

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**“Geocronologia das Rochas Máficas Intrusivas no
Supergrupo Roraima”.**

Gabriela Perlingeiro

**Orientador: Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani
Co-orientador: Paulo Vasconcelos**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/24)**

**SÃO PAULO
2008**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



“Geocronologia das Rochas Máficas Intrusivas no Supergrupo Roraima”

Gabriela Perlingeiro

Orientador: Professor Dr. Umberto Giuseppe Cordani

Co-orientador: Professor Dr. Paulo Vasconcelos

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/24)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900025601

Perlingeiro

SÃO PAULO
2008

TF
P454
G.08

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



Geotecnologias das Rochas Metamórficas em São Paulo

Geologia Regional

Geologia Regional do Estado de São Paulo
Geologia Regional do Estado de São Paulo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(1995)

Handwritten signature

SÃO PAULO
2008

AGRADECIMENTOS

Para a realização deste projeto agradeço a meus pais que simplesmente são os melhores do mundo. Obrigada por todo o amor, toda a preocupação, todo o apoio e todas as críticas ao longo da minha caminhada dentro da Geologia e na minha vida. Vocês são o meu chão e, eu amo vocês mais do que tudo. As minhas irmãs Gisele e Bruna, as quais meu amor não é menor.

Aos meus queridos orientadores Professores Cordani e Paulo por todos os inestimáveis ensinamentos, dedicação e amizade. Minha convivência com vocês é um privilégio ao qual eu agradeço a Deus todos os dias. Agradeço também por terem me mostrado o fascinante mundo da Geocronologia. É uma honra poder ser orientada por vocês.

À minha amiga e doutoranda Silvana pelo carinho, ajuda e por ter tido a paciência de ir comigo fazer as análises de microsonda deste projeto.

Ao Arne por todo suporte, amizade e ajuda em Geologia Estrutural. Ao Marinho, Antônio, Kathryn, Zara, Felipe, Michael, Guia, Jia Jia, Tara, Emma e Sophie pela convivência e pelas boas risadas no Departamento de Geologia da UQ.

Mary, Fumiko, Mimi e Ina, por quem eu preso muito a amizade, obrigada pelo carinho e bons momentos. A Austrália não seria a mesma coisa sem o convívio com vocês.

Ao Professor John Drennan do CMM pelo curso de Microscopia Eletrônica na Universidade de Queensland.

Obrigada a Yin por ter sido tão dedicada a me ensinar e ter dado muita atenção as minhas análises.

Ao Professor Ian McDougall que além de ter discutido e dado seus artigos sobre os doleritos de Roraima, ainda cuidou de mim em Camberra.

Ao Professor Wilson Teixeira pela ajuda e dicas, ao Professor Valdecir pela ajuda na petrografia e ao Professor Daniel Atêncio pelo programa MiniCalc. A todos os demais Professores da Geologia da USP por todos os ensinamentos e amizade ao longo desses cinco anos. Vocês tiveram forte influência não só em minha formação profissional, mas também na minha vida.

A todos do CPGeo, sou muito grata pela colaboração de vocês. Em especial ao Artur por toda a paciência em me ensinar sobre o K-Ar e pela amizade.

A toda minha turma que entrou no vestibular 2004, sem exceção. Obrigada pelos bons momentos, troca de experiências, risadas, enfim, tudo que passamos juntos vai ficar para sempre na minha memória e eu desejo que todos tenham muito sucesso e muita felicidade.

RESUMO

Este Trabalho de Formatura apresenta dados geocronológicos e descrições petrográficas de sete amostras de rochas máficas intrusivas no Supergrupo Roraima referentes ao nordeste do Estado de Roraima, localizado na região norte do Brasil, porção setentrional do Cráton Amazônico. Ocorrem nesta localidade corpos básicos sob a forma de extensos diques e *sills* pertencentes a duas unidades geocronológicas distintas denominadas de Diabásio Avanavero e Suíte Básica Apoteri.

A petrografia apresenta plagioclásio (labradorita e andesina), piroxênios (ortopiroxênio, augita e pigeonita), e anfibólio como principais constituintes. Feldspato alcalino em crescimento gráfico com quartzo, biotita, clorita, apatita, epidoto e minerais opacos aparecem como minerais secundários. Em amostras coletadas no extremo nordeste os seus minerais são primários e sem qualquer alteração. Já para duas amostras pertencentes à porção oeste da região, seus minerais estão bem alterados.

O estado e grau de alteração na mineralogia se refletem diretamente nos resultados geocronológicos deste projeto, que pôde identificar diferentes eventos geológicos que afetaram a área. Idades K-Ar e Ar-Ar revelaram um evento ígneo mais antigo (em quatro amostras), com idades aparentes confiáveis Ar-Ar (*plateau*) de 1840 ± 50 MA e que representa a unidade Diabásio Avanavero. O método Ar-Ar ainda pôde identificar ^{40}Ar em excesso nos plagioclásios. Para a porção oeste do Estado (duas amostras), um evento tectonotermal próximo a 1200 Ma foi identificado nas amostras mais alteradas. Já o último pulso magmático Mesozóico (uma amostra), aponta idade Ar-Ar (*plateau*) de 210 MA, correspondente à Suíte Básica Apoteri.

ABSTRACT

This Honours Thesis presents geochronological dataset and petrological descriptions of seven samples of intrusive mafic rocks in Roraima Supergroup from the northeast of Roraima State, located in the north Brazil region, setentrional portion of Amazon Craton. Occur in this locality extensive basic bodies of dikes and *sills* from two distinct geochronologic units called Avanavero Dolerite and Basic Suit Apoteri.

The petrography presents plagioclase (labradorite and andesine), pyroxenes (orthopyroxene, augite and pigeonite), and amphibole as the main constituents. Alkali feldspar in crescentic shape with quartz, biotite, chlorite, apatite, epidote and opaque minerals as secondary minerals. Collected samples in the extreme northeast the minerals are primary and with no alteration. For the two samples belonged to the west portion of the region, their minerals are well altered.

The state and grade of alteration in the mineralogy directly reflect in the geochronological results of this project, which could identify different geological events that affected the area. K-Ar and Ar-Ar ages revealed one igneous event older (in four samples), with trustful apparent ages Ar-Ar (*plateau*) of 1840 ± 50 MA and that represents the unit Avanavero Diabase. The method Ar-Ar still could identify excess of ^{40}Ar in the plagioclases. To the west portion of the State, (two samples), one tectonothermal event close to 1200 Ma was identified in the altered samples. The last magmatic pulse in the Mesozoic (one sample), points Ar-Ar (*plateau*) ages of 210 MA, correspondent to Basic Suit Apoteri.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO
RESUMO
ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	3
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ASPECTOS FISIOGRÁFICOS	4
4. GEOLOGIA REGIONAL	5
4.1. PRINCIPAIS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	10
4.1.1. GRUPO SURUMU	10
4.1.2. SUPERGRUPO RORAIMA	10
4.1.3. DIABÁSIO AVANAVERO	12
4.1.4. "SUÍTE BÁSICA APOTERI"	14
5. METODOLOGIA	14
5.1. AMOSTRAGEM	14
5.2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	15
5.3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	15
5.4. CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA	16
5.5. CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA	16
5.5.1. MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)	17
5.5.2. EDS E MICROSSONDA ELETRÔNICA	17
5.6. GEOCRONOLOGIA	17
5.6.1. MÉTODO K-AR	17
5.6.2. MÉTODO AR-AR	18
5.6.3. MÉTODO RB-SR	22
6. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	23
7. RESULTADOS DAS ROCHAS MÁFICAS DIABÁSIO AVANAVERO E "SUÍTE BÁSICA APOTERI"	25
7.1. PETROGRAFIA	25
7.2. ANÁLISES DE EDS E MICROSSONDA	26
7.3. GEOCRONOLOGIA	37
7.3.1. K-AR E AR-AR	37
7.3.2. RB-SR	44
8. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES FINAIS	46
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

ANEXO I – PRANCHA DE FOTOS

ANEXO II – LISTAGEM DAS AMOSTRAS E FOTOS MACROSCÓPICAS

ANEXO III – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

ANEXO IV – PROCEDIMENTO ANALÍTICO: K

ANEXO V - PROCEDIMENTO ANALÍTICO: RB - SR

ANEXO VI – PETROGRAFIA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

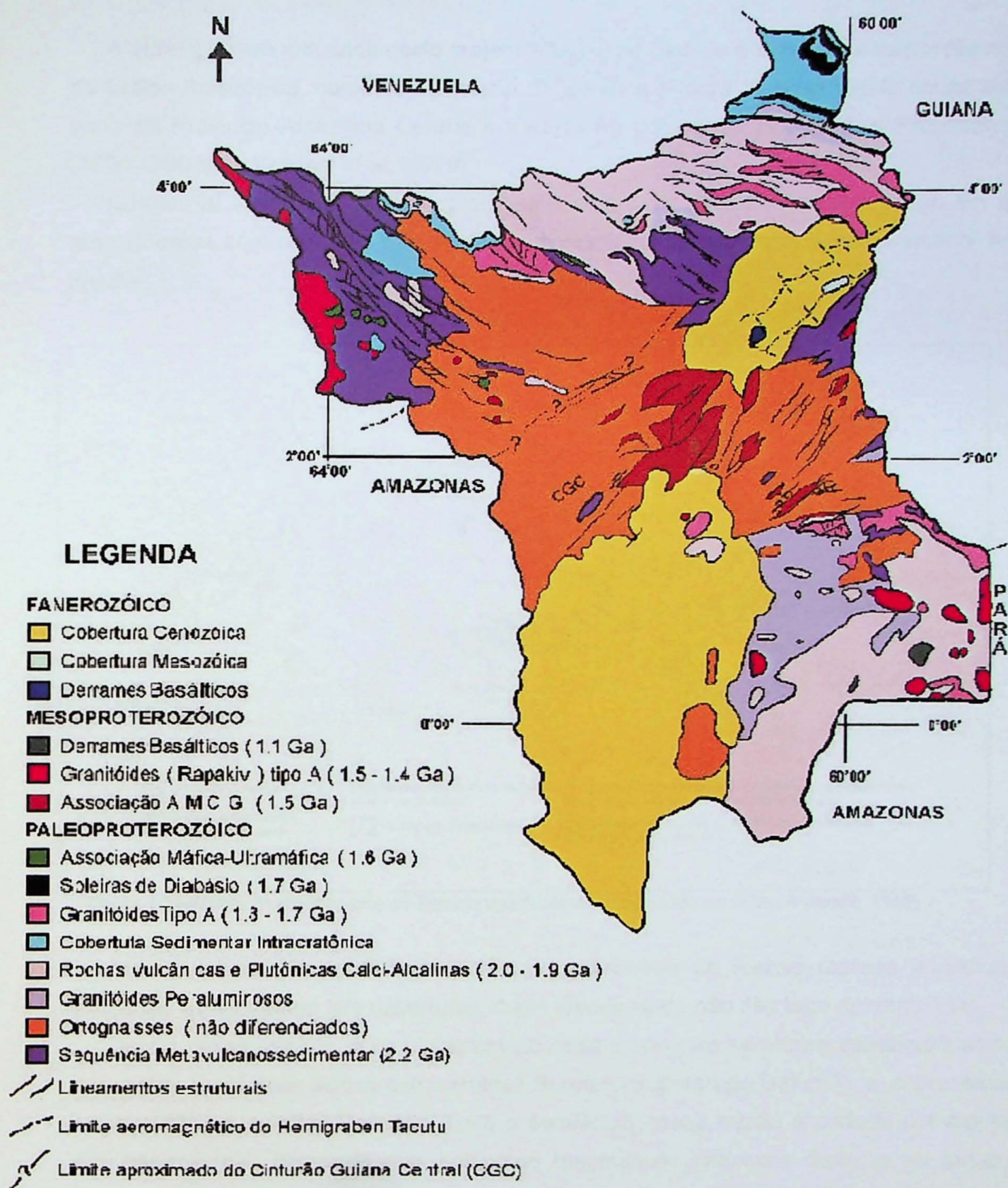
ANEXO VII – FOTOMICROGRAFIAS

ANEXO VIII – DADOS ANALÍTICOS K-AR

ANEXO IX – DADOS ANALÍTICOS RB-SR

ANEXO X – DADOS EDS

ANEXO XI – TABELAS COM AS PRINCIPAIS REFERÊNCIAS PARA AS ROCHAS
INTRUSIVAS NO SUPERGRUPO RORAIMA



MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DO ESTADO DE RORAIMA
COM AS ÁREAS DE TRABALHO DO PROJETO PLATINA E ASSOCIADOS
(Adaptado de Reis, N. J. & Fraga, L. M. B. 1998)

1. INTRODUÇÃO

A área que será enfocada neste projeto situa-se no Escudo das Guianas na porção norte do Cráton Amazônico, nordeste do estado de Roraima (Figura 1). Essa região ocupa ainda parte da Província Amazônia Central e trata-se de coberturas plataformais Proterozóicas (1900-1500 MA), Cordani *et al.* (1979).

Cordani *et al.* (1984), considera o Cráton como um núcleo Arqueano antigo em que amplas áreas com cinturões móveis foram acrescidas em ciclos sucessivamente mais jovens.

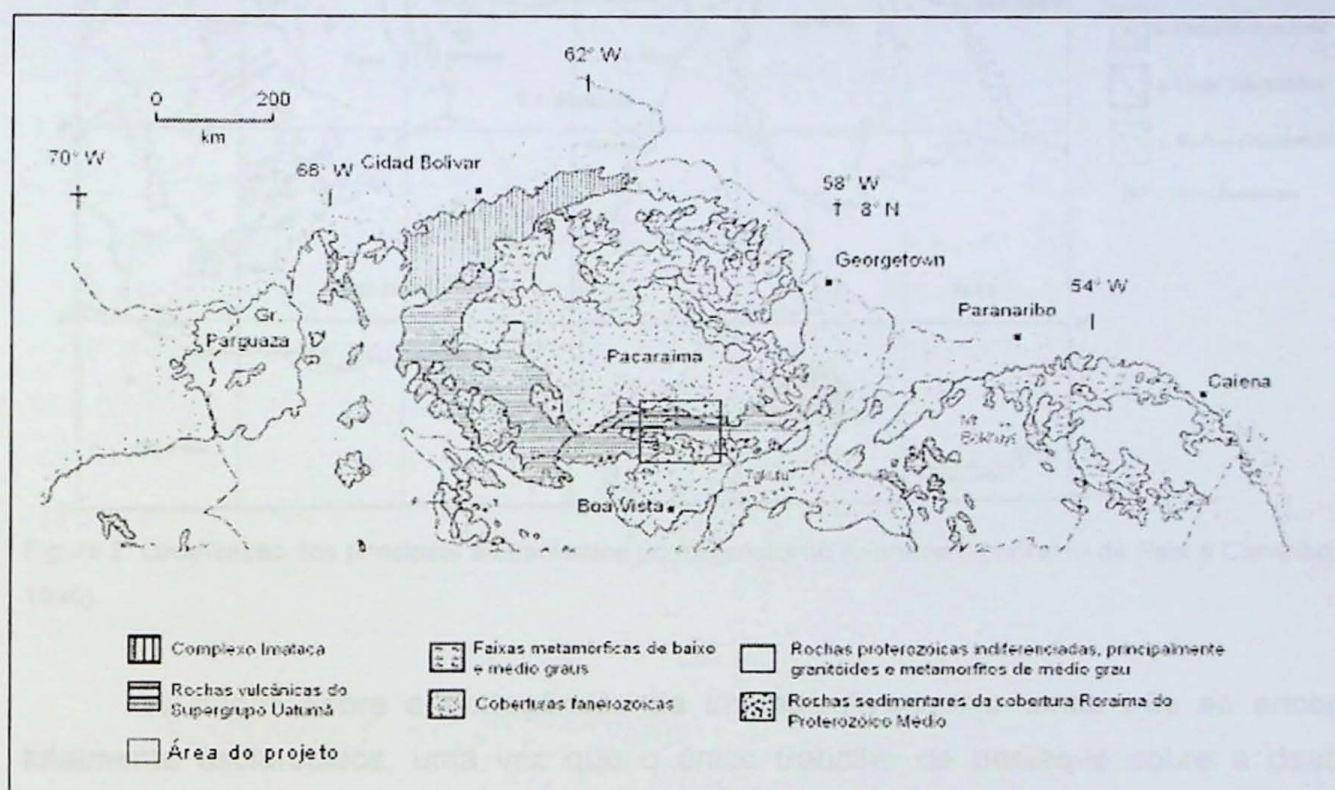


Figura 1: Geologia da porção norte do Escudo das Guianas (modificado de Gibbs e Barron, 1983)

Nessa área estão localizadas diversas ocorrências de rochas máficas intrusivas e extrusivas que intrudem tais coberturas, cujas idades ainda não são bem determinadas.

Dentro desse cenário, o embasamento cristalino encontra-se abaixo estratigraficamente das rochas vulcânicas ácidas denominadas Surumu (Supergupo Uatumã), e, sobrepostas a estas, estão os arenitos Roraima. Toda a seqüência nessa região é cortada por diques e *sills* básicos, que perfazem dois conjuntos magmáticos principais distintos ao longo do tempo geológico. O primeiro denominado de Diabásio Avanavero, de idade pré-cambriana $\pm$ 1800 MA, é o alvo principal da pesquisa geocronológica deste projeto. O segundo, a "Suíte Básica Apoteri" referentes a diques e *sills* associados a um evento ígneo Mesozóico de idade na literatura entre 114 e 228 MA.

Como alvos desta pesquisa foram selecionadas rochas pertencentes ao magmatismo básico de natureza toleítica intrusiva (diques e *sills*) que ocorrem na porção nordeste do estado de Roraima.

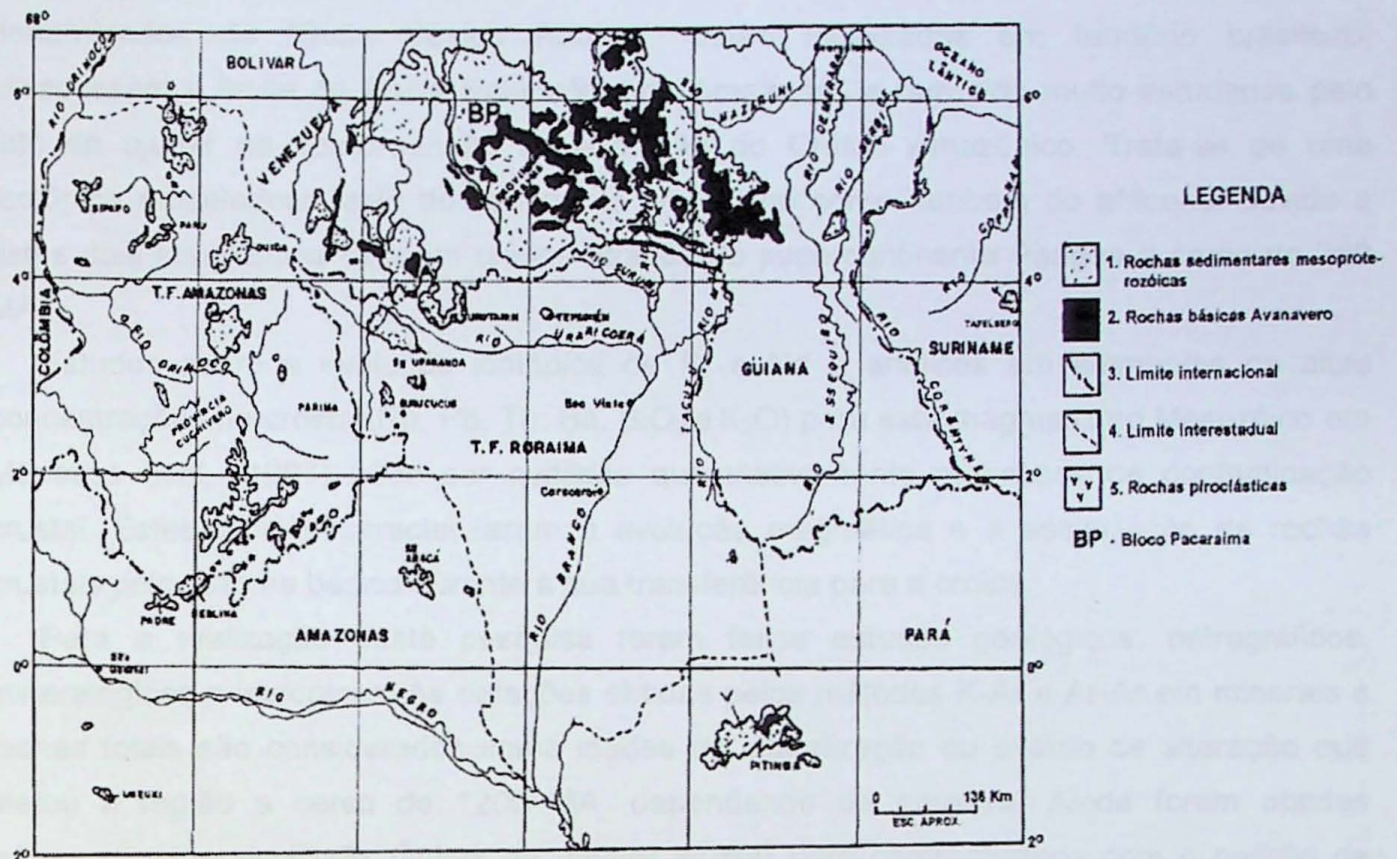


Figura 2: Localização dos principais afloramentos do magmatismo Avanavero (extraído de Reis e Carvalho, 1996).

Os dados sobre a petrogênese da unidade Avanavero ainda não se encontram totalmente esclarecidos, uma vez que o único trabalho de destaque sobre a descrição desses diabásios é Hawkes (1966) para rochas da Venezuela.

O vulcanismo identificado no território brasileiro parece ter uma distribuição regional extensa. McDougall (1963) utilizou o método K-Ar para analisar os diabásios intercalados no Supergrupo Roraima na Venezuela. No entanto, a imprecisão do método forneceu idades entre 2090 a 1540 MA. Tal imprecisão está relacionada ao excesso de Ar em rochas mais antigas e a alguma possível alteração em rochas mais novas. Priem *et al.* (1973) utilizando o mesmo método analisou cinco amostras de rochas vulcânicas piroclásticas também intercaladas no Supergrupo Roraima nas proximidades de Tafelberg, Suriname. Esse autor determinou idades mais precisas entre 1573 a 1681 MA.

Em trabalho mais recente, Santos *et al.* (2003b) analisa por meio do método de datação U-Pb-SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion Microprobe*) arenitos e tufos do Supergrupo Roraima e diques e *sills* Avanavero. Zircões retirados de tufos dos arenitos do Supergrupo Roraima obtiveram idade Paleoproterozóica de 1873 ± 3 MA, Orosiriano. Já para o magmatismo Avanavero foram utilizados zircão e baddeleyta de dois diques máficos

datados em 1782 ± 3 MA. Com isto, pôde ser estabelecida a relação de que estes diques e *sills* são posteriores e não pertencem ao Supergrupo Roraima.

Apesar de não ser o enfoque principal deste trabalho, ainda ocorre uma amostra pertencente ao magmatismo máfico Mesozóico, que segundo Reis (2002), são diques denominados de "Suíte Básica Apoteri". Estão localizados em território brasileiro, ultrapassam o limite da Bacia Paleozóica do Amazonas e tem sido muito estudados pelo fato de ajudar na compreensão da evolução do Cráton Amazônico. Trata-se de uma tectônica modeladora tanto do continente americano como também do africano, devido a estes dois continentes estarem unidos através do supercontinente Pangea a cerca de 250 MA.

Estudos sobre a evolução isotópica de Sr e Nd e análises em elementos de altas concentrações na crosta (Rb, Pb, Th, Ba, SiO_2 e K_2O) para este magmatismo Mesozóico em Menezes Leal, (1997) pôde ser avaliado quantitativamente processos de contaminação crustal. Estes índices caracterizaram a evolução magmática e a assimilação de rochas crustais pelo magma básico durante a sua transferência para a crosta.

Para a realização desta pesquisa foram feitos estudos geológicos, petrográficos, mineralógicos e isotópicos. As datações obtidas pelos métodos K-Ar e Ar-Ar em minerais e rochas totais são considerados como idades de cristalização ou evento de alteração que afetou a região a cerca de 1200 MA, dependendo da amostra. Ainda foram obtidas isócronas minerais Rb-Sr (linhas de melhor ajuste) para confrontarmos com o padrão de idades K-Ar e Ar-Ar, métodos utilizados para detectar a idade real do evento gerador do magmatismo Avanavero.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

O principal objetivo deste trabalho é a apresentação de dados radiométricos mais confiáveis das rochas máficas intrusivas de Roraima. Ocorrem também nesse estado, diversas áreas onde essas rochas ainda devem ser datadas. Portanto, tais dados ajudam também no estudo da evolução geológica dessa região. Para este estudo foram utilizados os métodos K-Ar, Rb-Sr e Ar-Ar (*step heating*), este último permitindo interpretações avançadas, como por exemplo, a existência de excesso de argônio, ou ainda, domínios com perda deste elemento.

Os diques e *sills* e seus correspondentes extrusivos são importantes indicadores da natureza e evolução das fontes mantélicas e podem fornecer informações sobre a evolução da litosfera ao longo do tempo. Além disso, ainda foram encontradas várias idades para o magmatismo, o que pôde adicionar dados na interpretação em termos de processos extensionais posteriores a cratonização na porção nordeste de Roraima.

Este tema, portanto, é de grande importância devido a sua relação e contribuição aos processos geodinâmicos da região. Os resultados obtidos desse magmatismo ainda possibilitaram sua comparação a eventos magmáticos ocorridos nos países vizinhos ao norte da Plataforma Sul-Americana.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS

A área em que se encontram as rochas máficas intrusivas no Supergrupo Roraima, que perfazem as unidades Diabásio Avanavero e a "Suíte Básica Apoteri" estão situadas nas proximidades do município de Uiramutã (amostras UC-RR-2, 5, 6 e 8 e 12) e vila Pacaraima (amostras UC-RR-16 e 18B), estado de Roraima. Ambas na porção nordeste, no âmbito das folhas geológicas (escala 1:100.000) NB.20-Z-B-V, NB.20-Z-B-VI / NB.21-Y-A-IV, NB.20-Z-D-II, NB.20-Z-D-III, NB.21-Y-C-I, NB.20-Z-D-VI e NB.20-Y-C-IV.

O acesso à área a partir da capital do estado, Boa Vista, se dá através da rodovia BR – 174. Esta leva até vila Pacaraima, nas proximidades com a fronteira da Venezuela. Partindo dessa vila, para se chegar até o município de Uiramutã deve-se primeiro seguir a via secundária RR – 202 (sentido vila Surumu), e que chegará até a RR-171. Essa última é acesso para as vilas Uiramutã, Caju e Mutum.

O meio de acesso a essas áreas pode-se dar também por aviões monomotores, uma vez que há um grande número de pistas de pouso em condições de uso na região em qualquer época do ano na região. A rodovia RR-319 liga estas áreas à capital do estado, porém o acesso de carro é precário na época das chuvas.

Outra questão importante é lembrar a existência de reservas indígenas na região, e que por vezes pode impedir a coleta de amostras caso não se peça autorização prévia. No entanto, não houve nenhuma restrição ao acesso ou a coleta das amostras deste projeto.

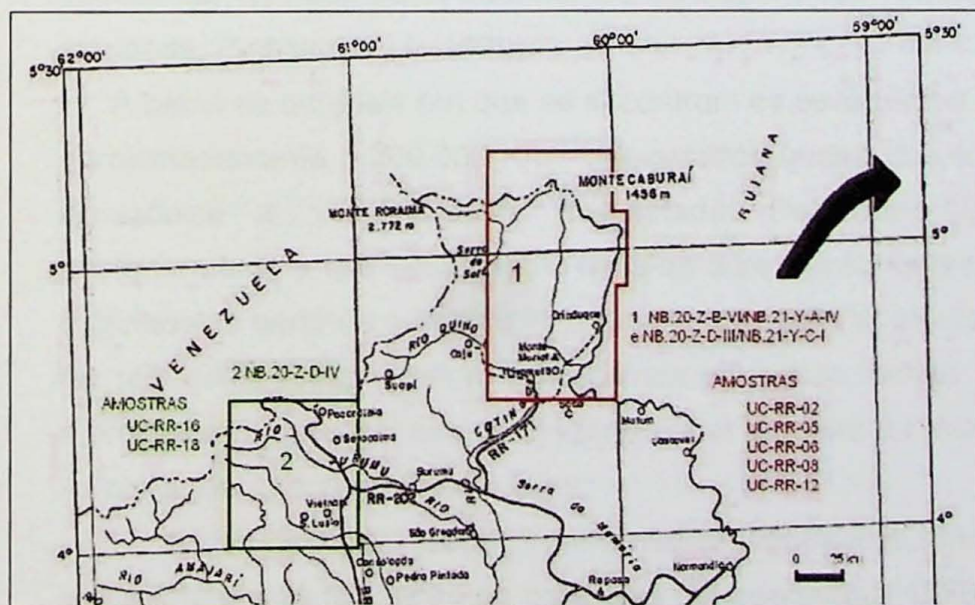
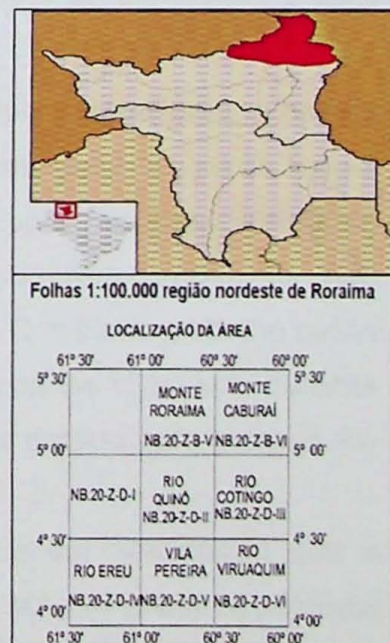


Figura 3: Local onde as amostras foram coletadas.



4. GEOLOGIA REGIONAL

O pioneiro a datar a manifestação vulcânica básica do Proterozóico foi Snelling (1963), na Guiana. Esse autor realizou determinações estabelecendo a idade de 2085 ± 40 MA correspondentes aos *sills* e diques encaixados na então Formação Roraima (atual Supergrupo Roraima).

Uma das idades mais aceita atualmente para este magmatismo Paleoproterozóico ainda é a realizada por Hebeda (1973) que corresponde a ± 1603 MA.

Priem *et al.* (1973) faz referência à correlação existente entre os diabásios situados no Suriname, Guiana, Venezuela e gabros-diabásios encaixados no Supergrupo Roraima, no Brasil. Para os diques e *sills* do Suriname foi medida a idade de 1593 ± 66 MA Snelling e McConnell, (1969) utilizando isócrona Rb-Sr. As mesmas amostras foram datadas através do método K-Ar, no entanto as idades obtidas foram consideradas irrelevantes devido ao excesso de argônio. Ainda segundo os autores, esse elemento foi incorporado aos diabásios devido a um evento tectonotermal ocorrido a cerca de 1200 ± 100 MA na região leste do país.

Em Bonfim *et al.* (1974) afirma-se que o magmatismo básico alcançou seu paroxismo nos primórdios do Pré-Cambriano colaborando ainda mais com a idade encontrada por Hebeda. Os autores ainda propuseram a denominação seqüência intrusiva Roraima para as soleiras que aparecem intercaladas no Supergrupo Roraima.

Basei e Teixeira ainda corroboram nesse estudo geocronológico quando incluem as idades obtidas em pesquisa entre os anos de 1973 e 1975. Por exemplo, a idade de 1805 MA encontrada na isócrona Hornfels Pedra Preta.

Após a evolução Trans-Amazônica ocorrida entre 2100 e 1800 MA, o escudo das Guianas sofreu um período de tectônica extensional com desenvolvimento de bacias continentais e extenso vulcanismo básico associado. Nesse aspecto, destaca-se a bacia sedimentar formada pelos sedimentos do Supergrupo Roraima, e que abrange toda a área estudada, Pinheiro *et al.*, (1990).

A bacia de antepaís em que se encontram os sedimentos do Supergrupo Roraima possui aproximadamente $1.200.000 \text{ Km}^2$, depositados quase que totalmente pela orogenia Trans-Amazônica a norte-nordeste do estado. Por outro lado, para rochas formadas posteriormente a tais sedimentos, deve-se acrescentar que estas puderam também ter sido originadas a partir da orogenia Tapajós-Parima, Reis *et al.* (2003b). O mesmo trabalho ainda faz referência sobre a deformação sofrida por essas rochas, por volta de 1330 MA, durante a orogenia Sunsás em estudo utilizando uma amostra de muscovita datada pelo método Ar-Ar por aquecimento gradual a laser.

Em Reis *et al.* (2003), como dito anteriormente ainda pôde ser adicionado que a idade mínima de formação da cobertura corresponde a 1778 ± 12 MA U-Pb em baddeleyta

referente à soleira Cipó. Esta idade é de grande relevância, uma vez que o erro encontrado foi de baixo valor comparado a trabalhos anteriores para essas rochas.

Os corpos básicos localizados a NE do estado de Roraima, região setentrional do Brasil, são caracterizados por extensos *sills* e diques, que estão reunidos na unidade Diabásio Avanavero, pertencente ao Paleoproterozóico, com cerca de 1800 MA. Elas, em sua maioria, diabásios, dioritos e gabros, encontrando-se amplamente distribuídos e representando o magmatismo básico toleítico dentro do Escudo das Guianas. Encontram-se, pela divisão de Reis *et al.* (2003), no domínio Urariqüera (DU) e revelam um importante arranjo de lineamentos estruturados em E-W a WNW-ESSE e NW-SE. Encontra-se também nessa localidade granitos e vulcanitos na forma de corpos alongados, bem como a extensa cobertura sedimentar junto às fronteiras com Venezuela e Guiana.

Cabe lembrar que a unidade Diabásio Avanavero também corresponde aos *sills* e diques da Província Roraima na Venezuela, ao Dolerito Avanavero no Suriname, ao Diabásio Avanavero na Guiana, e ainda é correlacionada à Formação Quarenta Ilhas no NE do Amazonas e com a Suíte Crepori a SE do Amazonas e SW do estado do Pará.

Como visto na tabela 1 a seguir, estas rochas são divididas em *sill* Pedra Preta, *sill* Cotingo, *sill* Monte Roraima e Básicas Cipó. O primeiro encontra-se encaixado nas rochas sedimentares do Supergrupo Roraima, já os da área Contigo estão no membro inferior das rochas vulcânicas ácidas Surumu, que servem de substrato para a cobertura sedimentar. O contato entre essas rochas segundo D'Antona (2000) pode ser tanto por discordância erosiva quanto por falhamento.

