da Austrália (dados de McCulloch & Chappell, 1982)..... 39

Figura 12: Dois exemplos de espectros de idade "step heating" $^{40}Ar/^{39}Ar$ para biotitas do Complexo Pium, região da Serra de Carajás (Renne et al., 1988)..... 42

Figura 13: Províncias crustais do CSF e suas principais unidades geológicas (adaptado de Cordani & Brito Neves, 1982)..... 45

Figura 14: Esboço geológico das províncias geocronológicas da parte meridional do CSF..... 48

Figura 15: Quadro geocronológico da porção meridional da CSF..... 50

Figura 16: Localização e distribuição dos principais conjuntos de seqüências vulcano-sedimentares (incluindo "greenstone belts") de idade arqueana e/ou proterozóica inferior no CSF (adaptado de Inda et al., 1984)..... 54

Figura 17: Esboço geológico das províncias geocronológicas da parte setentrional do CSF..... 56

Figura 18: Quadro geocronológico da porção setentrional do CSF..... 58

Figura 19: Evolução crustal da parte setentrional do CSF, com base em isótopos de Sr de rochas selecionadas..... 60

Figura 20: Diagrama de evolução isotópica de Sr no tempo geológico para os complexos Caraíba e Uauá (adaptado de Bastos Leal, 1992)..... 62

Figura 21: Evolução crustal da parte meridional do CSF com base em isótopos de Sr de rochas selecionadas..... 75

Figura 22: Diagrama da evolução isotópica de Sr no tempo geológico para rochas da borda retrabalhada oriental de transição cratônica (CSF, parte meridional)..... 76

Figura 23: Histograma de idades aparentes K/Ar e Rb/Sr (mineral) em rochas de infraestrutura da porção meridional do CSF..... 77

Figura 24: Padrão geocronológico K/Ar da parte meridional do CSF..... 78

Figura 25: Gráfico Nd x Tempo para granitos intrusivos transamazônicos da Bahia, comparativamente às suas possíveis fontes crustais (Sabaté et al., 1990a,b)..... 86

Figura 26: Diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ x Tempo para os granitos intrusivos transamazônicos da província Itabuna, comparativamente a suas possíveis fontes crustais (Sabaté et al., 1990a)..... 86

Figura 27: Histograma de idades aparentes K/Ar no enxame de diques de Pará de Minas, MG (Teixeira, et al., 1988)..... 95

Figura 28: Diagrama isocrônico Rb/Sr para o dique máfico LR-34 no enxame de Uauá, Ba (Bastos Leal, 1992)..... 96

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A geocronologia tem assumido importância cada vez maior como ferramenta de apoio às pesquisas voltadas ao tema da evolução tectônica de áreas pré-cambrianas. Seu emprego atualmente transcende a definição da cronologia dos eventos geológicos, voltando-se principalmente ao estudo isotópico em combinação com aspectos geoquímicos na busca de elementos complementares para o entendimento da gênese e evolução de segmentos crustais e/ou unidades geológicas específicas.

Num paralelo com os países com tecnologia isotópica mais desenvolvida, onde as metodologias mais refinadas são uma rotina (e,g., U/Pb, Sm/Nd), o Brasil não alcançou ainda um progresso significativo quanto ao emprego sistemático dessas técnicas em complemento aos métodos tradicionais de datação (Rb/Sr e K/Ar), apesar de alguns avanços ocorridos; cumpriu-se satisfatoriamente uma fase de reconhecimento geocronológico, passando-se para uma etapa atual em que os estudos objetivam um detalhamento compatível com o conhecimento oriundo dos estudos estruturais, geoquímicos, metalogenéticos e geofísicos, entre outros.

Por outro lado, esses avanços são em parte decorrentes de uma mudança de mentalidade da própria comunidade científica brasileira que hoje aceita e reputa como necessária a geocronologia, como informação complementar aos mapeamentos geológicos e demais projetos congêneres incluindo os de pesquisa mineral. Adicionalmente, este progresso no conhecimento geocronológico do país é também produto dos esforços de pesquisadores interessados nessa especialidade de estudo. Tais iniciativas têm culminado num acesso maior e freqüente a laboratórios geocronológicos no exterior, através de programas de cooperação bilateral, assim propiciando a obtenção de dados

radiométricos muito precisos e com alto valor interpretativo.

Merecem destaque, nesse sentido, os programas desenvolvidos (ou em desenvolvimento) com a Universidade de Oxford e Open University (Inglaterra), Universidades de Kansas, Princeton e New Hampshire (EUA) e com instituições canadenses (Royal Ontario Museum e Geotop), australianas (National Australian University), holandesas (Laboratorium von Isotopen Geology), italianas (Pisa) e francesas (Universidade de Montpellier, Clermont Ferrand), entre outras. Seguramente, a continuidade desse intercâmbio e a interação dos resultados radiométricos produzidos com as múltiplas informações geológicas trarão, nos próximos anos, um salto qualitativo no entendimento da evolução crustal dos terrenos pré-cambrianos do Brasil.

Dessa empreitada, o Centro de Pesquisas Geocronológicas - CPGeo - do Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo tem participado ativamente, de longa data, através da capacitação técnica de seu grupo de pesquisadores, gradativa modernização de seus equipamentos e instalações, principalmente com vistas à implantação das rotinas radiométricas U/Pb e Sm/Nd no Brasil. Além disso, o CPGeo tem atuado como um centro formador de recursos humanos e gerador de pesquisas científicas, as quais - ressalte-se aqui - têm contado com o valioso auspício de instituições e agências de fomento à pesquisa e tecnologia (ex., FAPESP, CNPq, PADCT-FINEP, BID, AIEA, entre outras).

Como integrante do CPGeo, inicialmente como bolsista de iniciação científica, e posteriormente como pesquisador associado, docente do IGc da USP, e atualmente na qualidade de diretor desse Centro, o autor pode acumular cerca de 20 anos de atividade ininterrupta em geocronologia. Desse modo tornou-se possível acompanhar a grande maioria dos projetos envolvendo estudos geocronológicos no país.

Vários destes projetos tiveram uma ativa participação deste autor, inclusive no planejamento dos programas de datações. Dessa situação privilegiada decorre uma visão atualizada do cenário geocronológico do Brasil, permitindo esboçar, nesta oportunidade, o conhecimento geocronológico da região eleita como

modelo - o Craton do São Francisco (CSF) - e opinar acerca das alternativas existentes para o planejamento futuro da pesquisa radiométrica neste setor da plataforma Sul-Americana.

1.1. Metas e Organização do Trabalho

Do ponto de vista da escolha da região modelo, esta foi norteada pela própria linha mestra de estudo deste autor, cujas pesquisas têm-se centrado no tema da evolução crustal dos terrenos cratônicos, especialmente os da parte meridional do CSF. Especificamente, quanto aos objetivos desta síntese, a iniciativa vai de encontro à necessidade de uma revisão dos dados radiométricos que já atingem um número apreciável e tendo-se em mente a qualidade analítica e interpretativa particular de cada método, e os progressos alcançados no conhecimento geológico da região.

Grande parte dessa informação geocronológica é derivada de artigos publicados; de conjuntos de dados inéditos que tiveram o envolvimento do autor (direta ou indiretamente), quando da execução de projetos individuais, orientação de pós-graduandos e bolsistas, e/ou envolvimento em projetos de cooperação científica. O restante da informação geocronológica é proveniente de compilação bibliográfica, a mais completa possível, principalmente dos últimos sete anos, sendo esta aqui considerada como representativa para a síntese que se propõe.

Quanto à estrutura propriamente do trabalho, inicialmente são apresentados o estado de arte do conhecimento geocronológico nas várias metodologias radiométricas empregadas no estudo do Pré-Cambriano Brasileiro, bem como breves comentários acerca da conceituação teórica inerente aos métodos, além da terminologia adotada nesta síntese. Na discussão do acervo de datações do CSF é proposta a compartimentação geotectônica desta entidade com base no estabelecimento de províncias de idade, bem como são apresentadas informações consideradas relevantes para o contexto geológico-geocronológico. Nesta análise propriamente do conjunto de dados geocronológicos

são enfatizados os aspectos críticos das interpretações aventadas, tendo em vista uma concepção integrada dos resultados e metodologias empregadas, além da própria evolução pré-cambriana policíclica e implicações tectônicas decorrentes.

Figuras esquemáticas, tabelas e gráficos interpretativos são incorporados à discussão, quando pertinentes, no sentido de sintetizar e ilustrar o conhecimento disponível. Também como informação complementar é apresentado, ao final do texto, um anexo que contém um conjunto das principais notações isotópicas empregadas em geocronologia e geologia isotópica, tendo em vista o caráter essencialmente prático e acessível que se pretende dar ao presente trabalho.

Nas considerações finais são enumeradas as pendências constatadas e sintetizadas as alternativas de estudo na temática. Particularmente no tocante às conclusões e perspectivas de trabalho futuro, estas decorrem do cenário geológico ora conhecido, das concepções do autor acerca da evolução crustal pré-cambriana, e das propostas interpretativas particulares dos diferentes métodos de datação aplicados nas diferentes unidades do CSF.

Em suma, espera-se que o conjunto de informações aqui apresentadas logre auxiliar a comunidade científica na definição de futuros alvos de estudo, norteando o planejamento de projetos, em especial àqueles que possam eventualmente contar com datações por métodos mais refinados. Conseqüentemente, tem-se aqui também o intuito complementar de otimizar os custos operacionais dessas futuras iniciativas através da interpretação mais abrangente possível dos resultados a serem auferidos.

Finalmente, ao ensejo de trazer à coletividade geológica esta síntese acerca dos problemas ligados à geocronologia e geotectônica, o autor formula seus sinceros agradecimentos aos colegas e funcionários do CPGeo e IGc-USP pelo apoio logístico fundamental a esta iniciativa, e pelo estímulo e consideração concedidos no decorrer de uma prolongada e cordial convivência.

Expressa particularmente sua gratidão aos colegas B. B.

de Brito Neves, M. A. S. Basei, M. C. H. de Figueiredo e K. Kawashita pelas discussões e sugestões formuladas em várias etapas da elaboração deste trabalho. Da mesma forma, o autor deseja agradecer aos seus alunos bolsistas e pós-graduandos, cujas pesquisas desenvolvidas no CPGeo permitiram subsidiar, gradativamente, uma parcela importante do conhecimento geocronológico da área eleita para o presente estudo.

CAPÍTULO 2

INVESTIGAÇÕES GEOCRONOLÓGICAS APLICADAS

A questão científica fundamental da geocronologia está na determinação de idades de rochas e minerais, através da medida de elementos radioativos e seus produtos radiogênicos, no sentido de auxiliar estudos petrogenéticos e tectônicos, além das correlações crono-estratigráficas. No caso do Brasil, a importância dos dados isotópicos está refletida pelas muitas dezenas de milhares de datações radiométricas publicadas, desde a implantação do CPGeo no início da década de sessenta e, particularmente, pelo expressivo conjunto de datações disponíveis para o CSF.

De forma a ilustrar esse cenário, neste capítulo procede-se uma avaliação das metodologias geocronológicas empregadas em rochas pré-cambrianas do território brasileiro e do CSF em particular. As principais interpretações são aqui sintetizadas, tendo-se por objetivo traçar uma imagem atualizada do conhecimento no tema, bem como são apontadas as eventuais deficiências existentes.

Conforme já mencionado, os fundamentos dos métodos de datação não serão obrigatoriamente enfatizados nesse ensaio crítico, cujo objetivo prioritário é o de favorecer o entendimento da evolução crustal. Estes conceitos podem ser buscados na literatura especializada que será citada, quando pertinente, no decorrer do texto.

Os sub-capítulos seguintes estão organizados de modo a ressaltar as técnicas radiométricas mais corriqueiras (Rb/Sr e K/Ar), mas contemplando também outras metodologias, hoje ainda em uso relativamente limitado no Brasil, apesar de potencialmente importantes, como é o caso do U/Pb, Sm/Nd e $^{40}Ar/^{39}Ar$.

2.1. Método Rb/Sr

As características favoráveis relacionadas ao procedimento químico relativamente simples e a boa distribuição dos elementos Rb e Sr em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares vieram culminar com o emprego sistemático do método Rb/Sr no estudo da evolução pré-cambriana.

Na plataforma Sul-Americana, os estudos iniciados na década de sessenta fundamentaram um primeiro esboço da cronologia dos eventos geológicos em seus diferentes segmentos, com base essencialmente em idades "convencionais" (i.e, envolvendo razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ iniciais assumidas) e isocrônicas, em sua maioria, de cunho regional. Nesse sentido, apesar do valor científico desse acervo de dados, sua avaliação deve levar em conta o caráter de reconhecimento dos trabalhos então efetuados e o quadro de conhecimento geológico existente. Estudos de análise integrada de dados radiométricos foram realizados pelo autor em função dos trabalhos pioneiros do projeto RADAMBRASIL, IDESP e CPRM, bem como por outros pesquisadores do CPGeo através de convênios vários (e.g., Secretaria de Minas da Bahia no caso do CSF) que produziram um número apreciável de idades Rb/Sr no país.

Por outro lado, uma avaliação crítica dessa questão inerente à integração de dados também passa, obrigatoriamente, pelos problemas interpretativos do método Rb/Sr em decorrência da complexidade geológica regional. Por exemplo, em áreas policíclicas do Pré-Cambriano Brasileiro a definição geocronológica dos eventos maiores teve por base, muitas vezes, um conjunto de pontos analíticos, exibindo um padrão heterogêneo num diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr$ x $^{87}Rb/^{86}Sr$, distribuídos entre isócronas de referência*, representativas de uma evolução tectônica estabelecida de modo comparativo com domínios geológicos melhor conhecidos.

---

*Isócronas de referência correspondem a alinhamentos isotópicos de um conjunto de amostras de uma mesma unidade geológica, ou unidades geograficamente próximas com evolução isotópica temporal semelhante.

Examinando-se o contexto teórico do método Rb/Sr, no caso das rochas ígneas e metamórficas de alto grau estas têm produzido respostas geocronológicas geralmente coerentes, tendo em vista as condições mais favoráveis de distribuição equitativa de ^{87}Sr; permitindo assim ser atingido o equilíbrio isotópico nessas rochas (e.g., Faure & Powell, 1972; Faure, 1986). Nas primeiras o equilíbrio isotópico é alcançado durante a fase líquida pré-cristalização dos minerais ou durante o processo de cristalização fracionada.

No caso de rochas metamórficas normalmente ocorre a rehomogeneização isotópica do Sr (e.g., Vidal & Hunziker, 1989). Condições regionais de aumento de temperaturas com interação de fluídos, inclusive soluções aquosas, otimizam em geral as trocas isotópicas, podendo ocorrer inclusive aumento da distância de difusão de ^{87}Sr, que chega a alcançar escalas métrica ou até quilométrica (e.g., Bridgwater et al., 1989; Schalltegger-Bern, 1990; Barton & Van Reenen, 1992). Em conseqüência, as respostas da geologia isotópica em rochas metamórficas tendem a ser mais conclusivas no fácies anfibolito do que no fácies xisto verde em que o desequilíbrio isotópico freqüentemente prevalece (e.g., Asmeron et al., 1991).

Em condições metamórficas de fácies granulito, sendo os fluídos escassos, o equilíbrio isotópico é, em geral, dificultado. Sobretudo no tocante às rochas granulíticas empobrecidas em Rb, os sistemas geoquímicos Rb/Sr de materiais originados na crosta inferior e manto superior não são claramente distintos (Tabela 1). Nesses casos o emprego de métodos geocronológicos complementares é recomendável (e.g., Sm/Nd, U/Pb, Pb/Pb) de modo a estabelecer inequivocamente a origem dos protolitos (e.g., Vidal & Hunziker, 1989).

No caso específico de granitóides, mesmo que as evidências isotópicas de Sr sejam indicativas de uma assinatura crustal, as características detalhadas das fontes envolvidas na gênese são dificilmente estabelecidas somente com o uso da metodologia Rb/Sr, uma vez que pode ocorrer modificação na razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ original do sistema (e.g.,Sabaté et al., 1990a,b).

Também no contexto teórico, razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ iniciais muito elevadas de rochas granitóides não refletem necessariamente a razão isotópica da fonte, cujo sistema Rb/Sr pode ser inferior à do magma terminal extremamente evoluído; isto porque a razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ pode sofrer rápido aumento durante o próprio estágio magmático (e.g., Vidal et al., 1979).

Tabela 1: Características isotópicas de rochas ortoderivadas de diferentes níveis da Crosta e do Manto Superior

Nível crustal superior	Rb/Sr elevada	U/Pb elevada Pb radiogênico	
Nível crustal intermediário (fácies anfibolito)	Rb/Sr moderada a elevada	U/Pb baixa	Sm/Nd baixa
Nível crustal inferior (fácies granulito)	Rb/Sr baixa	Pb não radiogênico	
Manto Superior	Rb/Sr baixa	U/Pb elevada Pb radiogênico	Sm/Nd elevada

2.1.1. Análise dos Principais Exemplos Brasileiros

Atualmente no Brasil o método Rb/Sr começa a ser empregado em conjunto com outras metodologias radiométricas (K/Ar, e também U/Pb, $^{207}Pb/^{206}Pb$, Sm/Nd) na definição da natureza dos eventos tectônicos e no entendimento da evolução crustal, tendo por analogia o enfoque da literatura internacional no assunto (e.g., Taylor & McLennan, 1985; Kröner, 1987; Moorbath & Taylor, 1985; Page et al., 1984; Armstrong, 1990; Bickford et al., 1986; Condie, 1986; Dia et al., 1990; Corfu & Davis, 1990).

Adicionalmente, objetivos específicos (idade e origem de corpos ígneos, crono-estratigrafia de unidades litológicas, etc.) têm sido enfatizados com base no estudo da razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ (RI) e dados geoquímicos, comparativamente a modelos evolutivos propostos para o manto no tempo geológico (e.g., Faure & Powell, 1972; Faure, 1986), em alguns exemplos contando-se inclusive com o apoio de outros parâmetros petrogenéticos como o epsilon de Nd (e.g., Sabaté et al., 1990a,b; Bellieni et al, 1991a).

No âmbito das áreas tectonicamente estáveis da plataforma Sul-Americana, o acervo de idades Rb/Sr e sua distribuição geográfica permitiram a individualização de uma série de províncias geocronológicas pré-cambrianas. Nestas províncias, a coerência entre o padrão de idades radiométricas e os dados geológicos e *trends* estruturais regionais, ao longo de um dado domínio crustal, tem sido interpretada como decorrente da evolução de eventos maiores de acrescimento-diferenciação manto/crosta, conforme ilustrado para o CSF (e.g., Brito Neves et al., 1980; Cordani & Brito Neves, 1982; Teixeira, 1985; Teixeira et al., 1987a; Teixeira & Figueiredo, 1991) e o cráton Amazônico (e.g., Cordani et al., 1979; Teixeira & Tassinari, 1984; Teixeira et al., 1985b; 1989; Tassinari et al., 1984).

Em particular para a província Amazônia Central, interessante revisão geocronológica da granitogênese (Macambira et al., 1990) revelou a necessidade de reavaliar o significado

das idades isocrônicas Rb/Sr, tendo em vista as idades U/Pb em zircão. Estas últimas são relativamente mais antigas que as idades isocrônicas para alguns dos plutons datados, o que, se confirmado regionalmente, implicaria numa mudança temporal importante para a colocação do plutonismo do Proterozóico Médio no cráton Amazônico. A diferença constatada entre essas idades U/Pb e Rb/Sr vem ratificar, por outro lado, a maior sensibilidade do último método às transformações tardi pós-magmáticas e/ou a fenômenos de contaminação crustal, a semelhança de estudos realizados, por exemplo, em plutons do escudo Canadense (e.g., Beakhouse et al., 1988).

Nas faixas móveis da plataforma Sul-Americana (especialmente do Proterozóico Médio e Superior) persistem problemas interpretativos nos estudos Rb/Sr em razão do caráter policíclico desses domínios, e também pela própria tentativa de datação (geralmente não satisfatória) de rochas supracrustais de baixo grau metamórfico. Além disso, existem dificuldades inerentes às deficiências na correlação litoestratigráfica entre seqüências supracrustais expostas em cada domínio geotectônico. Mesmo nos casos de paragnaisses de fácies anfibolito, estes produzem respostas limitadas através dos estudos Rb/Sr, já que o equilíbrio isotópico dificilmente é atingido. Isto ocorreria porque na formação dessas rochas participam materiais oriundos de diferentes áreas, cada uma delas com evolução isotópica particular.

Assim, a alternativa que se tem mostrado eficaz para a discussão geocronológica das faixas móveis, está no exame das intrusivas graníticas sin, tardi- e pós-tectônicas ao evento orogênico, no sentido de melhor definir a questão cronoestratigráfica e tectônica desses domínios. Contribuições na resolução deste tema de estudo têm sido apresentadas para faixas dobradas do nordeste e sudeste brasileiro (e.g., Jardim de Sá et al., 1987; Basei, 1985; Heilbron et al., 1989; Siga Jr. et al., 1991; Vlach et al., 1991).

Especificamente, no âmbito da evolução do Sr em rochas ígneas seria oportuno, no caso brasileiro, investigar acerca da

variação regional das razões iniciais (RIs) das isócronas (tanto em rochas vulcânicas como plutônicas), com vistas ao possível esboço da variação isotópica desses corpos no interior das faixas dobradas pré-cambrianas. Isto permitiria trazer algumas extrapolações em termos de uma virtual contaminação seletiva das fontes magmáticas destas rochas em relação a processos da tectônica de placas, conforme classicamente ilustrado para plutons da Califórnia (e.g., Kistler & Peterman, 1973). Interpretações nesse sentido foram, por exemplo, recentemente propostas para o magmatismo cálcio-alcalino da faixa Rio Alegre em Mato Grosso com base em inferências isotópicas (Silva et al., 1991a,b).

Do mesmo modo, uma eventual interação de magmas na gênese de alguns corpos ígneos pré-cambrianos do Brasil poderia ser testada, através de diagramas específicos $^{87}Sr/^{86}Sr$ x 1/Sr (equações no Anexo 1) diagnósticos de mistura a 2 componentes (e.g., Langmuir et al., 1978; Faure, 1986), apesar das limitações inerentes a esses modelos (por ex. variações nas composições isotópicas e químicas dos membros finais da mistura, cristalização fracionada, etc.). Nesses modelos entretanto, a interação de informações complementares oriundas de outros parâmetros isotópicos (e.g., Nd) pode trazer maior segurança às interpretações, uma vez que alguns sistemas geoquímicos possuem comportamento distinto nos vários compartimentos terrestres, como o Sr e Nd (Tabela 1). Conforme já apontado, isto é particularmente importante para rochas catazonais, uma vez que nesse nível crustal a razão Rb/Sr, devido ao forte empobrecimento de Rb, torna-se indistinguível daquela do manto superior.

Estudos geocronológicos Rb/Sr voltados ao exame de processos deformacionais, são de importância para a datação direta do desenvolvimento da deformação em rochas de médio a alto grau metamórfico, trazendo conseqüentemente implicações na evolução tectônica de orógenos (e.g., Gromet, 1991). Tais dados são complementares às informações indiretas proporcionadas pelas relações entre corpos geológicos, e também às respostas decorrentes do eventual conteúdo fossilífero das unidades.

No território brasileiro, a associação entre estudos geocronológicos e estruturais tem-se mostrado potencialmente interessante, como ilustrado no CSF para áreas ocidentais do Quadrilátero Ferrífero, onde os estudos isotópicos Rb/Sr indicam que a tectônica superimposta é do ciclo Transamazônico e do Proterozóico Médio (Cordani et al., 1980; Teixeira et al., 1987 a,b; Belo de Oliveira & Teixeira, 1990; Carneiro, 1992). Também para a região de Guanhães os estudos isotópicos lograram definir o caráter policíclico da evolução crustal, envolvendo inclusive o Proterozóico Superior (Teixeira et al., 1990).

De outra parte, a associação entre estudos geocronológicos Rb/Sr e a metalogênese é ainda rara no país até o presente (e.g., Tassinari et al., 1984; 1990a,b; 1991). Também são esporádicas as pesquisas de detalhe acerca do comportamento isotópico do Sr em minerais de rochas ígneas e metamórficas, conforme pioneiramente retratado para gnaisses da Serra dos órgãos (Cordani et al., 1973) e diques máficos pré-cambrianos da faixa Apiaí (Daitx et al., 1990), e da região de Uauá (Bastos Leal, 1992).

No tocante às rochas sedimentares e metassedimentares estudos geocronológicos Rb/Sr visando definir idades da região-fonte, idades de diagênese ou de metamorfismo foram realizadas no Brasil por Kawashita (1973), Thomaz Filho (1976), Macedo (1982), Bonhomme (1982), Kawashita et al. (1987), entre outros, envolvendo as seqüências do Bambuí e Una no CSF, e o Grupo Itajaí em Santa Catarina (Macedo et al., 1984). Mais recentemente, estudos isotópicos de Sr, combinados com isótopos estáveis têm sido efetuados particularmente para os Grupos Bambuí e Alto Paraguai (Kawashita et al., 1990a; Zaine, 1991).

2.1.2. Modelagem e Cálculos Radiométricos

Na modelagem empregada no tratamento isocrônico Rb/Sr*, a interpretação do resultado radiométrico deve estar fundamentada

*Principais notações isotópicas do método Rb/Sr estão listadas no Anexo 1.

no conceito da "cogeneticidade" das amostras e na análise da virtual existência de fenômenos geológicos posteriores à formação de rocha. São estes os condicionantes essenciais da distribuição dos pontos analíticos em relação a um alinhamento isocrônico e que levam aos respectivos pesos dos resultados no cálculo matemático da isócrona. Em conseqüência, são estes parâmetros que nortearão a escolha do modelo de cálculo mais adequado, especialmente nos casos em que os pontos analíticos não se alinhem segundo uma reta, dentro dos erros analíticos das análises.

Nos modelos de cálculo de isócronas Rb/Sr, cabe mencionar que os métodos de regressão que incluem fatores de peso alicerçados em desvios e erros analíticos em relação à reta, com base num nível de confiança estabelecido, têm sido os mais aplicados (e.g., Williamson, 1968; Brooks et al., 1972). Ainda nesse contexto, Amaral (1990) efetuou considerações acerca das vantagens do método Monte Carlo comparativamente aos modelos disponíveis na literatura. Adicionalmente, uma análise comparativa dos principais modelos de cálculo aplicados em exemplos brasileiros foi apresentada por Kawashita et al. (1990b), com comentários críticos tendo em vista critérios de seleção de amostras e aspectos geológicos influenciadores do sistema Rb/Sr.

Com referência, finalmente à evolução isotópica do Sr no tempo geológico e aos cálculos radiométricos gerais do sistema Rb/Sr (como também de outros sistemas radiométricos) o programa ISOJOB (Vlach, 1990) apresenta uma abordagem adequada e acessível, sendo aplicável aos diferentes casos geocronológicos brasileiros.

2.2. Método K/Ar

Talvez o melhor exemplo da importância da geocronologia K/Ar esteja representada pela clássica síntese de Almeida (1967) sobre a evolução da plataforma Sul-Americana. Esta primeira compartimentação tectônica do continente, baseada essencialmente

em idades K/Ar (portanto idades mínimas), até hoje mantém suas propostas fundamentais em termos da delimitação dos domínios cratônicos e faixas móveis, mesmo com os notáveis avanços obtidos desde então, no conhecimento geocronológico, subsidiado por diferentes técnicas de datação.

Atualmente no Brasil, o método K/Ar tem sido empregado em complemento sistemático a outras técnicas geocronológicas (notadamente o Rb/Sr) no estudo da história do soerguimento regional nos diferentes domínios da Plataforma (e.g., Cordani et al., 1985; Teixeira et al., 1985a; Basei & Teixeira, 1987; Siga Jr. et al., 1990). Nesses estudos, anfibólios (hornblenda) e micas (biotita, muscovita) têm sido preferencialmente empregados na obtenção das idades mínimas (aparentes), dada a relativa abundância desses minerais em rochas plutônicas ígneas e metamórficas, e pelo fato das temperaturas de bloqueio desses minerais para o argônio estarem adequadamente estabelecidas, respectivamente, em torno de 500-450°C e 300-250°C (e.g., Dalrymple e Lamphere, 1969; Faure, 1986).

A experiência adquirida tem mostrado que o emprego sistemático das idades K/Ar em pares daqueles minerais em uma determinada unidade geológica, obedecendo-se a uma distribuição geográfica adequada ao longo de um mesmo domínio crustal, com relativo conhecimento geológico, permite esboçar cronologicamente etapas de soerguimento-resfriamento regional e, eventualmente definir províncias de idade, como nos casos do escudo Canadense (Fig. 1; e.g., Stockwell, 1982) e cráton Amazônico (e.g., Cordani et al., 1979; Teixeira et al., 1989).

Além disso, os padrões radiométricos da história de resfriamento podem ser tentativamente associados a eventos marginais ao domínio considerado, a processos de reativação tectônica, e até mesmo à evolução particular de corpos intrusivos, como no caso dos corpos alcalinos e básicos da Amazônia (Teixeira, 1990) ou das províncias alcalinas do Brasil Sul-Oriental e Paraguai Oriental (Sonoki & Garda, 1988; Ulbrich et al., 1991). Eventuais episódios metamórficos superimpostos podem ser ainda monitorados pelo K/Ar, como parece ser o caso de

partes do Quadrilátero Ferrífero, no domínio meridional do CSF (e.g., Cordani et al., 1980; Teixeira et al., 1987b; Carneiro, 1992) e suas adjacências, como a região de Guanhães (Teixeira et al., 1990).

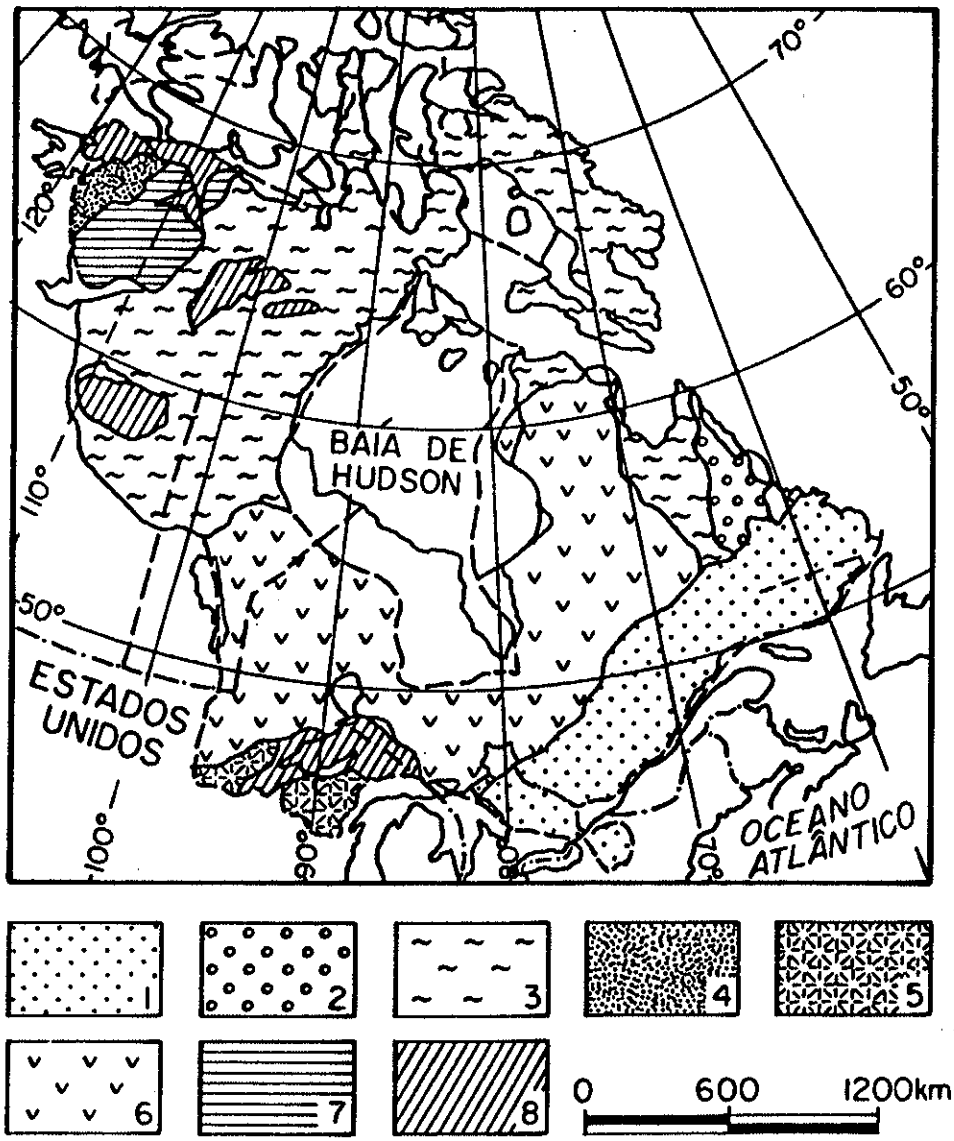


Figura 1: Províncias geocronológicas do Escudo Canadense, segundo Stockwell (1982). Notar a boa definição dos domínios tectônicos com base na distribuição homogênea dos padrões de idade, fundamentados na metodologia K-Ar. Províncias: 1 - Greenville (1,2-1,0Ga); 2 - Western Nain (1,5-1,4Ga); 3 - Churchill; 4 - Bear; 5 - Southern (3, 4, 5 representando o evento Hudsonian = 1,87-1,75Ga); 6 - Superior; 7 - Slave (6, 7 representando o evento Kenoran); 8 - Coberturas cratônicas.

Essas são, evidentemente apenas algumas das aplicações da metodologia K/Ar* haja vista as publicações específicas que detalham a história termal de rochas metamórficas em relação a corpos intrusivos (e.g., Hart, 1964), ou aquelas voltadas ao exame de problemas de difusão e excesso de argônio em minerais de rochas ígneas e metamórficas, através do emprego de gráficos K/Ar (e.g., Harper, 1970; Hebeda et al., 1973).

Em nossa opinião, esse quadro K/Ar relativamente incompleto deve-se, em grande parte, à escala dos trabalhos geológicos no Brasil e ao próprio acesso limitado à essa técnica geocronológica, uma vez que apenas o CPGeo está em condições de executar tais datações no país, apesar de sua demanda crescente por parte da comunidade.

Em termos de detalhamento dos trabalhos K/Ar, somente em época recente algumas pesquisas, sob a égide do convênio CPGeo/Petrobrás, têm se voltado para o estudo de processos diagenéticos através da análise de minerais de ilita, em bacias de potencial petrolífero (e.g., Mizusaki et al., 1990). Dentro também dessa linha de estudos de minerais autigênicos, o Grupo Paranoá tem sido pesquisado através de datações K/Ar na glauconita, cujas idades concordantes denotam a possibilidade concreta do emprego deste mineral na definição temporal da diagênese de unidades sedimentares.

Outros estudos recentes no Brasil têm enfatizado também o exame da difusão de argônio em minerais de rochas básicas pré-cambrianas intrusivas (plagioclásio, biotita, anfibólio) comparativamente ao comportamento isotópico Rb/Sr desses minerais. Os exemplos estudados situam-se no cráton Amazônico (Teixeira, 1990), no CSF (e.g., Teixeira et al., 1988; Bastos Leal, 1992) e na faixa Apiaí no sudeste brasileiro (Daitx et al., 1990).

Particularmente o emprego do plagioclásio em rochas básicas pré-cambrianas tem revelado a complexidade do seu retículo cristalino em termos de retentividade do argônio. São

---

*Fórmulas e constantes acham-se listadas no Anexo 1.

numerosos os casos em que as idades obtidas são de difícil interpretação, devido a virtual existência de argônio em excesso e/ou de processos superimpostos, levando à difusão de argônio, associados com fenômenos hidrotermais e/ou deutéricos (e.g., Brito Neves et al., 1979; Parenti Couto et al., 1983).

Nesse quadro complexo de idades aparentes em rochas básicas, é recomendável que as interpretações busquem, no mínimo, a análise do conjunto de dados através da maior freqüência de resultados num determinado intervalo de tempo. Esse procedimento, possivelmente minimizaria a incorporação de eventuais idades anômalas na interpretação geocronológica.

2.3 Investigações Complementares

Trata-se das metodologias radiométricas que têm sido aplicadas como complemento às anteriormente mencionadas na resolução de problemas evolutivos do Pré-Cambriano Brasileiro. Seguramente essas metodologias, a partir de seu emprego sistemático, deverão formar um cenário geocronológico mais realístico da evolução crustal da plataforma Sul-Americana e do CSF, em particular.

2.3.1. Método U/Pb

O conjunto radiométrico U/Pb em rochas pré-cambrianas é presentemente discutido à luz dos avanços experimentais nesta metodologia e dos progressos alcançados no conhecimento geológico do Brasil. Nesse sentido, o conjunto U/Pb* mostra-se heterogêneo, contrapondo datações alicerçadas em interpretações regionais com datações U/Pb de alta precisão, obtidas mais recentemente, com o emprego de técnicas químicas e/ou espectrométricas mais acuradas.

Independentemente dessa constatação, a metodologia U/Pb tem sido aplicada na resolução de variados problemas geológicos, em especial àqueles ligados à evolução de áreas policíclicas e à

---

*Principais equações apresentadas no Anexo 1.

definição cronoestratigráfica de unidades, uma vez que os minerais empregados (zircões principalmente), via de regra, podem revelar idades primárias independentemente da intensidade dos eventos superimpostos.

Atualmente o acervo publicado de dados U/Pb em exemplos brasileiros é, em sua totalidade, proveniente de laboratórios no exterior (França, Bélgica, Alemanha, Holanda, Austrália, EUA, Canadá), dada ainda a inexistência de condições técnicas para implantação dessa rotina radiométrica no país. Isto é devido às dificuldades inerentes a importação de ítens laboratoriais, a necessidade de formar pessoal qualificado para a operacionalização deste método, e aos próprios aspectos técnicos desta rotina que necessita de brancos laboratoriais muito baixos de Pb. Apesar desse acesso relativamente limitado ao método U/Pb, já existe um número razoável de datações no país, que são aqui tentativamente compartimentadas segundo uma discussão em quatro conjuntos individualizados:

a) O primeiro conjunto reune as datações U/Pb pioneiras distribuídas em unidades regionais e que tiveram por objetivo fundamental a delimitação temporal dos eventos geológicos maiores da evolução da crosta pré-cambriana (formação e metamorfismo), através da análise de conjunto de dados que permitiram a definição de interceptos superior e inferior em diagramas Concórdia. Todavia, como se reconhece atualmente, há concenso de que os interceptos inferiores, em determinados conjuntos de zircões recristalizados que sofreram perda de Pb diferencial no tempo, possuem significação geológica no mínimo duvidosa.

b) O segundo conjunto inclui os dados U/Pb produzidos a partir de refinamentos relativamente recentes na seleção de minerais e tratamento experimental, e que levaram a um aumento na precisão dos dados analíticos e resultados (Fig. 2) (Krogh et al., 1974; Krogh, 1982a,b; Lancelot et al., 1976; Corfu & Stott, 1986).

Atualmente já existe um número relativamente grande de datações segundo essa técnica, distribuídas em várias partes do Pré-Cambriano Brasileiro, em decorrência de intercâmbios

científicos firmados, principalmente, com laboratórios norte-americanos (Kansas, New Hampshire) e canadenses (Royal Ontario Museum, Geotop). Especialmente estes dois últimos laboratórios, tiveram contribuição fundamental na miniaturização do procedimento químico do método U/Pb. Dessa forma, foram viabilizados "brancos" extremamente reduzidos nesses laboratórios, que aliados ao refinamento da parte preparatória dos concentrados minerais, tornou possível a análise de quantidades ínfimas de zircões e/ou outros minerais com U (e.g., badelleitas, titanitas), e até mesmo de um único cristal ou suas frações.

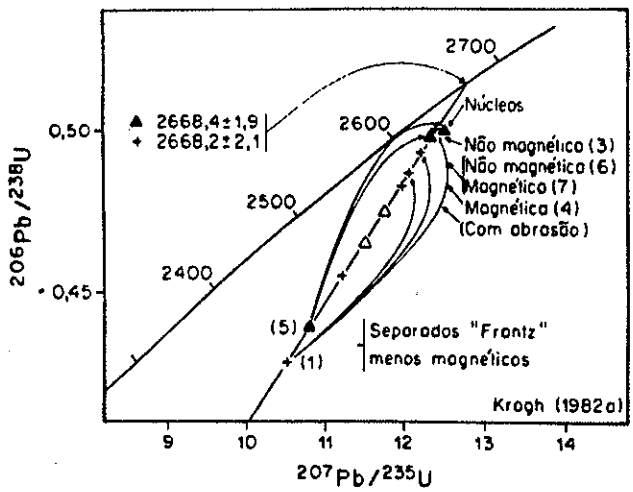


Figura 2: Dados comparativos entre zircões submetidos à técnica de abrasão e separação por Frantz, proposta por Krogh (1982a), e sem abrasão. Pode ser observado que as frações menos magnéticas e o núcleo dos cristais expostos através da abrasão permitem, em geral, obter os resultados mais concordantes em relação à Concórdia, conforme no presente caso. Isto ocorre porque o método da abrasão permite eliminar as faces do cristal que normalmente sofrem perdas significativas de Pb e que são responsáveis, em geral, pela discordância entre as idades ^{238}U, ^{235}U e $^{207}Pb/^{206}Pb$.

Tal progresso veio assim aumentar a perspectiva de estudar pelo método U/Pb, por exemplo, rochas máficas a ultramáficas (e.g., Peucat et al., 1982; Heaman, 1986; Krogh et al., 1985). Adicionalmente, outro importante e recente avanço na metodologia está no emprego de titanitas submetidas à técnica da abrasão. Estas têm produzido discórdias de boa qualidade e até mesmo análises concordantes com a curva Concórdia, como no caso de estudos efetuados em rochas da parte sul do CSF (e.g., Carneiro, 1992). No sentido geral, tal procedimento é potencialmente interessante para a definição da época de metamorfismo em áreas policíclicas.

c) O terceiro conjunto U/Pb existente no país foi recentemente divulgado em palestra por Cordani (1991). Trata-se de um acervo com 126 dados em vias de publicação (Nutman & Cordani, 1992; Nutman et al., 1992), envolvendo uma área arqueana do CSF e que foi obtido a partir de uma cooperação com a Australian National University. Este conjunto, ilustra os avanços tecnológicos mais notáveis alcançados até o momento no método U/Pb por meio do SHRIMP*.

Trata-se de uma "sonda iônica" que permite a análise pontual em monocristal ou num grupo de cristais previamente preparados, sem a necessidade de atacar quimicamente o mineral. Afora a própria vantagem de ser analisado um grande número de dados, o SHRIMP permite a seleção sucessiva dos cristais ou de suas partes (bordas, núcleos) durante a análise espectrométrica. Em conseqüência, a evolução geológica de áreas policíclicas pode ser melhor monitorada, pois há, teoricamente, maior facilidade na identificação dos episódios magmáticos e/ou metamórficos eventualmente registrados no(s) mineral(is) selecionado(s) e, por extrapolação, num dado domínio geológico (Fig. 3) (Page & Williams, 1988).

Através do estudo, por essa técnica, de um conjunto de zircões detríticos, ampliam-se as perspectivas para a caracterização da cronologia de áreas-fontes de sedimentos e conseqüentes inferências paleotectônicas, conforme ilustrado pelos estudos de Nutman & Cordani (1992) no CSF e a exemplo de estudos similares, anteriormente realizados na Austrália (e.g., Froude et al., 1983; Compston & Pidgeon, 1986). Essa abordagem tem sido, também, aplicada para depósitos sedimentares do escudo Canadense (e.g., Gariepy et al., 1984) e inclusive para sedimentos do rio Orinoco na Amazônia Ocidental (Goldstein, 1989), este último exemplo, entretanto empregando o método U/Pb com ataque químico.

d) Em termos do potencial interpretativo do método U/Pb outras alternativas metodológicas têm sido propostas como a

---

*"SHRIMP" - Sensitive High Mass-Resolution Ion Microprobe (Compston et al., 1984).

técnica da evaporação de monocristais montados diretamente sobre o filamento na espectrometria (e.g., Kröner & Todt, 1988; Kröner, 1989), tendo este procedimento também a vantagem de prescindir do ataque químico do mineral. No entanto, esta técnica possui ainda limitada aceitação por parte da comunidade especializada.

