

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO TECTONO-MAGMÁTICA DO NORTE
DA CORDILHEIRA CENTRAL DA COLÔMBIA,
BATOLITO NOROSÍ, REGIÃO DE SAN LUCAS**

Lucas Mesz

Orientador: Prof. Dr. Umberto G. Cordani

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08/32)**

**SÃO PAULO
2008**

**TF
M586
L.c**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO TECTONO-MAGMÁTICA DO NORTE DA
CORDILHEIRA CENTRAL DA COLÔMBIA, BATOLITO NOROSÍ,
REGIÃO DE SAN LUCAS

Lucas Mesz



Orientador : Umberto G. Cordani

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF – 2008/32)

Nome

Assinatura

Lucas Mesz

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Lucas Mesz", is written over a single horizontal line.

Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani

A single horizontal line, intended for the signature of the supervisor, Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani.

SÃO PAULO
2008

DEDALUS - Acervo - IGC



30900025561

TF
M586
L.C

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO TECTONO-MAGNÉTICA DO NORTE DA
CORDILHEIRA CENTRAL DA COLOMBIA, RANGITO NOROCCIDENTAL
REGIÃO DE SAN LUCAS



Lucas Mees

Orientador: Umberto B. Gondwe

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMAÇÃO
(TF - 2002)

Assinatura

Nome



Lucas Mees

Prof. Dr. Umberto B. Gondwe

SÃO PAULO
2002

Aos meus pais, Edmir e Ivete.
Pelo amor e carinho que ambos me deram
E a felicidade que me proporcionam.
Pelo incentivo e confiança que colocam em mim.

Agradecer primeiramente ao professor Roberto por colaborar com esta atividade de sala de aula, no sentido de oferecer as orientações e as dicas para que possam trabalhar com mais segurança. Ainda desejo agradecer muito a todos.

A todos da Universidade de Brasília - Ao professor Roberto que me encorajou a fazer o curso e ao curso em si, ao curso de Letras da Universidade de Brasília que me deu a oportunidade de aprender e de crescer. Ao curso de Letras da Universidade de Brasília que me deu a oportunidade de aprender e de crescer. Ao curso de Letras da Universidade de Brasília que me deu a oportunidade de aprender e de crescer.

Agradecer a todos que me ajudaram e me apoiaram durante este curso. A todos que me ajudaram e me apoiaram durante este curso.

A todos os meus amigos de curso. Aos amigos e aos colegas que me ajudaram e me apoiaram durante este curso. Aos amigos e aos colegas que me ajudaram e me apoiaram durante este curso.

A todos que me ajudaram e me apoiaram durante este curso. A todos que me ajudaram e me apoiaram durante este curso.

"Não basta conquistar a sabedoria,
é preciso usá-la."
(Cícero)

Finalmente, gostaria de dizer um agradecimento a todos os meus amigos e familiares que me ajudaram e me apoiaram durante este curso. A todos que me ajudaram e me apoiaram durante este curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao professor Cordani, por orientar-me com toda serenidade nesta pesquisa, me levando ao caminho do conhecimento e da ciência. Foram poucos momentos, mas muita aprendizagem. Ainda desejo aprender muito consigo.

A Turma da Universidade de Barcelona – Ao professor Melgarejo que me amparou quando cheguei a Barça até a minha volta ao Brasil. Ao Hildebrando Leal, que sem ele não existiria este projeto e sua especial orientação na confecção deste trabalho. Aos cubanos que fizeram excelentes *tostones*. Ao Marcus, o companheiro de bebidas e na *piña colada*. Ao abrigo que Sandra me deu nos primeiros dias. As torradas de Mireya. As risadas de Aurora e principalmente a felicidade que a pequena Ivanna me proporcionou.

Agradeço a geologia. Esta me mostrou o mundo do conhecimento. Nunca vou te abandonar.

A todos os meus colegas de turma. As viagens e as festas que fomos. As viagens... As geladeiras que não conseguimos vencer. As horas de conversa no banco da geo.

A Keisa, que me fez levantar na hora exata, com seu carinho e sua ternura, e mesmo com a distância, é a companheira de todos os minutos.

Finalmente, gostaria de deixar um especial agradecimento a minha família. Eles, que participaram na formação do meu caráter, sempre presentes, nos momentos de tristeza e alegria. Minha mãe Ivete, que sempre foi um suporte para mim, que se multiplica para ajudar o filho. Meu pai Edmir, que me fortaleceu nos momentos certos, com frases precisas e necessárias. A Catarina, que é a irmã que mais amo no mundo. E aos meus tios, primos e avôs que moram longe, e mesmo com tamanha distância, estão presentes na minha vida.

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	1
2.0 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	2
3.0 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	3
3.1 Fisiografia e Geologia Regional	3
3.2 Evolução Regional	5
3.2.1 Pré-Cambriano	5
3.2.2 Paleozóico ao Mesozóico Inferior	5
3.2.3 Triássico e Jurássico	6
3.2.4 Mesozóico Superior e Cenozóico	7
3.3 Geologia Local	9
3.3.1 Pré-Cambriano - Gnaiss de San Lucas	9
3.3.2 Triássico - Formação El Sudán	9
3.3.3 Jurássico - Formação Morrocoyal, Unidade Vulcanoclástica de Noreán e Granitóides de San Lucas (Batólito Norosí)	9
3.3.4 Cenozóico (?) - Enxame de Diques de Mejía	10
3.3.5 Geologia Estrutural - Falha Palestina e Mejía	10
4.0 METODOLOGIA	11
4.1 Geoquímica	11
4.2 K-Ar	11
4.3 Rb-Sr em Rocha Total	12
4.4 Sm-Nd em Rocha Total	13
5.0 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	14
6.0 LOCALIZAÇÃO	16
7.0 RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES	18
7.1 Descrição Microscópica das amostras	18
7.1.1 Juana Sanchez	18
7.1.2 La Cabana e La Itália	19
7.1.3 San Martín de Loba	19
7.2 Geoquímica de rochas	20
7.2.1 Juana Sanchez	20
7.2.2 San Martín de Loba	21
7.2.3 La Cabana e La Itália	21
7.2.4 Batólito Norosí	22
7.2.5 Ambiente Tectônico e Origem	24
7.3 Geocronologia	26
7.3.1 Análise K-Ar	26
7.4 Geologia Isotópica	28
7.4.1 Análise Isotópica Rb-Sr	28
7.4.2 Análise Isotópica Sm-Nd e Sr-Nd	32
8.0 CONCLUSÕES	35
9.0 BIBLIOGRAFIA	37

ANEXO I - DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA E FOTOMICROGRAFIA

ANEXO II - FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

ANEXO III - K-Ar, Rb-Sr e Sm-Nd

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – Fisiografia da Cadeia Andina colombiana	4
FIGURA 2 – Plútons do Triássico ao Cretáceo na Colômbia	8
FIGURA 3 – Desenvolvimento Tectônico do Cretáceo ao Neógeno	8
FIGURA 4 – Mapa de Localização das Amostras	17
FIGURA 5 – TAS	23
FIGURA 6 – QAP com CIPW	23
FIGURA 7 – Gráfico de aluminosidade com campos Maniar e Piccoli	23
FIGURA 8 – Normalização por Condrito	23
FIGURA 9 – Gráfico Harker	23
FIGURA 10 – Rb x (Y+ Nb)	25
FIGURA 11 – Nb x Y	25
FIGURA 12 – AFM	25
FIGURA 13 – Idades K-Ar	27
FIGURA 14 – Diagrama Rb-Sr	13
FIGURA 15 – Mapa com dados geocronológicos e isotópicos.....	31
FIGURA 16 – Gráfico Sr- Nd	34

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – Cronograma do Trabalho	15
TABELA 2 – Localização e descrição das amostras	16
TABELA 3 – Análise K-Ar	26
TABELA 4 – Dados Isotópicos de Rb-Sr	30
TABELA 5 – Dados Isotópicos de Sm-Nd	32

RESUMO

Nos Andes Centrais da Colômbia, desde o Paleozóico ao presente, têm sido intensas e relativamente persistentes as atividades ígneas, metamórficas e deformacionais. Esta pesquisa teve a intenção de colaborar justamente com os estudos de rochas magmáticas em andamento na região de San Lucas.

Este trabalho possui amostras da parte norte da Cordilheira Central da Colômbia, localizadas na região de San Lucas, em plútons e rochas associadas ao assim denominado Batolito de Norosí. Trata-se de granitos, granodioritos e gabros, formando diferentes *stocks* com idades principalmente da transição do Triássico-Jurássico. Este episódio intrusivo representa o maior período de atividade plutônica na Colômbia.

Com o método K-Ar, mostrou que as rochas do Batolito Norosí possuem idade mínima de resfriamento entre 190 a 200 Ma. Também indicou a presença de rochas carboníferas, com idade mínima de $328,0 \pm 9,8$ Ma, dissociada do Batolito Norosí.

Os indicadores geoquímicos apontam que o batolito é predominantemente metaluminosos, com rochas pertencentes à série cálcio-alcálica, afinidade química em diagramas Harker e similaridade em elementos traços na normalização por condrito, classificados como de ambiente de arco magmático continental em diversos diagramas.

Os indicadores isotópicos mostraram forte interação crustal na formação deste batolito, com valores de $\epsilon_{Nd}(T)$ entre -6 e -4. As razões iniciais de $^{87}Sr/^{86}Sr$ indicam contaminação crustal, com valores médios de 0,707, assim como os índices de Nd, o qual mostra em um caso com intensa ação hidrotermal.

Na análise isotópica de Sr observou-se que o batolito de Norosí tem sua gênese complexa e possivelmente formada por vários pulsos magmáticos sucessivos. Dessa forma, os corpos granitóides não possuem necessariamente a mesma origem, mostrando heterogeneidade nas fontes destas rochas, apontando uma complexa natureza dos protolitos ou homogeneização incompleta das fontes crustais.

Os corpos possuem idade de diferenciação mantélica (Sm-Nd T_{DM}) de 1200 Ma. A análise do gráfico Sr-Nd sugere mistura de material antigo de aproximadamente 1000- 12000 Ma, idade característica de eventos Grenvillianos. Possivelmente este material crustal seria pertencente ao terreno Chicamocha, e estaria misturado com material juvenil formado em sistema de subducção no Triássico-Jurássico.

ABSTRACT

The Colombian Central Andes, since Paleozoic, have been suffering strong and constant igneous activity, metamorphisms and polideformations. This research has the objective of develop the study of the magmatic rocks in the San Lucas Range.

This work is based on the study of rocks from the north of the Central Cordillera of Colombia, located in the San Lucas region, in group of plutons and stocks called Norosí batholith. It is composed of granites, grandiorites and gabbro, with mainly dates in Triassic-Jurassic transition. This intrusive episode is the biggest period of plutonic activity in Colombia.

The applications of K-Ar method indicates that the minimum age of the batolith is between 190 and 200 M.y. It also shows that a gabbroic rock belong in the Carboniferous Period, with 328.0 M.y, therefore is not related with the most important magmatism of Jurassic-Triassic.

Analytic results demonstrate that this batholith is preponderating metaluminous, with calc-alkaline trend, affinity in Harker's diagram and similarity in traces elements, which is classified in volcanic continental arc.

The isotopic data informs that there is a crustal contamination in the formation of the Norosí batolith, with ϵ Nd (T) between -6 and -4. The initial ratios $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ also indicate crustal contamination, with values around 0.707. The Nd analysis shows an occurrence of high rare earth elements, indicating an important hydrothermal activity.

Isotopic analysis of Sr reveals that this batholith has a complex genesis and probably was formed by successive magmatics pulses. Moreover, the granitoids do not have the same origin, with several sources of those stocks, showing a complex origin of the protolith or an incomplete homogenization.

The age of Sm-Nd depleted mantle (Sm-Nd T_{DM}) is 1200 M.y.,.The Sr-Nd diagram indicates that this batholith has a mixture of material, approximately 1000-12000 m.y., with similar ages of the grenvillians events. Probably this mixture is from the Chicamocha Terrene, and the other from a mantle material formed in the subduction system in the Triassic-Jurassic Period.

1.0 INTRODUÇÃO

Nos Andes Centrais da Colômbia, desde o Paleozóico ao presente, têm sido intensas e relativamente persistentes as atividades ígneas, metamórficas e deformacionais. Esta cadeia de montanha possui diversos corpos plutônicos de idades variadas, praticamente em todo o Fanerozóico.

A intenção desta pesquisa é colaborar com os estudos em andamento na parte norte da Cordilheira Central da Colômbia, região de San Lucas, através de algumas datações em biotita e plagioclásio pelo método K-Ar, acompanhadas de análises de geoquímica de rochas, estudos petrográficos e análises isotópicas de Sm-Nd e Rb-Sr. Os mencionados estudos fazem parte de um trabalho maior, que está sendo realizado pelo Doutorando Hildebrando Leal, na Universidade de Barcelona. Dessa forma, para este projeto se mostrou necessária a troca de informações com o mesmo, o qual é o coletor das amostras aqui analisadas, e que se colaborou de modo essencial para a conclusão deste trabalho.

O material analisado refere-se a apenas onze amostras, escolhidas de modo a representar diversos plútons e rochas associadas ao assim denominado Batolito de Norosí. Trata-se de granitos, granodioritos e gabros, formando diferentes *stocks* com idades principalmente do período Jurássico.

2. 0 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

Na zona setentrional da Cordilheira Central, são poucos os trabalhos publicados, principalmente na região de São Lucas. Os existentes são antigos e com poucos avanços nos estudos geológicos e mapeamento. Dentre os publicados, a maioria foca na região mais ao sul da Serrania de San Lucas, principalmente nos depósitos vulcanoclásticos e seu embasamento metamórfico.

Os métodos neste projeto estão fundamentados nas datações em biotita e plagioclásio por K-Ar, geoquímica de rochas, estudos petrográficos e análises isotópicas de Sm-Nd e Rb-Sr.

O propósito da utilização de geocronologia e geoquímica isotópica é a tentativa de extrair o máximo de informações relacionadas à gênese e correlação das amostras. Este trabalho se mostra útil para pesquisas futuras e mapeamento dos corpos magmáticos da região. Além do mais, acrescenta o conhecimento da geologia colombiana e fornece informações importantes para a prospecção de minérios desta região.

A utilização da geoquímica nestas rochas tem o intuito de apresentar suas caracterizações geoquímicas e análises dos ambientes tectônicos. Foram utilizados diagramas convencionais para classificação geoquímica das rochas. Na compreensão do ambiente tectônico, foram aplicados alguns diagramas de distinção geotectônica de elementos traços e maiores, em diagramas binários, ternários e *spider*.