Pinheiro *et al.* (1990), propuseram a utilização do nome Básicas do Cipó para rochas que afloram na serra cognata, e também a terminologia para *sill* Monte Roraima. Isto permite evitar o uso do termo isolado Roraima, uma vez que este se encontra consagrado na literatura por caracterizar o recobrimento no limite entre o território brasileiro e venezuelano, que é a cobertura rítmica sedimentar denominada atualmente como Supergrupo Roraima, de idade Pré-cambriana.

E ainda, Pinheiro *et al.* (1990) apresentam um estudo petrográfico dessas rochas definindo como os principais constituintes, plagioclásios cálcicos, piroxênios (sendo a augita predominante em relação à pigeonita), opacos (magnetita e ilmenita) e anfibólio. As rochas são de granulação fina-média a grossa e textura subofítica, por vezes podendo apresentar intercrescimento micrográfico e uralitização dos piroxênios, indicando processos de diferenciação se intensificando à medida que se vai para o centro dos corpos.

Hawkes (1966) foi mais além. O autor separou o magmatismo encontrado na Venezuela em seis categorias: dolerito de bordas, restritos as margens das intrusões; ortopiroxênio dolerito, contendo ortopiroxênio, labradorita e podendo haver augita; ferrodoleritos, contendo ferroaugita; hornblenda-granófiros, em que anfibólios e piroxênios não são as fases principais e por fim, leucogranófiros, por conterem pequenas segregações de granófiros

leucocráticos (intercrescimentos de quartzo e microclínio-micropertita acompanhados por pequena quantidade de albita). Hawkes (1966) também afirma que o ortopiroxênio dolerito, ferrodolerito e leucogranófiro formam o *trend* principal na região. É relatado que estas rochas possam ser diferenciadas, pois junto destas ocorreu cristalização fracionada por seleção gravitacional dos minerais que foram formados precocemente e ainda por correntes de convecção.

Quadro Estratigráfico para o estado de Roraima			
Era	Unidade		Litologia
Cenozóica	Cobertura Recente		Areias, argilas e cascalhos
	Formação Trincheira		
Mesozóica	"Suíte Básica Apoteri" 200 MA, Marzoli <i>et al.</i> (1999)		Diabásios, dioritos e gabros
Proterozóica	Diabásio Avanavero	Sill Monte Roraima	Diabásios, dioritos e gabros
	Em Roraima, 1800 ± 70 MA, Basei & Teixeira (1975) e 1804 ± 1 MA, Onstott <i>et al.</i> (1984)	Básicas Cipó Sill Pedra Preta Sill Cotingo	
	Supergrupo Roraima	Formação Matauí	
	1873 ± 3 MA, Santos <i>et al.</i> (2003)	Formação Uailã	Arenitos arcoseanos com intercalação de tufos, ignimbritos e arenitos conglomeráticos
		Formação Quino	Quartzoarenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos arcoseanos, siltitos e folhelhos associados
		Formação Nicarã	Folhelhos micáceos e siltitos
		Formação Pauré	Quartzoarenitos, arenitos conglomeráticos e arenitos arcoseanos
		Formação Verde	Argilitos e siltitos
		Formação Arai	Vulcanitos e tufos ácidos a intermediários
		Supergrupo Uatumã	Grupo Surumu (vulcânicas ácidas, intermediárias e piroclásticas)
Em Roraima, 1977 MA, Schobbenhaus <i>et al.</i> (1994) e 1984 MA, Santos <i>et al.</i> (2001)			

Tabela 1: Coluna estratigráfica das rochas do estado de Roraima, simplificada de Pinheiro *et al.*, (1990).

Os diques e *sills* de idade pré-cambriana representam o chamado magmatismo Avanavero e cortam unidades como o Supergrupo Uatumã e o Supergrupo Roraima (Formação Arai, Formação Verde, Formação Nicarã, Formação Quino, Formação Uailã e Formação Matauí).

A reativação de falhamentos na fase de instabilidade durante a deposição da bacia propiciou a penetração do magma básico em diferentes níveis sedimentares dando origem aos diques e *sills* da Seqüência Intrusiva Roraima. As soleiras atingem entre 150 a 500m e evidencia a grande quantidade de magma que ascendeu, assim como a profundidade que as fraturas atingiram para a invasão desse magma.

Basei e Teixeira (1975) identificaram uma variação de idade entre 1100 e 2100 MA utilizando K-Ar para o magmatismo Avanavero, sendo a idade mais confiável nesse trabalho 1800 MA para os diques e *sills*. Esses autores atribuíram as idades mais antigas ao enriquecimento de argônio radiogênico, e as idades mais novas à perda desse mesmo elemento por eventos tectono-termais mais recentes.

A consolidação do Escudo das Guianas durante a orogenia Transamazônica a cerca de 1800 MA desenvolveu bacias de deposição continental a epicontinental nas quais foram depositadas as seqüências dos arenitos Roraima. A idade de 1890 MA obtida em isócrona Rb-Sr para o magmatismo ácido Surumu então indicariam que os arenitos do Supergrupo Roraima teriam sido depositados e intrudidos pouco após a sua deposição pelas rochas básicas.

O terreno onde se situa Roraima, segundo, Montalvão *et al.* (1975), sofreu metamorfismo dinâmico, o que poderia estar relacionado ao início da Geofratura Equatoriana, de rumo E-W, que rompeu a placa Amazônica em dois blocos cratônicos. Tal tectonização veio acompanhada por zonas de falhamentos transcorrentes e seria responsável pelo vulcanismo e plutonismo anorogênico citados anteriormente.

Basei e Teixeira (1975) mostraram por meio de estudos geocronológicos, que para a unidade geotectônica do embasamento cristalino, as idades K-Ar estão concordantes ao redor de 1900 MA. Essas idades são atribuídas ao resfriamento regional relativo ao ciclo Transamazônico. Há também um diagrama isocrônico Rb-Sr em rocha total, com idade próxima a encontrada pelo método K-Ar, de razão inicial $Sr^{87}/Sr^{86} = 0.702$, o que comprovaria o ápice desse evento.

Na literatura dados importantes, sobre uma segunda manifestação magmática também relacionada à consolidação do Escudo das Guianas, são propostos e encontrados em Priem *et al.* (1973). Foram datadas 14 amostras nesse trabalho que apresentam isócrona Rb-Sr de 1599 ± 18 MA, bem como datações K-Ar para cinco amostras de idades próximas a 1540 MA. Segundo os autores, essas idades poderiam corresponder à segunda reativação denominada evento Parguazense ocorrido entre 1500 e 1600 MA. Esse evento

corresponde a intercalações piroclásticas e a intrusão de granitóides rapakivíticos chamados de Surucucus em Roraima, Aboneri a norte do Amazonas e El Parguaza na Venezuela.

Summary

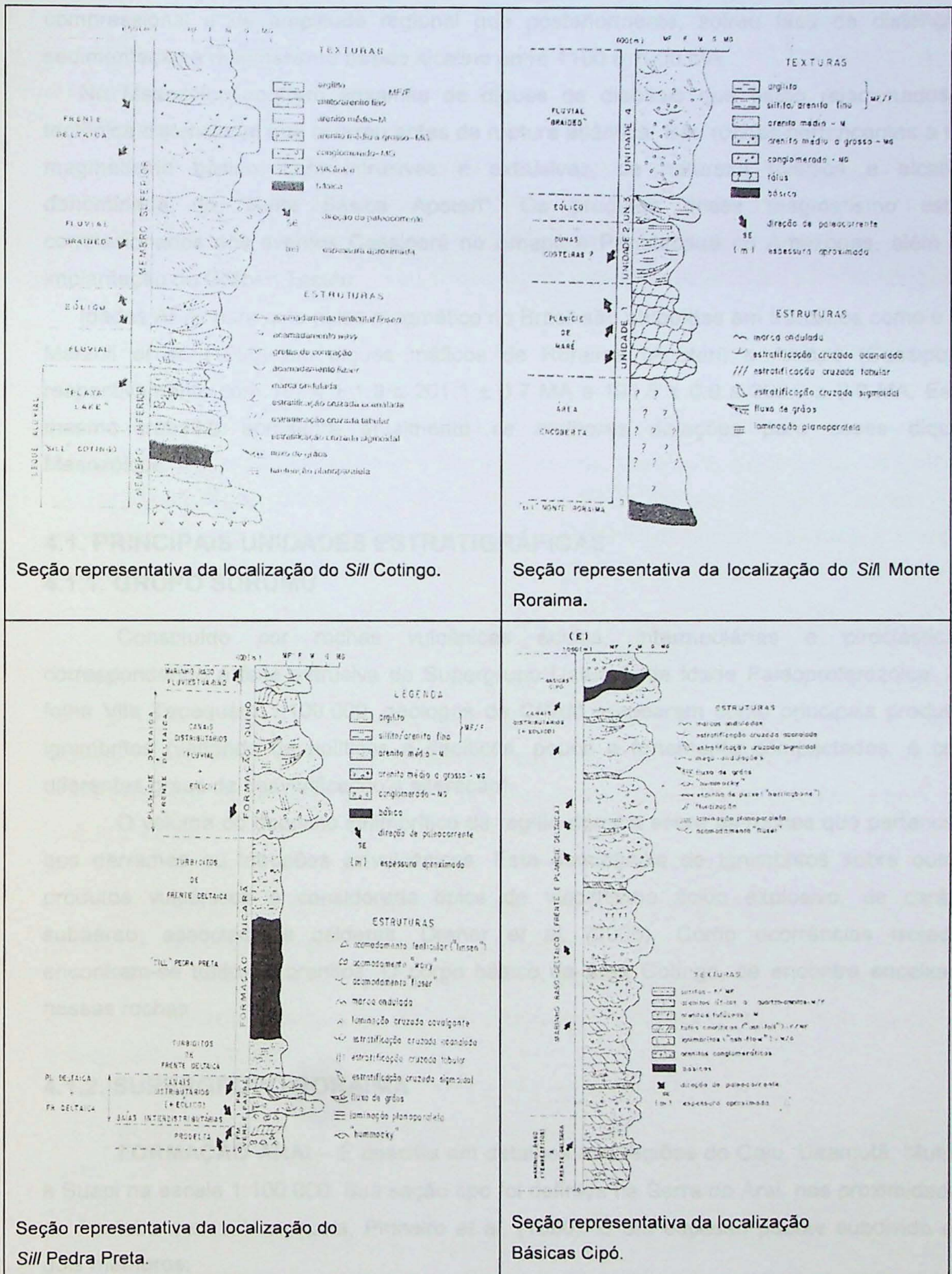


Figura 4: Seções estratigráficas da Unidade Diabásio Avanavero (extraído de Pinheiro *et al.*, 1990)

Pinheiro *et al.*(1990), adicionalmente faz referência a uma terceira reativação desenvolvida a aproximadamente 1200 MA designada por K'Mudku na Guiana, Nickerie no Suriname, Orinoquense na Venezuela e Jari-Falsino no Amapá. Trata-se de uma tectônica compressional e de amplitude regional que posteriormente, sofreu fase de distensão, sedimentação e magmatismo básico alcalino entre 1100 e 1000 MA.

No Mesozóico ocorrem enxames de diques de diabásio que estão relacionados à tectônica distensional que ocorreu antes da ruptura atlântica. São rochas pertencentes a um magmatismo básico, com intrusivas e extrusivas, de natureza toleítica e alcalina denominada de "Suíte Básica Apoteri". Os produtos desse magmatismo estão correlacionados aos eventos Cassiporé no Amapá e Penatecaua no Amazonas, além da implantação do Gráben Tacutu.

Idades Ar-Ar para este pulso magmático no Brasil são atribuídas em trabalhos como o de Marzoli *et al.* (1999) em diques máficos de Roraima (Apoteri) e Amapá (Cassiporé) respectivamente com 197.4 ± 1.9 a 201.1 ± 0.7 MA e 191.5 ± 0.9 a 202.0 ± 2.0 MA. Esse mesmo trabalho apresenta atualmente as melhores datações para esses diques Mesozóicos.

4.1. PRINCIPAIS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

4.1.1. GRUPO SURUMU

Constituído por rochas vulcânicas ácidas, intermediárias e piroclásticas, correspondendo à fase extrusiva do Supergrupo Uatumã, de idade Paleoproterozóica. Na folha Vila Tepequém 1:100.000, geólogos da CPRM mapearam como principais produtos ignimbritos (variando de riolíticos a dacíticos, pouco a fortemente compactados, e com diferentes graus de desvitrificação e alteração).

O volume do depósito ignimbrítico da região domina sobre as rochas que pertencem aos derrames ou intrusões sinvulcânicas. Esta dominância de ignimbritos sobre outros produtos vulcânicos é considerada típica de vulcanismo ácido explosivo, de caráter subaéreo, associado à calderas, Dreher *et al.* (2005). Como ocorrências isoladas encontram-se tufitos e arenitos. O corpo básico da área Cotingo, se encontra encaixado nessas rochas.

4.1.2. SUPERGRUPO RORAIMA

FORMAÇÃO ARAI – É descrita em detalhes nas regiões do Caju, Uiramutã, Mutum e Suapi na escala 1:100.000. Sua seção tipo foi definida na Serra do Arai, nas proximidades da fronteira com a Venezuela, Pinheiro *et al.* (1990). É um espesso pacote subdivido em dois membros:

Inferior - Ambiente transicional de leque aluvial, composto por quartzo-arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados, folhelhos, argilitos, siltitos, conglomerados intraformacionais, brechas sedimentares e paraconglomerados.

Superior - Ambiente típico continental, é constituído por quartzoarenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados oligomíticos, arenitos arcoseanos e feldspáticos e argilitos e siltitos subordinados em camadas centimétricas.

FORMAÇÃO VERDE – Possui extensa distribuição e pode ser reconhecida desde a fronteira com a Guiana, nas margens do rio Mau, até oeste, na fronteira com a Venezuela. Trata-se de pacotes pelíticos com cerca de 50 metros de espessura, Reis *et al.* (1985) e Pinheiro *et al.* (1990). Seus argilitos e siltitos são de depósitos de pródelta e frente deltáica.

FORMAÇÃO PAURÉ – São os arenitos que sobrepõem os pelitos da Formação Verde. O trabalho de Pinheiro *et al.* (1990) ressalta que esta unidade raramente aflora em superfície, e quando assim, é recoberta por rochas da Formação Nicarã e colúvios. Encontra-se nas proximidades Caju – Serra Verde, Igarapé Pauré, ao longo do rio Quino e na vila Uiramutã. Seus depósitos são de fácies deltáica (frente e planície), constituídos principalmente por quartzo-arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e arenitos arcoseanos.

FORMAÇÃO NICARÃ – Se encontra em extensos campos e nos igarapés Piolho, Nicarã e Quinozinho, ao longo do rio Quino e nos baixos cursos do rio Uailã. É representada por folhelhos micáceos e intercalação de siltitos e arenitos finos, muitas vezes intemperizados de frente deltáica turbidítica, Reis *et al.* (2002). O *sill* básico da área Pedra Preta pode ser reconhecido facilmente, pois ocorre encaixado nessa unidade, porém não uniformemente.

FORMAÇÃO QUINÔ – Está localizada na serra e monte Pacaraima em encostas elevadas quando comparadas às demais formações, na forma de contrafortes, Pinheiro *et al.* (1990). É constituída por quartzo-arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados, arenitos arcoseanos, siltitos e folhelhos subordinados apontados como um ciclo regressivo-transgressivo, Reis (2002).

FORMAÇÃO UAILÃ – É a unidade sedimentar com maior superfície de distribuição dentro do Supergrupo Roraima a norte das serras do Cipó, Espigão e Sol. É uma intercalação de piroclásticas como tufo cineríticos e ignimbritos não contínuos em arenitos litofeldspáticos e conglomeráticos. Caracterizada por ambiente deltáico-marinho raso, Pinheiro *et al.* (1990) e Reis (2002).

FORMAÇÃO MATAUÍ – Aflora em regiões de elevada topografia (atingindo altitudes de até aproximadamente 2.700 metros) e densa cobertura vegetal no monte Roraima. Sua espessura chega a atingir mais de 100 metros e seu contato com a Formação Uailã dá-se através do *sill* Monte Roraima. Trata-se de rochas areníticas bem estratificadas, de granulação fina a média, de coloração esbranquiçada, com estratificações cruzadas e de fácies transicional de ambiente de planície de maré.

4.1.3. DIABÁSIO AVANAVERO

Bonfim *et al.* (1974) reuniu na então Seqüência Intrusiva Roraima três dos *sills* que atualmente perfazem essa unidade. O autor distinguiu tais *sills* intercalando o Supergrupo Roraima em três níveis, e que foram designados por *Sill* Arai (inferior), *Sill* Quino-Uailan (médio) e *Sill* Roraima (superior). Já Santos *et al.* (1977) sugeriu a terminologia Diabásio Avanavero devido à referência com trabalhos realizados de rochas correlacionáveis no Suriname.

Atualmente, esse grupo é composto por quatro soleiras de rochas básicas denominadas por Pinheiro *et al.* (1990) de *Sill* Pedra Preta, *Sill* Cotingo, “Básicas Cipó” e *Sill* Monte Roraima, os quais cortam as rochas de diversos Complexos, entre eles, os arenitos do Supergrupo Roraima, Supergrupo Uatumã, Maracá e Granito Viaquário, os quais possuem idade pré-cambriana, Basei e Teixeira (1975) e Montalvão *et al.* (1975). Juntamente com esses *sills* ocorrem diques que se agrupam para formar a unidade geológica Diabásio Avanavero.

Atualmente, como já dito anteriormente ainda há rochas básicas sem datação em muitas regiões do Escudo das Guianas que podem pertencer a essa unidade.

SILL PEDRA PRETA - Ocupa uma ampla distribuição no nordeste do estado, uma área de aproximadamente 500 km², e é muito usado na literatura como guia estratigráfico para o grupo de rochas sedimentares do Supergrupo Roraima. A área se encontra nas folhas NB.20-Z-D-II e NB.20-Z-D-III, está entre vila Uiramutã e Rio Uailã. Suas rochas estão associadas a um solo de forte coloração avermelhada por causa de alterações sofridas por suas rochas, por vezes essas últimas estão expostas em formas de lajedos em meio a uma vegetação muito densa. Pinheiro *et al.* (1990) relata que ainda não se sabe ao certo a exata espessura do *sill*, mas estima-se que o corpo básico possua cerca de 150 metros. Sua extensão é de cerca de 80 km, com largura média de 2,5 km e direção WNW-ESSE. Sua superfície aflorante, no Brasil, é de 200 km², estendendo-se também para Venezuela e Guiana.

SILL COTINGO - É um corpo tabular coberto por vegetação arbustiva e está intercalado também em rochas do Supergrupo Uatumã (Grupo Surumu), em rochas efusivas como andesitos e riodacitos e nas rochas sedimentares, por vezes não consolidadas da Formação Arai, segundo direção aproximada N60°E, Menezes Leal (2002). Sua localização é a extremo nordeste da folha NB.20-Z-D-VI, entre as fazendas Maracanã e São Jorge, e na folha NB.20-Z-D-II, perto de igarapé Socó. A área na qual se encontra inserido esse corpo básico em forma de *sill* (ou possivelmente de um dique) no Brasil ocupa 140 km de extensão, e aflora em cerca de 140 km², orientado segundo NW-SE. Esse corpo máfico mergulha para NE com 5° a 10° de inclinação nas proximidades da fazenda São Jorge e devido à atitude da região das rochas vulcânicas Surumu, N 70° W/5° NE, provavelmente trata-se de um *sill* com espessura variando de 60m a 265m, no entanto, não se descarta a hipótese de que esse corpo possa ser um dique. Tal afirmação também é baseada pela presença de um falhamento N50°W/75°NE que pode ter sido conduto para a ascensão do magma, Melo *et al.* 1978 e Reis (2002).

BÁSICAS CIPÓ - Afloram ao longo dos altos cursos dos rios Uailã e Cana a altitudes maiores que 1000 metros. Diferentemente do padrão de acamamento horizontal, as rochas mergulham aproximadamente 30°, e freqüentemente aparecem falhadas. O padrão estrutural foi descrito por Bonfim *et al.* (1974) como anelar, e devido às tais características não foi descartada a possibilidade dessa unidade ser um dique. As rochas fazem contato com os quartzoarenitos, arenitos conglomeráticos e arenitos arcoseanos da Formação Uailã.

Pinheiro *et al.* (1990) cita o fato de que cronoestratigraficamente as Básicas Cipó podem ser inferidas como mais novas do que os *sills* Cotingo e Pedra Preta. Além disso, apesar de serem descritas como fazendo contato com o *Sill* Monte Roraima através da Serra Cipó e Monte Roraima, tal correlação ainda é duvidosa. Sua espessura atinge cerca de 150 metros.

SILL MONTE RORAIMA - Possui localização nas cabeceiras do rio Cotingo a extremo oeste da folha NB.20-Z-B-V e devido ao seu difícil acesso suas descrições são encontradas em trabalhos da Venezuela. Segundo Pinheiro *et al.* (1990), é inferido que esta soleira básica encontra-se em nível similar as rochas sedimentares do monte Roraima devido sua elevada altitude (cerca de 2700 metros) e sua intensa cobertura sedimentar e extensas zonas coluvionares que impedem a sua visualização.

4.1.4. SUÍTE BÁSICA APOTERI

Seu nome foi dado por Braum e Ramgrab (1972) nos andesitos localizados ao norte do rifte North Savannas. Posteriormente foi adicionado para se referir à andesitos

encontrados na Formação Apoteri na Guiana, e por fim também para o magmatismo Mesozóico de Roraima.

Por terem sido adicionados na unidade diques de diabásios e derrames, alguns autores passaram a se referir a Formação Apoteri como “Suíte Básica” e “Complexo Vulcânico”. Montalvão *et al.* (1975) foi o primeiro a incluir tais diques nessa unidade. Tais diques encontram-se encaixados em fraturas e falhas de direção NE-SW, seccionando a seção sedimentar do Supergrupo Roraima, Pinheiro *et al.* (1990).

Além dos enxames de diques máficos, rochas efusivas também constituem os derrames vulcânicos de composição basáltica da “Suíte Básica Apoteri”. Assim como o magmatismo Avanavero, também está na porção nordeste do estado de Roraima, nas folhas NB.20-Z-D-V, NB.20-Z-D-VI, NA.20-X-B-III, NB.21-V-A-I e NB.21-Y-C-IV, e na parte a oeste da capital Boa Vista ocupando a folha NA.20-X-A. São corpos intrusivos em rochas dos Complexos Maracá, Supergrupo Uatumã, Supergrupo Roraima e Granito Viaquário, com direção preferencial para N40°-50°E e N70°-80°E de extensões bastante variáveis, Menezes Leal (2002). O vulcanismo Apoteri possui sua espessura em torno de 1.500 metros de acordo com seções sísmicas uniformes feitas no rifte, Reis *et al.* (2002).

Na região norte de suas localidades, encontra-se seccionando a Formação Arai (seqüência arenosa) na parte leste de vila Uiramutã. Também possui continuidade em meio ao Sill Pedra Preta e Formação Uailã, nas proximidades do rio Maú.

Movimentos distensivos aplicados na crosta continental por causa de movimentos do manto superior que ocorreram antes e durante ao desmembramento do piso oceânico do Atlântico Norte são referidos como os geradores destes diques Mesozóicos, Berrangé e Dearnley (1975). Tal processo veio acompanhado com um evento de grande amplitude denominado *Episódio Tacutu*, onde falhas causaram a subsidência do rifte Tacutu – *North Savannas* com extrusão de basaltos e sedimentação, Reis *et al.* (2002).

Portanto, a distribuição das rochas desse magmatismo estão condicionadas as margens do Gráben Tacutu, e atualmente encontra-se coberta pela Formação Roraima (Cenozóica).

5. METODOLOGIA

5.1. AMOSTRAGEM

O material foi coletado em fevereiro de 2007 pelo Professor Umberto G. Cordani, do IGc-USP, pelo Professor Manoel S. D'Agrella, do IAG-USP e pelo doutorando Franklin B. dos Santos para estudos paleomagnéticos e geocronológicos. São rochas pertencentes ao Diabásio Avanavero e a “Suíte Básica Apoteri” do nordeste do estado de Roraima, na região norte do Brasil, nas proximidades das fronteiras com a Venezuela e da República da Guiana. Trata-se de rochas intrusivas de composição basáltica, na forma de diques e

soleiras que cortam seqüências sedimentares do Supergrupo Roraima, principalmente arenitos, ou unidades pré-existentes.

5.2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A primeira etapa foi o levantamento bibliográfico que se desenvolveu até o final da realização deste projeto. Para isto, foram utilizadas a biblioteca do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, a biblioteca de Engenharia e Ciências da Terra da Universidade de Queensland, além de periódicos disponíveis na *Internet*.

Referentes ao acervo da biblioteca da Universidade de São Paulo foram utilizados principalmente teses, resumos de congressos e periódicos nacionais e internacionais. Já na biblioteca da Universidade de Queensland foram consultados livros textos e periódicos internacionais sobre as rochas do magmatismo Avanavero estudadas principalmente nas décadas de 60 e 70. Em especial na mesma Universidade foram consultados os sites GEOREF e *Web of Science*.

5.3. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Toda a preparação das amostras foi realizada no laboratório de separação mineral do Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da USP, o CPGeo, constando exemplares de rocha total e minerais separados (principalmente feldspatos e piroxênios impuros, de composições bastante heterogêneas). A separação foi feita basicamente por meio de processos como fragmentação, peneiramento, separação magnética e por gravidade e através de líquidos de alta densidade.

Foram analisadas em total sete amostras, seis de diabásios e uma de gabro (a seguir tabela 2) pelos métodos radiométricos Ar-Ar e K-Ar em minerais e rochas totais, além de Rb-Sr. O método Ar-Ar foi realizado em colaboração com o Professor Paulo Vasconcelos da Universidade de Queensland, Austrália, e os demais foram feitos no Centro de Pesquisas Geocronológicas no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Número de campo	Rocha	Material	Métodos
UC-RR-2	Diabásio	Rocha total	K-Ar, Rb-Sr
		Piroxênio impuro	K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr
		Plagioclásio	K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr
UC-RR-5	Diabásio	Rocha total	K-Ar, Ar-Ar
		Plagioclásio	K-Ar, Ar-Ar
UC-RR-6	Gabro	Rocha total	K-Ar, Rb-Sr
		Piroxênio impuro	K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr
		Plagioclásio	K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr
UC-RR-8	Diabásio	Rocha total	K-Ar, Rb-Sr
		Piroxênio impuro	K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr
		Plagioclásio	K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr
UC-RR-12	Diabásio	Piroxênio impuro	K-Ar, Ar-Ar,
		Plagioclásio	K-Ar, Ar-Ar
UC-RR-16	Diabásio	Rocha total	K-Ar, Ar-Ar
UC-RR-18B	Diabásio	Rocha total	K-Ar

Tabela 2: Tabela de amostras com seus respectivos métodos para análises geocronológicas.

5.4. CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA

As amostras de mão foram descritas e documentadas fotograficamente com câmera fotográfica digital comum modelo cybershot Sony 7.0 Mega pixels (Anexo II).

5.5. CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA

Foram feitas seções delgadas e polidas de todas as amostras do projeto no laboratório de preparação de amostras da Universidade de São Paulo para serem analisadas em microscópio óptico. Já para análises em Microsonda Eletrônica e Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), realizadas na Universidade de Queensland, foram utilizadas as sobras das amostras que foram analisadas por meio do método Ar-Ar. Elas foram acondicionadas em discos de acrílico que foram polidos e cobertos com filme de carbono (com o objetivo de evitar que a superfície que fosse analisada fosse eletricamente carregada durante as análises).



Figura 5: Discos de acrílico que foram polidos e cobertos com filme de carbono

5.5.1. MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)

Foram estudadas as composições mineralógicas das amostras (análises qualitativas), relações texturais e detalhes das inclusões de minerais secundários. Tal ferramenta auxiliou na descrição petrográfica. As análises foram feitas no equipamento JSM 6400LA no Centro de Microscopia e Microanálises da Universidade de Queensland.

5.5.2. EDS E MICROSSONDA ELETRÔNICA

Para as análises qualitativas de EDS foi utilizado o equipamento Philips XL30. Já a Microsonda foi utilizada para análises quantitativas dos minerais. Com os dados fornecidos puderam-se inferir quais minerais foram analisados no método Ar-Ar e, por conseguinte nos demais métodos, uma vez que foram utilizadas as mesmas amostras para todos os métodos geocronológicos deste trabalho. Além disso, esse equipamento pode fornecer fotos em alta definição que pôde identificar a heterogeneidade dos grãos analisados em nano-escala. Também foram feitas no Centro de Microscopia e Microanálises da Universidade de Queensland no equipamento JEOL 8800L que é interconectado à plataforma PC, sendo seus resultados automaticamente convertidos em planilhas de Microsoft Excel versão 2003.

5.6. GEOCRONOLOGIA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA

5.6.1. MÉTODO K-Ar

Uma grande quantidade de minerais contém potássio, sendo este um metal alcalino que apresenta três isótopos, o primeiro sendo ^{40}K que é radioativo e que decai para ^{40}Ca e ^{40}Ar . Nesse método a constante de decaimento é de 0.581×10^{-10} anos e a meia vida do ^{40}K é de 1.31×10^9 anos (Steiger e Jaeger, 1977).

No CPGeo, as amostras para o método K-Ar foram separadas em duas alíquotas. Para análise de potássio foram feitas duplicatas, através do fotômetro de chamas (ver procedimento no Anexo IV). A extração de argônio se dá por sistema de ultra-alto vácuo, por intermédio de forno de indução depois de ser adicionado o spike ^{38}Ar . Por conseguinte, o gás é extraído e purificado para que se possa fazer a análise espectrométrica em equipamento Nuclide, de pirex do tipo Reynolds.

A precisão experimental para as análises deste método depende principalmente da proporção de Ar radiogênico, que em condições normais seu valor encontra-se por volta de 0.5%. Esta metodologia é descrita em detalhes em Faure (1988) e McDougall e Harrison (1999).

Neste estudo, foram analisadas sete rochas (com 14 datações para esse método em minerais e rochas totais, tabela 2), todas preparadas em laboratórios do CPGeo nos meses de setembro e outubro de 2007 e janeiro de 2008. Os equipamentos básicos utilizados para britagem e moagem das rochas e de seus constituintes foram o britador de mandíbula, peneiras e um moinho de ágata. Para as análises em rocha total foram extraídos de todas as amostras seixos entre 0,2 a 0,5 cm que foram lavados posteriormente com metanol. Já para a separação de minerais, a granulometria das amostras encontra-se na faixa entre 25 a 35 mesh. As amostras passaram por homogeneização, de onde foram retiradas $\pm 5\text{g}$ do material para análises. Também foi de uso um separador magnético isodinâmico Frantz do tipo barreira magnética para separação dos minerais.

5.6.2. MÉTODO Ar-Ar

5.6.2.1. PREPARAÇÃO E IRRADIAÇÃO

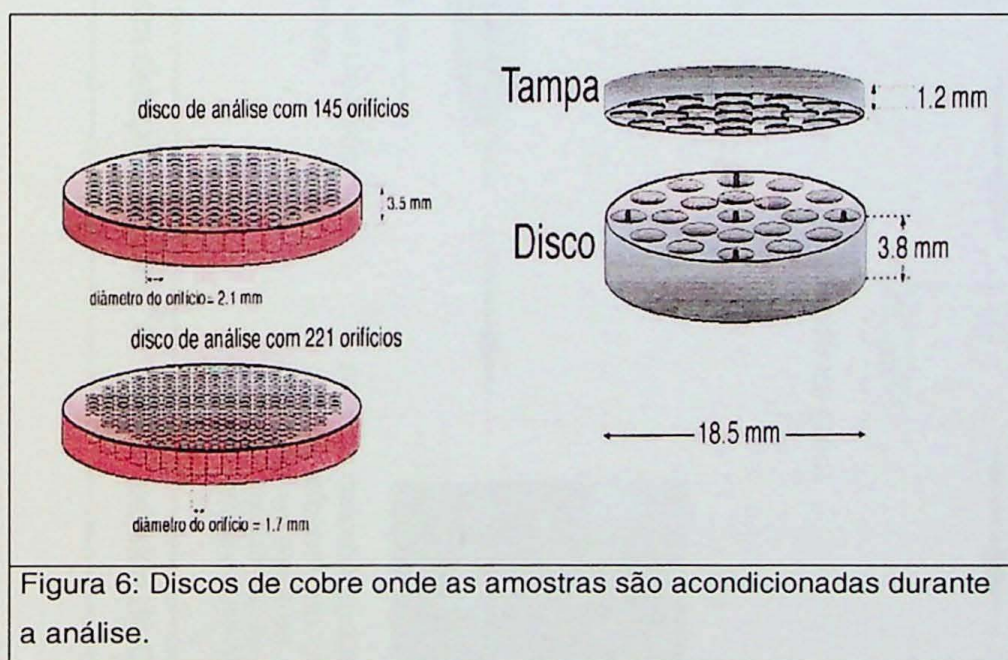
Para esse método, assim como para K-Ar, foram escolhidas amostras de feldspatos e piroxênios (augita, pigeonita e ortopiroxênio) a partir das análises de lâminas petrográficas e o tratamento aconteceu com os equipamentos disponíveis no laboratório do CPGeo.

As rochas foram cominuidas, lavadas com água destilada e limpas em equipamento de banho ultrassônico. Para a seleção dos minerais utilizou-se microscópio binocular e a granulometria se manteve na faixa entre 35 a 60 mesh com excessão da amostra UC-RR-5 que foi cominuida até uma granulometria entre 80 e 100 mesh. Numa segunda fase as amostras foram homogeneizadas, de onde foram retiradas $\pm 1\text{g}$ do material para análises.

Os grãos escolhidos foram acondicionados em discos de alumínio (figura 6) previamente com tampa e fundos identificados e com marco de referência para o mapeamento das amostras. Estes foram envolvidos em papel de alumínio e empilhados juntamente com outros cinco discos, novamente envolvidos em papel de alumínio e encapsulados a vácuo.

Feito isso, as amostras foram mandadas para centro CLICIT na Universidade do estado de Oregon, Estados Unidos para serem irradiadas por 14 horas em um reator nuclear do tipo TRIGA. O padrão usado no disco irradiado foi a Sanidina Fish Canyon (com a finalidade de monitorar a fluência de nêutrons no reator, sendo esse monitoramento utilizado para calcular o fator J), de idade 28.02 ± 0.28 MA, descrito em Renne *et al.* (1998), e conforme ilustrado em Vasconcelos (2002). Esse é um período em que a quantidade ^{39}Ar é mensurável em relação à quantidade ^{40}Ar em amostras mais velhas do que um milhão de anos.