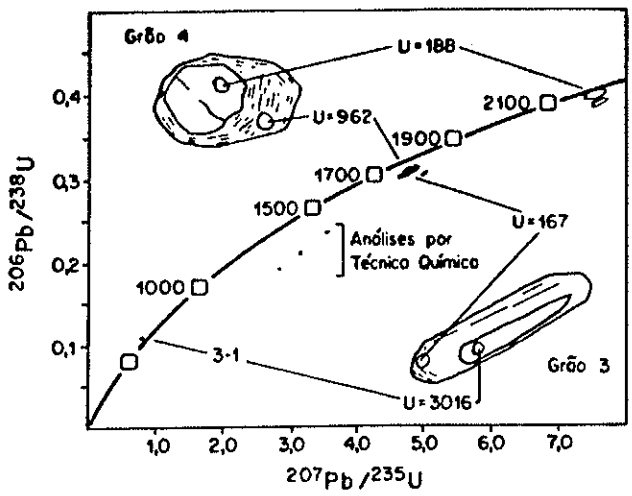


Figura 3: Diagrama U/Pb Concórdia para amostras de rochas metamórficas de Yaringa, Austrália (Page & Williams, 1988), com dados analíticos pelo método SHRIMP e método químico tradicional. Notar os pontos analíticos, submetidos à análise química tradicional, refletindo a existência de perdas de Pb, comparativamente aos resultados do SHRIMP, estes indicando, como de praxe, baixa discordância em relação à Concórdia. Adicionalmente as análises SHRIMP (grãos 3 e 4) possibilitaram, no caso, detalhar as diferenças de idade entre o núcleo e bordas dos cristais: o cristal 4 apresenta núcleo com baixo conteúdo de urânio (188 ppm) com idade herdada de 2200Ma; o cristal 3 apresenta área central com alta concentração de U (3016 ppm) que aparentemente comportou-se como sistema totalmente aberto há 700Ma, tendo dessa forma perdido todo o registro de sua idade primária. Notar, finalmente, as inclusões nas bordas dos cristais 3 e 4, com conteúdos variáveis de U (962, 167 ppm) que se colocam no diagrama em posição intermediária entre a análise do núcleo do cristal 4 e às obtidas pelo método químico.

No momento, existe apenas um exemplo da aplicação dessa técnica em problemas geológicos do Brasil, representando assim o quarto conjunto U/Pb. Trata-se do maciço de Sete Voltas no norte do CSF (Martin et al., 1991), cujo resultado radiométrico em torno de 3,4Ga, vem corroborar as idades obtidas por outros métodos de datação neste corpo.

Em síntese, torna-se evidente que, com o gradativo aumento no número de datações U/Pb, segundo as tecnologias mais modernas aqui rapidamente mencionadas (conjuntos b, c, d), aliado aos estudos da tipologia de zircões, o quadro global da evolução crustal pré-cambriana da plataforma Sul-Americana deverá ser melhor compreendido, pois o conhecimento geocronológico atual foi

basicamente gerado pelas datações Rb/Sr e K/Ar.

Finalmente no campo do planejamento teórico dos futuros projetos de datações no Brasil, a análise isotópica U/Pb combinada de núcleos de cristais e seus mantos metamórficos, no caso de rochas metamórficas paraderivadas, deverá ainda contribuir na virtual identificação cronológica dos terrenos-fonte, a semelhança de estudos realizados em áreas da Suécia, entre outras (e.g., Williams & Claesson, 1987).

Este tema constitui-se numa das importantes lacunas do conhecimento evolutivo de faixas dobradas no Brasil, especialmente aquelas que se desenvolveram durante o Proterozóico Médio e Superior. Particularmente, no tocante a rochas granitóides, muito comuns nestas faixas, poderia ser melhor estudada a sua gênese, por exemplo, através da identificação de eventuais zircões herdados (e.g., detríticos) e zircões ígneos (decorrentes da cristalização magmática), permitindo assim algumas extrapolações quanto a evolução tectônica desses domínios policíclicos.

2.3.1.1. Análise dos Principais Exemplos Brasileiros

Nos exemplos brasileiros o emprego do método U/Pb* tem sido variado (granitóides, vulcânicas, terrenos metamórficos de médio e alto grau, supracrustais de baixo grau), atuando em complemento às datações Rb/Sr, K/Ar, Sm/Nd e Pb/Pb, conforme já mencionado. Em especial tem havido grande interesse na definição da idade das faixas móveis proterozóicas, marginais ou distais aos crátons (e.g., Araxá-Canastra, Alto Rio Grande, Brusque, São Roque, Seridó, Jaguaribeana, Piancó-Alto Brígida, Porongos, seqüências Araí, Vacacaí, entre outras), além de sistemas intracratônicos, como o Espinhaço.

A convergência desses estudos tem sido, muitas vezes, na datação das contribuições vulcânicas nas seqüências metassedimentares, com o intuito de estabelecer a idade da

---

*Principais equações apresentadas no Anexo 1.

sedimentação dos vários sistemas ou faixas dobradas. Nesse contexto, cada vez mais tem sido confirmada a importância do Proterozóico Médio na evolução tectônica desses domínios na plataforma Sul-Americana (e.g., Brito Neves et al., 1979; Machado et al., 1989b; Marini & Fuck, 1990; Brito Neves et al., 1990; Fuck, 1990; Basei, 1990, entre outros).

A contribuição geocronológica U/Pb tem sido especialmente importante no tema dos granitóides, trazendo ao debate problemas ligados à origem dos corpos e aos aspectos deformacionais relativamente às etapas temporal e evolutiva de um segmento geológico e quanto às implicações tectônicas. Exemplos nesse sentido podem ser buscados na faixa Brusque-Itajaí (Basei, 1985), em granitóides da região de Pien (Machiavelli et al., 1991), em granitos intrusivos no Grupo São Roque (Tassinari, 1988), faixa Araçuaí (Siga Jr, 1986) e em suas extensões meridionais no Espírito Santo (Sollner et al., 1987), e também no Centro-Oeste brasileiro (e.g., Pimentel et al., 1990).

Nesta última região (província Tocantins) avanços notáveis têm sido alcançados através da geocronologia U/Pb em combinação com estudos isotópicos de Nd e Sr (e.g., ortognaisses, metavulcânicas) e que propiciaram a definição de um embasamento adicionado à crosta no Proterozóico Médio/Superior ($\simeq$ 930 m.a.), bem como identificaram a gênese brasiliana de granitóides alí alojados (Fuck & Pimentel, 1990; Fuck, 1990; Pimentel et al., 1990; Pimentel & Fuck, 1991a,b; Pimentel et al., 1991).

Em termos do embasamento das faixas móveis, o conhecimento evolutivo tem sido também recentemente fortalecido com datações U/Pb, conforme ilustrado para o Nordeste Brasileiro - faixas Seridó, Jaguaribeana, Piancó-Alto Brígida, e que, num contexto regional, demonstram a existência primitiva de ortognaisses sintectônicos ao ciclo Transamazônico (e.g., Brito Neves et al., 1990; Borges, 1990; Martin et al., 1990; Hackspacher et al., 1990). No âmbito da *nappe* Socorro-Guaxupé (Oliveira, 1986) e faixa Araçuaí (Siga Jr. et al., 1987; Sollner et al., 1987), dados U/Pb vieram confirmar a idade do Proterozóico Superior, respectivamente, para rochas metamórficas

de alto grau e granitóides, esclarecendo assim um dos importantes aspectos da evolução desses segmentos crustais.

Outros domínios policíclicos possuem registros de idades U/Pb como a região de Guanhães-Gouveia (Machado et al., 1989b), o núcleo de Cabo Frio (Zimbres et al., 1990), o cráton de Luis Alves (Basei et al., 1988), o Grupo Vacacaí no escudo Sul-Riograndense (Machado et al., 1988; Machado et al., 1990) e o Grupo Paraíba (Cordani et al., 1973), entre outras áreas. Tais resultados somados a informações geológicas e outros dados isotópicos lograram trazer algumas respostas sobre a idade da crosta primitiva, ressaltando assim a importância do Proterozóico Inferior na evolução continental. Além disso, permitiram a definição temporal dos eventos tectônicos superimpostos (Proterozóico Médio e Superior) em diferentes áreas da plataforma, contribuindo inclusive no tema das correlações com unidades pré-cambrianas contemporâneas da contra-parte africana (e.g., Brito Neves & Cordani, 1991).

Como conseqüência geral desses trabalhos geocronológicos, através de várias metodologias, cada vez mais tem sido demonstrada a amplitude dos processos mais primitivos da plataforma Sul-Americana, ligados ao Arqueano e Proterozóico Inferior. Estes processos, por sua vez, culminaram com a edificação de uma massa crustal de dimensões consideráveis há cerca de 1,9-1,8Ga atrás, conforme sugere a avaliação integrada das datações geocronológicas a nível da plataforma Sul-Americana (e.g., Cordani et al., 1988).

No âmbito do cráton Amazônico os estudos U/Pb são ainda escassos e dispersos geograficamente, e têm como meta tanto a definição temporal das rochas como a identificação dos eventos maiores da evolução crustal. Assim é que na região de Carajás e Rio Maria os estudos têm investigado as rochas de infraestrutura, supracrustais e granitóides (Gibbs et al., 1986; Wirth et al., 1986; Lindenmayer et al., 1988; Macambira et al., 1990; Machado & Lindenmayer, 1991) e apontam o caráter eminentemente arqueano da crosta, além de ratificarem a superimposição tectono-metamórfica transamazônica.

Contribuições recentes U/Pb (Macambira & Lancelot, 1991 a,b) têm demostrado a existência de terrenos "granito greenstone" na região do Rio Maria (Pará), com idades da ordem de 2,97Ga. Estes estudos têm revelado também uma fonte crustal com idade de 3,19Ga, para zircões detríticos dos quartzitos do Grupo Rio Fresco, idade esta a mais antiga encontrada, até o momento, no substrato do cráton Amazônico.

Idades U/Pb existem ainda para setores localizados das faixas móveis proterozóicas do cráton Amazônico (Santos & Olszewski, 1988; Olszewski et al., 1989). Em Roraima as rochas gnáissicas representantes das extensões do Complexo granulítico Kanuku indicaram idade U/Pb entre 2,23 e 1,91Ga. Em Rondônia, os gnaisses do Complexo Jarú e charnoquitos associados revelaram idades U/Pb respectivamente de 1,57 e 1,35Ga. Estas idades fundamentam, de maneira geral, a compartimentação no tempo e espaço desta entidade cratônica (e.g., Cordani et al., 1988; Teixeira et al., 1989)

Dados U/Pb em corpos graníticos arqueanos e proterozóicos do cráton Amazônico (Machado et al., 1988; Macambira & Lancelot, 1991a) têm revelado idades significativamente mais antigas que as idades Rb/Sr isocrônicas préexistentes o que, se confirmado regionalmente, deverá trazer importantes mudanças na interpretação tectônica da granitogênese como um todo.

Uma das alternativas propostas, para um caso análogo de diferenças significativas entre idades U/Pb e Rb/Sr encontradas para os granitóides "svecokarelianos" da Finlândia (Welin et al., 1983), atribuiu o rejuvenescimento isotópico Rb/Sr aos efeitos de transformações tardi- ou pós-magmáticas nesses corpos. Entretanto, no caso do cráton Amazônico, é possível que as diferenças entre as idades U/Pb e Rb/Sr sejam devidas realmente a distúrbios isotópicos ou mesmo à superimposição de eventos distintos, afetando preferencialmente o sistema Rb/Sr.

Finalmente, com relação ao CSF os dados U/Pb são quantitativa e qualitativamente importantes em especial no estudo dos terrenos "granito-greenstone" e granitóides em geral (e.g.,

Delhal & Demaiffe, 1985; Gaal et al., 1987; Turpin et al., 1988; Machado et al., 1988; Davison et al., 1988; Machado & Schrank, 1989; Nutman & Cordani, 1992; Nutman et al., 1992; Noce, inf. verbal, 1992; Machado & Carneiro, 1992; Carneiro, 1992).

Boa parte desse conjunto de dados é de alta precisão analítica, combinando dados em zircão (a maioria) e em titanita, o que fornece uma maior representatividade nas interpretações geocronológicas, conforme será comentado oportunamente. Além disso, o CSF é o único domínio, até o momento, a contar com datações U/Pb pelo método SHRIMP.

2.3.2. Método Pb/Pb

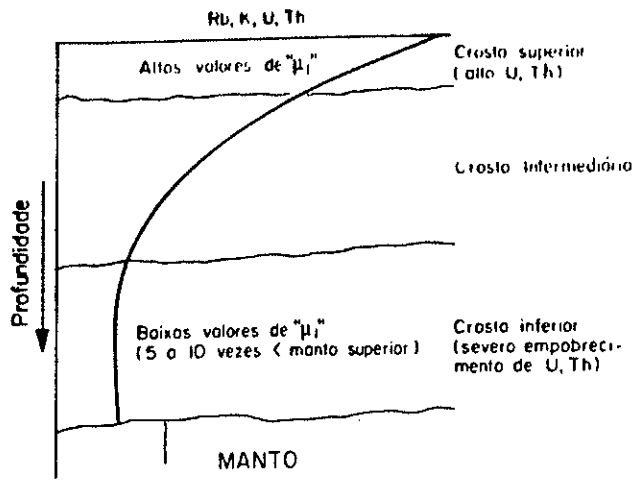
O emprego do método $^{207}Pb/^{206}Pb$ isocrônico em rocha total* (Rosholt et al., 1973) no Brasil ainda é pouco representativo, comparativamente aos métodos Rb/Sr, U/Pb e K/Ar. A quase totalidade das datações existentes é fruto de uma cooperação científica com a Universidade de Oxford, e que veio fundamentar dados geocronológicos e isotópicos para uma série de dissertações e teses no IGc-USP (e.g., Reis Neto, 1983; Basei, 1985; Teixeira, 1985; Montalvão, 1985; Siga Jr., 1986; Soliani Jr., 1986; Tassinari, 1981; 1988; Artur, 1988), além de outras publicações.

De maneira geral, o padrão geocronológico $^{207}Pb/^{206}Pb$ isocrônico em rocha total obtido nos vários conjuntos rochosos selecionados nesse amplo programa de cooperação mostra-se comparável ao obtido através do método Rb/Sr, demonstrando assim o valor interpretativo semelhante entre esses métodos. Por outro lado, a combinação dos respectivos parâmetros de Pb e Sr (μ_1 e RI) trouxe uma informação complementar importante no estudo petrogenético das rochas pré-cambrianas do território brasileiro, a semelhança do que tem sido relatado classicamente para rochas da Groelândia (e.g., Moorbath & Taylor, 1981; Moorbath et al., 1981). Este fato decorre, como é sabido, das características

*Notações isotópicas apresentadas no Anexo 1.

geoquímicas distintas dos sistemas U/Pb e Rb/Sr especialmente na interface crosta inferior x manto (Tabela 1; Fig. 4).

Figura 4: Diagrama empírico do comportamento da razão $^{238}U/^{204}Pb$ (μ_1) em diferentes compartimentos terrestres. Notar a brusca variação do μ_1 entre o Manto Superior (alta razão U/Pb) e Crosta Inferior (baixa razão U/Pb). Devido ao relativo enriquecimento do U (juntamente com Rb, K, Th) em níveis superiores da Crosta, o μ_1 tende a aumentar gradativamente com a diminuição da profundidade.



Especialmente auspiciosos são os resultados produzidos pela integração desses métodos na caracterização da natureza juvenil ou ensiálica dos eventos tectônicos, ou mesmo no tocante ao estudo dos processos de mistura de magmas em margens cratônicas, conforme ilustrado classicamente para o cinturão Proterozóico Ketilidian no sul da Groelândia (Kalsbeck & Taylor, 1985a). No contexto brasileiro, estudos geocronológicos semelhantes foram produzidos na década de oitenta, tendo por base rochas granitóides (e.g, Tassinari et al., 1987; Reis Neto, 1983; Mantovani et al., 1987) e terrenos metamórficos de médio e alto grau (e.g., Teixeira et al., 1987a; Tassinari, 1981; Siga Jr. et al., 1987b; Basei et al., 1985), em diferentes segmentos da plataforma Sul-Americana.

Por outro lado, discordâncias entre idades isocrônicas $^{207}Pb/^{206}Pb$ e Rb/Sr foram também relatadas em alguns exemplos brasileiros (e.g., Cordani et al., 1985; Reis Neto, 1983; Teixeira, 1985; Wilson, 1987) as quais têm sido, gradativamente, melhor compreendidas através de novos estudos por outros métodos radiométricos, como no caso dos domos gnáissicos arqueanos da parte setentrional do CSF (e.g., Sete Voltas, Boa Vista),

recentemente datados pelo método U/Pb SHRIMP (Nutman et al., 1992). Aparentemente as discordâncias entre as idades isocrônicas (idade $^{207}Pb/^{206}Pb$ mais antiga que a Rb/Sr ou vice-versa; e.g., Fig. 5) dever-se-iam a eventuais desequilíbrios geoquímicos levando ao desequilíbrio isotópico. Este último seria decorrente dos sítios cristalográficos preferencialmente ocupados pelos isótopos de Pb e Sr, podendo ser influenciado, até mesmo, pelos minerais constituintes da rocha que possuem temperaturas particulares para a difusão desses isótopos (e.g., Vidal & Hunziker, 1985).

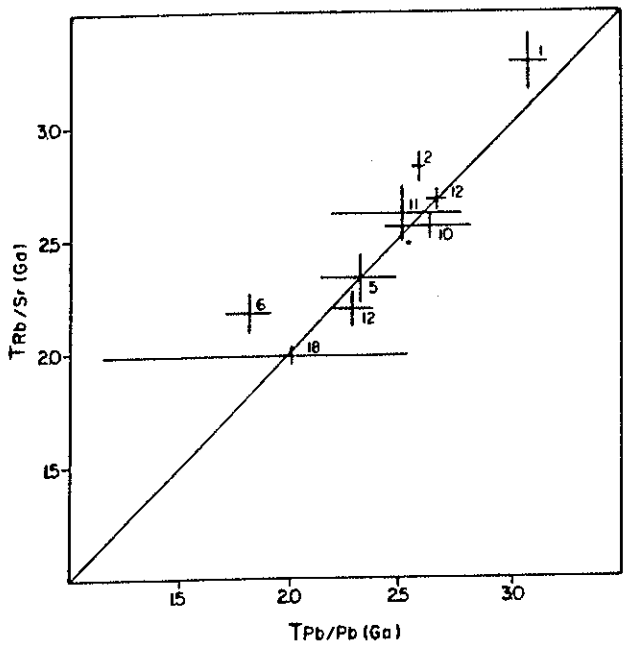


Figura 5: Diagrama comparativo concórdia de idades isocrônicas Rb/Sr e Pb/Pb em rocha total para rochas da parte sul do CSF (dados extraídos de Teixeira et al., 1987a). Observar que a maioria das análises mostra idades concordantes pelos dois métodos, dentro dos erros analíticos dos resultados. Pontos 1, 2 e 6 revelam forte discordância entre as idades Rb/Sr e Pb/Pb. Para detalhes ver texto.

Alternativas no emprego do método isocrônico $^{207}Pb/^{206}Pb$ em rocha total em outros tipos de materiais são ainda incipientes na literatura, porém estudos relatados em rochas carbonáticas (Fig. 6) (e.g., Moorbath et al., 1987; Jahn, 1990), diques básicos (Kalsbeek & Taylor, 1985b) e em BIFs (Barton, 1983; Barton et al., 1986) têm ampliado significativamente o potencial interpretativo deste método em termos da definição de idades de sedimentação (mesmo quando sob condições metamórficas de baixo grau), bem como nas inferências de virtuais processos de

contaminação crustal em rochas plutônicas (Kalsbeck & Taylor, 1985a,b).

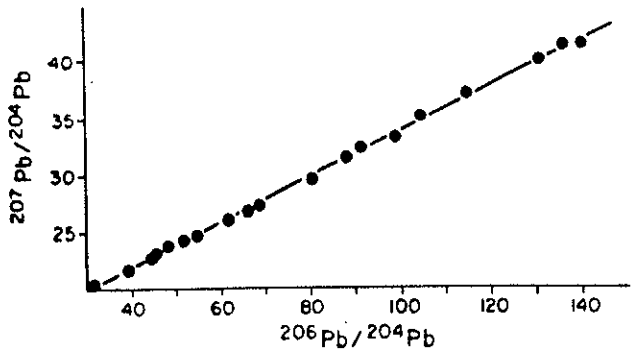


Figura 6: Isócrona Pb/Pb em rocha total para calcáreos com estromatólitos de seqüência "greenstone" no Zimbabwe meridional (Moorbath et al., 1987). Notar as altas razões $^{206}Pb/^{204}Pb$, típicas para materiais carbonáticos que propiciam assim excelente distribuição dos pontos analíticos no diagrama. A idade obtida, de 2839 ± 33Ma (MSWD = 75), aliada aos dados de campo, permite considerar os estromatólitos como tendo sido depositados sobre um embasamento granítico, datado em cerca de 2,9Ga. Esta interpretação invalida assim as hipóteses que admitiam uma idade de cerca de 3,5Ga para a seqüência "greenstone".

Dentro dessa nova perspectiva de emprego das isócronas $^{207}Pb/^{206}Pb$, cabe também mencionar os estudos em andamento na Universidade de Kansas (EUA) por M. Babinski e R. Van Schmus nas seqüências carbonáticas do Supergrupo Minas e Grupo Bambuí do CSF. Os resultados iniciais têm-se revelado promissores e no caso do Supergrupo Minas lograram aparentemente delinear a época de sua sedimentação há cerca de 2,4Ga. atrás (Babinski et al., 1991). Esse assunto será particularmente abordado por ocasião da evolução do CSF no Proterozóico Inferior.

Finalmente, em termos de estudos isotópicos de Pb aplicados às mineralizações, merece também ressaltar as pesquisas publicadas quanto ao Grupo Bambuí (e.g., Iyer, 1983; Parenti Couto et al., 1981), e Grupo Nova Lima (Thorpe et al., 1984) que permitiriam algumas inferências acerca de evolução isotópica das respectivas seqüências estudadas, comparativamente a exemplos mundiais. Mais recentemente, para os depósitos de chumbo do Vale do Ribeira, novos dados isotópicos de Pb em galenas foram publicados (Tassinari et al., 1990a) numa revisão do acervo existente e que sugeriram distinções isotópicas entre as fontes das mineralizações de Perau e Panelas.

2.3.3. Método Sm/Nd

As datações Sm/Nd constituem um conjunto pequeno em número em comparação com as datações por outros métodos no Brasil. A importância dessa metodologia pode ser alternativamente avaliada pela volumosa literatura publicada sobre o assunto a nível mundial, apesar do seu desenvolvimento ter ocorrido em época relativamente recente (1975-1979), após a resolução das dificuldades associadas ao tratamento químico das amostras e precisão nas medidas espectrométricas de elementos terras raras leves.

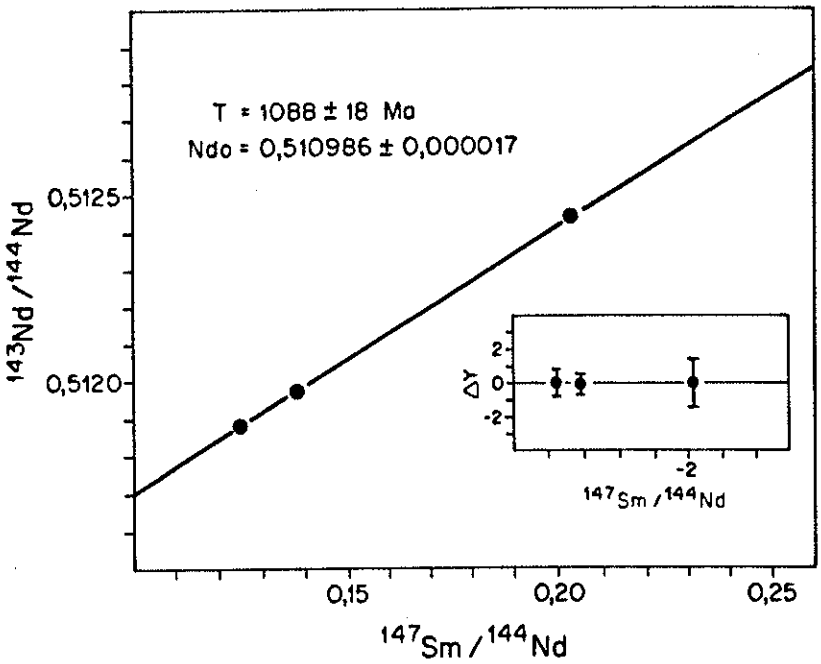
Assim é que atualmente, existe um acervo notável de dados Sm/Nd em rochas terrestres, lunares e meteoritos, em parte voltados à pesquisa do comportamento isotópico do manto. Por extrapolação, estes dados trouxeram respostas importantes para a compreensão da evolução magmática pré-cambriana (Lugmair & Marti, 1978; McCulloch & Wasserbourg, 1978; Hawkesworth & Van Calsteren, 1984; Taylor & McLennan, 1985; Faure, 1986; McCulloch, 1987; De Paolo, 1988; Goldstein, 1988; Taylor, 1988; entre outros).

A implementação da rotina do método Sm/Nd no CPGeo é esperada para futuro breve, após a conclusão dos testes ora em curso, em escala piloto (Kawashita et al., 1991). Isso permitirá, por exemplo, a obtenção de idades Sm/Nd em rochas básicas e ultrabásicas, que sempre se constituíram num obstáculo difícil para outros métodos de datação.

Uma ilustração dessa questão, no caso brasileiro, é dada pelas datações Sm/Nd já realizadas (no Japão) por Fugi (1989) para um corpo satélite do Complexo Cana Brava (Fig. 7). Outro exemplo é dado pelas rochas ultramáficas associadas a material vulcanogênico da faixa Araçuaí, recentemente datadas na Universidade Clermont Ferrand (França). As duas ocorrências estudadas indicaram idade isocrônica em rocha total da ordem de 800Ma, interpretada como a época da extração do material à crosta (Pedrosa Soares, 1992, inf. verbal). Há finalmente um exemplo no CSF, neste caso uma isócrona Sm/Nd mineral em hiperstenitos da

Mina Caraíba (Oliveira, 1990).

Figura 7: Diagrama isocrônico Sm/Nd para três rochas de corpo satélite do Complexo Cana Brava (Fugi, 1989). A linha isocrônica e a razão inicial implicam num ε_{Nd} = -4,83. As rochas analisadas apresentam metamorfismo de fácies anfibolito e, como tal, a idade obtida pode refletir a época da superimposição metamórfica, embora texturas reliquiares ígneas sejam abundantes nas rochas estudadas. Dessa forma, o autor (op.cit) prefere interpretar a idade como representativa da época de cristalização do corpo. Por outro lado, o epsilon negativo possivelmente estaria associado a efeitos de contaminação crustal, (hipótese preferida em relação à da derivação a partir de um magma parental enriquecido), em base nas inferências decorrentes do estudo Sm/Nd efetuado.



Afora a significância da idade Sm/Nd em si, o método possui elevado potencial em petrogênese, uma vez que a combinação de seu parâmetro isotópico (no caso o epsilon de Nd e a razão $^{144}Nd/^{143}Nd$; Anexo 1) com as evidências isotópicas decorrentes de outros métodos (RI, μ_1), contribui decisivamente para a compreensão da gênese das rochas, tendo em vista as características geoquímicas únicas do método Sm/Nd em termos de monitorar o momento da extração do material a partir do manto (Tabela 2). As interpretações Sm/Nd contribuem também para o tema da diferenciação geoquímica do manto e no entendimento de suas eventuais heterogeneidades isotópicas, conforme será comentado nas inferências aplicadas a rochas básicas (item 3.2.5).

Tabela 2: Comportamento dos sistemas isotópicos Rb/Sr, U/Pb e Sm/Nd relativamente aos diferentes reservatórios terrestres

FONTE	SISTEMA Rb/Sr	SISTEMA U/Pb	SISTEMA Sm/Nd
Crosta Continental Superior	Enriquecimento em Rb Evolução isotópica rápida de Sr $^{87}Sr/^{86}Sr$ elevada	Enriquecimento em U Evolução isotópica rápida de Pb $\mu_1 > 8,2$	Enriquecimento em Elementos Terras Raras Leves Razão Sm/Nd 30 a 40 vezes mais baixa que a da fonte mantélica Evolução isotópica mais lenta de Nd relativamente à fonte tipo condrítica (CHUR) Epsilons negativos relativamente ao CHUR
Crosta Continental Intermediária	Evolução isotópica moderada de Sr em relação à Crosta Superior $^{87}Sr/^{86}Sr$ média a elevada	Evolução isotópica mais lenta de Pb em relação à Crosta Superior μ_1 em geral < 7,5	
Crosta Continental Inferior	Empobrecimento em Rb Evolução isotópica lenta de Sr, eventualmente não distinguível da do Manto Superior	Severo empobrecimento em U Evolução isotópica extremamente lenta de Pb $\mu_1 < 7,5$	
Manto Superior	Empobrecimento em Rb $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,699$ a valores menores que TG no tempo geológico terrestre.	Baixos teores de U e Pb Razão U/Pb elevada $^{238}U/^{204}Pb$ (μ_1) = 7,5 a 8,2 em modelo simples de evolução isotópica	Evolução isotópica de Nd tipo condrítica CHUR e empobrecida em Nd (tipo - DM): Epsilons positivos relativamente ao CHUR evolução CHUR: $^{143}Nd/^{144}Nd = 0,512638$; $^{147}Sm/^{144}Nd = 0,1967$ evolução DM: $^{143}Nd/^{144}Nd = 0,513114$; $^{147}Sm/^{144}Nd = 0,222$

2.3.3.1. Análise dos Principais Exemplos Brasileiros

O conjunto de dados Sm/Nd disponível no Brasil está representado principalmente por idades modelo (T_{CHUR}, T_{DM}), publicadas e/ou inéditas. Tais pesquisas de caráter integrativo e voltadas ao exame de problemas específicos da evolução geológica estão fundamentadas num conhecimento do padrão geocronológico e isotópico prévio no contexto regional ou local. Como tal, as interpretações Sm/Nd possuem, via de regra, maior representatividade geológica em relação aos demais métodos.

É o caso ilustrado pelos estudos acerca da definição da idade de protolitos de rochas granitóides pré-cambrianas e do embasamento na faixa Brusque-Itajaí e cinturão Dom Feliciano (Mantovani et al., 1987; Basei et al., 1989), batólito Paranaguá (Basei et al., 1990), faixa sudeste (Vlach, inf. verbal; Tassinari et al., 1989; Tassinari et al., 1990), além daqueles efetuados em rochas do sistema Seridó (Leterrier et al., 1990; Freitas Macedo et al., 1990).

Pesquisas voltadas à geoquímica isotópica Sm/Nd em si, são ainda raras no Brasil, cabendo ressaltar aqui a recente contribuição de Pimentel & Charnley (1991) que demonstraram o fracionamento significativo do sistema Sm/Nd durante a cristalização de rochas granitóides do Centro-Oeste do Brasil. Tal fracionamento é decorrente das características geoquímicas da segregação progressiva de minerais acessórios (a alanita no caso); conseqüentemente possui implicações cruciais na resposta obtida através das idades-modelo que não estariam relacionadas, portanto, à idade de incorporação desse material à crosta.

Este trabalho é especialmente importante, pois mostra, através de um exemplo em território brasileiro, que a diferenciação crosta-manto não é o único causador do fracionamento da razão Sm/Nd (Fig. 8).

A propósito disso, têm sido reportadas na literatura idades Sm/Nd modelo igualmente superestimadas em granitos com monazita, devido ao fracionamento da razão Sm/Nd no magma em

relação à sua fonte (e.g., Fig. 8). Isto ocorreria através da retenção da monazita no resíduo da fusão parcial, ou mesmo através de sua remoção durante o estágio precoce da história magmática (Vidal et al., 1984; Vidal, 1987). Outros exemplos têm sido relatados, tendo em vista a existência de mistura entre magmas na formação das rochas e, conseqüentemente, levando a obtenção de idades Sm/Nd híbridas sem significado geológico (e.g., Arndt & Goldstein, 1987).

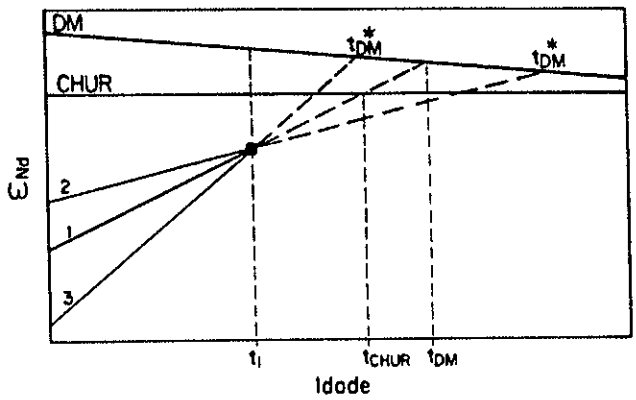


Figura 8: Diagrama de evolução isotópica do Nd no tempo geológico, representado através dos reservatórios mantélicos "condríticos" (CHUR) e manto emprobrecido (DM). - extraído de Pimentel & Charnley, 1991. Epsilons positivos atuais (t_0) são referentes a valores superiores ao CHUR. "T_i" representa o tempo de formação de uma determinada rocha e T_{CHUR} e T_{DM} são as idades Sm/Nd modelo. As idades modelo de formação da crosta têm significado se duas hipóteses forem cumpridas: a) a totalidade do Nd na rocha analisada originou-se no manto durante um único evento (sem a participação de eventuais misturas na composição da fonte magmática); b) a razão Sm/Nd da rocha não sofreu nenhuma modificação significativa após a formação (acrescimento) a partir do manto. T_{DM}s* são idades-modelo sem significado, produzidas após fracionamento (na crosta) do sistema Sm/Nd no tempo T_f. Linha téorica 2 seria causada pelo aumento da razão Sm/Nd enquanto que a linha 3 seria produzida pelo decréscimo da razão Sm/Nd no tempo "T_i". Linha 1 representa o sistema original e portanto a intersecção com a curva DM indica a T_{DM} correta.

Pesquisas isotópicas combinadas de Nd e Sr voltadas ao estudo da gênese de granitos pré-cambrianos existem para a parte norte do CSF (Sabaté, et al., 1990a,b), a serem oportunamente comentadas no presente trabalho (item 3.2.3). Este trabalho ilustra a maior potencialidade dos isótopos de Nd comparativamente aos de Sr em termos de registrar os eventos ígneos primários em não havendo fracionamento da razão Sm/Nd durante a fusão parcial ou através de processos crustais (Tabela 2). Esta integração de dados isotópicos tem permitido interpretações e modelamentos tectônicos mais confiáveis geologicamente, como nesse exemplo.

No tocante às rochas metamórficas de médio a alto grau do Brasil, as datações Sm/Nd apresentam-se distribuídas de modo esparso tanto nas regiões cratônicas como nas faixas dobradas policíclicas. No cráton Amazônico, as áreas de Carajás, Rondônia e Roraima contam com dados por esse método (Vignol, 1987; Gibbs et al., 1986) e que, em geral, corroboram também com a modelagem tectônica proposta originalmente por Cordani et al. (1979) para esse setor da plataforma.

No CSF algumas idades modelo Sm/Nd são disponíveis para o Complexo Jequié (Wilson, 1987) e para rochas graníticas intrusivas (Sabaté et al., 1990 a,b), além de outros dados Sm/Nd existirem para granitóides, do Proterozóico Médio, da região de Lagoa Real, estes em parte voltados ao estudo da mineralização de Urânio (Turpin et al., 1988).

Alguns poucos outros dados adicionais possibilitaram inferências quanto aos protolitos do complexo de Colméia (Lafon et al., 1990), e dos crátons de Luis Alves e Rio de La Plata (Mantovani et al., 1987). Neste último domínio existe, inclusive, uma isócrona Sm/Nd mineral em rochas do complexo granulítico Santa Maria Chico, indicando o Transamazônico como a época do metamorfismo de alto grau (Hartmann, 1987).

Especialmente no caso dos terrenos granulíticos os dados Sm/Nd são importantes uma vez que o comportamento geoquímico desses elementos terras raras mostra uma correlação negativa com o sistema Rb/Sr (e.g., Taylor, 1988; Goldstein, 1988). Isto permite uma combinação interpretativa interessante entre os dois métodos, devido às suas respostas diferenciais (Tabelas 1 e 2). Conforme já comentado, a razão Sm/Nd, independente do nível crustal considerado, é indicativa, na grande maioria dos casos reportados, da própria época de adição do material juvenil à crosta (época do fracionamento do sistema geoquímico a partir do manto superior), e cujo exemplo clássico é o dos granulitos Lewisian (e.g., Hamilton et al., 1979). Esse comportamento único da sistema Sm/Nd distingue-se, por exemplo, do sistema Rb/Sr que é especialmente afetado na catazona (Tabela 2), conforme já mencionado.

Além desses dados Sm/Nd apresentados, outros poucos existem no âmbito das faixas dobradas policíclicas, como ilustrado para a província Borborema (Hackspacker et al., 1990). Neste contexto das faixas dobradas, é também interessante registrar aqui os estudos isotópicos de Nd e Sr em rochas sedimentares de bacias sub-andinas da Bolívia e Perú que revelaram idades médias (T_{DM}) de proveniência dos materiais (Basu et al., 1990) em coerência com a evolução tectônica proposta para o cráton Amazônico.

A idade média de 1,46Ga obtida em areias fluviais destas bacias refletiria a idade média da fonte crustal continental, aqui inferida como sendo possivelmente a faixa Rondoniana descrita por Teixeira et al. (1989). O estudo de Basu et al. (1990) é particularmente criativo pois utiliza-se de diagramas de mistura a dois componentes para o Nd, a semelhança do procedimento utilizado no caso do Rb/Sr, mostrando interpretativamente a interação de fontes crustais distintas na constituição de bacia sedimentar investigada (Fig. 9).

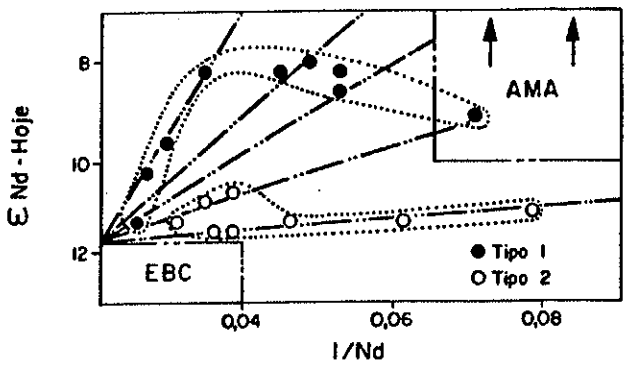


Figura 9: Diagrama de correlação de epsilons de Nd x valores de 1/Nd (recalculado para t = 0) indicando a possibilidade de interação entre 2 fontes isotópicas (mistura simples) na formação de sedimentos arenosos fluviais da Bolívia e Peru, (Basu et al., 1990). AMA representa o campo isotópico compilado pelos autores para materiais provenientes do Arco Magmático Andino. EBC indica o campo isotópico dado pelo outro membro extremo de área-fonte, representado por granitóide do Escudo Brasil Central (E_{Nd} = -12,7). Tipos 1 e 2 representam materiais sedimentares com diferentes concentrações de elementos (Zr, Th, La, Co, Hf, Sc). O diagrama demonstra o seu potencial em termos de correlações isotópicas dos materiais fluviais relativamente a possíveis áreas-fonte (protolitos), contribuindo assim para o estabelecimento do quadro paleogeográfico.

Com referência às rochas de filiação básica no Pré-Cambriano Brasileiro, as determinações Sm/Nd publicadas tiveram por objetivo principal o posicionamento de algumas seqüências supracrustais proterozóicas e arqueanas (e.g., Vacacaí, Seridó,

Grão Pará), Contendas-Mirante e as do tipo "*greenstone belt*" (Itapicuru, Crixás, Rio das Velhas, Piumhi) - Jahn & Schrank (1983); Gibbs et al. (1986); Arndt, (1988); Arndt et al. (1989); Macedo et al. (1990); Machado et al. (1989a); Silva, (1990); Marinho, 1991). Os maciços ultrabásicos de Goiás têm sido objeto de estudos adicionais pelo método Sm/Nd, conforme já adiantado (Fugi, 1989, 1990; C. Correia, inf. verbal, 1991).

No acervo Sm/Nd incluem-se ainda os dados acerca dos diques básicos da região de Ilhéus-Olivença (Bellieni et al., 1991a), além de outros enxames do CSF (e.g., Uauá, Salvador, Pará de Minas; Bellieni et al., 1991b), estudos estes que visaram fundamentalmente melhor compreender a origem dessas rochas intrusivas através de ensaios combinados Nd/Sr, apoiados por estudos geoquímicos (Fig. 10).

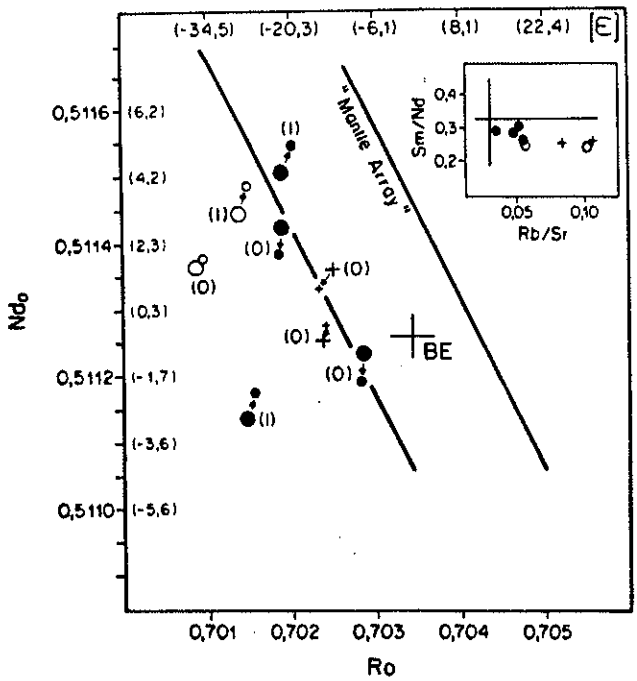


Figura 10: Diagrama de correlação isotópica Nd x Sr, representado através de razões iniciais. Exemplo dos diques toléíticos de Olivença (O) - Ilhéus (I); adaptado de Bellieni et al. (1991a). Símbolos maiores (círculos e cruzes) correspondem a razões isotópicas Sr/Nd calculadas para t = 1,05Ga. (idade $^{40}Ar/^{39}Ar$). Símbolos menores (cruzes e círculos) correspondem a razões isotópicas calculadas para as seguintes idades (Ga): O = 1,078-1,032Ga e I = 1,012Ga. Círculos cheios: TiO_2 < 2% em peso; cruzes: TiO_2 = 2-3% em peso; círculos = TiO_2 >3% em peso. BE = composição Sr/Nd do "bulk earth." O comportamento dos dados mostra que os magmas estão relacionados a fontes empobrecidas em relação ao BE. Dados químicos sugerem a existência de enriquecimento em elementos incompatíveis durante a fusão parcial destas fontes o que responderia pelas características isotópicas Sr/Nd heterogêneas observadas no diagrama (possivelmente devidas a processos metassomáticos da fonte há 1,05Ga atrás). Em razão disso, determinados envelopes de fusão teriam razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ maiores e $^{144}Nd/^{143}Nd$ menores que a evolução BE, conforme sugerem os dados isotópicos.

Inserem-se complementarmente nessa linha os estudos de Nd e Sr voltados à evolução magmática dos enxames de diques

máficos do CSF e que levaram à proposição de processos metassomáticos atuantes no manto Pré-Cambriano (e.g., Bellieni et al., 1991a), hipótese esta aparentemente ratificada com base em pesquisas isotópicas voltadas a caracterização genética dos sienitos ultrapotássicos da faixa Cachoeirinha-Salgueiro (Ferreira & Sial, 1991).

Em suma, como resultado desse espectro variado de dados e de investigações, em diferentes escalas e com objetivos multidisciplinares, emerge um quadro geocronológico Sm/Nd do Pré-Cambriano Brasileiro ainda fragmentado, porém que já ilustra a potencialidade dessa ferramenta interpretativa na discussão dos principais aspectos da evolução crustal e, particularmente, no tocante ao estudo da origem das rochas.

A nível de maior detalhe, a partir da aplicação corriqueira dessa metodologia no futuro, será possível integrar informações decorrentes dos diagramas Sm/Nd x Rb/Sr, que possuem alto valor interpretativo. Estes, como já se antecipou aqui, trazem informações importantes para a compreensão da gênese dos magmas, dos virtuais processos de contaminação por material crustal, entre outros, além das implicações tectônicas intrinsecas, a semelhança, por exemplo, do que tem sido realizado classicamente para corpos plutônicos graníticos na Austrália; Fig. 11 (Chappel e McCulloch, 1982) e EUA (De Paolo, 1981).

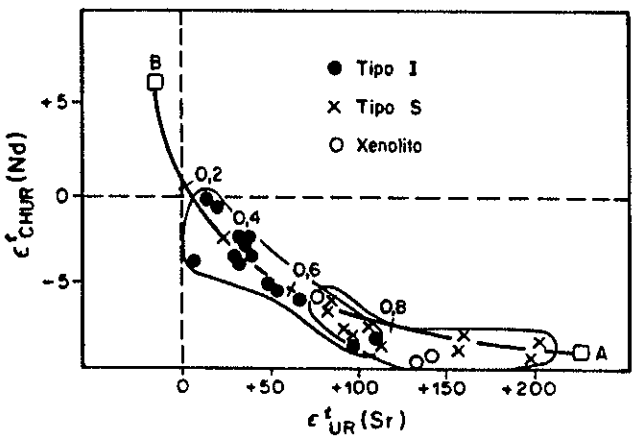


Figura 11: Exemplo clássico de diagrama de correlação Nd/Sr (recalculado para valores de epsilon) para rochas graníticas e xenólitos da Austrália. Tanto as rochas graníticas tipo "I" como tipo "S" incluem-se coerentemente num "trend" representativo de diferentes frações de mistura a dois componentes, segundo os termos finais: A = componente magmático juvenil (empobrecido); B = componente crustal (dados de McCulloch & Chappell, 1982). Notar a curva AB com as diferentes frações de mistura entre os membros finais, calculada matematicamente segundo Faure (1986).