Por outro lado as datações pelo método K-Ar têm como objetivo informar as idades de resfriamento das rochas. Mostra-se muito importante, pois foram selecionados litotipos distintos e boa distribuição na área.

Os dados de Sm-Nd e Rb-Sr tem o intuito de classificação quanto a origem mantélico-crustal destas rochas. Com esses dados foi gerado as idades modelos Sm-Nd TDM e um diagrama Sr-Nd para melhor interpretação da gênese das rochas.

3.0 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

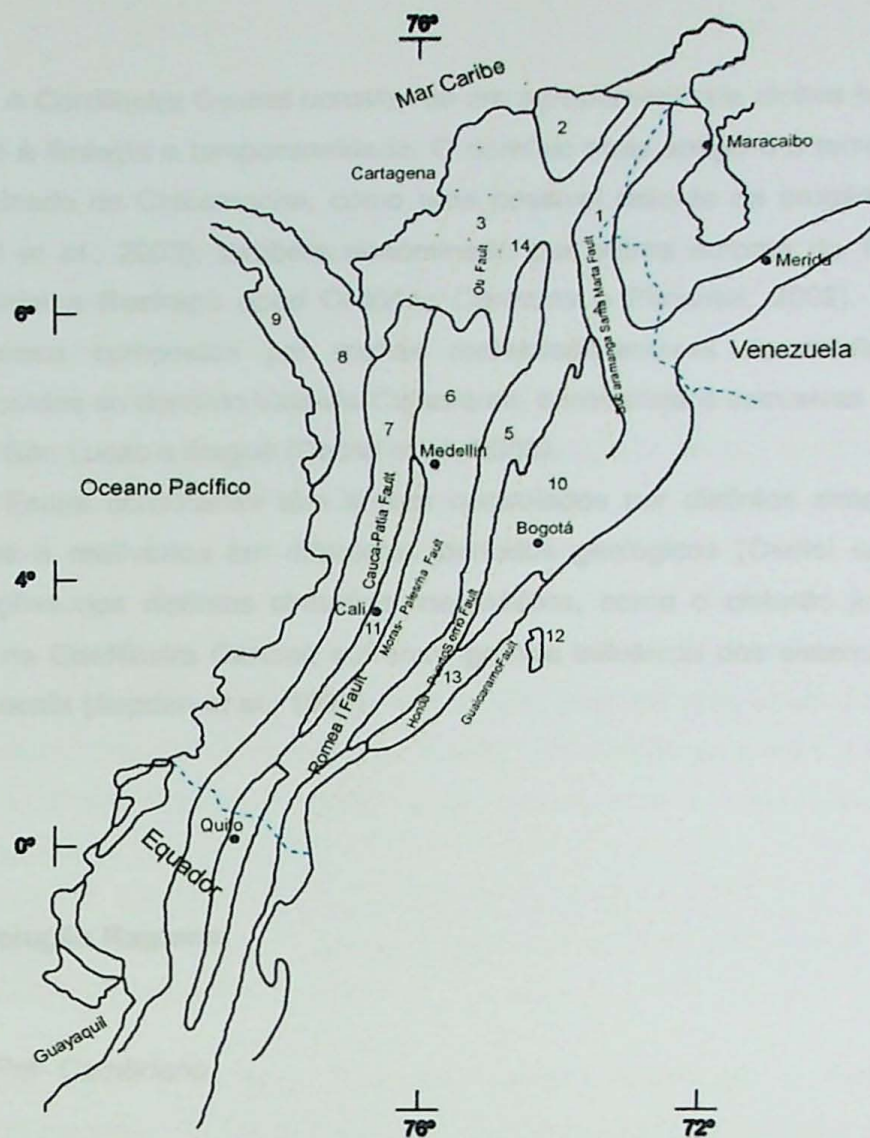
3.1 Fisiografia e Geologia Regional

O estudo da geomorfologia da Colômbia é fundamental para compreender os fenômenos geológicos atuantes em todo tempo nesta região. Os Andes colombianos consistem em três grandes cadeias de montanhas: as Cordilheiras Ocidental, Central e Oriental (figura 1). A Cordilheira Oriental possui orientação NE-SW e as Cordilheiras Ocidental e Central possuem orientação subparalela aproximadamente N-S. A oeste da Cordilheira Ocidental há uma serra chamada Serrania de Baudó e ao norte da Colômbia se localizam a Sierra Nevada de Santa Marta e a Serrania Perijá. Estes altos geográficos são separados por depressões intermontanhas, compreendendo de leste a oeste pelas Depressões Atrato-San Juan, Vale Cauca-Patia, bacia de Sinú e Vale Magdalena (figura 1). Atualmente, correm nestas depressões importantes rios como o Rio Magdalena e o Rio Cauca, os quais deságuam no mar do Caribe.

A Cordilheira Central se limita desde o Vale Magdalena, ao oriente e o Vale Cauca, ao ocidente. Esta cordilheira se estende desde o Maciço Colombiano, ao sul, à planície do baixo do Cauca, ao norte, com termino na Serrania de San Lucas. A altura máxima chega aos cinco mil e setecentos metros no Nevado del Huila, a maior altura dos Andes colombianos.

As principais depressões na Colômbia são os Vales Cauca e Vale Magdalena, que destacam a Cordilheira Central colombiana. O Canhão do Cauca se localiza a oeste desta cordilheira, com vales estreitos e com um sistema de rios que o drena. Seu termino é na planície do Cauca após a Serrania de San Lucas (figura 1), onde se une com o Rio Magdalena e desemboca mais adiante no Caribe. O vale do Rio Magdalena se localiza a leste dos Andes Centrais, com maiores sistemas de afluentes, os quais são controlados por diversos sistemas de falhas (González, 2001).

Os Andes colombianos se diferenciam dos tradicionais andes devido à distinta orientação e suas diferentes composições de suas cadeias. A Cordilheira Oriental é composta predominantemente de seqüências sedimentares e metasedimentares. A Cordilheira Central tem o predomínio de rochas de alto a médio grau metamórfico, com ocorrência de rochas sedimentares, ígneas intrusivas e extrusivas. A Cordilheira Ocidental tem caráter ensimático, constituída por rochas vulcânicas e vulcano-sedimentares de afinidade oceânica levemente metamorfasadas (Toussaint e Restrepo, 1982).



- 1 Serranía de Perijá
- 2 Sierra Nevada de Santa Marta
- 3 Bacia do Sinú
- 4 Maciço Santander
- 5 Depressão Magdalena
- 6 Cordilheira Central
- 7 Cordilheira Ocidental
- 8 Bacia do San Juan-Atrato
- 9 Serranía de Baudó
- 10 Cordilheira Oriental
- 11 Depressão do Cauca-Patia
- 12 Serranía da Macarena
- 13 Maciço Garzón
- 14 Serranía de San Lucas

Limite Territorial

Falhas Regionais

Limite Fisiográfico

Figura 1 - Fisiografia da Cadeia andiana colombiana (adaptado de Restrepo *et al.* (1985))

A Cordilheira Central constitui de um agrupamento de rochas heterogêneas em relação à litologia e temporaneidade. O domínio mais antigo é o terreno proterozóico denominado de Chicamocha, como uma possível relíquia da orogênese grenvilliana (Cediel *et al.*, 2003), também denominado por outros autores de Terreno Chibcha (Toussaint e Restrepo *apud* Ordóñez Carmona e Pimentel, 2002). Possui terrenos paleozóicos compostos por rochas metassedimentares de médio a alto grau, pertencentes ao domínio Valdivia-Cajamarca, e intrusivas e extrusivas mesozóicas dos blocos San Lucas e Ibagué (Cediel *et al.*, 2003).

Essas cordilheiras têm limites controlados por distintos sistemas de falhas, gerados e reativados em diferentes períodos geológicos (Cediel *et al.*, 2003). As colocações dos distintos cinturões magmáticos, como o cinturão jurássico de San Lucas na Cordilheira Central, sofreram grande influência dos sistemas de falhas de larga escala (Aspden *et al.*, 1987).

3.2 Evolução Regional

3.2.1 Pré- Cambriano

Na cordilheira Central, localizado a leste do Batolito de Antioquia, Feininger *et al.* (1972) consideram gnaisses, anfibolitos e mármore como de idade proterozóica, relacionadas com o cinturão orogênico grenvilliano - oroquiano de Cediel *et al.* (2003). Idades precambrianas já foram postuladas para outras rochas na Cordilheira Central, como o Complexo Puquí, Maciço de Caldas e anfibolito Sucre, porém todas estas comprovadas idades no Carbonífero (Restrepo *et al.*, 1991; Ordóñez Carmona e Pimentel, 2002).

3.2.2 Paleozóico ao Mesozóico Inferior

Devido a grande quantidade de datações obtidas nos terrenos colombianos referentes a Era Paleozóica, principalmente na região da Cordilheira Central, foram sugeridos com a evolução do conhecimento regional, orogêneses relacionadas com os eventos tectônicos globais.

Muitos corpos magmáticos intrudiram no período Devoniano Superior ao Carbonífero na região do Maciço Santander e Sierra de Merida, como também na Cordilheira Central (Restrepo *et al.*, 1985). Ocorrem na Cordilheira Central corpos plutônicos carboníferos de afinidade sintectônica a tardias como o gnaiss Samaná (Restrepo *et al.*, 1991).

Na Cordilheira Central foi identificado um metamorfismo regional no período Carbonífero, com concentração no Mississipiano Médio (McCourt *et al.*, 1984). Rochas metamórficas de baixo a médio grau do Paleozóico foram divididas como grupo Bulgalagrande, complexo Rosário e grupo Cajamarca. O grupo Cajamarca é composto de sericita-epidoto xisto, xistos grafitoso, quartzo-filitos, gnaisses e quartzo xisto (McCourt *et al.*, 1984) de idade no Pensilvaniano (Restrepo e Toussaint *apud* Sánchez, 2001). No Complexo Puquí, Ordoñez Carmona e Pimentel (2002) apresentaram datações em gnaisses peraluminosos de grau anfibolito com idades no Carbonífero. Segundo Vinasco *et al.* (2006), granitóides de caráter peraluminosos de idade no Permo-Triássico podem estar ligados com o magmatismo da orogênia Allegheniana.

3.2.3 Triássico e Jurássico

O episódio intrusivo Triássico-Jurássico representa o maior período de atividade plutônica na Colômbia (figura 2), marcada por uma disposição temporal de corpos mais antigos a leste a mais novos a oeste (Aspden *et al.*, 1987). Este arco está relacionado com o aulacógeno Bolívar de Cediél *et al.* (2003). Os principais batolitos jurássicos nos Andes Centrais são o Batolito Segovia, o qual esta inserido o Batolito Norosí, Batolito de Sonsón , Batolito de Ibagué e Batolito Mooca.

O Batolito Segóvia se localiza a nordeste dos Andes, o qual inclui o Batolito Norosí, localizado mais ao norte. Possui idade de 160 ± 7 Ma (Feininger *et al.*, 1972). Geyer (1969) identificou faunas marinhas da formação Morrocoyal de idade Triássico e Jurássico Inferior, a qual faz contato com o Batolito Segóvia, impondo uma idade máxima para este batolito.

Localizado nos departamento de Antioquia e Caldas, o Batolito Sonsón é constituído de rochas tonalíticas a granodioríticas com idade de 160 a 170 Ma (González e Londoño, 1999). Porém, dados obtidos por Perez *apud* González e Londoño (1999) apresentam idades de 69 ± 3 Ma, relacionando com o batolito de Antioquia.

O Batolito de Ibagué se localiza mais ao sul na Cordilheira Central colombiana, com idade de 148 ± 4 Ma (McCourt *et al.*, 1984).

O vulcanismo se estendeu do Triássico Superior ao Jurássico Inferior com extinção no Jurássico Médio, causando deposição de tefras, com influência marinha e continental (Mojica e Kammer, 1995).

3.2.4 Mesozóico Superior e Cenozóico

A aglutinação dos terrenos cenozóicos têm extrema relação com a evolução da placa do Caribe (Cediel *et al.*, 2003), que se moveu sobre o *hot spot* de Galápagos, espessando-se no meio e final do Cretáceo (Mann *apud* Cediel *et al.*, 2003) e transladou para o espaço entre América do Norte e América do Sul (Pindell *et al.*, 1988) (figura 3). A anexação desses terrenos ocasionou processos metamórficos (McCourt *et al.* 1984), magmatismo na Cordilheira Central (Ordoñez, 1997), na região de Serra Nevada de Santa Marta e Maciço Santander (Tschanz *et al.*, 1974), além de reativação de antigas falhas (Cediel *et al.*, 2003), acarretando em inversão e separação das bacias Magdalena e Llanos (Cooper *et al.*, 1995 fig. 3).

Na Cordilheira Central, o corpo ígneo de maior importância no Cretáceo é batolito Antioqueño (figura 2). Apresenta idades de 63 ± 11 a 90 ± 6 Ma (Restrepo *et al.*, 1991; Ordoñez, 1997), com muitos corpos associados na Cordilheira Central (Toussaint e Restrepo, 1982; McCourt *et al.*, 1984; Ordóñez Carmona e Pimentel, 2002).