Os padrões foram analisados pelo método de fusão a laser total, cujos fatores J são de 0.003579 ± 0.00000436 e 0.0036031 ± 0.00000444 . Outros fatores de correções para este estudo são: $(2.64 \pm 0.02) \times 10^{-4}$ para $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}}$, $(7.04 \pm 0.06) \times 10^{-4}$ para $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}}$, e $(8 \pm 3) \times 10^{-4}$ para $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{K}}$. As amostras foram então: 1) Aquecidas gradualmente sob um laser de íon contínuo do tipo 10-W com um canhão desfocado, ou 2) sob um canhão totalmente focado, seguindo os procedimentos adequados descritos Vasconcelos *et al.* (2002). As amostras de gás limpo para isótopos de argônio foram analisadas num espectrômetro de massa MAP-215-50. Pipetas de ar e um sistema de brancos foram analisados antes e depois de cada grão. Foram feitas correções para discriminação de massa, contaminação atmosférica e interferência nucleogênica.



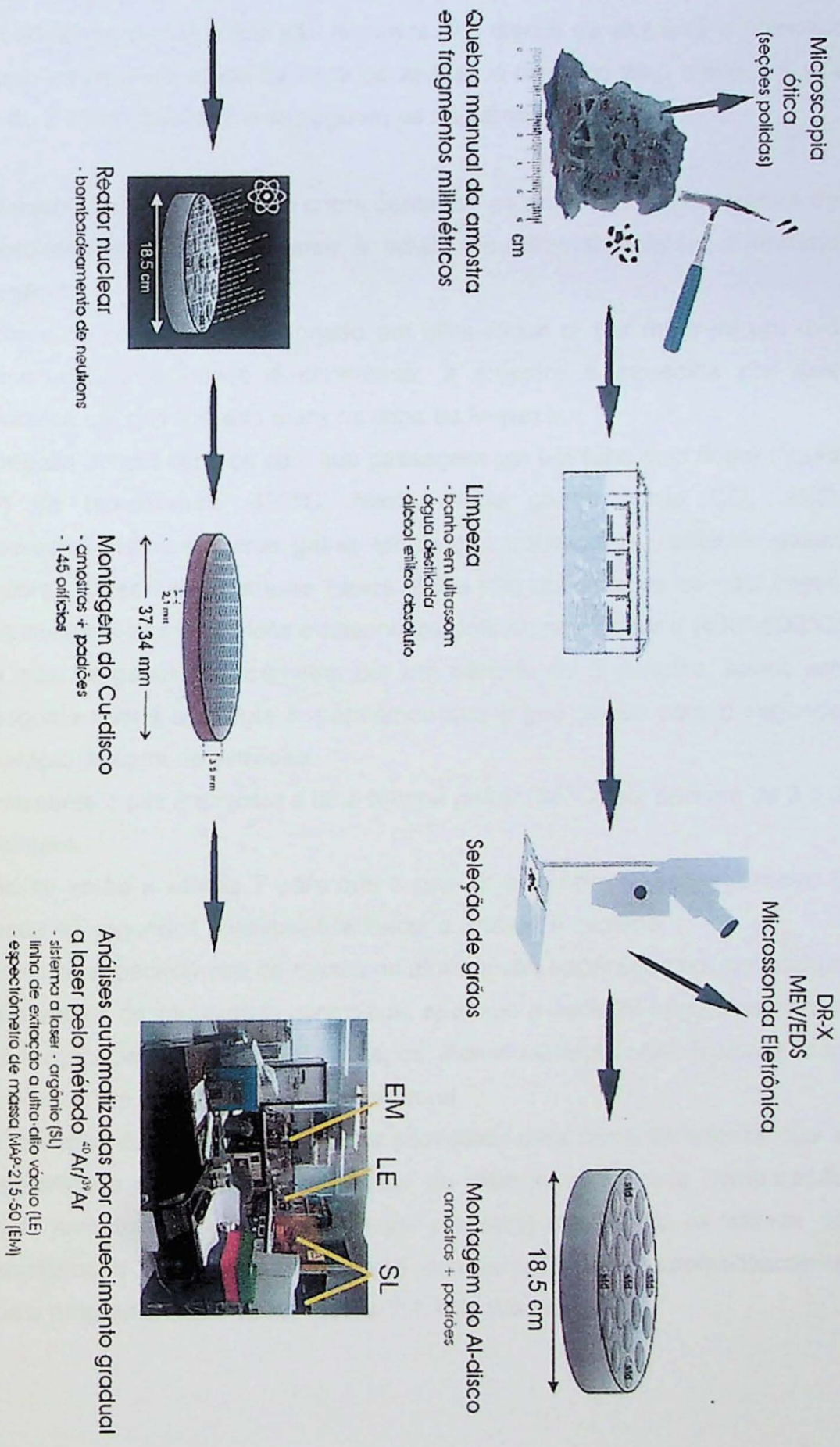


Figura 7 : Fluxograma de preparação de amostras para datação por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Figura extraída de Carmo (2005).

5.6.2.2. ANÁLISE DOS ISÓTOPOS DE ARGÔNIO

Devido à irradiação, as amostras repousaram por trinta dias para que o nível de irradiação fosse reduzido antes das análises (amostras radioativas continuam sofrendo irradiação). Posteriormente, os grãos são retirados dos discos de alumínio e colocados em discos de cobre, na primeira etapa da linha de análise o disco contém cento e quarenta e cinco orifícios de 2.1 mm (figura 6) e se seguem as seguintes etapas:

- 1) Pré-aquecimento do disco de cobre contendo as amostras à temperatura de aproximadamente 200°C com o intuito de eliminar voláteis e matéria orgânica.
- 2) O disco de cobre é acondicionado em ultra-vácuo e, por meio de um raio laser cuja intensidade é controlada, a amostra é aquecida por dois minutos e o gás liberado entra na linha de limpeza.
- 3) A limpeza do gás começa com sua passagem por um tubo *cold finger* (figura 7) de temperatura -132°C. Nesta etapa gases como CO₂, H₂O, hidrocarbonetos e outros gases ativos são congelados, restando gases nobres. Caso haja eventuais gases ativos não congelados no *cold finger*, os mesmos são destruídos e adsorvidos pela bomba *getter* a (400°-500°C) à qual os gases são expostos por um período de 5 minutos, sendo em seguida aberta a válvula 5, permitindo que o gás passe para o segundo estágio da linha de extração.
- 4) Novamente o gás é exposto a uma bomba *getter* (25°C) por período de 2 a 5 minutos.
- 5) Abre-se então a válvula 7 para que o gás se expanda no espectrômetro e após 45 segundos a válvula é fechada; a análise é iniciada.
- 6) Dentro do espectrômetro de massa os átomos são separados por um campo magnético de intensidade controlada, ajustado a cada 20 segundos para a detecção de cada um dos isótopos individualmente. Os isótopos são medidos em um multiplicador de elétrons.
- 7) Os isótopos detectados pelo coletor provocam uma corrente elétrica que é amplificada e corrigida para efeitos de discriminação pela comparação com amostras de ar atmosférico (*air pippetes*) e corrigido os valores de *background* (brancos), sendo esta comparação feita automaticamente pelo programa *Mass Spec*, versão 7.1.1 de Alan I. Deino.

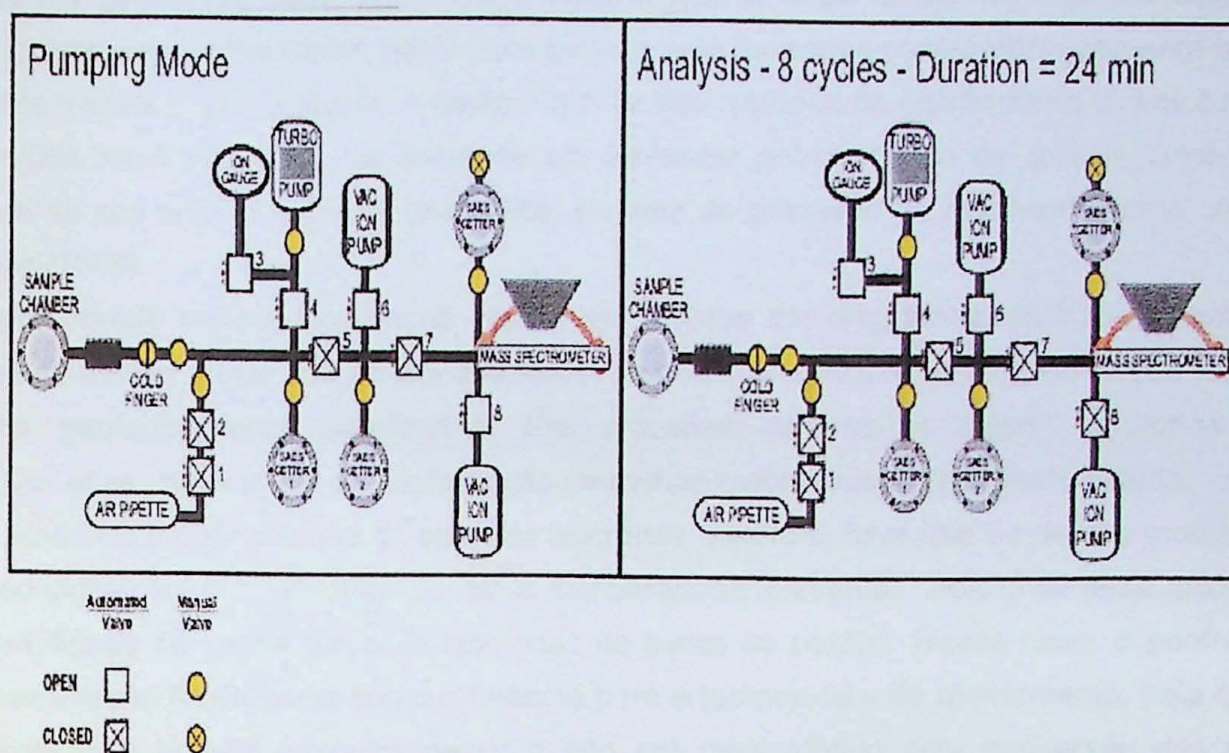


Figura 8: Representação esquemática da linha de análise de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. (extraído de Vasconcelos et al. 2002).

5.1.2.3. REDUÇÃO DE DADOS E SIGNIFICADO DAS IDADES

Terminada a análise, os dados obtidos dos isótopos de argônio são corrigidos para argônio atmosférico (^{36}Ar), argônio produzido pelo decaimento de cálcio (^{38}Ar) e fator J (gerado pela irradiação artificial).

Por conseguinte, os dados são plotados no programa *Mass Spec*, versão 7.1.1 de Alan I. Deino, em isócronas, porcentagens de argônio liberado *versus* idade aparente ou diagramas de densidade de probabilidade.

Neste trabalho a plotagem mais adequada para os dados foram de diagramas de porcentagens de argônio liberado *versus* idades aparentes, pois se tratam de amostras muito antigas que passaram por múltipla história hidrotermal (identificação de perdas e/ou excessos de argônio).

5.6.3. MÉTODO Rb-Sr

A metodologia Rb-Sr leva em consideração o decaimento radioativo do ^{87}Rb em ^{87}Sr por emissão β . A constante de desintegração do ^{87}Rb é 1.42×10^{-11} e sua meia-vida é de 48.8×10^9 anos, Steiger e Jaeger (1977).

Para esse método, torna-se possível obter idades isocrônicas em determinadas unidades geológicas caso sejam disponíveis amostras cogenéticas, ou seja, de sistemas com diferentes razões Rb/Sr, porém que tenham sido formadas contemporaneamente e com razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ iguais. A razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos isótopos de Estrôncio se refere à razão isotópica inicial da rocha, se tornando um indicador petrogenético de grande valor, pois indica se sua origem é juvenil (mantélica) ou vem de processo de retrabalhamento crustal, Faure (1988).

Na grande maioria dos casos podem ser obtidas em diagramas isocrônicos, com as retas de melhor ajuste dos pontos analíticos, de boa colinearidade, e cuja inclinação fornece idade geologicamente significativa. Em amostras de rochas totais, isócronas são relacionadas com a idade de cristalização de rochas magmáticas, caso deste estudo.

Ainda há a possibilidade de se obter isócronas minerais, fator que se deve a mobilidade e redistribuição dos isótopos de Sr a temperaturas elevadas. Adicionalmente ocorre a possibilidade de serem traçadas isócronas de pares de pontos. Nesse caso, o ponto com elevada razão Rb/Sr serve como referência para a temperatura de resfriamento, pela qual o processo de difusão isotópica passa a não ser mais efetivo pela conversão das fases minerais nos sistemas fechados. Deve-se considerar que no caso do Sr, assim como no da difusão de argônio, as temperaturas de fechamento podem variar de acordo com a taxa de resfriamento, circulação de fluidos, deformação, tamanho do grão, entre outros fatores.

Neste trabalho, foram analisadas três amostras, dois diabásios e um gabro (ver tabela 2) em minerais (6 exemplares) e em rocha total (2 exemplares). Foi obedecida à rotina de análises Rb-Sr do CPGeo (anexo V) e os procedimentos são apresentados em Tassinari *et al.* (1996).

Todas as amostras foram pulverizadas e submetidas a uma dosagem prévia dos elementos Rb e Sr por fluorescência de raios-X, análise semi-quantitativa, para se descobrir as razões Rb/Sr. Caso uma amostra não contivesse concentrações mínimas, suas concentrações deveriam ser determinadas por diluição isotópica com traçadores enriquecidos em Rb_{87} e Sr_{84} ("spike"), com procedimento então encontrado em Kawashita (1972), no entanto não foi necessário.

Para as determinações das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, utilizou-se o espectrômetro de massa VG-sector, para em seguida serem corrigidas por fracionamento isotópico durante a ionização térmica utilizando o valor $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,1194$. Os cálculos das idades isocrônicas foram feitos com o programa ISOPLOT 3.0 (Ludwig, 2003).

No ataque químico deste método utilizam-se principalmente os ácidos nítrico (HNO_3) a 50% concentrado e destilado, clorídrico (HCl) 2,62N e 6,0N, fluorídrico (HF) e perclórico (HClO_4) a 50 %.

No CPGeo, a reprodutibilidade analítica para o método geocronológico Rb-Sr é controlada a partir da repetição de análises do padrão internacional NBS-987 (carbonato de estrôncio),

tendo sido obtido um valor médio de 0.71026 ± 0.00003 no período das amostras aqui estudadas.

Também foram utilizadas nos cálculos as constantes recomendadas por Steiger e Jaeger (1977), $\lambda_{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{ anos}^{-1}$, $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Rb} = 0,056584$ e $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb} = 2,59265$. Os valores das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram normalizadas em função da relação $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$ igual a 0.1194.

6. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Esta monografia é resultado de todas as atividades realizadas no ano letivo 2008 para a disciplina Trabalho de formatura. O trabalho foi dividido em três etapas principais: apresentação do projeto inicial (março de 2008), relatório de progresso (agosto de 2008) e apresentação da monografia final (novembro de 2008). A tabela 3 sumariza as etapas desenvolvidas bem como suas relações temporais.

A primeira etapa em 2008 consistiu-se do levantamento bibliográfico preliminar durante os meses de janeiro e fevereiro para adquirir conhecimento sobre a geologia e geocronologia das rochas máficas intrusivas de Roraima e dos princípios de datação dos métodos K-Ar, Ar-Ar e Rb-Sr. Para tais, utilizou-se o acervo da biblioteca do Instituto de Geociências da USP, a biblioteca de Engenharia e Ciências da Terra da Universidade de Queensland, e a *Internet*.

Entre os meses de janeiro e junho desenvolveu-se a parte analítica na Universidade de Queensland que envolveu as análises; plotagens e interpretações para o método Ar-Ar; e análises de Microscopia Eletrônica e Microsonda.

As lâminas petrográficas foram analisadas nos meses de outubro de 2007 e fevereiro e março de 2008 e foram utilizadas para determinar a mineralogia e contexto temporal dos minerais presentes. As análises de Microscopia Eletrônica e Microsonda auxiliaram na precisão da determinação da composição das heterogeneidades encontradas nos grãos (mesmo sendo separados para análises os mais grãos puros). Tal etapa foi imprescindível no auxílio da identificação das fases minerais datadas.

Nos meses entre abril e junho realizaram-se as análises Ar-Ar, e ainda as análises de MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), EDS e Microsonda Eletrônica das amostras selecionadas para esse método.

No segundo semestre de 2008 houve o estudo da junção das análises K-Ar com Ar-Ar para compará-las, uma vez que com esse segundo método esperavam-se encontrar idades mais precisas para o vulcanismo Avanavero (na literatura com idades abrangentes entre 1400 e 2100 MA) e suas possíveis causas de dispersividade geocronológica.

Como parte dessa etapa, a parte analítica foi realizada nas instalações dos laboratórios do CPGeo no período entre junho e outubro, na qual incluíram as análises

isotópicas de Rb-Sr. A adição desses dados ajudou na interpretação das diferenças de idades encontradas nos métodos citados anteriormente.

A última parte consistiu na seleção e tratamento dos dados obtidos para que pudessem ser feitas as interpretações e conclusões finais.

As principais dificuldades encontradas neste projeto foram a não visitação do local de coleta das amostras e a ampla dispersividade de idades e o grande intervalo de erro dos métodos geocronológicos devido às amostras serem muito antigas (Paleoproterozóico) e terem sofrido complexa história tectônica. No entanto, as dificuldades não trouxeram prejuízos críticos ao desenvolvimento do projeto.

Janeiro	Levantamento bibliográfico e preparação das amostras para os métodos K-Ar, Rb-Sr (término, uma vez que começaram a serem feitas em outubro de 2007).
Fevereiro	Levantamento bibliográfico e estudo dos métodos adotados.
Março	Preparação das amostras para Ar-Ar e do projeto inicial.
Abril	Preparação das amostras e execução do método geocronológico Ar-Ar e preparação das amostras para análises em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) no Centro de Micro-análises na Universidade de Queensland.
Maiο	Estudo interpretativo dos resultados geocronológicos das amostras Ar-Ar, análises geoquímicas qualitativas (EDS) e de Microsonda no Centro de Micro-análises na Universidade de Queensland.
Junho	Início da preparação do relatório de progresso e acompanhamento das análises em andamento no CPGeo de Rb-Sr.
Julho	Acompanhamento das análises em andamento no CPGeo e interpretação dos dados analíticos obtidos até julho.
Agosto	Acompanhamento das análises em andamento no CPGeo e interpretação dos dados analíticos obtidos até agosto.
Setembro	Finalização das análises em andamento no CPGeo, interpretação dos dados analíticos obtidos e preparação do relatório da monografia.
Outubro	Preparação da monografia.
Novembro	Finalização da monografia.
Dezembro	Apresentação e defesa da monografia.

Tabela 3 - Cronograma de planejamento das atividades

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO PARA AS ROCHAS MÁFICAS INTRUSIVAS DIABÁSIO AVANAVERO E “SUÍTE BÁSICA APOTERI”

7.1 ESTUDOS PETROGRÁFICOS

O objetivo foi caracterizar as composições mineralógicas de cada amostra, juntamente com suas feições texturais para melhor compreensão dos eventos geológicos que cada mineral reflete.

Os produtos do magmatismo Paleoproterozóico apresentam composição onde predominam gabros e diabásios na forma de diques e *sills* no nordeste de Roraima, folhas NB.20-Z-D-IV e N.20-Z-DVI. Esses corpos estão intercalados com andesitos e riodacitos do Grupo Surumu. São rochas de coloração preta a verde escura, de granulação fina ($0.1 > \phi > 1.0$ mm) a média ($1.0 > \phi > 5.0$ mm) e texturas ofíticas a subofíticas (as ripas de plagioclásio encontram-se respectivamente totalmente ou parcialmente englobadas por cristais de piroxênios). Sua mineralogia como descrita em maiores detalhes no Anexo VI, é constituída em sua maioria por plagioclásio (labradorita e andesina), piroxênios (ortopiroxênio, augita e pigeonita), e anfibólio (hornblenda). Feldspato alcalino em crescimento gráfico com quartzo, biotita, clorita, apatita, epidoto e minerais opacos aparecem como minerais secundários.

A principal relação mineralógica de contexto regional é a transformação tardia piroxênio → anfibólio, sendo que esse último aparece concentrado nas bordas dos cristais de piroxênios. Nas amostras sem alteração (minerais primários intactos), os anfibólios não estão presentes ou não ultrapassam 15%, no entanto, nas duas amostras bem alteradas (advindas da parte oeste de Roraima), a quantidade aumenta para valores em torno de 30%. Em menor quantidade também são identificadas transformações dos piroxênios (pigeonita, ortopiroxênio ou augitas, que por vezes aparecem interdigitados com a pouca quantidade de biotita) para clorita.

A “Suíte Básica Apoteri” aqui somente representada pela amostra UC-RR-12 de um dique máfico, também abrange rochas extrusivas (derrames vulcânicos de composições basálticas) e está principalmente localizada nas folhas NA.20-X-B, NA.20-X-D e NA.21-V-A., cuja disposição na região está condicionada às margens do Gráben Tacutu. É uma amostra de coloração escura como as da unidade Diabásio Avanavero, de granulação fina a média e textura subofítica. A mineralogia é composta por plagioclásio (andesina), piroxênios (ortopiroxênio, augita e pigeonita) e anfibólio (hornblenda). Como minerais secundários há feldspato alcalino, quartzo, epidoto, clorita, apatita e minerais opacos.

A clorita é produto de alteração dos plagioclásios, ortopiroxênios e também aparece nas bordas e fraturas dos cristais de augitas, a formação desse mineral, que é rico em Al, significa que esse elemento deve ter alcançado certo grau de mobilidade, podendo ter-se derivado das rochas encaixantes gnáissicas da região. Portanto, as texturas de substituição

dos piroxênios, plagioclásios e anfibólios por clorita não refletem, necessariamente, variação de condições metamórficas, mas, sim, modificações químicas que acompanharam a circulação de fluidos. A pigeonita está no núcleo das augitas, ilmenita e magnetita envolvem plagioclásios e piroxênios, e a hornblenda é produto tardio dos piroxênios.

As rochas das duas unidades aqui descritas e estudadas não apresentam evidências de deformações e perfazem as amostras UC-RR-2, UC-RR-5, UC-RR-6 e UC-RR-8 (Diabásio Avanavero) e UC-RR-12 ("Suíte Básica Apoteri") localizadas no extremo nordeste da área estudada.

Para oeste, a mudança mineralógica das amostras UC-RR-16 e UC-RR-18B quando comparadas com as amostras da parte nordeste é visivelmente discrepante. As amostras estão bem alteradas, e não apresentam mais minerais primários, seus principais constituintes é augita, hornblenda, opacos e clorita, produtos de substituições tardias.

7.2 ANÁLISES DE EDS E MICROSSONDA

Primeiramente foram obtidas imagem de EDS, cujas análises são apenas qualitativas porque não se sabia ao certo se as análises de Microsonda poderiam ser feitas. Foram fornecidos através de seus gráficos apenas os elementos que cada amostra possui (ver Anexo X).

Posteriormente, pode ser utilizada a Microsonda para as análises quantitativas que foram adicionadas como mais uma ferramenta para definição da composição mineralógica de cada amostra. Trata-se dos fragmentos de minerais separados para as análises Ar-Ar. No entanto, os grãos utilizados foram outros, sendo assim os resultados aqui apresentados só servem como comparação baseada na química das amostras.

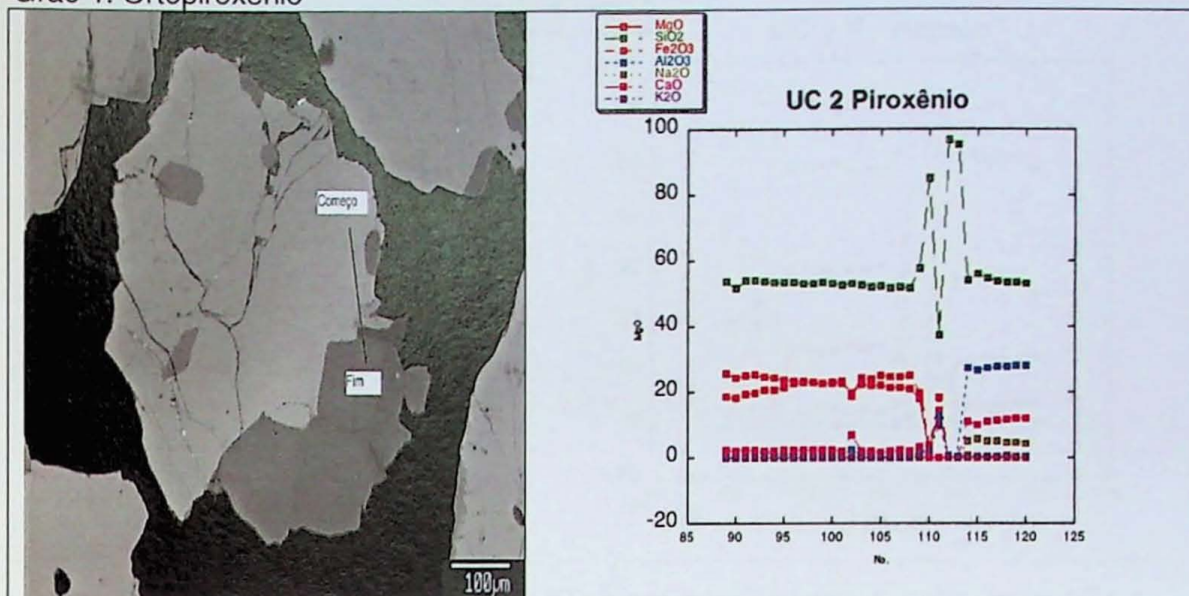
É importante ressaltar que a mineralogia das rochas máficas intrusivas de Roraima torna complexa suas análises geocronológicas devido à heterogeneidade de seus grãos. Foram analisados três grãos para cada amostra.

Nas fotografias em nano escala a seguir, as análises dos pontos de cada grão podem ser observadas do começo ao final mostrando a variação de composição.