Outro ponto importante, sempre a mencionar, está na própria interação dos vários métodos geocronológicos aqui apresentados, uma vez que cada um deles tem uma resposta interpretativa própria e complementar relativamente aos outros métodos, conforme pode ser visualizado pelo comportamento de cada sistema isotópico na crosta e no manto (Tabela 2).

2.3.4. Método $^{40}Ar/^{39}Ar$

O método tem ainda uma limitada aplicação em rochas do território brasileiro, apesar das suas possibilidades reais quanto à definição termocronométrica de terrenos metamórficos e na cronologia do magmatismo básico pré-cambriano (e.g., Renne et al., 1990b,c). Por outro lado, a importância desses estudos no Brasil tem sido ampliada através de sua associação com pesquisas paleomagnéticas para fins de reconstrução da curva polar aparente pré-cambriana e inferências no contexto tectônico (e.g., D'Agrella et al., 1989; 1990a,b; Renne et al., 1990b).

As primeiras determinações $^{40}Ar/^{39}Ar$ no país foram efetuadas no próprio CPGeo, através de um projeto de estudo acadêmico nas rochas alcalinas pré-cambrianas do sul da Bahia, CSF (Bernat et al., 1975). Apesar das dificuldades operacionais enfrentadas no laboratório de então, os resultados mostraram-se em concordância com idades pelo método K/Ar convencional e idades Rb/Sr isocrônicas (Cordani et al., 1974).

Posteriormente a esta pesquisa inicial, apenas através do intercâmbio CNPq/NSF, envolvendo a Universidade de Princeton (EUA), o Instituto de Geociências e o Instituto Astronômico e Geofísico da USP, tem sido possível estudar pela metodologia $^{40}Ar/^{39}Ar$ alguns dos problemas relacionados aos terrenos metamórficos, especialmente no cráton Amazônico (e.g., Renne et al., 1989) e no CSF (Teixeira et al., 1990), como também o tema das rochas intrusivas fissurais básicas (Renne et al., 1990c). Além desses trabalhos, somente a região do Imataca na Venezuela, havia sido objeto de estudos por essa técnica (e.g., Onstott et

al., 1989).

No contexto teórico, o método $^{40}Ar/^{39}Ar$* fornece resultados mais precisos comparativamente ao método K/Ar convencional, além de permitir a análise de amostras muito pequenas em volume. Emprega-se, em geral, a técnica do "step heating" que permite analisar, a partir de um material previamente irradiado em reator nuclear (a irradiação por neutrons de minerais potássicos produz a transformação de átomos de ^{39}K em ^{39}Ar), as frações de argônio gradativamente liberadas na extração a medida que se processa o incremento da temperatura.

Estas frações de argônio (expressas através de razões isotópicas $^{40}Ar/^{39}Ar$) são medidas sucessivamente num espectrômetro de massas *on line*, produzindo ao final da fusão uma série de idades (Fig. 12).

A principal vantagem desse processo experimental é ilustrada pelo espectro de ^{39}Ar decorrente das frações cumulativas de gás (e.g., Fig. 12) que permitem identificar a ocorrência de eventuais excessos ou perdas de argônio dos materiais e distinguir, em alguns casos, idades aparentes de cristalização relativamente a eventos termais superimpostos; (e.g., Faure, 1986; Mc Dougall & Harrison, 1988).

A partir da década de 80, o campo de termocronometria $^{40}Ar/^{39}Ar$ teve um novo avanço através da introdução da técnica do *laser probe*. Essa técnica permite analisar amostras minúsculas em volume (até grãos individuais), sendo uma ferramenta poderosa para o exame de variações isotópicas em escala inter e intragranular. Esta característica do método é particularmente vantajosa durante a análise de diferentes populações minerais na amostra e em casos de distribuição isotópica não homogênea de argônio em minerais (e.g., Harrison et al., 1985; Onstott & Peacock, 1987; Phillips & Onstott, 1988).

Entre outras aplicações estão a datação de fenômenos hidrotermais e mineralizações (e.g., York et al., 1982), de minerais detríticos para estudo da idade da proveniência

*Notações isotópicas apresentadas no Anexo 1.

sedimentar, além de processos geomórficos (Renne et al., 1990a). Muito recentemente tem sido reportado o emprego do método $^{40}Ar/^{39}Ar$ no monitoramento temporal de processos de intemperismo (Vasconcelos et al., 1991; Becker et al., 1991) e, até mesmo, na datação de sobrecrescimentos em minerais potássicos, diagenéticos (e.g., Girard & Onstott, 1991), mas estas aplicações, infelizmente, ainda não são disponíveis para exemplos no território brasileiro.

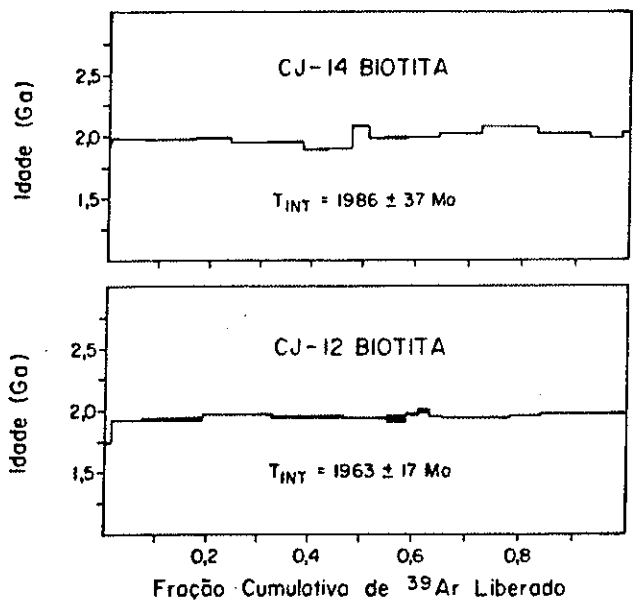


Figura 12: Dois exemplos de espectros de idade "step heating" $^{40}Ar/^{39}Ar$ para biotitas do Complexo Pium, região da Serra de Carajás (Renne et al., 1988). Notar que ambas as análises apresentam espectros relativamente pouco perturbados, independentemente das diferentes frações liberadas de ^{39}Ar durante a fusão. Dessa forma, a idade platô de cada amostra praticamente coincide com a idade integrada de fusão total. Em casos de espectros perturbados, os platôs selecionados serão aqueles que produzam idades semelhantes para uma determinada série de frações de ^{39}Ar liberado, na fusão seqüencial da amostra.

Em síntese, apesar do emprego relativamente restrito do método $^{40}Ar/^{39}Ar$ no país, conforme acima exposto, este reune condições de se tornar uma ferramenta adicional de alto potencial no estudo dos diferentes aspectos da evolução crustal pré-cambriana. Nesse contexto, o CPGeo deverá exercer papel relevante através de implementação desta metodologia no Brasil, conforme se planeja no futuro.

CAPÍTULO 3

ACERVO DE DATAÇÕES GEOCRONOLÓGICAS E DADOS ISOTÓPICOS NO CSF

No domínio do CSF serão particularmente enfatizados os complexos litológicos do embasamento e suas intrusivas em razão dessas unidades responderem pela maior parte do acervo geocronológico e fornecerem interpretações geocronológicas mais conclusivas, no contexto da evolução do Arqueano e Proterozóico Inferior.

Em complemento, os dados existentes para as seqüências supracrustais do CSF serão aqui integrados, além de ser brevemente sintetizado o quadro geocronológico do Proterozóico Médio e Superior, o qual tem implicações tectônicas para a entidade cratônica. Objetiva-se, primordialmente, uma integração coerente e crítica desse variado conjunto de datações, distribuído nos diferentes terrenos metamórficos e nos corpos intrusivos do CSF, de modo a contribuir para o entendimento da evolução crustal pré-cambriana.

Na subdivisão do tempo Pré-Cambriano é utilizada a proposta de Plumb & James (1986), com as adaptações inerentes a plataforma Sul-Americana (Brito Neves et al., 1990b), conforme convencionadas abaixo:

Proterozóico Superior...0,9-0,57Ga.
Proterozóico Médio.....1,8-0,9Ga
Proterozóico Inferior...2,5-1,9/1,8Ga
Arqueano III.....2,9-2,5Ga
Arqueano II.....3,5-2,9Ga
Arqueano I.....> 3,5Ga

Um continuado debate ainda persiste acerca das correlações entre unidades litoestratigráficas do CSF e da magnitude e extensão dos processos de adição juvenil e/ou de retrabalhamento crustal, mas de modo geral as concepções fundamentais sobre a evolução tectônica pré-cambriana, originalmente propostas para esta entidade cratônica, têm sido mantidas com poucas modificações (e.g., Almeida, 1977; Brito Neves et al., 1980; Cordani & Brito Neves, 1982; Inda et al., 1984; Mascarenhas et al., 1986).

De acordo com os padrões geocronológicos detectados para seus vários domínios internos, o CSF pode ser tentativamente compartimentado em províncias crustais, representadas por estruturação regional típica e associações litostratigráficas peculiares. Nesse contexto, emerge um cenário tectônico relativamente bem estabelecido (Fig. 13) através de províncias de idade arqueana e proterozóica inferior, individualizadas tanto na porção setentrional como meridional do CSF (e.g., Cordani & Brito Neves, 1982; Brito Neves et al., 1980; Mascarenhas et al., 1986; Teixeira et al., 1987a; Teixeira & Figueiredo, 1991).

A compartimentação geológico-geotectônica do CSF inclui ainda o sistema intracratônico Espinhaço-Chapada Diamantina (Proterozóico Médio) e coberturas sedimentares do Proterozóico Superior (Bambuí, Una). De maneira geral, esses depósitos sedimentares, cobrindo extensas porções das províncias da entidade cratônica e também as exposições das seqüências do Proterozóico Médio prejudicam o exame da continuidade física e eventuais correlações entre as províncias crustais.

A seguir são caracterizadas sinteticamente as províncias do CSF, sob a óptica geocronológica, com base na experiência acumulada pelo autor, análise da literatura e acesso a dados ainda inéditos. Comentam-se os padrões geocronológicos decorrentes das datações Rb/Sr, U/Pb, Pb/Pb e Sm/Nd, os quais

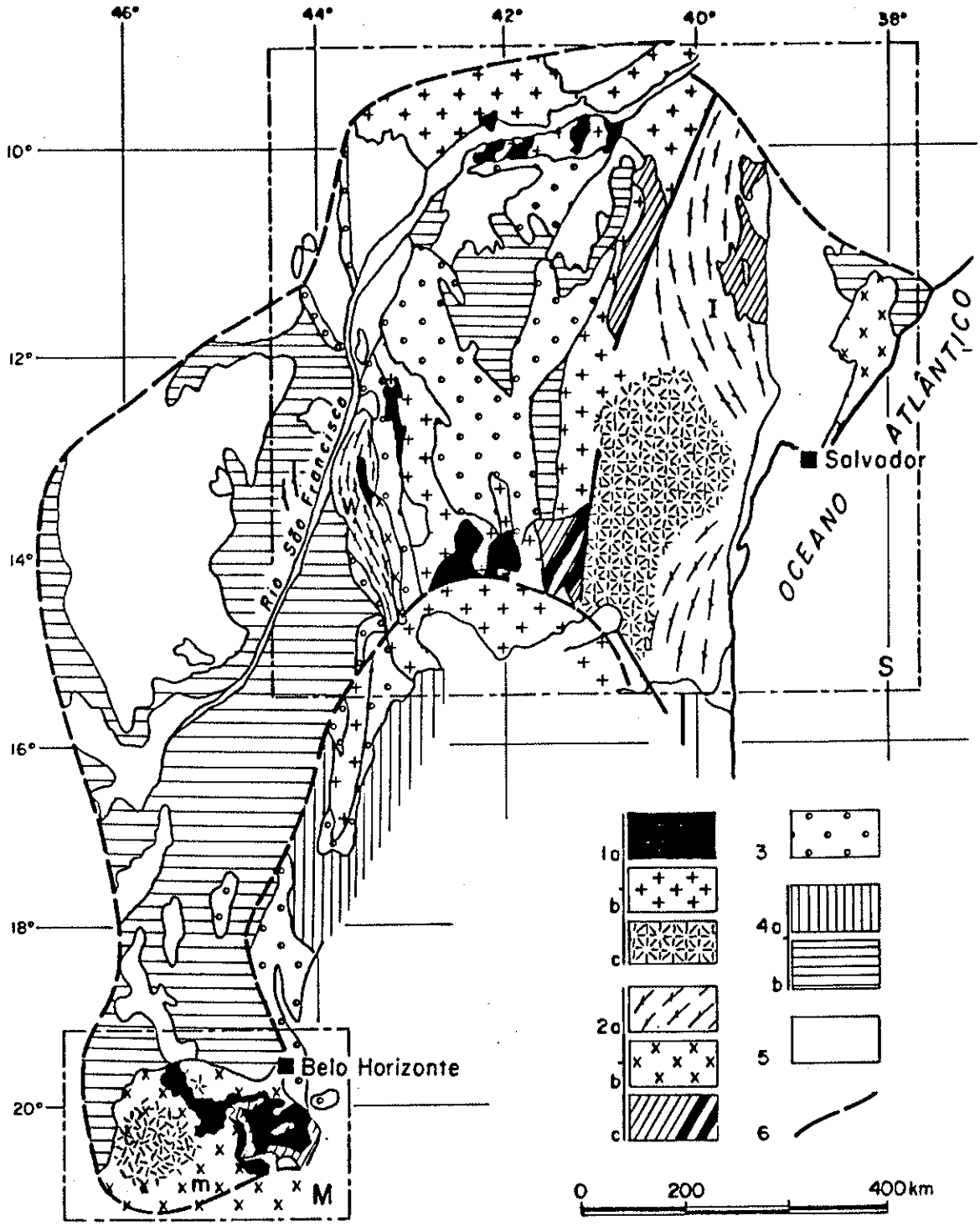


Figura 13: Províncias crustais do CSF e suas principais unidades geológicas (adaptado de Cordani & Brito Neves, 1982).

1 = Arqueano: a = "greenstone belts"; b = terrenos granito-gnáissico-migmatíticos (em parte do Proterozóico Inferior); c = principais fragmentos no interior dos cinturões móveis do Proterozóico Inferior. 2 = Proterozóico Inferior: I = cinturão Itabuna; W = cinturão Correntina-Guanambi; m = Cinturão Mineiro. a) terrenos de alto grau metamórfico; b) terrenos granito-gnáissico-migmatíticos; c) seqüências supracrustais. 3 = Proterozóico Médio: sistema Espinhaço - Chapada Diamantina. 4 = Proterozóico Superior: a = supracrustais Macaubas; b = Coberturas plataformais Bambuí, Una e Estância. 5 = Fanerozóico; 6 = Limites aproximados do CSF em relação à evolução marginal brasiliana. S = Setor cratônico setentrional; M = Setor cratônico meridional.

suportam uma evolução crustal ligada especialmente ao Arqueano e Proterozóico Inferior. O contexto da história térmica regional das províncias será apresentado com base na sua associação com os processos proterozóicos. Por outro lado, o tema das atividades ígneas básicas anorogênicas será discutido relativamente aos eventos de reativação tectônica, internos ou marginais ao cráton, relacionados sobretudo ao Proterozóico Médio e Superior.

3.1. Províncias Arqueanas

As províncias arqueanas do CSF (Fig. 13), expostas em dois domínios principais (meridional e setentrional), exibem idades radiométricas no intervalo de tempo 3,4-2,6Ga. (Arqueano II e III; Brito Neves et al., 1990), conforme registrado por isócronas Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$ e por datações U/Pb. Litologicamente, as rochas do substrato arqueano estão representadas por associações de seqüências tipo *greenstone* e terrenos metamórficos de médio a alto grau, variavelmente submetidos a migmatizações.

Apesar da polêmica existente se as províncias crustais do CSF constituíram um protocontinente ou vários fragmentos no Arqueano (e.g., Brito Neves et al., 1980; Almeida, 1981; Cordani & Brito Neves, 1982), qualquer discussão nesse sentido acha-se ainda prejudicada pela inexistência de pequisas paleomagnéticas para estudo da situação paleotectônica dos fragmentos já identificados. De todo modo, as feições estruturais atuais possivelmente estariam refletindo as modificações introduzidas durante a evolução proterozóica das províncias.

Outros parâmetros limitantes de importância, nessa reflexão inicial, são o registro ainda relativamente esparso de rochas comprovadamente arqueanas (identificadas através de diferentes métodos radiométricos) no domínio cratônico, e a dificuldade de correlação entre os fragmentos continentais primitivos, em razão das extensas coberturas sedimentares e metassedimentares mais jovens.

Tendo em conta essas questões fundamentais, os esquemas paleogeográficos e considerações inerentes expostos nesta tese objetivam fornecer ao leitor uma imagem da evolução dos segmentos crustais da área em estudo sem, no entanto, optar-se por uma concepção fixista do desenvolvimento tectônico. Com vistas a ilustrar o quadro geocronológico dessas províncias são discutidos aqui os dois exemplos existentes, situados respectivamente na parte meridional e setentrional do CSF, através de análise detalhada do conjunto de datações disponíveis em rochas de infraestrutura.

3.1.1. Província Arqueana Meridional

Na parte meridional do CSF a província arqueana ali existente (Fig.14) representa um dos bons exemplos de aplicação integrada de métodos geocronológicos, refletindo o alcance das interpretações voltadas à evolução crustal. Este domínio, constituído por rochas gnáissico-migmatíticas e granitóides de fácies anfibolito, com relíquias do *greenstone belt* Rio das Velhas e seus possíveis cronocorrelatos (e.g., Complexo Piumhi, Grupo Lafaiete), exibe feições tipicamente arqueanas, tais como estruturas dômicas e ovaladas (Machado Filho et al., 1983; Teixeira, 1985), à maneira de outros crátons antigos.

Em termos de área aflorante da província (Fig. 14), esta se prolonga até o Quadrilátero Ferrífero, onde tanto rochas da infraestrutura como as exposições das seqüências tipo "*greenstone*" (e.g., Supergrupo Rio das Velhas; Schorscher et al., 1982; Ladeira et al., 1983) têm revelado idades originalmente arqueanas (Machado et al., 1989a; Delhal & Demaiffe, 1985; Machado & Carneiro, 1992; Carneiro, 1992; C. Noce, inf. verbal, 1992). Do mesmo modo, o Complexo Piumhi, na extremidade oeste da província, mostra-se também Arqueano (Machado & Schrank, 1989), sugerindo com isso corresponder às extensões ocidentais desta

província, alí parcialmente coberta pelos depósitos do Supergrupo São Francisco.

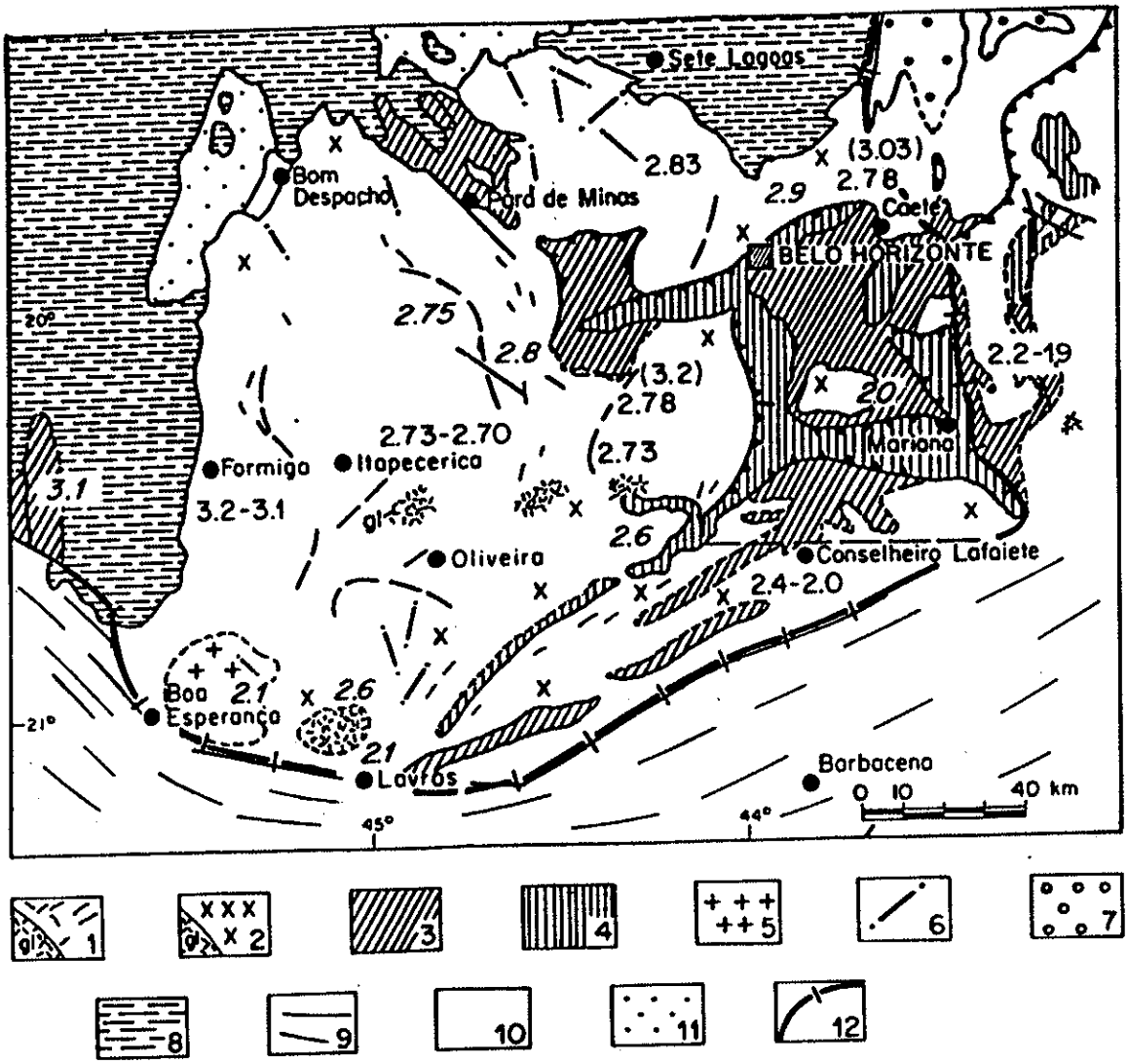


Figura 14: Esboço geológico das províncias geocronológicas da parte meridional do CSF.
1 - Província Arqueana (3,2-2,6Ga): terrenos gnáissico-migmatíticos, incluindo granulitos (gl); 2 - Província do Proterozóico Inferior (2,4-2,0Ga)/Cinturão Mineiro: terrenos gnáissico-migmatíticos, incluindo granulitos e fragmentos arqueanos (e.g., complexo Bação); 3 -"Greenstone belts" arqueanos (Supergrupo Rio das Velhas e Complexo Piumhi; 4 - Supracrustais do Proterozóico Inferior (Supergrupo Minas); 5 - Granitóide Porto Mendes; 6 - Diques máficos proterozóicos; 7 - Extremidade meridional do Sistema intracratônico Espinhaço (Proterozóico Médio); 8 - Supergrupo São Francisco (Proterozóico Superior); 9 - Domínio marginal ao CSF, envolvido na tectogênese Brasiliana; 10 - Domínio retrabalhado de transição cratônica (eventos superimpostos durante o Proterozóico Inferior a Superior); 11 - Cenozóico/Mesozóico. 12 - Limite do CSF. Idades mais significativas representadas; indicando eventos de acrescimento juvenil e retrabalhamento. Em parênteses, estão representadas heranças de componentes de idade U/Pb.

No exemplo em consideração e tendo em conta o conteúdo geocronológico (idades mais representativas representadas na Fig. 14), define-se uma evolução crustal no período de tempo 3,2-2,5Ga (e.g., Teixeira et al., 1987a; Teixeira & Figueiredo, 1991). Entretanto, face às limitações interpretativas inerentes à metodologia Rb/Sr que corresponde ainda a maioria das datações (erros analíticos e de cálculo isocrônico relativamente elevados, dependendo das litologias selecionadas para datação) e ao caráter ainda regional desses estudos (idades representadas em itálico na Fig. 14), a cronologia precisa dos eventos ocorridos no Arqueano é, de modo geral, ainda mal definida, o mesmo ocorrendo para os eventos de retrabalhamento crustal (Proterozóico Inferior), preferencialmente desenvolvidos nas margens da província. Exceções são oferecidas por algumas áreas do Quadrilátero Ferrífero, recentemente estudadas através do método U/Pb (e.g., Machado & Carneiro, 1992; Carneiro, 1992; Machado et al., 1989a).

Mesmo assim, a alternativa de interpretações Rb/Sr fundamentadas em histogramas com idades isocrônicas de afloramento (e.g., Teixeira & Figueiredo, 1991) tem-se mostrado eficaz, pois permite esboçar os eventos geológicos maiores que, aparentemente, ocorreram nesta província meridional do CSF, conforme sugerido em especial para o período 2,8-2,5Ga (Fig. 15). Adicionalmente, com base na avaliação das idades K/Ar, é possível ainda se extrapolar que a província Arqueana sofreu um sorguimento regional há cerca de 2,0-1,8Ga atrás (e.g., Teixeira, 1985; Teixeira et al., 1985a).

Essas informações somadas ao padrão das RIs das isócronas, permitem inferir inclusive, a natureza dos processos tectônicos identificados no domínio arqueano em discussão. Desse modo, processos de adição juvenil combinados com eventos de retrabalhamento têm sido propostos para o Arqueano, com base nessa modelagem da evolução isotópica de Sr das unidades geológicas mais representativas (e.g., Teixeira, 1985; Teixeira et al., 1987a; Teixeira & Figueiredo, 1991).

De maneira geral, o emprego do método U/Pb (zircão, diagramas concórdia/discórdia) tem ratificado as conclusões

obtidas pela metodologia Rb/Sr, isso se devendo à escala de reconhecimento dos estudos geocronológicos U/Pb iniciais nessa região. Em conseqüência, os eventos do final do Arqueano puderam ser apenas esboçados pelo método U/Pb (sem alcançar uma melhor definição cronológica), no presente estágio de conhecimento, conforme pode ser aqui ilustrado para os complexos Bação e Barbacena, na parte meridional do CSF (e.g., Delhal & Demaiffe, 1985).

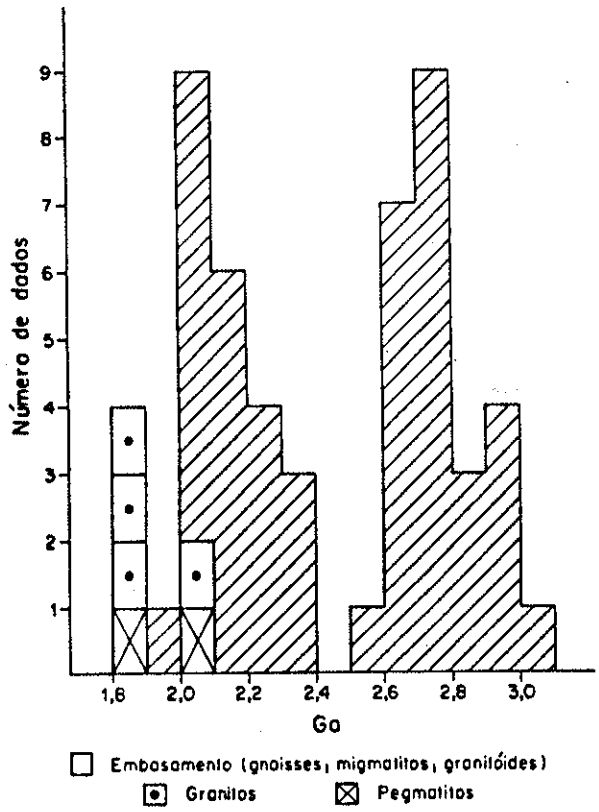


Figura 15: Quadro geocronológico da porção meridional da CSF. Os dados radiométricos selecionados em rochas do embasamento, granitóides e rochas afins referem-se a isócronas em rocha total (Rb/Sr, Pb/Pb) e idades U/Pb em diagramas Concórdia (zircões e titanitas).

Considera-se que somente com o uso rotineiro do U/Pb no Brasil, segundo técnicas de alta precisão (e.g., Krogh, 1982a,b) torna-se-á possível individualizar precisamente os eventos tectonomagmáticos, uma vez que os erros podem ser reduzidos a 1%

da idade obtida. Tal iniciativa, evidentemente, deverá acompanhar o detalhamento dos estudos geológicos além de outras análises, de modo a produzir interpretações radiométricas de alta confiabilidade.

No caso da parte meridional do CSF a validade dessa proposta pode ser ilustrada pelos recentes trabalhos oriundos de dados produzidos no Royal Ontario Museum e Geotop (Canadá): Machado et al., (1989a,b); Machado & Schrank (1989), Machado & Carneiro (1992), Carneiro (1992); Noce (inf. verbal). Tais estudos têm enfatizado diferentes unidades arqueanas especialmente no Quadrilátero Ferrífero e imediações (Complexo Bonfim), conforme antecipado.

Esse conjunto de idades já volumoso ($\simeq$ 80 dados U/Pb) tem permitido detalhar a evolução tectonomagmática, a qual está especialmente concentrada no período 2,78-2,70Ga. Essa evolução relativamente rápida, do final do Arqueano (vulcanismo, plutonismo, metamorfismo), para o segmento crustal considerado, é aparentemente análoga ao que tem sido reportado para a parte norte cratônica (e.g., Martin, 1991; Nutman & Cordani, 1992; Nutman et al., 1992) para diferentes períodos do Arqueano III. Situações semelhantes têm sido também relatadas para a região de Carajás no cráton Amazônico (e.g., Machado et al., 1988), para o escudo Canadense (e.g., Corfu & Davis, 1990) e partes da Austrália (e.g., Page et al., 1984).

Na região sul do CSF os recentes estudos U/Pb são ainda sugestivos de uma proto-crosta com idades em torno de 2,9Ga e 3,1-3,3Ga (Machado et al., 1989a,b; Machado & Carneiro 1992; Carneiro, 1992). Esta hipótese acha-se também ratificada por idades isocrônicas Rb/Sr e Pb/Pb, obtidas especialmente em rochas da região de Formiga à oeste do Quadrilátero Ferrífero (vide Figs. 14, 15).

Dados U/Pb inéditos em rochas do complexo Belo Horizonte, recentemente obtidos por C. Noce (1992, inf. verbal) no Geotop, permitem antever diferenças temporais relativamente curtas no tempo entre os vários eventos tectonomagmáticos

identificados, a partir do registro geocronológico da parte meridional do CSF. Além de terem sido identificadas rochas com idades U/Pb em zircão de cerca de 2,9Ga, foi precisamente definida a existência regional de um plutonismo granítico, já anteriormente datado em 2,7Ga na área do Bonfim (Machado & Carneiro, 1992). Identificaram-se também intrusivas graníticas mais tardias ainda, com idade U/Pb de 2,6Ga, o que aponta para o desenvolvimento de uma atividade plutônica de caráter recorrente nesse segmento continental.

Em suma, pelo exposto, e a partir de um detalhamento geocronológico e isotópico deverá ser possível, no futuro, a delimitação de domínios internos, cronologicamente distintos, na província arqueana (traços sinuosos delineados na Fig. 14) e, dessa forma, favorecendo no entendimento da geodinâmica dos eventos do Arqueano. Com base na avaliação integrada dos dados U/Pb, apoiada também pelas datações Rb/Sr e Pb/Pb, aparentemente tais eventos teriam caráter discreto e, como tal, estariam apontando para a existência de microcontinentes distintos no decorrer do Arqueano.

Do ponto de vista do planejamento de estudos geocronológicos futuros e com base na experiência acumulada no exemplo específico da província meridional do CSF, considera-se aqui recomendável o emprego de isócronas Rb/Sr a nível de afloramento, segundo uma distribuição geográfica abrangendo o contexto regional. Desse modo seria possível melhor controlar a cronologia das unidades e identificar, com certa representatividade, os eventos tectonomagmáticos maiores da evolução crustal.

Quanto ao estudo da natureza das rochas deste segmento do CSF, esta poderia ainda ser melhor monitorada através de ensaios Sm/Nd (idades modelo, epsilons de Nd, diagramas Nd/Sr) nos ortognaisses e granitóides em combinação com estudos geoquímicos nessas rochas (estes ainda escassos atualmente).

Finalmente, no tocante ao acervo geocronológico do Supergrupo Rio das Velhas (Figs. 14 e 16) os dados isotópicos $^{207}Pb/^{206}Pb$ acham-se coerentes com o quadro cronoestratigráfico estabelecido para esse *greenstone belt*, datado precisamente, através de rochas vulcânicas sin-genéticas, pelo método U/Pb em zircão, em 2,78Ga (Machado et al., 1989a).

No caso dos depósitos de ouro do Supergrupo Rio das Velhas, foram datadas as galenas associadas (Thorpe et al., 1984), com idades $^{207}Pb/^{206}Pb$ modelo de 2,49-2,57Ga (mina de Bicalho) e 2,71Ga (Mina de Bela Fama). Estes resultados possibilitam assim relacionar ao Arqueano a mineralização de galenas e, conseqüentemente, as rochas hospedeiras do Grupo Nova Lima.

Com base em comparações interpretativas com análises de Pb para depósitos auríferos do escudo Canadense, Thorpe et al. (op. cit) sugerem que a idade de 2,7Ga seria mínima para o depósito de Bela Fama. Esta interpretação é consistente, portanto, com a idade U/Pb de 2,78Ga obtida em zircões de rochas metavulcânicas. Já os resultados isotópicos $^{207}Pb/^{206}Pb$, em torno de 2,5Ga desse *greenstone*, possivelmente estariam refletindo a época da remobilização das galenas da Mina de Bicalho.

Por outro lado, na geocronologia U/Pb (Machado et al., 1989a) existem indicações isotópicas nas metavulcânicas datadas de componentes herdados alcançando idades da ordem de 2,9Ga, o que poderia representar a existência de uma paleocrosta continental sobre a qual ter-se-iam depositado as seqüências do "*greenstone*" Rio das Velhas.

Para teste desta hipótese, entretanto, dados U/Pb em maior número, envolvendo inclusive outras exposições de seqüências vulcano-sedimentares da parte meridional do CSF são necessários. Em síntese, as aplicações geocronológicas em

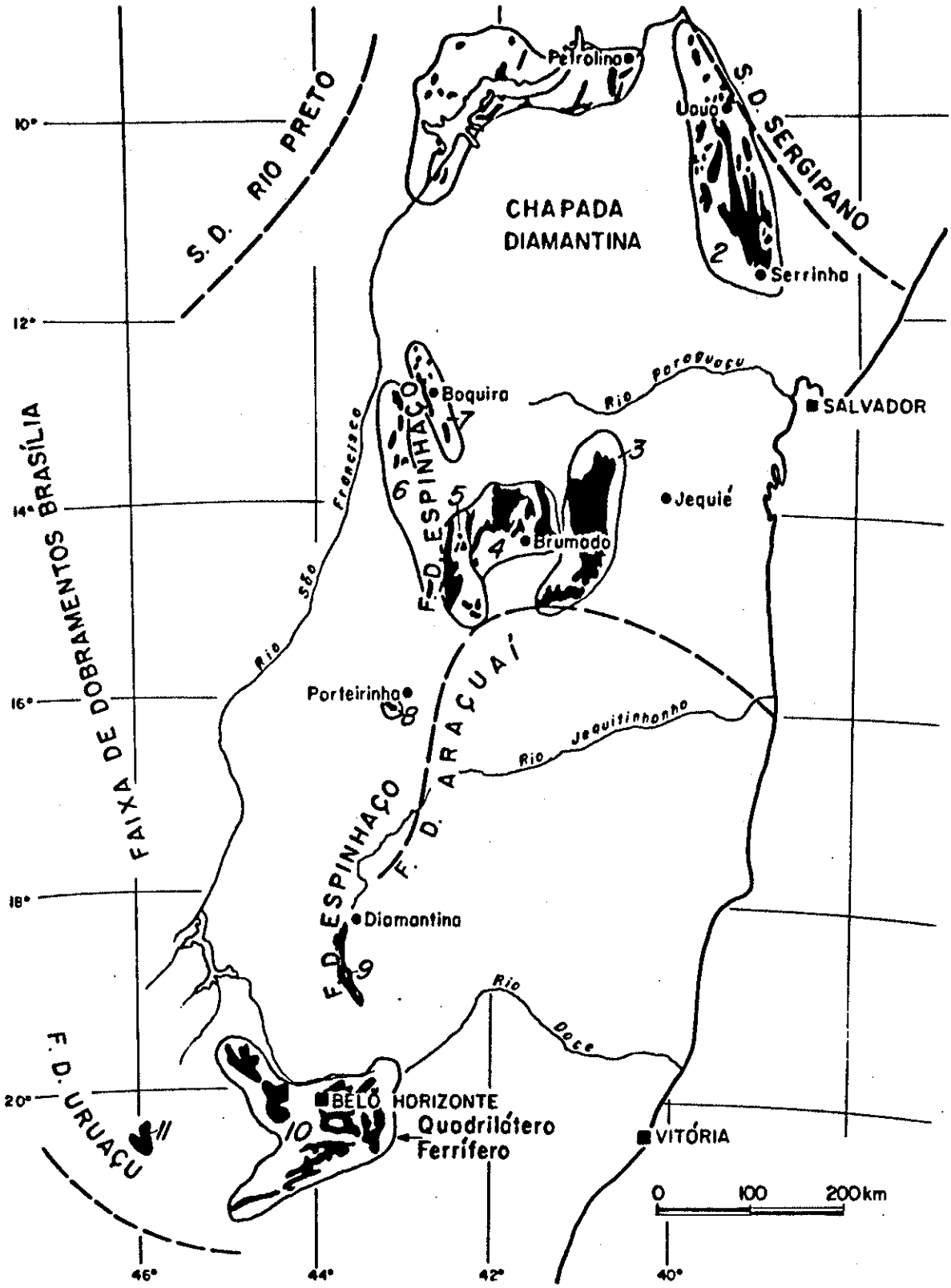


Figura 16: Localização e distribuição dos principais conjuntos de seqüências vulcano-sedimentares (incluindo "greenstone belts") de idade arqueana e/ou proterozóica inferior no CSF (Adaptado de Inda et al., 1984).

Domínios:

1) Colomi, Barreiro - Rio Salitre; 2) Itapicuru, Rio Capim; 3) Contendas-Mirante; 4) Ibitira-Brumado (Umburanas); 5) Licínio de Almeida; 6) Urandi e Riacho de Santana; 7) Boquira; 8) Porteirinha; 9) Gouveia (Costa Sena); 10) Rio das Velhas - Pará de Minas; 11) Piumhi

materiais do Supergrupo Rio das Velhas (idades U/Pb e $^{207}Pb/^{206}Pb$) vêm ilustrar uma das alternativas que podem ser buscadas para o melhor entendimento dos *greenstones belts*, os quais, geralmente, têm grande interesse para prospecção mineral.

3.1.2. Província Arqueana Setentrional

Na parte setentrional do CSF, o outro exemplo ainda melhor estudado geocronologicamente e que pode ser trazido como modelo de estudo de áreas arqueanas, está representado pela província crustal que inclui os terrenos metamórficos de alto grau, expostos no bloco Gavião (área de Brumado) e no fragmento Jequié-Mutuípe (Fig. 17).

A província Arqueana Setentrional é essencialmente constituída por charnoquitos, enderbitos e charnoenderbitos metamórficos, além de rochas granito-gnáissicas e migmatitos de alto grau, e restos de seqüências vulcano-sedimentares (e.g., Complexos Brumado, Jequié-Mutuípe, Umburanas e parte da seqüência Contendas-Mirante). Este domínio abrange a região onde foi originalmente definido o ciclo geotectônico Jequié (deformação e metamorfismo) de idade 2,7Ga (Cordani, 1973; Cordani & Iyer, 1979; Mascarenhas, 1979; Brito Neves et al., 1980; Lima et al., 1981; Mascarenhas, 1982; Barbosa, 1986).

A província, maior que 60.000 km^2 em área, contém um dos mais representativos conjuntos de datações radiométricas Rb/Sr (em isócronas de referência e de afloramento) e U/Pb (vários métodos) da América do Sul. Diversos afloramentos possuem ainda controle de isócronas $^{207}Pb/^{206}Pb$ e idades modelo Sm/Nd. Como produto desse grande número de datações e sua boa representatividade regional considera-se que as épocas detectadas sejam realmente significativas da evolução tectônica desse segmento setentrional do CSF.

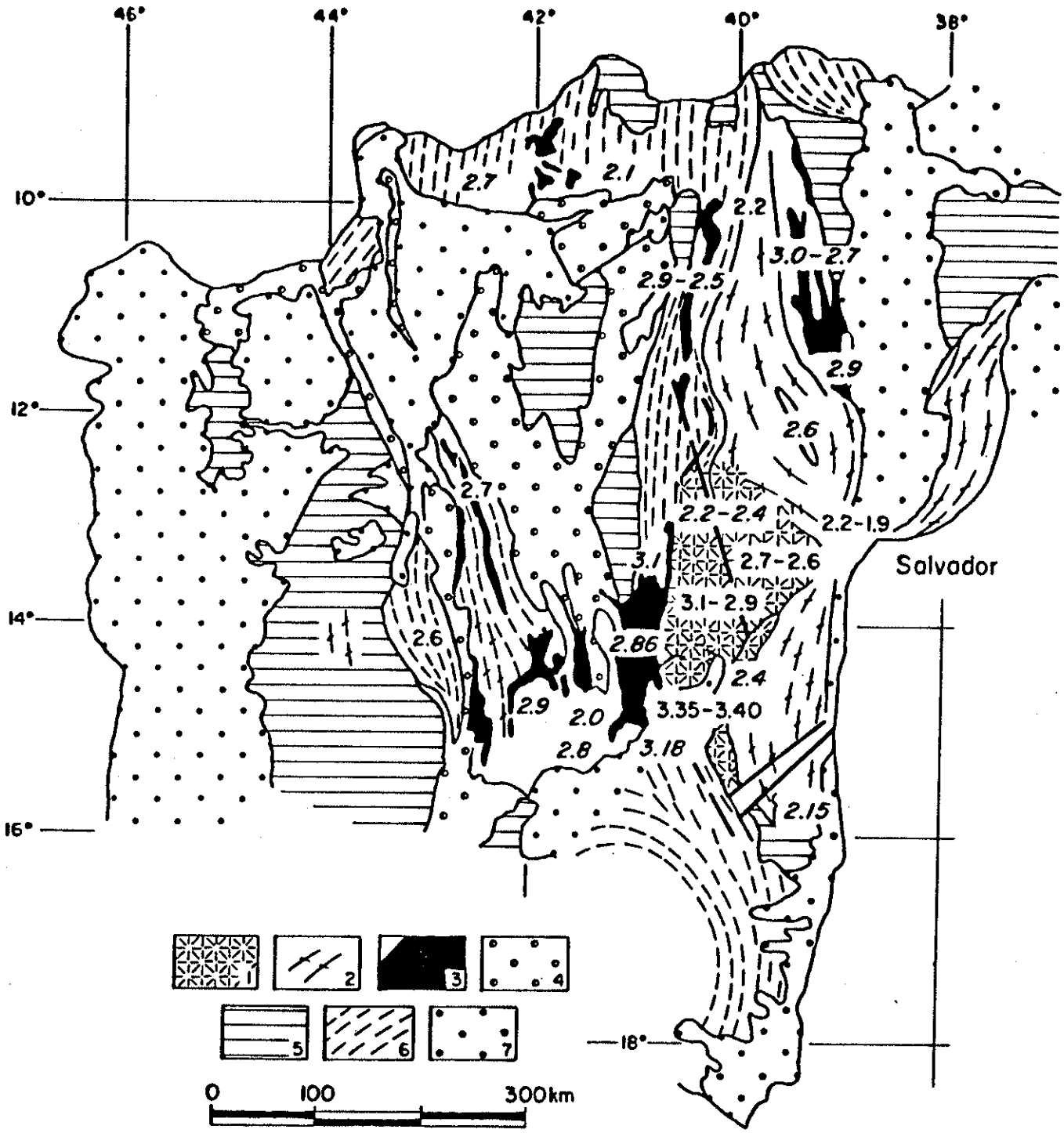


Figura 17: Esboço geológico das províncias geocronológicas da parte setentrional do CSF.
1 - Província arqueana central da Bahia (3,4-2,7Ga), incluindo domos manteados (e.g., Boa Vista, Sete Voltas) e fragmentos gnáissico-migmatíticos, parcialmente remobilizados durante o Proterozóico Inferior; I- Complexo Jequié (3,0-2,7Ga), integrante da província Arqueana; 2 - Províncias do Proterozóico Inferior (2,25-1,9Ga): Cinturão Itabuna e Cinturão Correntina-Guanambi, respectivamente a leste e a oeste da província Arqueana Central; 3 - Seqüências supracrustais, incluindo "greenstone belts", do Proterozóico Inferior: e.g., Itapicuru, Contendas-Mirante (parte); Jacobina, Rio Capim, Boquira; 4 - Sistema intracratônico Espinhaço setentrional e Grupo Chapada Diamantina (Proterozóico Médio); 5 - Supergrupo São Francisco (Proterozóico Superior); 6 - terrenos metamórficos de médio a alto grau (indiferenciados), geralmente remobilizados durante o Proterozóico Inferior; estendem-se para o domínio marginal, sudeste do CSF na Bahia, envolvido na tectogênese Brasiliana. 7 - Cenozóico/Mesozóico;

Alguns valores radiométricos chegam ali a alcançar cerca de 3,4Ga, correspondendo às idades das mais antigas obtidas, até o momento, no âmbito da plataforma Sul-Americana.