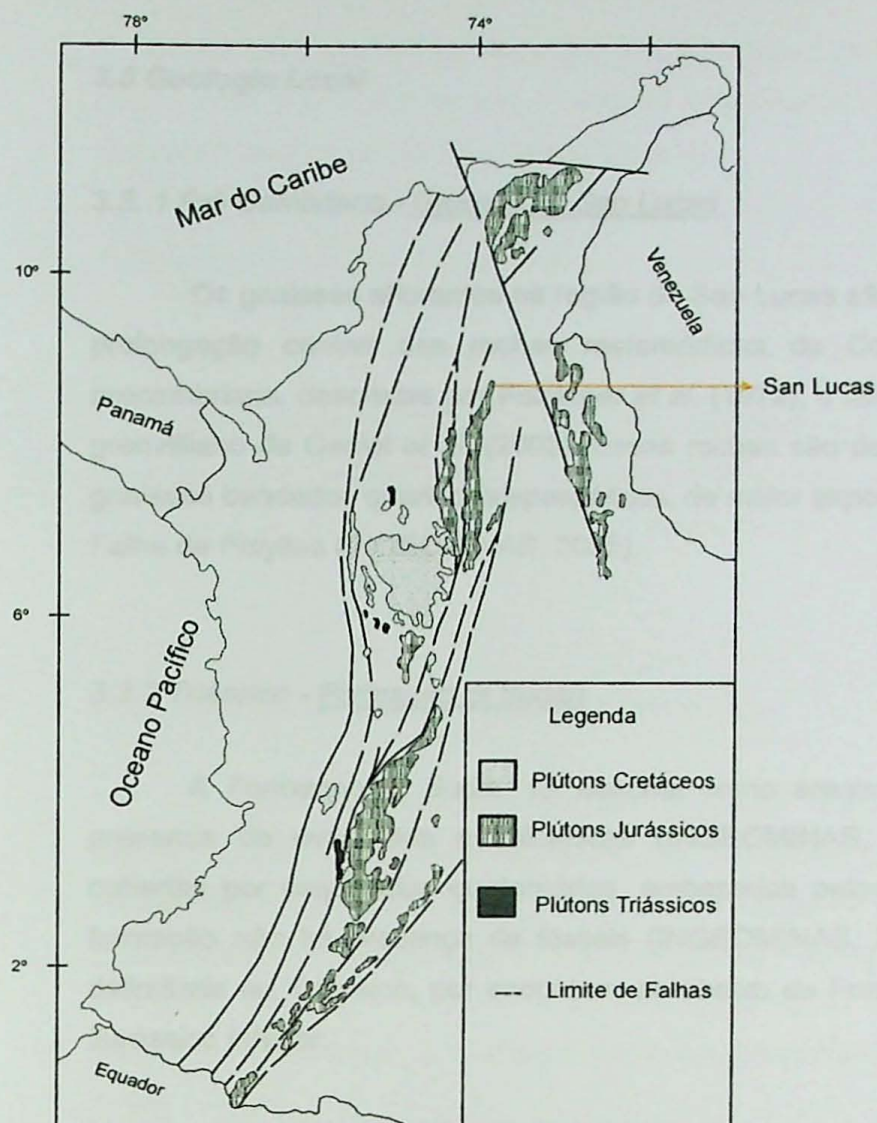


Figura 2. Plútons do Triássico ao Cretáceo na Colômbia (Adaptado de Aspden *et al.*, 1987)

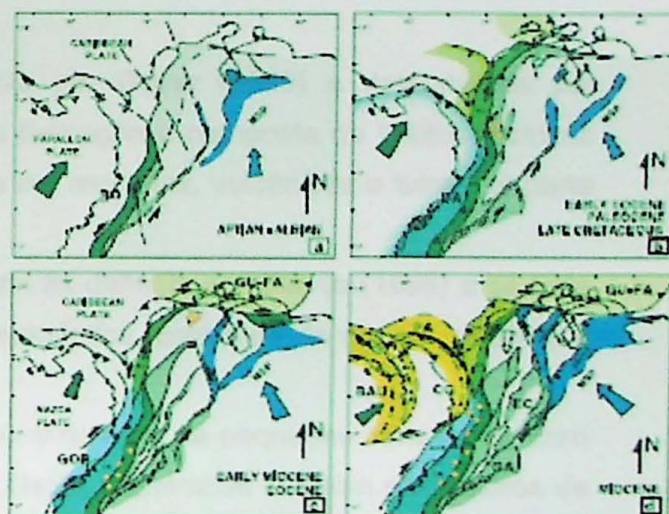


Figura 3. Desenvolvimento Tectônico do Cretáceo ao Neógeno (Cediel *et al.*, 2003)

3.3 Geologia Local

3.3.1 Pré-Cambriano - Gnaiss de San Lucas

Os gnaisses aflorantes na região de San Lucas são correlacionados como uma prolongação central das rochas metamórficas da Cordilheira Central de idade precambriana, descritas por Feininger *et al.* (1972), e talvez pertencentes ao cinturão grenvilliano de Cediel *et al.* (2003). Essas rochas são descritas principalmente como gnaisses bandados quartzo-felspaspáticos, de maior exposição na Falha de Mejía e na Falha de Playitas (INGEOMINAS, 2005).

3.3.2 Triássico - Formação El Sudán

A Formação El Sudán foi descrita como areniscas e conglomerados, com presença de evaporitos e vulcânicas (INGEOMINAS, 2005). Essas rochas são cobertas por seqüências quaternárias, embasadas pelo Gnaiss San Lucas. Nesta formação não há presença de fósseis (INGEOMINAS, 2005), porém sua idade foi delimitada no Triássico, por encontrar-se abaixo da Formação Morrocoyal de idade Jurássico Inferior.

3.3.3 Jurássico – Formação Morrocoyal, Unidade Vulcanoclástica de Noreán e Granitóides de San Lucas (Batolito Norosí)

A Formação Morrocoyal foi descrita por Geyer (1969) e determinada por datação relativa do Jurássico Inferior. Esta formação é composta de luditos e cinzas escuras, com presença de fauna muito rica em amonitas, vulcânicas e tefras na parte superior.

A Unidade Vulcanoclástica de Noreán foi definida por Clavijo (1995) e se trata de uma seqüência clástica, piroclástica a epiclástica, com topo de dacitos efusivos e hipoabissais de andesito.

Os Granitóides de San Lucas são relativamente de pequenas dimensões, com maiores afloramentos ao norte da falha de Mejía, registrados também nos setores de San Martín de Loba (INGEOMINAS, 2005). Estes corpos podem ser considerados apófises do Batolito Norosí (INGEOMINAS, 2005), o qual é considerado como uma extensão do Batolito de Segóvia.

Recentemente, Leal-Mejía (no prelo) efetuou análises de U-Pb por SHRIMP em duas rochas localizadas no Batólito Norosí e apófises mais ao norte. As amostras obtiveram idades de 182 ± 3 Ma e 189 ± 4 Ma.

3.3.4 Cenozóico (?) - Enxame de Diques de Mejía

O Enxame de Diques é composto por dacitos, traquitos, riolitos e andesitos-basaltos (INGEOMINAS, *op cit*). Sua idade é imprecisa, porém são mais novos que os granitóides de San Lucas, pois intrudem estes corpos.

3.3.5 Geologia Estrutural – Falha Palestina e Mejía

A Falha Palestina é a principal estrutura regional no norte da Cordilheira Central. Entretanto, na área de estudo, esta falha está coberta em sua totalidade por seqüências quaternárias. Ela é preponderantemente de rumo norte-sul, inversa, com aumento de componente dextral lateral. Segundo Feininger *et al.* (1970) esta falha foi reativada durante o Terciário na zona da Serrania de San Lucas. Falhas parasitas afetam as formações El Sudán e as vulcanoclásticas de Noreán (INGEOMINAS, 2005).

A Falha Mejía possui direção N50°-60°E com componente principal normal e forte componente dextral-lateral. Como os outros conjuntos de falhas, esta também é coberta ao norte por sedimentos aluvionares dos rios Cauca e Magdalena (INGEOMINAS, *op cit*).

4.0 METODOLOGIA

Os métodos analíticos utilizados durante esta pesquisa foram: métodos de geoquímica em rocha total para elementos maiores e traços pelo Serviço Científico – Técnico da Universidade de Barcelona, geocronológicos de K-Ar no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo (CPGeo-USP) e métodos isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd no CPGeo-USP.

4.1 Geoquímica

Onze amostras foram analisadas através do método de fluorescência de raios X pelo Serviço Científico-Técnico da Universidade de Barcelona (UB). Neste método foram identificados elementos maiores e traços das amostras. Foram feitos discos de vidro por fusão para elementos maiores e pastilhas de pó prensado para a análise dos elementos traços. As amostras foram analisadas no espectrômetro de dispersão por comprimento de onda (WDXRF) Philips PW2400 com limite de detecção normalmente na ordem de 1-10 ppm de elementos traços.

Os resultados da fluorescência de raios X estão no Anexo II.

4.2 K-Ar

O método radiométrico K-Ar se baseia na desintegração do ^{40}K em ^{40}Ar . No estudo foi aplicado em minerais separados, especificamente concentrados de biotita-clorita e plagioclásio. As análises foram efetuadas no CPGeo-USP e seguiram os procedimentos descritos em Amaral *et al.* (1966).

A aplicação desta metodologia em minerais separados, quase sempre fornece a idade aparente mínima referente ao último evento térmico sofrido pelo sistema (Schaeffer, 1966).

Quando o teor de potássio obtido na amostra for superior a 1% ($\%K > 1\%$), e a extração de argônio for bem sucedida, o método produz resultados com razoável precisão, com erros da ordem de 4%.

Porém, quando a quantidade de potássio obtida é inferior a 0,2%, o fotômetro de chama produz resultados com precisão menor, e em muitos casos, inviabiliza a interpretação. Quando os teores de argônio atmosférico obtidos na amostra forem superiores a 90% ($^{40}\text{Ar}_{\text{atm}} > 90\%$), os resultados podem apresentar baixa precisão. Nos casos em que a porcentagem de argônio atmosférico ultrapassa 95% ($^{40}\text{Ar}_{\text{atm}} > 95\%$), o resultado é crítico e as idades obtidas devem ser desconsideradas. Isso ocorre devido à correção atmosférica empregada, a qual depende da razão Ar/Ar , considerada constante e igual a $295,5 \pm 0,5$ (Dickin, 2005).

Os resultados de K-Ar estão no Anexo III.

4.3 Rb-Sr em Rocha Total

O método radiométrico Rb-Sr se baseia na desintegração do ^{87}Rb em ^{87}Sr . Os dados da razão do ^{87}Sr e ^{86}Sr iniciais são importantes indicadores petrogenéticos. Estes resultados podem indicar se a origem da rocha é juvenil ou se foi transformada por processo de retrabalhamento crustal (Dickin, 2005).

Foram realizadas 11 análises Rb-Sr em rocha total no CPGeo-USP segundo os procedimentos descritos em Cordani *et al.* (1985). As análises foram feitas em rocha total. Primeiramente efetua-se a descontaminação seguida pelo ataque químico, o qual envolve etapas em ácido e ultra-som. Após este processo há o procedimento com colunas de troca iônica, separando o rubídio do estrôncio. Posteriormente é feita a leitura no espectrômetro de massa obtendo assim as razões isotópicas em função do *spike*.

Os resultados de Rb-Sr estão no Anexo III.

4.4 Sm- Nd em Rocha Total

O método radiométrico Sm-Nd baseia-se na desintegração do ^{147}Sm em ^{143}Nd . A modificação mais significativa da razão Sm/Nd ocorre no evento de diferenciação manto-crosta, e a partir do magma mantélico incorporado na crosta esta razão se modifica apenas por decaimento radioativo. As análises feitas no laboratório CPGeo-USP utilizam os modelos de diferenciação manto-crosta desenvolvidos por DePaolo *et al.* (1991), os quais podem ocorrer através de processos de fusão parcial, cristalização fracionada ou ambos (Sato *et al.*, 1995).

O parâmetro $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ é um indicador petrogenético obtido através da razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ da amostra com relação a razão de neodímio que representa a característica da Terra primitiva (CHUR). Esse parâmetro é determinado para a idade da formação da rocha, permitindo identificar a presença de fontes mantélicas, crustais ou formadas por mistura de material (Dickin, 1995).

Foram realizadas 11 análises Sm-Nd em rocha total no CPGeo-USP segundo os procedimentos descritos em Sato *et al.* (1995). Estes procedimentos incluem digestão ácida da amostra e adição *spike* combinado de Sm-Nd, separação dos elementos por coluna de intercâmbio iônico que posteriormente é efetuado a medição de razões isotópicas em espectrômetro de massa.

Os resultados de Sm-Nd estão no Anexo III.

5. O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho iniciou-se na separação das amostras para o projeto, estudos petrográficos das rochas selecionadas, revisão bibliográfica regional e local da área de trabalho, estudos dos métodos aplicados, realização das análises geocronológicas e interpretação dos resultados.

A preparação das amostras foi feita no laboratório de separação mineral do CPGeo, incluindo amostras em rocha total e separação de minerais.

O levantamento bibliográfico foi feito quase inteiramente na Universidade de Barcelona. A base de dados foram essencialmente publicações em congressos e periódicos. Os trabalhos mais recentes e de extrema importância para a compreensão regional são as publicações da Journal of South American Earth Sciences de 2006.

São poucos os trabalhos publicados sobre a região de San Lucas. Os existentes são antigos e com poucos avanços nos estudos geológicos e mapeamento. Os trabalhos de maior relevância para a geologia local são os mapeamentos e seus informes publicados recentemente pela INGEOMINAS.

A pesquisa em Barcelona se mostrou muito informativa, principalmente devido às discussões sobre a geologia regional e local, além da melhor compreensão das relações de campo das amostras selecionadas.

As análises petrográficas foram inteiramente feitas na Universidade de Barcelona. Foram analisadas as onze amostras por dezessete lâminas oferecidas pelo doutorando Hildebrando. Junto com a descrição, foram tiradas fotomicrografias para ilustração neste trabalho.

As análises geoquímicas foram efetuadas na Universidade de Barcelona. O método geoquímico aplicado em todas as amostras foi a fluorescência de raios X em elementos maiores e traços.

O levantamento bibliográfico da geologia isotópica foi feito inteiramente na biblioteca do Instituto de Geociências da USP. Para melhor compreensão do assunto, assim como foi feito com a geoquímica de rochas, foi estudado as bibliografias específicas para apresentar o melhor resultado final.

O estudo dos relatórios anteriores se mostrou muito importante para a conclusão do trabalho final.

As análises dos dados isotópicos foram os últimos procedimentos para a conclusão deste projeto.

Monografia : Caracterização Tectono-Magmática do Norte da Cordilheira Central da Colômbia											
	USP		UB				USP				
Ativ.\Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Preparação das Amostras											
Levantamento Bibliográfico Regional											
Estudo Petrográfico											
An. Geocronológicas - CPGeo											
Geologia Isotópica											
FRX											
Bibliografia Isotópica											
Interpretação dos resultados											
Eleaboração da Monografia											

Tabela 1. Cronograma de trabalho

6. 0 LOCALIZAÇÃO

As rochas selecionadas neste trabalho se localizam ao norte da Cordilheira Central colombiana. Nesta região afloram plutônicas do Batolito Norosí, pertencentes ao corpo magmático denominado Batolito Segóvia (González e Londoño, 1999). Localizado mais ao norte do batolito Norosí afloram apófises de pequena dimensão. Estas rochas estão em uma planície e são separadas pelo Rio Magdalena. A questão é que afloram rochas plutônicas ao norte do rio, em Juana Sanchez e a sul, no povoado de San Martin de Loba. Mais ao sul afloram também gabros e dioritos, na região de La Itália e La Cabana, com suspeitas de correlação com as apófises do Batolito Norosí. As rochas estão localizadas geograficamente na figura 4 e apresentados na tabela 2.