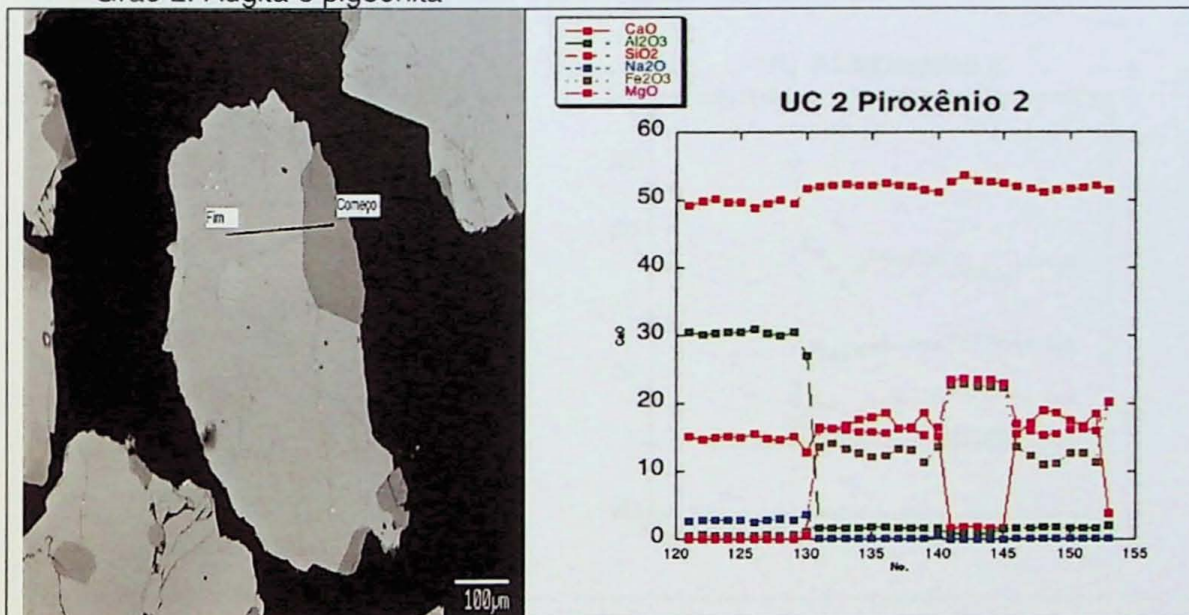
ANÁLISES DE MINERAIS EM MICROSSONDA

1) UC-RR-2 Piroxênios impuros

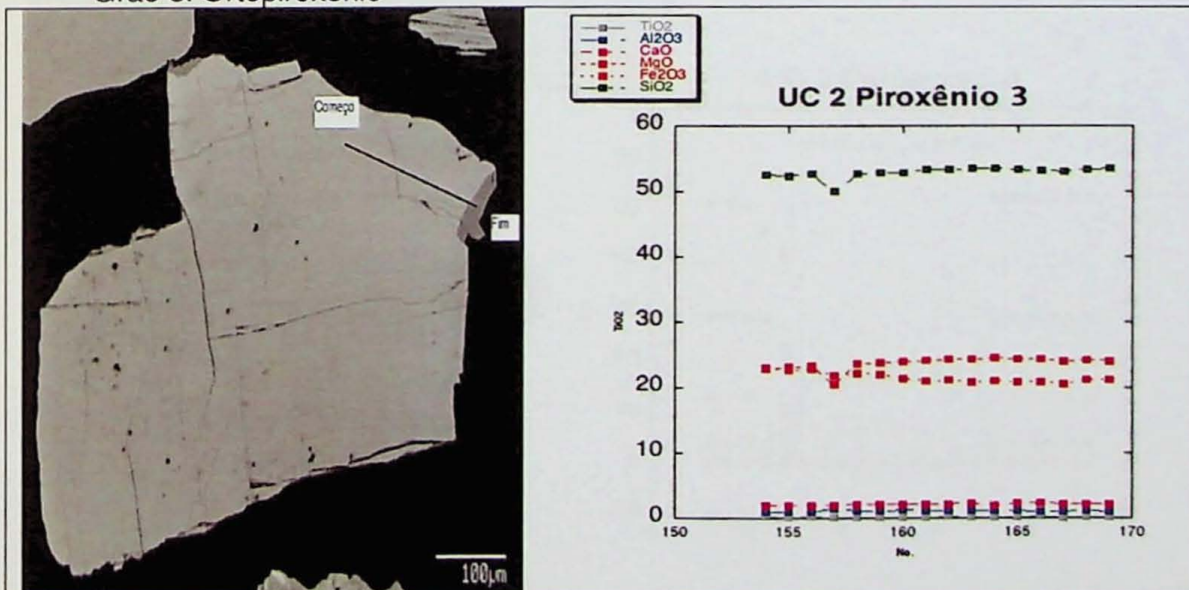
Grão 1: Ortopiroxênio



Grão 2: Augita e pigeonita

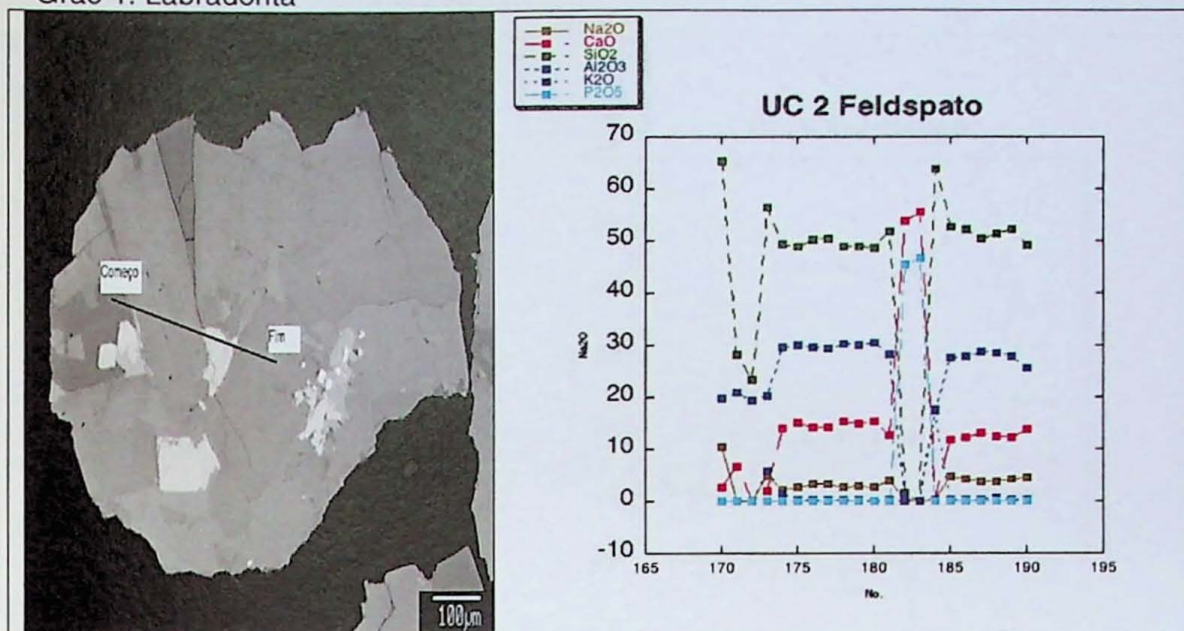


Grão 3: Ortopiroxênio

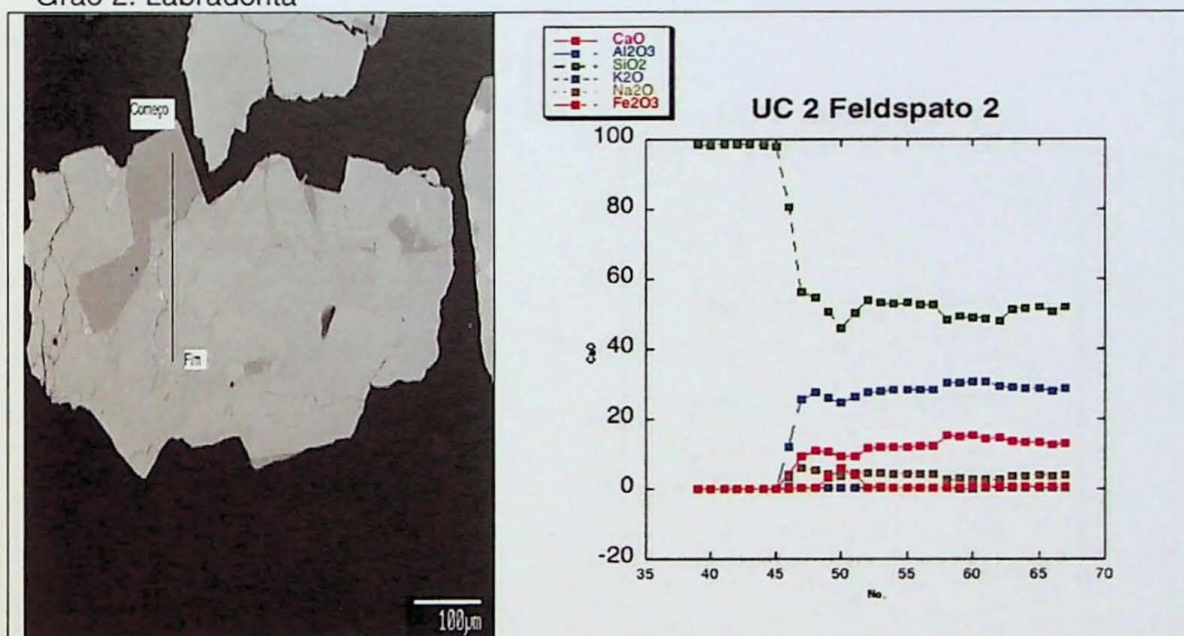


2) UC-RR-2 Feldspatos impuros

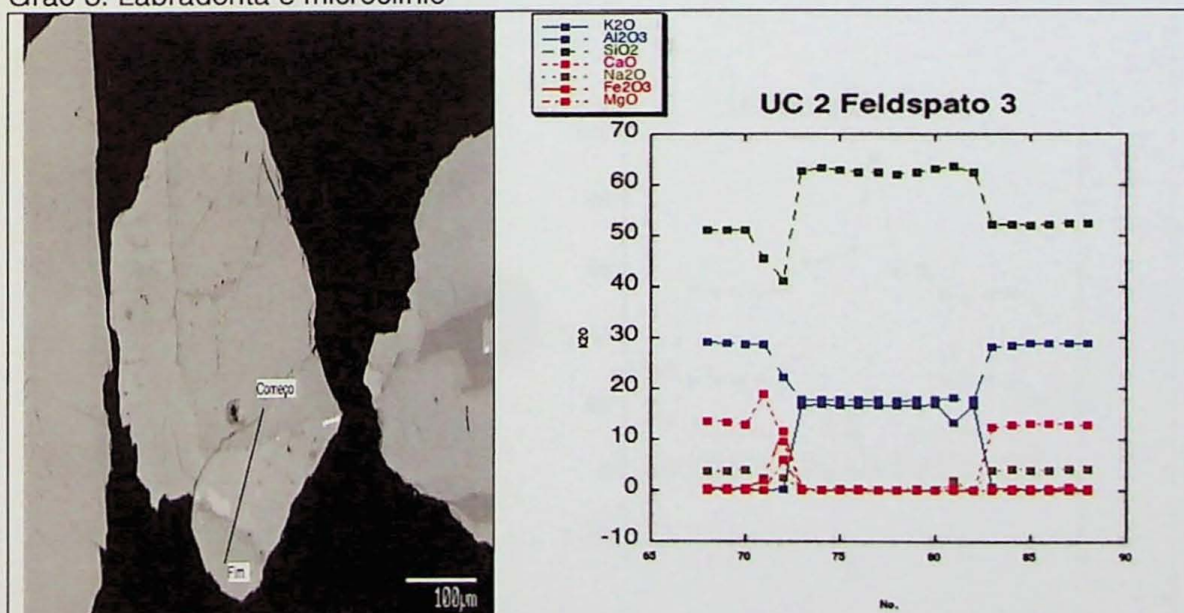
Grão 1: Labradorita



Grão 2: Labradorita

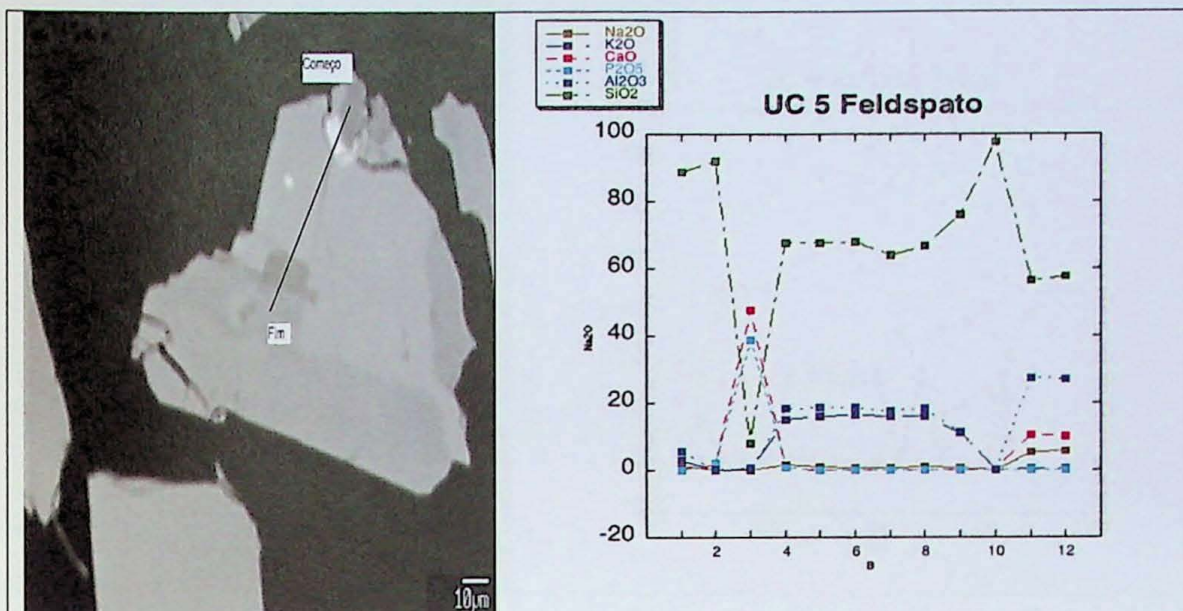


Grão 3: Labradorita e microclínio

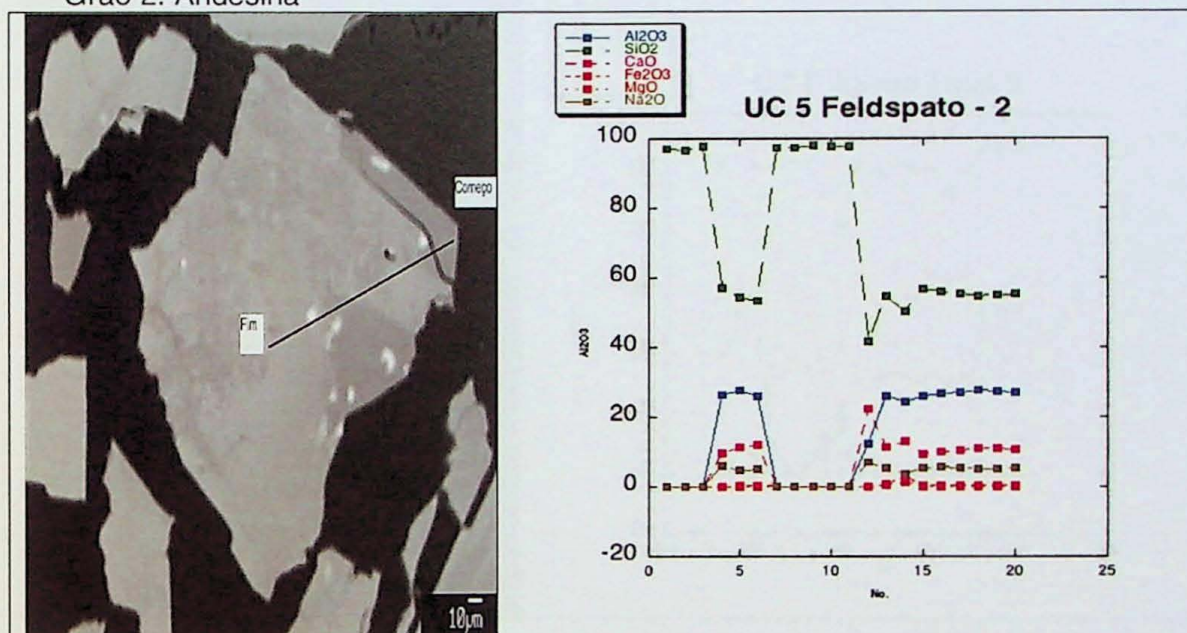


3) UC-RR-5 Feldspatos impuros

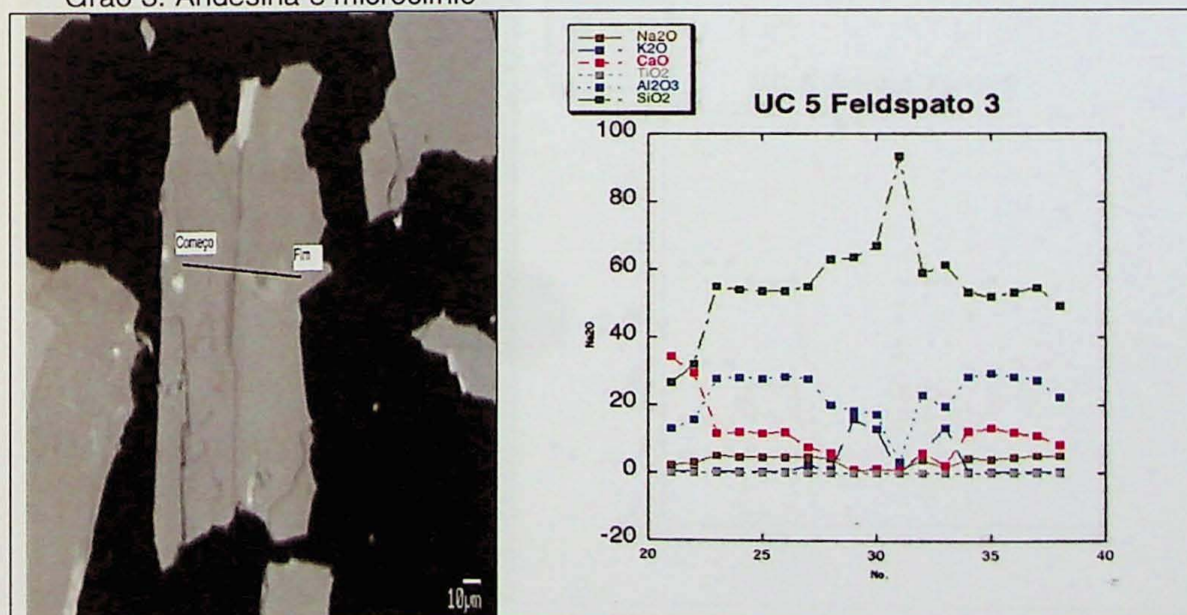
Grão 1: Labradorita e microclínio



Grão 2: Andesina

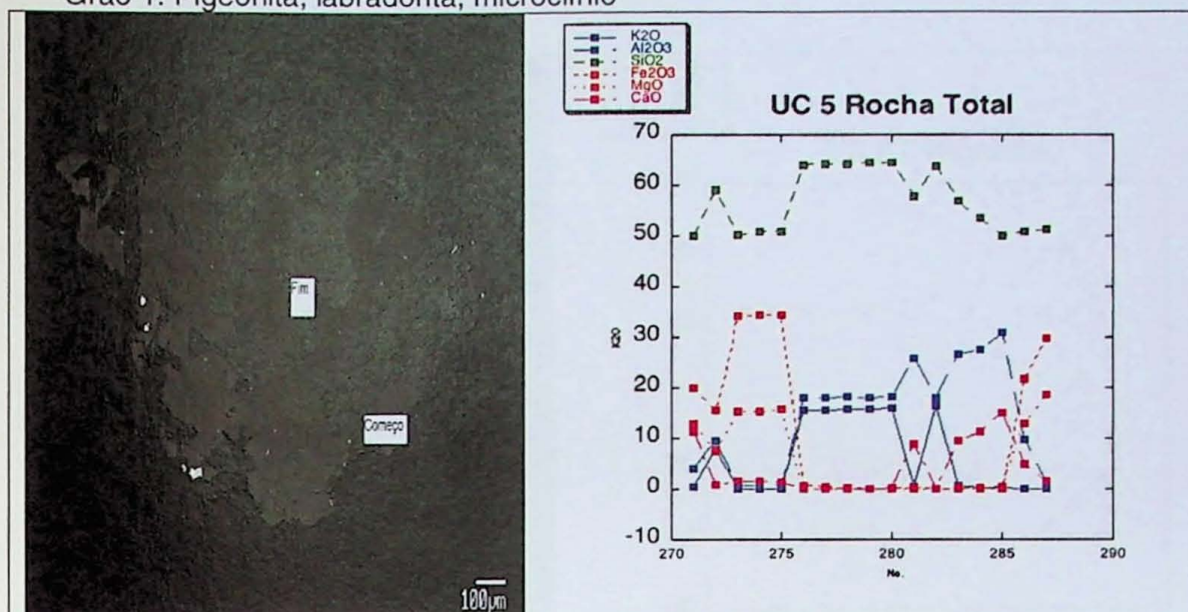


Grão 3: Andesina e microclínio

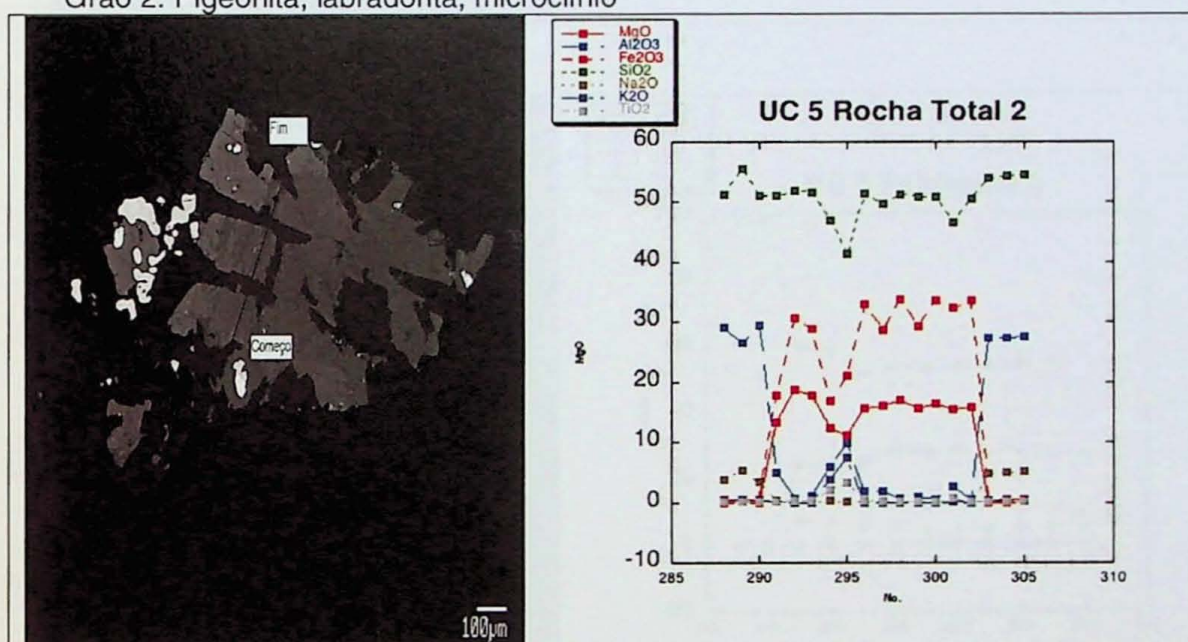


4) UC-RR-5 Rocha Total

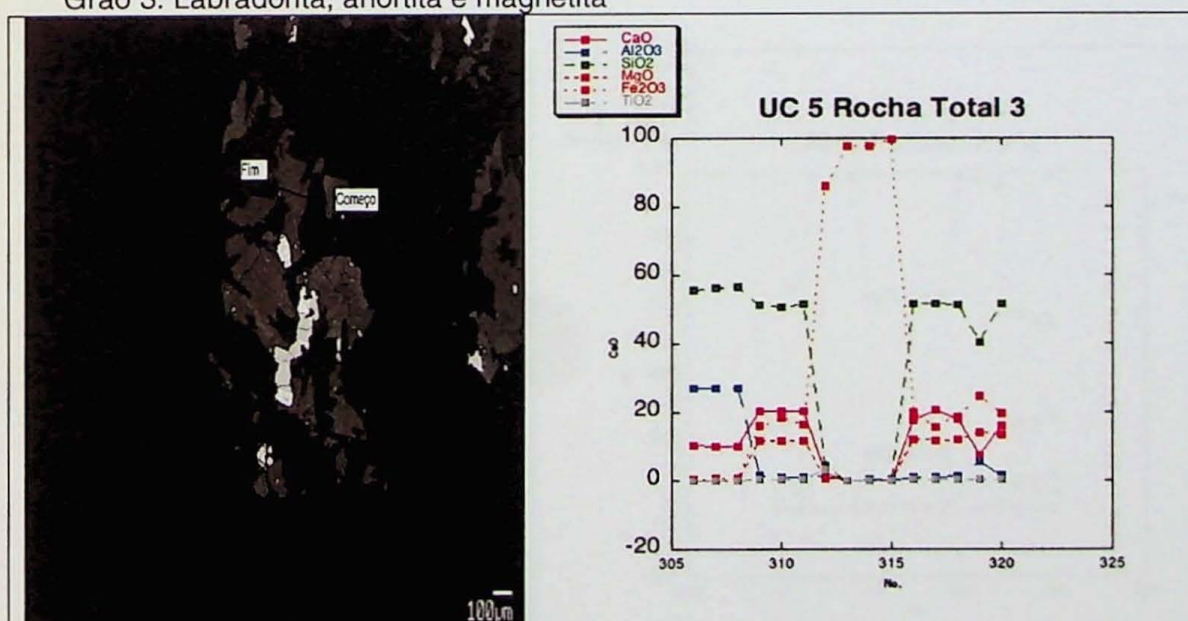
Grão 1: Pigeonita, labradorita, microclínio



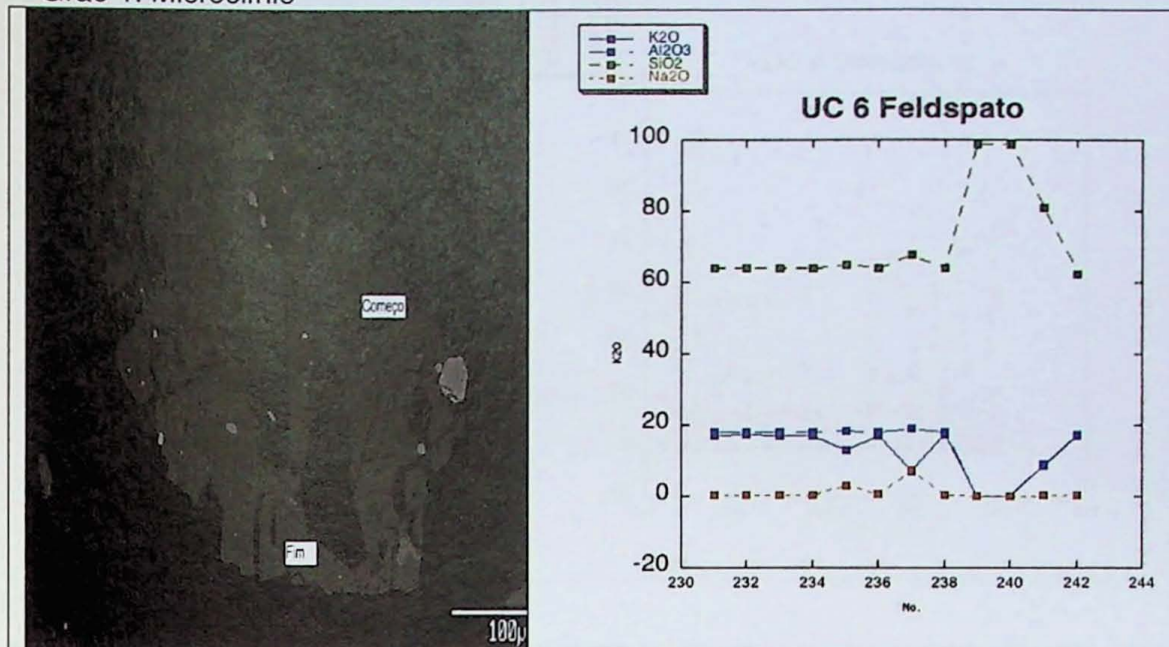
Grão 2: Pigeonita, labradorita, microclínio



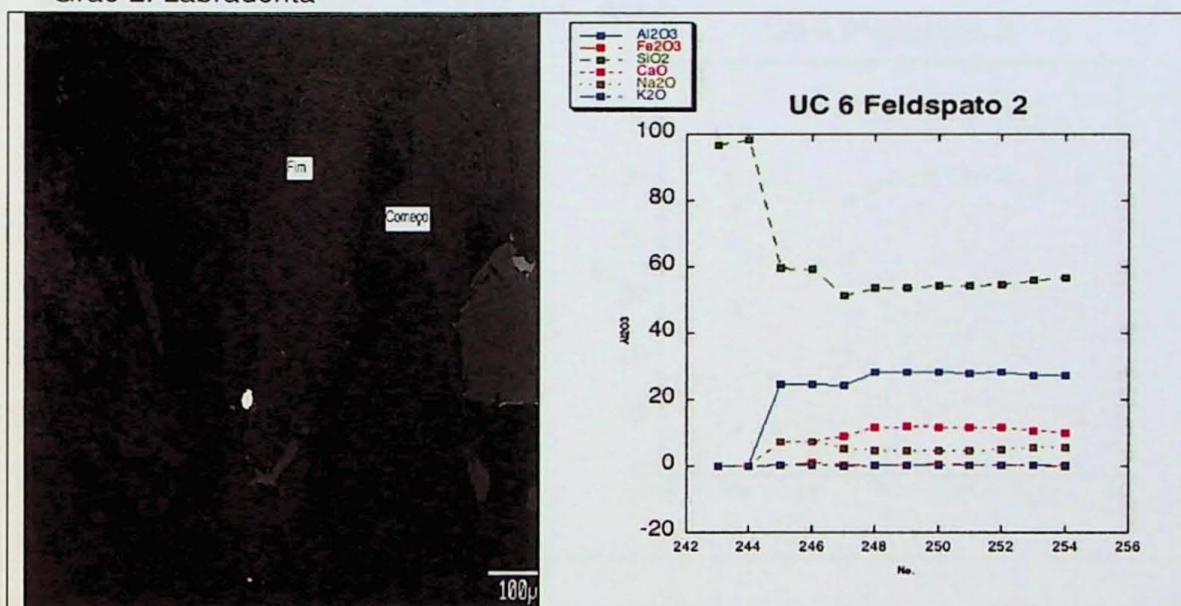
Grão 3: Labradorita, anortita e magnetita



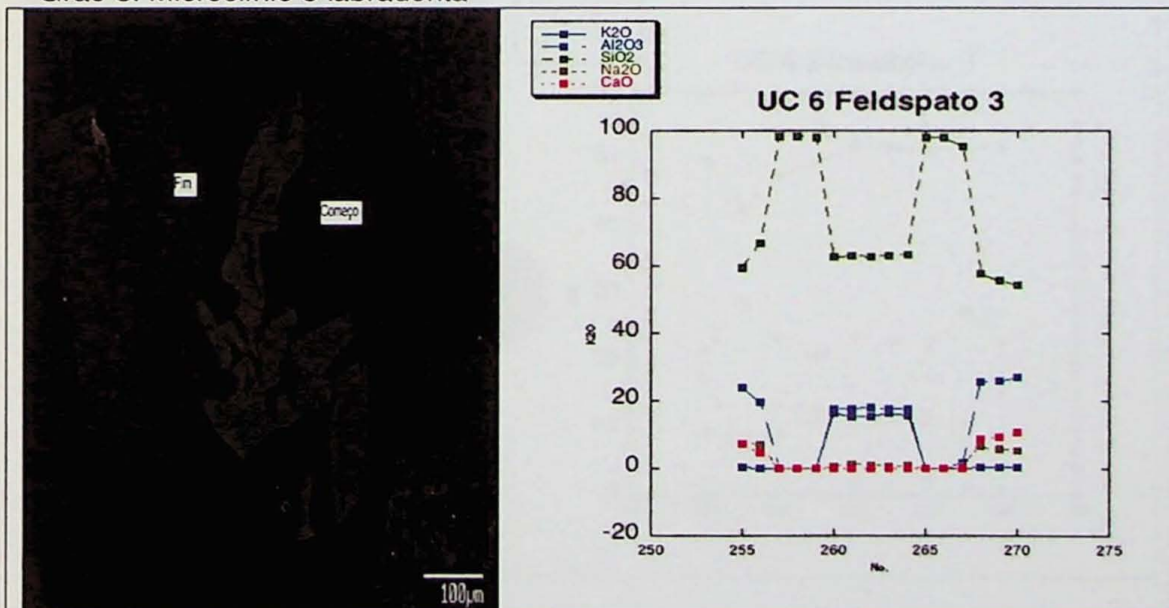
5) UC-RR-6 Feldspatos impuros
Grão 1: Microclínio



Grão 2: Labradorita

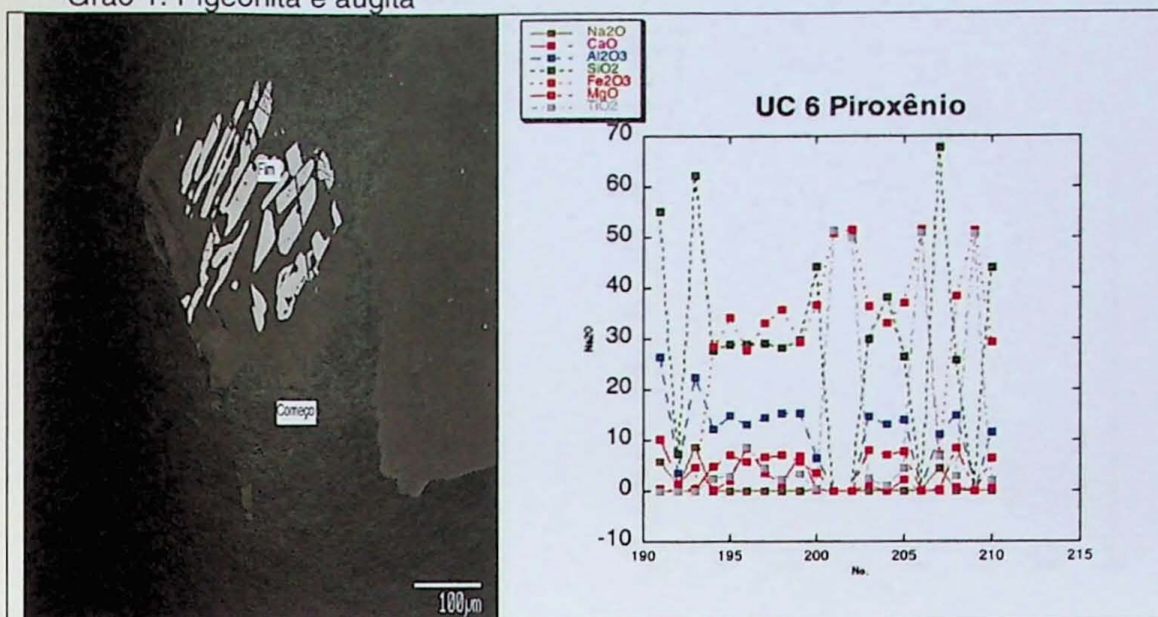


Grão 3: Microclínio e labradorita

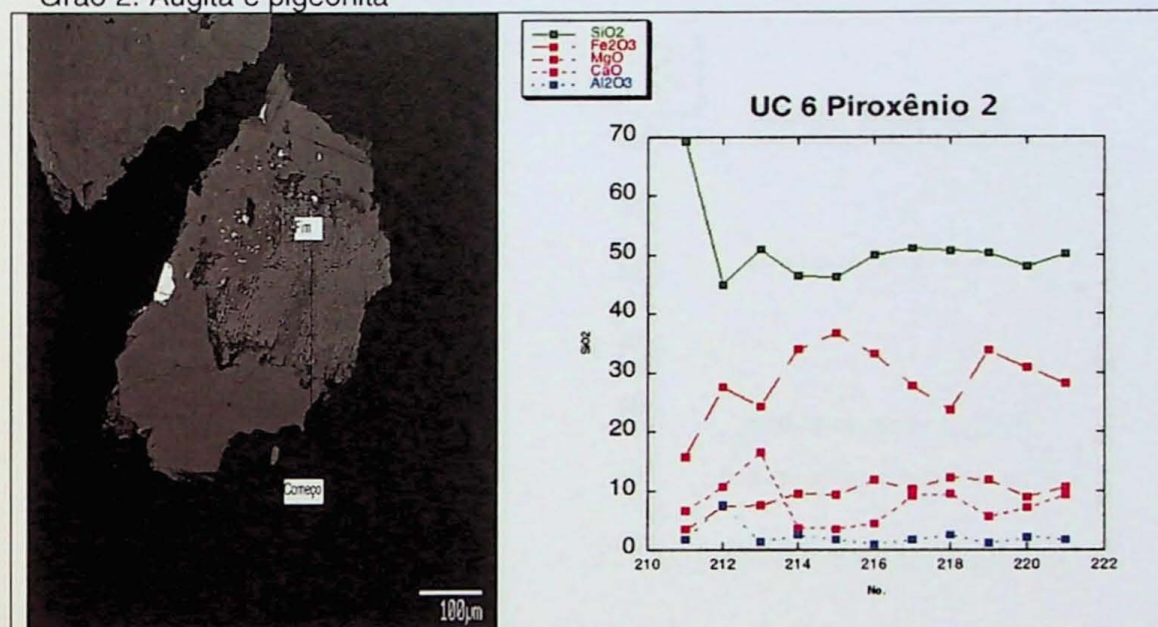


6) UC-RR-6 Piroxênios impuros

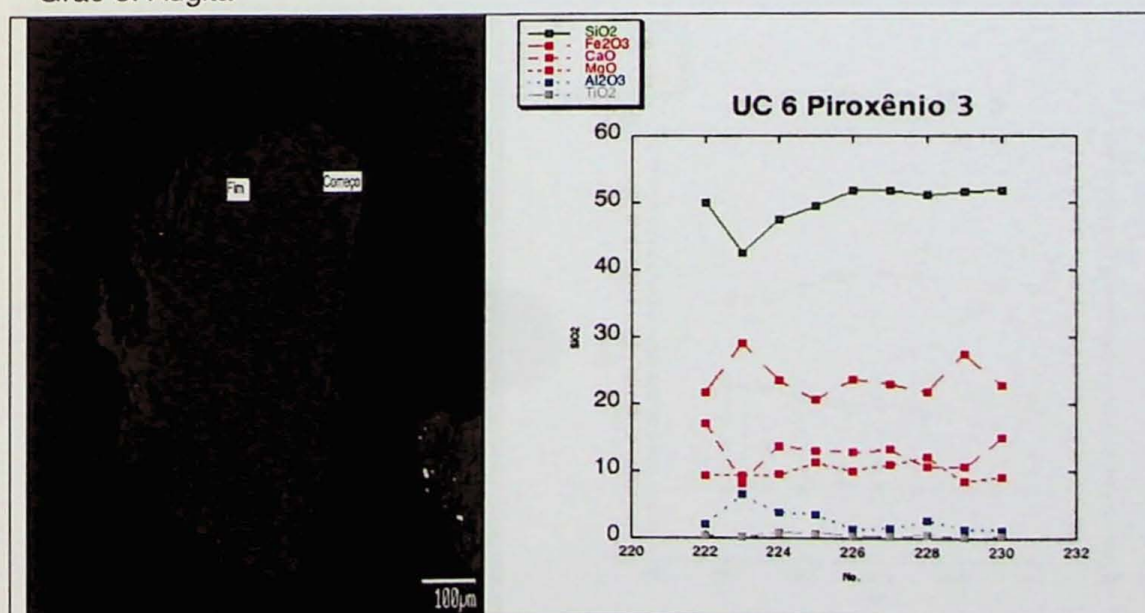
Grão 1: Pigeonita e augita



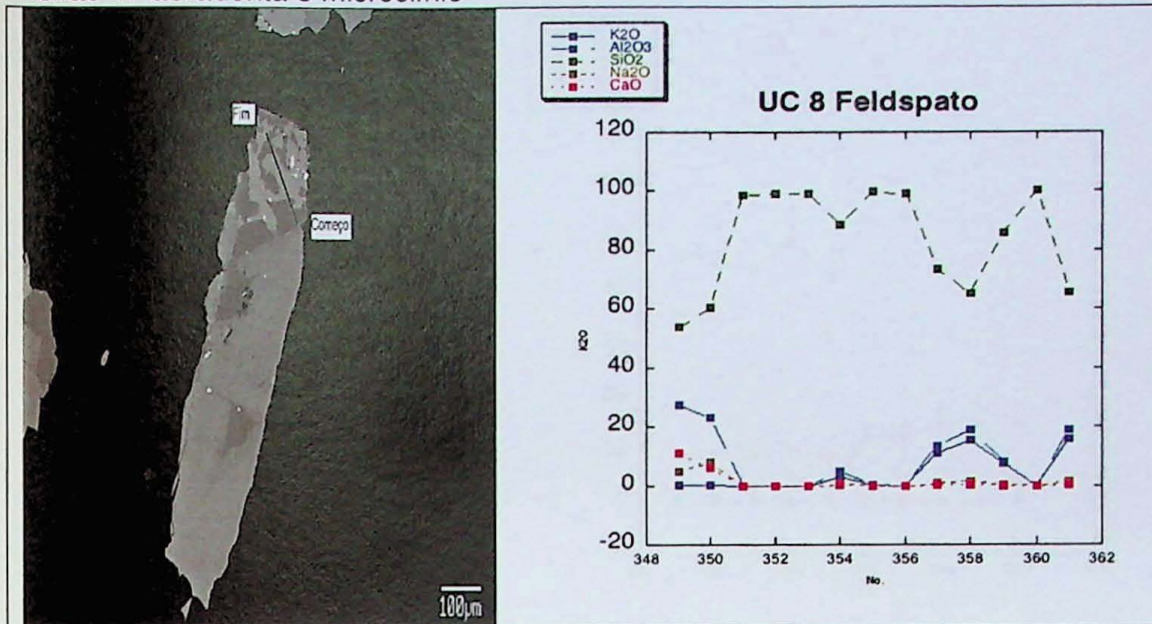
Grão 2: Augita e pigeonita



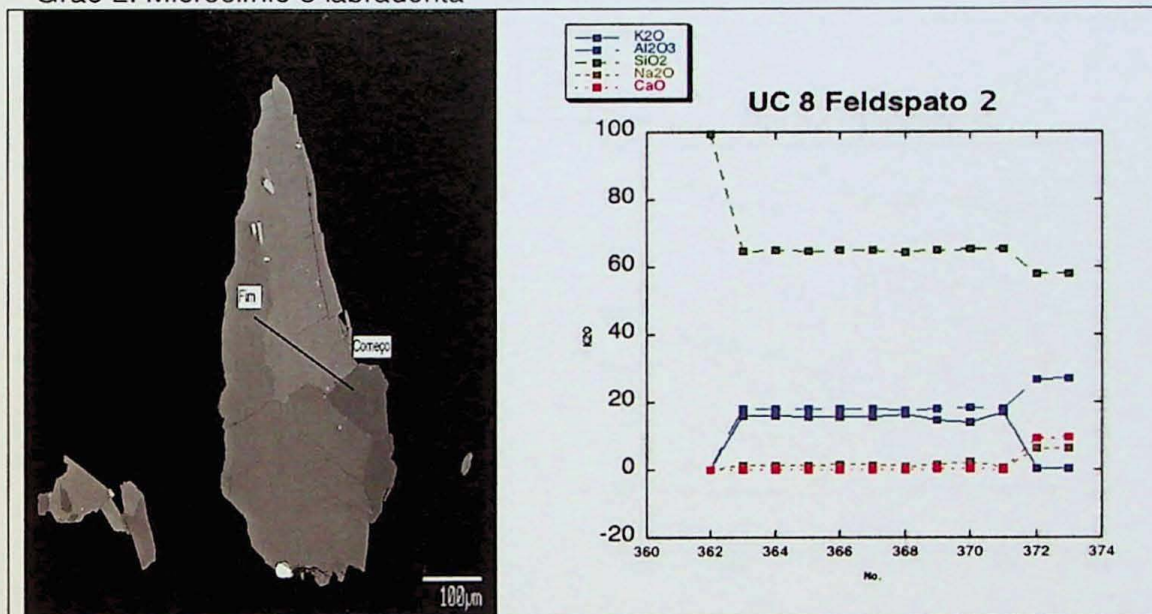
Grão 3: Augita



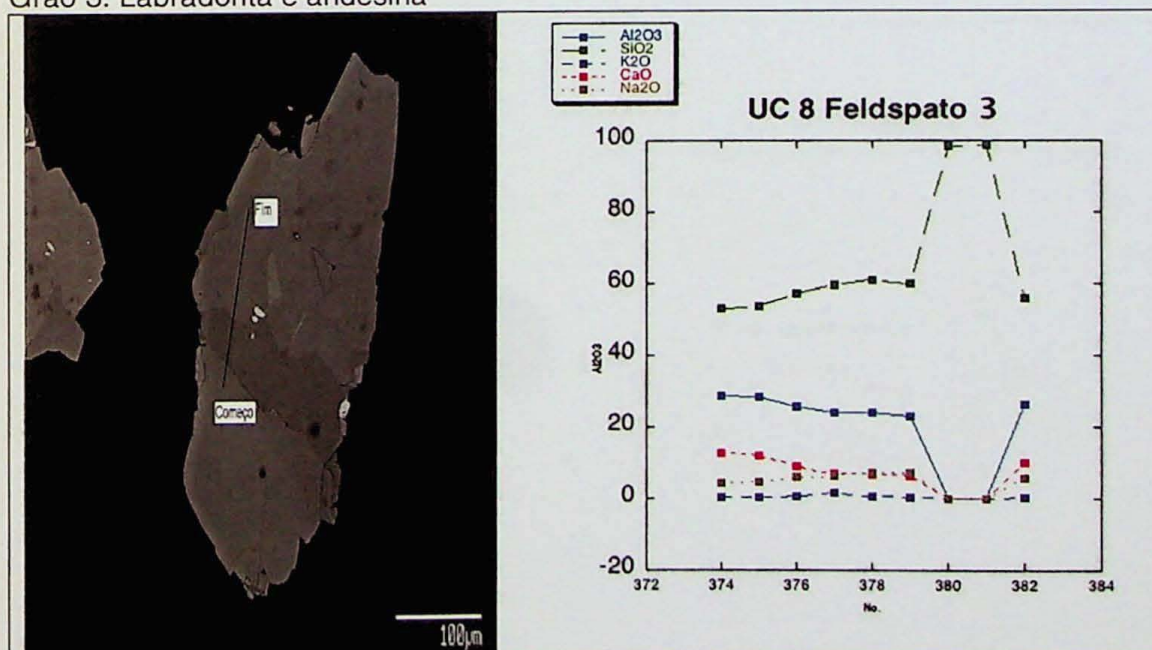
7) UC-RR-8 Feldspato impuros
Grão 1: laboradorita e microclínio