Na análise do padrão geocronológico interno desta província Arqueana central do estado da Bahia essas idades mais antigas, identificadas em áreas restritas (Fig. 17), corresponderiam à crosta primitiva variavelmente poupada aos processos intensivos de metamorfismo de fácies granulito e de migmatização ocorridos ao final do Arqueano e no ciclo Transamazônico. Exemplos dessas rochas muito antigas são os granitóides de Sete Voltas, Boa Vista, Iramaia e Lagoa do Morro/Anajé, além dos migmatitos de Ubaíra com idades entre 3,1-3,2Ga e 3,2-3,4Ga (e.g., Wilson, 1987; Martin et al., 1991; Nutman & Cordani, 1992).

Particularmente no maciço de Sete Voltas, os dados geocronológicos Rb/Sr e U/Pb mais recentes têm revelado inclusive uma história muito complexa entre 3,42 e 3,14Ga (Martin et al., 1991). Estas idades, por outro lado, são consistentes com resultados Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$ anteriormente obtidos por Cordani et al. (1985), através de isócronas regionais para os granitóides Sete Voltas e Boa Vista.

Outro exemplo interessante é dado pelo granitóide Lagoa do Morro/Anajé. Seus resultados isocrônicos Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$ mostraram-se muito discordantes entre si o que tem sido interpretado, tentativamente, como um distúrbio do sistema U/Pb rocha total causado por processos de granitização do Proterozóico Inferior (Cordani et al., 1985; Mascarenhas et al., 1986).

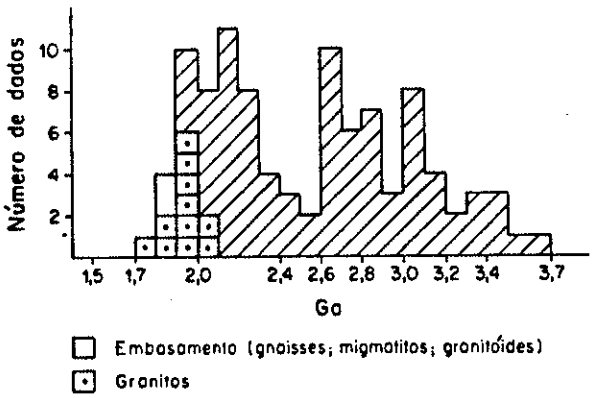
No granitóide Boa Vista, dados isocrônicos Rb/Sr, $^{207}Pb/^{206}Pb$ e idades modelo Sm/Nd (Wilson, 1987, Wilson et al., 1988), revelaram-se concordantes ao redor de 3,4Ga. Na interpretação de Wilson (op. cit), a concordância de idades em 3

sistemas isotópicos distintos demonstraria que o precursor magmático deste granitóide foi extraído do manto por volta de 3,5Ga atrás, com posterior diferenciação geoquímica e metamorfismo até a sua estabilização final, há cerca de 3,4Ga atrás.

Os dados acima expostos são especialmente importantes no contexto regional tendo em vista as idades arqueanas Sm/Nd, Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$ obtidas por Wilson (1987) e Marinho (1991) nas contribuições ígneas intercaladas na seqüência Contendas-Mirante que são consistentes, por sua vez, com a proposta da derivação dessas rochas ígneas a partir de protolitos com idade de até 3,3Ga.

A província Arqueana da parte setentrional do CSF possui, no entanto, o seu maior agrupamento de dados geocronológicos entre 2,80 e 2,60Ga. (Fig 18), período este correspondente ao ápice dos processos tectonomagmáticos do ciclo Jequié, e que aparentemente incluiu rochas plutônicas equilibradas no fácies granulito (e.g., Pedreira et al., 1992).

Figura 18: Quadro geocronológico da porção setentrional do CSF. Os dados radiométricos em rochas do embasamento e granitóides referem-se a isócronas em rocha total (Rb/Sr, Pb/Pb), idades U/Pb (vários métodos) e idades modelo Sm/Nd (T_{DM}).



Os processos mais tardios do Arqueano incidiram especialmente sobre o bloco Gavião, estando menos representados, de acordo com o número de datações, no fragmento Jequié-Mutuípe (e.g., Cordani et al., 1985; Lima et al., 1981; Mascarenhas & Garcia, 1989). Digno de nota nesse intervalo de tempo, é a

constatação, de que as idades isocrônicas (Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$) a nível de afloramento, obtidas mais recentemente, apenas têm ratificado as inferências preliminares obtidas a partir dos diagramas Rb/Sr de referência anteriormente publicados (e.g., Brito Neves et al., 1980). Isso comprova a necessidade complementar das datações U/Pb, zircão e Sm/Nd para detalhamento da evolução crustal dessas áreas (e.g., parte oeste do bloco Gavião).

O quadro evolutivo policíclico no Arqueano é por exemplo, demonstrado pelas idades U/Pb, Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$ entre 2,8Ga e 2,65Ga (e.g., Mascarenhas & Garcia, 1989; Marinho, 1991; Alibert & Barbosa, 1992) (Figs. 13, 17 e 18), em enderbitos e charnoquitos plutônicos do setor oriental do Complexo Jequié-Mutuípe. Idades modelo Sm/Nd, quando disponíveis, apontam a derivação de parte das rochas deste complexos a partir de protolitos com idade de até 3,2Ga (Marinho, op. cit).

As rochas de alto grau metamórfico deste Complexo têm uma assinatura de alto conteúdo em REE e empobrecimento de Eu, com a maioria de suas idades Rb/Sr isocrônicas indicando valores do Arqueano tardio. A integração destes dados com as idades U/Pb disponíveis, entre 2,75-2,65Ga (Alibert & Barbosa, 1992), aliado às elevadas RIs exibidas por uma parcela significativa desses resultados Rb/Sr, confirmam a heterogeneidade deste Complexo Jequié-Mutuípe e reforçam uma origem plutônica (por derivação crustal) para parte das rochas granulíticas que teriam sido assim intrusivas nas seqüências supracrustais da província Arqueana Setentrional (Figueiredo, 1989; Pedreira et al., 1992).

A elaboração de um diagrama de evolução isotópica de Sr é particularmente ilustrativo dessa proposta, sendo sugerido que as rochas plutônicas com altas RIs do Complexo Jequié-Mutuípe poderiam ter se originado de protolitos com idade ao redor de 3,5/3,4-3,2Ga (Fig. 19), conforme registrado por dados U/Pb nesse domínio e também no embasamento da seqüência Contendas-Mirante (Fig. 17), hoje aflorante por processos de domeamento.

Especialmente a borda oriental da província Arqueana, incluindo uma fração dos terrenos granulíticos, mostra-se ainda

afetada por processos do Proterozóico Inferior (2,4-2,0Ga), que também atingiram o alto grau metamórfico. Esse registro é dado por datações Rb/Sr, U/Pb e K/Ar (e.g., Mascarenhas & Sá, 1982; Cordani & Brito Neves, 1982; Cordani et al., 1985; Delhal & Demaiffe, 1985; Sato, 1986; Mascarenhas & Garcia, 1989), e também pelas idades aparentes $^{40}Ar/^{39}Ar$ em minerais (Sletten, 1989).

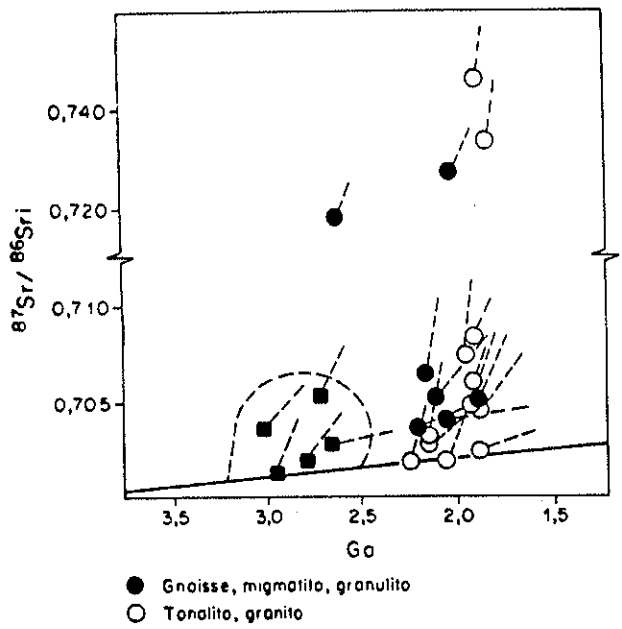


Figura 19: Evolução crustal da parte setentrional do CSF, com base em isótopos de Sr de rochas selecionadas, (ênfase para o cinturão Itabuna). Linhas tracejadas representam a evolução isotópica particular para as diferentes amostras. Envoltória delineada configura o domínio isotópico de rochas da província Arqueana, incluindo representantes do complexo Jequié-Mutuípe.

No contexto regional, esse padrão heterogêneo de idades acha-se bem caracterizado no mapa geocronológico do estado da Bahia (Mascarenhas et al., 1986) que representa, inegavelmente, uma excelente integração de datações em termos de sua visualização gráfica, notadamente quanto à evolução arqueana e proterozóica inferior do setor setentrional do CSF.

Mais recentemente, uma síntese sobre os terrenos granulíticos da Bahia (incluindo o complexo Jequié-Mutuípe) foi organizada por Pedreira et al. (1992), integrando novos dados geocronológicos, interpretados à luz dos avanços obtidos no quadro geológico regional. De maneira geral, as variações no padrão geocronológico identificadas no trabalho de Mascarenhas et

al. (1986) acham-se ratificadas naquela síntese, inclusive no tocante a existência de processos regionais de rehomogeinezação isotópica de Sr, superimpostos nos setores marginais do complexo Jequié-Mutuípe.

Em suma, os resultados radiométricos existentes para a província arqueana da parte norte do CSF demonstram uma evolução especialmente concentrada no tempo entre 3,2-3,1Ga e entre 2,8-2,6Ga (Fig. 18), implicando assim para uma heterogeneidade em termos da edificação crustal. Por sua vez estes eventos são contemporâneos com os ocorridos na parte meridional do cráton (episódios caracteristicamente de curta duração). O caráter policíclico dessa evolução na parte setentrional do CSF está sugerido pelas RIs que se mostram significativamente elevadas para a época datada (Fig. 19), pelos epsilons negativos de Nd e também pelos valores elevados de μ_1, quando disponíveis. Tais parâmetros isotópicos vem dar, inclusive, inequívoca representatividade geológica aos registros de rochas granitóides com idades da ordem de 3,4-3,3Ga, apesar de ainda escassos.

Em função da extensão geográfica desta província e a distribuição interna das datações, existem ainda deficiências quanto ao conhecimento geocronológico, tanto no bloco Gavião como no domínio Jequié-Mutuípe. Isto impede, no momento, uma melhor definição das reais extensões e limites desta província Arqueana na parte setentrional do CSF.

Seguramente, parte desse problema é decorrente da superimposição de processos proterozóicos sobre esta província e que alcançaram condições de alto grau metamórfico, conforme evidenciam datações Rb/Sr (Wilson, 1987; Marinho, 1991; Pedreira et al., 1992) e datações $^{40}Ar/^{39}Ar$ (Sletten, 1989) com padrão do ciclo Transamazônico. Tal superposição tectonomagmática dificulta a preservação do registro isotópico original de rochas e, por conseguinte, as iniciativas no tocante à elaboração de reconstruções paleogeográficas. Estas inferências, se melhor apoiadas de estudos isotópicos, contribuiriam decisivamente para análise da questão da existência de uma extensa (e contínua) crosta primitiva ou, alternativamente, da individualização de

fragmentos distintos arqueanos naquele setor do CSF.

Esse quadro evolutivo acima delineado pode ser ilustrado, por exemplo, pelas rochas do complexo metamórfico de Uauá (Fig. 20), cujos ortognaisses possuem idade Rb/Sr mínima de 3,1Ga (Bastos Leal, 1992). Contudo, este complexo apresenta-se afetado por processos de migmatização datados em cerca de 2,7Ga (e.g., Mascarenhas & Garcia, 1989; Bastos Leal, 1992; Gava et al., 1983; Brito Neves et al., 1980).

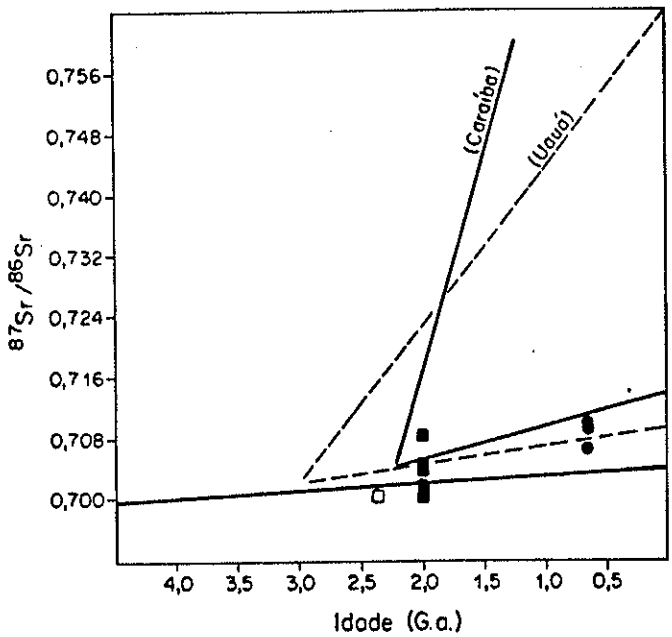


Figura 20: Diagrama de evolução isotópica de Sr no tempo geológico para os Complexos Caraíba e Uauá (adaptado de Bastos Leal, 1992). Observa-se que o campo de variação isotópica do Complexo Caraíba (de natureza ensiálica; 2,25Ga) insere-se no campo do complexo metamórfico de Uauá, sugerindo vínculo genético entre eles. Também estão representadas as razões isotópicas iniciais para os diques proterozóicos do enxame de Uauá (2,38 e 2,0Ga) e Curaçá (0,7-0,65Ga). Aparentemente as fontes magmáticas dessas atividades fissurais foram contaminadas diferencialmente pela crosta continental arqueana e proterozóica inferior, com base na distribuição dos respectivos pontos analíticos nos dois campos de evolução isotópica mencionados.

No caso do complexo metamórfico de Uauá, infelizmente não se dispõe de análises U/Pb e Sm/Nd que permitam uma comparação com o tonalito Rio Capim, situado mais a leste, e datado em 3,08Ga (Mascarenhas & Sá, 1982). Esta deficiência de estudos isotópicos, por outro lado, também vem limitar as extrapolações quanto à possibilidade da participação dos materiais deste complexo na gênese dos terrenos metamórficos do vale do Rio Curaçá, situados a oeste, que também apresentam-se estudados isotopicamente (Fig. 20). De qualquer modo, o quadro evolutivo decorrente da avaliação geocronológica integrada é claramente policíclico, com a participação importante, inclusive,

de processos tectonomagmáticos do Proterozóico Inferior. Estes processos mais jovens foram, por sua vez, responsáveis também pela intrusão de corpos graníticos e diques básicos naquele setor do CSF, conforme será discutido oportunamemte.

3.1.2.1. Seqüências Supracrustais

Em relação às seqüências supracrustais da província Arqueana Setentrional do CSF, o caso do Contendas-Mirante é exemplar, no sentido de ilustrar o atual estágio de conhecimento geocronológico.

Recentes investigações petrográficas, geoquímicas, metamórficas e geocronológicas efetuadas por Marinho (1991) nesta seqüência, subsidiam um enquadramento tectônico alternativo para suas unidades inferiores. A síntese de Pedreira et al. (1992) vem ilustrar a coerência entre os resultados geocronológicos e demais informações isotópicas disponíveis para estas unidades inferiores as quais suportam uma evolução inequivocamente arqueana para parte das rochas do Contendas-Mirante.

Datações em metariolitos da unidade basal do Contendas-Mirante revelaram idades entre 3,3Ga (U/Pb em zircões euédricos e T_{DM}s-Sm/Nd) e 3,0Ga (isócrona $^{207}Pb/^{206}Pb$ em rocha total) - Marinho (1991); Wilson (1987) - sendo a idade mais antiga considerada como da intrusão deste corpo subvulcânico. Idades Rb/Sr isocrônicas mais jovens ($\simeq$ 2,45Ga) haviam sido originalmente reportadas para tais rochas (Marinho et al., 1978; Cordani et al., 1985), embora tais dados admitissem interpretações alternativas acerca de uma evolução mais primitiva para as amostras datadas, devido à distribuição dos pontos no diagrama isocrônico (e.g., Brito Neves et al., 1980).

Rochas vulcânicas toleíticas, também datadas na unidade basal, revelaram idades Sm/Nd (T_{DM}s) entre 3,3Ga e 2,3Ga, sendo que os respectivos epsilons de Nd variáveis e decrescentes em relação as razões Zr/Nd apontam coerentemente para a participação de processos de contaminação crustal na gênese destas rochas. Intercalações de BIFs nestes toleítos, datadas adicionalmente por

Marinho (1991), indicaram idades entre 3,26Ga e 3,0Ga (métodos $^{207}Pb/^{206}Pb$ e Sm/Nd-T_{DM}).

Este quadro evolutivo arqueano é também ratificado para a unidade intermediária do Contendas-Mirante (Fms. Mirante e Rio Gavião), com idades Sm/Nd (T_{DM}s) que alcançaram 2,85Ga (Pedreira et al., 1992). Algumas idades Sm/Nd mais jovens obtidas, ao redor de 2,42Ga são consistentes, por sua vez, com idades $^{207}Pb/^{206}Pb$ de 2,5Ga, obtidas para uma rocha vulcânica cálcio-alcalina intercalada na unidade intermediária. Também neste último exemplo, os parâmetros isotópicos de Nd (epsilons negativos) e Pb (composição fortemente radiogênica) sugerem uma fonte crustal para os protolitos, possivelmente gerados a partir dos materiais da própria unidade inferior do Contendas-Mirante (Marinho, 1991).

Já os metaconglomerados da unidade superior desta seqüência supracrustal, conforme será discutido oportunamente (item 3.2.2), são considerados como de idade proterozóica inferior, com base nas datações U/Pb (SHRIMP), relatadas por Nutman et al. (1992). Não obstante, as análises U/Pb nestes metaconglomerados revelaram dois outros componentes mais antigos de idade (2,71-2,6Ga e 2,4-2,3Ga). A identificação destas duas populações de zircões, correspondentes a tipos detríticos, exclui os granitóides de Boa Vista e Sete Voltas, datados em cerca de 3,4Ga (Nutman & Cordani, 1992) como possível fonte para os materiais da unidade superior do Contendas-Mirante .

Por outro lado, na análise da questão geocronológica desta unidade supracrustal, importante informação complementar é trazida a partir dos estudos Sm/Nd e Rb/Sr realizados no complexo Rio Jacaré (Kawashita et al., 1991b; Marinho, 1991). Este complexo corresponde a um sill máfico-ultramáfico, metamorfizado, situado entre o complexo Jequié-Mutuípe e a seqüência supracrustal Contendas-Mirante, e que tem implicações de ponto de vista tectônico, pois aparentemente pode relacionar-se a um evento intrusivo gerado pela colisão entre blocos continentais, por ocasião da evolução do cinturão Itabuna.

Especialmente interessantes são as análises Sm/Nd empregadas no complexo Rio Jacaré, uma vez que ilustram a

capacidade dessa metodologia em identificar processos metamórficos primitivos, mesmo em áreas policíclicas. A isócrona mineral Sm/Nd em leucogabros revelou idade de 2,1Ga ao passo que uma isócrona Rb/Sr (em mineral), nessas mesmas rochas, indicou idade de 1,88Ga. A idade mais antiga foi interpretada por Kawashita et al. (1991b) como refletindo uma rehomogeneização isotópica em decorrência do metamorfismo de fácies anfibolito, sendo que a idade Rb/Sr mais jovem estaria apontando um evento de fácies xisto verde superimposto aos leucogabros do Complexo.

Estudos isotópicos $^{207}Pb/^{206}Pb$, efetuados por Marinho (1991), demonstram a formação deste sill máfico-ultramáfico há cerca de 2,47Ga atrás. Valores negativos decrescentes dos epsilons de Nd, associados com aumento das razões Y/Nb e Zr/Nb sugerem a existência de contaminação crustal durante a ascensão magmática. A idade acima é ainda coerente com a identificação neste sill de xenolitos de rochas vulcânicas cálcio-alcalinas (com idade de 2,5Ga) da unidade intermediária do Contendas-Mirante (Pedreira et al., 1992).

Em síntese, pelo rapidamente comentado acima, revela-se uma evolução geocronológica demasiadamente longa no tempo para a seqüência Contendas-Mirante o que vem corroborar a proposição de Marinho (1991), exposta por ocasião da Reunião Preparatória do II Simpósio do Cráton do São Francisco, no sentido de sua compartimentação em duas unidades distintas, ligadas respectivamente ao Arqueano e Proterozóico Inferior (vide também Pedreira et al., 1992). A par disso, ainda haveria aparentemente a possibilidade de uma separação das unidades inferior e intermediária, vinculadas à evolução da província Arqueana setentrional, face ao acervo de dados radiométricos avaliado que revela um considerável hiato no tempo para a geração destes materiais durante o Arqueano II e III.

De qualquer modo, o exemplo do Contendas-Mirante vem demonstrar a complexidade inerente dessas seqüências em geral, e como tal o progresso geocronológico poderá levar a novas concepções quanto a história policíclica e a própria compartimentação das unidades supracrustais da parte setentrional

do CSF, hoje tidas como de evolução monocíclica, essencialmente ligada ao Arqueano (e.g., seqüências Brumado, Umburanas, Colomi-Barreiras; Fig. 16).

3.2 Províncias do Proterozóico Inferior

As províncias crustais do Proterozóico Inferior no CSF são caracterizadas basicamente pela evolução dos cinturões móveis Itabuna, Correntina-Guanambi, e Mineiro (Figs. 13, 14 e 17). A análise da anatomia e estruturas regionais desses cinturões móveis sugere um desenvolvimento marginal em relação as províncias arqueanas (e.g., Brito Neves et al., 1980; Cordani & Brito Neves, 1982; Teixeira & Figueiredo, 1991). Feições características que podem ser recuperadas dessas províncias geocronológicas do Proterozóico Inferior são o seu padrão alongado submeridiano, o potente encurtamento E-W, além do espessamento crustal relacionado a processos de migmatização, a exemplo do registrado para os cinturões Itabuna e Mineiro (e.g., Sabaté et al., 1988; Cordani et al., 1980; Teixeira & Figueiredo, op. cit).

Durante o Proterozóico Inferior ocorreu, inclusive, o retrabalhamento parcial das províncias arqueanas, conforme já comentado, tanto para as partes sul como norte cratônicas (e.g., Mascarenhas et al., 1986). Eventualmente, no interior desses cinturões, fragmentos cratônicos antigos acham-se parcialmente preservados representados por granitóides e terrenos "granito-greenstone" os quais sofreram soerguimento durante a evolução proterozóica Inferior, conforme revela o registro geocronológico, (Cordani & Brito Neves, op. cit; Marinho & Sabaté, 1982; Brito Neves, 1986; McReath & Sabaté, 1987; Machado et al., 1989a).

As associações litológicas destes cinturões móveis proterozóicos estão representadas fundamentalmente por seqüências de médio e alto grau metamórfico (infraestrutura), seqüências de baixo grau (supraestrutura) que incluem eventualmente *greenstone belts*, além de plutonismo com composição variada. Dessa forma, será aqui comentada a integração dos dados radiométricos e

isotópicos mais representativos no contexto das províncias do Proterozóico Inferior do CSF. Quantitativamente, a reavaliação procedida está fundamentada na maior freqüência de idades em determinado período do Proterozóico Inferior, conforme registrado, especialmente por datações Rb/Sr, K/Ar e U/Pb (Figuras 15 e 18).

Ainda no aspecto preliminar das características gerais das províncias do Proterozóico Inferior, a primeira questão a se abordar é a própria dificuldade da definição da época de deposição das unidades do ciclo Transamazônico a semelhança do constatado para outras faixas móveis contemporâneas do globo. A nosso ver, parte das limitações neste estudo é inerente à amostragem deficiente, para fins geocronológicos, das seqüências supracrustais representativas desse ciclo, como também é devida à complexidade metamórfica/deformacional superimposta a estas rochas durante a própria evolução do Proterozóico Inferior, como é o caso do CSF. Nesse contexto, a alternativa que nos parece tem trazido melhores resultados em termos da definição cronológica da época da deposição dessas unidades está na datação $^{207}Pb/^{206}Pb$ (isocrónas em rocha total) das seqüências carbonáticas de baixo grau, a maneira do recentemente reportado para rochas do Supergrupo Minas (Babinsky et al., 1991), e/ou na datação U/Pb em zircão (ou isócrona $^{207}Pb/^{206}Pb$) das virtuais contribuições vulcânicas intercaladas nas unidades supracrustais em geral, a exemplo do relatado para a seqüência Contendas-Mirante (Wilson, 1987; Marinho, 1991).

Outra questão complementar interessante a se refletir é quanto à própria definição do ciclo Transamazônico (Hurley et al., 1967), uma vez que, no âmbito do CSF, são constatadas diferenças temporais nas idades das unidades geológicas significativas do desenvolvimento deste ciclo, expostas nas partes norte e sul cratônica. A variação dessas idades alcança até cerca de 300Ma, tendo-se por base as idades isocrônicas confiáveis Rb/Sr (em rocha total) para os representantes da infraestrutura dos cinturões móveis do Proterozóico Inferior no CSF (e.g., rochas de alto grau do vale do Rio Curaçá com idade de

2,25Ga; gnaisses de fácies anfibolito e granulitos a leste de Belo Horizonte com idade de 1,9Ga). Vale notar que, num contexto mais amplo, essa não sincronia do evento Transamazônico é também refletida no âmbito da plataforma Sul-Americana e em outros continentes (e.g., eventos Eburnean, Ketilidian, Hudsonian).

Esta peculiaridade do ciclo tectonomagmático Transamazônico, se ratificada através de outros métodos, viria caracterizar à própria geodinâmica desta etapa evolutiva do planeta, com respostas diferenciais no tocante ao desenvolvimento (no tempo) das províncias crustais proterozóicas, como no caso específico do CSF. Não obstante, é particularmente a estabilização do ciclo Transamazônico, a nosso ver, definindo o término do Proterozóico Inferior, através do importante fenômeno de soerguimento de extensas massas continentais, que se apresenta excepcionalmente bem registrada por meio das idades aparentes K/Ar (1,88-1,9Ga) e cuja representatividade geográfica abrange praticamente todo o CSF.

Além disso, a finalização do ciclo Transamazônico foi acompanhada por intrusão de corpos de composição granítica e alcalina, tardios a pós-orogênicos ao ciclo, além de diques máficos, também aqui se revelando uma coerência entre as idades Rb/Sr e K/Ar disponíveis, ao redor de 1,9-1,8Ga.

Em complemento às questões acima levantadas, existem ainda dificuldades na delineação temporal no CSF da possível existência de três eventos discretos no decorrer do Proterozóico Inferior (e.g., 2,4Ga; 2,1Ga; 1,9Ga), eventos estes monitorados através da homogeneização isotópica de Sr a nível regional (e.g., Teixeira & Figueiredo, 1991). Tal pendência aparentemente pode ser devida às características e limitações inerentes ao método Rb/Sr (já que esse é o método mais freqüentemente empregado), mas pode também ser decorrente do contexto geológico policíclico das províncias, envolvendo processos de migmatização, granitogênese, metassomatose potássica, além dos virtuais efeitos da própria re-homogeneização isotópica parcial de rochas arqueanas, que hoje integram os cinturões do Proterozóico Inferior na área investigada.

De toda forma, a análise crítica comparativa da informação geocronológica disponível para o Arqueano e Proterozóico Inferior no CSF parece revelar que os eventos ocorridos especialmente durante o Proterozóico Inferior abrangeram uma área extremamente extensa, por conta dos processos de retrabalhamento crustal e/ou adição de material juvenil, poupando apenas alguns fragmentos da crosta primitiva (e.g., Brito Neves et al., 1980; Cordani et al., 1980; Lima et al., 1981; Mascarenhas et al., 1986; Cordani et al., 1988; Teixeira & Figueiredo, 1991).

Pelo acima exposto, a discussão neste capítulo abordará a representatividade do Proterozóico Inferior no CSF, porém com ênfase particular no período do ciclo Transamazônico, face ao acervo de dados disponíveis, estes especialmente relacionados à infraestrutura das províncias e ao plutonismo associado. Por outro lado, tendo em vista a baixa densidade de datações disponíveis para as supracrustais, estas serão apenas brevemente comentadas numa ilustração da problemática geocronológica, e suas implicações gerais.

3.2.1. Rochas de Infraestrutura

Num quadro comparativo entre as três províncias crustais proterozóicas do CSF, destaca-se o melhor nível de conhecimento geocronológico do estado da Bahia, particularmente no tocante ao cinturão Itabuna (Fig. 17). O padrão radiométrico, representado notadamente em rochas da infraestrutura, está delineado através de isócronas Rb/Sr e Pb/Pb em rocha total, idades U/Pb em zircões, além de algumas poucas idades modelo Sm/Nd (Figs. 13, 17 e 18).

De modo geral, constata-se ao longo desta província a imposição de processos tectonomagmáticos de forte intensidade (alto grau metamórfico), re-equilibrando o sistema Rb/Sr, episódio este que ocorreu, em algumas áreas, há cerca de 2,2Ga e, em outras, há 2,0Ga atrás (e.g., Sato, 1986; Mascarenhas & Garcia, 1989; Teixeira & Figueiredo, 1991). Todavia, os

granulitos plutônicos da região de Governador Mangabeira (região oeste da Bahia de Todos os Santos) parecem ter se originado em época pouco anterior ao ciclo Transamazônico, conforme sugerem dados Rb/Sr e Pb/Pb e seus parâmetros isotópicos (S. Moorbath, inf. verbal, 1986, in Figueiredo, 1989).

3.2.1.1. O Cinturão Itabuna

A análise detalhada dos parâmetros isotópicos de Sr para o conjunto de rochas de infraestrutura do cinturão Itabuna (Fig. 19), revela claramente que processos combinados de adição juvenil e retrabalhamento/rejuvenescimento isotópico participaram da evolução crustal (embora se reconheçam as limitações desta hipótese, face a inexistência de estudos isotópicos de Nd). A heterogeneidade desse quadro geocronológico pode ser também visualizada pelo amplo espectro de idades Rb/Sr, Pb/Pb e U/Pb do Proterozóico Inferior (2,4-1,8Ga), representadas no histograma da Fig. 18. A conclusão preliminar que se chega, a medida que se comparam essas evidências isotópicas mencionadas com as dos terrenos granulíticos de Jequié-Mutuípe (envoltório tracejada da Fig. 19), é de que as rochas de infraestrutura do cinturão Itabuna não teriam derivação unicamente a partir de protólitos arqueanos (mesmo em se considerando materiais originais com baixas razões Rb/Sr), sendo possível a existência de materiais ortoderivados no próprio Proterozóico Inferior, haja vista as idades U/Pb em zircão entre 2,4-2,15Ga, distribuídas ao longo do cinturão Itabuna (Delhal & Demaiffe, 1985). Exceção é feita, evidentemente, pelos dados isotópicos dos granitos que demonstram, predominantemente, sua origem a partir da fusão parcial de materiais arqueanos, com base na distribuição de seus pontos analíticos acima da linha de evolução do manto (Fig. 19).

Outras transformações isotópicas parciais de Sr na província Itabuna são identificadas nas rochas da região entre Feira de Santana e Capim Grosso, na área de Serrinha, no bloco Gavião e nas margens orientais do complexo Jequié-Mutuípe (e.g., Pedreira et al., 1978; Sato, 1986; Mascarenhas & Garcia, 1989).

Especialmente nos setores marginais deste Complexo (Fig. 17), os dados geocronológicos em migmatitos (Barbosa, 1986; Wilson, 1987; Wilson et al., 1988) exibem boa concordância entre isócronas $^{207}Pb/^{206}Pb$ e Rb/Sr, demonstrando a associação destas rochas com um evento metamórfico ocorrido há cerca de 2,0Ga atrás. Por sua vez, a gênese destas rochas seria decorrente da fusão parcial de granulitos os quais revelam idade Sm/Nd modelo ao redor de 3,0Ga (Wilson, op. cit.).

Dados inéditos Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$ aliados aos respectivos parâmetros isotópicos (S. Moorbath, inf. verbal, 1986 *in* Figueiredo, 1989) parecem ratificar que a origem dos granulitos plutônicos da região de Governador Mangabeira (região oeste da Bahia de Todos os Santos) teria ocorrido em época pouco anterior ao ciclo Transamazônico, ainda no Proterozóico Inferior. Esta constatação de materiais gerados neste período de tempo é coerente, por outro lado, com as inferências geoquímicas e petrográficas que apontam característicamente para um modelo de arco magmático para este segmento do CSF (Figueiredo, 1989; Barbosa & Fonteilles, 1989).

Em regiões das folhas Itabuna-Ibicaraí, já na extremidade sul do cinturão Itabuna, granulitos e gnaisses de alto grau metamórfico, datados através do convênio CPRM/CPGeo, em decorrência do programa "Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB", têm corroborado, do mesmo modo, com a concepção de que a evolução deste cinturão móvel deu-se notadamente no Proterozóico Inferior. Com efeito, isócronas Rb/Sr de boa qualidade (dados inéditos) fornecem idades da ordem de 2,28Ga/2,08Ga com razões iniciais relativamente baixas em torno de 0,703/0,704, embora em um afloramento foram registradas idades de cerca de 2,5Ga. Datações complementares desse convênio naquela região parecem ainda revelar a imposição de fenômenos pós-transamazônicos sobre a área cratônica, por volta de 1,6-1,45Ga, sendo este registro um fato novo em relação ao quadro de conhecimento geocronológico.

Os terrenos metamórficos de alto grau e granitóides associados do vale do rio Curaçá (complexo Caraíba), também

integrantes do cinturão Itabuna, em seu ramo ocidental, são outro exemplo ilustrativo da intensidade dos fenômenos tectonomagmáticos do Proterozóico Inferior na parte norte do CSF, conforme registrado pelas isócronas Rb/Sr em rocha total, algumas datações U/Pb (Concórdia) e Sm/Nd, além dos dados K/Ar distribuídos a nível regional (e.g., Brito Neves et al., 1980; Gaal et al., 1987; Mascarenhas & Garcia, 1989; Oliveira, 1990; Bastos Leal, 1992).

A região, como um todo, possui padrão radiométrico (Fig. 17) entre 2,23Ga e 2,1Ga (resfriamento regional há 1,7/1,8Ga atrás), com raros registros de idades Rb/Sr mais antigas (Lindenmayer, 1981; Brito Neves et al., op. cit), embora estas últimas idades sejam aqui consideradas duvidosas em função da análise crítica elaborada por Bastos Leal (1992). A propósito, os parâmetros isotópicos de Sr, em rochas da infraestrutura da região do vale do rio Curaçá, reavaliados neste último trabalho, sugerem que a gênese dos ortognaisses de alto grau, seria vinculada a fusão parcial de materiais crustais com baixa ou moderadas razões Rb/Sr (Fig. 20). Esta hipótese é corroborada pelo estudo isotópico Sm/Nd dos hiperstenitos da Mina de Caraíba (Oliveira, 1990), em que o epsilon negativo (-4) da análise rocha total é sugestivo da existência de uma crosta continental pré-transamazônica no vale do rio Curaçá.

Desta forma o modelo evolutivo para este setor do CSF envolveria a derivação das rochas do complexo Caraíba a partir de protolitos com sistema isotópico semelhante ao detectado para o complexo metamórfico de Uauá (idade Rb/Sr de 3,1Ga), com desenvolvimento adicional nos ortognaisses de processos de anatexia há cerca de 2,7Ga atrás. No caso do Complexo Metamórfico de Uauá, contudo, não há análises U/Pb e Sm/Nd que possam comprovar a sua participação concreta na gênese dos terrenos metamórficos do vale do rio Curaçá.

No tocante aos reflexos do metamorfismo de alto grau no cinturão Itabuna e no complexo Jequié-Mutuípe, por conta do desenvolvimento do ciclo Transamazônico e seu soerguimento pós-orogênico, estes efeitos estão também registrados através da

ampla distribuição de idades aparentes K/Ar (minerais) no intervalo de tempo de 2,1Ga e 1,7Ga (Cordani & Iyer, 1979: Brito Neves et al., 1980; Lima et al., 1981; Cordani et al., 1985; Sato, 1986; Mascarenhas & Garcia, 1989; Teixeira & Figueiredo, 1991), como também através de algumas idades $^{40}Ar/^{39}Ar$ (Sletten, 1989).

De outra parte, esse padrão de resfriamento relativamente amplo no tempo e espaço vem demonstrar que além do Complexo Jequié-Mutuípe ter permanecido praticamente preservado aos processos tectonomagmáticos do Proterozóico Inferior, a exumação extensiva da massa continental ao final do Transamazônico ocorreu gradativamente, não obedecendo a uma sincronia única em termos dos vários setores do parte setentrional do CSF (vide, por exemplo, o mapa geocronológico da Bahia; Mascarenhas et al., 1986).

3.2.1.2. O Cinturão Correntina-Guanambi

A província Correntina-Guanambi (Figs. 13 e 17) que se expõe a oeste da província Arqueana na parte setentrional do CSF, possui ainda escasso registro radiométrico em rochas da infraestrutura, conforme pode ser visualizado no mapa geocronológico da Bahia (Mascarenhas et al., op. cit) e discutido nas compilações de Brito Neves et al. (1980), Mascarenhas & Sá (1982), Fernandes et al. (1982) e Teixeira & Figueiredo (1991).

Isto decorre, aparentemente, do maior grau das prioridades definidas por ocasião do planejamento dos estudos geocronológicos empreendidos no estado da Bahia. Assim, é importante proceder-se um futuro detalhamento geocronológico do cinturão Correntina-Guanambi que busque esclarecer suas extensões ocidentais (e.g., Brito Neves, 1986), bem como sua própria evolução crustal, de modo a permitir uma eventual comparação com àquela proposta para o cinturão Itabuna.

As poucas informações geocronológicas disponíveis, basicamente calcadas em granitóides e migmatitos do complexo Guanambi, fornecem um quadro preliminar (através de isócronas

Rb/Sr de afloramento e de referência) representativo do envolvimento desta unidade no ciclo Transamazônico (≃ 2,0Ga), possivelmente a partir do retrabalhamento de crosta arqueana (≃2,6/2,7Ga). Esta hipótese é corroborada pelas idades radiométricas arqueanas também registradas nas rochas do complexo Santa-Isabel adjacente (e.g., Jardim de Sá et al., 1978; Lima et al., 1991).

3.2.1.3. O Cinturão Mineiro

Na parte meridional do CSF, no âmbito do cinturão Mineiro (Figs. 13 e 14), as informações geocronológicas oriundas dos terrenos de infraestrutura são principalmente centradas nas metodologias Rb/Sr e K/Ar, com controle de idades U/Pb (zircão e titanita) e algumas datações $^{207}Pb/^{206}Pb$ em rocha total.

As evidências isotópicas disponíveis aliadas aos padrões geocronológicos ao longo desta província demonstram a amplitude regional dos fenômenos do Proterozóico Inferior, envolvendo predominantemente a rehomogeneização isótopica de rochas mais antigas (completa ou parcial) face ao representado na Fig. 21, (e.g., Teixeira et al., 1987a; Teixeira & Figueiredo, 1991; Carneiro, 1992). Com efeito, as RIs das rochas selecionadas neste diagrama colocam-se claramente acima da linha de evolução isotópica de Sr, no Proterozóico Inferior, e admitem uma derivação a partir de protolitos arqueanos (representados pela envoltória tracejada da Fig. 21).

Dessa forma, o cinturão Mineiro teria um desenvolvimento notadamente ensiálico, dispondo-se marginalmente a uma massa arqueana (ver discussão anterior das províncias arqueanas) e apresentando ainda alguns núcleos antigos preservados em seu interior. Esta província guardaria, portanto, certa semelhança com a paleogeografia idealizada para a província Itabuna da parte setentrional do CSF (Figs. 13 e 17).

No caso do cinturão Mineiro, também a sua evolução complexa pode ser ilustrada através do histograma da Figura 15, formado por conjunto geocronológico Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$

(isócronas) e dados U/Pb (e.g., Cordani et al., 1980; Teixeira, 1985; Teixeira et al., 1987a,b; Delhal & Demaiffe, 1985; Machado et al., 1989a; Machado & Carneiro, 1992). Dados inéditos, recentemente obtidos pelo método U/Pb (C. Noce, 1992 inf. escrita; Carneiro, 1992), em combinação com datações em rochas do Supergrupo Minas (Babinski et al., 1991; Machado et al., 1989a) têm ratificado o desenvolvimento crustal (gnaisses, migmatitos, granitóides) do cinturão Mineiro no período de tempo 2,4-1,9Ga, sobre um substrato predominantemente arqueano, variavelmente retrabalhado durante o Proterozóico Inferior (Figs. 14, 15 e 21).

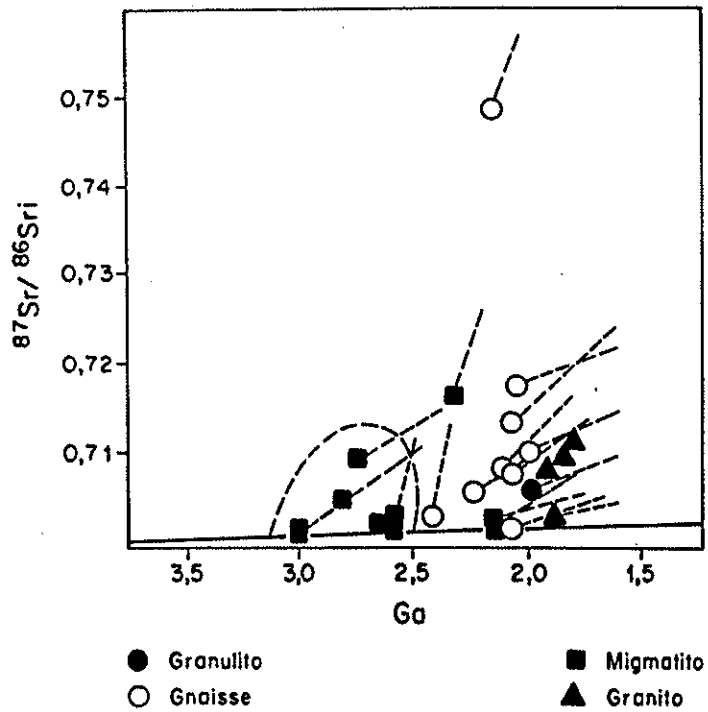


Figura 21: Evolução crustal da parte meridional do CSF com base em isotópos de Sr de rochas selecionadas. Linhas tracejadas representam a evolução isotópica particular para as diferentes amostras. A envoltória delineada configura o domínio de evolução isotópica das rochas da província Arqueana.

No tocante à discussão do retrabalhamento de idade proterozóica inferior sobre este substrato antigo, o exemplo da extremidade leste do segmento meridional do CSF ilustra de maneira notável, uma vez mais, a validade em se combinar diferentes métodos radiométricos para o estudo da evolução policíclica de terrenos metamórficos de médio e alto grau.

Várias são as publicações geocronológicas versando sobre esta borda de transição do cráton para a faixa móvel, retrabalhada policiclicamente, permitindo assim a integração de datações U/Pb, isócronas $^{207}Pb/^{206}Pb$ e Rb/Sr e idades K/Ar

(minerais), apenas faltando no momento o apoio de idades Sm/Nd. Assim, a existência de uma crosta primitiva é atestada por idades entre 3,2-2,9Ga (Delhal & Demaiffe, 1985; Machado et al., 1989) e por algumas datações U/Pb com até 3,4Ga (Sollner et al., 1991). Essa característica geocronológica sugere um caráter de crescimento crustal episódico para a evolução arqueana, conforme já apontado por Teixeira & Figueiredo (1991), o que vem sendo ratificado pelos estudos geocronológicos U/Pb em andamento no CSF.

O delongado caráter policíclico da evolução crustal do cinturão Mineiro está caracterizado de modo clássico pela imposição do ciclo Transamazônico (2,1-1,9Ga). Esta constatação é decorrente de um grande número de datações Rb/Sr e Pb/Pb e também por algumas datações U/Pb existentes no Quadrilátero Ferrífero. Datações com idades desta ordem distribuem-se inclusive mais a leste, no domínio do Complexo Mantiqueira (e.g., Delhal et al., 1969; Cordani et al., 1980; Teixeira, 1982; Machado F° et al., 1983; Teixeira et al., 1987a; Delhal & Demaiffe, 1985; Belo de Oliveira & Teixeira, 1990; Sollner et al., 1991; Teixeira & Figueiredo, 1991; dados inéditos CPGeo/CPRM). Nesta região as inferências isotópicas de Sr também ratificam o caráter de retrabalhamento do substrato antigo (Fig. 22).