Amostras de San Lucas - Descrição e Localização				
Amostras	Coordenadas (WGS84 18N)		Área	Método
	X	Y		
HLM-SL-JS-001	607248	990867	Juana Sanchez	Sm-Nd, Rb-Sr
				Diques com turmalina e sílica em granodiorito com alteração sericitica.
HLM-SL-JS-003	607186	991293	Juana Sanchez	Rb-Sr, Sm-Nd e K/Ar
				Granito pegmatítico (Feld K, Qz, Plag) com agregados de minerais máficos (biotita, magnetita, hbl) alongados.
HLM-SL-JS-007	607029	991592	Juana Sanchez	Rb-Sr, Sm-Nd
				Rocha granitóide (granodiorito?) aparentemente sem alteração
HLM-SL-JS-020	606175	991749	Juana Sanchez	Rb-Sr, Sm-Nd
				Rocha metamórfica (gneisse) com bandas de quartzo e feldespato potássico, intercalados com bandas de biotita e Hornblenda
HLM-SL-JS-021	601683	972532	Juana Sanchez	Rb-Sr, Sm-Nd
				Rocha ígnea intrusiva de composição granitóide (granítica?) com cristais de feldspato potássico de granulação grossa.
HLM-SL-LC-004	599252	956864	La Cabaña	Rb-Sr, Sm-Nd e K/Ar
				Rocha ígnea holocristalina (quartzo-Gabro?) composta por plagioclásia, quartzo e hornblenda
HLM-SL-LI-001	587161	947398	La Italia	Rb-Sr, Sm-Nd
				Rocha ígnea intrusiva (diorito?)
HLM-SL-SML-001	605795	987592	San Martin de Loba	Rb-Sr, Sm-Nd e K-Ar
				Rocha ígnea intrusiva (granodiorito?) sem alteração hidrotermal
HLM-SL-SML-021	605592	988417	San Martin de Loba	Rb-Sr, Sm-Nd e K/Ar
				Rocha ígnea intrusiva (granodiorito?) aparentemente sem alteração hidrotermal
HLM-SL-SML-022	598896	971496	San Martin de Loba	Rb-Sr, Sm-Nd
				Rocha ígnea intrusiva (dioritóide (quartzomonzodiorito?)). Biotita e hornblenda levemente cloritizadas.
HLM-SL-SML-023	603658	985133	San Martin de Loba	Rb-Sr, Sm-Nd e K/Ar
				Rocha ígnea intrusiva de composição granítica (granito). Biotita e hornblenda levemente cloritizada.

Tabela 2. Localização e descrição das amostras

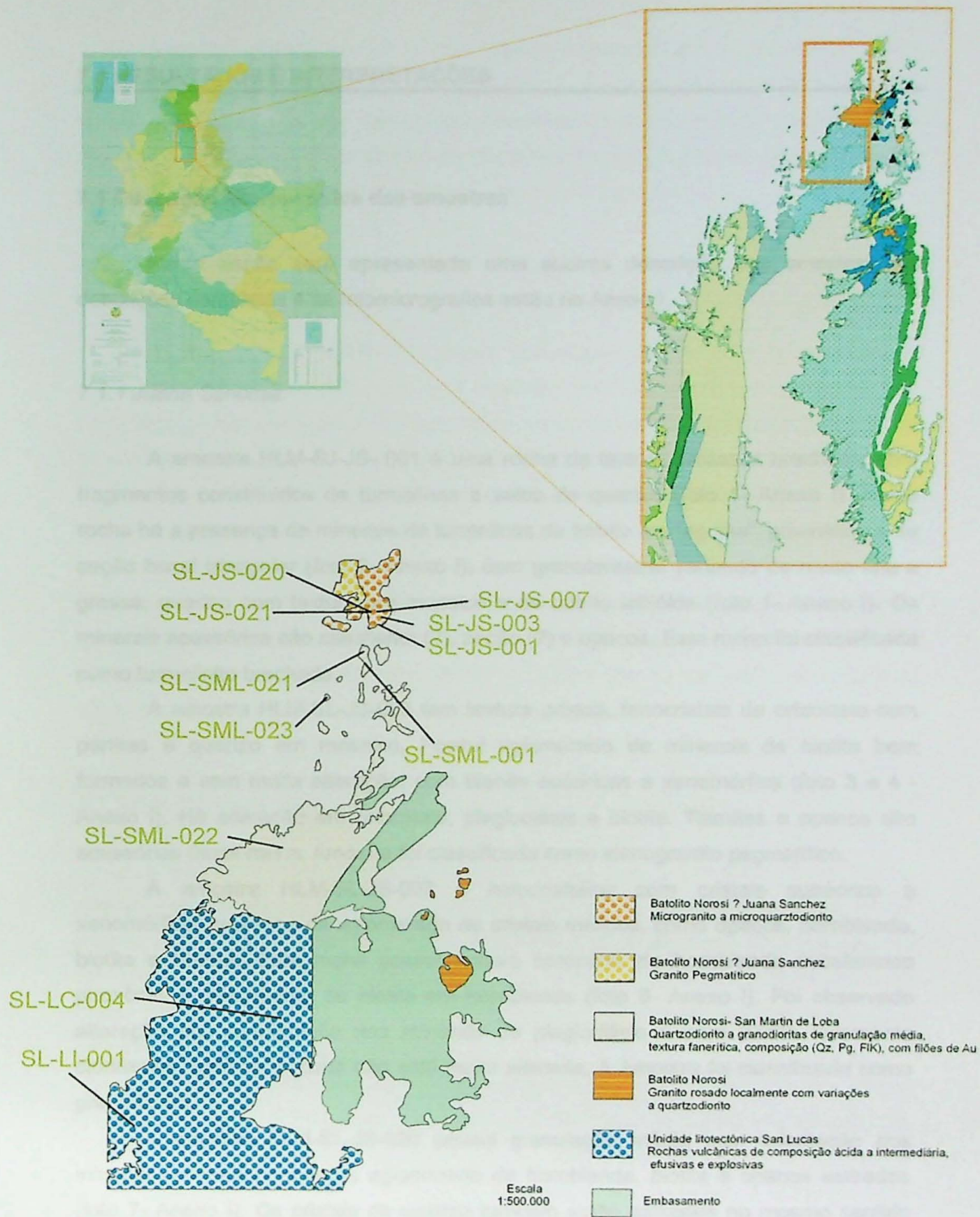


Figura 4. Mapa de localização das amostras

7.0 RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

7.1 Descrição Microscópica das amostras

Nesta seção será apresentada uma sucinta descrição das amostras. As descrições completas e as fotomicrografias estão no Anexo I.

7.1.1 Juana Sanchez

A amostra HLM-SJ-JS- 001 é uma rocha de textura grossa e brechada, com fragmentos constituídos de turmalinas e veios de quartzo (foto 1- Anexo I). Nesta rocha há a presença de minerais de turmalinas de hábito em “agulha”, prismático e de seção basal triangular (foto 2- Anexo I), com granulometria variando de muito fina a grossa, quartzo com textura em mosaico e de hábito tablóide (foto 1- Anexo I). Os minerais acessórios são cassiterita (?), zircão (?) e opacos. Esta rocha foi classificada como turmalinito brechado.

A amostra HLM-SL-JS-003 tem textura grossa, fenocristais de ortoclásio com pertitas e quartzo em mosaico. Possui aglomerado de minerais de biotita bem formados e sem muita alteração, com titanita euédricas a xenomórfica (foto 3 e 4 - Anexo I). Há alteração em ortoclásio, plagioclásio e biotita. Titanitas e opacos são acessórios desta rocha. Amostra foi classificada como sienogranito pegmatítico.

A amostra HLM-SL-JS-007 é holocristalina com cristais subédrico a xenomórfico, presença de aglomerado de cristais máficos, como opacos, hornblenda, biotita e titanita. Esta rocha possui textura coronária de hornblenda substituindo piroxênio e crescimento de biotita em hornblenda (foto 6- Anexo I). Foi observado alteração por sericitização nos minerais de plagioclásio e com biotita levemente cloritizada, contudo a rocha não está muito alterada. A Amostra foi classificada como granodiorito.

A amostra HLM-SL-JS-020 possui granulação média com orientação dos minerais, contêm bandas de aglomerado de hornblenda, biotita e opacos estirados (foto 7- Anexo I). Os cristais de quartzo também estão estirados no mesmo sentido das bandas, com extinção ondulante. Também há presença de mimerquitas e pertitas (foto 8- Anexo I). Esta rocha foi classificada como gnaiss granito.

A rocha HLM-SL-JS-021 possui cristais subidiomórfico a xenomórfico, com cristais de ortoclásio e plagioclásio zonado (foto 9- Anexo I), presença de minerais de hornblenda associados aos opacos em pseudomorfo de um mineral prismático. Foi observado a presença de alteração por sericitização em plagioclásio e alteração em feldspato alcalino. A rocha foi classificada como monzogranito.

7.1.2 La Cabana e La Itália

A lâmina HLM-SL-LC-004 possui granulação média com predomínio de minerais subedrais de plagioclásio sem alteração (foto 10- Anexo I) e subidiomórficos de piroxênio com alteração. Foi observado a presença de veio composto por minerais de calcita e clorita (foto 11- Anexo I). Ocorrência de minerais hidratados como biotita e hornblenda. A rocha foi classificada como quartzo-gabro alterado por veio.

A lâmina HLM-SL-LI-001 é hipidiomórfica e possui textura granular média. Tem arranjo granular com predomínio de minerais subedrais, clinopiroxênio, quartzo e ortoclásio intersticiais entre plagioclásio (foto 12- Anexo I). Observado a presença de adularia (?), clinozoizita e zeólita. Existência de alteração por sericita em plagioclásio e por minerais contidos no veio, como zeólita, epidoto e clinozoizita, além de cloritização em biotita. Esta rocha classificada como diorito alterado.

7.1.3 San Martin de Loba

A amostra HLM-SL-SML-001 é hipidiomórfica com granulação média. Possui arranjo granular com predomínio de minerais subedrais, de plagioclásio e quartzo, porém com quartzo intersticial entre hornblenda e plagioclásio. Substituição de hornblenda em piroxênio (?), similar as lâminas HLM-SL-JS-007. Substituição total de biotita por clorita (foto 13- Anexo I). Alteração por sericitização e cloritização. Esta rocha foi classificada como granodiorito.

A lâmina HLM-SL-SML-021 possui textura equigranular, hipidiomórfica, similar HLM-SL-SML-022 (1)(2), porém com mais anfibólio (foto 14- Anexo I). Esta amostra contém hornblenda coronária em piroxênio (?), associação de biotita, hornblenda e opacos, plagioclásio zonado e presença de quartzo em mosaico e ondulante. Os minerais de biotita são subidiomórficos por vezes com leve cloritização. A rocha possui alteração por sericitização. Esta amostra foi classificada como granodiorito

A lâmina HLM-SL-SML-022 possui textura equigranular média, com biotitas em maior quantidade que anfibólio (foto 16- Anexo I). Contém hornblenda coronária similar

a lâmina HLM-SL-SML-021, associação de biotita, hornblenda e opacos, presença de quartzo em mosaico e plagioclásio zonado. Esta rocha apresenta alteração por sericitização, a qual foi classificada como granodiorito

A lâmina HLM-SL-SML-023 possui textura média a grossa, existência de plagioclásio zonado (foto 18- Anexo I), substituição de hornblenda por biotita e ortoclásio coronado por cristais de plagioclásio levemente sericitizados. Os minerais de biotita são idiomórficos a subédricos, às vezes alterados por clorita. Esta amostra foi classificada como monzogranito.

7.2 Geoquímica de rochas

Foram analisadas onze amostras por Fluorescência de raios X para a detecção de elementos maiores e traços. A utilização da geoquímica nestas rochas tem o intuito de apresentar suas caracterização geoquímica e análise dos ambientes tectônicos.

Na classificação geoquímica, foram divididos em tópicos por localização, para melhor observação das características químicas das rochas, assim criando um tópico final para discutir as similaridades e diferenças dos grupos.

7.2.1 Juana Sanchez

As amostras da região de Juana Sanchez foram classificadas, de acordo com o digrama TAS (figura 5), como quartzo-diorito e granito. A amostra JS-001 é uma rocha diferenciada e possui baixos teores de potássio e sódio. As outras amostras deste conjunto apresentam um *trend* composicional de quartzo diorito a granito. De acordo com os valores normativos CIPW (figura 6) obtiveram classificação como monzogranito, granodiorito e quartzo-monzodiorito. Todas as amostras no gráfico de Shand (1943) (figura 7) caem no campo de rochas metaluminosas, porém as JS-001 e JS-003 são classificadas como peraluminosas, pois possuem coríndon na norma. Provavelmente estas duas representam a fase final de cristalização. Isto também é observado em lâmina petrográfica, pois se tratam de um turmalinito (foto 1- Anexo I) e de um granito pegmatítico.

A análise dos elementos maiores pelos diagramas Harker (figura 9) apresentaram um agrupamento principalmente nos óxidos de magnésio, cálcio e fósforo, com exceção da amostra JS-001. Este agrupamento pode indicar uma tendência na evolução da cristalização.

As amostras deste conjunto apresentam no gráfico *spider* de Wood (1979) (figura 8) normalização similar principalmente do subgrupo JS-003, JS-007 e JS-021. A amostra JS-001 se mostrou errática ao conjunto nos elementos maiores e no elemento traço Ítrio. Além disso, a amostra JS-020 também se mostra fora do conjunto das amostras. Na amostra JS-003, os elementos bário e cério se mostraram um pouco deslocado em relação ao conjunto.

Evidenciado pelo gráfico *spider*, as amostras de Juana Sanchez possuem uma possível correlação magmática. Este fato é reforçado pelo *trend* composicional observado nos outros diagramas.

7.2.2 San Martin de Loba

Este conjunto se mostra mais homogêneo no gráfico TAS (figura 5), classificados como diorito e quartzo-diorito, no limite do sienó-diorito. Neste gráfico, este conjunto apresentou um *trend* composicional, com baixos teores em sílica e álcalis representados pela amostra SML-022 e com teores maiores pela amostra SML-001. De acordo com o gráfico QAP por CIPW (figura 6), as amostras de San Martin de Loba foram classificadas como monzogranito, e quartzo-monzonito granodiorito.

O diagrama Harker (figura 9) apresenta um claro agrupamento em todos os elementos maiores. Estas rochas também se correlacionam no gráfico *spider* (figura 8), sem nenhum elemento errático em relação ao conjunto.

Em todas as análises as rochas de San Martin de Loba se mostraram correlacionáveis, sempre com teores similares, tanto dos elementos traços quanto dos maiores. Devido à análise dos resultados, seus teores indicam que pertencerem ao mesmo evento magmático, evidenciado pela química e apresentado pelo gráfico *spider* com origem similar.

7.2.3 La Cabana e La Italia

As amostras da área La Cabana e La Italia estão localizadas na região mais ao sul da área de estudo (figura 4). Estas foram agrupadas pela similaridade química e possível correlação.

No diagrama TAS (figura 5) a amostra de La Cabana foi classificada como gabro e a amostra de LI-001 como um diorito.