Grão 2: Microclínio e laboradorita

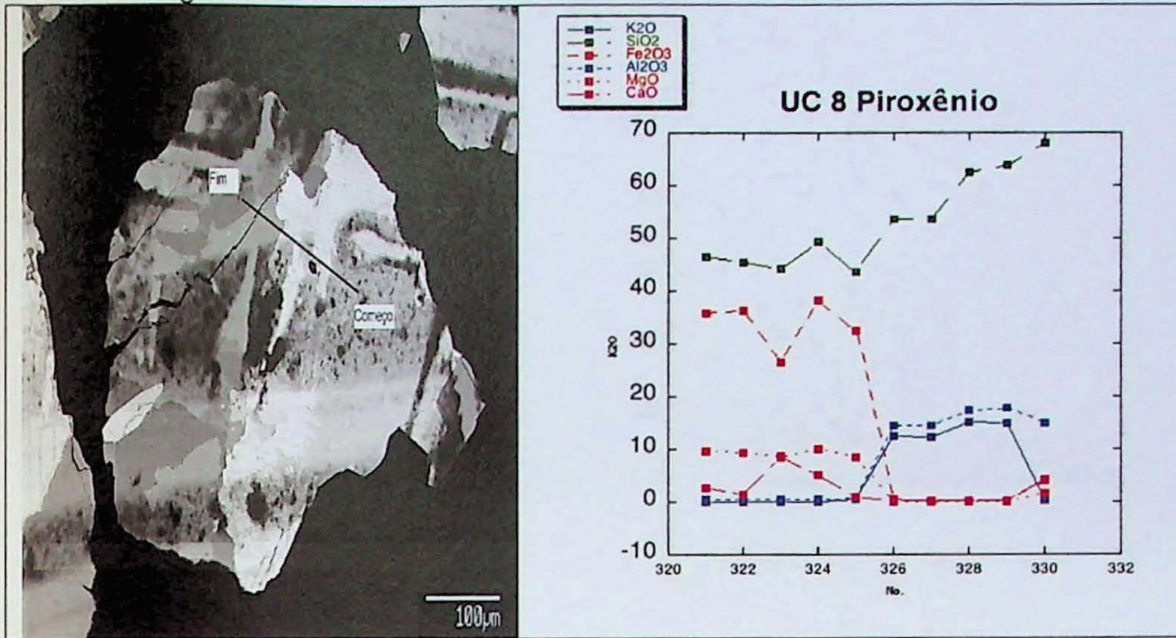


Grão 3: Laboradorita e andesina

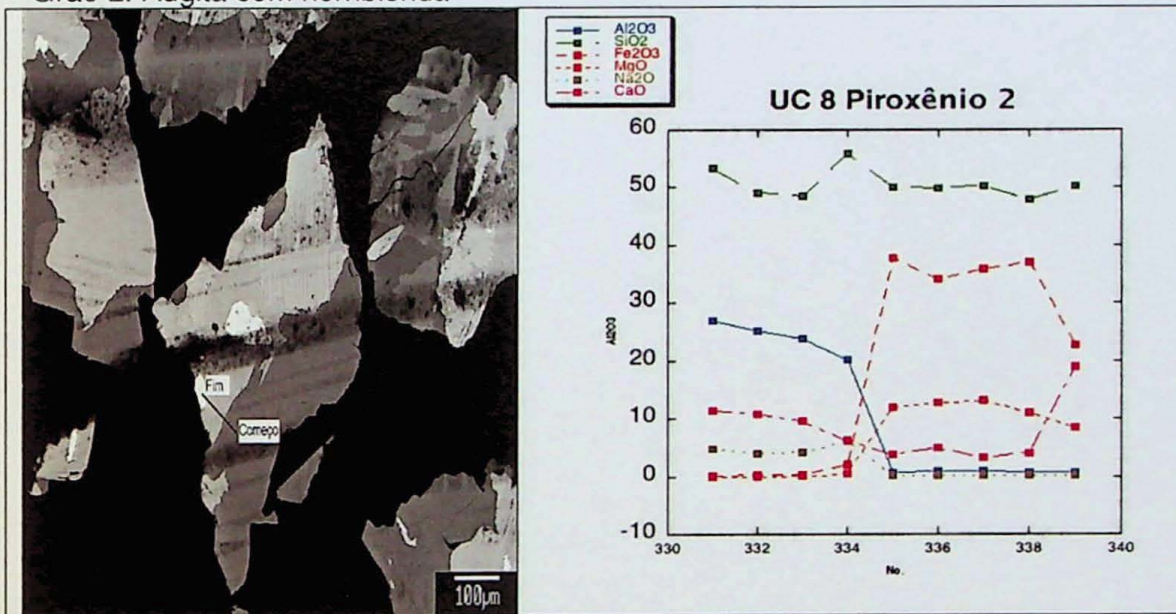


8) UC-RR-8 Piroxênios impuros

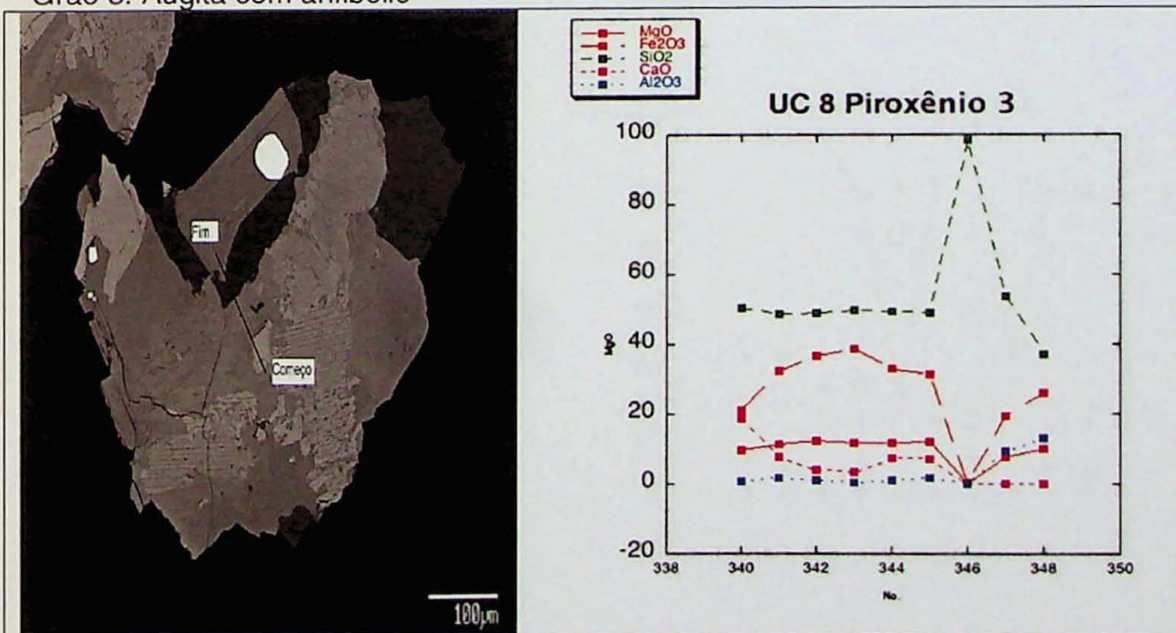
Grão 1: Augita com anfibólio



Grão 2: Augita com hornblenda

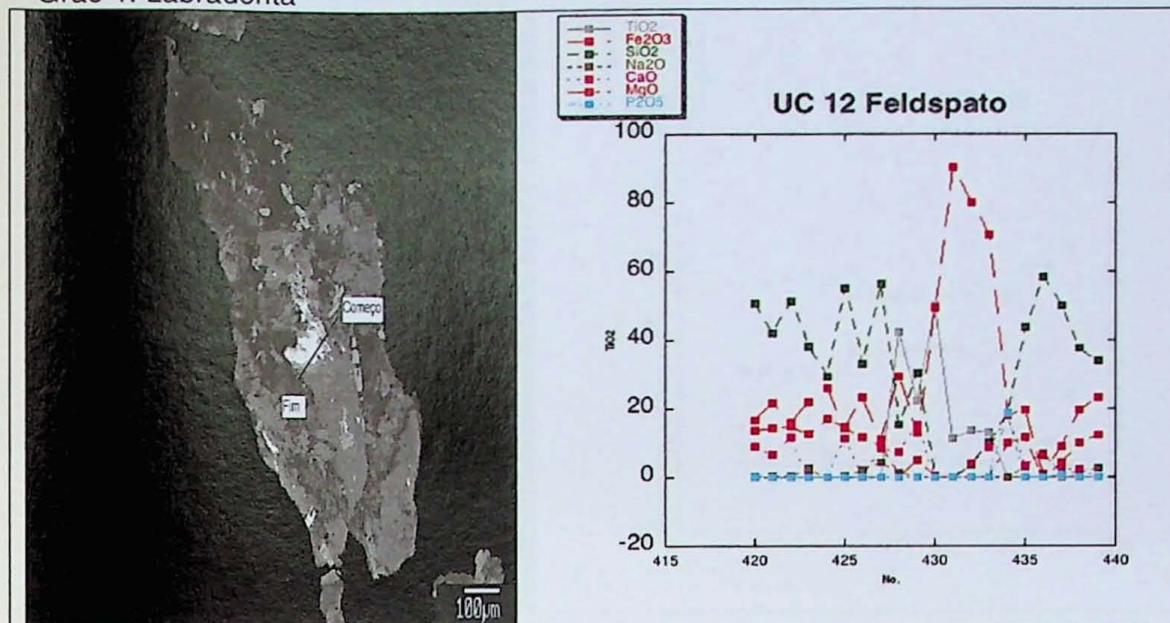


Grão 3: Augita com anfibólio

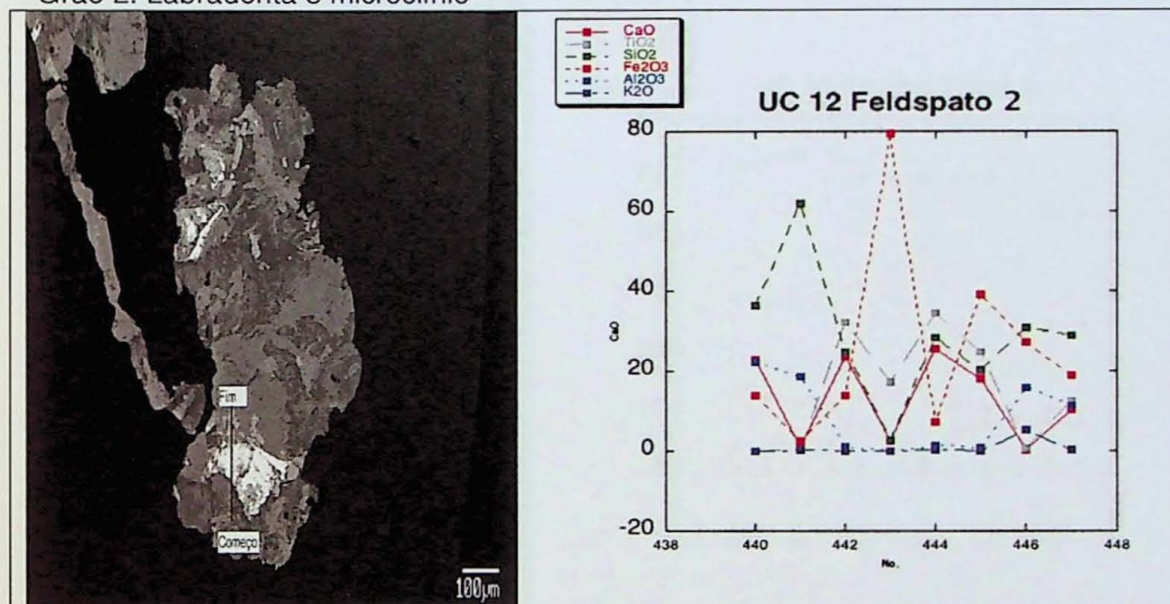


9) UC-RR-12 Feldspatos impuros

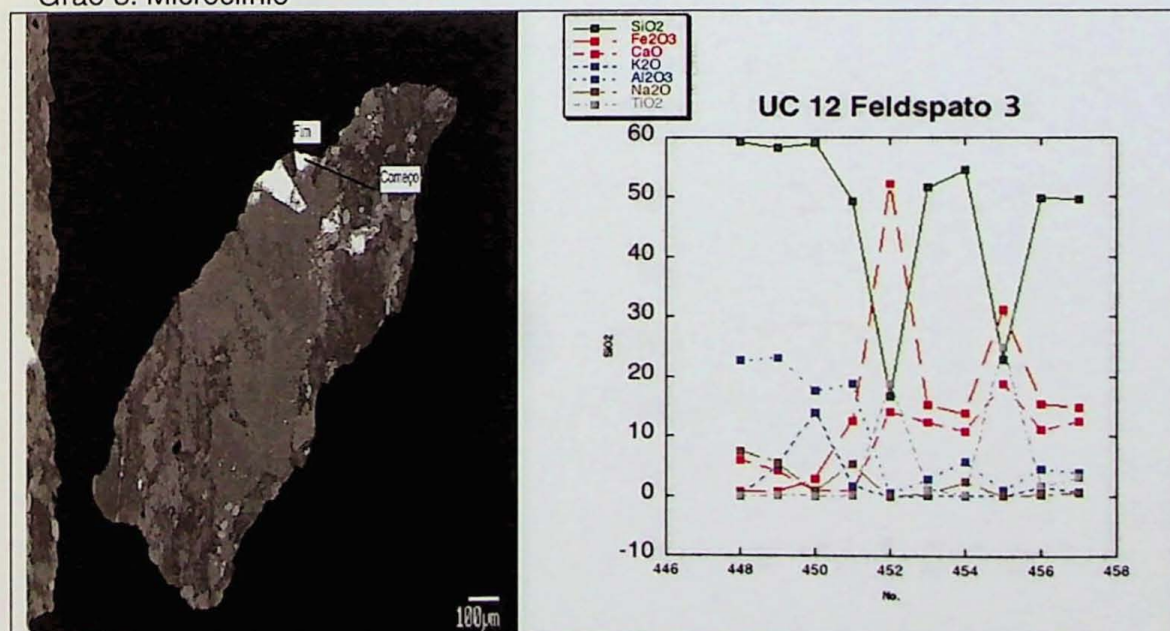
Grão 1: Labradorita



Grão 2: Labradorita e microclínio

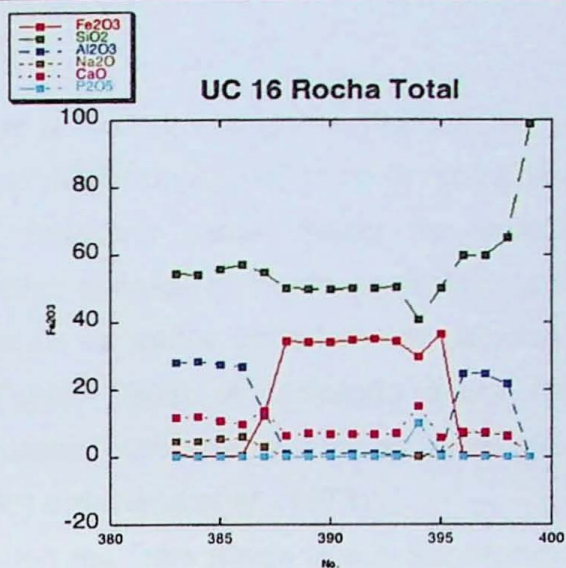
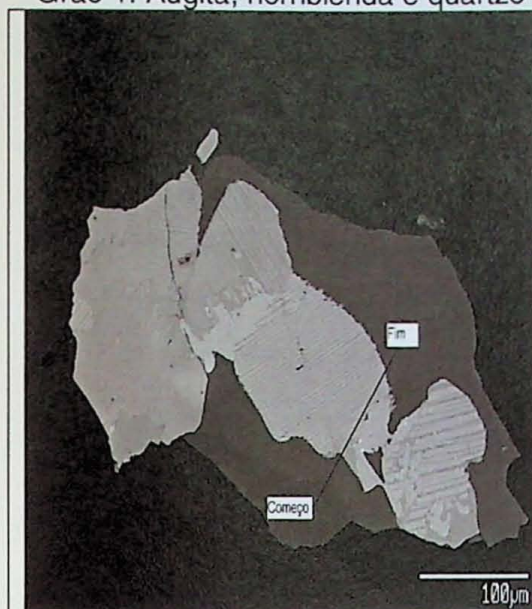


Grão 3: Microclínio

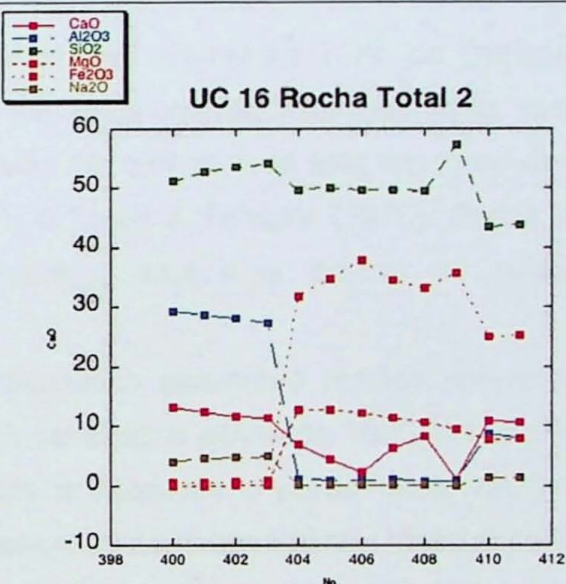


10) UC-RR-16 Rocha Total

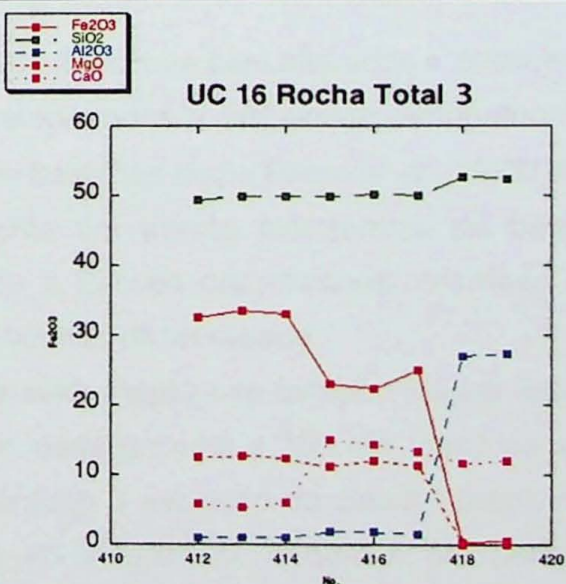
Grão 1: Augita, hornblenda e quartzo



Grão 2: Augita, hornblenda



Grão 3: Augita, hornblenda



7.3. GEOCRONOLOGIA

7.3.1. K-Ar E Ar-Ar

As idades K-Ar e Ar-Ar das amostras são compatíveis entre si, estando na mesma ordem de grandeza, mas o intuito de utilizar o método Ar-Ar, como já dito anteriormente, era pela sua principal vantagem: descobrir pelas etapas de aquecimento das amostras irradiadas se as mesmas continham excesso ou perda de argônio, além de obtermos idades mais precisas. Assim, os espectros de dados poderiam ser calculados a partir das razões $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}/^{39}\text{Ar}$ de cada fração (Faure, 1986). A utilização desta ferramenta confirmou a existência de argônio 40 em excesso, como mencionam os trabalhos da década de 60 e 70, entre eles McDougall *et al.* (1963) e Hebeda *et al.* (1973).

Os *sills* intrusivos deveriam ser mais novos que o Supergrupo Roraima, levando-se em consideração as idades tomadas como referência U-Pb *SHRIMP* em zircão 1873 ± 3 MA de Santos *et al.* (2003) e a isócrona verdadeira em hornfels de 1800 ± 70 MA de Basei e Teixeira (1975). Entretanto, as idades aparentes K-Ar de feldspatos e piroxênios das amostras UC-RR-2 e UC-RR-8 são mais antigas. Provavelmente, essas amostras tratam-se do Diabásio Avanavero, cuja idade de resfriamento está em torno de 1800 MA, assim como escritos em Priem *et al.* (1973) e Basei e Teixeira (1975). Essas idades aparentes mais velhas encontradas nos feldspatos, explica-se devido ao excesso de argônio (ver espectros).

Para K-Ar temos que os resultados aparentes obtidos revelam diferentes idades. Há amostras entre 1200 a 2100 MA, resultados acima de 1800 MA contém excesso de argônio, já os abaixo estão relacionados à alteração e perda deste mesmo elemento. Ainda foi identificada uma amostra pertencente ao magmatismo Mesozóico com 270 MA (também com excesso de ^{40}Ar) referente à "Suíte Básica Apoteri". Os erros relativamente grandes dessas análises são devidos às análises de K, visto que os minerais analisados contêm baixo teor deste elemento.

A UC-RR-16 e a UC-RR-18B são rochas bem alteradas e possuem idades K-Ar ao redor de 1200 MA, provavelmente relacionadas a um evento tectonotermal de idade próxima a 1200 ± 100 MA muito citado em trabalhos como Priem *et al.* (1973), Basei e Teixeira (1975) e Reis *et al.* (2003). É descrito um evento hidrotermal, de baixo grau relacionado à reativação tectônica que afetou o Escudo das Guianas, chamado de Evento Nickeriano, K'Mudku ou Orinoquense dependendo da localidade.

Na região Amazônica norte ainda registra-se também diques ligados ao CAMP (Central Atlantic Magmatic Province) de idade próxima a 200 MA, caso da amostra UC-RR-12. Tal área é interpretada como pertinente à evolução da Bacia Tacutu, que corresponde a um magmatismo básico instalado no Mesozóico, o qual é um período marcado por uma expressiva tectônica distensional do Escudo das Guianas.

Amostra Material Idade K-Ar (MA) Idade integrada (MA) Idade *plateau* (MA)

UC-RR-2	Feldspatos	2105.7 ± 37	2340 ± 30 2230 ± 50	2320 ± 40
UC-RR-2	Piroxênios	1921.7 ± 66.8	1830 ± 30 1840 ± 50	1840 ± 50
UC-RR-2	RT	1878 ± 37	-----	-----
UC-RR-5	RT	1479.8 ± 26	1575 ± 18 1693 ± 19	1690 ± 30 1740 ± 20
UC-RR-5	Feldspatos	1590.6 ± 22	1374 ± 11 1392 ± 12	1334 ± 13 1422 ± 12
UC-RR-6	Feldspatos	1465.6 ± 36.8	1395 ± 11 1471 ± 13	1179 ± 10
UC-RR-6	Piroxênios impuros	1753.4 ± 34.6	2390 ± 40 1820 ± 20	-----
UC-RR-6	RT	1583 ± 26	-----	-----
UC-RR-8	Feldspatos	1926.5 ± 39.3 2012 ± 27	2112 ± 16 1787 ± 15	1746 ± 14 1813 ± 16
UC-RR-8	Piroxênio impuros	2029.7 ± 69	1970 ± 17 2260 ± 30	1955 ± 17
UC-RR-8	RT	2012 ± 28.6	-----	-----
UC-RR-12	Feldspatos	266 ± 15.4	269 ± 4 269 ± 9	210 (<i>pseudo-plateau</i>)
UC-RR-12	RT	272.4 ± 9	-----	-----
UC-RR-16	Piroxênios impuros	1214 ± 28	-----	-----
UC-RR-16	RT	1214.4 ± 27.8	1057 ± 10 1346 ± 13	-----
UC-RR-18B	RT	1413.5 ± 24.5	-----	-----

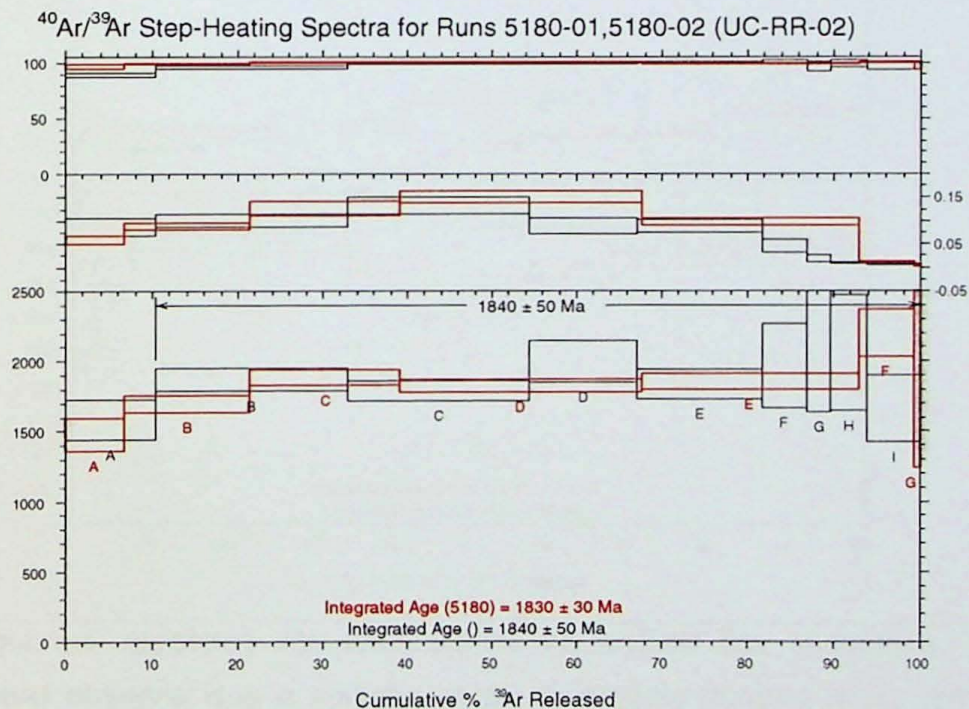
Tabela 4: Idades obtidas para K-Ar e Ar-Ar.

ESPECTROS DAS ANÁLISES AR-AR E RESPECTIVAS INTERPRETAÇÕES

Amostra UC-RR-2 Feldspatos impuros



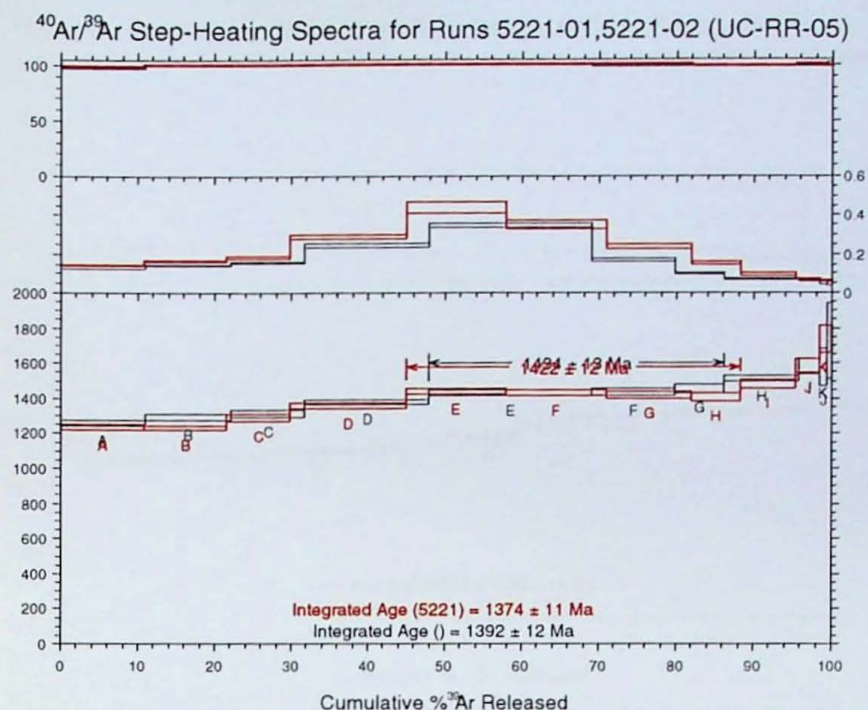
Amostra UC-RR-2 Piroxênios impuros



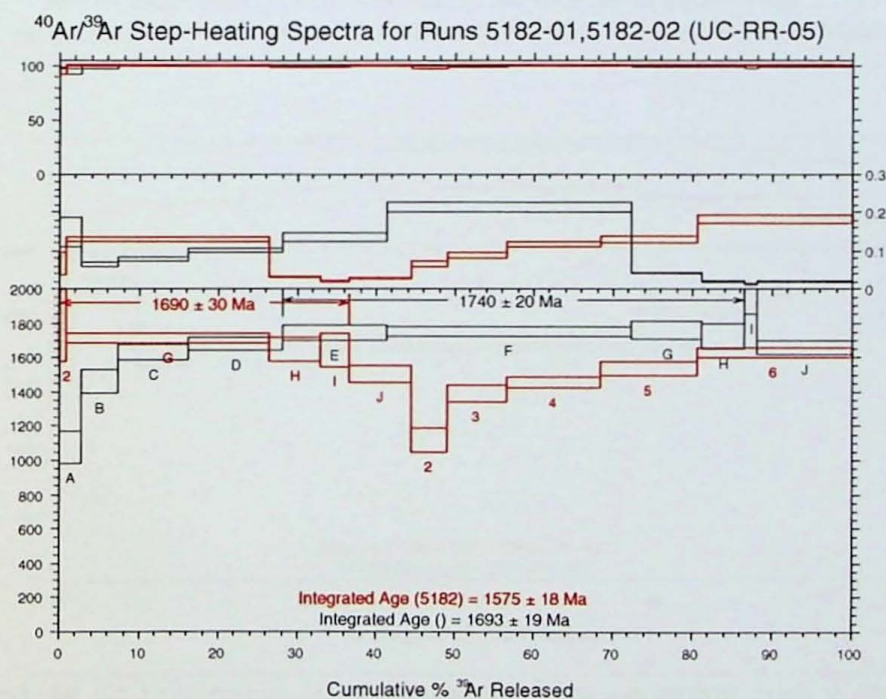
Para a amostra de diabásio UC-RR-2 a análise mais confiável foi em piroxênio, uma vez que seus dois grãos apresentam o mesmo padrão e possuem distribuição mais homogênea do gás analisado. A idade 1840 ± 50 MA provável se refere ao episódio de cristalização.

Um episódio de alteração é indicado em 1500 MA, com perda de argônio na amostra.