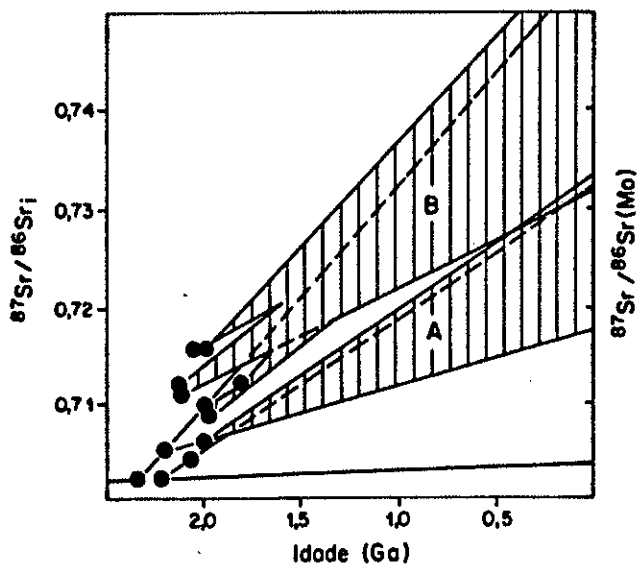


Figura 22: Diagrama da evolução isotópica de Sr no tempo geólogico para rochas da borda retrabalhada oriental de transição cratônica (CSF, parte meridional). Aparentemente há dois sistemas isotópicos evolutivos principais (A, B), representados essencialmente pelo retrabalhamento crustal de materiais possivelmente arqueanos. O sistema B inclui principalmente granitóides variavelmente deformados pelo ciclo Transamazônico. O campo A aparentemente inclui materiais ortoderivados neste ciclo, em razão das baixas razões iniciais de algumas isócronas compiladas.

Este caráter predominantemente ensiálico do ciclo Transamazônico nessa região pode ser atestado pelas RIs no diagrama de evolução isotópica de Sr que se situam, em sua maioria, acima da linha de evolução do manto modelada para o Proterozóico Inferior. Cabe notar que tal comportamento isotópico é consistente com a evidência isotópica do Pb (μ_1 alto) obtida para os granulitos de Acaiaca, em complemento aos dados de Sr (Teixeira et al., 1987a).

Em síntese, a integração de dados geocronológicos, em rochas de infraestrutura do cinturão Mineiro oriundos de diferentes métodos vem ilustrar a possibilidade de se estabelecer um quadro preliminar sobre a evolução tectônica de áreas complexas, mesmo em se reconhecendo a carência de dados isotópicos Sm/Nd e U/Pb. É nesse rumo que as futuras pesquisas geocronológicas devem ser direcionadas naquele setor do CSF.

Finalmente, no tocante a história de resfriamento regional do cinturão Mineiro, esta iniciou-se entre 1,9Ga e 1,7Ga atrás (Fig. 23) com base nas idades aparentes K/Ar em minerais que se distribuem, inclusive, no interior da província Arqueana adjacente (Fig. 14), do sul do CSF (Teixeira, 1982; Teixeira, 1985; Teixeira et al., 1985; Teixeira et al., 1987b; Teixeira & Figueiredo, 1991). Este comportamento vem ilustrar o soerguimento geral da massa cratônica acompanhando o término dos processos tectonomagmáticos do ciclo Transamazônico.

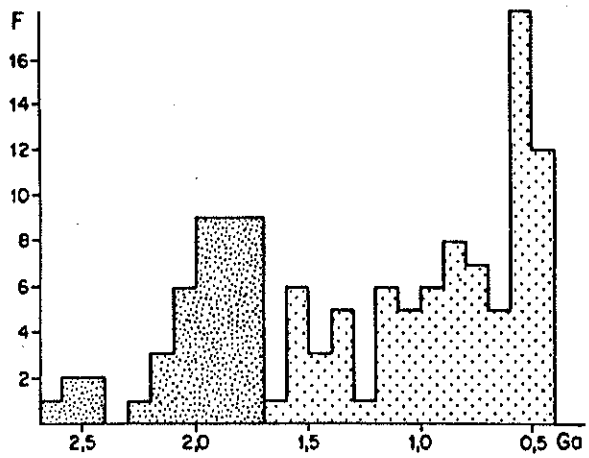


Figura 23: Histograma de idades aparentes K/Ar e Rb/Sr (mineral) em rochas de infraestrutura da porção meridional do CSF. Idades aparentes do Proterozóico Médio e Superior integram a extremidade leste da província arqueana e praticamente a totalidade do domínio envolvido pelo cinturão Mineiro. (Observar comparativamente Fig. 14).

Por outro lado, o padrão de resfriamento com base nas datações K/Ar torna-se muito complexo a medida que são envolvidas as áreas mais orientais do cinturão Mineiro, onde as idades aparentes em minerais (K/Ar e Rb/Sr) variam entre 1,5Ga a 1,2/1,0Ga e 0,75/0,50Ga, fenômeno este extrapolado com base nas Figuras 23 e 24 (e.g., Herz, 1970; Cordani et al., 1980; Teixeira

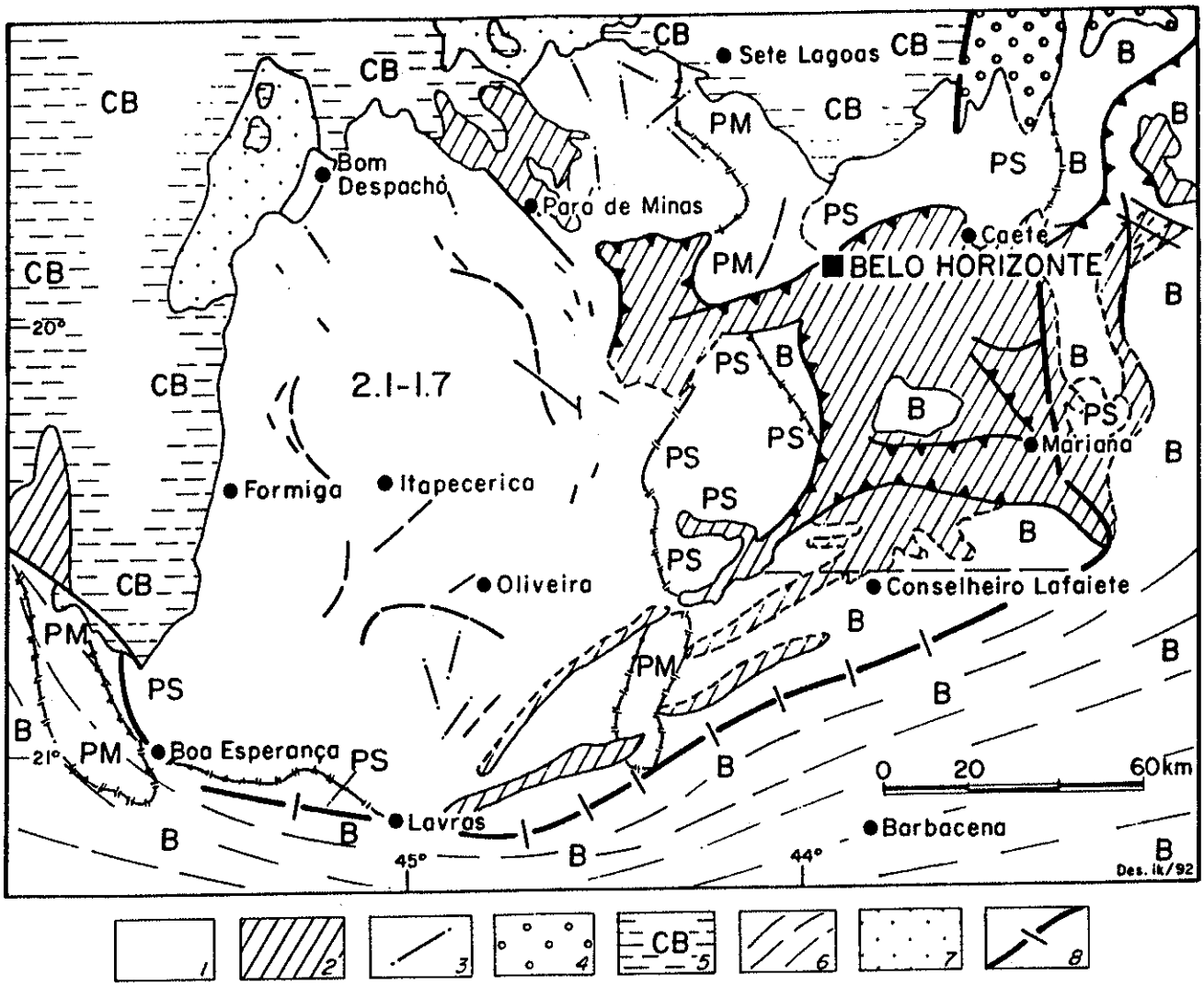


Figura 24: Padrão geocronológico K/Ar da parte meridional do CSF. Notar a heterogeneidade do resfriamento regional ao longo da região investigada, durante o Proterozóico. Idades aparentes consideradas preferencialmente com base em micas e anfibólios do embasamento granítico-migmatítico. Símbolos: CB = cobertura Bambuí, PM = domínio de idades aparentes do Proterozóico Médio (1,7-1,4/1,4-1,2Ga); PS = domínio de idades aparentes do Proterozóico Superior (1,0-0,75Ga). B = domínio com idades aparentes, do final do Proterozóico Superior (0,65-0,48Ga).

et al., 1985; Teixeira et al., 1987a,b; Teixeira & Figueiredo, 1991; Carneiro, 1992). A enorme variação dessas idades aparentes permite aventar a existência de fenômenos tectonotermais acompanhados por movimentação vertical de blocos durante o Proterozóico Médio e Superior, em extensos setores do cinturão Mineiro e nas extremidades da província Arqueana adjacente.

3.2.2. Rochas de Supraestrutura

A questão da cronologia das várias unidades supracrustais do CSF (Fig. 16), na qual se incluem os *greenstone belts* do Proterozóico Inferior revela-se como uma das deficiências críticas levantadas pela presente compilação. Três dessas unidades merecem uma discussão detalhada, em razão de seu variado conteúdo geocronológico.

a) A *primeira* delas é a seqüência Contendas-Mirante, cuja complexidade geocronológica é ilustrada através dos dados isotópicos aqui compilados a partir da síntese de Pedreira et al. (1992), e de dados ainda inéditos.

Inicialmente, um quadro evolutivo monocíclico, vinculando esta unidade supracrustal ao Proterozóico Inferior (e.g., Cordani & Brito Neves, 1982) acha-se aparentemente ratificado pelos recentes dados U/Pb (zircões; SHRIMP), reportados por Nutman et al. (1992), para os metaconglomerados da seqüência de topo. Com efeito, apesar de terem sido identificadas três populações distintas de zircões neste estudo U/Pb (vide item 3.1.2.1), o conjunto mais numeroso, com cristais mais límpidos (euédricos) e preservados, revelou idades entre 2,2Ga e 2,15Ga. Segundo estes autores, os metaconglomerados depositaram-se entre 2,15Ga e 1,9/2,0Ga atrás, época portanto contemporânea ao evento de intrusão de granitos nesta área (Sabaté et al., 1990a,b).

De longa data, tem sido reconhecido nas unidades inferiores do Contendas-Mirante um metamorfismo superimposto de idade transamazônica, conforme registros Rb/Sr e K/Ar com cerca de 2,15-2,0Ga (Brito Neves et al., 1980; Cordani et al., 1985; Wilson, 1987). Particularmente este padrão radiométrico do

sistema Rb/Sr estaria vinculado a reconhecida suceptibilidade ao distúrbio isotópico das rochas vulcânicas félsicas datadas em decorrência da ação metamórfica, que também causaria o rejuvenescimento do sistema K/Ar.

Recentes datações Rb/Sr efetuadas em neossomas gerados por fusão parcial da Formação Mirante forneceram também idades de 2,0Ga (Marinho, 1991), comprovando assim a ampla escala de rejuvenescimento isotópico em decorrência da ação do ciclo Transamazônico na seqüência supracrustal Contendas-Mirante.

Entretanto, conforme apontado anteriormente (item 3.1.2,1), rochas vulcânicas das unidades inferiores do Contendas-Mirante são arqueanas (Wilson, 1987; Wilson et al., 1988; Marinho, 1991). Em conseqüência, o amplo espectro de idades e dados isotópicos existentes (desde o Arqueano até o Proterozóico Inferior) aparentemente suporta a proposta de M. Marinho, relatada na síntese de Pedreira et al. (1992), da existência de unidades distintas no âmbito da bacia do Contendas-Mirante, hoje justapostas por ação da geodinâmica do Proterozóico Inferior.

b) Uma *segunda* unidade do CSF também interessante a comentar aqui é o "*greenstone belt*" Rio Itapicuru. O modelamento geotectônico-geoquímico proposto (Silva 1984; 1987; 1990) sugere que a seqüência do Rio Itapicuru corresponderia a uma unidade supracrustal, formada numa bacia tipo *back arc* do Proterozóico Inferior, desenvolvida sobre uma margem continental arqueana, através de processo de subducção da crosta oceânica.

A sucessão estratigráfica e cronológica dos eventos com base nos primeiros estudos Sm/Nd indicou para os basaltos de afinidade toleítica (tipo *back arc*) uma idade preliminar ao redor de 2,5Ga (entretanto com erro elevado) e para os andesitos (afinidade cálcio-alcalina) uma idade $^{207}Pb/^{206}Pb$ isocrônica em rocha total com cerca de 2,16Ga (Silva, 1987).

Por ocasião da Reunião Preparatória do II Simpósio do Cráton de São Francisco (1992) novos dados radiométricos foram apresentados por G. Silva, agora refletindo uma coerência entre idades obtidas pelos métodos Sm/Nd (reinterpretados com novos dados) e $^{207}Pb/^{296}Pb$ em cerca de 2,2Ga. Para os andesitos foram

obtidas idades T_{DM} da ordem de 2,1Ga, sendo assim consistentes com os dados isocrônicos $^{207}Pb/^{206}Pb$ anteriores (2,16Ga; Silva, 1987) e também com uma isócrona Rb/Sr em rocha total (2,1Ga e RI = 0,7017), esta reportada por Brito Neves et al. (1980).

Outros dados isotópicos, oralmente apresentados naquela Reunião (G. Silva, inf. verbal, 1992), especialmente os epsilons de Nd negativos, apontam para a existência de alguma contaminação crustal na gênese das rochas metavulcânicas do *greenstone* Itapicuru.

Este conjunto de dados, aliado às datações dos vários corpos graníticos intrusivos naquele domínio geográfico - Ambrósio (1,9Ga; Rb/Sr); Poço Grande (2,0Ga; U/Pb); Nordestina (2,0Ga; Rb/Sr); Santa Luz (2,1Ga; U/Pb) vem posicionar o *greenstone belt* do Rio Itapicuru no Proterozóico Inferior (e.g., Gaal et al., 1987; Mascarenhas & Garcia, 1989; Sabaté et al., 1990a,b; Silva, 1990).

Em suma, num paralelo com a discussão acima, iniciativas geocronológicas combinando o emprego de diferentes métodos radiométricos, sobretudo nas atividades ígneas eventualmente presentes, são fundamentais para esclarecer e detalhar a cronologia de outras seqüências vulcano-metassedimentares do CSF (Fig. 16) como o Grupo Capim e o sistema Jacobina. Este último, por exemplo, hoje está ainda basicamente estudado pelo Rb/Sr e K/Ar em suas unidades inferiores (e.g., Távora et al., 1967; Jardim de Sá et al., 1976a; Brito Neves et al., 1980) ou indiretamente através dos corpos graníticos intrusivos naquele sistema (e.g., Torquato et al., 1978). Já quanto ao Grupo Capim, não há ainda concenso sobre a sua idade de deposição, em razão da polêmica decorrente das suas relações geológicas com o tonalito Rio Capim, de idade arqueana (e.g., Mascarenhas & Sá, 1982; Mascarenhas et al., 1986)

c) Finalmente, o *terceiro* exemplo a ser comentado, situa-se na parte meridional cratônica. Trata-se do Supergrupo Minas o qual já se encontra estudado geocronologicamente através de datações $^{207}Pb/^{206}Pb$ e U/Pb em rochas carbonáticas e vulcânicas, respectivamente. Esses resultados radiométricos

admitem uma evolução do Proterozóico Inferior para o Supergrupo Minas, com os zircões nas rochas de origem vulcânica (sin-genéticas) do Grupo Sabará revelando idade U/Pb de 2,15Ga (Machado et al., 1989a).

A época da sedimentação desta unidade pode ser atualmente inferida com base na isócrona $^{207}Pb/^{206}Pb$ em rocha total da Formação Gandarela (calcáreos fracamente deformados com estromatolitos laminados e/ou oncolitos), cuja idade é de 2420 ± 25Ma (Babinski et al., 1991). Os mármores do Grupo Piracicaba, por outro lado, indicaram idade $^{207}Pb/^{206}Pb$ isocrônica em rocha total ao redor de 2050Ma a qual foi interpretada, por aqueles autores, como a época mínima da deposição do Supergrupo Minas, mas também podendo corresponder ao metamorfismo do ciclo Transamazônico, a semelhança com o que se constata generalizadamente para as rochas de infraestrutura do cinturão Mineiro (item 3.2.1.3).

Confirma-se assim que o desenvolvimento desta unidade supracrustal está relacionada tectonicamente à evolução deste cinturão do Proterozóico Inferior. Todavia, os dados geocronológicos, ora disponíveis, apontam para uma evolução geocronológica relativamente simples para o Supergrupo Minas, quadro este que poderá ser modificado com novos dados isotópicos e estudos específicos (e.g., estruturais vs. geocronológicos) em extensões desta unidade expostas em outras áreas da parte meridional do CSF.

3.2.3. Plutonismo Granítico

A maneira das rochas de infraestrutura das províncias do CSF, a geocronologia dos granitóides do Proterozóico Inferior revela um quadro preliminar razoavelmente bem estabelecido, em parte devido à individualização geológica favorável dos corpos e a sua conotação tectônica intrinsicamente ligada à evolução do ciclo Transamazônico. Nesse aspecto, fica patente que este ciclo tecnomagmático incluiu uma importante contribuição plutônica diferenciada, sendo este tema aqui considerado como uma chave

para o entendimento da natureza e evolução dos cinturões do Proterozóico Inferior no âmbito do CSF.

As intrusões associam-se, via de regra, às supracrustais proterozóicas, revelando-se como uma atividade ígnea de caráter sin, tardi e pós-tectônico aos principais eventos deformacionais das províncias Proterozóico Inferior. Dados geoquímicos, quando disponíveis, nos corpos graníticos parecem ser consistentes com etapas colisionais da evolução transamazônica (e.g., Sabaté et al., 1990a,b; Figueiredo & Teixeira, 1992).

Os dados geocronológicos cadastrados para rochas graníticas incluem isócronas Rb/Sr (de referência e de afloramento), idades Rb/Sr convencionais e datações K/Ar em minerais, que se constituem na maior parte do acervo. Análises U/Pb (zircão), $^{207}Pb/^{206}Pb$ (isócronas em rocha total) acham-se também disponíveis, da mesma forma que algumas poucas análises de Nd.

Numa análise comparativa entre as porções norte e sul do CSF, uma vez mais transparece a maior freqüência dos estudos geocronológicos e isotópicos nestas rochas intrusivas para a parte setentrional cratônica, onde especialmente os dados radiométricos isocrônicos Rb/Sr apresentam-se notavelmente semelhantes. Sínteses importantes voltadas ao assunto - Conceição et al., (1987); McReath & Sabaté (1987) e Sabaté et al., (1990b) - representam uma contribuição real para a cronologia, gênese e significado tectônico dos corpos graníticos.

3.2.3.1. Intrusivas do setor Setentrional

Na Bahia, os principais corpos graníticos datados situam-se submeridianamente ao longo do leste do Sistema Jacobina e próximo à unidade supracrustal Contendas-Mirante, sendo integrantes da província Itabuna. Outras intrusões datadas situam-se na região de Boquira.

No geral, as idades radiométricas Rb/Sr, $^{207}Pb/^{206}Pb$ e U/Pb concentram-se no tempo entre 2,1Ga e 1,9Ga (e.g., Brito

Neves et al., 1980; Costa & Mascarenhas, 1982; Mascarenhas et al., 1986; Mascarenhas & Garcia, 1989; McReath & Sabaté, 1987; Gaal et al., 1987; Torquato et al., 1988; Gava et al., 1983; Sabaté et al., 1988; Sabaté et al., 1990a,b; Sabaté, inf. verbal, 1992; Marinho, inf. verbal, 1992). Possivelmente este intervalo de idades, ora delineado para os granitóides da Bahia, estaria configurando aproximadamente o caráter sin a pós-tectônico desses corpos, relativamente à evolução do cinturão Itabuna.

Grande número das intrusões, genericamente, associa-se sobretudo às etapas deformacionais tardias do ciclo Transamazônico. Alguns corpos têm importância particular no contexto evolutivo, como no caso do batólito Campo Formoso, cuja idade (≃ 1,9Ga) pós-data o empurrão que afetou as supracrustais da Serra do Jacobina, em seu lado ocidental (McReath & Sabaté, 1987). Também o corpo de Gameleira, que é intrusivo na unidade Contendas-Mirante, desenvolve um metamorfismo termal sobre estes metassedimentos. Seu "*emplacement*" é sincrônico com a deformação tardia associada ao encurtamento gerado pelas falhas inversas existentes no Contendas-Mirante (Sabaté et al., 1987).

Conforme já antecipado, um dos estudos mais completos acerca dos granitóides do estado da Bahia é a síntese de Sabaté et al. (1990b). Neste trabalho, a geocronologia é associada à geologia isotópica de Sr e Nd e aos estudos geoquímicos com o intuito de buscar a gênese deste plutonismo intrusivo e suas implicações na modelagem tectônica. O ensaio trata de mais de duas dezenas de granitos per-aluminosos sin a tardi- tectônicos dispostos segundo um alinhamento entre os blocos Jequié-Mutuípe e Gavião (Figs. 13 e 17), e que intrudem também as seqüências supracrustais Jacobina e Contendas-Mirante (Fig. 16).

Esta análise geocronológica detalhada define, pela primeira vez a nível regional, um período de tempo relativamente curto para a intrusão dos corpos, com idades Rb/Sr entre 1,98Ga e 1,88Ga. O intervalo de idades obtido vem também ratificar parte das idades Rb/Sr isocrônicas de referência anteriores, obtidas para os corpos de Campo Formoso, Jaguarari, Flamengo e Carnaíba (Brito Neves et al., 1980).

Com base nas altas RIs das isócronas dos vários corpos estudados (0,706-0,748) e epsilons de Nd negativos (-13 a -5), Sabaté et al. (1990b) advogam uma origem crustal para os granitos que intrudiram a crosta continental há aproximadamente 1,9Ga atrás, envolvendo o retrabalhamento dos terrenos gnáissico-migmatíticos do bloco Gavião. Na concepção de Sabaté et al. (op. cit), os granitóides seriam representantes de um evento de colisão entre placas continentais, ocorrido em tempos transamazônicos.

Particularmente também esclarecedora nesta síntese acima mencionada são as limitações inerentes ao sistema Rb/Sr no tocante às inferências de cunho petrogenético, em razão da mobilidade geoquímica dos isótopos de Sr. Apesar do fato de todos os granitos comportarem uma assinatura crustal, a característica isotópica exata de suas fontes é teoricamente impossível de ser estabelecida apenas com o Rb/Sr já que, as razões Rb/Sr podem sofrer variação em relação à da fonte original, mesmo sem haver alteração da RI do sistema.

São portanto os valores de epsilon de Nd nos granitóides da Bahia, que vêm confirmar as inferências dos isótopos de Sr (Sabaté et al., 1990b). Além disso, as idades da primeira extração de material do manto podem ser ainda estimadas a partir das datações modelo Sm/Nd (T_{DM}), cujas idades variam, no caso dos granitos estudados, entre 2,42Ga e 3,16Ga (Fig. 25).

Tendo por base estes parâmetros isotópicos e os obtidos no sistema Rb/Sr, Sabaté et al. (1990b) sugerem, como protolitos dos granitóides, os migmatitos e gnaisses do bloco Gavião. Essa origem crustal é também corroborada por dados estruturais e petrológicos, e tendo-se por base ainda que as idades Sm/Nd modelo combinadas com as RIs recalculadas (para t = 1,95Ga) parecem excluir as suítes "TTG" Boa Vista e Mata Verde além dos granulitos Jequié como áreas-fonte (Fig. 26). Com efeito, estes conjuntos de rochas apresentam idades Rb/Sr e U/Pb entre 2,9Ga a 3,5Ga, (e.g., Cordani et al., 1985; Nutman et al., 1992; Nutman & Cordani, 1992; Wilson, 1987).

Como conclusão desse ensaio interpretativo dos

granitóides do estado da Bahia fica evidente o potencial interpretativo do procedimento isotópico utilizado através da integração de datações Rb/Sr e Sm/Nd, faltando, neste caso, apenas as datações U/Pb em zircão para melhor precisão cronológica do *emplacement* desses granitos.

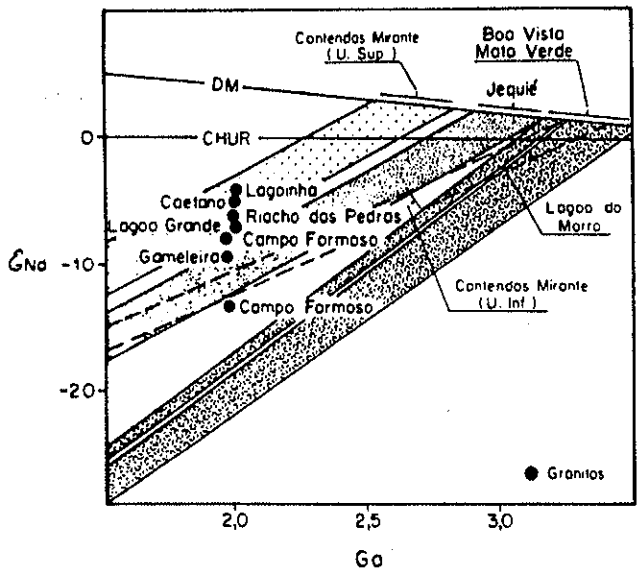


Figura 25: Gráfico Nd x tempo para granitos intrusivos transamazônicos da Bahia, comparativamente as suas possíveis fontes crustais (Sabaté et al., 1990a,b). Observam-se a boa individualização das diferentes evoluções isotópicas dos terrenos crustais e a disposição dos pontos analíticos dos granitos com epsilons caracteristicamente negativos. O diagrama tem uso complementar às idades Sm/Nd modelo (T_{DM}) do trabalho acima mencionado e às inferências isotópicas de Sr, representadas na Figura 26 (para explicação detalhada ver texto).

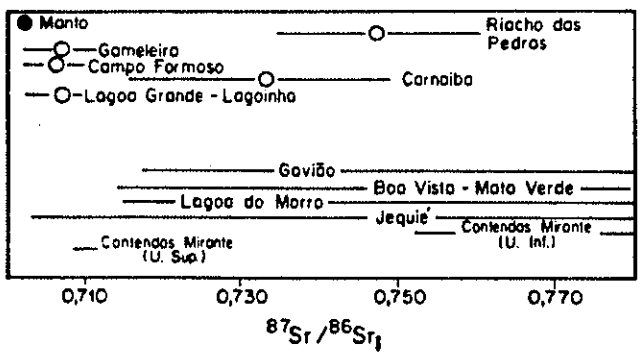


Figura 26: Diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ x Tempo para os granitos intrusivos transamazônicos da província Itabuna comparativamente a suas possíveis fontes crustais, estas representadas pelos seus campos isotópicos recalculados para a idade 1,95Ga (extraído de Sabaté et al., 1990a). Notar que as razões iniciais dos granitos são claramente maiores que o manto contemporâneo ao final do ciclo transamazônico. Com base em dados complementares de Nd (Fig. 25) e inferências geológicas, os autores (op.cit) advogam que os granitóides teriam sua origem a partir dos terrenos gnaíssico-graníticos do bloco Gavião.

Corpos granitóides pouco foliados/deformados no interior do bloco Gavião, na região centro-oriental da Bahia, foram datados pelo método Rb/Sr através do convênio CPRM/CPGeo (dados inéditos; projeto Gavião-Serrinha - PLGB). Esse bloco corresponde a um fragmento essencialmente arqueano (2,68-2,65Ga)

que contem várias seqüências supracrustais, além da própria seqüência Contendas-Mirante que o separa do complexo Jequié-Mutuípe (Mascarenhas & Garcia, 1989).

O padrão Rb/Sr isocrônico para os granitóides citados (≃ 1,98Ga) além das altas RIs refletem a sua contemporaneidade e certa similaridade genética com os corpos graníticos estudados por Sabaté et al. (1990a,b). Em adição, ilustram também a imposição tardia da tectônica transamazónica sobre alguns corpos intrusivos, conforme se extrapola, por exemplo, dos resultados obtidos em granitóide situado em zona de cisalhamento existente na região de Serrinha, no âmbito do cinturão Itabuna.

Não obstante, para o corpo granodiorítico de Cansanção, isócrona Rb/Sr em rocha total, recentemente apresentada por ocasião da Reunião Preparatória do II Simpósio do Cráton do São Francisco, com idade de 2025 ± 47Ma, revelou baixa RI de 0,7033 ± 0,0002 (Marinho, inf. verbal, 1992). Isto sugere, especificamente para o corpo de Cansanção, uma mínima influência de processos de contaminação crustal na sua gênese.

Por outro lado, a maioria dos granitos intrusivos já datados do cinturão Correntina-Guanambi (vide Fig. 17) parece guardar uma origem nitidamente crustal, com base na compilação aqui realizada e que registra RIs essencialmente muito elevadas, (e.g., Brito Neves et al., 1980; Teixeira & Figueiredo, 1991). No caso específico desta província situada a oeste do núcleo arqueano central da Bahia, os poucos dados geocronológicos e isotópicos não permitem, no momento, maiores inferências em termos de implicações petrogenéticas e tectônicas.

Por sua vez, aproximadamente contemporâneas ao plutonismo granítico do final do ciclo Transamazónico em geral, seriam as atividades vulcânicas subordinadas, ligadas ao desenvolvimento, por exemplo, da bacia supracrustal Jacobina. Com efeito, rochas metavulcânicas da folha Mundo Novo, datadas pelo método Rb/Sr através do convênio CPRM/CPGeo (dados inéditos) indicaram idades isocrônicas Rb/Sr ao redor de 1,86Ga, interpretadas como da época da imposição metamórfica. Tal imposição metamórfica, está também ilustrada nos metariolitos da

seqüência Contendas-Mirante, datados pelo método Rb/Sr (Wilson, 1987) em cerca de 2,14Ga(vide item 3.2.2).

3.2.3.2. Intrusivas do setor Meridional

No estado de Minas Gerais, os corpos intrusivos identificados e datados são ainda em pequeno número. As intrusivas estão situadas ao longo da zona marginal (ocidental) do cinturão Mineiro (Figs. 13 e 14), aparentemente invadindo a província Arqueana adjacente (Teixeira et al., 1987b; Quemeneur, 1987; Quemeneur & Vidal, 1989), num quadro paleotectônico que se antevê semelhante com o da parte norte do CSF. Os corpos datados até o momento, restringem-se ao emprego das metodologias Rb/Sr, $^{207}Pb/^{206}Pb$ (isócronas em rocha total), K/Ar (minerais) e U/Pb (Concórdia, zircão), possuindo idades entre 2,18Ga a 1,9Ga (e.g., Machado Filho et al., 1983; Teixeira, 1985; Teixeira et al., 1987b; Quemeneur & Vidal, 1989).

Outras rochas granitóides intrusivas (complexos Ressaquinha e Mantiqueira identificados em mapeamento da CPRM para o PLGB), distribuídas já na borda oriental de transição cráton-faixa dobrada, apresentam idades Rb/Sr compatíveis com o ciclo Transamazônico (Figueiredo & Teixeira, 1992). Incluem-se neste acervo, finalmente, os recentes dados U/Pb (zircão) obtidos para o batólito granodiorítico da região de Conselheiro Lafaiete e que apontam para uma idade de 2,13Ga para sua intrusão (C. Noce inf. escrita, 1992).

Genericamente, a atividade plutônica da parte sul do CSF tem seus representantes mais antigos ($\simeq$ 2,1Ga) com composição granodiorítica e tonalítica, sendo os mais jovens ($\simeq$ 1,9Ga) de composição alcalina a per-alcalina. Em termos tectônicos os corpos associam-se às fases sin-, tardi e pós-tectônicas do ciclo Transamazônico, guardando assim semelhança com as características gerais do plutonismo granítico da parte setentrional cratônica, conforme já mencionado.

O cadastramento das RIs dos granitóides, no caso do setor meridional do CSF, indica valores elevados (0,705 a 0,716),

refletindo assim a predominância de processos de granitização com participação de materiais com resistência crustal prolongada. na gênese do plutonismo (Figs. 21 e 22). Entretanto, alguns poucos dados isotópicos admitem ainda predominância de contribuição juvenil durante o próprio ciclo Transamazônico. De toda forma, é possível que as idades Rb/Sr representem um episódio ou episódios (iniciais e terminais) de uma granitogênese sin-colisional do final do Proterozóico Inferior, associado(s) à evolução do cinturão Mineiro (Teixeira & Figueiredo, 1991). Essa interpretação é corroborada pela idade U/Pb obtida para o corpo de Conselheiro Lafaiete, já apresentada.

Em conclusão, o quadro geocronológico do plutonismo granítico no segmento cratônico do estado de Minas Gerais pode ser considerado ainda desfalcado, no sentido de faltar ainda sua melhor correlação cronológica com os eventos deformacionais regionais, apesar de já existirem algumas discussões preliminares publicadas (e.g., Machado Filho et al., 1983; Marshak & Alkmin, 1989). Adicionalmente, inexistem até o momento análises isotópicas de Nd, de modo a permitir maior confiança às inferências sobre a gênese desses corpos.

A Tabela 3 apresenta um sumário das principais características geocronológicas isotópicas e a possível associação tectônica dos corpos plutônicos graníticos do Proterozóico Inferior do CSF. O quadro assim delineado permite verificar algumas diferenças entre os corpos datados do estado da Bahia e Minas Gerais.

Desse modo, apesar do plutonismo do CSF genericamente corresponder às etapas sin, tardi e pós-colisionais da evolução dos cinturões Itabuna, Correntina-Guanambi e Mineiro, constatam-se diferenças em termos das evidências isotópicas (Sr, Pb, Nd), quando disponíveis: na Bahia o plutonismo revela uma predominante derivação por fusão parcial de compartimentos crustais antigos arqueanos à luz dos dados disponíveis. Em Minas Gerais a gênese do plutonismo parece ainda admitir alguma contribuição de componentes juvenis transamazônicos na geração de parte dos corpos graníticos, sobretudo aqueles da extremidade sul cratônica

Tabela 3: Idades principais e características tectônicas do plutonismo granítico do CSF

INTRUSÕES	REGIÃO	IDADE(Ga)	PROTOLITO(Ga)	ASSOCIAÇÃO GEOTECTÔNICA E CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS
C.Formoso, Carnaiba, R.das Pedras, Lagoinha, Caetano	Bahia	1,97-1,88 (Rb/Sr)	2,4-2,8 (T_{DM})	Cinturão Itabuna. Geração por evento colisional. (Altas RIs e E_{Nd} negativos) (1)
Senhor do Bonfim, Jaguarari, Flamengo, Conceição, Gameleira, Araci, Cansação, Euclides da Cunha, Tanquinho, intr. de Boquira	Bahia	2,1-1,9Ga (Rb/Sr, Pb/Pb, U/Pb, K/Ar)	Arqueano	Sin, tardi e pós-tectônicos ao cinturão Itabuna (2) (3) (4) (5) (7). (Altas RIs sugerindo derivação de componentes crustais antigos)
Intrusões graníticas não diferenciadas	Bahia	2,2-1,9 (Rb/Sr)	Arqueano	Cinturão Correntina-Guanambi (Altas RIs sugerindo derivação de componentes crustais antigos) (7)
Porto Mendes; Lavras; Tabões - Sta. Rita	Minas Gerais	2,18-1,82 1,97 (Rb/Sr; Pb/Pb)	Proterozóico Inferior	Sin, tardi-tectônico ao cinturão Mineiro. Geração por evento colisional (Moderadas RIs; µ1 compatível com derivação juvenil). (Arco magmático?) (6) (7) (8) (10).
Jacarandá, B.Despacho	Minas Gerais	2,1-1,9 (Rb/Sr)	Arqueano(?)	Sin a tardi-tectônico ao cinturão Mineiro. (Altas RIs sugerindo derivação de componentes crustais antigos) (6) (7) (9)
C.Lafaiete		2,1 (U/Pb)	--	

1) Sabaté et al. (1990b); 2) Torquato et al. (1978); 3) Gava et al. (1983); 4) Gaal et al. (1987); 5) Mascarenhas & Garcia(1989); 6) Teixeira et al. (1987b); 7) Teixeira & Figueiredo (1991); 8) Quemeneur (1987); 9) Carlos Noce (inf. verbal, 1992); 10) Quemeneur & Vidal (1989).

(granitos Porto Mendes, Lavras), embora a participação de componentes crustais (de idade possivelmente arqueana) seja importante para os corpos situados nas imediações do Quadrilátero Ferrífero (e.g., Jacarandá). Entretanto, essas extrapolações são calcadas predominantemente em isótopos de Sr e como tal, devem ser tomadas como preliminares.

3.2.4. Plutonismo Alcalino

A avaliação do acervo geocronológico das rochas alcalinas do CSF indica, de imediato, a necessidade de trabalhos detalhados para melhor definição do posicionamento temporal das mesmas, uma vez que são poucos os dados existentes, estes fundamentalmente obtidos através do método Rb/Sr isocrônico.

As rochas alcalinas inserem-se no contexto do CSF como uma atividade pós-tectônica e/ou anorogênica à evolução dos cinturões móveis do Proterozóico Inferior, mostrando genericamente afinidades com o plutonismo granítico. Apenas para fins descritivos é que estas rochas são aqui comentadas separadamente do conjunto plutônico granítico da seção anterior. Afora este conjunto de corpos alcalinos, outros mais jovens existem no CSF, associados ao Proterozóico Superior. Estas intrusões serão oportunamente discutidas no Capítulo 5 desta tese.

A seguir, é feito um breve sumário do conhecimento geocronológico dos corpos, apresentando-se algumas de suas características principais e as interpretações tectônicas inerentes. Os poucos corpos datados até o momento restringem-se à parte setentrional cratônica.

O sienito alcalino Itiúba apresenta-se como o corpo melhor estudado em termos mineralógicos, geoquímicos e petrológicos, conforme recentemente sintetizado por Conceição et al. (1991). Trata-se de um batólito composto por grandes plutons de sienito rico em potássio, com granitos associados (portando "cumulatus" máficos). Ocorrem também abundantes diques.

O sienito Itiúba possui idades Rb/Sr distribuídas no

tempo entre 2,2Ga e 1,8Ga (RI = 0,705-0,704) (Figueiredo, 1976; Jardim de Sá et al., 1976b; Bartels et al., 1977; Brito Neves et al., 1980) o que aparentemente refletiria a heterogeneidade de sua evolução magmática. Uma idade de cerca de 2,0Ga acha-se também reportada por Conceição (1990), trabalho este que efetuou um ensaio acerca dos vários maciços alcalinos transamazônicos da Bahia. Afora esses dados, uma datação K/Ar em anfibólio com idade aparente de 2,25Ga acha-se publicada (Cordani et al., 1969), apresentando-se portanto coerente com o padrão geocronológico do ciclo Transamazônico delineado para a intrusão alcalina Itiúba. Uma isócrona Rb/Sr mineral com idade de 1,84Ga, interpretada como representativa do metamorfismo e desenvolvimento da foliação da rocha, acha-se também reportada (Figueiredo, 1976), bem como algumas idades aparentes K/Ar ao redor de 1,0Ga (Leube, 1972), estas tentativamente consideradas como reflexo de processos tardios de reativação do corpo sienítico.

Em suma, em vista desta variação de idades Rb/Sr e K/Ar consideramos que não há ainda uma definição inequívoca da época da intrusão, sendo evidente apenas a associação tectônica do sienito Itiúba com a evolução transamazônica, com base em relações de campo e inferências geoquímicas (Jardim de Sá et al., 1976a; Figueiredo, 1976).

Por sua vez, o sienito Pé de Serra que ocorre no contato entre a seqüência Contendas-Mirante e os terrenos granulíticos do complexo Jequié, possui idade Rb/Sr de 1,87Ga (RI = 0,737). A elevadíssima RI sugere que o sienito teria sido formado a partir da refusão de material arqueano (Cordani et al., 1985), tratando-se de atividade plutônica de caráter pós-tectônico ciclo Transamazônico.

Em adição, algumas amostras, geologicamente inseridas no maciço Pé de Serra, foram também datadas pelo método Rb/Sr através de convênio CPRM/CPGeo. Trata-se de termos sieno-graníticos tardios à evolução do maciço, envolvendo três fácies principais (rochas dioríticas, sieníticas e sienograníticas). Esses dados, ainda inéditos, sugerem a existência de processos de rehomogeneização incompleta de Sr nas variedades litológicas

tardias do maciço, ocorridos há cerca de 1,0Ga atrás.

Nesse último aspecto, vale aqui ressaltar que, com base na compilação efetuada na presente tese, a área a sudeste de Pé de Serra evidencia ter sofrido um rejuvenescimento isotópico durante o início do Proterozóico Médio e Superior, conforme refletido por idades aparentes K/Ar em minerais distribuídas regionalmente (Cordani et al., 1985; Mascarenhas et al., 1986).

O sienito Cara Suja, outro representante alcalino da parte setentrional do CSF, está situado a norte do Complexo Guanambi em contato com a seqüência vulcano-sedimentar do Riacho de Santana (Fig. 16). Apresenta-se datado pelo método Rb/Sr isocrônico em rocha total entre 1,94-1,85Ga (Brito Neves et al., 1980; Fernandes et al., 1982; Sato, 1986) e possui também RI elevada (0,709). A idade mais jovem acima (1,85Ga) tem sido interpretada como reflexo da época de cristalização final deste sienito (Jardim de Sá et al., 1976b). A alta RI refletiria, novamente, a existência de processos de contaminação crustal durante a ascensão do corpo.

Datações adicionais no corpo Cara Suja, incluindo veios pegmatíticos sieníticos tardios, ratificaram a idade de 1,94Ga e a alta RI, acima referida (RI = 0,707; dados de M. Macambira em Mascarenhas & Garcia, 1989). Por outro lado, o resfriamento deste sienito deu-se logo após a sua intrusão, uma vez que duas idades aparentes K/Ar em anfibólio indicaram valores entre 1,95-1,93Ga (Mascarenhas & Garcia, op. cit).

Finalmente, cabe reportar os estudos geocronológicos U/Pb e de isótopos de Sr para o complexo Angico dos Dias, na parte norte do CSF. Segundo Leite et al., (1991) este carbonatito faz parte de uma província plutônica hiperalcalina, de caráter anorogênico à evolução dos cinturões móveis do Proterozóico Inferior, revestindo-se de uma importância peculiar em função de portar altas concentrações de apatita.

O complexo está alojado no embasamento gnáissico-migmatítico na extremidade noroeste da entidade cratônica, estando contudo já parcialmente afetado pelas deformações das faixas marginais Rio Preto e Riacho do Pontal (e.g., Fig. 13). As

duas datações U/Pb em zircão e uma em badelleita dessa rocha carbonatítica forneceram uma discórdia com idade de 2,01Ga, interpretada como da época da formação desta rocha. Razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ (RIs) em apatitas e calcita, da ordem de 0,7035-0,7036, sugerem uma derivação do corpo a partir de uma fonte magmática única e não sedimentar (Leite et al., 1991).

3.2.5. Atividades ígneas básicas

No tocante aos diques máficos pré-cambrianos do CSF é notório o avanço alcançado no seu conhecimento geocronológico e isotópico, em razão das atividades do grupo de trabalho brasileiro junto ao projeto IGCP-257 "Precambrian Mafic Dyke Swarms" (UNESCO/IUGS).

De maneira geral, os diques básicos pré-cambrianos sempre se constituíram num obstáculo para a determinação da idade de intrusão pelo método K/Ar, devido aos problemas inerentes à difusão e/ou excesso de argônio em minerais e rochas totais, à própria dificuldade de concentração de minerais favoráveis à datação (como a biotita, por exemplo), ou mesmo à existência de freqüente alteração intempérica e/ou hidrotermal nesse tipo de rochas. Apesar dessas limitações, ensaios K/Ar têm sido tentados em vista da importância global dos estudos no tema, conforme destacado por Halls (1982), entre outros.

No caso especificamente do CSF, os estudos K/Ar realizados tiveram como fundamento empírico o possível significado tectônico da maior freqüência das idades aparentes obtidas para um determinado enxame de diques (e.g., Parenti Couto et al., 1983) e, em determinados casos, fazendo uso de diagramas K/Ar a partir de minerais com diferentes retentividades de argônio, conforme ilustrado para os diques da porção meridional cratônica (e.g., Teixeira et al., 1988). Tais estudos aparentemente têm identificado diferentes pulsos de atividade anorogênica básica fissural no âmbito da entidade cratônica (Fig. 27).