De acordo com os valores normativos CIPW (figura 6) a amostra de La Italia foi classificada como quartzo gabro e a de La Cabana como monzogabro.

Estas amostras nos diagramas Harker (figura 9) não possuem nenhum agrupamento.

A amostra LI-001 aparenta similaridade em quase todas as comparações químicas com as rochas de San Martin de Loba. Seus elementos e óxidos químicos se comportam semelhantemente no gráfico *spider*, nos diagramas Harker e TAS.

7.2.4 Batólito Norosí

As regiões de Juana Sanchez e San Martin de Loba estão localizadas em uma planície e são separadas pelo Rio Magdalena. A questão é que afloram rochas plutônicas ao norte do rio, em Juana Sanchez e a sul, no povoado de San Martin de Loba.

As rochas destes dois grupos têm claras diferenças químicas, como conteúdo de sílica, álcalis e em alguns elementos traços. O gráfico TAS (figura 5) mostra um *trend* químico entre todo este conjunto de rochas, na série cálcio alcalina, observável no gráfico AFM (figura 12). Essa tendência também é observável no gráfico QAP por elementos normativos (figura 6), com pequenas diferenças.

As amostras de melhor representatividade e similaridade geoquímicas são: JS-007, JS-021, SML-001, SML-021, SML-022 e SML-023. As rochas JS-001 e JS-003 provavelmente representam a fase tardia deste magmatismo. Possivelmente, analisando as características químicas da amostra LI-001, esta amostra possa estar contida neste conjunto de rochas características do batólito Norosí.

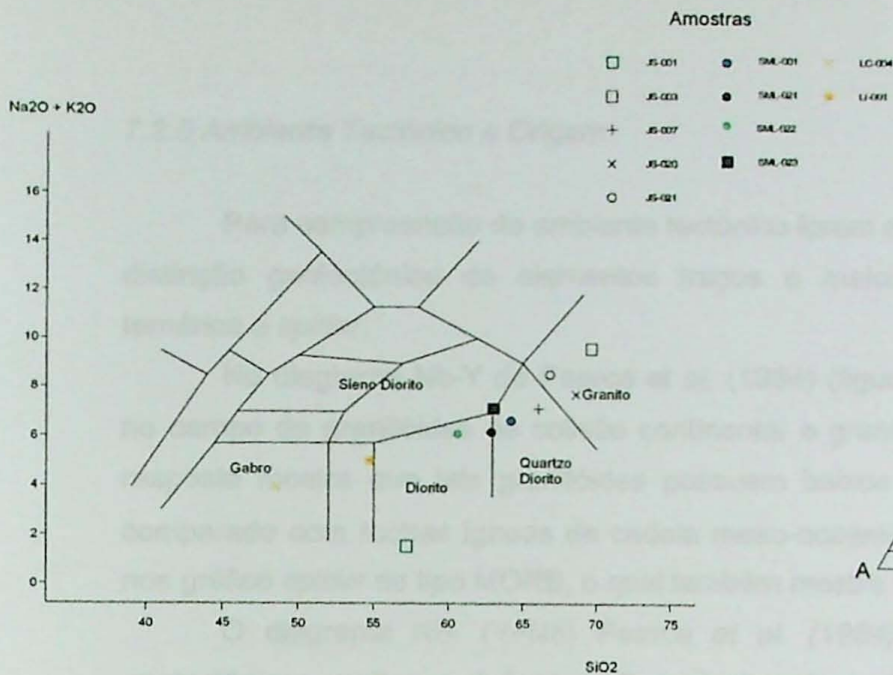


Fig.5 - TAS Cox et al (1979)

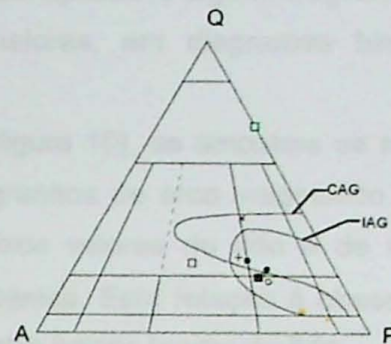


Fig.6 - QAP com CIPW e campos de Maniar e Piccoli (1989)

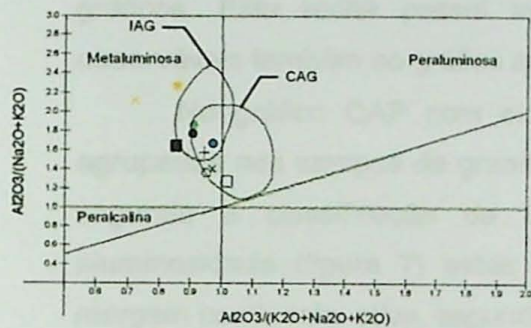


Fig.7 - Gráfico de Aluminosidade com campos de Maniar e Piccoli (1989)

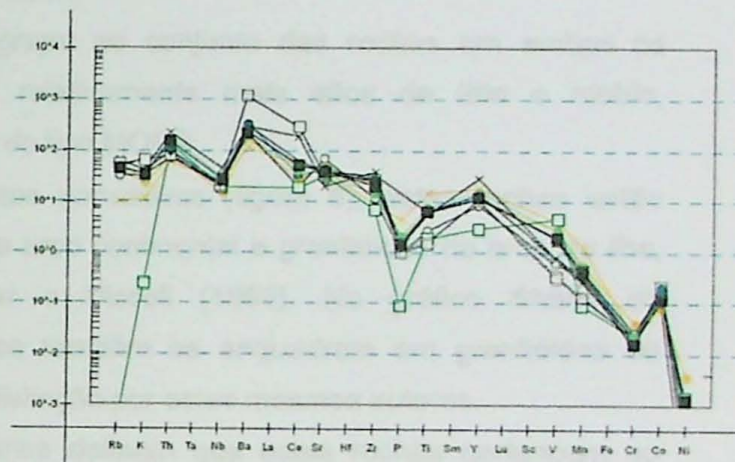


Fig.8 - Normalização por condrito Wood (1979)

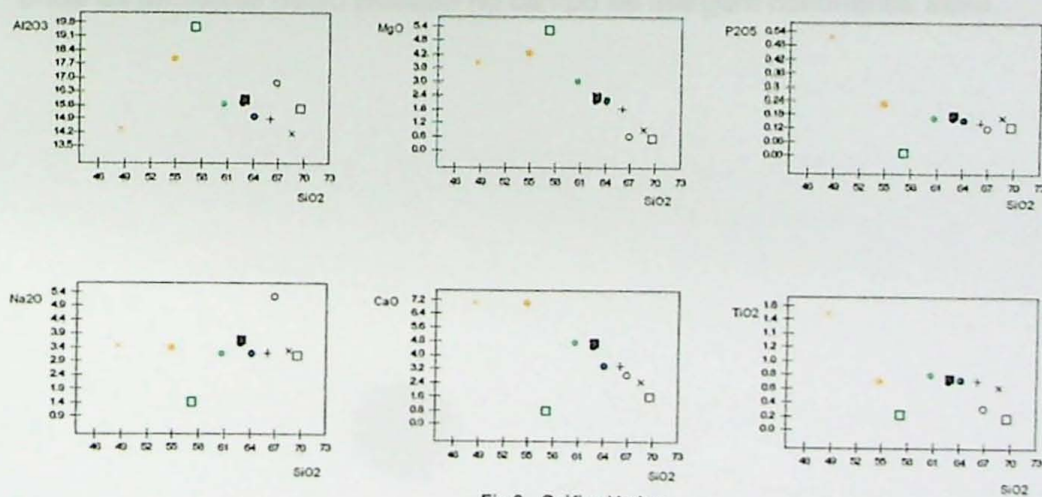


Fig.9 - Gráfico Harker

7.2.5 Ambiente Tectônico e Origem

Para compreensão do ambiente tectônico foram aplicados alguns diagramas de distinção geotectônica de elementos traços e maiores, em diagramas binários, ternários e *spider*.

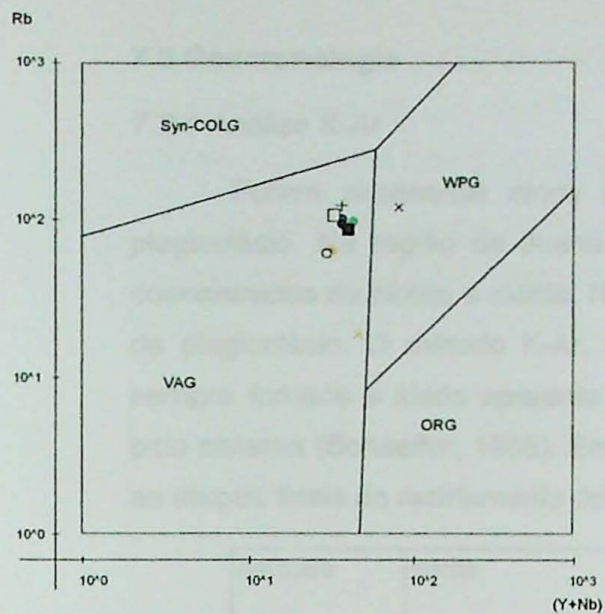
No diagrama Nb-Y de Pearce et al. (1984) (figura 10), as amostras se situam no campo de granitóides de colisão continental e granitos de arco magmático. Esta resposta mostra que tais granitóides possuem baixos valores de ítrio e de nióbio comparado com rochas ígneas de cadeia meso-oceânica. Esta relação é observável nos gráfico *spider* do tipo MORB, o qual também mostra baixos teores de ítrio.

O diagrama Rb- (Y+Nb) Pearce et al. (1984) (figura 11) possui campos geotectônicos melhores definidos. O conjunto principal de amostras se localiza no campo de granitóides de arcos magmáticos.

A amostra JS-020 não se agrupa ao conjunto das rochas em ambos os gráficos. Esta rocha possui teores relativamente mais altos de ítrio e nióbio, observáveis também no gráfico *spider* do tipo MORB.

No gráfico QAP com elementos normativos (figura 6), estas rochas estão agrupadas nos campos de granitos de arco continental e granitóides de arco de ilha, segundo a classificação de Maniar e Piccoli (1989). No gráfico Shand de aluminosidade (figura 7) estas rochas também se enquadram em granitóides de margem continental ativa, segundo a distinção por estes mesmos autores.

As análises dos gráficos binários definem que estas rochas pertencem ao ambiente tipo arco magmático. Esta conclusão é reforçada pelas áreas sugeridas no trabalho de Maniar e Piccoli (1989) aplicados nos gráficos de aluminosidade e o QAP, onde as amostras estão plotadas no campo de margem continental ativa.



Amostras

□	JS-001	●	SML-001	×	LC-004
□	JS-003	●	SML-021	●	U-001
+	JS-007	●	SML-022		
×	JS-020	■	SML-023		
○	JS-021				

Fig. 10 - Rb x (Y+Nb) de Pearce et al. (1984)

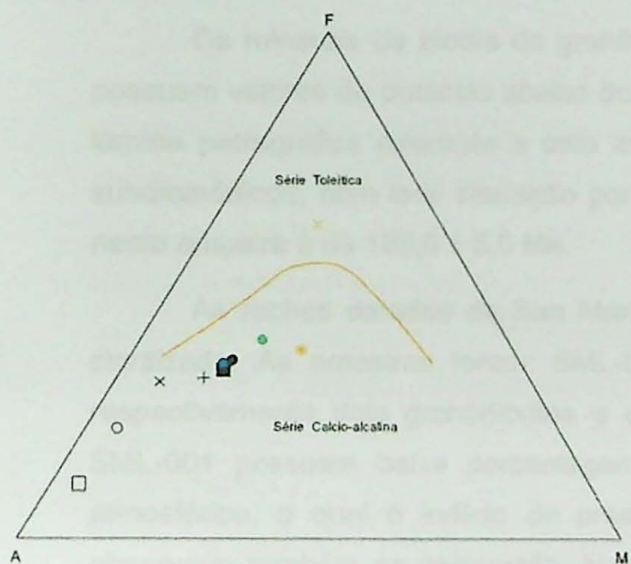
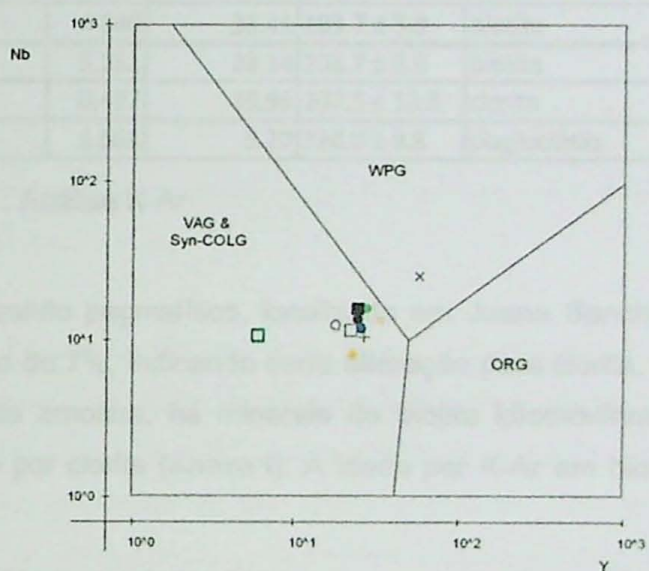


Fig. 12 - AFM

7.3 Geocronologia

7.3.1 Análise K-Ar

Foram analisadas cinco amostras pelo método K-Ar em biotita-clorita e plagioclásio. Na região de Juana Sanchez e San Martin de Loba foram utilizados concentrados de biotita e clorita. Na rocha de La Cabana foi datado por concentrados de plagioclásio. O método K-Ar, aplicado em rochas e minerais separados, quase sempre fornece a idade aparente mínima referente ao último evento térmico sofrido pelo sistema (Schaeffer, 1966). Em rochas plutônicas, o significado é relacionado com as etapas finais do resfriamento do corpo magmático.

Amostra	Rocha	% de K	Ar40 Atm (%)	Idade (Ma)	Material Analisado
SL-JS-003	Granito Pegmatítico	6.037	24.67	189.6 ± 5.0	biotita
SL-SML-021	Granodiorito	4.840	31.41	193.7 ± 5.3	biotita
SL-SML-023	Diorito	5.251	23.14	208.7 ± 6.6	biotita
SL-SML-001	Granodiorito	0.497	45.96	207.5 ± 13.8	clorita
SL-LC-004	Gabro	1.663	5.20	328.0 ± 9.8	plagioclásio

Tabela 3 . Análise K-Ar

Os minerais de biotita do granito pegmatítico, localizado em Juana Sanchez, possuem valores de potássio abaixo de 7%, indicando certa alteração para clorita. Na lâmina petrográfica referente a esta amostra, há minerais de biotita idiomórficos a subidiomórficos, com leve alteração por clorita (Anexo I). A idade por K-Ar em biotita nesta amostra é de $189,6 \pm 5,0$ Ma.