Amostra UC-RR-5 Feldspatos impuros



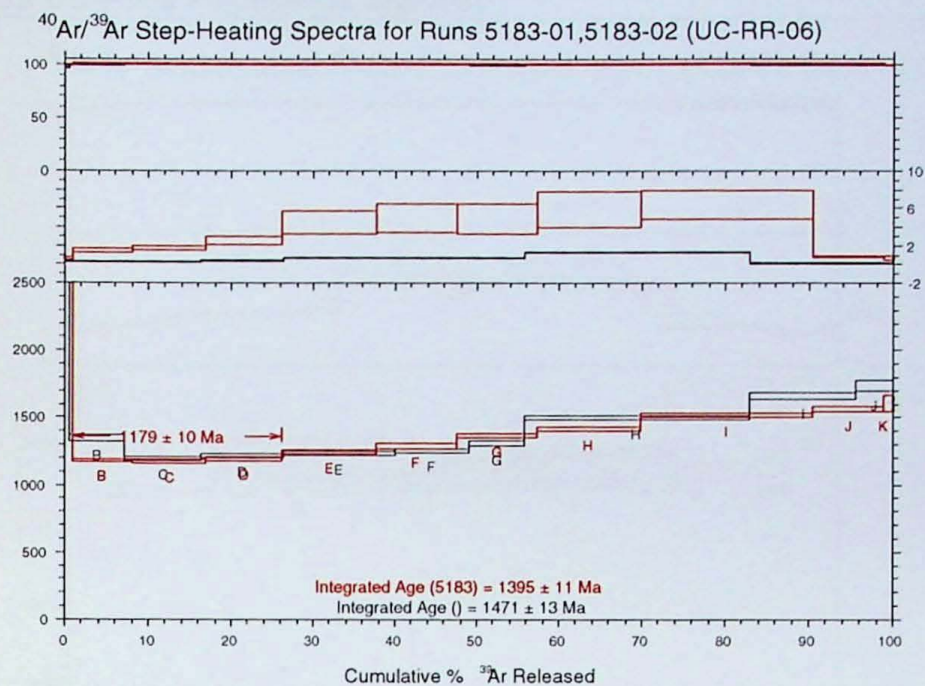
Amostra UC-RR-5 Rocha Total



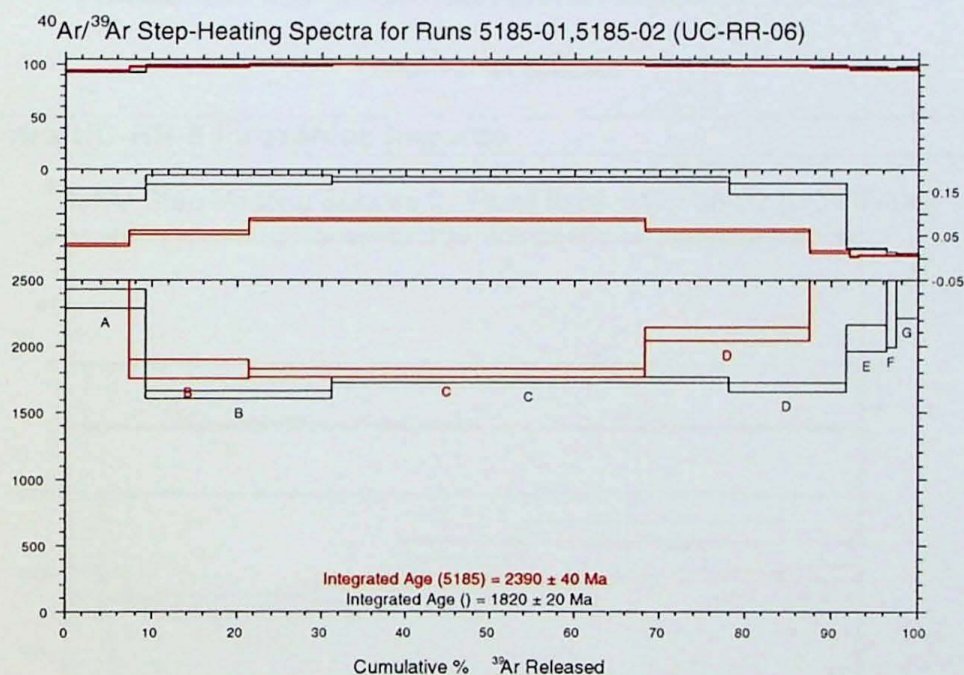
Aqui, os espectros são ascendentes na análise dos feldspatos, e é possível observar que a amostra perde de argônio durante muito tempo. Dois *plateaus*, um de idade 1434 MA e 1422 MA são concordantes e podem representar a época de alteração principal.

A idade aparente de 1740 ± 20 MA no piroxênio é bem definida em um *plateau* indo de E a H, sendo a idade mais próxima do que poderia ser significativa e pertencente à unidade Diabásio Avanavero, 1800 MA.

Amostra UC-RR-6 Feldspatos impuros



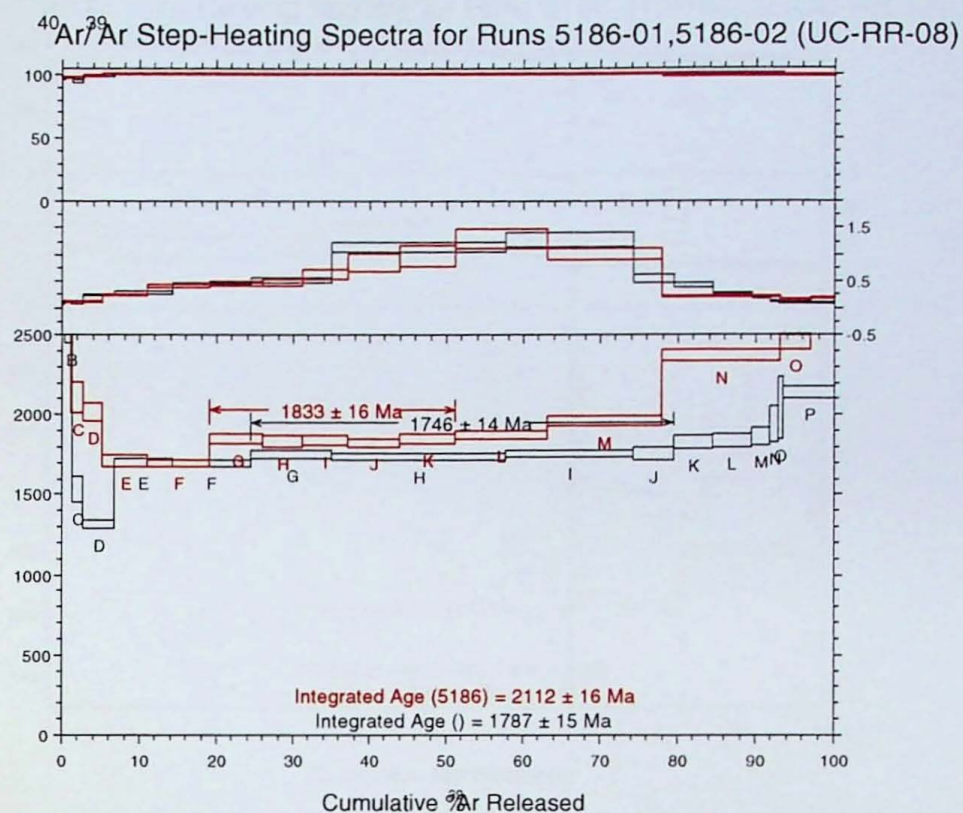
Amostra UC-RR-6 Piroxênios impuros



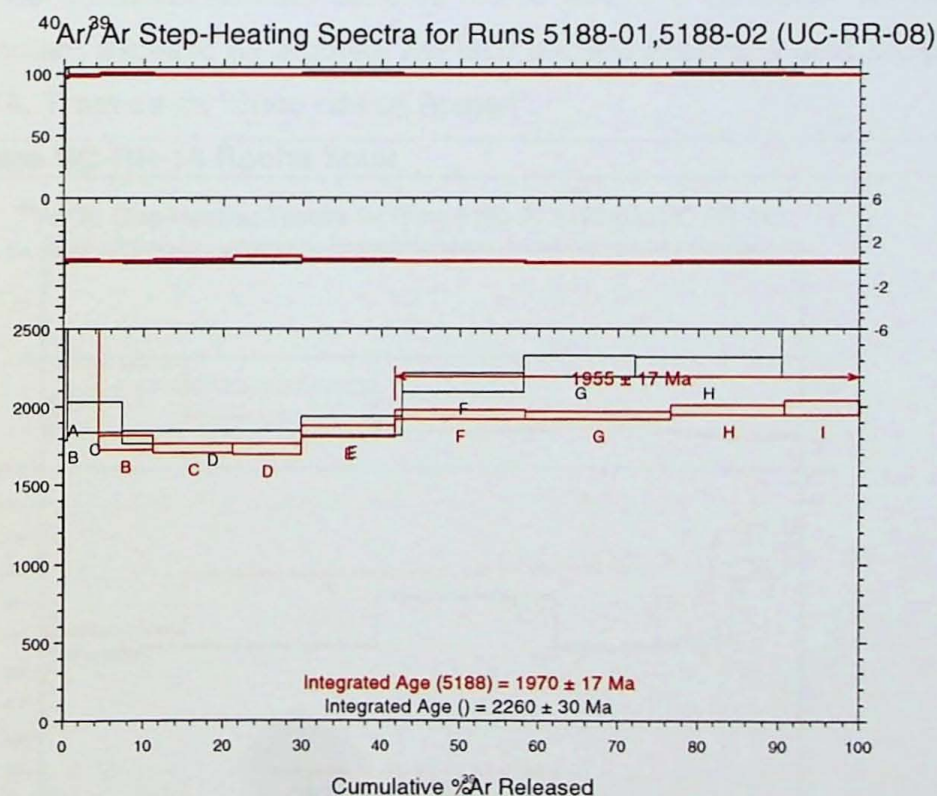
A análise de feldspatos possui espectros ascendentes com o mesmo padrão da amostra UC-RR-5 coletada em local próximo. Estes espectros ascendentes indicam idade mínima com história prolongada de resfriamento. Possui um *pseudo-plateau* de idade próxima a 1450 MA, e pode representar a alteração de uma fase mais antiga.

Visto que os piroxênios são mais estáveis, suas idades são mais confiáveis e registram um *pseudo-plateau* próximo a 1800 MA, porém os espectros também mostram ^{40}Ar em excesso.

Amostra UC-RR-8 Feldspatos impuros



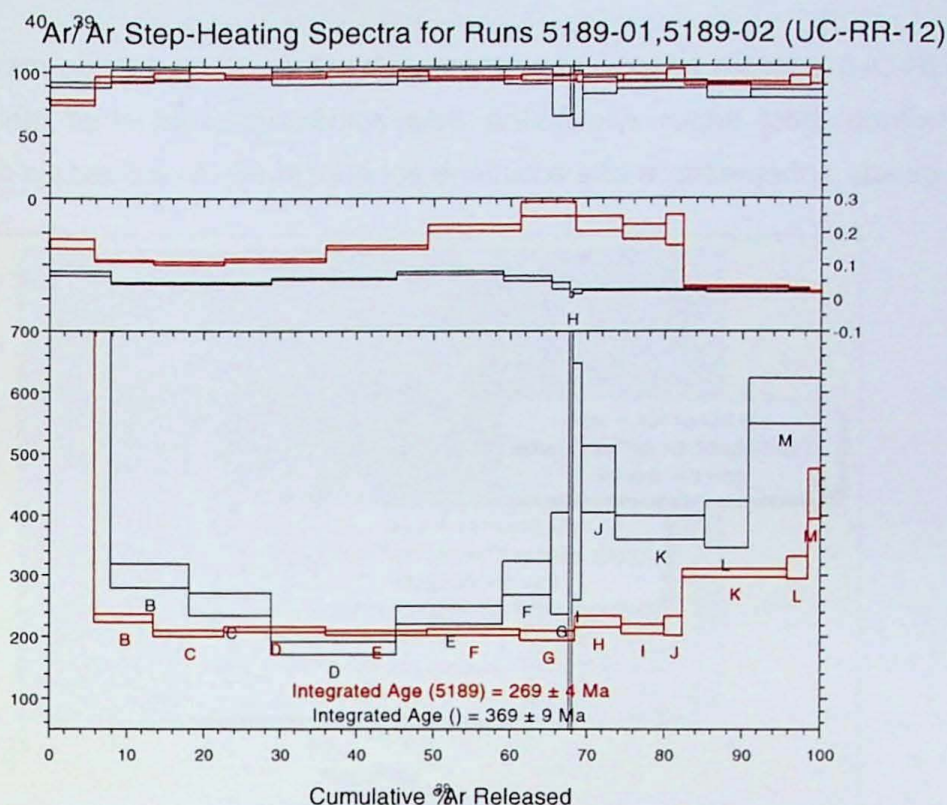
Amostra UC-RR-8 Piroxênios impuros



Para a amostra UC-RR-8 o gráfico para feldspatos apresenta idades aparentes de cristalização ao redor de 1800 MA e excesso de argônio.

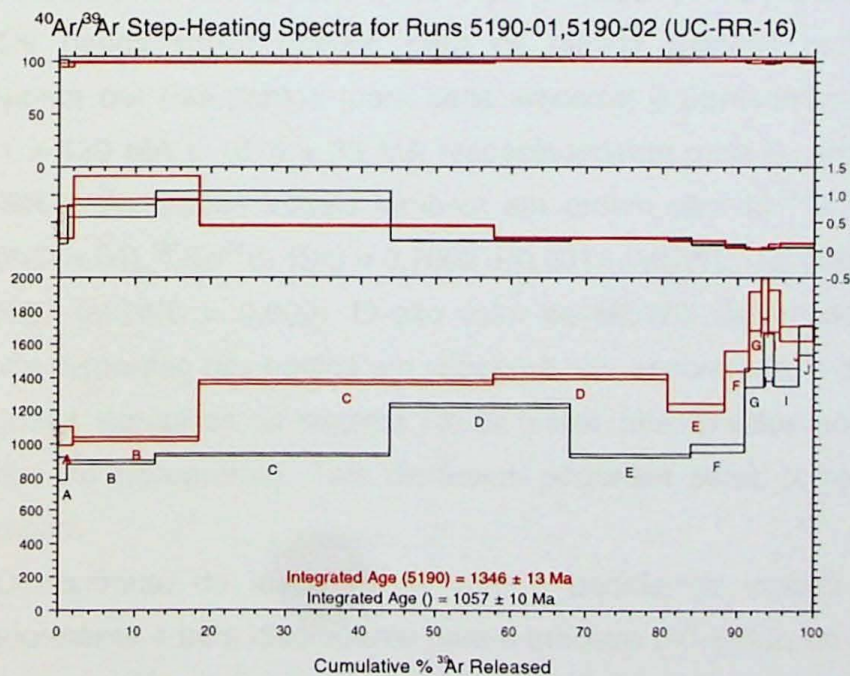
As análises dos piroxênios parecem ser mais estáveis, no entanto temos um *plateau* de idade 1955 MA que é menos correlacionável com as idades mais confiáveis da unidade Diabásio Avavero do que os espectros dos feldspatos.

Amostra UC-RR-12 Feldspatos impuros



Amostra possui um *pseudo-plateau* indo de C a J no grão vermelho, cuja idade de cristalização está próxima a 210 MA, e é confiável. As análises apresentam excesso de argônio, por isso a idade integrada está próxima de 270 MA. Trata-se da “Suíte Básica Apoteri”.

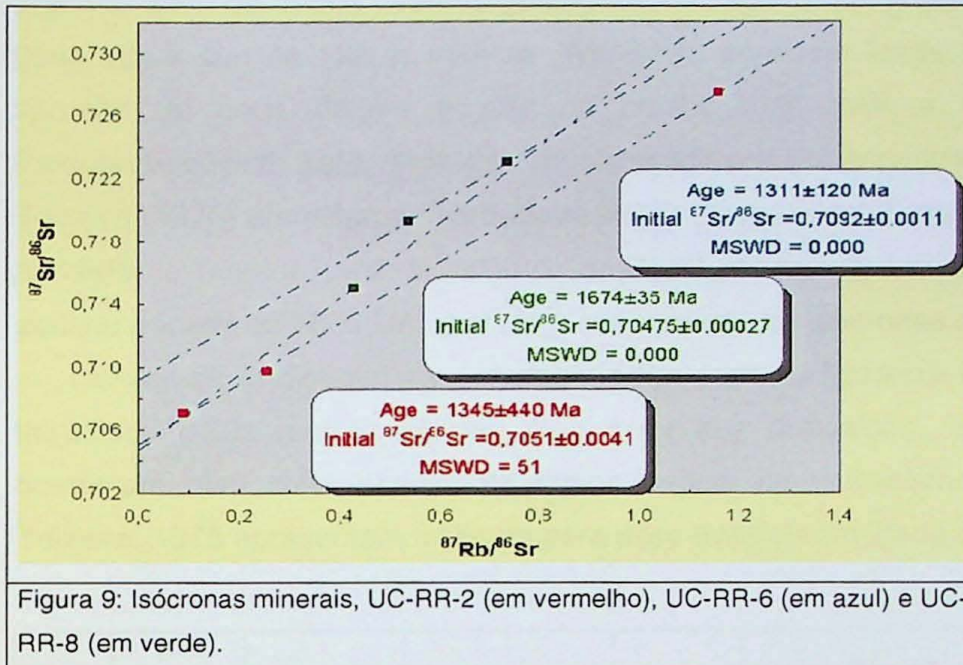
Amostra UC-RR-16 Rocha Total



Na amostra de rocha total 16, em que a amostra é bem alterada, seus espectros muito complexos e não indicam nenhuma idade relativamente confiável. As idades integradas dos grãos não definem nem *pseudo-plateaus*.

7.3.2. Rb-Sr

Foram obtidas análises de três amostras de diques máficos (UC-RR-2, UC-RR-6 e UC-RR-8) em feldspatos, piroxênios e/ou anfibólio e rocha total, conforme o procedimento descrito no capítulo 5. Os resultados analíticos são apresentados abaixo na tabela 5.



As idades aparentes das linhas de melhor ajuste são surpreendentes, visto que as mesmas em questão apresentam minerais primários, e sem evidências de evolução posterior. Dessa forma, seria de se esperar idades próximas a 1800 MA.

Os dados Rb-Sr obtidos para os diques máficos produziram isócronas minerais composta por três pontos (para cada amostra) e apresentam idades de 1345 ± 440 MA, 1311 ± 120 MA e 1674 ± 35 MA respectivamente para as amostras UC-RR-2, UC-RR-6 e UC-RR-8. As razões iniciais também em ordem são de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (\text{Sr}_i) = 0,7051 \pm 0,0041$ (MSWD = 51), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (\text{Sr}_i) = 0,7092 \pm 0,0011$ (MSWD = 0.000) e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (\text{Sr}_i) = 0,70475 \pm 0,00027$ (MSWD = 0.000). O alto valor do MSWD da amostra UC-RR-2 é em razão da grande dispersão dos pontos em relação à reta encontrada, e poderia sugerir a presença de distúrbios isotópicos do sistema Rb-Sr (estes relacionados ao pequeno número de pontos usados no histograma). Tais distúrbios poderiam estar correlacionados a fenômenos de alteração.

O confronto da idade Rb-Sr com o padrão de idades K-Ar e Ar-Ar, apresentado anteriormente é bem discrepante para a amostra UC-RR-2, de idade K-Ar em rocha total de 1878 ± 37 MA e idade *plateau* Ar-Ar em piroxênios de 1840 ± 50 MA. A idade Rb-Sr mais recente poderia estar relacionada ao evento Nickeriano já discutido anteriormente de idade por volta de 1200 MA. A segunda amostra, UC-RR-6 apresenta idade Rb-Sr compatível com sua idade integrada Ar-Ar em feldspato de 1395 ± 11 MA. Provavelmente essa idade

também é associada a um evento de alteração posterior. Já para a UC-RR-8, encontrou-se uma pequena diferença no intervalo de idade K-Ar/Ar-Ar e Rb-Sr (1746 ± 14 MA, idade *plateau* Ar-Ar), mas não como no caso da amostra UC-RR-2. Esta amostra pode ser associada com maior confiança como parte da unidade Diabásio Avanavero.

A relativa boa definição das idades K-Ar e Ar-Ar (que pôde identificar excesso de argônio, além de outros eventos geológicos na região), juntamente com as análises Rb-Sr, pode inferir que as rochas máficas Avanavero possuem idade relativamente confiável de intrusão de seus diques e *sills* na crosta continental a cerca de 1800 MA, no Paleoproterozóico. Esta idade é ainda reforçada por ser encontrada no trabalho de Basei e Teixeira (1975) em isócrona verdadeira Rb-Sr de rocha total realizada em três amostras de hornfels do arenito Roraima coletado em local próximo à amostra UC-RR-2. Tal isócrona acusou a idade de 1805 MA, e ainda é concordante as isócronas dos países vizinhos.

Conclui-se então que os arenitos do Supergrupo Roraima teriam sido depositados e intrudidos pelas rochas básicas logo após sua deposição. Esses dois eventos ainda ocorreram num curto espaço de tempo depois do vulcanismo ácido Surumu (Basei e Teixeira, 1975 apresentam isócrona para esse evento com idade de 1890 MA).

SPR	No. Campo	Material	Rb (ppm)	Sr (ppm)	1/Sr	Sr^{87}/Sr^{86} (Y)	Rb^{87}/Sr^{86} (X)	$(Sr^{87}/Sr^{86})_0$ p/ 1300 MA	$(Sr^{87}/Sr^{86})_0$ p/ 1800 MA
5346	UC-RR-2	RT	20,11	227,55	1/227,55	0,70973	0,256	0,70496	0,70311
15861	UC-RR-2	Plagioclásio	12,48	403,01	1/403,01	0,70706	0,090	0,70539	0,70474
15925	UC-RR-2	Piroxênio	16,76	41,99	1/41,99	0,72746	1,157	0,70590	0,69750
5347	UC-RR-6	RT	49,93	196,78	1/196,78	0,72301	0,736	0,70931	0,70397
15926	UC-RR-6	Plagioclásio	51	275,1	1/275,1	0,71928	0,537	0,70927	0,70537
5581	UC-RR-8	RT	50	219,6	1/219,6	0,72007	0,659	0,70779	0,70301
15927	UC-RR-8	Plagioclásio	54,5	368,1	1/368,1	0,71506	0,429	0,70706	0,70395
15928	UC-RR-8	Piroxênio	21,13	35,17	1/35,17	0,74672	1,745	0,71421	0,70154

Tabela 6: Razão inicial Rb/Sr para comparação em idades 1300 e 1800 MA.

8. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES FINAIS

Esperou-se com a realização deste projeto contribuir para o melhor conhecimento geocronológico do magmatismo básico localizado na região norte da plataforma Sul-Americana, no nordeste do estado de Roraima. No projeto puderam ser identificados corpos básicos de diferentes idades. Além da unidade Diabásio Avanavero, encontraram-se rochas de idades Mesoproterozóicas, e ainda, um exemplar de idade Mesozóica.

Grande parte da Província Maroni-Itacaiúnas, a qual a região aqui estudada faz parte, abrange um *greenstone belt* Paleoproterozóico de material derivado do manto, porém ainda ocorrem partes restritas provavelmente tratando-se de materiais reciclados da crosta antiga (Gibbs e Barron, 1993; Cordani e Teixeira 2007). O resfriamento regional nessa Província ocorreu posteriormente à orogenia Transamazônica por volta de 1800 MA, como indicado por um amplo acervo de idades aparentes K-Ar e Ar-Ar em rochas do Brasil, Venezuela, Suriname e Guianas (Basei e Teixeira 1975, Teixeira *et al.*, 1989 e Tassinari *et al.*, 2000).

O Bloco Roraima como descrito por Tassinari e Macambira (1999) é um terreno vulcano-plutônico intrinsecamente relacionado no tempo à evolução de terrenos metamórficos de alto grau da Província Maroni-Itacaiúnas e está localizado em uma área estável e marginal em relação a estes terrenos metamórficos.

A área de coleta das amostras estudadas localiza-se no Domínio Urariqüera (DU), extremo nordeste do estado, Santos *et al.* (2003). Nessa localidade, como nos demais domínios de Roraima, seus terrenos granito-gnáissicos apontam idades de cristalização dos seus protólitos entre 2030 e 1880 MA.

O percurso ao qual a evolução crustal de Roraima passou está relacionado à tectonica-estruturais modeladoras principalmente no Orosiriano (2005 – 1800 MA), Ectasiano/Esteniano (1300 – 1200 MA) e Sinemuriano (200 MA).

Neste estudo não se encontram idades precisas, mas sim os limites das unidades datadas. Com a junção dos estudos sobre a tectônica de Roraima com os principais dados geocronológicos tomados como controle de idades, no caso a idade U-Pb SHRIMP em zircão 1873 ± 3 MA de Santos *et al.* (2003) que representa idade mínima para a intrusão dos diques máficos dos diabásios Avanavero e a isócrona verdadeira em hornfels de 1800 ± 70 MA, de localidade próxima apresentada por Basei e Teixeira (1975), concluímos que a unidade Diabásio Avanavero possui idade próxima de 1800 MA.

Neste estudo geocronológico esta unidade está representada na parte nordeste da área e correspondem as amostras UC-RR-2, UC-RR-5, UC-RR-6 e UC-RR-8. Para a UC-RR-2, as idades K-Ar 1921.7 ± 66.8 MA e Ar-Ar (*plateau*) 1840 ± 50 MA, ambas em piroxênio e com excesso de argônio podem ser significativas, pois ainda sim se aproximam de 1800 MA. As amostras UC-RR-5, um diabásio fresco e sem alteração e a amostra UC-

RR-6, gabro com moderada alteração, de localidade próxima às amostras UC-RR-2 e UC-RR-8 são rochas que também possuem idade Paleoproterozóicas K-Ar e Ar-Ar próximas a 1800 MA (tabela 4). Tais idades são mais confiáveis do que a isócrona para a amostra UC-RR-6 de 1311 ± 120 MA, de linha de melhor ajuste incerta. A amostra UC-RR-8 com idade para feldspato K-Ar de 1926.5 ± 39.3 MA, Ar-Ar (*plateau*) 1813 ± 16 MA e 1746 ± 15 MA, além de isócrona mineral Rb-Sr com 1674 ± 35 MA também reforça a idade de cristalização da unidade Diabásio Avanavero no Paleoproterozóico.

A Província K'Mudku, correspondente a porção central de Roraima, trata-se de um cinturão milonítico relacionado a uma colisão continental. Foi um episódio regional termal de reativação ao redor de 1200 MA (Basei e Teixeira 1975, Santos *et al.* 2000b, Reis 2002). Provavelmente afetou e deformou fortemente regiões vizinhas causando falhas e metamorfismo. Tal evento poderia estar relacionado com a alteração hidrotermal pervasiva observada nas amostras UC-RR-16 e UC-RR-18B.

O último pulso magmático de Roraima, a "Suíte Básica Apoteri" pertencente à Província Magmática Atlântica Central (CAMP), uma das maiores províncias do planeta, se estende por mais de 5000 km de norte a sul, em ambos os lados do Oceano Atlântico. Possui dados geocronológicos bem definidos por idades Ar-Ar de Marzoli *et al.* (1999) apontando idades de intrusão para seus derrames na Bacia Tacutu de 200 MA, caso da amostra UC-RR-12 de idade Ar-Ar (*pseudo-plateau*) de 210 MA, no Triássico-Jurássico, e que estão intrinsecamente relacionados ao riftamento do continente Pangea.

A escassez em idades permianas demonstra que o grande volume do magmatismo Apoteri ocorreu ao longo do Triássico Médio-Cretáceo Inferior, indicando também uma manifestação básica que se iniciou na forma de diques, que culminariam com derrames de basaltos e andesitos ao longo da abertura do *Hemigraben* Tacutu.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G. *et al.* Determinações Geocronológicas e Considerações à Estratigrafia do Pré-Cambriano na Porção Setentrional do Território de Roraima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24, 1970. *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Geologia*, Brasília, 77-79 p.
- AMARAL, G. *Geologia Pré-Cambriana da Região Amazônica*. 1974. 2 v. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- BASEI, M.A.S.; TEIXEIRA, W. Geocronologia do Território de Roraima. In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA INTERGUIANAS. Belém. *Anais*. Belém, MME/DNPM. 453-473 p. 1975.
- BELLIZZIA, A. – Consideraciones petrogeneticas de la provincia magmatica de Roraima (Guyana Venezolana). *Boletim Geologico*, Caracas, Vol. 4 N° 9, p. 53-82, 1957.
- BERRANGÉ, J. P.; DEARNLEY, R. The Apoteri Volcanic Formation: Tholeiitic Flows in the North Savannas Graben of Guyana and Brazil. *Geol. Rundsch.*, 64 (3): p. 883-899. 1975.
- BOMFIM, L. F. C. *et al.* Projeto Roraima; Relatório Final. Manaus, CPRM/DNPM, 1974.
- BOUMAN, Q. C. The Roraima Formation, northeast of Territorio do Rio Branco. Belém, PETROBRÁS/ RENOR. 17 p. 1959.
- BRAUM, O. P. G.; RAMGRAB, G. E. *Geologia do território de Roraima*. 1972. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, 1972. *Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia*, Belém, Brasil. Ar
- CARMO, I.; VASCONCELOS, P. M. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology constraints on late miocene weathering rates in Minas Gerais, Brazil. *Earth Planet Science Letter*, 241, p. 80–94. 2005.
- CORDANI, U.G., SATO, K., TEIXEIRA, W., TASSINARI, C.C.G., BASEI, M.A.S. *Crustal evolution of the South American platform*. In: 31ST INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS. 2000. Rio de Janeiro, Brazil, 2000, p. 19–40.
- CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.G.; TEIXEIRA, W.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 2. Arica, 1979. *Actas...* Arica. 4: 137-148 p.
- CORDANI, U.G.; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A.; PORTO, R.; THOMAS FILHO, A.; CUNHA, F.M.B. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. *Revista Ciência Técnica Petróleo*, Rio de Janeiro, n. 15. Petrobrás, CENPES, CINTEP. 70 p. 1984.
- CORDANI, U. G.; TEIXEIRA, W. Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. *Geological Society of America Memoir* 200. 297–320 p. 2007.
- D'ANTONA, R.J.G. Síntese Geológica e Prospectiva das Áreas Pedra Preta e Cotingo, Roraima. Relatório Interno. CPRM. 2000.
- DICKIN, A. P. *Radiogenic Isotopic Geology*. Cambridge University Press, Cambridge, U. K. 2nd Ed, 2005. 446p.

- DECKART, K; BERTRAND, H; LIÉGEOIS, J. P. *Geochemistry and Sr, Nd, Pb isotopic composition of the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) in Guyana and Guinea. Isotopes in Igneous Petrogenesis*. v. 82, issues 3-4, 289-314 p, 2005.
- DREHER, A. M. ; FRAGA, L. M.; FARIAS, M. S. G.; GRAZZIOTIN, H. O vulcanismo Surumu na folha vila de Tepequém, Roraima, Escudo das Guianas. In: III SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS. 2005. Cabo Frio, RJ.
- FAURE, G. *Principles of Isotope Geology*. Santa Barbara, London, John Wiley. 1986. 486 p.
- FRAGA, L.M.B.; REIS, N.J.; ARAUJO, R.V.; HADDAD, R.C. Suíte Intrusiva Pedra Pintada - Um Registro do Magmatismo Pós-colisional no estado de Roraima. In: V SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, Belém. v. 1. p. 76-78. 1996. Boletim de Resumos Expandidos. Belém - PA: SBG/NO.
- GAUDETTE, H.E.; OLSZEWSKI, W. J. JR; SANTOS, J. O. S. Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. *South American Earth Science*, 9, p. 183-195, 1996.
- GIBBS, A.K.; BARRON, C.N. The Guiana Shield reviewed. *Episodes* 6, p. 7-14, 1983
- HAWKES, D.D. The Petrology of the Guiana Dolerites. *Geological Magazine*, London, v.103, p. 320-335, 1973.
- HEBEDA, E.H. *et al.* Excess Radiogenic Argon in the Precambrian Avanavero Dolerite in western Suriname (South America). *Earth & Planetary Science Letters*. 20 (2): p. 189-200, 1973.
- KAWASHITA, K. *O método Rb-Sr em rochas sedimentares, aplicação para as Bacias do Paraná e Amazonas*. 1972. 2 v. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MANDETTA, P. Datações Geocronológicas de Rochas do Território Federal de Roraima. Belém, DNPM. 14p, 1970.
- MARZOLI, A.; RENNE, P. R.; PICCIRILLO, E. M.; ERNESTO, M.; BELLINI, G.; DE MIN, A. Extensive 200-Million-Year-Old Continental Flood Basalts of the Central Atlantic Magmatic Province. *Science*, 284 v, p. 616-618, 1999.
- MCDUGALL, I.; COMPSTON, W.; HAWKES, D.D. Leakage of Radiogenic argon and strontium from minerals and Proterozoic dolerites from British Guiana: *Nature*, v. 198, p. 564-567, 1968.
- MCDUGALL, I. Isotopic Dating of the Roraima Dolerites. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 16, p. 141-145, 1968.
- MCDUGALL, I.; HARRISON, T. M. *Geochronology and Thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Method*. Second Edition. Oxford Univ. Press, New York. 1999. 243p.
- MCCLENNAN, S. M.; HEMMING, S.; MCDANIEL, D. K.; HANSON, G. N. Geochemical Approaches to Sedimentation, Provenance, and Tectonics. *Geological Society of America Special Paper* 284, p. 21-40. 1993.

- MONTALVAO, R. M. G. *et al.* *Geologia da Folha NA-20-Boa Vista; parte das folhas NA-21-Tumucuaque e NB-20-Roraima*. Projeto Radambrasil, v. 8, Rio de Janeiro, RJ. 1975.
- MELO, A. F. F. de; SANTOS, A. J.; CUNHA, M.T.P.; CAMPOS, M. J., D'ANTONA, R. J. de G. *Projeto Molibdênio em Roraima; Relatório Final*. 1978. Manaus. DNPM/CPRM, v. I-A e B.
- MENEZES LEAL, A.B. *Contribuição a petrologia e geoquímica do magmatismo basáltico Mesozóico do estado de Roraima*. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- NOMADE, S.; POUCKET, A.; CHEN, Y. The French Guyana doleritic dykes: geochemical evidence of three populations and new data for the Jurassic Central Atlantic Magmatic Province. *Journal of Geodynamics*, v. 34, Issue 5, p. 595-614, 2002.
- ONSTOTT, T.C.; YORK, D.; HARGRAVES, R.B. Dating of Precambrian Diabases dikes of Venezuela using Paleomagnetic and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ methods. In: II SIMPÓSIO AMAZÔNICO, Manaus, DNPM, 1984, Anais, p. 513-518.
- PRIEM, H.N.A. *et al.* Age of Precambrian Roraima Formation in Northeastern South America: Evidence from Isotopic Dating of Roraima Pyroclastic Volcanic Rocks in Suriname. *The Geological Society American Bulletin*, v. 84, p. 1677-1684, 1973.
- PINHEIRO, S.S. *et al.* *Geologia da Região de Caburaí. Nordeste de Roraima. Texto Explicativo*. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brasília, p. 91, 1990.
- REIS, N.J.; CARVALHO, A. S. Coberturas sedimentares do Mesoproterozóico do estado de Roraima: Avaliação e discussão de seu modo de ocorrência. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 26, p. 217-226, 1996.
- REIS, N.J.; FRAGA, L.M.; L.M.; DE FARIA, R. C. HADDAD. Orosirian calc-alkaline volcanism and the Orocaima event in the northern Amazonian Craton, eastern Roraima State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30 (3), p. 380-383, 2000.
- REIS, N.J.; FRAGA, L.M. Geological and tectonic framework of Roraima State, Guyana Shield – An overview. In: 31ST INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS. 2000. Rio de Janeiro, Brazil, Abstract Volume, General Simposia 9.
- REIS, N.J. Magmatismo Máfico Mesozóico no Escudo das Guianas. Relatório Interno. CPRM. 2002.
- REIS, N.J.; FRAGA, L.M.; DE FARIA, M.S.G.; ALMEIDA, M.E. *Geologia do estado de Roraima, Brasil*. *Geologie de la France*, nº2-3-4, p. 121-134, 2003.
- SANTOS, J. O. S. *et al.* Principais manifestações básicas não-onorogênicas na plataforma amazônica. Manaus, CPRM, p. 132, 1977.
- SANTOS, J. O. S.; REIS NETO, J. M. Algumas idades de rochas graníticas do Cráton Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982. *Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia*, Salvador, p. 339-348.
- SANTOS, J. O. S. A subdivisão estratigráfica do Grupo Roraima. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, Belém, PA. Anais, 1985, v. 1, p. 421-431.