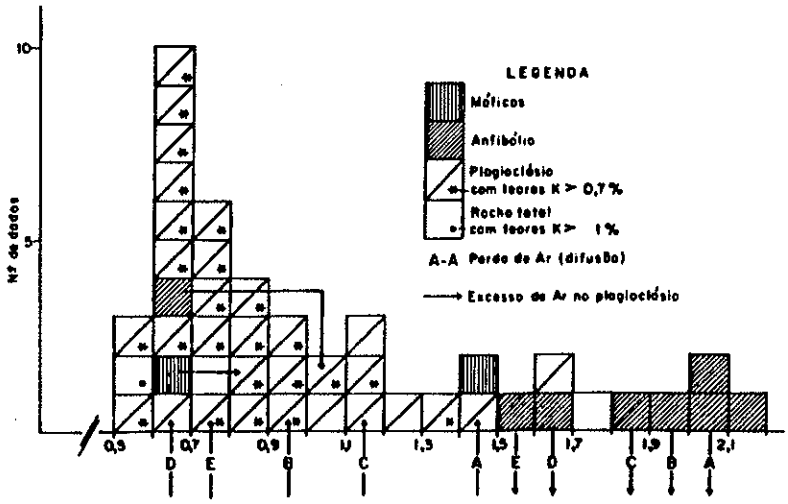


Figura 27: Histograma de idades aparentes K/Ar no enxame de diques de Pará de Minas, MG (Teixeira, et al., 1988). Notar a ampla distribuição de idades no tempo, obtidas em plagioclásios, anfibólios e rocha total. A maior retentividade para o argônio dos anfibólios relativamente aos plagioclásios de mesma rocha são indicados pelos sentidos das setas A, B, C, D, E; das idades mais antigas (anfibólios) para as mais jovens (plagioclásios). Possivelmente, as maiores concentrações de idade aparente (e.g., 0,6-0,8Ga; 0,9-1,1Ga; 1,5-1,7Ga; e maior que 1,9Ga) representariam diferentes episódios de colocação dos diques.

Estudos adicionais, tendo por base relações de campo indicando contemporaneidade entre corpos básicos e granitos, fornecem um controle temporal aproximado para os diques, por exemplo, através da datação Rb/Sr dos granitos contemporâneos, conforme ilustrado no enxame de diques transamazônicos da região de Lavras, no sul do CSF (Quemeneur, 1989; Quemeneur & Vidal, 1989).

Como complemento à discussão acima, o método Rb/Sr, conforme já comentado, é aqui considerado também como uma alternativa potencial para o estudo geocronológico dos diques do CSF. As iniciativas nesse sentido têm por base o emprego de isócronas internas, procedimento este já relatado na literatura (e.g., Gates & Hurley, 1973; Armstrong et al., 1982). Esse tratamento geocronológico Rb/Sr, priorizado recentemente em alguns projetos do CPGeo, tem se ocupado dos enxames de diques do CSF previamente estudados pelo K/Ar, como é o caso da região de Pará de Minas e Lavras, MG (dados em andamento) e aqueles de Uauá e Vale do Curaçá, BA (Bastos Leal, 1992).

Este último trabalho, parece-nos especialmente relevante em vista do detalhamento geocronológico Rb/Sr efetuado e pelo fato de ter sido procedida uma avaliação das datações K/Ar

pré-existentes (e.g., Parenti Couto et al., 1983; Gava et al.,1983). O trabalho de Bastos Leal (op. cit) vem demonstrar a possibilidade concreta de datação Rb/Sr de rochas básicas (não contaminadas) não metamórficas (Fig. 28). No enxame de Uauá foi possível definir duas gerações de diques intrusivos no complexo metamórfico basal arqueano, ambas do Proterozóico Inferior.

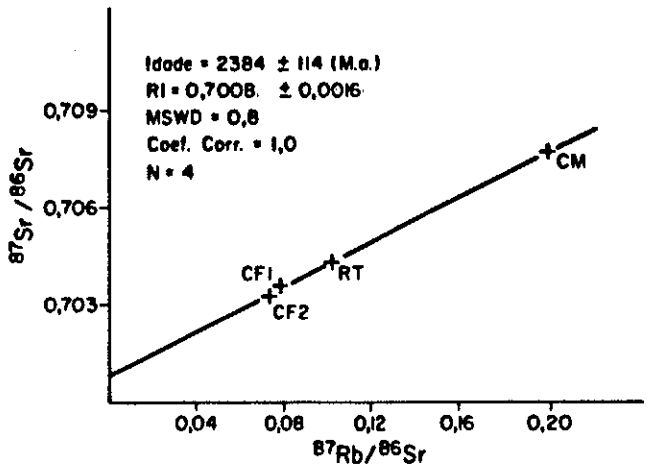


Figura 28: Diagrama isocrônico Rb/Sr para o dique máfico LR-34 do enxame de Uauá, Ba (Bastos Leal, 1992). Símbolos: RT = rocha total; CM = concentrado magnético de imã de mão; CF1 e CF2 = concentrados félsicos (menos magnéticos) por separação com o Frantz. Notar a boa colinearidade dos pontos analíticos, bem como a razão $^{87}Rb/^{86}Sr$ relativamente elevada do concentrado magnético que favorecem a definição da isócrona.

Estudos isotópicos nesta linha estão sendo realizados no CPGeo em enxames de diques máficos na região de Bonfim, Pará de Minas e Lavras, na parte meridional de CSF.

Finalmente no tocante à metodologia U/Pb aplicada a diques máficos, vale destacar os ensaios recentes em badelleita realizados no Canadá (Royal Ontario Museum) e que abrem uma perspectiva excepcional para a datação extremamente precisa desse magmatismo fissural. No caso do CSF, datações U/Pb em badelleita restringem-se às atividades ígneas básicas do Proterozóico Médio e Superior, a serem oportunamente apresentadas no Capítulo 5.

De outra parte, no campo da geologia isotópica (Sr/Nd) merecem destaque as contribuições já concretizadas para a maioria dos enxames do CSF (Bellieni et al., 1991a,b). Particularmente, para o enxame de diques de Uauá, do Proterozóico Inferior (Bastos Leal, 1992), foi possível inferir a existência de processos diferenciais de contaminação crustal na gênese destas rochas, com base em isótopos de Nd e Sr. Esta extrapolação é ratificada, por exemplo, através do diagrama de evolução isotópica de Sr

comparativamente às encaixantes regionais do enxame de diques de Uauá: os complexos metamórficos de Uauá e Caraíba (Fig. 20).

Em síntese, os poucos estudos geocronológicos considerados como representativos em diques máficos do Proterozóico Inferior no CSF indicam que a atividade magmática fissural foi recorrente no tempo. Tectonicamente tal atividade estaria associada ao fraturamento da(s) placa(s) litosférica(s) pré-cambriana(s); com a geração mais antiga de diques ($\simeq$ 2,38Ga) sendo do início do Proterozóico Inferior e a mais jovem ($\simeq$ 2,0Ga) tardia à evolução do ciclo Transamazônico. Ambas as gerações desenvolveram-se tanto nas porções norte como sul do CSF (Oliveira & Montes, 1984; Sial et al., 1987; Teixeira, 1985; Teixeira et al., 1987b; Teixeira et al., 1988).

A enorme expressão geográfica desses enxames de diques máficos no CSF está em sintonia com a extensão dos processos tectonomagmáticos do ciclo Transamazônico, os quais inclusive transcederam os limites da configuração atual (pré-brasiliana) da entidade cratônica, conforme sugere o amplo registro geocronológico disponível para todo o setor oriental da plataforma Sul-Americana.

A Tabela 4, a seguir, sintetiza o atual estágio de conhecimento geocronológico e isotópico dos diques básicos do CSF. São apresentados os principais enxames de diques máficos pre-cambrianos (metamorfizados e não metamórficos). Nas estimativas de idade foram assinalados os resultados radiométricos mais confiáveis, tendo em vista a reavaliação procedida.

Em algumas ocorrências listadas nesta tabela optou-se pelas inferências de cunho geológico, conforme exemplificado para o enxame de Aroeira, em razão de ali ainda não existirem dados geocronológicos. No geral constata-se, conforme já antecipado, a presença no CSF de duas gerações de enxames de diques do Prterozóico Inferior.

Tabela 4: Sumário geocronológico para os principais enxames de diques máficos do CSF

NOME	IDADE(Ga)	MÉTODO	REF.
Uauá	2,38; 2,0	Rb/Sr; K/Ar	1, 2
Aroeira	(1,8-2,0)*	--	3
Salvador	1,05-0,92	$^{40}Ar/^{39}Ar$; U/Pb (badelleita)	4, 5
Ilhéus-Olivença	1,1-1,07	$^{40}Ar/^{39}Ar$	4
Ibitiara-Ibiajara	(>1,1)*	--	3
Curaçá	0,65-0,70	Rb/Sr	1
Espinhaço	1,2-1,0; 0,8-0,5	K/Ar	6
Pará de Minas	>2,0; 0,9-0,7	Rb/Sr, K/Ar	7
Bonfim e Q.Ferrífero	>2,0; (1,1)*; 0,9; 0,6	K/Ar; U/Pb (badelleita)	8, 9, 11
Lavras	>2,0; 1,1-0,9	K/Ar	10

* inferido por relações geológicas

1) Bastos Leal (1992); 2) Gava et al. (1983); 3) Sial et al. (1987); 4) Renne et al. (1990a); 5) Heaman (1991); 6) Parenti Couto et al. (1983); 7) Teixeira et al. (1988); 8) Carneiro (1992); 9) Machado et al. (1989b); 10) Teixeira (1985); 11) A. Silva (inf. verbal, 1992)

Conforme relacionado na Tabela 4, enxames de diques mais jovens, do Proterozóico Médio e Superior, também ocorrem em vários setores da entidade cratônica, e, como tal, serão oportunamente discutidos neste trabalho. Não obstante, cabe aqui antecipar a concentração de idades aparentes entre 1,2-0,9Ga e 0,6-0,7Ga, parecendo representar efetivamente episódios de fraturamento da massa continental, com contribuição magmática, especialmente em se considerando as datações U/Pb (badelleitas) disponíveis

Por sua vez, estas duas gerações de diques são também consistentes com a evolução geocronológica reconhecida respectivamente para o sistema Espinhaço e faixas móveis marginais, conforme será destacado no Capítulo 5.

De qualquer modo, devido às metodologias geocronológicas até o momento empregadas nos enxames de diques máficos em geral (basicamente o método K/Ar), somente estudos complementares por outras técnicas e envolvendo um maior número de enxames poderão estabelecer a cronologia concreta dessas atividades ígneas fissurais do CSF.

CAPITULO 4

CARACTERIZAÇÃO GEOCRONOLÓGICA DO PROTEROZÓICO MÉDIO

Esta província geocronológica é aqui representada pelo sistema Espinhaço e sua associação plutônica contemporânea. No que concerne ao sistema Espinhaço a questão de sua cronologia acha-se aparentemente resolvida tendo-se por base as recentes datações U/Pb (zircão) nas suas unidades metavulcânicas basais, efetuadas em laboratórios canadenses e norte-americanos (dados em parte ainda inéditos).

Originalmente as primeiras datações U/Pb em rochas metavulcânicas do sistema Espinhaço, na região de Conceição do Mato Dentro, indicaram uma idade de cristalização da ordem de 1,79Ga (Brito Neves et al., 1979), padrão esse posteriormente ratificado em análises complementares nestas rochas (1,72Ga) por Machado et al. (1989b). Mais recentemente outro afloramento de rochas metavulcânicas, já no Espinhaço setentrional (região de Água Quente, Ba), forneceu uma idade U/Pb preliminar também da ordem de 1,7Ga (Van Schmus, inf. verbal, 1992).

Em complemento ainda a esses dados, recentes datações U/Pb de zircões de filitos hematíticos da base do Espinhaço (N. Machado, inf. verbal, 1992) vieram novamente ratificar uma idade do Proterozóico Médio para o início da evolução do sistema intracratônico Espinhaço do CSF. Assim, a coerência desta série de resultados radiométricos resolve de vez, a nosso ver, a polêmica existente quanto a idade de deposição do Supergrupo Espinhaço que é considerada aqui considerada como do Proterozóico Médio. Portanto, sua evolução está inequivocamente dissociada do Supergrupo Minas, cujo desenvolvimento deu-se no Proterozóico Inferior, conforme já discutido.

No tocante ao plutonismo do Proterozóico Médio no CSF, aqui interpretado como tectonicamente associado ao sistema Espinhaço, este é ilustrado pelo Complexo Lagoa Real o qual reune um conjunto variado de datações (Rb/Sr, K/Ar, U/Pb, Sm/Nd) em rochas granitóides e albititos hidrotermais. Nas primeiras, as

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
Biblioteca

determinações radiométricas efetuadas no granitóide São Timóteo e ortognaisses coevos indicam idade entre 1,719-1,725Ga para a cristalização das rochas (U/Pb, zircão e $^{207}Pb/^{206}Pb$ isocrônico em rocha total). Dados adicionais sugerem que tais rochas originaram-se por fusão de componentes crustais com cerca de 2,65-2,60Ga (Jardim de Sá et al., 1978; Fernandes et al., 1982; Cordani et al., 1989; Turpin et al., 1988; Mascarenhas & Garcia, 1989).

De outra parte, a mineralização de urânio no granitóide São Timóteo aparentemente ocorreu há cerca de 1,4Ga atrás, embora, conforme ressaltaram Cordani et al. (1989), esta mineralização possa ter se desenvolvido em vários pulsos, tendo em vista três análises U/Pb em uraninitas reportadas por Stein et al. (1978), com idades de 820 (2) e 540Ma.

Fato adicional interessante a ser ressaltado é que apesar da reconhecida mobilidade do sistema Rb/Sr na evolução policíclica, no caso de Lagoa Real este método ainda logrou delinear o evento identificado pelo método U/Pb, embora refletindo remobilizações isotópicas com idades aparentes de 1,5-1,2Ga e também 480Ma (e.g., Jardim de Sá, 1978; Cordani et al., 1989). Dados K/Ar com idades entre 500-700Ma, reforçam a hipótese da existência de eventos tectonotermais associados à orogênese Brasiliana na região de Lagoa Real (e.g., Cordani et al., op. cit).

As análises Sm/Nd efetuadas por Turpin et al. (1988), também no granitóide São Timóteo e nos albititos mineralizados, forneceram resultados aleatórios, possivelmente devidos a um retrabalhamento dos elementos terras raras. De qualquer modo, o exemplo da Lagoa Real é importante no sentido de revelar que o sistema Sm/Nd não é totalmente imune aos processos ocorridos no crosta continental a semelhança do já comentado na seção 2.3.3. Por outro lado, as idades Sm/Nd modelo (T_{DM}s) obtidas em variedades graníticas e gnáissicas do complexo Lagoa Real indicaram valores de 2,9Ga, 2,4Ga e 2,16Ga para seus protolitos (Turpin et al., 1988), estando coerentes portanto com o quadro geocronológico das rochas de infraestrutura nesse setor do CSF.

Em conclusão, aparentemente o granitóide São Timóteo e os ortognaisses coevos representariam um plutonismo de 1,72Ga, contemporâneo ao desenvolvimento inicial da cadeia Espinhaço. A origem deste plutonismo aparentemente relacionar-se-ia à fusão de componentes crustais de idade arqueana, idade esta semelhante a do complexo Santa Isabel, cujas rochas expõem-se nas proximidades (Fernandes et al., 1982).

Por outro lado, a imposição de processos de rejuvenescimento isotópico no Proterozóico Médio (e Superior) acha-se representada pelas datações Rb/Sr e K/Ar tanto neste plutonismo como nas rochas do sistema Espinhaço e do Grupo Chapada Diamantina, com idades da ordem de 1,3Ga a 1,0Ga (e.g., Brito Neves et al., 1980; Mascarenhas et al., 1986). No caso específico das rochas deste último Grupo, a idade Rb/Sr de cerca de 1,29Ga refletiria a rehomogeneização isotópica associada a dobramentos e metamorfismo regional, conforme apontaram Brito Neves et al. (op. cit).

Finalmente, em termos ainda dos efeitos da tectônica do Proterozóico Médio em outros setores de infraestrutura das províncias crustais do CSF, estes levaram ao rejuvenescimento de conjuntos de idades K/Ar e Rb/Sr a nível local. Os exemplos identificados na presente compilação, com padrões de idades entre 1,7/1,5Ga e 1,3/1,1Ga, situam-se no vale do Paramirim (Cordani et al., 1975), na extremidade nordeste do cinturão Itabuna (Cordani, 1973; Mascarenhas et al., 1986) e na região do Quadrilátero Ferrífero (Teixeira, 1985a; Carneiro, 1992).

CAPÍTULO 5

ATIVIDADES ANOROGÊNICAS DO PROTEROZÓICO MÉDIO E SUPERIOR

Na discussão geocronológica do magmatismo básico fissural, o emprego alternativo do método $^{40}Ar/^{39}Ar$, conforme já comentado (item 2.3.4), tem-se mostrado interessante, especialmente na datação de minerais da rocha encaixante no contato com o dique e que refletem, via de regra, uma idade próxima da intrusão. Nesse sentido, um programa de datações $^{40}Ar/^{39}Ar$ nos diques do território brasileiro com ênfase para o CSF encontra-se em andamento através de uma cooperação científica com instituições dos EUA (Princeton University, Institute of Humans Origins), tendo por objetivo complementar os estudos paleomagnéticos e geoquímicos integrados que vêm sendo realizados nos vários enxames de diques.

Os exemplos publicados com datações $^{40}Ar/^{39}Ar$ (Tabela 4) em diques do CSF referem-se aos enxames de Salvador e Ilhéus-Olivença, do Proterozóico Médio, datados também através do método K/Ar (Parenti Couto et al., 1983; Lima et al, 1981). Os dados $^{40}Ar/^{39}Ar$, mais precisos, suportam uma idade média de 1,07Ga para essa atividade ígnea fissural do leste do CSF (D'Agrella Filho et al., 1990a; Renne et al., 1990b,c).

Os estudos ainda prosseguem uma vez que uma datação U/Pb em badelleita em um dique de Salvador indicou surpreendentemente uma idade de intrusão mais jovem, de cerca 920Ma (Heaman, 1991) o que pode significar a existência de, pelo menos, dois pulsos magmáticos naquela área.

De todo modo, um programa geocronológico integrado de datações $^{40}Ar/^{39}Ar$ e datações U/Pb em determinados corpos (visando a comparação de idades por diferentes métodos) faz-se necessário com o intuito de esclarecer definitivamente a questão da cronologia dos enxames do CSF e, em particular, se os

representantes de Salvador e Ilhéus-Olivença correspondem ou não a pulsos ígneos distintos. Tal questão é importante no contexto do CSF pois gerações de diques aparentemente contemporâneas com os diques de Salvador, Ilhéus e Olivença são registradas ao longo do Sistema Espinhaço, datadas ainda hoje praticamente apenas pelo K/Ar. Muitos desses diques apresentaram inclusive idades K/Ar anômalas (Parenti Couto, 1983; Brito Neves et al., 1979), aparentemente sem significado geológico.

Digno de nota também é outra datação U/Pb em badelleita efetuada em dique porfirítico na região de Pedro Lessa, MG, já na extremidade sul do sistema Espinhaço, com cerca de 906Ma (Machado et al., 1989b). O registro desta idade aparentemente reforça a hipótese da existência de atividades ígneas básicas anorogênicas ligadas a episódios de fraturamento continental no limite temporal do Proterozóico Médio/Superior.

Ainda nesse contexto, um conjunto significativo de dados K/Ar em minerais tem revelado também idades entre 1,3Ga e 0,9Ga (Fig. 27) para diques da região de Bonfim, Pará de Minas e Lavras, na parte meridional do CSF (Teixeira et al., 1988; Teixeira, 1985), sugerindo novamente a existência de episódios extensionais possivelmente associados às etapas tardias da evolução Espinhaço, e que envolveriam assim amplos setores do CSF.

Por outro lado, merecem destaque as recentes contribuições no estudo da gênese dos enxames de diques básicos do nordeste do CSF, com base em ensaios isotópicos de Nd e Sr, apoiados por dados geoquímicos (Fig. 10). Em geral, as interpretações aventadas (e.g., diques de Ilhéus-Olivença) têm sugerido uma fonte mantélica enriquecida isotopicamente, possivelmente decorrente de processos peculiares de metassomatismo e/ou contaminação crustal (Bellieni et al., 1991a,b). O quadro isotópico (Nd, Sr) é semelhante ao inferido para a fonte dos magmas do enxame de diques de Uauá, estes de idade do Proterozóico Inferior (Bastos Leal, 1992; Bellieni et al., 1991b).

No tocante ao enxame de diques do vale do Rio Curaçá

(Tabela 4), as idades isocrônicas Rb/Sr em concentrados minerais, recentemente obtidas por Bastos Leal (1992), da ordem de 650-700Ma., permitem considerá-lo como uma atividade magmática reflexa aos fenômenos tectonomagnáticos contemporâneos, desenvolvidos na margem cratônica, no âmbito da faixa Sergipana. Exemplos geológicos semelhantes, envolvendo faixas dobradas mais jovens com fraturamento e contribuição ígnea associada sobre o antepaís, têm sido descritos na literatura (e.g., Sengo, 1976). No caso dos diques de Curaçá a existência de uma fonte mantélica litosférica, contaminada isotopicamente, é sugerida pelas análises de Nd e Sr. No caso do Sr, conforme visualizado na Figura 20, as amostras de Curaçá possuem RIs muito altas, admitindo portanto uma contaminação crustal da fonte magmática pelos terrenos de alto grau do Vale do Rio Curaçá (Bastos Leal, op. cit).

Datações $^{40}Ar/^{39}Ar$ no enxame de diques de Curaçá estão em andamento nos EUA (P. Renne, inf. verbal, 1992), com vistas a confirmar este padrão geocronológico ora identificado, como também objetivando detalhar a evolução térmica dessas rochas. Por outro lado, é interessante notar que também no Quadrilátero Ferrífero, no sul do CSF, diques básicos não metamórficos com cerca de 630Ma foram identificados, neste caso, através de datações U/Pb em badelleitas (A. Silva, inf. verbal, 1992).

Finalmente, no âmbito das atividades intrusivas anorogênicas no CSF, cabe ainda reportar o conjunto de datações Rb/Sr, K/Ar e $^{40}Ar/^{39}Ar$ existentes para a província plutônica alcalina do sul da Bahia (Cordani et al., 1974a,b; Lima et al., 1981). Nesse caso, o quadro geocronólogico está razoavelmente estabelecido, com base em idades Rb/Sr isocrônicas por volta de 670Ma, a partir de dados de diferentes intrusões.

Esta idade para o plutonismo alcalino é ratificada por recente datação U/Pb (badelleita e zircão) para o sienito Itabuna, com 680Ma (L. Heaman, com. escrita, 1992). Alguns resultados aparentes K/Ar e $^{40}Ar/^{39}Ar$ em anfibólios e sodalitas, ao redor de 770-730Ma, portanto algo mais antigos que a idade Rb/Sr, parecem antever um quadro isotópico mais complexo da

evolução térmica, com incorporação de argônio em excesso nesses minerais das diferentes intrusões. De qualquer modo, a idade das várias intrusões do sul da Bahia deverá ser esclarecida em breve com datações U/Pb adicionais ora em andamento no Royal Ontario Museum.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desta síntese foi o de apresentar um quadro atualizado do conhecimento geocronológico do CSF, particularmente quanto à sua evolução no Arqueano e Proterozóico Inferior, por meio de uma extensiva compilação bibliográfica aliada a uma análise do conjunto de dados ainda inéditos. A avaliação assim procedida permitiu uma visão integrada dos processos tectonomagmáticos maiores ocorridos no âmbito do CSF, propiciando inferências quanto a possíveis correlações cronoestratigráficas das diferentes unidades expostas, bem como subsidiando a definição cronológica dos principais eventos plutônicos ocorridos na entidade cratônica.

Com base nesta análise integrada, tornou-se viável ainda apontar as deficiências existentes e, em conseqüência, sugerir alguns dos alvos interessantes para futuros estudos geocronológicos. Todavia, deve ser ressaltado aqui o caráter preliminar das considerações tectônicas formuladas visto que a maioria das datações do CSF refere-se aos métodos Rb/Sr e K/Ar. Ideal seria que houvesse um conjunto de idades mais balanceado, com datações em igual número pelas diferentes técnicas radiométricas, e que fosse composto obrigatoriamente por idades U/Pb e Sm/Nd.

6.1. A Edificação do Continente Arqueano

Da análise comparativa entre os dois exemplos de províncias crustais arqueanas emerge um cenário razoavelmente bem estabelecido em que os eventos arqueanos no CSF podem ser tentativamente subdivididos e agrupados no Arqueano II (3,5-2,9Ga) e Arqueano III (2,9-2,5Ga). As principais concentrações de idades situam-se no tempo entre 3,2-3,0Ga e 2,8-2,6Ga, conforme aponta o registro geocronológico ora avaliado.

Tendo em vista o acervo de datações existente para os terrenos de infraestrutura do CSF, um dos aspectos notáveis a ser ratificado é o da definição inequívoca de núcleos e fragmentos de crosta primitiva com idade em torno de 3,4Ga, na parte setentrional do CSF. Os exemplos já identificados, em áreas espacialmente restritas, situam-se no estado da Bahia (Brumado, Mutuípe, Lagoa do Morro, Sete Voltas, Boa Vista), isto se devendo, possivelmente, ao maior emprego de datações U/Pb naquele setor do CSF. Registros isotópicos Sm/Nd, quando disponíveis, permitem também aventar a existência de protolitos com idades muito antigas, como no caso das datações em rochas vulcânicas da bacia Contendas-Mirante.

Os períodos de tempo acima mencionados, entre 3,2-2,9Ga e 2,8-2,6Ga, são também os que possuem maior representatividade em termos de distribuição geográfica no âmbito das duas províncias arqueanas do CSF. Como tal, os conjuntos de idades U/Pb, Pb/Pb e Rb/Sr estariam representando, a nosso ver, picos metamórficos decorrentes de processos tectonomagmáticos sucessivos (de curta duração). Estes eventos incluiram a adição de material juvenil e o retrabalhamento de terrenos primitivos, conforme sugerem as evidências isotópicas de Sr e Nd. Interessante apontar que também para a granitogênese transamazônica, no norte do CSF, os registros isotópicos, com base em análises Sm/Nd, permitiriam inferir idades entre 3,2Ga e 3,0Ga para os protolitos dessas intrusões.

O cenário da evolução policíclica da crosta primitiva, no período 3,2-2,6Ga, é assim interpretado como refletindo o rápido e gradativo acrescimento crustal, acompanhando a evolução particular (com idades distintas) dos terrenos "granito-greenstone" nos vários domínios da entidade cratônica, como conseqüência do regime de alto fluxo térmico e condições de mobilidade tectônica reinantes no Arqueano II e III.

Esses fragmentos primitivos aparentemente tiveram a sua estabilização (coalescência) há cerca de 2,7/2,6Ga atrás, contemporaneamente a processos extensivos de granitização, conforme aponta um significativo conjunto de datações, mas sendo

especialmente monitorado através das idades precisas U/Pb em granitóides da região meridional do CSF.

Tal processo teria levado à configuração de extensas massas continentais, estabelecendo-se assim a paleogeografia do proto-cráton ao final do Arqueano (e.g., Cordani & Brito Neves, 1982; Cordani et al., 1985, 1988; Teixeira & Figueiredo, 1991). Com base na avaliação global do acervo geocronológico do CSF, as províncias arqueanas identificadas parecem assim representar, porções da crosta inferior primitiva, diferencialmente retrabalhadas e exumadas tectonicamente, que vieram a constituir fragmentos estáveis, por ocasião da evolução dos cinturões móveis do Proterozóico Inferior (Fig. 13).

Como resultado geral desse quadro evolutivo acima exposto e particularmente quanto à evolução primordial do CSF, o futuro detalhamento geocronológico das rochas de infraestrutura e intrusivas associadas obrigatoriamente deverá perseguir o emprego das metodologias radiométricas de maior potencial interpretativo - como U/Pb (zircão), em combinação com o uso sistemático dos isótopos de Sr, Nd e Pb. Isto traria uma efetiva contribuição na modelagem tectônica do final do Arqueano, como a identificação de fragmentos antigos no interior dos cinturões móveis do Proterozóico Inferior, e inclusive quanto a virtual delineação de microcontinentes.

Nesse contexto, preve-se que a região meridional do CSF deva trazer importantes respostas, em futuro próximo, tendo em vista as teses em andamento na região do Quadrilátero Ferrífero e adjacências e que têm por fundamento a definição litoestratigráfica das unidades geológicas através do mapeamento, apoiada por estudos petrológicos e geoquímicos, com controle de datações U/Pb, Rb/Sr e K/Ar (e.g., Carneiro, 1992). Isto possibilitará estabelecer comparações realísticas com os setores setentrionais do CSF melhor estudados geocronologicamente.

Pelo acima exposto, parece evidente que somente com o emprego intensivo de datações U/Pb, nas duas províncias Arqueanas identificadas, será possível detalhar concretamente a evolução primitiva do CSF. Iniciativas nesse sentido, interessando a

comunidade científica internacional no estudo da problemática geocronológica do Arqueano, em paralelo com a implementação deste método geocronológico no Brasil, são fundamentais para se obter um salto qualitativo no conhecimento da evolução crustal primitiva do continente Sul-Americano e do CSF, em particular.

6.2. A Evolução da Crosta no Proterozóico Inferior

O registro geocronológico do Proterozóico Inferior, como se viu nesta tese, acha-se bem caracterizado no CSF. Esta memória de dados isotópicos está fundamentalmente representada, em termos tectônicos, pela imposição dos cinturões móveis Itabuna, Correntina-Guanambi e Mineiro (Figs. 14 e 17), bem como pelas intrusivas graníticas e atividades ígneas básicas associadas. Contudo, este conjunto de datações corresponde também ao retrabalhamento diferencial das margens dos fragmentos arqueanos, identificados tanto no setor setentrional como meridional do cráton.

Considera-se, sobretudo, que a boa caracterização dos processos do ciclo Transamazônico possivelmente seja devida à metodologia radiométrica mais freqüentemente empregada no estudo destas províncias geocronológicas (método Rb/Sr). Em conseqüência, as respostas isotópicas estariam notadamente refletindo o metamorfismo de médio a alto grau superimposto nas rochas de infra e supraestrutura afora o próprio evento plutônico ocorrido ao final do Proterozóico Inferior, nas várias províncias do CSF.

Uma questão ainda não completamente equacionada no âmbito do CSF é a do real significado geológico de um evento de homogeneização isotópica regional, ocorrido precocemente no Proterozóico Inferior (2,45/2,3Ga), o qual vem sendo detectado em vários setores dos cinturões Itabuna e Mineiro e nas margens das províncias arqueanas (e.g., Brito Neves et al., 1980; Teixeira & Figueiredo, 1991). Outra constatação, claramente complementar, é quanto ao significado do próprio conceito do ciclo Transamazônico, especificamente em relação à época de deposição

de suas unidades, tendo em vista as dificuldades de amostragem geocronológica em rochas para-derivadas e limitações interpretativas dos seus dados radiométricos.

A definição cronológica do término deste ciclo tectonomagmático, de outra parte, não encontra na nossa concepção, maiores dificuldades, face à boa densidade de idades aparentes K/Ar existentes nas rochas do embasamento das províncias do CSF (e.g., Teixeira, 1985; Mascarenhas & Garcia, 1989) as quais refletem, em sua maioria, o período de soerguimento regional das estruturas, há cerca de 1,9/1,8Ga atrás.

Dentre os vários temas geocronológicos do Proterozóico Inferior aqui tratados, o do plutonismo granítico é um dos mais detalhados em especial no setor norte do CSF, onde os numerosos corpos identificados acham-se definidos temporalmente; inclusive contando-se ali com as primeiras inferências realísticas quanto à gênese deste plutonismo no CSF, com base nos parâmetros isotópicos de Nd e Sr, somadas a uma caracterização petrográfica e geoquímica dos corpos, como seria ideal. Procedimentos desse tipo são obviamente necessários para o detalhamento da origem do plutonismo contemporâneo que também se alojou na parte meridional do cráton, ao final do Proterozóico Inferior.

Como proposta geral, a utilização complementar das datações U/Pb (zircão) nas intrusivas graníticas e alcalinas do CSF, acompanhadas de um estudo geocronológico e isotópico mais sistemático, além de fornecer melhor precisão cronológica em termos da idade de colocação dos corpos, propiciaria recuperar a conotação tectônica deste(s) evento(s) plutônico(s), associado ao desenvolvimento do ciclo Transamazônico. Complementarmente, o estudo dos vários enxames de diques máficos não metamórficos, por exemplo através do método Rb/Sr (e.g., Bastos Leal, 1992), permitiria uma definição temporal preliminar dessas atividades ígneas fissurais, com vistas ao esclarecimento do relacionamento tectônico dos diques frente ao quadro da evolução crustal e quanto ao plutonismo granítico em particular.

Tais estudos, se somados aos ensaios isotópicos de Sr,

Nd e Pb, viriam contribuir decisivamente no conhecimento da natureza dos processos de geração magmática, os quais têm óbvias implicações quanto à modelagem tectônica.

Neste contexto, também estudos $^{40}Ar/^{39}Ar$ nessas rochas básicas revestem-se de interesse, dada a grande precisão desses resultados, aliada a possibilidade concreta da datação de pequenos volumes de minerais. Entretanto, o método de maior potencial para a obtenção da idade de intrusão de diques máficos é o U/Pb (em badelleita e/ou zircão), apesar das dificuldades de concentração desses minerais acessórios em rochas básicas. Não obstante, tanto o método U/Pb como o método $^{40}Ar/^{39}Ar$ não são desenvolvidos no Brasil e como tal dependem de iniciativas dos virtuais interessados em termos de viabilizar uma cooperação científica com laboratórios que desenvolvem esta técnica radiométrica.

6.3. Outras implicações decorrentes do conjunto de dados isotópicos do Proterozóico Inferior

Conforme discutido nesta tese, fica patente o potencial das interpretações oriundas da geocronologia e da geologia isotópica, possibilitando extrapolações gerais sobre a evolução dos eventos tectonomagmáticos que levaram a individualização tectônica do CSF.

O melhor retrato dessa questão, a nosso ver, é fornecido pelos dados isotópicos de Nd e Sr no plutonismo peraluminoso de idade transamazônica, associado à evolução das seqüências Contendas-Mirante e Jacobina (vide item 3.2.3) que são consistentes com um modelo colisional continente-continente do ciclo Transamazônico (Sabaté et al., 1990b), envolvendo a individualização do cinturão Itabuna. Através dos ensaios Sm/Nd, inferências cruciais foram obtidas para identificação do envolvimento de material crustal pré-existente na petrogênese dos magmas graníticos, permitindo inclusive extrapolações comparativas em relação aos terrenos encaixantes.

Nessa modelagem tectônica, a idade de 2,47Ga obtida

para o sill máfico-ultramáfico Rio Jacaré (Marinho, 1991), em nossa concepção, aparentemente estaria monitorando o fraturamento crustal associado à subsidência de parte da bacia Contendas-Mirante, evento este que precederia por sua vez, a colisão do cinturão Itabuna com o fragmento arqueano Jequié-Mutuípe. A progressão desta colisão, com seu metamorfismo associado, estaria sendo refletido geocronologicamente pelos dados Sm/Nd e Rb/Sr entre 2,1Ga e 1,9Ga também obtidos naquele sill (Kawashita et al., 1991b), e pelas idades Rb/Sr e K/Ar dessa ordem em rochas das seqüências supracrustais Contendas-Mirante e Jacobina (Brito Neves et al., 1980). Em escala mais ampla, o evento estaria sendo também refletido na idade Sm/Nd (1,86Ga) dos hiperstenitos da Mina Caraíba (Oliveira, 1990), afora pelo próprio registro geocronológico nos terrenos de alto grau do Vale do Rio Curaçá (item 3.2.1.1).

Esta geodinâmica do Proterozóico Inferior teria levado, por sua vez, à justaposição, num mesmo nível crustal, das unidades inferiores arqueanas da bacia Contendas-Mirante com a unidade de topo, esta já tendo-se depositado em conseqüência do processo de inversão tectônica do Proterozóico Inferior, de acordo com as idades U/Pb entre 2,15Ga e 2,0Ga obtidas em metaconglomerados (Nutman et al., 1992).

Estas datações U/Pb em rochas sedimentares vem ilustrar, de outra parte, o potencial das interpretações voltadas à virtual identificação de áreas-fonte, em geral. Neste contexto particular, cabe aqui registrar os estudos Sm/Nd em andamento no CPGeo em várias unidades sedimentares e metassedimentares do estado da Bahia (M. Vergara, inf. verbal, 1992) e que deverão contribuir para o melhor conhecimento do quadro paleotectônico do CSF.

Ainda na abordagem da questão tectônica da área investigada, outro exemplo complementar interessante da evolução crustal do Proterozóico Inferior no setor setentrional do CSF, diz respeito à virtual associação do vulcanismo do "*greenstone belt*" Rio Itapicuru com a gênese dos enxames de diques máficos de Uauá.

A evolução geocronológica registrada pelas rochas vulcânicas deste "*greenstone belt*" é consistente com as idades Rb/Sr e K/Ar (2,38Ga e 2,0Ga) obtidas para os diques do enxame de Uauá, o que sugere certa associação genética com a colisão continental, acima modelada. Apesar do pequeno número de dados isotópicos de Nd, Sr e Rb disponíveis para as rochas de filiação básica dessas duas regiões, estes parecem apontar para uma fonte com alguma contaminação crustal no caso do vulcanismo Itapicuru, e para um manto levemente enriquecido (e contaminado) para a região de Uauá.

Este exemplo serve, portanto, de ilustração em termos de possibilidades de serem realizadas comparações isotópicas no futuro, integrando informações multidisciplinares entre rochas ígneas oriundas de diferentes unidades no CSF. Nesse campo do planejamento teórico, estudos isotópicos de Nd e Sr lograriam trazer inferências gerais sobre a natureza das fontes das atividades ígneas, as quais poderiam ser teoricamente monitoradas com base em interpretações de diagramas-hipérbole de mistura a dois componentes, a exemplo do relatado para basaltos da Islândia (Langmuir et al., 1978).

6.4. A pendência geocronológica das Seqüências Supracrustais

Entre os temas críticos aqui levantados está a questão da idade das diversas unidades supracrustais (Fig. 16) que ocorrem freqüentemente nas províncias crustais do CSF.

Nos próximos anos, seguramente este tema de estudo deverá ser uma das prioridades, tendo em vista a necessidade do estabelecimento preciso da cronoestratigrafia dessas unidades, de modo a permitir eventuais correlações entre elas e melhor esclarecer o quadro paleogeográfico. Em especial, quanto ao conteúdo metalogenético dessas seqüências supracrustais, o estudo cronológico (e.g., datações $^{40}Ar/^{39}Ar$ e K/Ar) de minerais hidrotermais de veios e zonas de alteração associadas aos cizalhamentos (muito comuns em *greenstone belts*) viria auxiliar na definição da idade do evento hidrotermal com o qual estaria

associada a percolação dos fluidos mineralizados, como parece ser o caso de algumas das seqüências supracrustais do CSF.

Em geral, carências em dados geocronológicos são constatadas para a maioria das seqüências supracrustais da parte norte do CSF, representadas na Figura 16, como o Grupo Capim e o complexo Colomi, entre tantas outras unidades, cujas definições temporais inequívocas teriam importantes e óbvias implicações para a evolução das províncias do Arqueano e Proterozóico Inferior.

A complexidade geocronológica envolvida pelas unidades supracrustais do CSF, é particularmente bem ilustrada pela seqüência Contendas-Mirante, uma vez que suas rochas contém datações variadas (Rb/Sr, K/Ar, $^{207}Pb/^{206}Pb$, Sm/Nd e U/Pb). Em nossa concepção, uma complexidade semelhante poderá ser detectada para outras unidades supracrustais do CSF, a medida que progridam os estudos geocronológicos, sobretudo por métodos de maior potencial interpretativo, como U/Pb e o Sm/Nd.

Já na parte sul do CSF, as diferenças de idades entre os *greenstones belts* Rio da Velhas (2,78Ga) e Piumhi (3,10Ga) merecem ser melhor pesquisadas geocronológica e isotopicamente, afora as investigações nos Grupos Lafaite e Dom Silvério, unidades estas ainda sequer datadas diretamente. Mesmo assim, os poucos dados existentes para o *greenstone* Rio das Velhas, parecem apontar para a existência de uma crosta siálica mais antiga que 2,9-3,0Ga (com base em datações U/Pb em zircões detríticos), fato que é consistente com outras datações radiométricas (U/Pb, Rb/Sr e $^{207}Pb/^{206}Pb$) em rochas da infraestrutura neste setor meridional da entidade cratônica.

No caso do Supergrupo Minas e sua infraestrutura, o conjunto de datações Rb/Sr, $^{207}Pb/^{206}Pb$, U/Pb, ora avaliado, revela um intervalo de idades demasiadamente longo (2,45-1,90Ga). Nesse sentido, como complemento à cronologia do Supergrupo Minas, uma alternativa teoricamente interessante seria a datação $^{207}Pb/^{206}Pb$ em rocha total das suas seqüências ferríferas bandadas (BIFs), variavelmente deformadas, dado esse que viria contribuir no estabelecimento da cronoestratigrafia desta unidade

supracrustal.

Tais estudos $^{207}Pb/^{206}Pb$ possuem, por exemplo, paralelo em rochas da seqüência Contendas-Mirante (Pedreira et al., 1992), e também em outros continentes. Na Groelândia, por exemplo, lograram definir, a idade dos BIFs (_3,76Ga) das supracrustais Isua (Moorbath et al., 1973). Na Africa do Sul, através da análise dos BIFs (de baixo grau metamórfico e de fácies anfibolito), foi possivel identificar diferenças temporais significativas nas idades $^{207}Pb/^{206}Pb$, respectivamente de 3,0Ga e 2,2Ga (Barton et al., 1986), propiciando assim distinguir no tempo os eventos metamórficos que atingiram a seqüência Marylade. Entretanto, BIFs submetidos a metamorfismo alto grau aparentemente não são favoráveis a esta metodologia, uma vez que o sistema U/Pb mostra-se perturbado, como reportado para BIFs da zona central do cinturão Limpopo (Barton Jr., 1983).

Em conclusão, iniciativas geocronológicas combinando diferentes métodos, conforme brevemente aqui sintetizado, são obrigatórias para equacionamento da cronologia destas unidades supracrustais e metavulcano-sedimentares do CSF. Para tanto, cabe, todavia, ressaltar que o detalhamento do conhecimento geológico dessas unidades é fundamental para uma correta interpretação dos dados geocronológicos.

6.5. A história térmica das Provincias Crustais

A questão da análise do caráter policíclico das provincias do CSF, especialmente quanto à história térmica regional, acha-se razoavelmente estabelecida, haja visto o acervo geocronológico Rb/Sr e K/Ar disponivel tratando desse tema. Em geral registra-se um amplo rejuvenescimento das idades aparentes K/Ar do substrato cratônico no período de tempo 2,0-1,8Ga, o que refletiria o soerguimento da massa continental nas etapas finais do ciclo Transamazônico.

Não obstante, a análise detalhada deste conjunto de dados combinada às informações de cunho geológico revela um quadro mais complicado. O caso da parte meridional do CSF é

exemplar, pois ali as datações Rb/Sr e K/Ar comprovam a imposição de sucessivos processos tectonotermais do Proterozóico (Figs. 23 e 24) sobre a crosta arqueana (vide também Fig. 14), definindo-se um padrão de rejuvenescimento isotópico dos sistemas minerais de oeste (Proterozóico Inferior) para leste (Proterozóico Superior).

As idades K/Ar dessa região, parecem estar refletindo uma tectônica do Proterozóico Médio, possivelmente associada ao desenvolvimento das etapas finais do sistema Espinhaço. Ainda nesse exemplo, é importante ressaltar que o processo mencionado está sendo aparentemente também registrado pelo rejuvenescimento do sistema Rb/Sr (idades da ordem de 1,3/1,1Ga) em rochas arqueanas do Complexo Bonfim, situado na extremidade leste da província Arqueana Meridional do CSF (Carneiro, 1992). Idades K/Ar dessa ordem foram identificadas nesta província também em rochas arqueanas da região de Boa Esperança (Fig. 24), o que sugere uma amplitude regional dos processos de reativação tectônica do Proterozóico Médio.

Esta constatação acerca do rejuvenescimento isotópico dos sistemas K/Ar e Rb/Sr vem também servir, por outro lado, como um alerta para eventuais complexidades exibidas pelo sistema Rb/Sr, em outros setores do CSF, como resposta da evolução proterozóica, sobretudo nas regiões onde já foram identificados fenômenos de baixo grau metamórfico superimpostos em rochas de infraestrutura, e tendo em conta o que tem sido relatado na literatura para situações semelhantes (e.g., Bridgwater, 1989; Asmeron et al., 1991).