As rochas datadas de San Martin de Loba foram por concentrado de biotita cloritizada. As amostras foram: SML-001, SML-021 e SML-023, que representam respectivamente dois granodioritos e um diorito. Os minerais datados da amostra SML-001 possuem baixa porcentagem de potássio e alta porcentagem de ^{40}Ar atmosférico, o qual é indício de predominância de clorita no material analisado, observado também na petrografia. Nesta rocha, por vezes, há substituição total de biotita por clorita (Anexo I). As outras duas amostras também possuem baixa porcentagem de potássio, visto que há alteração por clorita nas bordas dos minerais de biotita. As idades das amostras SML-001, SML-021 e SML-023 são respectivamente $207,7 \pm 13,8$ Ma, $193,7 \pm 5,3$ Ma e $208,7 \pm 6,6$ Ma.

Foram utilizados plagioclásios para datação do gabro LC-004 localizado na região de La Cabana. A porcentagem de potássio no concentrado se apresenta alta,

improvável em plagioclásio puro. Na lâmina petrográfica não se notou borda ou exsolução de feldspato alcalino, porém no cálculo dos minerais normativos, esta amostra apresenta ortoclásio em sua norma. A idade por K-Ar é de $328,0 \pm 9,8$ Ma.

Em função da alta cloritização dos concentrados de biotita datados, as idades obtidas pelo método K-Ar neste trabalho foram consideradas como idades aparentes mínimas.

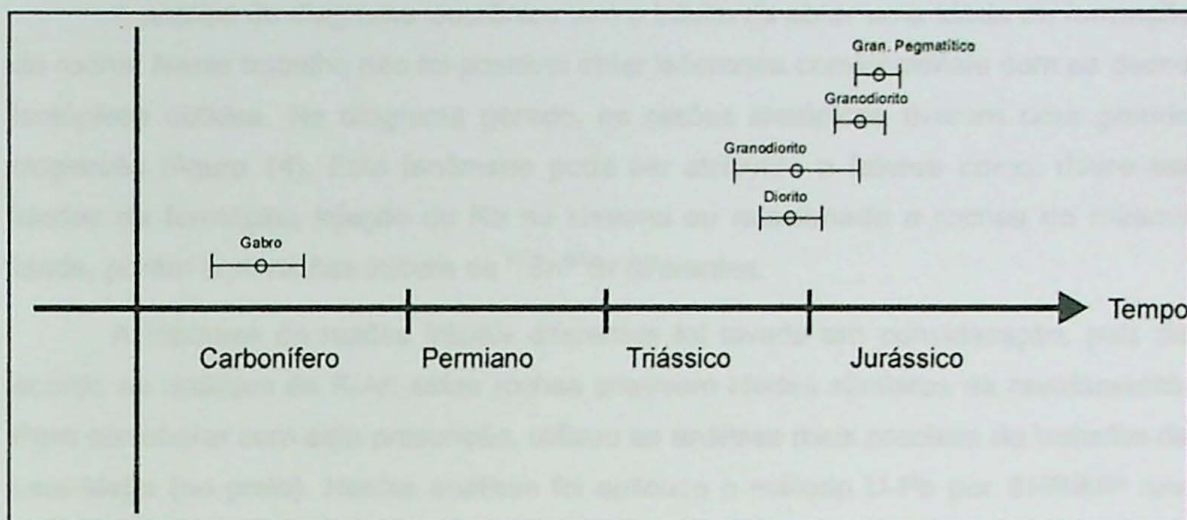


Figura 13 . Idades K-Ar.

As rochas datadas por K-Ar da região de San Lucas se mostraram de diferentes eventos magmáticos, um no Paleozóico e outro no Mesozóico (figura 13). As amostras datadas de San Martin de Loba e de Juana Sanchez representam o mesmo complexo magmático. Estes afloramentos são identificados na bibliografia como pertencentes ao Batolito Norosí, considerado uma apófise do Batolito Segovia. As idades mostram que o evento magmático ocorreu no período de transição entre Triássico e Jurássico. Observa-se também que estas rochas possuem um grande espalhamento no tempo, com a possibilidade de proveniência de diferentes pulsos magmáticos.

O gabro de La Cabana possui idade no Carbonífero. De acordo com Restrepo *et al.* (1991), há corpos plutônicos desta idade na Cordilheira Central colombiana. Outros autores identificaram eventos metamórficos desta idade (McCourt *et al.*, 1984 & Ordóñez Carmona e Pimentel, 2002). Este magmatismo é relacionado a eventos hercínicos e dissociado ao plutonismo principal estudado, de idade Triássica-Jurássica.

7.4 Geologia Isotópica

7.4.1 Análise Isotópica Rb-Sr

Foram efetuadas 11 análises pelo método Rb-Sr em rocha total.

A análise do diagrama isocrônico tem o intuito de obter uma idade de formação da rocha. Neste trabalho não foi possível obter isócronas convencionais com os dados isotópicos obtidos. No diagrama gerado, as razões isotópicas tiveram uma grande dispersão (figura 14). Este fenômeno pode ser atribuído a fatores como: diferentes idades de formação, injeção de Rb no sistema ou relacionado a rochas de mesma idade, porém com razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diferentes.

A hipótese de razões iniciais diferentes foi levada em consideração, pois de acordo as análises de K-Ar, estas rochas possuem idades similares de resfriamento. Para corroborar com esta presunção, utilizou as análises mais precisas do trabalho de Leal-Mejía (no prelo). Nestas análises foi aplicado o método U-Pb por SHRIMP nas amostras JS-007 e SML-022, obtendo idades respectivamente de 182 ± 3 Ma e 189 ± 4 Ma, que são coincidentes dentro do erro experimental. Com essa hipótese, prevê que as rochas sejam contemporâneas, com exceção da amostra de La Cabana. Com isso, nos dá a alternativa de que as amostras possuam razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ distintas, com diferentes origens na fusão e formação dos corpos, mostrando que não seriam cogenéticas e possivelmente formadas em pulsos magmáticos separados no tempo, e conseqüentemente provenientes de fontes específicas.

Neste trabalho utilizou-se a idade média do SHRIMP de 185 Ma como isócrona de referência e com razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,707 (figura 14). Também foi traçado a isocrona de referência de 328 Ma para a amostra LC-004

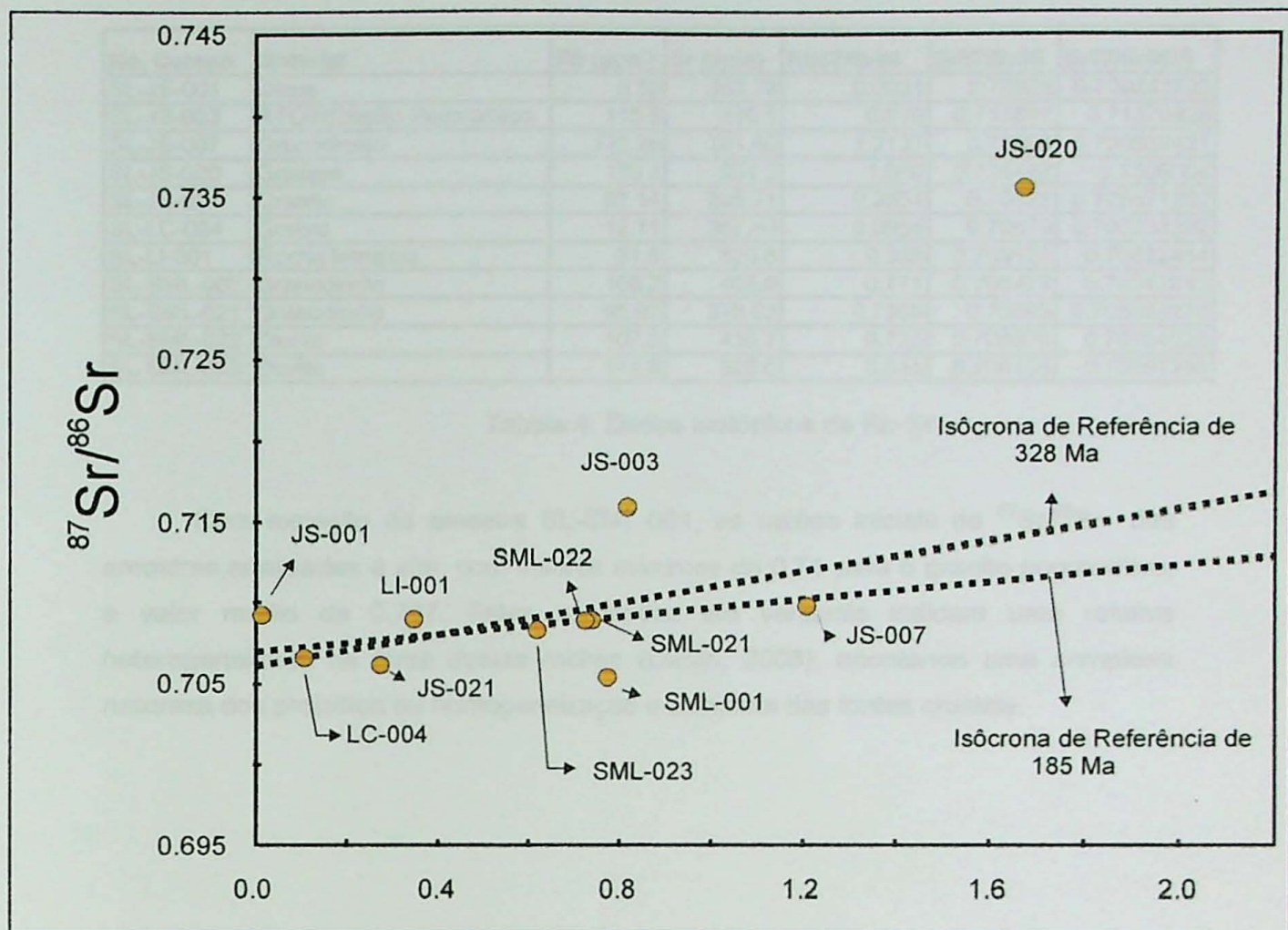


Figura 14 . Diagrama Rb-Sr.

No cálculo de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial foi considerado que em cada amostra passaria uma isócrona as quais seriam paralelas entre si em função da isócrona de referência.

A amostra JS-20 foi excluída, pois os valores da razão Rb/Sr são elevadas, além de possuir elementos traços erráticos a todo o conjunto de rochas estudadas, incluindo os elementos terras raras Nd e Sm.

Na amostra LC-004 foi utilizada a idade mínima de 328,0 Ma, obtida na datação K-Ar, para o cálculo de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial.

No. Campo	Material	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Rb87/Sr86	Sr87/Sr86	Sr87/Sr86(i)
SL-JS-001	Dique	0.39	363.79	0.0031	0.70925	0.709241723
SL-JS-003	RTOT/Granito Pegmatítico	115.5	410.1	0.816	0.715887	0.71370828
SL-JS-007	Granodiorito	122.26	291.60	1.2137	0.70988	0.706639421
SL-JS-020	Gnaiss	133.8	231.3	1.680	0.735442	0.7309564
SL-JS-021	Granito	82.14	895.71	0.2654	0.70628	0.705571382
SL-LC-004	Grabro	12.11	367.40	0.0954	0.70679	0.706338392
SL-LI-001	Rocha Intrusiva	61.5	526.8	0.338	0.709127	0.70822454
SL-SML-001	Granodiorito	108.2	405.9	0.771	0.705479	0.70342043
SL-SML-021	Granodiorito	95.92	376.92	0.7366	0.70893	0.706963278
SL-SML-022	Diorito	107.8	430.7	0.725	0.708976	0.70704025
SL-SML-023	Diorito	111.9	526.6	0.615	0.708455	0.70681295

Tabela 4. Dados Isotópicos de Rb-Sr

Com exceção da amostra SL-SML-001, as razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das amostras analisadas é alta, com valores máximos de 0,71 para o granito pegmatítico, e valor médio de 0,707. Estes resultados tão variáveis indicam uma relativa heterogeneidade na fonte destas rochas (Dickin, 2005), apontando uma complexa natureza dos protolitos ou homogeneização incompleta das fontes crustais.

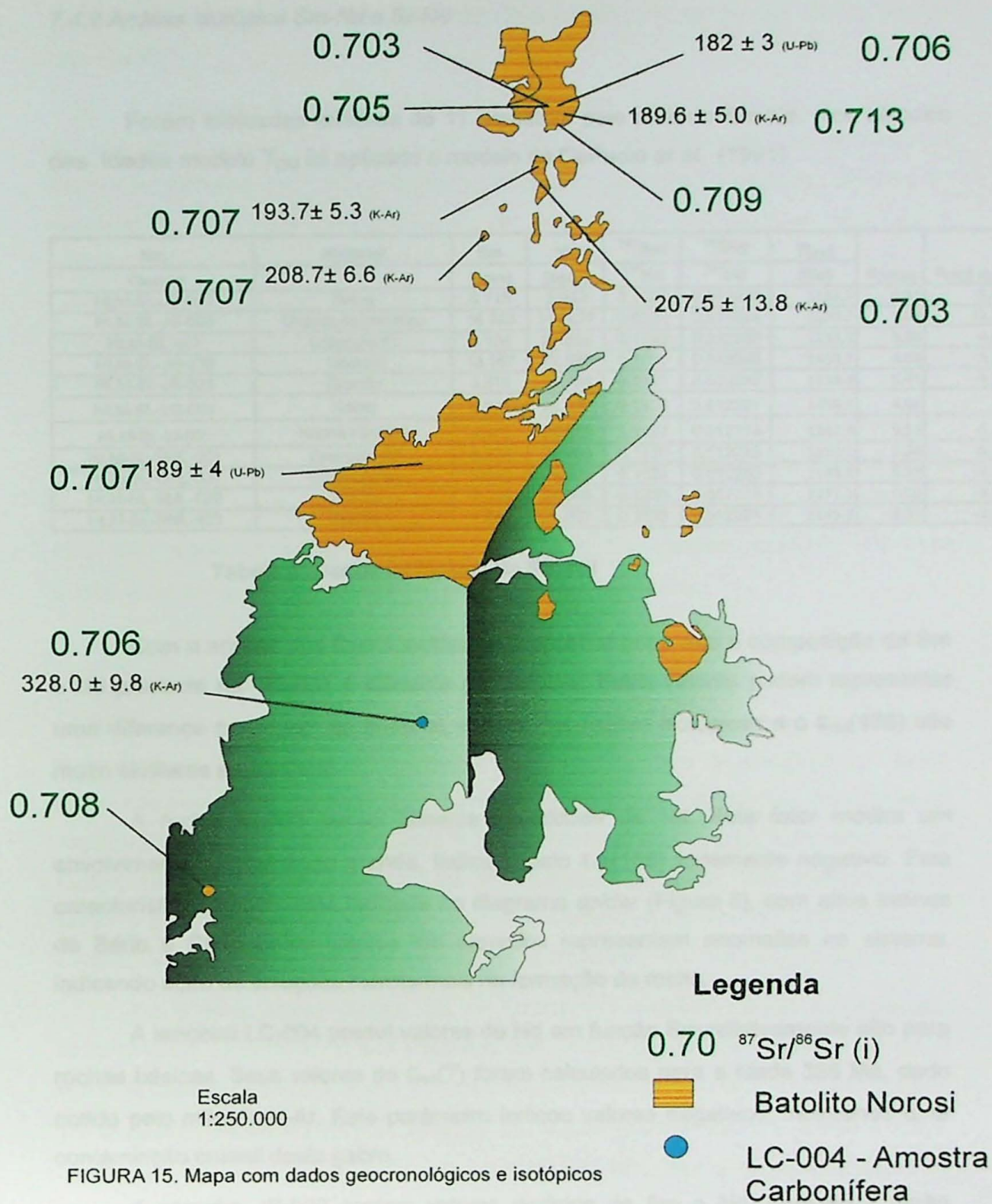


FIGURA 15. Mapa com dados geocronológicos e isotópicos

7.4.2 Análise Isotópica Sm-Nd e Sr-Nd

Foram efetuadas análises de 11 amostras pelo método Sm-Nd. Nos cálculos das Idades modelo T_{DM} foi aplicado o modelo de DePaolo *et al.* (1991).