- SANTOS, J.O.S.; REIS, N. J.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON, N.J. Age of Roraima Group and Roraima-like sequences in the northern Amazon Craton. In: 31ST INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS. 2000. Rio de Janeiro, Brazil, Expanded Abstract, 2000b.
- SANTOS, J.O.S.; POTTER, P.E.; REIS, N. J.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J. Age and regional stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like outliers in Northern South América based on U-Pb geochronology. VII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA. Belém, Brasil. 2001.
- SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I. R. Timing of mafic magmatism in the Tapajos Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, n° 4, p. 409-429 (21), 2002.
- SANTOS, J.O.S.; REIS, N. J., CHEMALES, F.; HARTMANN, L.A.; PINHEIRO, S.S.; MCNAUGHTON, N.J. Paleoproterozoic evolution of northwestern Roraima State. Absence of Archean Crust, based on U-Pb and Sm-Nd Isotopic Evidence. In: South American Symposium on Isotopic Geology. IV, Salvador, Brazil, Abstract. 2003b.
- SIMON, K. Excess argon in K-Ar and Ar-Ar geochronology. *Chemical Geology*, Elsevier, v. 188, p. 1-122. 2002.
- SNELLING, N.J. Age of the Roraima Formation, British Guiana: *Nature*, v. 198, p.1079, 1963.
- SNELLING, N. J. Y R. B. MCCONNELL. The Geochronology of Guyana. *Geologie en Mijnbouw*, 48: p. 201-213, 1969.
- STEIGER, E.; JAEGER, E. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth Planet Science Letter*, 36, p. 359-362. 1977.
- TASSINARI, C.C.G. *O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil : revisão dos dados isotópicos*. 1996. 2 v. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- TEIXEIRA, W. *Significação tectônica do magmatismo anorogênico básico e alcalino na região Amazônica*. 1978. 2 v. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, vol. 42, n° 3-4, p. 213-227. 1989.
- VASCONCELOS, P.M.; ONOE, A.T.; KAWASHITA, K.; SOARES, A.J.; TEIXEIRA, W. Geocronologia $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ no Instituto de Geociências, USP: instrumentação, procedimentos analíticos, e calibração. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 74(2): p. 297-342. 2002.

ANEXOS

ANEXO I – PRANCHA 1 (Professor Umberto G. Cordani)



Foto 1. Sill de diabásio, afloramento no rio Uailã. Local de coleta da amostra UC-RR-2.

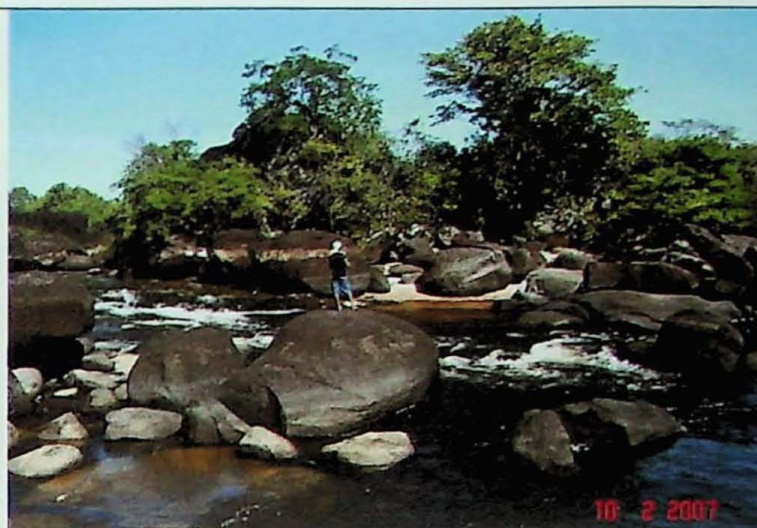


Foto 2. Detalhe do mesmo Sill de diabásio, amostra UC-RR-2.

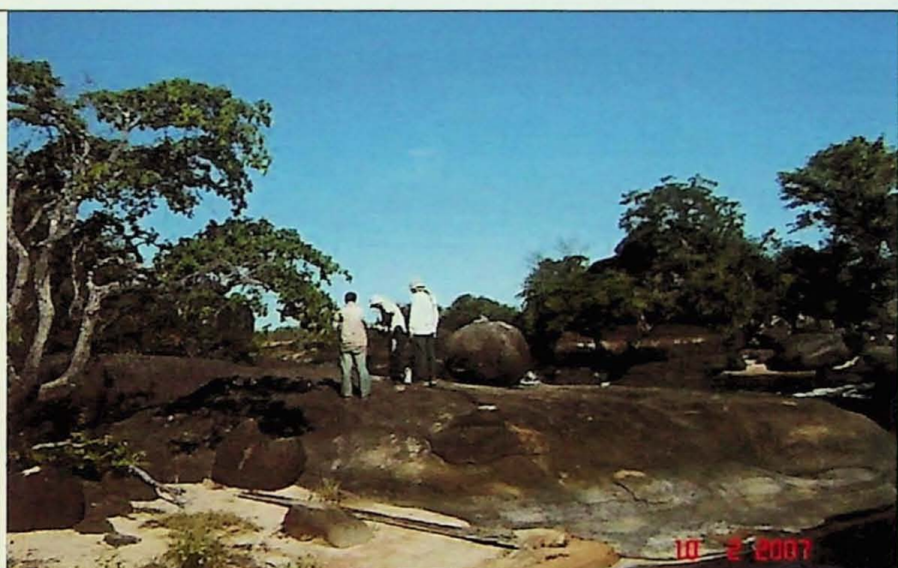


Foto 3. Sill de diabásio, afloramento no rio Uailã. Local de coleta da amostra UC-RR-2.



Foto 4. Sill de diabásio, afloramento no rio Paiuá. Local de coleta da amostra UC-RR-5.



Foto 5. Detalhe do mesmo Sill de diabásio, amostra UC-RR-5.

PRANCHA 2



Foto 6. *Sill* de gabro, afloramento também no rio Paiuá. Local de coleta da amostra UC-RR-6.



Foto 7. Dique de diabásio, afloramento nas proximidades de Vila Socó. Local de coleta da amostra UC-RR-8.



Foto 8. Dique de diabásio, afloramento no Igarapé Pau Barú. Local de coleta da amostra UC-RR-16.

PRANCHA 3 Amostras de mão (Gabriela Perlingeiro)



Foto 1. Diabásio UC-RR-2



Foto 2. Diabásio UC-RR-5.



Foto 3. Gabro UC-RR-6



Foto 4. Diabásio UC-RR-8.



Foto 5. Diabásio UC-RR-12



Foto 6. Diabásio UC-RR-16.



Foto 7. Diabásio UC-RR-18B

ANEXO II - TABELA DE RELAÇÃO DAS AMOSTRAS

Nº DE CAMPO	ROCHA	MATERIAL	MÉTODOS	LATITUDE/LONGITUDE	REFEÊNCIA GEOGRÁFICA
UC-RR-2	Diabásio	Rocha total Feldspatos impuros Piroxênios impuros	K-Ar, Rb-Sr K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr	4°, 38' / 60°, 10'	Maloca da Pedra Preta, afloramento no rio Uailã, estrada Uiramutã – Orinduque. Soleira intrusiva em pelitos.
UC-RR-5	Diabásio	Rocha total Feldspatos impuros	K-Ar, Ar-Ar K-Ar, Ar-Ar	4°, 34' / 60°, 12'	Lagoa Azul, Igarapé Paiuá, estrada Uiramutã – Maloca-Flechal. Diabásio soleira intrusiva em arenitos.
UC-RR-6	Gabro	Rocha total Piroxênios impuros Feldspatos impuros	K-Ar, Rb-Sr K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr	4°, 34' / 60°, 12'	Cerca de 200 metros do afloramento da amostra UC-RR-05. Dique de diabásio intrusivo em arenitos.
UC-RR-8	Diabásio	Rocha total Piroxênios impuros Feldspatos impuros	K-Ar, Ar-Ar K-Ar, Ar-Ar K-Ar, Ar-Ar	4°, 32' / 60°, 13'	Estrada de Uiramutã para Vila Socó, (2 km além da vila). Dique de diabásio com largura de 30 metros.
UC-RR-12	Diabásio	Piroxênios impuros Feldspatos impuros	K-Ar K-Ar, Ar-Ar	4°, 25' / 60°, 18'	Estrada Uiramutã – Surumu. Grande dique de diabásio intrusivo nas vulcânicas do Grupo Surumu.
UC-RR-16	Diabásio	Rocha total	K-Ar, Ar-Ar	3°, 43' / 61°, 45'	Estrada Tepequém – Vila Trairão. Diabásio intrusivo em diques granitóides do “embasamento”.
UC-RR-18B	Diabásio	Rocha total	K-Ar	3°, 40' / 61°, 42'	-----

ANEXO III - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

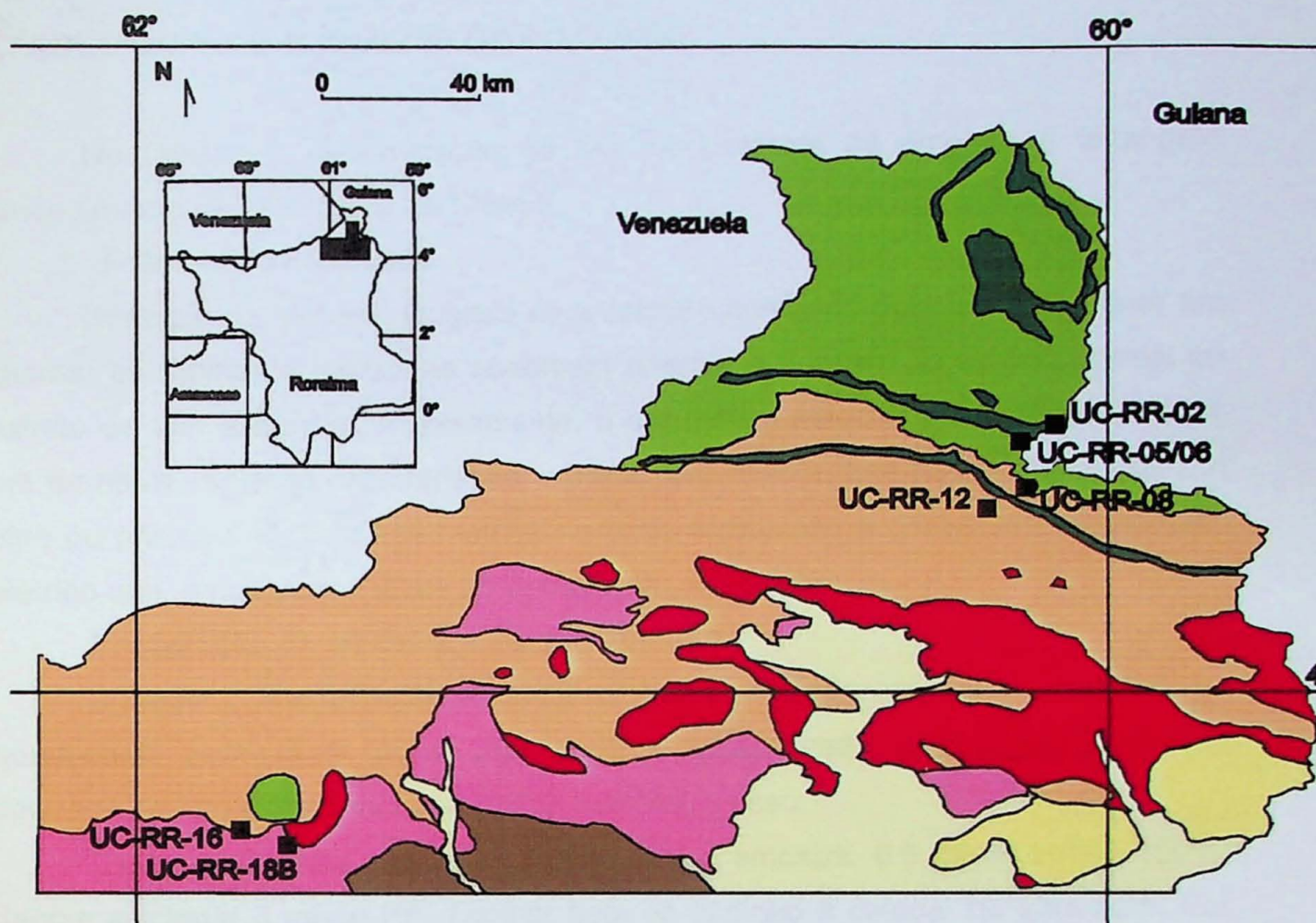


Figura 1: Mapa geológico do Estado de Roraima (adaptado de Reis, 2003).

Local de coleta das amostras

Nº de Campo	Referência Geográfica	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
UC-RR-02	Maloca da Pedra Preta, Rio Uaiã	4°, 38'	60°, 10'
UC-RR-05	Lagoa azul, Igarapé Paiua	4°, 34'	60°, 12'
UC-RR-06	Igarapé Paiua	4°, 34'	60°, 12'
UC-RR-08	Dois km leste de Vila Socó	4°, 32'	60°, 13'
UC-RR-12	Estrada Uiramutã - Tepequém	4°, 25'	60°, 18'
UC-RR-16	Estrada Tepequém - Trairão	3°, 43'	61°, 45'
UC-RR-18B	Igarapé Pau Baru	3°, 40'	61°, 42'

Legenda

- Grupo Cauarane
- Suíte Intrusiva Saracura
- Suíte Intrusiva Pedra Pintada
- Diabásio Avanavero
- Supergrupo Roraima
- Formação Boa Vista
- Grupo Surumu
- Formação Arelas Brancas
- Pontos Amostrados

ANEXO IV - PROCEDIMENTO ANALÍTICO: POTÁSSIO

ATAQUE QUÍMICO E ANÁLISE DO POTÁSSIO

No CPGeo a determinação do teor de potássio da amostra é feita pelo procedimento de Fotometria de Chama.

Fotometria de Chama

Princípio do Método: Quando uma solução contendo potássio é dispersa em chama, os átomos e moléculas absorvem energia e passam do estado normal ao estado de alta excitação. Inversamente, o retorno ao estado normal libera energia em forma de radiação característica, emitida pela chama, que passa através de um filtro ou prisma, atingindo uma fotocélula onde a radiação é convertida em impulso elétrico que, amplificado, passa ao instrumento de registro.

Preparação da amostra e ataque químico

Pesagem: Numa balança analítica, pesar cuidadosamente a amostra, na quantidade necessária (essa quantidade é determinada anteriormente porque depende do tipo do material analisado), e anotar o peso.

Química: Colocar em cada cadinho com a amostra, 0.5 ml de H_2SO_4 (50%) depois adicionar 3 ml de HF. Tampar bem os cadinho e colocar no ultra-som. Por aproximadamente 50 minutos. Retirar do ultra-som e deixar no aquecedor por uma noite debaixo de uma lâmpada fraca.

Na manhã seguinte, colocar num evaporador os cadinhos abertos. Deixar evaporar durante 3 horas debaixo de uma lâmpada fraca. Após este tempo, adicionar 0.5 ml de HNO_3 destilado e deixar aquecendo sob uma lâmpada forte.

Retirar o cadinho do evaporador e hidrolizar colocando lentamente (com um pisquete) água tri-distilada até cerca de 2/3 do volume do cadinho e aquecer por o período de uma noite onde a amostra deverá ficar totalmente dissolvida.

Após a dissolução em água transferir a solução para um frasco Erlenmeyer de 125 ml. Neutralizar com hidróxido de amônio (NH_4OH). Adicionar 5 ml de carbonato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ a 10%.

Filtrar a solução, através de um papel filtro, em balão volumétrico de 200 ml. Completar o balão volumétrico com água tri-distilada. Homogeneizar a solução e transferi-la para um frasco de polietileno para armazenamento (solução mãe).

PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO PARA NO FOTÔMETRO DE CHAMA

- A. Solução simples - Adicionar com uma pipeta em um frasco de polietileno de 60 ml:
- 30 ml de Li-133 1/3 ppm
 - 10 ml de solução da amostra
- B. B. Solução diluída (para amostras com alto teor de potássio) - Adicionar com uma pipeta em um frasco de polietileno de 60 ml:
- 15 ml de Li-133 1/3 ppm
 - 20 ml de Li-100 ppm
 - 5 ml de solução da amostra

DESCONTAMINAÇÃO

Lave-se os béqueres com água e detergente. Após a lavagem coloque em cada béquer HNO_3 (5%) e deixe em aquecimento durante 30 minutos, despreze-se o HNO_3 e enxágue-se com água Q.

Ferva-se com HNO_3 (5%) por 1 hora. Enxágue-se por 3 vezes com água Q destilada.

Ferva-se com água Q por 1 hora. Retire-se a água e leve-se para secar em estufa dentro do próprio béquer usado na descontaminação.

Guarde-se em sacos plásticos fechados e classificados por tamanho.

PROCEDIMENTO PARA O ATAQUE QUÍMICO

1. Coloque-se no béquer de 0,1 g da amostra em béquer suavisado (analisar e beturar em água abundante para evitar o problema da aderência).
2. Adicione-se 1 ml de ácido nítrico HNO_3 concentrado a 65% e 2 ml de ácido fluorídrico 20% destilado (verificar a etiqueta).
3. Coloque em fogo por um período de 30 minutos.
4. Deixe-se em aquecimento em chapa aquecedora, uma semana (a 60°C).
5. Após uma semana, retire-se para evaporar até a secar, em chapa aquecedora.
6. Dissolva-se em HCl 3N destilado e deixe-se em chapa aquecedora por uma hora (a 60°C).
7. Evapore-se até a secar e dissolva-se com HCl 2,5N.
8. No caso de análise de Li Natural (8Li), transfira-se a amostra para um tubo de ensaio (17,1) devidamente numerado. Em caso de análise de ^6Li , dissolva-se o béquer suavisado em água por 10 dias.

ANEXO V - PROCEDIMENTO ANALÍTICO: Rb - Sr

ATAQUE QUÍMICO

CONSIDERAÇÕES GERAIS

As análises pelo método Rb/Sr são, geralmente, feitas em Rocha Total (RT) podendo também, serem feita em minerais separados e a sua interpretação é feita pela construção de isócronas. Para isso, são necessárias várias amostras de rochas cogenéticas (de um mesmo corpo, do mesmo afloramento) e que apresentem entre si as maiores variações na razão Rb_{total}/Sr_{total} (bom espalhamento ao longo da ordenada x). Essa razão é obtida pelos dados de fluorescência de R-X.

Tendo em mãos esses resultados, o interessado escolhe as amostras que produzem o melhor "espalhamento" para então enviá-las ao laboratório químico.

No laboratório químico é determinado o tipo de análise a ser feita para cada amostra, sendo que, amostras com teores de Rb e/ou Sr < 50 ppm e > que 650 ppm serão feitos pelo método de Diluição Isotópica e para os teores > 50 ppm e menores que 650 ppm pelo método Natural.

A Diluição Isotópica consiste na mistura da amostra com traçadores ("spikes") dos elementos que se deseja dosar.

O procedimento para o tratamento químico utiliza béquer savillex, previamente descontaminados, e ácidos destilados.

DESCONTAMINAÇÃO

Lava-se os béqueres savillex com água e detergente. Após a lavagem colocar em cada béquer HNO_3 (50%) e deixar em aquecimento durante 30 minutos; despreza-se o HNO_3 e enxágua-se com milli-Q.

Ferve-se com HNO_3 (50%) por 1 hora. Enxágua-se por 3 vezes com água tri-distilada.

Ferve-se com água milli-Q por 1 hora. Retira-se a água e leva-se para secar em estufa dentro do próprio béquer usado na descontaminação.

Guarda-se em recipientes fechados e classificados por tamanho.

PROCEDIMENTO PARA O ATAQUE QUÍMICO

1. Coloca-se aproximadamente 0.1 g da amostra em béquer savillex (envolver o béquer em papel alumínio para evitar o problema de estática);
2. Adiciona-se 1 ml de ácido nítrico (HNO_3) concentrado e destilado e 3 ml de ácido fluorídrico (HF) destilado (usar a capela);
3. Coloca-se em ultra-som por, aproximadamente, 60 minutos;
4. Deixa-se em aquecimento em chapa aquecedora, uma semana ($\pm$ a 60° C);
5. Após uma noite, coloca-se para evaporar até a secura, em chapa aquecedora,
6. Dissolve-se em HCl 6N destilado e deixa-se em chapa aquecedora, por uma noite ($\pm$ a 60° C);
7. Evapora-se até a secura e dissolve-se com HCl 2.62N;
8. No caso de análise de Sr Natural (Sr_N), transfere-se a amostra para um tubo de centrífuga (T_c), devidamente numerado. Em caso de diluição isotópica (DI), deixa-se o béquer savillex em repouso por 10 dias.

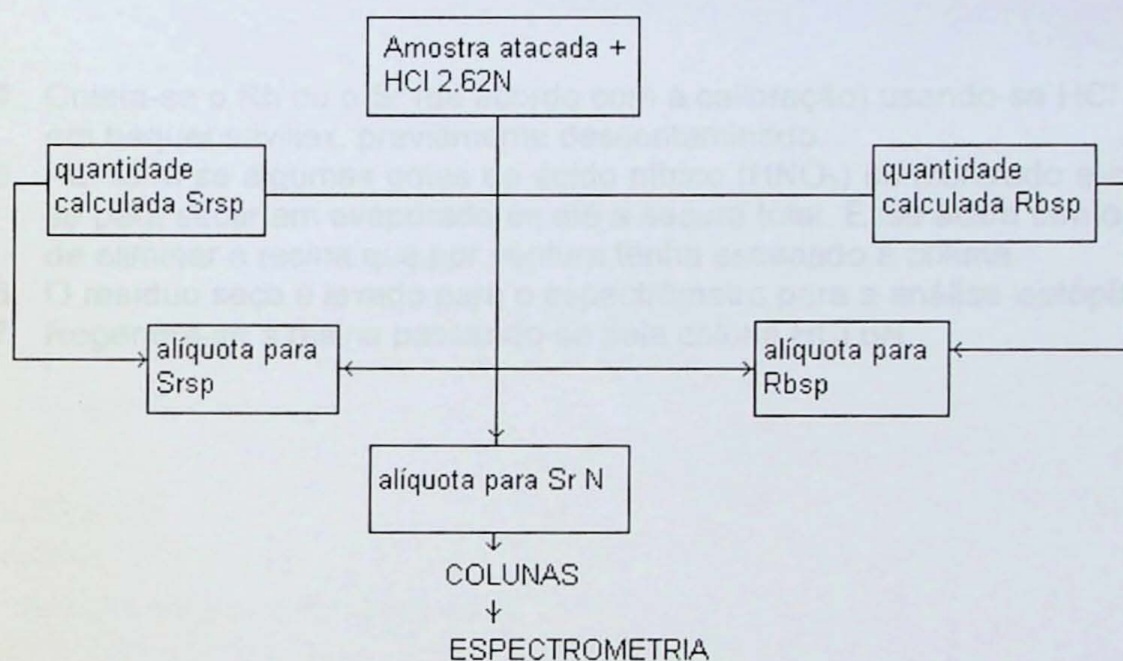
9. Nos casos em que há necessidade de análise por DI para determinação dos teores de Rb e Sr da amostra, deve-se proceder a três análises espectrométricas dessa mesma amostra:

Estrôncio Natural (Sr_N) ou da amostra: para a análise da composição isotópica do estrôncio.

Estrôncio Spike (Sr_{sp}): Estrôncio natural + Estrôncio do traçador para a determinação do teor de Sr da amostra.

Rubídio Spike (Rb_{sp}): Rubídio natural + Rubídio do traçador para a determinação do teor de Rb da amostra.

Para esse procedimento, separa-se da amostra que ficou em repouso, 3 alíquotas conforme o esquema abaixo:



Nas alíquotas para Sr_{SP} e Rb_{SP} , adiciona-se uma quantidade previamente calculada de spike.

10. Transfere-se as alíquotas "spikadas" para tubos de centrífuga devidamente numerados.

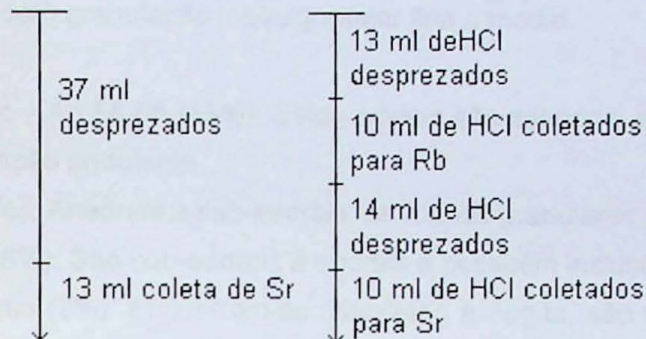
PROCEDIMENTO PARA O TRABALHO COM AS COLUNAS DE TROCA IÔNICA

Após preencher as folhas de controle do laboratório químico (roteiro das colunas Rb/Sr):

1. Procede-se a centrifugação durante o tempo suficiente para que o líquido fique transparente, ou seja, com o resíduo totalmente depositado no fundo.

2. Usando uma trompa de vácuo e com HCl 2.62N faz-se refluxo em todas as colunas de resina catiônica (AG-50 WX8, 200-400 mesh).
3. Deixa-se escoar todo o ácido e inicia-se a deposição da amostra (de acordo com a calibração).

EXEMPLO DE CALIBRAÇÃO



4. Coleta-se o Rb ou o Sr (de acordo com a calibração) usando-se HCl 2.62N em béquer savillex, previamente descontaminado.
5. Adiciona-se algumas gotas de ácido nítrico (HNO_3) concentrado e coloca-se para secar em evaporadores até a secura total. Esse ácido tem o poder de eliminar a resina que por ventura tenha escapado a coluna.
6. O resíduo seco é levado para o espectrômetro para a análise isotópica.
7. Regenera-se a resina passando-se pela coluna HCl 6N.

ANEXO VI – PETROGRAFIA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

Amostra: UC-RR-2

Rocha: Diabásio Avanavero

Imagens: Fotos 1, 2 e 3 e fotomicrografias 1 e 2

Textura:

Subofítica com granulação inequigranular fina a média.

Minerais:

Plagioclásio - An 55-65 (45%): Estes cristais são zonados, sub-idiomórficos a idiomórficos, ripiformes e com extinção ondulante.

Augita (25%): Anedrais a sub-eudrais, de formas granulares a prismáticas.

Pigeonita (8%): São sub-eudrais a eudrais e possuem inclusões de plagioclásio.

Ortopiroxênio (7%): Encontram-se associado à Augita, são subeudrais e variam de 0,3 a 0,8mm em média.

Minerais acessórios:

Quartzo (4%): Intersticial, cristais pequenos.

Biotita (3%): Cristais lamelares.

Microclínio (3%): Está em crescimento gráfico com os grãos de quartzo intersticiais.

Clorita (2%): Associada às bordas dos piroxênios.

Epidoto (1%): Mineral de alteração, acicular e com cor amarelo-amarronzada.

Apatita (1%): De hábito acicular, e cristais bem espalhados na rocha.

Opacos (1%): Microfenocristais de magnetita.

Amostra: UC-RR-5

Rocha: Diabásio

Imagens: Fotos 4 e 5 e fotomicrografias 3 e 4

Textura:

Subofítica e granulação inequigranular fina a média.

Minerais:

Plagioclásio - An 55-70 (45%): São zonados, sub-idiomórficos a idiomórficos, ripiformes e com maclas albita e albita-Carlsbad. Aparecem parcialmente ou totalmente englobados por piroxênios, e por vezes formam fenocristais.

Augita (23%): Apresentam-se na forma granular a prismática e possuem aspecto pouco límpido.

Ortopiroxênio (12%): Os cristais são sub-eudrais a eudrais e estão associados às augitas.

Pigeonita (5%): São cristais com cor de interferência esverdeada e estão associados à augita.

Minerais acessórios:

Biotita (4%): Lamelar subeuédrica, de cor avermelhada.

Microclínio (3%): Bem disperso na lâmina, associados ao quartzo.

Quartzo (3%): Intersticial.

Opacos (2%): Magnetitas tardias, e em geral associadas à biotita.

Epidoto (1%): Faz associação com o plagioclásio, mineral tardio e de hábito acicular ou granular bem disperso na lâmina.

Apatita (1%): Cristais aciculares.

Clorita (1%): Parece que estes cristais possuem proveniência da desestabilização da labradorita.

Amostra: UC-RR-6

Rocha: Gabro

Imagens: Fotos 6 e fotomicrografias 5 e 6

Textura:

Subofítica e granulação inequigranular média a grossa.

Minerais:

Plagioclásio - An 55-65 (40%): Na maioria dos cristais observa-se um aspecto turvo devido à substituição por anfibólio, mas pode possuir ainda aspecto límpido. Seu hábito é prismático, sub-idiomórficos a idiomórficos. Cristais com geminação polissintética e com interstícios ocupados por piroxênios. É o mineral mais alterado.

Augita (25%): Por vezes formam microfenocristais. Estes se mostram parcialmente transformados em anfibólio e clorita, e ocasionalmente em opacos.

Hornblenda (10%): Pode constituir fenocristais de formato eudral ou subedral ou ainda, mais raramente, fazer parte da matriz.

Biotita (6%): Ocorre em cristais lamelares dispersos, ou por vezes, em concentrações irregulares heterogeneamente distribuídas na rocha. Seu pleocroísmo varia de castanho claro a castanho escuro, com alguns cristais mostrando, localmente, tons avermelhados.

Ortopiroxênio (5%): Possui lamelas de exsolução de augita.

Minerais acessórios:

Microclínio (3%): Como na amostra anterior, disperso na matriz e seus grãos se encontram em associação aos grãos de quartzo.

Quartzo (3%): Anedral e ocorre comumente como cristais intersticiais e por vezes com extinção ondulante.

Clorita (2%): Posterior devido à processos hidrotermais, substitui a augita.

Apatita (1%): Acicular e tardia, sempre incluída nos demais minerais.

Opacos (1%): Ilmenitas anedrais a subedrais, tardios e relacionados aos cristais de biotita.

Amostra alterada sem nenhum sinal de metamorfismo. Rocha ígnea com textura primária bem preservada.

Amostra: UC-RR-8

Rocha: Diabásio Avanavero

Imagens: Fotos 7 e fotomicrografias 7 e 8

Textura:

Subofítica e granulação inequigranular fina a média.

Minerais:

Plagioclásio - An 50-65 (44%): Mineral mais abundante. Seus cristais ocorrem quase sempre subedrais, tabulares, constituindo a trama principal da rocha; na condição de fenocristais, geminados, ocasionalmente zonados e pode conter inclusões de biotita e apatita.

Augita (26%): Anedrais a subeudrais com clivagem primática.

Hornblenda (10%): Mineral de pleocroísmo castanho, também é formado a partir do piroxênio.

Minerais acessórios:

Quartzo (5%): Aparece predominantemente anedral, com grãos intersticiais.

Biotita (4%): Lamelares e bem avermelhadas, secundária e formada à custa do piroxênio.

Microclínio (3%): Foi identificado apenas um grão na lâmina, de forma prismática e tamanho de 0,4mm.

Opacos (4%): Magnetitas subeudrais.

Clorita (3%): Cristais tardios, produtos da substituição do piroxênio.

Apatita (1%): ocorre com formas hexagonais ou em bastões, conforme a secção analisada, e está sempre incluída nos demais minerais.

Amostra: UC-RR-12

Rocha: Diabásio "Suíte Básica Apoteri"

Imagens: Fotomicrografias 9 e 10

Textura:

Subofítica e granulação inequigranular fina a média.

Minerais:

Plagioclásio - An 50-70 (45%): Ocorrem predominantemente como fenocristais e microfenocristais e em menor abundância como matriz. São ripas subeuédrica a euédrica, de hábitos gerais curtos a alongados. As bordas são corroídas e estas fazem contato reto, curvo ou reentrantes com cristais de piroxênio.

Augita (28%): De modo geral, apresentam-se anedrais a sub-eudrais, englobando parcialmente os plagioclásios ou mesmo preenchendo seus interstícios. Por vezes possuem suas bordas alterando para biotita ou clorita.

Hornblenda (12%): De natureza secundária, são provenientes de transformações tardias de piroxênio. Encontram-se nas bordas das augitas e são de coloração castanho-esverdeada. Pode aparecer em contato interdigitado com cristais de biotita.

Minerais acessórios:

Microclínio (4%): Está em crescimento gráfico com quartzo.

Biotita (3%): Possuem a forma lamelar subeuédrica em grãos esparsos pela matriz. Pode aparecer em contato interdigitado com cristais de piroxênio e anfibólio.

Quartzo (3%): Restrito a matriz em grãos individualizados.

Opacos (2%): São compostos por magnetitas e rara ilmenita. Representados por fenocristais dispersos na matriz.

Clorita (2%): Aparecem preenchendo fissuras. Formada a partir da desestabilização de plagioclásio e piroxênios.

Apatita (1%): Pouco expressiva de forma acicular.

Amostra: UC-RR-16

Rocha: Diabásio

Imagens: Foto 8 e fotomicrografias 11 e 12

Textura:

Intergranular e granulação inequigranular fina a média.

Minerais:

Augita (38%): Define a trama principal da rocha na qual estão inseridos os demais minerais.

Hornblenda (28%): Aparece subidiomórfica a idiomórfica, de pleocroísmo verde e mais raramente marrom.

Opacos (17%): Grãos anedrais a subeudrais dispersos na matriz e são tardios.

Clorita (12%): São cristais que substituem os piroxênios, são anedrais e aparecem na dispersos matriz máfica.

Minerais acessórios:

Quartzo (3%): Geralmente intersticial, ocorrendo alguns grãos com formas lenticulares.