Ainda no tocante ao rejuvenescimento isotópico do sistema K/Ar, outro exemplo interessante aqui reportado é o da região de Brumado-Anajé (bloco Paramirim), na parte setentrional do CSF, ali também se constatando um rejuvenescimento a nível regional das idades aparentes K/Ar em rochas de infraestrutura. Neste caso, a heterogeneidade do padrão geocronológico estaria relacionada à ação dos processos metamórficos do Proterozóico Inferior, Médio e Superior (e.g., Cordani et al., 1985).

Outros segmentos do CSF denotam também uma evolução térmica complicada, como a região de Salvador, onde os terrenos

de alto grau do cinturão Itabuna revelam idades K/Ar entre 1,7Ga e 1,5Ga. Estas, possivelmente, seriam o reflexo de uma tectônica de blocos do Proterozóico Médio (sistema Espinhaço?), levando ao soerguimento adicional da crosta do cinturão com o conseqüente fechamento do sistema K/Ar.

Apesar desse cenário acima ilustrado para a evolução do Proterozóico Médio no CSF, adicionalmente também monitorado através das datações em rochas vulcânicas (sistema Espinhaço) e plutônicas (complexo Lagoa Real) e diques máficos, persiste ainda uma importante lacuna em termos da subdivisão deste período de tempo (≃1,8-0,9Ga) que nos parece demasiadamente longo, e também quanto às características genéticas dos eventos ligados ao sistema intracratônico relativamente a própria geodinâmica do CSF. De todo modo, a recorrência do magmatismo fissural no tempo e no espaço permite uma associação com episódios de fraturamento intra-placa, com movimentação vertical (ascensão) contemporânea de blocos, associados à evolução do sistema Espinhaço.

Finalmente no tocante ao esboço paleogeográfico geral da plataforma Sul-Americana, uma implicação adicional pode ser tirada dos estudos geocronológicos empreendidos na área investigada. Trata-se da história termal transamazônica do complexo Jequié-Mutuípe, que quando integrada às interpretações dos dados paleomagnéticos do CSF e cráton Amazônico, sugere que essas massas continentais não estavam adjacentes entre 2,0Ga e 1,8Ga atrás (Sletten, 1989). A implicação tectônica decorrente disso é que um evento colisional continente-continente teria ocorrido durante o ciclo Brasiliano, ao longo do domínio central da plataforma Sul-Americana, interpretação essa também consistente com o arcabouço geológico e evolução geocronológica estabelecidos para a região Centro-Oeste do Brasil.

Finalmente as idades K/Ar mais jovens, do Proterozóico Superior, reveladas pelas rochas de infraestrutura em determinadas regiões do CSF permitem trazer algumas inferências complementares quanto à evolução da bacia Bambuí. O desenvolvimento desta bacia aparentemente seria contemporâneo ao soerguimento da massa continental, na parte sul do CSF, cujo

conjunto K/Ar exibe também um padrão de resfriamento regional com idade ao redor de 0,8/0,6Ga. Este soerguimento seria acompanhado, no presente caso, pela intrusão de diques básicos, contemporaneos ao processo de domeamento crustal, conforme sugerem as datações U/Pb de 920Ma e 630Ma nesses diques. Idades Rb/Sr e K/Ar obtidas diretamente em rochas dos Grupos Bambuí e Una, em vários setores do CSF, têm indicado coerentemente o Proterozóico Superior para início da evolução da bacia plataformal.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIBERT, C.& BARBOSA, J.S.F. - 1992 - Ages U/Pb determinés à la "SHRIMP" sur des zircons de Complexe de Jequié, Craton du São Francisco, Bahia, Brésil. In: REUNION DES SCIENCES DE LA TERRE, 14. Toulouse-France, p.4.

ALMEIDA, F.F.M. de - 1967 - Origem e evolução da Plataforma Brasileira. **Boletim Divisão de Geologia e Mineralogia, 241**:1-36.

ALMEIDA, F.F.M. de - 1977- O Craton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, 7(4):349-364.

ALMEIDA, F.F.M. de - 1981- O Craton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1., Salvador, 1979. **Anais**. Salvador, SBG p.1-10.

AMARAL, G. - 1990 - Regressão com variáveis sujeitas a imprecisão: uma abordagem pelo método de Monte Carlo. **Boletim IG-USP. Série Científica, 21**:47-52.

ARMSTRONG, R.L. - 1990 - The persistent mith of crustal growth. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOCHRONOLOGY, COSMOCHRONOLOGY AND ISOTOPE GEOLOGY. 7., Canberra, 1990. **Abstracts** Canberra, Geological Society of Australia. p.40.

ARMSTRONG, R.L.; EISBACHER, G.H.; EVANS, P.D. - 1982 - Age and stratigraphic-tectonic significance of Proterozoic diabase sheets, Mackenzie Mountains, northwest **Canada. Canadian Journal of Earth Sciences**, 19(2):316-323.

ARNDT, N.T. - 1988 - Petrology and chemistry of greenstone belts: a worldwide comparison. In: INTERNATIONAL CONFERENCE GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST., Poços de Caldas, 1988. **Abstracts**. Poços de Caldas. p.186-188.

ARNDT, N.T.& GOLDSTEIN, S. - 1987 - Use and abuse of crust-formation ages. **Geology, 15**(10):893-895.

ARNDT, N.T.; TEIXEIRA, N.A.; WHITE, W.M. - 1989 - Bizzarre geochemistry of komatiites from Crixás greenstone belt, Brazil. **Contributions to Mineralogy and Petrology, 101**(2):187-197.

ARTUR, A.C. - 1988 - **Evolução Policíclica da infraestrutura da porção sul do Estado de São Paulo**. São Paulo, 231p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

ASMEROM, Y.; DAMON, P.; SHAFIQULLAH, M.; DICKINSON, W.R.; ZARTMAN, R. - 1991 - Resetting of Rb/Sr ages of volcanic rocks by low-grade burial metamorphism. **Chemical Geology, 87**(3-4):167-173.

BABINSKI, M.; VAN SCHMUS, W.R.; CHEMALE JR., F. - 1991 - Pb/Pb Geochronology of Carbonate rocks of Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **EOS Transactions American Geophysical Union, 72**(44):531.

BARBOSA, J.S.F. - 1986 - **Constitution Lithologique et Metamorphique de la Region Granulitique de Sud de Bahia, Brésil**. Paris, 401p. (Tese de Doutoramento - Universidade Paris VI, n° ordem 86-64).

BARBOSA, J.S.F. - 1990 - The granulites of the Jequié Complex and Atlantic coast mobile belt, southern Bahia, Brazil - An expression of Archean/Early Proterozoic Plate Convergence. In: VIELZEUF,D. & VIDAL, PH. (eds). **Granulites and Crustal Evolution**. Dordrecht, Kluwer Academic. p.195-221.

BARBOSA, J.S.F.& FONTEILLES, M. - 1989 - Caracterização dos protólitos da região granulítica do Sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências, 19(1):3-18.**

BARTELS, R.L.; TORQUATO, J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.T de - 1977 - Geochronological Investigation in Granulitic Terrain Northeast of Feira de Santana, Bahia State. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., Campina Grande, 1977. **Boletim Especial, Resumo das Comunicações**. Recife, SBG. p.18-19.

BARTON JR., J.M. - 1983 - Pb isotopic studies of Banded Iron Formation, Central Zone, Limpopo mobile belt. **Special Publication Geological Society South Africa, 8:43-44.**

BARTON, E.S.; ARMSTRONG, R.A.; CORNELL, D.H.; WELKE, H.J. -1986 - Feasibility of total rock Pb/Pb dating of metamorphosed banded iron formation: the Marydale Group, Southern Africa. **Chemical Geology, Isotope Geoscience, 59(4):255-271.**

BARTON, J.M. & VAN REENEN, D.D. - 1992 - The significance of Rb/Sr ages of biotite and phlogopite for the thermal history of the Central and Southern Marginal Zones of the Limpopo Belt of Southern Africa and the adjacent portions of the Kaapvall Craton. **Precambrian Research, 55(1-4):17-31.**

BASEI, M.A.S. - 1985 - **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina**. São Paulo, 190p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

BASEI, M.A.S. - 1990 - O Grupo Brusque: uma evolução monocíclica? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais.** Natal, SBG. v.6, p.2649-2657.

BASEI, M.A.S.& TEIXEIRA, W. - 1987 - Geocronologia dos terrenos pré-cambrianos e eo-paleozóicos de Santa Catarina. In: SILVA, L.C. & BORTOLUZZI, C.A. (eds). **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina, E = 1:500.000.** Florianópolis, 11º Distrito DNPM. p.91-129. (textos básicos de geologia e recursos minerais de Santa Catarina).

BASEI, M.A.S.; LANCELOT, J.R.; TEIXEIRA, W.; TAYLOR, P.N. - 1988 - The age and origin of the Santa Catarina granulite complex, South Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST. Poços de Caldas, 1988. **Abstracts.** Poços de Caldas. p.138-141.

BASEI, M.A.S.; VASCONCELOS, J.P.B.C.; SIGA JR., O. - 1989 - Isotopic studies and the tectonic setting of the Late Proterozoic granites of South Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 28., Washington, 1989. **Abstracts** Washington, International Union of Geological Sciences. p.94.

BASEI, M.A.S.; SIGA JR., O.; REIS NETO, J.M. - 1990 - O Batólito Paranaguá: proposição, idade, considerações petrogenéticas e implicações tectônicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais.** Natal, SBG. v.4, p.1684-1699.

BASTOS LEAL, L.R. - 1992 - **Geocronologia Rb/Sr e K/Ar, evolução isotópica e implicações tectônicas dos enxames de diques máficos de Uauá e Vale do Rio Curaçá, Bahia.** São Paulo, 118p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).

BASU, A.R.; SHARMA, M.; DE CELLES, P.G. - 1990 - Nd, Sr - isotopic provenance and trace element geochemistry of Amazonian foreland basin fluvial sands, Bolivia and Peru: implications for ensialic Andean Orogeny. **Earth Planetary Science Letters, 100**(1-3):1-17.

BEAKHOUSE, G.P.; McNUTT, R.H.; KROGH, T.E. - 1988 - Comparative Rb/Sr and U/Pb zircon geochronology of Late-to Post-tectonic plutons in the Winnipeg River Belt, northwestern Ontario, Canada. **Chemical Geology**, 72(4):337-351

BECKER, T.A.; VASCONCELOS, P.M. de P.; RENNE, P.R.; BRIMHALL, G.H. - 1991 - K/Ar and $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of K-Mn Oxides: A chronometer for surficial processes. **EOS Transactions American Geophysical Union**. Supplement, 72(44):531.

BELLIENI, G.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; CAVAZZINI, G.; CIVETTA, L.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; BERTOLO, S.; DE MIN, A. - 1991a - Proterozoic mafic dyke swarms of the São Francisco Craton (SE - Bahia State, Brazil): petrology and Sr-Nd isotopes. **European Journal of Mineralogy**, 3(2):429-449.

BELLIENI, G.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; BRITO, C.M.; TEIXEIRA, W.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; DE MIM, A.; BASTOS LEAL, L.R. - 1991b - Early and Late Proterozoic dyke swarms from São Francisco Craton (Brazil): petrology, geochemistry and Sr-Nd isotopes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MAFIC DYKES, São Paulo, 1991. **Extended Abstracts**. São Paulo, SBGq/Sociedade Geológica de Portugal. p.60-65.

BELO DE OLIVEIRA, O.A. & TEIXEIRA, W. - 1990 - Evidências de uma tectônica tangencial proterozóica no Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais**. Natal, SBG. v.6, p.2589-2604.

BERNAT, M.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; KINOSHITA, K. - 1975 - A utilização do reator nuclear para a determinação de idade de rochas: o método Ar^{40}/Ar^{39}. **Ciência e Cultura**, 27(10):1126-1132.

BICKFORD, M.E.; VAN SCHMUS, W.R.; ZIETZ, I. - 1986 - Proterozoic history of the midcontinent region of North America. **Geology**, 14(6):492-496.

BONHOMME, M.G. - 1982 - The use of Rb/Sr and K/Ar dating methods as a stratigraphic tool applied to sedimentary rocks and minerals. **Precambrian Research**, 18(1-2):5-25.

BORGES, S.V.F. - 1991 - **Caracterização geológica e estratigráfica da região de Caicó, RN**. Natal, 151p. (Relatório de Graduação. Centro de Ciências Exatas. Depto. Geologia/UFRN).

BRIDGWATER, D.; ROSING, M.; SCHIOTTE, L. - 1989 - The effect of fluid-controlled element mobility during metamorphism on whole rock isotope systems, some theoretical aspects and possible examples. In: BRIDGWATER, D. (ed.) **Fluid movements element transport and the composition of the deep crust**. Dordrecht, Kluwer Academic. p.277-298. (NATO ASI series. C. Mathematical and Physical Sciences, 281)

BRITO NEVES, B.B. de - 1986 - Tectonic Regimes in The Proterozoic of Brazil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 12., João Pessoa, 1986. **Anais**. João Pessoa, SBG. p.235-251.

BRITO NEVES, B.B. de; CORDANI, U.G.; TORQUATO, J.R.F. - 1980 - Evolução geocronológica do pré-cambriano do Estado da Bahia. In: INDA, H.A.V. & DUARTE, F.B. (orgs). **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia**. Textos básicos. Salvador, CPM. v.3, p.1-104.

BRITO NEVES, B.B. de; VAN SCHMUS, W.R.; BASEI, M.A.S. - 1990a - Contribuição ao estudo isotópico da evolução geocronológica do Sistema de Dobramentos Piancó - Alto Brígida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais**. Natal, SBG. v.6, p.2683-2696.

BRITO NEVES, B.B. de; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; KAWASHITA, K. - 1990b - Contribution to geochronological subdivision of Precambrian of South America. **Revista Brasileira de Geociências**, 20(1-2-3-4):267-276.

BRITO NEVES, B.B. de & CORDANI, U.G. - 1991 - Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. **Precambrian Research**, 53(1-2):23-40.

BROOKS, C.; HART, S.R.; WENDT, I. - 1972 - Realistic use of two-error regression treatments as applied to rubidium-strontium data. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, 10(2):551-577.

CARNEIRO, M.A. - 1992 - O Complexo metamórfico Bonfim Setentrional: evolução geológica de um segmento arqueano de crosta continental. São Paulo. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP) no prelo.

COMPSTON, W.; WILLIAMS, I.S.; MEYER, C. - 1984 - U/Pb geochronology of zircons from Lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion mthicroprobe. **Journal Geophysical Research, Supp**, 89:B 525-534.

COMPSTON, W. & PIDGEON, R.T. - 1986 - Jack Hills, a further occurrence of very old detrital zircons in Western Australia. **Nature**, 321(6072):766-769.

COMPSTON, W.; KINNY, P.D.; WILLIAMS, J.S.; FOSTER, J.J. - 1986 - The age and Pb-loss behavior of zircons from the Issua supracrustal belt, as determined by ion microprobe. **Earth Planetary Science Letters, 80**(1-2):71-81.

CONCEIÇÃO, H. - 1990 - **Petrologie du Massif Syenitique D'Itiuba: Contribution à l'étude minéralogique des rochas alcalines dans l'etat de Bahia (Brésil).** Paris, 393p. (Tese de Doutorado - Université de Paris - Sud Centre D'Orsay).

CONCEIÇÃO, H.; DAVISON, I.; FUJIMORI, S.; McREATH, I.; SABATÉ, P. - 1987 - Granitoids of the State of Bahia, Brazil. In. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS. Salvador, 1987. **Extended Abstracts.** Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. p.71-74.

CONCEIÇÃO, H.; SABATÉ, P.; BONIN, B. - 1991 - The Itiuba alkaline syenite massif, Bahia State (Brazil): mineralogical, geochemical and petrological constraints in relation to the genesis of rapakivi magmatism. **Precambrian Research, 51**:283-314.

CONDIE, K.C. - 1988 - **Plate Tectonics and Crustal Evolution.** 3. ed. Oxford, Pergamon. 476p.

CORDANI, U.G. - 1973 - **Evolução geológica pré-Cambriana da faixa costeira do Brasil entre Salvador e Vitória.** São Paulo, 98p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

CORDANI, U.G.; ISOTTA, C.A.L.; ABREU, A.C.S. - 1969 - Reconhecimento geológico do embasamento na região oriental do Estado da Bahia. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23., Salvador, 1969. **Anais.** Salvador, SBG. p.159-165.

CORDANI, U.G.; DELHAL, J.; LEDENT, D. - 1973 - Orogeneses superposées dans le précambrien du Brésil sud-oriental (États de Rio de Janeiro et de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, 3(1):1-22.

CORDANI, U.G.; BERNAT, M.; TEIXEIRA, W.; KAWASHITA, K. - 1974a - Idades radiométricas das rochas alcalinas do Sul da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. **Anais**. Porto Alegre, SBG. V.6, p.253-259.

CORDANI, U.G. & TEIXEIRA, W. - 1979 - Comentários sobre as determinações geocronológicas existentes para as regiões das folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguape. In: **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**; folhas Rio de Janeiro (SF.23), Vitória (SF.24) e Iguape (SG.23). Brasilia, MME/DNPM. p.175-207.

CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. - 1979 - Evolução tectônica da Amazônia com base em dados geocronológicos. In: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 2., Arica, 1979. **Actas** Arica. v.4, p.137-148.

CORDANI, U.G. & IYER, S.S. - 1979 - Geochronological investigation on the Precambrian granulitic terrain of Bahia - Brazil. **Precambrian Research**, 9(3-4):255-274.

CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; MULLER, G.; QUADE, H.; REIMER, V.; ROESER, H. - 1980 - Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento na borda sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. **Anais da Academia Brasileira Ciências**, 52(4):785-799.

CORDANI, U.G. & BRITO NEVES, B.B. de - 1982 - The geologic evolution of South America during the Archean and early Proterozoic. **Revista Brasileira de Geociências**, 12(1/3):78-88.

CORDANI, U.G.; SATO, K.; MARINHO, M.M. - 1985 - The geologic evolution of the ancient granite-greenstone terrane of central-southern Bahia, Brazil. **Precambrian Research**, 27(1-3):187-213.

CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; SATO, K.; IYER, S.S.; TAYLOR, P.N. - 1989 - Pb/Pb, Rb/Sr and K/Ar systematics of rock types in Lagoa Real Uranium Province, South Central Bahia, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 28., Washington, 1989. **Abstracts** Washington, International Union of Geological Sciences. v.1, p.327.

CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; SATO, K. - 1990 - Archean terranes in South America. In: INTERNATIONAL ARCHAEAN SYMPOSIUM, 3., Perth, 1990. **Extended Abstracts Volume** Perth, Geoconferences. p.25.

CORFU, F. & STOTT, G.M. - 1986 - U/Pb ages for late magmatism and regional deformation in the Shebandowan belt, Superior Province, Canada. **Canadian Journal of Earth Sciences**. 23(8):1075-1082.

CORFU, F. & DAVIS, D.W. - 1990 - Geochronological constraints on the evolution of the Western Superior Province, Ontario. In: INTERNATIONAL ARCHAEAN SYMPOSIUM, 3., Perth, 1990. **Extended Abstracts Volume** Perth, Geoconferences. p.33-34.

COSTA, L.A.M. de & MASCARENHAS, J.F. - 1982 - The high-grade metamorphic terrains in the interval Mutuipe-Jequié: Archean and Lower Proterozoic of east-central Bahia. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC GEOLOGIC EVOLUTION AND METALLOGENESIS. Salvador, 1982. **Abstracts and Excursions** Salvador, Secretaria de Minas e Energia - BA. p.19-37.

D'AGRELLA FILHO, M.; PACCA, I.I.G.; RENNE, P.R.; ONSTOTT, T.C.; TEIXEIRA, W. - 1990a - Paleomagnetism of Middle Proterozoic (1.01 to 1.08Ga.) mafic dykes in Southeastern Bahia State - São Francisco Craton, Brazil. **Earth Planetary Sciences Letters, 101**(2-4):332-348.

D'AGRELLA FILHO, M.S.: PACCA, I.G.; TEIXEIRA, W.; ONSTOTT, T.C.; RENNE, P.R. - 1990b - Paleomagnetic evidence for the evolution of meso to neoproterozoic glaciogenic rocks in central-eastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology; Palaeoecology, 80**:(3-4):255-265.

DALRYMPLE, G.B. & LANPHERE, M.A. - 1969 - Potassium-Argon dating. San Francisco, W.H. Freeman. 258p.

DAVISON, I.; TEIXEIRA, J.B.G.; SILVA, M.G. de S.; ROCHA NETO, M.B. de; MATOS, F.M.V. - 1988 - The Itapicuru greenstone belt. Bahia. Brazil: Structure and Stratigraphical outline. **Precambrian Research, 42**(1-2):1-17.

DE PAOLO, D.J. - 1981 - A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. **Journal Geophysical Research, 86**(B11):10470-10488.

DE PAOLO, D.J. - 1988 - **Neodymiun isotope geochemistry: an introduction.** Berlin, Springer-Verlag. 187p. (Minerals and rocks, 20).

DELHAL, J. & DEMAIFFE, D. - 1985 - U/Pb Archean geochronology of the São Francisco craton (eastern Brazil). **Revista Brasileira de Geociências, 15**(1):55-60.

DIA, A.; ALLEGRE, C.J.; ERLANK, A.J. - 1990 - The development of continental crust through geological time: the South African case. **Earth and Planetary Science Letters.** 98:(1)74-89.

FAURE, G. - 1986 - **Principles of Isotope Geology.** (2nd ed). New York, John Wiley & Sons. 589p.

FAURE, G. & POWELL, J.L. - 1972 - **Strontium Isotope Geology.** Berlim, Springer-Verlay. 188p.

FERNANDES, P.E.C.A.; MONTES, M.L.; BRAZ, E.R.C.; MONTES, A. de S.L.; SILVA, L.L. da; OLIVEIRA, F.L.L. de; GHIGNONE, J.I.; SIGA JR., O.; CASTRO, H.E.F. de - 1982 - Geologia, In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SD.23 Brasília. Rio de Janeiro, MME/SG p.25-204. (Levantamento de Recursos Naturais, 29)

FERREIRA, V.P. & SIAL, A.N. - 1991 - Evidência geoquímica para o metassomatismo crítico pré-cambriano no manto abaixo do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3./CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 1., São Paulo, 1991. **Resumos.** São Paulo, SBGq, Sociedade Geológica de Portugal, IG-USP. p.298-299.

FIGUEIREDO, M.C.H. de - 1976 - **Geologia e Geoquímica da região de Poço de Fora, Vale do Rio Curaçá - Bahia.** Salvador. 87p (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/UFBA).

FIGUEIREDO, M.C.H. de - 1989 - Geochemical evolution of eastern Bahia, Brazil: a probable Early Proterozoic subduction-relation magmatic arc. **Journal of South American Earth Sciences,** 2(2):131-145.

FIGUEIREDO, M.C.H. de & TEIXEIRA, W. - 1992 - Geochemistry of the Mantiqueira Complex, Minas Gerais state, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** 64(2):209.

FROUDE, D.O.; IRELAND, T.E.; KINNY, P.D.; WILLIAMS, I.S.; COMPSTOM, W.; WILLIAMS, I.R.; MYERS, J.S. - 1983 - Ion microprobe identification of 4,100-4,200 Myr-old terrestrial zircons. **Nature 304**(5927):616-618.

FUCK, R.A. - 1990 - Dobramentos neoproterozóicos da margem ocidental de Cráton São Francisco: revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Boletim de resumos.** Natal, SBG. p.288.

FUCK, R.A. & PIMENTEL, M.M. - 1990 - Geocronologia de rochas graníticas da área de Mossâmedes - Sanderlândia. Goiás.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1991. **Boletim de Resumos.** Natal, SBG. p.333.

FUGI, M.Y. - 1989 - **REE Geochemistry and Sm/Nd geochronology of Cana Brava Complex, Brazil.** Japão, 84p. (Master Thesis - Kobe University).

FUGI, M.Y. - 1990 - Sm/Nd dating and REE geochemistry of the Cana Brava mafic-ultramafic complex, Central Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOCHRONOLOGY COSMOCHRONOLOGY AND ISOTOPE GEOLOGY, 7., Canberra, 1990. **Abstracts** Canberra, Geological Society of Australia, p.36.

GAAL, G.; TEIXEIRA, J.B.; DEL REY SILVA, L.J.H.; SILVA, M. de G. - 1987 - New U/Pb data from granitoids reflecting early Proterozoic crustal evolution in NE Bahia, Brazil. In: INTERNATIONAL SIMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS. 23p. (inédito).

GARIEPY, C.; ALLEGRE, C.; LAJOIE, J. - 1984 - U/Pb systematics in single zircons from the Pontiac sediments, Abitibi greenstone belt. **Canadian Journal Earth Science, 21**(11):1296-1304.

GATES, T.M. & HURLEY, P.M. - 1973 - Evaluation of Rb/Sr dating methods applied to the Matachewan, Abitibi, Mackenzie, and Sudbury Dike Swarms in Canada. **Canadian Journal Earth Science, 10(6):900-919.**

GAVA, A.; NASCIMENTO, D.A. do; VIDAL, J.L.B.; GHIGNONE, J.I.; OLIVEIRA, E.P. de; SANTIAGO FILHO, A.L.; TEIXEIRA, W. - 1983 - Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL, Folhas SC.24/25 - Aracaju/Recife. Rio de Janeiro, MME/SG. p.27-376. (Levantamento de Recursos Naturais, 30).

GIBBS, A.K. - 1980 - **Geology of the Barama-Mazaruni Supergroup of Guyana.** Harvard, 446p. (Ph.D. Thesis - Harvard University).

GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R.; HIRATA, W.K.; OLSZEWSKI JR., W.J. - 1986 - Age and Composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências, 16(2):** 201-211.

GIRARD, J.P. & ONSTOTT, T.C. - 1991 - Application of $^{40}Ar/^{39}Ar$ laser-probe and step-heating techniques to the dating of diagenetic K-feldspar overgrowths. **Geochimica et Cosmochimica Acta, 52(12):3777-3793.**

GOLDSTEIN, S.L. - 1988 - Decoupled evolution of Nd and Sr isotopes in continental crust and the mantle. **Nature, 336(6201):733-738.**

GOLDSTEIN, S.L. - 1989 - The age components of a sediment. **EOS, Transactions, American Geophysical Union, 70(43):1390.**

GROMET, L.P. - 1991 - Direct dating of deformational fabrics. In: HEAMAN, L. & LUDDEN, N. (eds.). **Short course handbook on applications of radiogenic isotope systems to problems in geology.** Toronto, Mineralogical Association of Canada, p. 167-190.

HACKSPACHER, P.C.; VAN SCHMUS, W.R.; DANTAS, E.L. - 1990 - Um embasamento Transamazônico na província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais.** Natal, SBG. v.6, p.2683-2696.

HALLS, H.C. - 1982 - The importance and potencial of Mafic Dyke Swarms in Studies of Geodynamic processes. **Geoscience Canada,** 9(3):145-154.

HAMILTON, P.J.; EVENSEN, N.M.; O'NIONS, R.K.; TARNEY, J. - 1979 - Sm/Nd systematics of Lewisian gneisses:implications for the origin of granulites. **Nature,** 277(5691):25-28.

HARPER, C.T. - 1970 - Graphical Solutions to the problem of radiogenic Argon-40 loss from metamorphic minerals. **Eclogae Geologicae Helvetiae,** 63(1):119-140.

HARRISON, T.M.; DUNCAN, I.; McDOUGALL, I. - 1985 - Diffusion of ^{40}Ar in biotite: temperature, pressure and compositional effects. **Geochimica et Cosmochimica Acta,** 49(11):2461-2468.

HART, S.R. - 1964 - The petrology and isotopic mineral age relations of a contact zone in the Front Range, Colorado. **Journal of Geology,** 72(5):493-525.

HARTMANN, L.A. - 1987 - Isócrona Sm/Nd de 2,1Ga em minerais de duas amostras do Complexo granulítico Santa Maria Chico, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., Porto Alegre, 1987. **Anais.** Porto Alegre, SBGq. v.1, p.105-111.

HAWKESWORTH, C.J. & VAN CALSTEREN, P.W.C. - 1984 - Radiogenic isotopes some geological applications. In: HENDERSON, P. (ed). **Rare earth element geochemistry.** Amsterdam, Elsevier. p. 375-421. (Developments in geochemistry, 2).

HEAMAN, L. - 1991 - U/Pb dating of Giant Radiating dyke Swarms: potential for global correlation of Mafic magmatic events. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MAFIC DYKES. São Paulo, 1991. **Extended Abstracts.** São Paulo, SBGq/Sociedade Geológica de Portugal/IG-USP. p.7-9.

HEBEDA, E.H.; BOELRIJK, N.A.I.M.; PRIEM, H.N.A.; VERDUMEN, E.A.; VERSCHURE, R.H. - 1973 - Excess radiogenic argon in the Precambrian Avanavero dolerite in Western Suriname. **Earth and Planetary Science Letters**, 20(2):189-200.

HEILBRON, M.; LOPES, M.; TEIXEIRA, W.; TROUW, R.; PADILHA, A.V. KAWASHITA, K. - 1989 - Geocronologia da região entre Lavras, São João del Rei, Lima Duarte e Caxambú, MG. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 61(2):177-199.

HERZ, N. - 1970 - Gneissic and Igneous Rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, 641(B):1-58.

HURLEY, P.M.; ALMEIDA, F.F.M. de; MELCHER, G.C.; CORDANI, U.G.; RAND, J.R.; KAWASHITA, K.; VANDOROS, P.; PINSON, W.H.; FAIRBAIRN Jr., H.W. - 1967 - Test of the Continental Drift by comparison of radiometric ages. **Science**, 157(3788):495-500.

INDA, H.A.V. & BARBOSA, J.F.- 1978 - **Texto explicativo para o mapa geológico da Bahia.** Salvador, SME/CPM. 137p. (Escala 1:1.000.000)

INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, H.D.; DARDENNE, M.A.; SCHOBBENHAUS, C.; HARALYI, N.E.; BRANCO, P.C.A.; RAMALHO, R. - 1984 - O Cráton do São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuaí. In: SCHOBBENHAUS, C. (coord.) **Geologia do Brasil**: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral. p. 193-248.

IYER, S.S. - 1984 - A discussion on the lead isotope geochemistry of galenas from the Bambui Group, Minas Gerais - Brazil. **Mineralium Deposita**, 19(2):132-137.

JAHN, B. & SCHRANK, A. - 1983 - REE geochemistry of komatiites and associated rocks from Piumhi, southeastern Brazil. **Precambrian Research**, 21(1):1-20.

JAHN, B. & CUVELLIER, H. - 1990 - Direct dating of sedimentary sequences: Pb/Pb geochronology of carbonate rocks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOCHRONOLOGY, CHOSMOCHRONOLOGY AND ISOTOPE GEOLOGY, 7., Canberra, 1990. **Abstracts**. Canberra, Geological Society of Australia. p.51.

JARDIM DE SÁ, E.F.; BARTELS, R.L.; BRITO NEVES, B.B. de; McREATH, I. - 1976a - Geocronologia e modelo tectonomagmático da Chapada Diamantina e Espinhaço Setentrional, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. **Anais**. Ouro Preto, SBG. v.4, p.205-228.

JARDIM DE SÁ, E.F.; McREATH, I.; BRITO NEVES, B.B. de; BARTELS, R.L. - 1976b - Novos dados geocronológicos sobre o Cráton São Francisco no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976, **Anais**. Ouro Preto, SBG. v.4, p.185-204.

JARDIM DE SÁ, E.F.; McREATH, I.; BRITO NEVES, B.B. de; BARTELS, R.L.; KAWASHITA, K. - 1978 - Recognnaissance geochronology of the infrastructure of part of the São Francisco Craton in the State of Bahia, Brazil. **Jornal de Mineralogia**, 7:87-96.

JARDIM DE SÁ, E.F.; MACEDO, M.H.F.; LEGRAND, J.M.: McREATH, J.; GALINDO, A.C.; SÁ, J.M. - 1987 - Proterozoic granitoids in a polycyclic setting: The Seridó region, NE Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS. Salvador, 1987. **Extended Abstracts**. Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. p.103-110.

KALSBEEK, F. - 1992 - The statistical distribution of the mean squared weighted deviation - Comments: Isochrons, errochrons, and the use of MSWD-values. **Chemical Geology**, 94(3):241-243.

KALSBEEK, F. & TAYLOR, P.N. - 1985a - Isotopic and chemical variation in granites across a Proterozoic continental margin - the Ketilidian mobile belt of South Greenland. **Earth and Planetary Science Letters**, 73(1):65-80.

KALSBEEK, F. & TAYLOR, P.N. - 1985b - Age and origin of early Proterozoic dolerite dykes in South-west Greenland. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, 89(4):307-316.

KAWASHITA, K. - 1973 - **O método Rb/Sr em rochas sedimentares. Aplicação para as bacias do Paraná e Amazonas**. São Paulo, 111p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

KAWASHITA, K.; MIZUSAKI, A.M.P.; KIANG C.H. - 1987 - Razões Sr^{87}/Sr^{86} em sedimentos carbonáticos do Supergrupo Bambuí, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., Porto Alegre, 1987. **Anais**. Porto Alegre, SBGq. v.1, p.133-137.

KAWASHITA, K.; BRITO NEVES, B.B.; MATSUI, E.; TEIXEIRA, W.; KAWASHITA, M.Y. - 1990a - Geocronologia e caracterização isotópica do Grupo Bambuí em Minas Gerais (MG-Brasil): Síntese de dados. In: REUNIÃO INTERNACIONAL DO PROJETO 270 - PICG, 3., São Paulo, 1990. **Boletim da Universidade Nacional de Tucumán**, Argentina, Correlacion Geológica n° 4.

KAWASHITA, K.; SONOKI, I.K.; SATO, K.; SONOKI, H.M. - 1990b - Regressões lineares em geocronologia: isócronas, errócronas e pseudoisócronas. **Boletim IG-USP, Série Científica, 21**:53-72.

KAWASHITA, K.; SATO, K.; DIAZ, M.; TASSINARI, C.C.G. - 1991a - Metodologia Sm/Nd no IG-USP: testes e resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. **Resumos**. São Paulo, SBGq/Sociedade Geológica de Portugal. v.2, p.442-446.

KAWASHITA, K.; LUGMAIR, G.; BATISTA, J.J.; DIAZ, M. - 1991b - Idades Sm/Nd e Rb/Sr em um leucogabro do Complexo Rio Jacaré, BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. **Resumos**. São Paulo, SBGq/Sociedade Geologica de Portugal. v.2, p.601-605.

KISTLER, R.W. & PETERMAN, Z.E. - 1973 - Variations in Sr, Pb, K, Na and initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ in Mesozoic granitic rocks and intruded wall rocks in central California. **Geological Society of America Bulletin, 84**(11):3489-3512.

KROGH, T.E. - 1982a - Improved accuracy of U/Pb dating by selection of more concordant fractions using a high gradient magnetic separation technique. **Geochimica et Cosmochimica Acta, 46**(4):631-636.

KROGH, T.E. - 1982b - Improved accuracy of U/Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. **Geochimica et Cosmochimica Acta, 46**(4):637-649.

KROGH, T.E.; MYSEN, B.O.; DAVIS, G.L. - 1974 - A paleozoic age for the primary minerals of a Norwegian eclogite. **(Annual) Report of the Director of the Geophysical Laboratory, 1973-1974**, p.575-576

KROGH, T.E.; CORFU, F.; DAVIS, D.W.; DUNNING, G.R.; KAMO, S.; GREENOUGH, J.; NAKAMURA, E. - 1985 - Precise U/Pb isotopic ages of diabase dykes and gabbros using trace baddeleyite. In: **International Conference on Mafic Dike Swarms**; Toronto, 1985. **Abstracts**. p.98.

KRÖNER, A. - 1987 - **Proterozoic lithospheric evolution**. Boulder, American Geophysical Union. 273p. (Geodynamics Series, 17).

KRÖNER, A. - 1989 - Precise Single Zircon Evaporation Ages documenting 200ma of Archean Greenstone evolution in the Barberton Belt of South Africa. **EOS, Transactions, American Geophysical Union**, 70(43):1404.

KRÖNER, A. & TODT, W. - 1988 - Single zircon dating constraining the maximum age of the Barberton greenstone belt, southern Africa. **Journal Geophysical Research**, 93(12):15329-15337.

LADEIRA, E.A.; ROESER, H.M.P.; TOBSCHALL, H.J. - 1983 - Evolução petrogenética do cinturão de rochas verdes Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2., Belo Horizonte, 1983, **Anais**. Belo Horizonte, SBG. p.149-165.

LAFON, J.M.; MACAMBIRA, J.B.; MACAMBIRA, M.J.B.; MOURA, C.A.V.; GAUDETTE, H.E.; SOUZA, A.C.C. - 1990 - A faixa de dobramentos Araguaia (TO): novos dados geocronológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais**. Natal, SBG. v.6, p.2550-2563.

LANCELOT, J.R.; VITRAL, A.; ALLEGRE, C.J. - 1976 - Uranium and Lead isotopic dating with grain by grain zircon analyses; a study of a complex geological history with a single rock. **Earth Planetary Science Letters.** 29(2):357-366.

LANGMUIR, C.H.; VOCKE JR., R.D.; HANSON, G.N.; HART, S.R. - 1978 - A general mixing equation with applications to Iceland basalts. **Earth Planetary Science Letters,** 37(3):380-392.

LEITE, C.M.; CONCEICÃO, H.; CRUZ, M.J. - 1991 - Plutonismo Hiperalcalino Supersaturado da Província de Campo Alegre de Lourdes: evolução mineraloquímica e suas implicações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 1., São Paulo, 1991. **Anais.** São Paulo, SBGq; Sociedade Geologica de Portugal, IG-USP. v.2, p.717-720.

LETERRIER, J.; SÁ, E.F.J.; MACEDO, M.H.F.; AMARO, V.E. - 1990 - Magmatic and geodynamic signature of the Brazilian cycle plutonism in the Seridó belt, NE, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais.** Natal, SBG. v.4, p.1640-1655.

LEUBE, A. - 1972 - **Projeção de Cobre no Norte da Bahia** Sudene/Missão Alemã no Brasil, Hannover, 6v. vol. 1, (inédito).

LIMA, M.I.C. de; FONSECA, E.G., da; OLIVEIRA, E.P. de; GHIGNONE, J.I.; ROCHA, R.M.; CARMO, U.F. do; SILVA, J.M.R. da; SIGA JR., O. - 1981 - Geologia In: PROJETO RADAMBRASIL. Folha SD.24 Salvador. Rio de Janeiro, MME/SG. p.25-192. (Levantamento de Recursos Naturais, 24).

LINDENMAYER, Z.G. - 1981 - Evolução geológica do Vale do Rio Curaçá e dos corpos máfico-ultramáfico mineralizados a cobre. In: INDA, H.A.V.; MARINHO, M.M.; DUARTE, F.B. (eds) **Geologia e Recursos Minerais da Bahia**: textos básicos. Salvador, SME/CPM v. 4, p.72-100.

LINDENMAYER, Z.G.; FYFE, W.; MACHADO, N. - 1988 - Depósito do Salobro: efeitos de metamorfismo e metassomatismo sobre a mineralização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais**. Belém, SBG. v.3, p.1243-1250.

LUGMAIR, G.W. & MARTI, K. - 1978 - Lunar initial $^{143}Nd/^{144}Nd$: differential evolution of the lunar crust and mantle. **Earth Planetary Science Letters**. 39(3):349-357.

MACAMBIRA, M.B. & LANCELOT, J. - 1991a - Em busca do embasamento arqueano da região do Rio Maria, sudeste do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. **Anais**. Belém, SBG. p.49-58.

MACAMBIRA, M.B. & LANCELOT, J. - 1991b - História arqueana da região de Rio Maria, SE do Estado do Pará, registrada em zircões detríticos de greenstone belt e de cobertura plataformal. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. **Anais**. Belém,SBG. p.59-69.

MACAMBIRA, M.J.; LAFON, J.M.; LANCELOT, J.; BARRADAS, J.A. de S.; BARBOSA, A.A. - 1990a - Geocronologia U/Pb, Rb/Sr e K/Ar dos granitóides da região de Rio Maria (PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Boletim de Resumos**. Natal, SBG. p.169-170.

MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M.; DALL'AGNOL, R.; COSTI, H.; JOÃO, X.S.J. - 1990b - Geocronologia da granitogênese da província Amazônia Central brasileira. Uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, 20(14):258-266.

MACEDO, M.H.F. - 1982 - **Les systemes isotopiques Rb/Sr et K/Ar dans les argiles extraites de sédiments carbonatés. Application à la datation du proterozoique sédimentaire du Brésil dans les états de Bahia et Santa Catarina.** Strasbourg. 119 p. (Tese de Doutoramento - Université Louis Pasteur).

MACEDO, M.H.F.; BASEI, M.A.S.; BONHOMME, M.G. - 1984 - Dados geocronológicos referentes as rochas metassedimentares do Grupo Itajaí (SC). **Revista Brasileira de Geociências. 14(1):30-34.**

MACEDO, M.H.F.; SÁ, E.M.J.; SATO, K.; KAWASHITA, K. - 1990 - Dados isotópicos preliminares de Nd e Sr na região de Seridó (RN-PB), e implicações tectônicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Boletim de Resumos.** Natal, SBG. p.305.

MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALEZ, S.R.; SCHENINI, C.A.; PALMEIRA, R.C.B.; GATTO, C.M.P.P.; SANTOS NETO, A.; SOUZA JÚNIOR, J.J.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; MARTINS, V.M.F.; CASTRO, H.E.F.; HERTER, A.M.R. - 1984 - Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, MME/SG. p.27-304. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).

MACHADO, M. & CARNEIRO, M.A. - 1992 - A Major Archean Tectonothermal event in the São Francisco shield, Brazil: U/Pb evidence from the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Canadian Journal.** (no prelo)

MACHADO, N.; KOPPE, J.C.; HARTMANN, L.A. - 1988 - Upper Proterozoic zircon age from the Bossoroca Complex, RS. In: INTERNATIONAL CONFERENCE "GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST." Poços de Caldas, 1989. **Abstracts,** Poços de Caldas, p.305.

MACHADO, N.; KOPPE, J.C.; HARTMANN, L.A. - 1990 - A late Proterozoic U/Pb age for the Bossoroca belt, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of South America Earth Sciences**, 3(2/3):87-90.

MACHADO, N. & LINDENMAYER, D.H. - 1991 - U/Pb Geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajas area, Amazonian shield, Brazil. **Precambrian Research**, 49(3/4):329-354.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, D.H; LINDENMAYER, Z. - 1988 - Geocronologia U/Pb da província metalogenética de Carajás, Pará: resultados preliminares. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., Belém, 1988. **Anais**, SBG/DNPM. p.339-347.

MACHADO, N. & SCHRANK, A. - 1989 - Geocronologia U/Pb no Maciço de Piumhí - resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO MINAS GERAIS, 5., SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO BRASÍLIA, 1., Belo Horizonte, 1989. **Anais**. Belo Horizonte, SBG. p.45-49.

MACHADO, N.; NOCE, C.M.; OLIVEIRA, O.A.B.; LADEIRA, E.A. - 1989a - Evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero no Arqueano e Proterozóico Inferior, com base em geocronologia U/Pb. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NÚCLEO MINAS GERAIS, 5; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NÚCLEO BRASÍLIA, 1., Belo Horizonte, 1989. **Anais**. Belo Horizonte, SBG. p.1-5.

MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F.R. de; KNAUER, L.G.; ABREU, P.A.A. - 1989b - Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO MINAS GERAIS, 5., SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO BRASÍLIA, 1., Belo Horizonte, 1989. **Anais**. Belo Horizonte, SBG. p.171-174.

MACHIAVELLI, A.; BASEI, M.A.S.; SIGA Jr., O. - 1991 - Geoquímica e geocronologia dos granitóides deformados da região de Pien, PR. Provável arco magmático do Proterozóico Superior. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAISES DE LINGUA PORTUGUESA, 1., São Paulo, 1991. Resumos. São Paulo, SBGq, Sociedade Geológica de Portugal, IG-USP. v.1, p.249-253.

MANTOVANI, M.S.M.; HAWKESWORTH, C.J.; BASEI, M.A.S. - 1987 - Nd and Pb isotope studies bearing on the crustal evolution of Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 17(3):263-268.

MARINHO, M.M. - 1991 - La séquence volcano-sédimentaire de Contendas-Mirante et la bordure occidentale du bloc de Jequié (craton du São Francisco, Brésil): un exemple de transition Archéen-Protérozoique. Clermont Ferrand, (Tese de Doutoramento - Université Blaise Pascal).

MARINHO, M.M.; COSTA, P.H.; SILVA, E.F.A da; TORQUATO, J.R. - 1978 - A seqüência vulcano-sedimentar de Contendas-Mirante, uma estrutura do tipo greenstone belt? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. **Resumos das Comunicações**. Recife, SBG., p.291.

MARINHO, M.M. & SABATÉ, P. - 1982 - The Contendas - Mirante Volcano-sedimentary Sequence and its Granitic- Migmatitic Basement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC GEOLOGIC EVOLUTION AND METALLOGENESIS, Salvador, 1982. **Abstracts**. Salvador, SBG/CPM. p. 139-184.

MARINI, O.J. & FUCK, R.A. - 1990 - Contribuição à correlação Espinhaço/ Araí e à potencialidade metalogenética de suas vulcânicas ácidas e plutônicas correlatas. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Boletim de Resumos**. Natal, SBG p.169.