No.	Material	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/$ ^{144}Nd	$^{143}\text{Nd}/$ ^{144}Nd	$T_{(DM)}$ (Ma)	$\epsilon_{(TDM)}$	$\epsilon_{(185\text{ Ma})}$	$\epsilon_{(328\text{ Ma})}$
Campo		(ppm)	(ppm)						
HLM-SL-JS-001	Dique	0.715	3.942	0.1097	0.512258	1151.7	5.37	-5.36	
HLM-SL-JS-003	Granito Pegmatítico	14.243	117.627	0.0732	0.511864	1279.7	5.06	-12.18	
HLM-SL-007	Granodiorito	5.194	27.556	0.1140	0.512288	1155.3	5.36	-4.88	
HLM-SL-JS-020	Gnaiss	13.167	72.986	0.1091	0.512043	1455.7	4.66	-9.54	
HLM-SL-JS-021	Granito	3.315	16.754	0.1197	0.512343	1136.3	5.41	-3.94	
HLM-SL-LC-004	Gabro	6.221	28.332	0.1328	0.512267	1458.5	4.65		-4.57
HLM-SL-LI-001	Rocha intrusiva	4.472	22.585	0.1197	0.512274	1247.4	5.14	-5.29	
HLM-SL-SML-001	Granodiorito	4.777	24.680	0.1170	0.512223	1292.1	5.04	-6.21	
HLM-SL-SML-021	Granodiorito	4.983	26.802	0.1124	0.512283	1145.3	5.39	-4.94	
HLM-SL-SML-022	Diorito	4.961	24.584	0.1220	0.512278	1271.1	5.09	-5.26	
HLM-SL-SML-023	Diorito	4.646	25.037	0.1122	0.512281	1145.6	5.39	-4.97	

Tabela 5. Dados Isotópicos de Sm-Nd

Com a análise dos dados isotópicos é possível notar que a composição de Sm e Nd presente na JS-001 é diferente das demais. Estes valores podem representar uma diferença na origem do material, contudo as razões isotópicas e o $\epsilon_{Nd}(185)$ são muito similares ao conjunto.

A rocha JS-003 possui elevada quantidade de Nd. Este fator mostra um envolvimento crustal muito grande, indicado pelo $\epsilon_{Nd}(185)$ fortemente negativo. Esta característica também está indicada no diagrama *spider* (Figura 8), com altos índices de Bário e Cério. Estes valores tão elevados representam anomalias no sistema, indicando ação de soluções hidrotermais na formação da rocha.

A amostra LC-004 possui valores de Nd em função Sm relativamente alto para rochas básicas. Seus valores de $\epsilon_{Nd}(T)$ foram calculados para a idade 328 Ma, dado obtido pelo método K-Ar. Este parâmetro indicou valores negativos, mostrando uma contaminação crustal deste gabro.

A amostra JS-020 contém valores distintos de Sm e Nd, contudo a razão Sm/Nd é similar as demais. Porém a resposta ao parâmetro $\epsilon_{Nd}(185)$ mostrou uma forte contaminação crustal. Evidenciado pela geoquímica e geologia isotópica, esta rocha se mostra errática as outras, não pertencendo ao Batólito Noroeste. Devido a esta diferença química, a amostra poderia pertencer ao embasamento Paleozóico (?) do

Batolito Norosí, pois se trata de um gnaiss bandado, distinta das outras rochas estudadas.

A dúvida ainda persiste sobre a amostra LI-001. Esta rocha se localiza mais ao sul dos afloramentos de San Martin de Loba e Juana Sanchez, está bem alterada em lâmina petrográfica, com veio composto preponderantemente de zeolitas, minerais de plagioclásio fortemente sericitizados e com minerais do veio existente em toda a amostra. Mesmo apresentando similaridades químicas em Sm-Nd e Rb-Sr, e possíveis correlações nos elementos traços e maiores com as outras amostras, a exclui do batolito estudado, pois estão em contato com vulcânicas mais novas que os granitóides do batolito Norosí (figura 4).

As demais amostras, ou seja, JS-07, JS-021, SML-001, SML-21, SML-22 e SML-23 se mostraram similares, sendo reconhecidas como identidade do Batolito Norosí. Estas possuem razões Sm/Nd próximo de 0,11, idades T_{DM} de 1200 Ma e $\epsilon Nd(185)$ entre -4 e -6. Os valores de $\epsilon Nd(185)$ indicam anatexia ou forte contaminação crustal na formação deste complexo magmático.

Aplicando o modelo de manto empobrecido de DePaolo, essas rochas possuem idades Sm-Nd T_{DM} de aproximadamente de 1200 Ma, com valores $\epsilon Nd(T)$ positivos próximo a 5. Segundo Cordani *et al.* (2005), terrenos foram formados no Proterozóico relacionado a separação do Rodinia, que posteriormente foram aglutinados na região da Colômbia, no evento da formação da Pangea. As rochas do Batolito Norosí possuem idades Sm-Nd T_{DM} próximas a este estudo, indicando que as rochas sofreram contaminação crustal por corpos desta idade. Isto mostra que os terrenos do embasamento do Batolito Norosí, e possivelmente do norte da Cordilheira Central Colombiana, são similares aos terrenos descritos em Cordani *et al.* (2005).

No gráfico Sr-Nd (figura 16) as rochas do batolito Norosí se localizam concentradas, indicando valores próximos nas razões de Sr/Sr e Nd/Nd, conferindo similaridades na origem. A amostra JS-003 possui altas razões de Sr/Sr iniciais, assim como baixos valores de ϵNd . A amostra JS-20 tem valores distintos destas razões. Devido à baixa razão de Sr/Sr para a amostra SML-001, ela se mostrou errática ao grupo.

No gráfico Sr-Nd (figura 16) se observa uma rocha com características mais crustais, indicado pela rocha JS-003, e o conjunto principal, com valores concentrados em ϵNd -5 e $^{87}Sr/^{86}Sr$ em 0,707. Para a gênese do conjunto principal propõem-se, portanto, uma contaminação de um material extremamente crustal, sugerido com

índices além de ϵNd -13 e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ acima de 0.713 , com um material mantélico com ϵNd positivo e valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ abaixo de 0,7035.

A análise do gráfico Sr-Nd sugere mistura de material antigo de aproximadamente 1000- 12000 Ma, idade característica de eventos Grenvillianos. Possivelmente este material crustal seria pertencente ao terreno Chicamocha (Cediel *et al.*, 2003), e estaria misturado com material juvenil formado em sistema de subducção no Triássico-Jurássico.

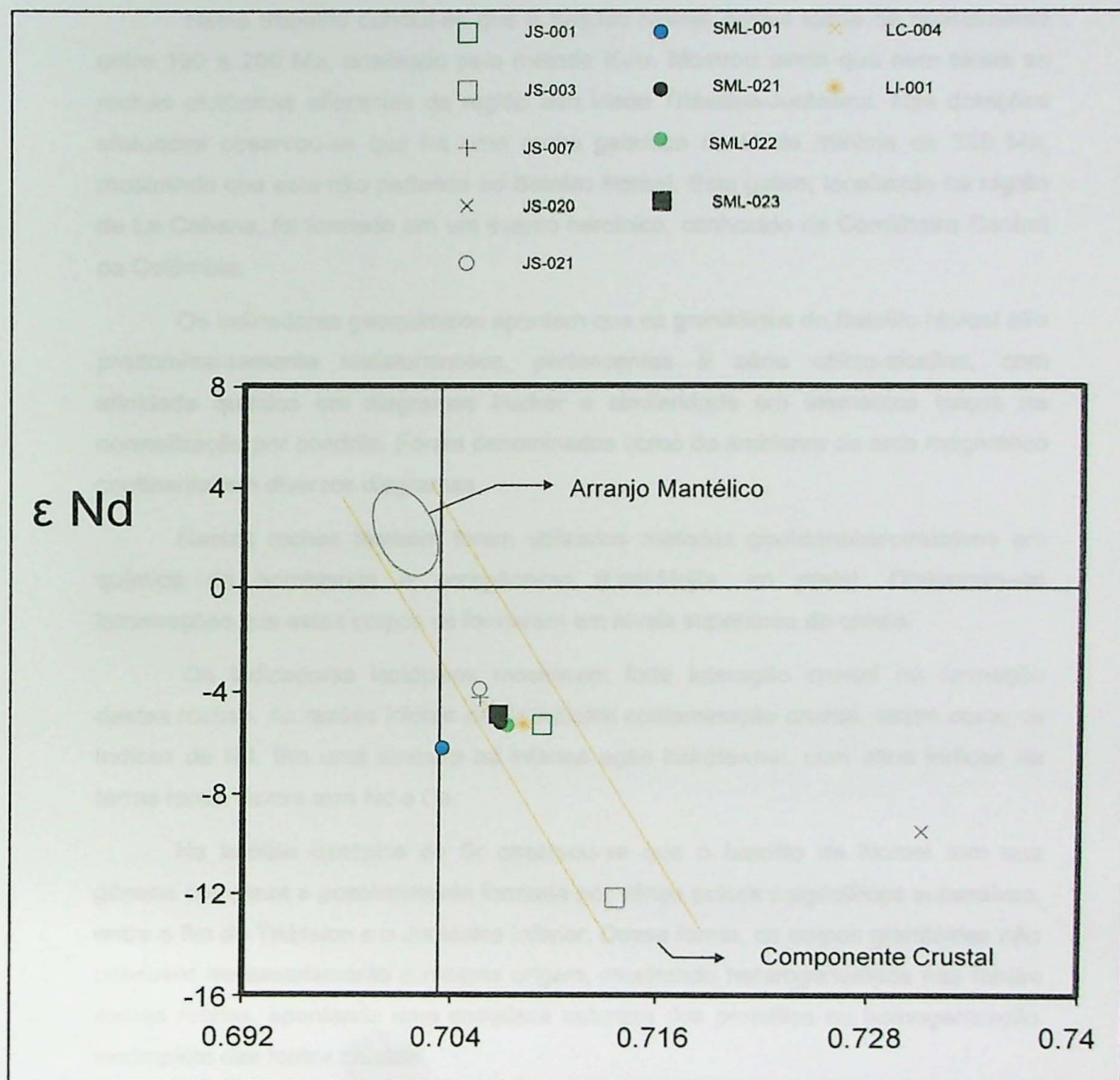


Figura 16. Gráfico Sr-Nd

8.0 CONCLUSÕES

Este trabalho atingiu os objetivos propostos no projeto inicial. Primeiramente, não se tinha certeza das correlações das amostras selecionadas para este trabalho. Com a utilização de métodos específicos como geologia isotópica por Sr e Nd, datações por K-Ar e geoquímica, foi obtido resultados satisfatórios sobre o Batólito Norosí.

Neste trabalho conclui-se que o Batólito Norosí possui idade de resfriamento entre 190 a 200 Ma, analisado pelo método K-Ar. Mostrou ainda que nem todas as rochas plutônicas aflorantes da região tem idade Triássica-Jurássica. Nas datações efetuadas observou-se que há uma rocha gabroica de idade mínima de 328 Ma, mostrando que esta não pertence ao Batólito Norosí. Este gabro, localizado na região de La Cabana, foi formado em um evento hercínico, conhecido na Cordilheira Central da Colômbia.

Os indicadores geoquímicos apontam que os granitóides do Batólito Norosí são predominantemente metaluminosos, pertencentes à série cálcio-alcálica, com afinidade química em diagramas Harker e similaridade em elementos traços na normalização por condrito. Foram denominados como de ambiente de arco magmático continental em diversos diagramas.

Nestas rochas também foram utilizados métodos geotermobarométricos em química de hornblenda e paragéneses (Leal-Mejía, no prelo). Obtiveram-se informações que estes corpos se formaram em níveis superiores da crosta.

Os indicadores isotópicos mostraram forte interação crustal na formação destas rochas. As razões iniciais de Sr indicam contaminação crustal, assim como os índices de Nd. Em uma amostra há intensa ação hidrotermal, com altos índices de terras raras, dentre eles Nd e Ce.

Na análise isotópica de Sr observou-se que o batólito de Norosí tem sua gênese complexa e possivelmente formada por vários pulsos magmáticos sucessivos, entre o fim do Triássico e o Jurássico Inferior. Dessa forma, os corpos granitóides não possuem necessariamente a mesma origem, mostrando heterogeneidade nas fontes destas rochas, apontando uma complexa natureza dos protólitos ou homogeneização incompleta das fontes crustais.

Os corpos possuem idade média de diferenciação mantélica (Sm-Nd T_{DM}) de 1200 Ma. A análise do gráfico Sr-Nd sugere mistura de material antigo de

aproximadamente 1000- 12000 Ma, idade característica de eventos Grenvillianos. Possivelmente este material crustal seria pertencente ao terreno Chicamocha (Cediel *et al.*, 2003), e estaria misturado com material juvenil formado em sistema de subducção no Triássico-Jurássico, num intervalo de tempo de 10-20 Ma.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

Cediel, R., Shaw, R. P., Carreras, C. (2003). Tectonic Assembly of the RioChico Andean Cordillera. AAPG Bulletin 79, 315-345.