Plagioclásio (2%): Aparecem cristais geminados conforme a lei da Albita, e são subédricos podendo mostrar figura de corrosão. Ocasionalmente se mostram saussuritizados.

Epidoto(2%): De hábito granular, está associado ao anfibólio e a clorita. Mineral de alteração hidrotermal.

Apatita (1%): Eudrais e seus cristais aciculares e prismáticos, geralmente estão inclusos nos essenciais.

Amostra: UC-RR-18B

Rocha: Diabásio

Imagens: Fotomicrografias 13 e 14

Textura:

Intergranular e granulação inequigranular fina a média.

Minerais:

Augita (32%): O piroxênio apresenta-se de forma sub a euédricos, com hábito prismáticos por vezes alongados, e há casos em que podem aparecer curvados.

Hornblenda (30%): Forma a matrix da rocha em cristais subhédricos de granulação fina, e estão frequentemente associados aos óxidos.

Opacos (15%): São tardios, anedrais e se encontram por vezes concentrados em partes na rocha.

Clorita (14%): Tardia em relação aos demais minerais juntamente com os opacos e aparece substituindo plagioclásio ou piroxênio.

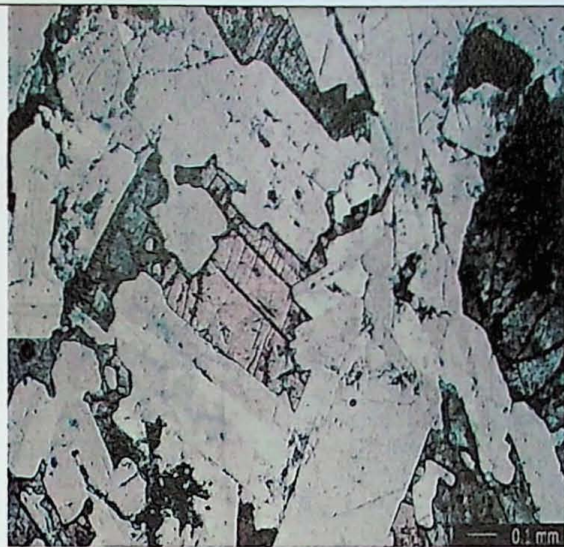
Minerais acessórios:

Quartzo (5%): São grãos entre 0,05 e 0,1mm, subeudrais e espelhados na matrix de forma heterogênea.

Plagioclásio (3%): Normalmente, subedrais, com geminações polissintéticas típicas. São geralmente zonados, sobrecidos, e às vezes formam aglomerados e exibe geminações típicas de seu grupo.

Apatita (1%): na forma de agulhas espalhadas na lâmina.

ANEXO VII – FOTOMICROGRAFIAS (Fotos de Gabriela Perlingeiro)



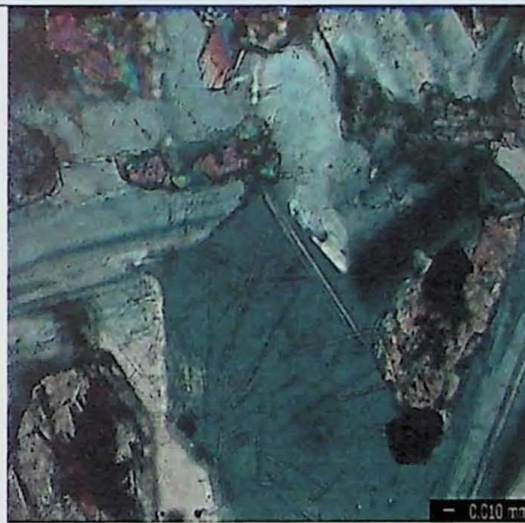
Fotomicrografia 1 – UC-RR-02 Soleira de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro piroxênio augita. Nicóis paralelos. 5X.



Fotomicrografia 2 - UC-RR-02 Soleira de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro piroxênio augita. Nicóis cruzados. 5X.



Fotomicrografia 3 - UC-RR-05 Soleira de diabásio. Apatita inclusa em cristais de plagioclásio. Nicóis paralelos. 40X.



Fotomicrografia 4 - UC-RR-05 Soleira de diabásio. Apatita inclusa em cristais de plagioclásio. Nicóis cruzados. 40X.



Fotomicrografia 5 - UC-RR-06 Dique de gabro. Aspecto geral da disposição dos minerais, no centro plagioclásios, augita e clorita. Nicóis paralelos. 5X.



Fotomicrografia 6 - UC-RR-06 Dique de gabro. Aspecto geral da disposição dos minerais, no centro plagioclásios, augita e clorita. Nicóis cruzados. 5X.



Fotomicrografia 7 - UC-RR-08 Dique de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro relação entre augita e hornblenda. Nicóis paralelos. 5X.



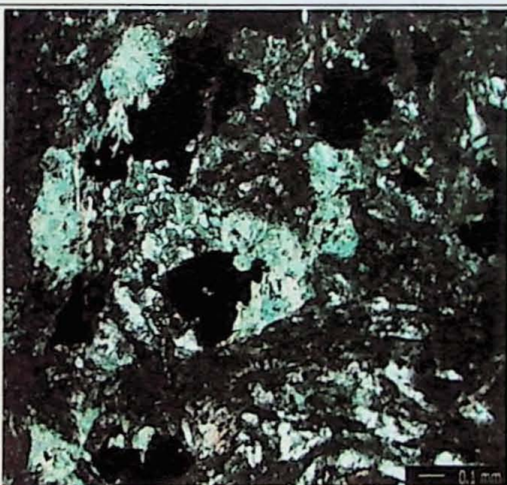
Fotomicrografia 8 - UC-RR-08 Dique de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro relação entre augita e hornblenda. Nicóis cruzados. 5X.



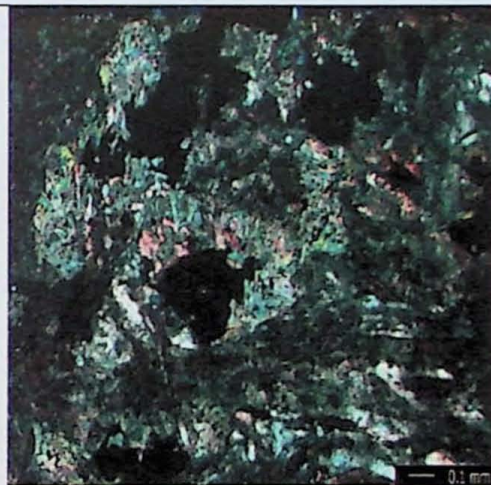
Fotomicrografia 9 - UC-RR-12 Soleira de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro relação entre augita e hornblenda. Nicóis paralelos. 5X.



Fotomicrografia 10 - UC-RR-12 Dique de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro relação entre augita e hornblenda. Nicóis cruzados. 5X.



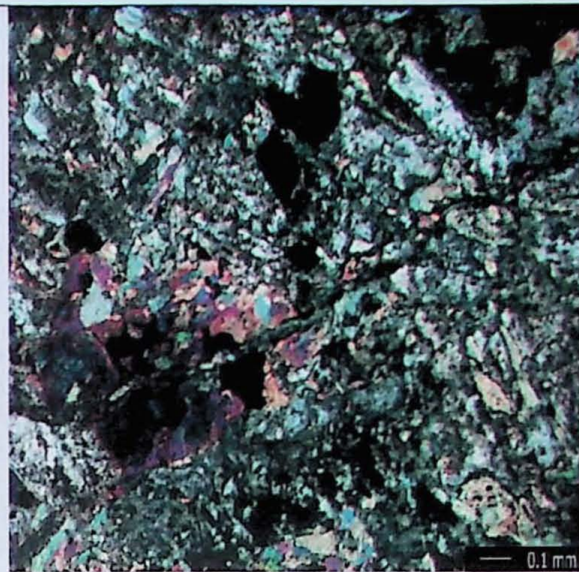
Fotomicrografia 11 - UC-RR-16 Dique de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro relação entre augita e hornblenda. Nicóis paralelos. 5X.



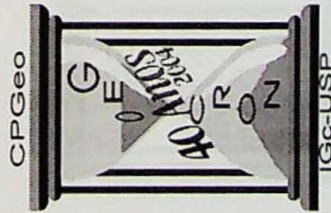
Fotomicrografia 12 - UC-RR-16 Dique de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro relação entre augita e hornblenda. Nicóis cruzados. 5X.



Fotomicrografia 13 - UC-RR-18b Dique de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro relação entre augita e opacos. Nicóis paralelos. 5X.



Fotomicrografia 13 - UC-RR-18b Dique de diabásio. Aspecto geral da disposição dos minerais. No centro relação entre augita e opacos. Nicóis paralelos. 5X.



ANEXO VIII – DADOS ANALÍTICOS K-AR
CPGeo - Centro de Pesquisas Geocronológicas - Instituto de Geociências - USP

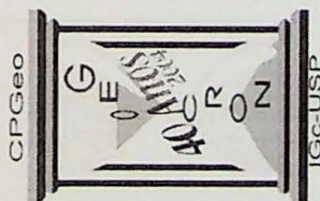
Datação K/Ar

Interessado: D64-Gabriela / Prof. Cordani

Data: 29/03/08

SPK	N. de Campo	Material Analisado	Rocha	% de K	erro de K (%)	Ar ⁴⁰ Rad ccSTP/g (*10 ⁻⁶)	Ar ⁴⁰ Atm (%)	Tmax (MA)	Idade (MA)	Erro Max (MA)
8114	UC-RR-2 D64	Feldspatos	Diabásio	0,5265	1,4147	81,62	4,30	2142,8	2105,7	37,0
8120	UC-RR-2 D64	Piroxênios	Diabásio	0,1774	3,3272	23,60	4,15	1980,0	1921,7	66,8
8143	UC-RR-2 D64	RT	Diabásio	0,4295	1,4950	55,12	6,44	1915,1	1878,0	37,2
8202	UC-RR-5 D64	Feldspatos	Diabásio	0,9535	0,5000	94,54	3,31	1612,5	1590,6	22,0
8142	UC-RR-5 D64	RT	Diabásio	0,4513	0,7596	40,19	8,71	1505,8	1479,8	26,0
8116	UC-RR-6 D64	Feldspatos	Gabro	1,4270	2,0592	125,24	4,05	1502,3	1465,6	36,8
8201	UC-RR-6 D64	Piroxênios	Gabro	0,5709	1,3027	65,71	5,57	1788,0	1753,4	34,6
8145	UC-RR-6 D64	RT	Gabro	0,9840	0,8348	96,83	7,38	1608,9	1582,8	26,1
8098	UC-RR-8 D64	Feldspatos	Diabásio	1,5359	1,7779	205,38	0,84	1965,5	1926,5	39,3
8118	UC-RR-8 D64	Piroxênios	Diabásio	0,3445	3,2474	50,15	4,16	2088,2	2029,7	69,0
8126	UC-RR-8 D64	RT	Diabásio	0,5323	0,6914	76,48	2,55	2040,6	2012,0	28,6
8122	UC-RR-12 D64	Feldspatos	Diabásio	0,5705	2,3859	6,34	46,25	281,5	266,0	15,4
8124	UC-RR-12 D64	RT	Diabásio	0,5057	0,5460	5,78	29,77	281,4	272,4	9,0
8128	UC-RR-16 D64	RT	Diabásio	0,9664	1,5148	65,02	4,31	1242,2	1214,4	27,8
8127	UC-RR-18B D64	RT	Diabásio	0,9879	0,8981	82,31	4,70	1438,0	1413,5	24,5

ANEXO IX – Dados analíticos Rb-Sr



CPGeo - Centro de Pesquisas Geocronológicas - Instituto de Geociências - USP

Datação Rb/Sr

Interessado: D64-TF Gabriela-UC Data: 22/10/2008

Natural

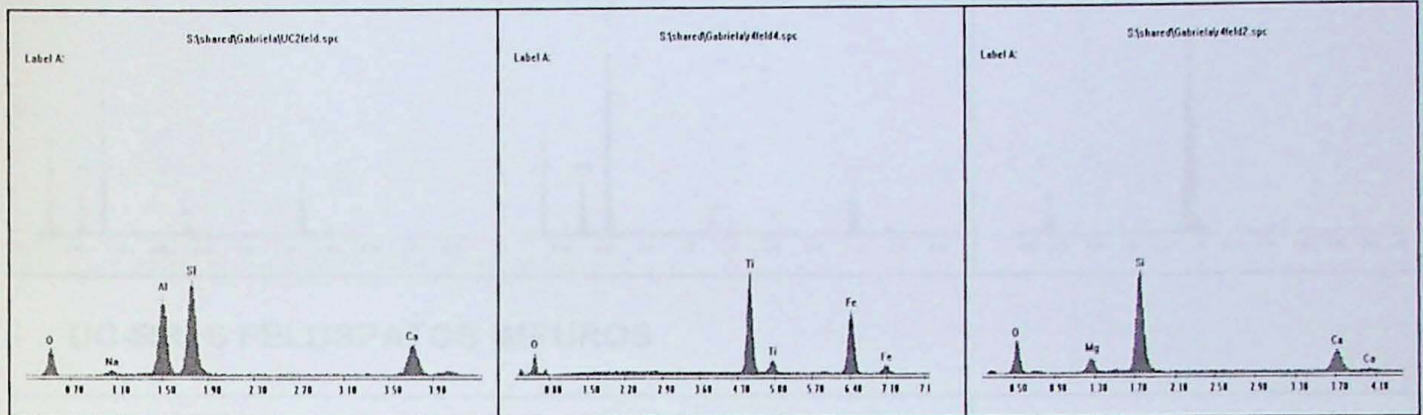
SPR	No. Campo	Material	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ (X)	Erro	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ (Y)	Erro	T(Ma)	Erro
15926	UC-RR-6 D64	Feldspatos/ Gabro	51,0	275,1	0,537	0,006	0,719276	0,000054	$\lambda = 1,42$ 1849,1	$R_i = 0,705$ 256,6
5581	UC-RR-8 D64	RT/ Diabásio	50,0	219,6	0,659	0,014	0,720073	0,000039	1591,7	211,6
15927	UC-RR-8 D64	Feldspatos/ Diabásio	54,5	368,1	0,429	0,002	0,715056	0,000051	1633,2	321,3

Diluição Isotópica

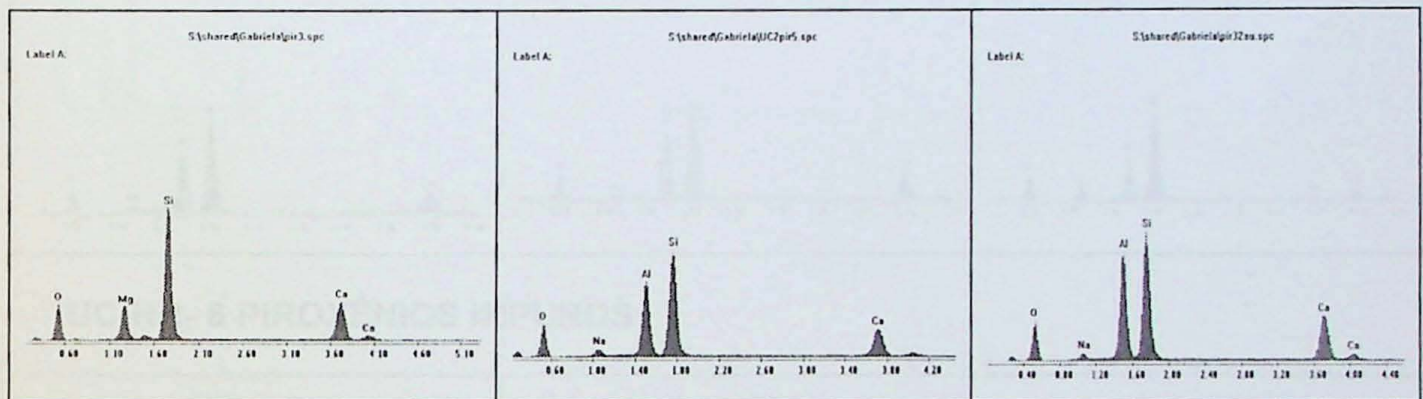
5346	UC-RR-2 D64	RT/ Diabásio	20,11	227,55	0,2558	0,0020	0,70973	0,00004	1313,8	541,5
15861	UC-RR-2 D64	Feldspatos/ Diabásio	12,48	403,01	0,0896	0,0007	0,70706	0,00004	1639,0	1537,2
15925	UC-RR-2 D64	Piroxênios/ Diabásio	16,76	41,99	1,1574	0,0091	0,72746	0,00004	1391,9	120,3
5347	UC-RR-6 D64	RT/ Gabro	49,93	196,78	0,7355	0,0059	0,72301	0,00006	1715,5	187,7
15928	UC-RR-8 D64	Piroxênios/ Diabásio	21,13	35,17	1,7451	0,0137	0,74672	0,00005	1662,7	80,1

ANEXO X - ANÁLISES DE EDS PARA AMOSTRAS Ar-Ar NA UNIVERSIDADE DE QUEENSLAND.

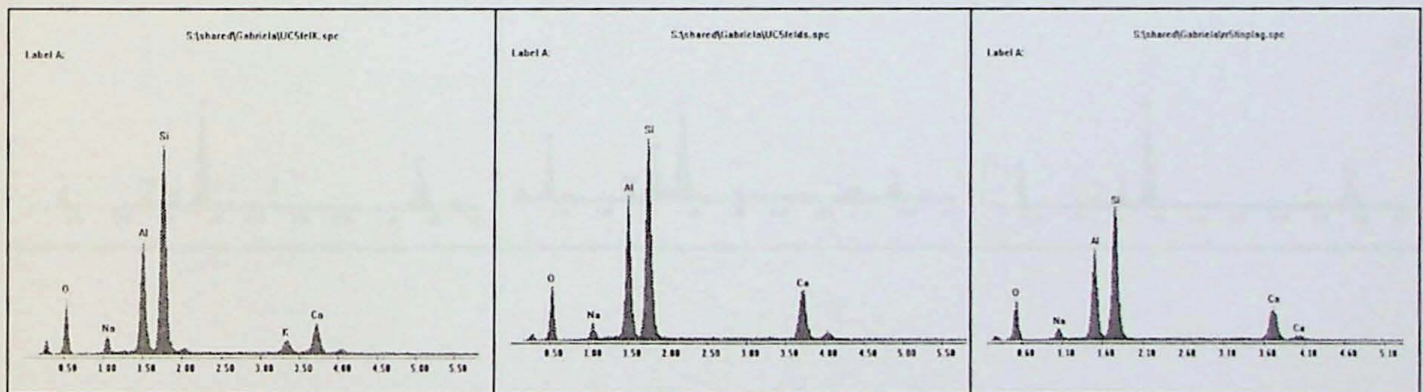
UC-RR- 2 FELDSPATOS



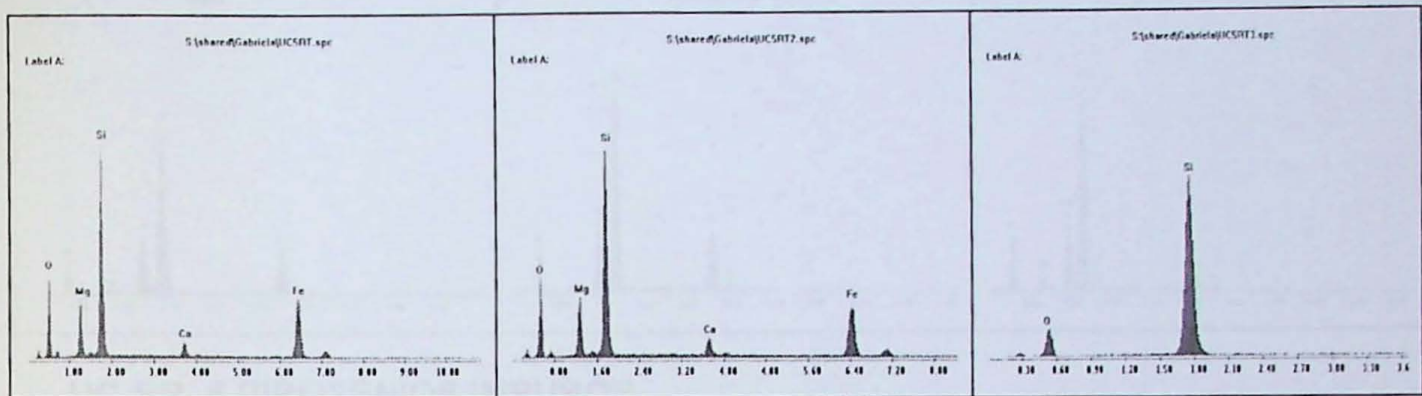
UC-RR- 2 PIROXÊNIOS



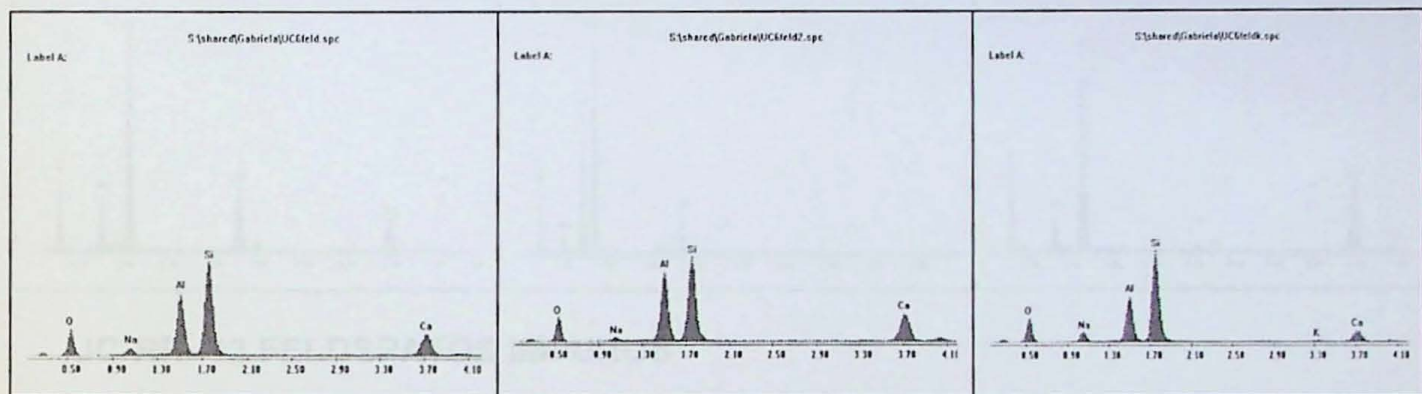
UC-RR- 5 FELDSPATOS



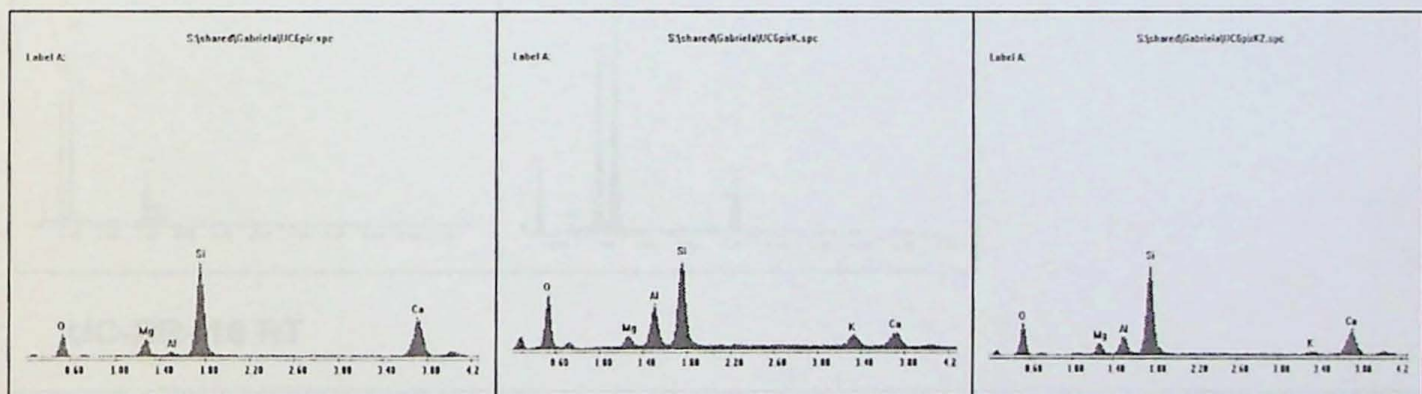
UC-RR- 5 RT



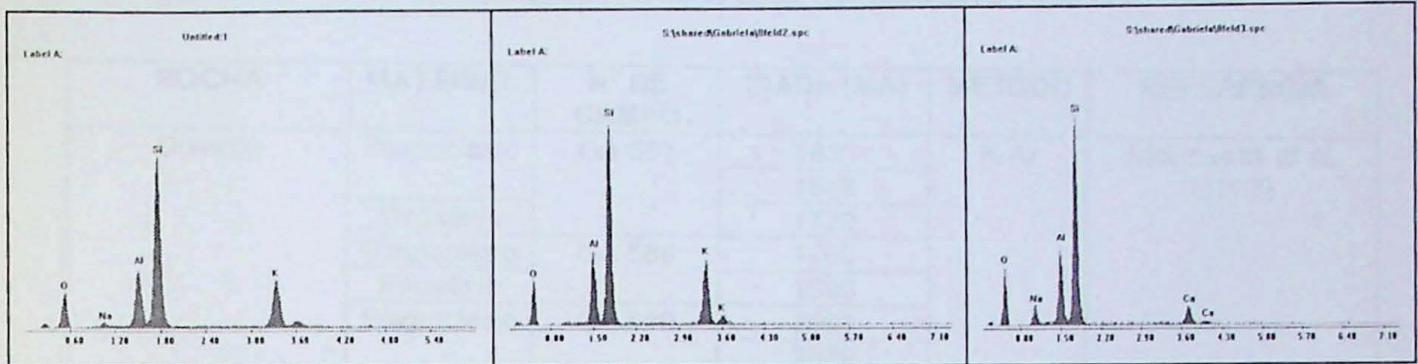
UC-RR- 6 FELDSPATOS IMPUROS



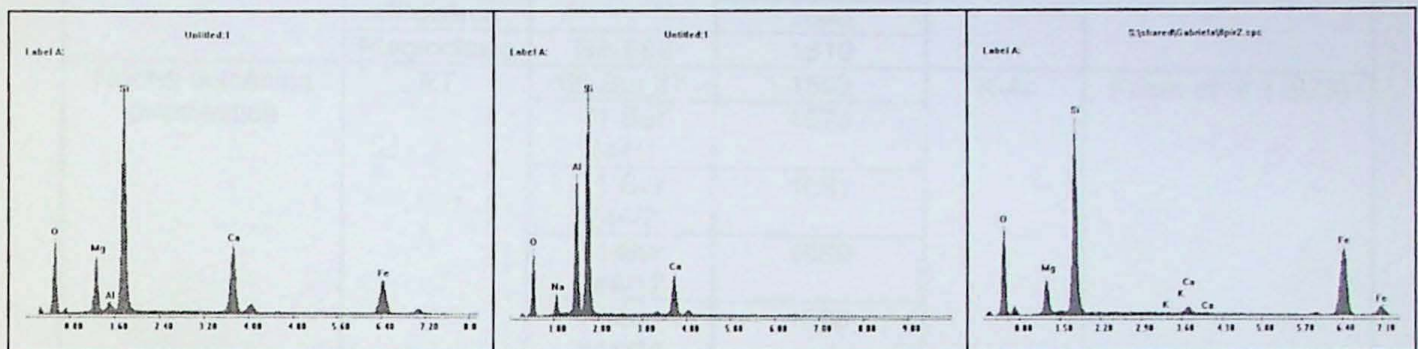
UC-RR- 6 PIROXÊNIOS IMPUROS



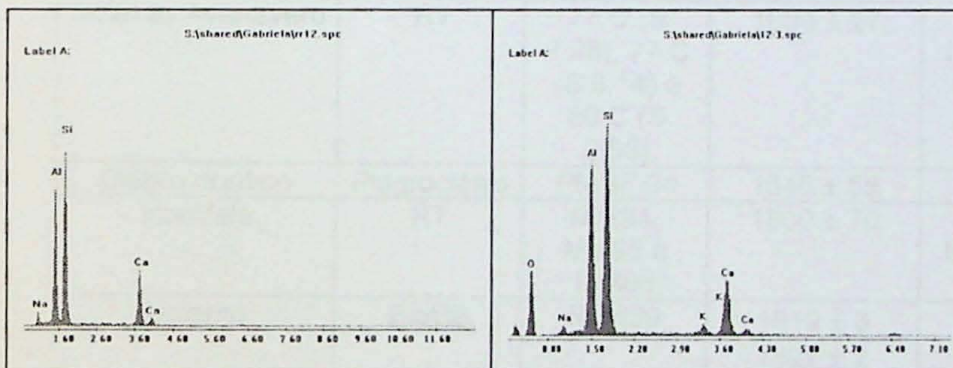
UC-RR- 8 FELDSPATOS IMPUROS



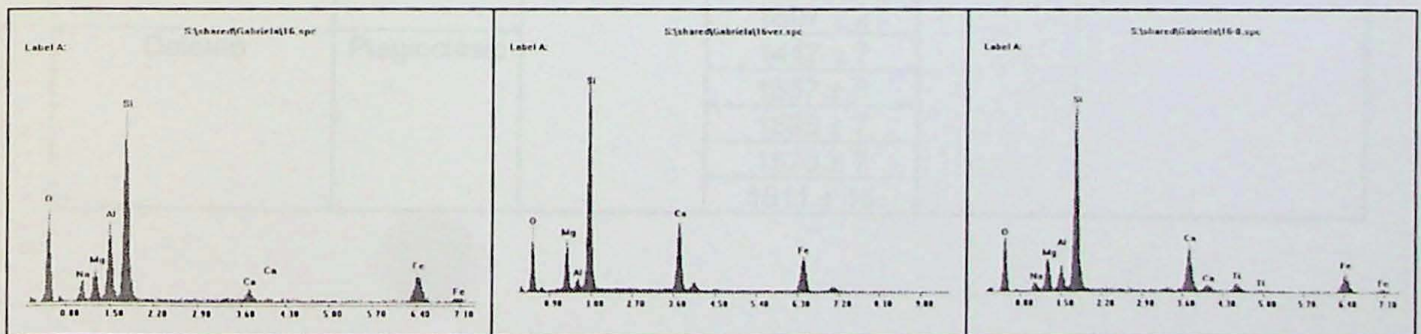
UC-RR- 8 PIROXÊNIOS IMPUROS



UC-RR- 12 FELDSPATOS IMPUROS



UC-RR- 16 RT



ANEXO XI - PRINCIPAIS TRABALHOS COM DATAÇÕES PROTEROZOÍCAS
REFERENTES AO MAGMATISMO AVANAVERO NO ESCUDO DAS GUIANAS

ROCHA	MATERIAL	Nº DE CAMPO	IDADE (MA)	MÉTODO	REFERÊNCIA	
Dolerito	Plagioclásio	GA 687	1833	K-Ar	McDougall <i>et al.</i> (1963)	
			1848			
	Piroxênio		1720			
	Plagioclásio	GA 688	1760			
	Piroxênio		1690			
	Plagioclásio	GA 689	2091			
			2079			
		GA 690	1600			
	Piroxênio		1670			
	Plagioclásio	GA 691	1660			
	Piroxênio		1540			
Plagioclásio	GA 692	1610				
Rocha vulcânica piroclástica	RT	66 Sur 27	1592	K-Ar	Priem <i>et al.</i> (1973)	
		71 Sur 244/1	1573			
		71 Sur 244/2	1681			
		71 Sur 244/12	1669			
		71 Sur 244/14	1596			
		14 amostras	1599 ± 18	Rb-Sr Isócrona		
Dolerito Avanavero	RT	77 C (S 2.98), 77 C (S 3.14) e 80 C (S 2.98)	1603 ± 27	Rb-Sr Isócrona	Hebeda <i>et al.</i> (1973)	
Gabro norítico	Plagioclásio	PN/JF 04	1646 ± 55	K-Ar	Basei e Teixeira (1975)	
Hornfels	RT	MM94, MM95 e MM96	1800 ± 70	Rb-Sr Isócrona		
Dolerito	Biotita	RBH39	1819 ± 3	Ar-Ar	Onstott <i>et al.</i> (1984)	
			1827 ± 2			
			1849 ± 1			
			1823 ± 2			
			1804 ± 1			
			1807 ± 2			
Dolerito	Plagioclásio		1447 ± 7			
			1557 ± 5			
			1595 ± 7			
			1570 ± 7			
			1511 ± 16			

PRINCIPAIS TRABALHOS COM DATAÇÕES MESOZÓICAS REFERENTES AO
MAGMATISMO APOTERI NO ESCUDO DAS GUIANAS

ROCHA	MATERIAL	Nº DE CAMPO	IDADE (MA)	MÉTODO	TRABALHO
Dolerito	Plagioclásio	67 Sur 31 (57)	216 ± 6	K-Ar	Priem <i>et al.</i> (1968)
Diabásio	RT	JPB - 68	208 ± 6	K-Ar	Snelling e McConnell (1969)
Suíte Básica Apoteri Diabásio	RT	RR - 226	363 ± 32	K-Ar	Mandetta (1970)
Suíte Básica Apoteri Gabro		RR - 203.4	205 ± 18		
Dolerito – R. Corantijn	RT	67 Sur 40	182	K-Ar	Priem <i>et al.</i> (1971)
Dolerito	RT	67 Sur 19	242 ± 12	K-Ar	Priem <i>et al.</i> (1973)
Dolerito – R. Suriname		67 Sur 23	233 ± 15		
Dolerito – R. Brown Swer		67 Sur 24	224 ± 10		
Dolerito – R. Marowijne		67 Sur 31	221 ± 6		
Dolerito – R. Kabalebo		67 Sur 22	211 ± 10		
Suíte Básica Apoteri Diabásio	RT	RR - 143	379 ± 22	K-Ar	Amaral (1974)
Suíte Básica Apoteri	RT	2 – 67 - 34	155 ± 38	K-Ar	Tomaz Filho <i>et al.</i> (1974)
		2 - 67 - 2	150 ± 38		
		RR - 76	130 ± 19		
Diabásio		JPB - 77	196 ± 6		
Dolerito	Plagioclásio	GF - 21 (57)	227 ± 7	K-Ar	Teixeira <i>et al.</i> (1984)
		GF - 1 (42)	210 ± 6		
	RT	GF- 3 (44)	223 ± 12		
Dolerito	RT	GF - 49C (64)	248 ± 21	K-Ar	Teixeira <i>et al.</i> (1985)
		GF - 38 (60)	189 ± 12		
Basalto toleítico	Plagioclásio	8804	201.1 ± 1.4	Ar-Ar	Marzoli <i>et al.</i> (1999)
		8818	197.4 ± 3.8		
		8820	197.9 ± 0.4		

DOAÇÃO

IGC-USP

Date: 20/02/09