MARSHAK, S. & ALKMIN, F.F. - 1989 - Proterozoic contraction extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. **Tectonics**, 8(3):555-571.

MARTIN, H.; SÁ, E.F.J. de; MEDEIROS, H. de; MACEDO, M.H.F. de; LETERRIER, J. - 1990 - Transamazonian augen gnaisses SE of Açu, Seridó Belt, NE Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Natal, 1990. **Boletim de Resumos**. Natal, SBG. p.180.

MARTIN, H.; SABATÉ, P.; PEUCAT, J.J.; CUNHA, J.C. - 1991 - An early Archean crustal segment (3.4Ga): the Sete Voltas Massif (Bahia, Brazil). **Comptes Rendus de L'Academie des Sciences de Paris**, (313):531-538.

MASCARENHAS, J. de F. - 1979 - Estruturas do tipo "greenstone belt" no leste da Bahia. In: INDA, H.A.V.(ed.) **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia**; textos básicos. Salvador, CPM. v.2, p.23-63.

MASCARENHAS, J. de F. & SÁ, J.H.S. - 1982 - Geological and metallogenic patterns in the archean and early proterozoic of Bahia State, eastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 12(1/3):193-214.

MASCARENHAS, J. de F.; BARBOSA, J.F.; CORDANI, U.G.; SATO, K. - 1986 - **Mapa geocronológico do Estado da Bahia**, Bahia, SME/SGM. Escala 1:1.000.000.

MASCARENHAS, J. de F. & GARCIA, T.W. - 1989 - **Mapa Geocronológico do Estado da Bahia**: texto explicativo. Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. 186p.

McCULLOCH, M.T. - 1987 - Sm/Nd constraints on an evolution of Precambrian crust in the Australian continent. In: KRÖNER, A. (ed.). **Proterozoic lithospheric evolution.** Washington, American Geophysical Union; Boulder, Geological Society of America. p. 115-130 (Geodynamics Series, 17).

McCULLOCH, M.T. & WASSERBOURG, G.J. - 1978 - Sm/Nd and Rb/Sr chronology of continental crust formation. **Science**, 200(4345):1003-1011.

McCULLOCH, M.T. & CHAPPELL, B.W. - 1982 - Nd isotopic characteristics of S and I-type granites. **Earth Planetary. Science Letters**, 58(1):51-64.

McDOUGALL, I. & HARRISON, M.T. - 1988 - **Geochronology and thermochronology by the $^{40}Ar/^{39}Ar$ method.** Oxford, University Press. 212p. (Monographs on geology and geophysics, 9).

McREATH, I. & SABATÉ, P. - 1987 - Granitoids of the state of Bahia: a review. **Revista Brasileira de Geociências**, 17(4):404-414.

MICHARD, A.; GURRIET, P.; SOUDANT, M.; ALBAREDE, F. - 1984 - Nd isotopes in French Phanerozoic shales: external vs. internal aspects of crustal evolution. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 49(2):601-610.

MIZUSAKI, A.M.; COUTO DOS ANJOS, S.M.; WANDERLEY FILHO, J.R.; BRAGA DA SILVA, O.; COSTA, M.G.F.; LIMA, M.P. de; KAWASHITA, K. - 1990 - Datação K/Ar de ilitas diagenéticas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 4(3):237-252.

MONTALVÃO, R.M.G. de - 1985 - **Evolução Geotectônica dos terrenos granitóide-greenstone belts de Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás - Hidrolina (Goiás).** São Paulo, 372p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

MOORBATH, S.; O'NIONS, R.K.; PANKHURST, R.J.; - 1973 - Early Archaean age for the Isua iron formation, west Greenland. **Nature, 245**(5421):138-139.

MOORBATH, S. & TAYLOR, P.N. - 1981 - Isotope evidence for continental growth in the Precambrian. In: KRÖNER, A. (ed.). **Precambrian Plate Tectonics**. Amsterdam, Elsevier. p.491-525.

MOORBATH, S.; TAYLOR, P.N.; GOODWIN, R. - 1981 - Origin of granitic magma by crustal remobilization: Rb/Sr and Pb/Pb geochronology and isotope geochemistry of late archean Qôrqut granit complex of Southern west Greenland. **Geochimica Cosmochimica Acta, 45**(7):1051-1060.

MOORBATH, S. & TAYLOR, P.N. - 1985 - Precambrian Geochronology of the Geological Record. In: SNELLING, N.J. (ed.) **The chronology of the geological record**. Oxford, The Geological Society Blackwell. p.1-28. (Geological Society Memoir,10)

MOORBATH, S.; TAYLOR, P.N.; ORPEN, J.L.; TRELOAR, P.; WILSON, J.F. - 1987 - First direct radiometric dating of archean stromatolitic limestone. **Nature, 326**(6116):865-867.

NUTMAN, A.P. & CORDANI, U.G. - 1992 - Shrimp U/Pb zircon geochronology of Archean gneisses São Francisco Craton, Bahia, Brazil. (submetido ao **Precambrian Research**)

NUTMAN, A.P.; CORDANI, U.G.; SABATÉ, P. - 1992 - Shrimp U/Pb ages of detrital zircons from the mid-Proterozoic Contendas-Mirante Supracrustal belt, São Francisco Craton Bahia, Brazil. (submetido ao **Journal of South American Earth Sciences**).

OLIVEIRA, E.P. de & MONTES, M.L. - 1984 - Os enxames de diques máficos do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais**. Rio de Janeiro, SBG. v.9, p.4137-4154.

OLIVEIRA, E.P. - 1990 - **Petrogenesis of Mafic-Ultramafic rocks from the Precambrian Curaçá Terrane, Brazil**. 287p. (PHD Thesis - University of Leicester, UK).

OLIVEIRA, M.A.F. de; KAWASHITA, K.; KIHARA, Y.; DELHAL, J. - 1986 - Novos dados geocronológicos para rochas charnockíticas da Associação Guaxupé, complexo Varginha. **Revista Brasileira de Geociências**, 16(3):301-305.

OLSZEWSKI, W.J.; GAUDETTE, H.E.; SANTOS, J.O. - 1989 - Isotopic age results from shield areas of Western Brazil. **EOS Transactions American Geophysical Union**, 70(43):1403.

ONSTOTT, T.C.; HALL, C.M.; YORK, D. - 1989 - $^{40}Ar/^{39}Ar$ thermochronometry of the Imataca complex, Venezuela. **Precambrian Research**, 42(3-4):255-291.

ONSTOTT, T.C. & PEACOCK, M.W. - 1987 - Argon retentivity of hornblendes. A field experiment in a slowly cooled metamorphic terrane. **Geochimica Cosmochimica Acta**, 51(11):2891-2903.

PAGE, R.W.; McCULLOCH, M:T.; BLACK, L.P. - 1984 - Isotopic record of Major Precambrian events in Australia. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 27., Moscow, 1984. **Procceedings** Utrecht, VNU Science Press. v.5, p.25-72.

PAGE, R.W. & WILLIAMS, I.S. - 1988 - Age of the Barramundi orogeny in northern Australia by mean of ion microprobe and conventional U/Pb Zircon studies. **Precambrian Research**, 40/41:21-36.

PARENTI COUTO, J.G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K; IYER, S.S.; MORAES, N.M.P. - 1981 - Considerações sobre a idade do Grupo Bambuí, com base em análises isotópicas de Sr e Pb. **Revista Brasileira de Geociências, 11**:5-16.

PARENTI COUTO, J.G.; TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G. - 1983 - Considerações sobre as principais épocas de fraturamento do craton do São Francisco, com base em datações K/Ar em rochas básicas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2., Belo Horizonte, 1983. **Anais**. Belo Horizonte, SBG. 38-49.

PEDREIRA, A.J.; KISHIDA, A.; TORQUATO, J.R.; MASCARENHAS, J.F. - 1978 - Inventário e reavaliação do conhecimento geológico da parte central do Craton do São Francisco. In.: REUNIÃO PREPARATÓRIA PARA O SIMPÓSIO DO CRATON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador, 1977. **Anais**. Salvador, SBG/Núcleo da Bahia/SME, p.67-154 (Boletim Especial, 3).

PEDREIRA, A.J.; BARBOSA, J.S.F.; CORDANI, U.G.; FIGUEIREDO, M.C.; KRÖNER, A.; MARINHO, M.M. - 1992 - Petrologic and geochronologic evolution of the oldest segments of the São Francisco Craton, Brazil. "**Excursion Guidebook and Review Articles for a field workshop through selected Archean and Early Proterozoic Terranes of Bahia, Brazil.**" IGCP Project 280 - The Oldest rocks on Earth. International Geological Correlation Programme. Salvador, Brazil. 120p.

PEUCAT, J.J.; VIDAL, P.; GODARD, G.; POSTAIRE, B. - 1982 - Precambrian U/Pb zircon ages in eclogites and garnet pyroxenits from south Brittany (France): An old oceanic crust in the west European Hercynian belt? **Earth Planetary Science Letters, 60**(1):70-78.

PHILLIPS, D. & ONSTOTT, T.C. - 1988 - Argon age contourn map. **EOS Transactions American Geophysical Union, 69**(20):595.

PIMENTEL, M.M.; HEAMAN, L.; FUCK, R.A.; MARINI, O.J. - 1990 - U/Pb zircon geochronology of continental-type acid magmatism in eastern Goias, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Boletim de Resumos** Natal, SBG. p.308.

PIMENTEL, M.M. & CHARNLEY, N. - 1991 - Intracrustal REE fractionation and implications for Sm/Nd model age calculations in late-stage granitic rocks: An example from central Brazil. **Chemical Geology**, 86(2):123-138.

PIMENTEL, M.M. & FUCK, R.A. - 1991a - Origem dos granitóides brasilianos (ca. 588-483 Ma) da região sudoeste de Goiás, Brasil: um estudo geoquímico e isotópico (Sr e Nd). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAISES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 1., São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, SBGq, Sociedade Geológica de Portugal, IG-USP. v.2, p.612-615.

PIMENTEL, M.M. & FUCK, R.A. - 1991b - Origem de rochas ortognáissicas e metavulcânicas do sudoeste de Goiás, Brasil. Acresção crustal do Neoproterozóico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3; CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LINGUA PORTUGUESA, 1., São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, SBGq, Sociedade Geológica de Portugal, IG-USP. v.2, p.587-590.

PIMENTEL M.M. & HEAMAN, L.; FUCK, R.A. - 1991b - U/Pb zircon and sphene geochronology of Late Proterozoic volcanic arc rock units from south-western Goiás, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 4(4):295-305.

PIMENTEL, M.M. & FUCK, R.A. - 1992 - Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil. **Geology**, 20(4):375-379.

PIMENTEL, M.M.; HEAMAN, L.; FUCK, R.A. - 1992 - Idade do metariolito da sequência Maratá, Grupo Araxá, Goiás: Estudo Geocronológico pelos métodos U/Pb em zircão, Rb/Sr e Sm/Nd. **Anais Academia Brasileira de Ciências 64(1):19-28**

PLUMB, K.A. & JAMES, H.L. - 1986 - Suddivision of Precambrian time: Recommendations and suggestions by the Subcommission on Precambrian Stratigraphy. **Precambrian Research,** 32(1):65-92.

QUEMENEUR, J.J.G. - 1987 - Esboço estratigráfico, estrutural e metamórfico da Serra do Bom Sucesso. MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., Belo Horizonte, 1987. **Anais.** Belo Horizonte, SBG, p.135-148.

QUEMENEUR, J.J.G. - 1989 - Proterozoic dykes of the Bom Sucesso region, Minas Gerais, Brazil. **Boletim IG-USP. Série Científica,** 20:31-32.

QUEMENEUR, J.J.G. & VIDAL, P. - 1989 - Primeiras datações radiométricas dos granitos da região de São João Del Rei. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO MINAS GERAIS,5.; SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NÚCLEO BRASILIA,1., Belo Horizonte, 1989. **Anais.** Belo Horizonte, SBG. p.50-54.

REIS NETO, J.M. - 1983 - **Evolução geotectônica da bacia do Alto Tocantins, Goiás.** São Paulo, 98p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).

RENNE, P.R.; ONSTOTT, T.C.; JOÃO, X.S.J. - 1989 - $^{40}Ar/^{39}Ar$ and paleomagnetic results from the Guaporé shield: further implications for the nature of Middle-Late Proterozoic mobile belts of Gondwanaland. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., Belém, 1989. **Anais.** Belém, SBG/DNPM. p. 348-362.

RENNE, P.R.; BECKER, T.A.; SWAPP, S.M. - 1990a - $^{40}Ar/^{39}Ar$ laser-probe dating of detrital Micas from the Montgomery Creek Formation: dues to Provenance, tectonics and weathering processes. **Geology, 18**(6):563-566.

RENNE, P.R.; ONSTOTT, T.C.; D'AGRELLA FILHO, M.S.; PACCA, I.I.G.; TEIXEIRA, W. - 1990b - $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of 1.0-1.1Ga. magnetizations from the São Francisco and Kalahari Cratons: tectonic implications for Pan-African and Brasiliano Mobile belts. **Earth Planetary Science Letters, 101**(2-4):349-366.

RENNE, P.R.; ONSTOTT, T.C.; TEIXEIRA, W. - 1990c - The tectonic implications of the Middle Proterozoic mafic dykes in the São Francisco Craton of Brazil. In: INTERNATIONAL DYKE CONFERENCE, 2., Adelaide, 1990. **Abstracts. Geological Society of Australia**, 28:95.

ROSHOLT, J.N.; ZARTMAN, R.E.; NKOMA, I.T. - 1973 - Lead Isotope systematics and Uranium depletion in the Granite Mountains, Wyoming. **Geological Society of America Bulletin, 84**(3):989-1002.

SABATÉ, P.; Mc REATH, I.; GIULIANI, G. - 1987 - Plutonic associations of North-East Bahia. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS. Salvador, 1987. **Excursion Guides.** Salvador, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. p.91-124.

SABATÉ, P.; GOMES, L.C.C.; ANJOS, J.A.A. - 1988 - **Nota explicativa do mapa temático "Granitogênese da Bahia - folha 1/250.000. Vitória da Conquista".** Salvador, SGM-SME (Superintendência Geol. Recursos Minerais/Secretaria de Minas e Energia).

SABATÉ, P.; CAENVACHETTE, M.; MARINHO, M.M.; VIDAL, P.; SOARES FILHO, C.P. - 1990a - Dados isotópicos Rb/Sr e Sm/Nd da intrusão monzonítica a 2.0Ga de Cansanção (Bahia, Brasil), implicações sobre as fontes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Boletim de Resumos**, Natal, SBG. p.163.

SABATÉ, P.; MARINHO, M.M.; VIDAL, P.; CAEN-VACHETTE, M. - 1990b - The 2-Ga peraluminous magmatism of the Jacobina - Contendas Mirante belts (Bahia, Brazil):Geologic and isotopic constraints on the sources. **Chemical Geology**, 83(3/4):325-338.

SANTOS, J.O.S. & OLSZEWSKI, W. - 1988 - A idade dos granulitos tipo Kanuku em Roraima. In: CONGRESSO LATINO- AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., Belém, 1988. **Anais**. Belém, SBG/DNPM. p.378-388.

SATO, K - 1986 - **Síntese geocronológica do Estado da Bahia e evolução crustal com base no diagrama de evolução do Sr e regiões iniciais Sr^{87}/Sr^{86}**. São Paulo, 124p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).

SCHALTEGGER-BERN, V. - 1990 - Post Magmatic resetting of Rb/Sr whole rock ages a study in the Central Aar Granite (Central Alps, Switzerland). **Geologische Rundschau** 79(3):709-724.

SCHORSCHER, H.D.; SANTANA, F.C.; POLONIA, J.C.; MOREIRA, J.M.P. - 1982 - Quadrilatero Ferrífero - Minas Gerais State: Rio das Velhas Greenstone belt and Proterozoic rocks. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC GEOLOGIC EVOLUTION AND METALLOGENESIS. Salvador, 1982. **Abstracts and Excursions**. Salvador, Secretaria das Minas e Energia. 1-25.

SENGOR, A.M.C. - 1976 - Collision of Irregular Continental margins: Implications for foreland deformation of Alpine-type orogens. **Geology**, 4(12):779-782

SIAL, A.; OLIVEIRA, E.P.; CHOUDHURI, A. - 1987 - Mafic dyke swarms of Brazil: In: HALLS, H.C. & FAHRIG, W.F. (eds), **Mafic Dyke Swarms**. St. John's, G.A.C. p. 467-483. (Geological Association of Canada Special Paper, 34).

SIGA Jr., O. - 1986 - **A evolução geotectônica da porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas**. São Paulo, 140p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).

SIGA Jr., O.; CORDANI, U.G.; BASEI, M.A.S.; TEIXEIRA, W.; KAWASHITA, K.; VAN SCHMUS, R. - 1987a - Contribuição ao estudo geológico-geocronológico da porção nordeste de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., Belo Horizonte, 1987. **Anais**. Belo Horizonte, SBG. p.29-44.

SIGA Jr., O.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; BASEI, M.A.S.; TAYLOR, P.N. - 1987b - Aplicação de Isotópos de Sr e Pb nas rochas gnáissico-migmatíticas de Itacambira Barrocão. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., Belo Horizonte, SBG. p.45-57.

SIGA Jr., O.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. - 1990 - Perfil térmico K/Ar através do maciço de Joinville (PR e SC) e do Cinturão Dom Feliciano (SC) - implicações tectônicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais**, SBG. v.6, p.2773-2785.

SIGA Jr., O.; BASEI, M.A.S.; MACHIAVELLI, A - 1991 - Compartimentação geológica-geotectônica do Maciço de Joinville, Pr e Sc. **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, 9:67-73.

SILVA, A.B.; LIBERAL, G.S.; SAD, J.H.G.; ISSA F°, A.; RODRIGUES, C.S.; RIFFEL, B.F. - 1988 - Geologia e Petrologia do Complexo Angico dos Dias (Bahia, Brasil), uma associação carbonatítica pré-cambriana. **Geochimica Brasiliensis**, 2(1):81-108.

SILVA, L.C.; MENEZES, R.G.; PIZZATO, L.G.; LOPES Jr., I. - 1991a - Magmatismo tipo A em regime compressional no Mesoproterozóico - falha Pontes e Lacerda, MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3.; CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DA LÍNGUA PORTUGUESA, 1., São Paulo, 1991. **Resumos**. São Paulo, SBGq, Sociedade Geologica de Portugal, IG-USP. v.1, p.283-285.

SILVA, L.C.; MENEZES, R.G.; PIZZATTO, L.G.; LOPES Jr., I. - 1991b - Magmatismo cálcio-alcalino em regime distensional no Mesoproterózoico, folha Pontes e Lacerda, MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3.; CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LINGUA PORTUGUESA, 1., São Paulo, 1991. **Resumos**. São Paulo, SBGq, Sociedade Geológica de Portugal, IG-USP. v.1, p.266-270.

SILVA, M.G. - 1984 - A sequência vulcano-sedimentar do médio Rio Itapicuru - Bahia - In: SA, P.V.S.V. & DUARTE, F.B. (eds). **Geologia e Recursos Minerais da Bahia: textos básicos**. Salvador, SME/CPM. v.5, p.7-42.

SILVA, M.G. - 1987 - **Geochemie, Petrologie und Geotektonische Entwicklung eines proterozoischen Grunsteingurtels, Rio Itapicuru, Bahia, Brasilien**. Freiburg, 161p.(Thesis Doctoral - Albert Ludwigs University).

SILVA, M.G. - 1990 - O greenstone belt do Rio Itapicuru: uma bacia do tipo back arc de idade proterozóica inferior. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Boletim de Resumos**. Natal, SBG. p.322.

SLETTEN, V.M. - 1989 - $^{40}Ar/^{39}Ar$ thermochronometry of the Jequié-Complex, state of Bahia, Brazil. New Jersey, Princeton University. 21p (Junior Paper).

SOLIANI Jr., E. - 1986 - Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Rio Grandense e suas implicações de ordem geotectônica. São Paulo, 239p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

SOLLNER F.; LAMMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K.; HANSEN, B.T - 1987 - The Brasiliano Orogenesis: Age Determinations (Rb/Sr and U/Pb) in the Coastal Mountain Region of Espírito Santo, Brazil. Zentralblatt fur Geologie und Palaontologie, Teil I, (7/8):729-741.

SOLLNER, F.; LAMMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K. - 1991 - Die Konstenentwicklung in der Kustenregion nordlich von Rio de Janeiro/ Brasilien. Munchner Geologische Hefte. 4. 100p.

SONOKI, I.K. & GARDA, G.M. - 1988 - Idades K/Ar em rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. Boletim IG-USP. Série Científica, 19:63-85.

STEIN, J.H.; NETTO, A.M.; DRUMMOND, D.; ANGEIRAS, A.G. - 1978 - Nota preliminar sobre os processos de albitização uranífera de Lagoa Real (Bahia) e sua comparação com os da URSS e Suécia.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1978. Anais. Camboriú, SBG. v.3, p.1758-1775.

STOCKWELL, C.H. - 1982 - Proposals for time classification and correlation of Precambrian rocks and events in Canadá and adjacent areas of the Canadian Shield. Part 1. Geological Survey of Canadá Paper, 80(19):135.

TASSINARI, C.C.G - 1981 - **Evolução geotectônica da Província Rio Negro-Juruena na região Amazônica.** São Paulo, 99 p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).

TASSINARI, C.C.G - 1988 - **As idades das rochas e dos eventos metamórficos da região sudeste de São Paulo.** São Paulo, 236p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

TASSINARI, C.C.G - 1990 - Evolução geocronológica dos terrenos do cinturão Ribeira, no estado de São Paulo. In: WORKSHOP "Geoquímica isotópica, geocronologia e litoquímica das regiões sul e sudeste do Brasil". São Paulo, 1990. **Boletim de Resumos** São Paulo, SBGq. p. 37-40.

TASSINARI, C.C.G.; SIGA JR., O.; TEIXEIRA, W. - 1984 - Épocas metalogenéticas relacionadas à granitogênese do Craton Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais.** Rio de Janeiro, SBG. v.6, p. 2963-2977.

TASSINARI, C.C.G.; TAYLOR, P.N.; KAWASHITA, K. - 1987 - Sr and Pb isotopic evolution of granitoids in the São Paulo region, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências, 17**(4):519-523.

TASSINARI, C.C.G.; CAMPOS NETO, M.C.; VIDAL, P. - 1989 - Idades e Natureza da crosta continental primitiva da região leste do Estado de São Paulo: Evidências a partir dos isótopos de Nd, Sr e Pb. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1., Rio de Janeiro, 1989. **Boletim de Resumos**, Rio de Janeiro, SBG. p. 103.

TASSINARI, C.C.G.; BARBOUR, A.P.; DAITX, E.C.; SATO, K. - 1990a - Aplicação dos isótopos de Pb e Sr na determinação da natureza das fontes das mineralizações de Chumbo do Vale do Ribeira - SP e PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais.** Natal, SBG. v.3, p. 1254-1266.

TASSINARI, C.C.G.; MUNIZAGA, F.; LAHSEN, A.; SATO, K.; VASCONI, A.V.; MORI, P. - 1990b - Significação da razão Sr^{87}/Sr^{86} inicial de jazimentos hidrotermais, com base em estudos nos campos geotermais do Chile. In: JORNADAS CIENTIFICAS DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/USP. São Paulo, 1990. **Boletim Especial Trabalhos Apresentados.** São Paulo, Instituto de Geociências/USP. p. 143-146.

TASSINARI, C.C.G.; MUNIZAGA, F.; LAHSEN, A.; SATO, K.; VASCONI, A.V.; MORI, P. - 1991 - Significação da razão Sr^{87}/Sr^{86} inicial de jazimentos hidrotermais, com base em estudos nos campos geotermais do Chile. **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, 9:83-86.

TAVORA, F.J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. - 1967 - Determinações de idade Potássio-Argônio em rochas da região central da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Curitiba, 1967. **Anais**, Curitiba, SBG. p.234-244.

TAYLOR, P.N. - 1988 - Why continents look too young. **Nature, 336**, (6201):713.

TAYLOR, P.N. & KALSBEEK, F. - 1990 - Dating the metamorphism of Precambrian marbles: Examples from Proterozoic mobile belts in Greenland. **Chemical Geology, 86**(1):21-28

TAYLOR, S.R. & McLENNAN, S.M. - 1985 - **The continental crust: its composition and evolution.** Oxford, Blackwell, 312p.

TEIXEIRA, W. - 1982 - Geochronology of the southern part of the São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências, 12**(1-3):268-277.

TEIXEIRA, W. - 1985 - **A evolução geotectônica da porção meridional do Craton do São Francisco, com base em interpretações geocronologicas.** São Paulo, 207p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

TEIXEIRA, W. - 1990 - The Proterozoic mafic dyke swarms and alkaline intrusions in the Amazonian craton, South America, and their tectonic evolution based on Rb/Sr, K/Ar and $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology. In: PARKER, R. & TUCKER (eds). **Mafic dykes and emplacement mechanisms.** Rotterdam, A.A. Balkema. p.285-296.

TEIXEIRA, W. & TASSINARI, C.C.G. - 1984 - Caracterização Geocronológica da Província Rondoniana e suas implicações geotectônicas. In: SYMPOSIUM AMAZÓNICO, 2., Manaus, 1984. **Anais.** Manaus. p.87-101.

TEIXEIRA, W.; FONSECA, A.C.; POUPEAU, G.; PADILHA, A.V.; ZAPPAROLLI, L.H.; KAWASHITA, K.; KHOURY, M.C. - 1985a - Esboço da evolução geotectônica da parte Sul do Craton de São Francisco: uma interpretação com base dos dados Rb/Sr, K/Ar, Pb/Pb e traços de fissão. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3., Belo Horizonte, 1985. **Anais.** Belo Horizonte, SBG. p. 28-44.

TEIXEIRA, W.; KAWASHITA, K.; TAYLOR, P.N.; OJIMA, S.K.; VIEIRA, A.G. - 1985b - Reconhecimento geocronológico da Guiana Francesa: novos dados, integração e implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZONIA, 2., Belém, 1985. **Anais.** Belém SBG. v.1, p.194-207.

TEIXEIRA, W.; JORDT EVANGELISTA, H.; KAWASHITA, K.; TAYLOR, P.N. - 1987a - Complexo granulítico de Acaiaca, MG: idade, petrogênese e implicações tectônicas.In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., Belo Horizonte, 1987. **Anais.** Belo Horizonte, SBG. p.58-71.

TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; TAYLOR, P.N.; VAN SCHMUS, R. - 1987b - Archean and Early Proterozoic crustal evolution in the southern part of the São Francisco Craton. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, Salvador, 1987. **Extended Abstracts** Salvador., Superintendência de Geologia e Recursos Minerais p.37-40.

TEIXEIRA, W.; KAWASHITA, K.; PECCHIO, M.; TAME, N.R. - 1988 - Geocronologia K/Ar do enxame de diques básicos da parte meridional do craton do São Francisco e implicações no contexto geotectônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém. **Anais**. Belém, SBG. v.6, p.2870-2878.

TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. - 1989 - A review of the geochronology of the Amazonian craton; tectonic implications. **Precambrian Research**, 42(3-4):213-227.

TEIXEIRA, W.; ONSTOTT, T.C.; MAKENYA, M. - 1990 - Geochronology and crustal evolution of Archean granite-greenstone terranes in the Southern São Francisco Craton Brazil. In: INTERNATIONAL ARCHEAN SYMPOSIUM, 3., Perth, 1990. **Extended Abstracts** Perth, Geoconferences. p.113-114.

TEIXEIRA, W. & FIGUEIREDO, M.H. - 1991 - An Outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco craton, Brazil: a review. **Precambrian Research**; 53:(1-2):1-22.

TEIXEIRA, W.; FIGUEIREDO, M.C.H.; BRITO NEVES, E.A. - 1992 - Gnaisses Mantiqueira, MG - parte II: Geocronologia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 64(2):209-210.

THOMAZ FILHO, A. - 1976 - **Potencialidade do método Rb/Sr para datação de rochas sedimentares argilosas**. São Paulo, 128p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP).

THORPE, R.I.; CUMMING, G.L.; KRSTIC, D. - 1984 - Lead isotope evidence regarding age of gold deposits in the Nova Lima District, Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências, 14**(3):147-152.

TORQUATO, J.R.; TANNER DE OLIVEIRA, M.A.F. de; BARTELS, R.L. - 1978 - Idade radiométrica do granito de Campo Formoso, Ba - uma idade mínima para o Grupo Jacobina. **Revista Brasileira Geociências, 8**(3):171-179.

TURPIN, L.; MARUEJOL, P.; CUNEY, M. - 1988 - U/Pb, Rb/Sr and Sm/Nd chronology of gramitic basement, hidrothermal albitites and uranium mineralization (Lagoa Real, South - Bahia, Brazil). **Contributions Mineral Petrology**, 98(2):139-147.

ULBRICH, H.H.G.J.; GARDA, G.M.; ULBRICH, M.N.C. - 1991 - Avaliação das idades K/Ar dos maciços alcalinos do Brasil sul-oriental e Paraguai oriental. **Boletim IG-USP. Publicação Especial, 9**:87-92.

VASCONCELOS, P.M. de; BECKER, T.A.; RENNE, P.R.; BRIMHALL, G.H. - 1991 - Land-Based Stratigraphic record of Paleoclimatic and Geomorphic Evolution of the Amazon During the Cenozoic: Evidence from K/Ar and ^{40}K-^{39}Ar Dating of K-Mn Oxides in Laterites. **EOS, Transactions American Geophysical Union**, Supplement, 72(44):531.

VIDAL, P. - 1987 - Use and misuse of radiogenic isotopes in granite petrology. **Revista Brasileira de Geociências**, 17(4):468-472.

VIDAL, P.; DOSSO, L.; BOWDEN, P.; LAMEYRE, J. - 1979 - Strontium isotope geochemistry in syenite-alkaline granite complexes. **Physics and Chemistry of Earth, 11**(5):223-231.

VIDAL, P.; BERNARD-GRIFFITHS, J.; COCHERIE, A.; LE FORT, P.; PEUCAT, J.J.; SHEPPARD, S.M.F - 1984 - Geochemical comparison between Himalayan and Hercynian leucogranites. **Physics of the Earth Planetary Interiors, 35(1-3):179-190.**

VIDAL, P. & HUNZIKER, J.C. - 1985 - Systematics and problems in isotope work on eclogites. **Chemical Geology, 52(2):129-141.**

VIGNOL, L.M. - 1987 - **Etudes geochimiques des granulites du Brésil et la zone D'Livee:** les elements (K, Pb, Sm, Nd). Paris, 23p. (Diplôme d'Etudes Approfondies de Geochimie - Universitee Paris).

VLACH, S.R.F. - 1990 - ISOJOB: um programa para manipulação de dados e cálculos isotópicos Rb/Sr, Sm/Nd e Lu/Hf em microcomputadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. **Boletim de Resumos** Natal, SBG. p.74.

VLACH, S.R.F.; JANASI, V.A.; VASCONCELLOS, A.C.B.C. - 1991 - O magmatismo granitóide tardi a pós-orogênico de idade brasiliana no estado de São Paulo. **Boletim IG-USP. Publicação Especial, 9:99-101.**

WELIN, M.; VAASJOKI, M.; SUOMINEN, V. - 1983 - Age differences between Rb/Sr whole rock and U/Pb zircon ages of syn and post-orogenic Svecokarelian granitoids in Sottunga, SW Finland. **Lithos, 16(4):297-305.**

WILLIAMS, I.S. & CLAESSON, S. - 1987 - Isotope evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of hight grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides. II. Ion microprobe U-Th-Pb. **Contributions Mineral Petrology, 97:205-217.**

WILLIAMSON, J.H. - 1968 - Least-squares fitting of a straight line. **Canadian Journal of Physics, 46:1845-1847.**

WILSON, N. - 1987 - **Combined Sm/Nd, Pb/Pb and Rb/Sr geochronology and isotope geochemistry in polymetamorphic precambrian terrains:** Examples from Bahia, Brazil and Channel, Island, U.K. Oxford, p. (MSC Thesis - Oxford University).

WILSON, N.; MOORBATH, S.; TAYLOR, P.N.; BARBOSA, J.S.F. - 1988 - Archean and early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco Craton, Bahia, Brazil. **Chemical Geology, 70**(1-2):146.

WIRTH, K.R.; GIBBS, A.K.; OLSZEWSKI, W.J. - 1986 - U/Pb ages on zircons from the Grão Pará Group and Serra Carajás granite, Pará. Brazil. **Revista Brasileira de Geociências, 16**(2):195-200.

YORK, D.; MASLIWEC, A.; KUYBIDA, P.; HANES, J.A.; HALL, C.M.: KENYON, W.J.; SPOONER, E.T.C.; SCOTT, S.D. - 1982 - $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of pyrite. **Nature, 300**(5887):52-53.

ZAINE, M.F. - 1991 - **Análise dos fósseis de parte, da faixa Paraguai (MS, MT) e seu contexto temporal e paleoambiental.** São Paulo, 184p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).

ZIMBRES, E.; KAWASHITA, K.; VAN SCHMUS, W.R. - 1990 - Evidências de um núcleo transamazônico na região de Cabo Frio, RJ e sua correlação com o craton de Angola, África. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais.** Natal, SBG. v. 6, p.2735-2743.

ANEXO 1

NOTAÇÕES ISOTÓPICAS

Método Rb/Sr

1) Cálculo da Idade Convencional:

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln\left[1 + \frac{{}^{87}Sr/{}^{86}Sr - ({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_0}{{}^{87}Rb/{}^{86}Sr}\right]$$

2) Cálculos de Idades Modelos:

$$T_{UR} = \frac{1}{\lambda} \ln\left(1 + \frac{({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_x - ({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_{UR}{}^{hoje}}{({}^{87}Rb/{}^{86}Sr)_x - ({}^{87}Rb/{}^{86}Sr)_{UR}{}^{hoje}}\right)$$

$$T_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln\left(1 + \frac{({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_x - ({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_{DM}{}^{hoje}}{({}^{87}Rb/{}^{86}Sr)_x - ({}^{87}Rb/{}^{86}Sr)_{DM}{}^{hoje}}\right)$$

$()_x$ representa os valores medidos das respectivas razões isotópicas, UR - Reservatório Uniforme e DM - Manto Empobrecido.

3) Cálculo do Epsilon de Sr:

Para um tempo genérico T, tem-se:

$$\varepsilon_{Sr}(T) = \left(\frac{({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_{amostra}{}^{T\,*}}{({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_{UR}{}^{T}} - 1\right) \times 10^4, \text{ sendo:}$$

$$({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_{UR}{}^{T} = ({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_{UR}{}^{hoje} - ({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_{UR}{}^{hoje}\,(e^{\lambda T} - 1)$$

* Para T = 0, o valor representa a razão inicial do sistema ao tempo de cristalização da rocha.

Constantes:

$(^{86}Sr/^{88}Sr)_{p/norm} = 0,1194$ $\lambda = 1,42 * 10^{-11} anos^{-1}$

$(^{87}Sr/^{86}Sr)_{primordial} = 0,69898$ (BABI)

$(^{87}Sr/^{86}Sr)_{DM}^{hoje} = 0,7026$ $(^{87}Rb/^{86}Sr)_{DM}^{hoje} = 0,046$

A compilação abaixo ilustra algumas das razões isotópicas utilizadas para os diferentes reservatórios terrestres.

$(\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr})_{UR}^{hoje}$	$(\frac{^{87}Rb}{^{86}Sr})_{UR}^{hoje}$	
0,7045	0,0827	(De Paolo, 1988)
0,7045	0,0816	(Faure, 1980)?
0,7047	0,0847	(Taylor & McLennan, 1985)

4) Equações segundo modelos de mistura de 2 componentes (Langmuir et al., 1978)

A mistura M, de 2 componentes A e B, pode ser matematicamente expressa através de uma equação do tipo hipérbole, com eixos $(^{87}Sr/^{86}Sr)_M$ X Sr_M. As respectivas proporções em peso dos componentes A e B são definidas pelos parâmetros f e X_M, onde:

f(fração da mistura) = A/(A+B)
X_M(concentração do elemento da mistura) = $X_A * f + X_B * (1-f)$.

Em termos de razões isotópicas, a expressão matemática de mistura M é dada pelas equações abaixo:

$$\left(\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}\right)_M = \frac{a}{Sr_M} + b, \text{ onde:}$$

$$a = \frac{Sr_A * Sr_B * ((^{87}Sr/^{86}Sr)_B - (^{87}Sr/^{86}Sr)_A)}{Sr_A - Sr_B}$$

$$b = \frac{Sr_A * (^{87}Sr/^{86}Sr)_A - Sr_B * (^{87}Sr/^{86}Sr)_B}{Sr_A - Sr_B}$$

Em se tratando de uma mistura de 2 elementos, com diferentes razões isotópicas (Sr e Nd), o mesmo princípio geral acima é válido, com a definição de uma hipérbole num diagrama com eixos $^{143}Nd/^{144}Nd$ X $^{87}Sr/^{86}Sr$. A hipérbole, neste caso, é dada pela seguinte equação:

$$a * R^X_M + b * R^X_M * R^Y_M + c * R^Y_M + d = 0,$$

onde R^X é uma razão isotópica do elemento X, R^Y é uma razão isotópica do elemento Y, com:

$$R^X = \frac{R^X_A * X_A * f + R^X_B * X_B * (1-f)}{X_A * f + X_B * (1-f)},$$

Método K/Ar

1) Cálculo da Idade Convencional:

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{\lambda}{\lambda e} * \frac{^{40}Ar_{rad}}{^{40}K}\right)$$

2) Cálculo da Idade Isocrônica ($^{40}Ar/^{36}Ar$ X ^{40}K):

$$^{40}Ar = {}^{40}Ar_i + (\lambda_e/\lambda)\ {}^{40}K\ (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\frac{^{40}Ar}{^{36}Ar} = \left(\frac{^{40}Ar}{^{36}Ar}\right)_i + \frac{\lambda_e}{\lambda} * \frac{^{40}K}{^{36}Ar} (e^{\lambda t} - 1)$$

Séries de Decaimento: **Constantes:**

$^{40}K \dashrightarrow {}^{40}Ar$

$^{40}K \dashrightarrow {}^{40}Ca$

$\lambda_e = 0,581 \times 10^{-10}$ anos^{-1}

$\lambda_\beta = 4,962 \times 10^{-10}$ anos^{-1}

$\lambda = \lambda_e + \lambda_\beta = 5,543 \times 10^{-10}$ anos^{-1}

Método U-Th-Pb

Equações Fundamentais para o Cálculo de Idades Pb/Pb

$$\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_x = \left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_i + \frac{^{238}U}{^{204}Pb} (e^{\lambda_1 t} - 1)$$

$$\left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_x = \left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_i + \frac{^{235}U}{^{204}Pb} (e^{\lambda_2 t} - 1)$$

$$\left(\frac{^{208}Pb}{^{204}}\right)_x = \left(\frac{^{206}Pb}{^{204}}\right)_i + \frac{^{232}Th}{^{204}} (e^{\lambda_3 t} - 1)$$

Pb Pb Pb

sendo $(\,)_x$ os valores medidos:

Cálculo da Idade Convencional U/Pb:

$$T_{206} = \frac{1}{\lambda_1} \ln \left(1 + \frac{^{206}Pb/^{204}Pb - (^{206}Pb/^{204}Pb)_i}{^{238}U/^{204}Pb}\right)$$

$$T_{207} = \frac{1}{\lambda_2} \ln \left(1 + \frac{^{207}Pb/^{204}Pb - (^{207}Pb/^{204}Pb)_i}{^{235}U/^{204}Pb}\right),$$

sendo $()_i$ as razões iniciais de Pb incorporadas ao mineral ao tempo da sua formação.

Séries de Decaimento: **Constantes:**

$^{238}U \longrightarrow ^{206}Pb$ λ_1 $^{238}U = 1,55125 \times 10^{-10}$ anos^{-1}

$^{235}U \longrightarrow ^{207}Pb$ λ_2 $^{235}U = 9,8485 \times 10^{-10}$ anos^{-1}

$^{232}Th \longrightarrow ^{208}Pb$ λ_3 $^{232}U = 4,9475 \times 10^{-11}$ anos^{-1}

Idade $^{207}Pb/^{206}Pb$

$$\frac{^{238}U}{^{235}U} = 137,88$$

$a_0 = (^{206}Pb/^{204}Pb)_T$ (= 9,307)

$b_0 = (^{207}Pb/^{204}Pb)_T$ (= 10,294)

$$m = \frac{(^{207}Pb/^{204}Pb)_t - b_0}{(^{206}Pb/^{204}Pb)_t - a_0} = \frac{^{235}U}{^{238}U} * \frac{e^{\lambda 2\ T} - e^{\lambda 2\ t}}{e^{\lambda 1\ T} - e^{\lambda 1\ t}}$$

$$\mu_1 = \frac{^{238}U}{^{204}Pb} = \frac{^{206}Pb/^{204}Pb - a_0}{e^{\lambda 1\ T} - e^{\lambda 1\ t}}$$

Sendo T = idade da Terra, t = idade a ser determinada, m = coeficiente angular da reta, μ_1 = razão atual da amostra,

Método Sm/Nd

1) Cálculo das Idades Modelo:

$$T_{CHUR} = \frac{1}{\lambda} \ln\left(1 + \frac{(^{143}Nd/^{144}Nd)_x - (^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}^{hoje}}{(^{147}Sm/^{144}Nd)_x - (^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR}^{hoje}}\right)$$

$$T_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln\left(1 + \frac{(^{143}Nd/^{144}Nd)_x - (^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}^{hoje}}{(^{147}Sm/^{144}Nd)_x - (^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}^{hoje}}\right),$$

onde $()_x$ = valores medidos.

2) Cálculo do Epsilon de Nd:

Para um tempo genérico T, temos:

$$\varepsilon_{Nd}(T) = \left(\frac{(^{143}Nd/^{144}Nd)_{amostra}^{T}}{(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}^{T}} - 1\right) \times 10^4, \text{ sendo: } *$$

$$(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}^{T} = (^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR}^{hoje} - (^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR}^{hoje}\,(e^{\lambda T} - 1)$$

* para T = 0, o valor representa a razão inicial do sistema ao tempo de cristalização da rocha

Constantes:

$(^{146}Nd/^{144}Nd)_{p/norm} = 0{,}7219$ $\qquad$ $\lambda = 6{,}54 * 10^{-12}$ anos^{-1}

$(^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR}^{hoje} = 0{,}1967$

A tabela abaixo apresenta algumas das razões isotópicas utilizadas para os diferentes reservatórios terrestres.

	$\left(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd}\right)_{CHUR}^{hoje}$	$\left(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd}\right)_{DM}^{hoje}$	$\left(\frac{^{147}Sm}{^{144}Nd}\right)_{DM}^{hoje}$	
a)	0,511847	0,51235	0,217	(De Paolo, 1988)
b)	0,511836	0,51235	0,217	(Taylor & McLennan, 1985)
c)	0,51262*	0,513114*	0,222	(Michard et al., 1985)

(a e b) razões determinadas admitindo-se $^{150}Nd/^{142}Nd$ = 0,2096 para normalização.

(c)* razões normalizadas para $^{146}Nd/^{144}Nd$ = 0,7219.
CHUR - Reservatório Condrítico

Método $^{40}Ar/^{39}Ar$

Cálculo da Idade

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + J * \frac{^{40}Ar_{rad}}{^{39}Ar_{(K)}}\right),$$

onde:

$$\frac{^{40}Ar_{rad}}{^{39}Ar_{(K)}} = \left(\frac{^{40}Ar}{^{36}Ar}\right)_m - 295,5 \left(\frac{^{36}Ar}{^{39}Ar}\right)_m$$

(para amostras com pouco ou sem cálcio)

sendo $()_m$ = razões medidas espectrometricamente (fusão total) e $^{39}Ar_{(K)}$ = argônio-39 derivado do potássio-39.

Os valores de J são calculados por interpolação num gráfico elaborado a partir das posições ocupadas pelas amostras geológicas nos dispositivos apropriados de irradiação no reator. Monitores de fluxo (padrões de idade conhecida), também expostos simultaneamente à irradiação com neutrons (da ordem de $10^{17} m/cm^2$), são utilizados como referência nos cálculos radiométricos para obtenção da idade da amostra.

No método $^{40}Ar/^{39}Ar$, existem ainda 2 variantes interpretativas, utilizando extração de argônio por etapas:

a) Diagrama de Correlação Isotópica:

A razão $^{40}Ar_{rad}/^{39}Ar_{(K)}$ é obtida a partir da equação da reta abaixo:

$$\left(\frac{^{40}Ar}{^{36}Ar}\right)_m = \left(\frac{^{40}Ar}{^{36}Ar}\right)_c + \left(\frac{^{40}Ar_{rad}}{^{39}Ar_{(K)}}\right)_k * \left(\frac{^{39}Ar}{^{36}Ar}\right)_m,$$

onde $()_c$ = razão isotópica original da amostra (fração não radiogênica do gás) e $()_m$ = razões medidas de cada extração parcial.

b) Fração de ^{39}Ar cumulativo liberado x Idade (Idade Isocrônica de patamar - ICPA):

Utiliza-se um diagrama, em que o eixo X representa a porcentagem cumulativa de ^{39}Ar liberado após cada extração parcial e o eixo Y, as respectivas idades aparentes obtidas.