9.0 BIBLIOGRAFIA

Amaral, G., Cordani, U.G., Koji, K., Reynolds, J.H. (1966). Potassium-argon dates of basaltic rocks from southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **30** (2), 159-189.

Aspden, A. J., McCourt, W. J., Brook, M. (1987). Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of West Colombia. *Journal of the Geological Society* **144**, 893-905.

Cediel, F., Shaw, R. P., Cárceres C. (2003). Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. *AAPG Memoir* **79**, 815-848.

Clavijo, J. (1995). Geología y Recursos Minerales de la Plancha 75, Aguachica. INGEOMINAS, 1-58.

Cooper, M. A., *et al.* (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley. *AAPG Bulletin* **79**, 1421-1443.

Cordani, U.G., Kawashita K., Thomaz Filho., Neves, B.B.B. (1985). On the applicability of Rb-Sr method to argillaceous sedimentary rocks: some examples from precambrian sequences of Brazil. *Giornale di Geologia* **47**, 263-280.

Cordani, U.G., Cardona, A., Jiménez, D. M., Liu, D., Nutman, A.P. (2005). Geochronology of proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. *Terrane processes at margins of Gondwana* (London): *Geological Society*, 329-346.

Dickin, A. P. (2005). Radiogenic isotopic geology. *Cambridge University Press*, Cambridge, 490 p.

DePaolo, D., Linn, A., Schubert, G. (1991). The continental crustal age distribution: Methods of determining mantle separation ages from Sm-Nd isotopic data and

application to the southwestern United States. *Journal of Geophysical Research* **96** (B2), 2071-2088.

Feininger, T. (1970). The Palestina Fault, Colombia. *Geological Society of America Bulletin* **81**, 1201-1216.

Feininger, T., Barrero, D., Castro, N. (1972). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (subzona IIB). INGEOMINAS. *Boletín Geológico* **20** (2), 1-173.

Geyer, O. (1969). La Fauna de amonites del perfil típico de la Formación Morrocoyal. *Memoria Primer Congreso Colombiano de Geología*, 111-134.

González, H. & Londoño, A. C. (1999). Diorita Segovia in Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia. INGEOMINAS, 5-15.

González, H. (2001). Mapa Geológico del Departamento de Antioquia, *Memoria Explicativa* INGEOMINAS, 15-242.

INGEOMINAS (2005). Cartografía Geológica de 9.600 KM² de la Serranía de San Lucas: Plancha 55 (EL Blanco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simiti) y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al Conocimiento de su Evolución Geológica. *Memoria Geológica Preliminar*, 2- 41.

Leal-Mejía, H. (no prelo). Gold Metallogenesis in the Colombian Andes during the Mesozoic and Cenozoic: A Tectono-Magmatic Analytical approach oriented towards generative exploration. Tese de Doutorado-Universidade de Barcelona.

Maniar, P. D. & Piccoli, P. M. (1989). Tectonic discriminations of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* **101**, 635-643.

McCourt, W. J., & Feininger, Aspden, J. A, Brook, M. (1984). New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *Journal of Geological Society* **141**, 831-845.

Mojica, J. & Kammer, A. (1995), Eventos jurásicos en Colombia. *Geología Colombiana* **19**, 165-172.

Ordoñez Carmona, O. (1997). O Pré-Cambriano na parte norte da Cordilheira Central dos Andes colombianos. *Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília*, 90 f.

Ordóñez Carmona, O. & Pimentel, M. M. (2002). Rb-Sr and Sm-Nd isotopic study of Puquí complex, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences* **15**, 173-182.

Pearce, J. A., Harris, N. W., Tindle, A. G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* **25**, 956-983.

Pindel, J. L., *et al.* (1988). A plate-kinematic framework for models of Caribbean evolution. *Tectonophysics* **155**, 121-138.

Restrepo, J.J., *et al.* (1985). Evolucion Magmática de los Andes Septentrionais. *Comunicaciones* **35**, 201-208.

Restrepo, J.J., *et al.* (1991). Precisiones Geocronologicas sobre el Occidente Colombiano. *Memorias, Manizales*, 1-21.

Sánchez, M. M. (2001). Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas en Colombia. *INGEOMINAS*, 1-37.

Schaeffer, O.A. (1966). Potassium argon dating. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 234 p.

Sato, K., Tassinari, C., Kawashita, K., Petronilho, L. (1995). O método geocronológico Sm-Nd no IGc-USP e suas aplicações. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **67**, 313-335

Toussaint, J.F. & Restrepo, J. J. (1982). Magmatic Evolution of the Northwestern Andes of Colombia. *Earth Science Reviews* **18**, 205-213.

Tschanz, C. M., *et al.* (1974). Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia. *Geological Society of American Bulletin* **85**, 273-284.

Vinasco, C. J., Cordani, U. G., González, H., Weber, M., Pelaez, C. (2006). Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* **21**, 355-371.

Wood, D.A., Tarney, J., Varet, J., Saunders, A.D., Bougault, Y., Joron, J.L., Treuil, M., Cann, J.R. (1979). Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by IPOD Leg 49: implications for mantle heterogeneity. *Earth and Planetary Science Letters* **42**, 77-97.

Anexo I

Descrição Petrográfica e

Fotomicrografia

Descrição macroscópica:

Estrutura brechada, porosa, com amígdalas e geodos. Fragmentos de turmalina de 50 milímetros em uma matriz mais fina de mesma composição. Veios de quartzo com espessura de um milímetro a dois centímetros. A rocha é um turmalinito brechado

Descrição microscópica

Turmalina (chorlo) (60%): Ocorre nos fragmentos da brecha. Turmalina de pleocroísmo verde a laranja. Possui granulometria muito fina a grossa, com hábito em agulha, prismático e com seção basal triangular arredondado (foto 2). Tamanho de 1 mm a 0,025 mm, com fases de cristalização distintas.

Quartzo (30%): Ocorre em veios e em amígdalas. Veios de diferentes espessuras, os quais também cortam os fragmentos ricos em turmalina. Possui textura em mosaico e tablóide (foto 1), de tamanho médio de 0,15 mm.

Opacos (2%): Subidiomórficos a xenomórficos de tamanho 0,2mm, com alteração marrom ocre, prováveis sulfetos, possivelmente pirita. Provavelmente um mineral tardio.

Seqüência de cristalização:

A interpretação da seqüência de cristalização nesta rocha por contatos e texturas entre os minerais se torna complexa. Os veios de quartzo são de diferentes espessuras e prováveis de distintas fases de cristalização. Os minerais de turmalina possuem mais de uma etapa de formação, porém suas relações não são evidentes.

Rocha: Turmalinito brechado

HML-JS-001						
Seqüência de Cristalização						
Turmalina prismática						
Turmalina matriz						
Turmalina Agulha						
Quartzo amigdala						
Quartzo veio						
opacos						

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica grossa, índice de cor de 5%, com cristais de feldspato alcalino de quatro centímetros. É composta por biotita (4%), quartzo (26%) e feldspato alcalino (70%).
Rocha classificada granito pegmatítico

Descrição microscópica

Feldspato Alcalino (Ortoclásio) (48%): Subidiomórfico, com grandes cristais de tamanho 1 cm e com presença de lamelas de peritita.

Plagioclásio (6%): A maioria dos grãos é intersticiais, alguns alterados por sericita. Possuem forma xenomórfica a subidiomórfica, de tamanho 0,1 mm. Algumas vezes apresenta germinação polissintética (An~24- Oligoclásio).

Quartzo (28%): De tamanho 0,1 mm, são encontrados em interstícios, porém também em veios, com textura em mosaico e com duas fases de cristalização.

Hornblenda (3%): Xenomórfico a subidiomórfico, com inclusão de quartzo e feldspato, de tamanho 0,2 mm.

Biotita (8%): Idiomórfico a subidiomórfico de tamanho 0,1mm, concentrado em aglomerados junto com titanita e opacos xenomórficos. Ocorre como cristais grandes e bem formados, de pleocroísmo amarronzado e birrefringência roseada. Leve alteração por clorita.

Sericita (1%): Fina, sem orientação, como produto da alteração de plagioclásio

Titanita (3%): Possui duas fases de cristalização: Uma magmática, com cristais idiomórficos, com hábito romboédrico a prismático junto a biotitas, de tamanho 0,1 mm. Outra fase pós-magmática formada por cristais xenomórficos.

Opacos (3%): Subédricos a xenomórficos de tamanho 0,01 mm, em alguns cristais com associação de biotita na borda.

Clorita (<1%): Mineral tardio como produto de alteração de biotita

Rocha: Sienogranito pegmatítico

HML-SL-JS-003							
Sequência de Cristalização							
	Mágmató				Pós Mágmató		
Feldspato Alcalino							
Plagioclásio				?			
Quartzo							
Hornblenda							
Biotita							
Sericita							
Clorita							
Titanita			?				
Opacos				?			

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica de granulação média de índice de cor de 10%. Composta anfibólio-piroxênio (9%), quartzo (21%) e feldspato (70%), com razão plagioclásio/feldspato alcalino de 3/1. Rocha classificada como granodiorito.

Descrição microscópica

Ortoclásio (14%): Subidiomórfico de tamanho 0,1 mm, diferenciado por relevo e alteração.

Plagioclásio (28%): Subédrico, tabular, zonado, de tamanho 0,3 mm, com inclusões de hornblenda e apatita. Possui germinação polissintética (An_{45} e 34 - Andesina) e alteração por sericita.

Quartzo (20%): Xenomórfico de tamanho 0,1 mm, intersticial aos minerais de feldspato, presente em inclusões em hornblenda.

Piroxênio (?) (4%): Xenomórfico de tamanho 0,3 mm, sem pleocroísmo e baixa birrefringência,

Substituído nas bordas por hornblenda.

Hornblenda (10%): Subidiomórfico de tamanho 0,4 mm, uma fase de crescimento anterior a biotita (encontrada inclusa nela) (foto 6) e outra concomitante com biotita (com os dois cristais bem formados). Hornblenda possui inclusão de plagioclásio, opacos e biotita.

Biotita (12%): Subidiomórfico de tamanho 0,1 mm, pleocroísmo amarronzado e birrefringência rosada, inclusão de hornblenda, porém também inclusa neste mineral (foto 6). Possui cristalização magmática contínua. Normalmente associada aos minerais máficos.

Sericita (3%): Mineral de alteração, presente somente em plagioclásio.

Epidoto (<1): Xenomórfico, produto de alteração de plagioclásio e de formação tardio.

Titanita (5%): Subédrico a xenomórfico com pleocroísmo rosado, de tamanho 0,05 mm. Titanita de cristalização primária possui hábito e também inclusa em hornblenda. Titanita secundária possui hábito xenomórfico e é associado aos minerais máficos como biotita, hornblenda e opacos.

Zircão (<1%): Subédrico de relevo alto e birrefringência de alta ordem. Cristalização primária.

Opacos (4%): Subidiomórficos a xenomórfico associados aos minerais máficos.

Rocha: Granodiorito

HML-SL-JS-007							
Sequência de Cristalização							
	Magmático				Pós Magmático		
Feldspato potássico							
Plagioclásio							
Piroxênio							
Hornblenda(1) e (2)							
Quartzo							
Biotita							
Clorita							
Titânita					?		
Opacos							

HLM-SL-JS-020

Descrição macroscópica

Rocha orientada, com bandas máficas e félsicas. Possui granulação média, composta de anfibólio e biotita (20%), quartzo (15%) e feldspato (65%), com razão plagioclásio/feldspato alcalino de 1/3. Rocha classificada como gnaiss.

Descrição microscópica

Ortoclásio (10%): Xenomórfico de tamanho 1 mm com pertitas. Mimerquitas também são presentes na amostra.

Plagioclásio (35%): Subédrico de tamanho 0,1 mm, com germinação polissintética, como lamelas de albita em feldspato alcalino e também intersticial.

Quartzo (25%): Anédrico com tamanho de 0,05 mm, sem alteração, intersticial ao plagioclásio, orientação paralela as bandas máficas e com extinção ondulante.

Hornblenda (10%): Subidiomórfico a xenomórfico, de tamanho 0,1 mm em aglomerado com máficos, associado com biotita e opacos.

Biotita (10%): Subidiomórfico, tabular de tamanho 0,02 mm, associada a hornblenda e opacos.

Sericita (5%): Fina e sem orientação como produto de alteração de plagioclásio.

Opacos (5%) Xenomórficos estirados em níveis máficos.

Rocha: Gnaiss

Protólito: Granito (?)

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica de granulação média, com índice de cor de 12%, fenocristais de feldspato alcalino. Composta por anfibólio (10%), quartzo (20%), feldspato alcalino (30%) e plagioclásio (40%). Rocha classificada como monzogranito a granodiorito.

Descrição microscópica

Feldspato Alcalino (Ortoclásio) (35%): Subidiomórfico de tamanho 0,2 mm, por vezes zonados, com inclusões de hornblenda, quartzo e titanita euédrica.

Plagioclásio (23%): Subidiomórfico de tamanho 0,2 mm, alterado por sericita, germinação polissintética e falso quadrilê. São observados cristais zonados (foto 9), inclusões de quartzo e hornblenda.

Quartzo (20%): Xenomórfico de tamanho 0,1mm, intersticial, incluso em alguns minerais.

Hornblenda (10%): Subidiomórfico, de tamanho 0,2 mm, com muitas inclusões de opacos e quartzo. Muitas vezes fragmentada em pseudomorfo prismático, com aparência de textura poiquilítica.

Sericita (3%): Alterando os minerais de plagioclásio e sem orientação.

Titanita (5%): Romboédrica a subidiomórfica, com associação de hornblenda. Inclusa em feldspato alcalino de cristalização primária.

Opacos (4%): Xenomórfico associado com hornblenda e biotita. Concentrado em cristais de hornblenda.

Rocha: Monzogranito

HML-SL-JS-021							
Sequência de Cristalização							
	Magmático				Pós Magmático		
Feldspato potássico							
Plagioclásio							
Hornblenda							
Quartzo							
Titanita							
Sericita							
Opacos							

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica de granulação média, índice de cor de 50% com veios e concentração de quartzo. Composta por piroxênio (50%), quartzo (5%) e plagioclásio (45%). Classificada como quartzo gabro.

Descrição microscópica

Plagioclásio (37%): Subédrico a anédrico de tamanho 0,3 mm, alguns com germinação polissintética, (An~58 - Labradorita), pouco alterados (foto 10).

Piroxênio (8%): Subédrico por vezes prismático de tamanho 0,3mm, com contato irregular com plagioclásio (foto 10). Este mineral é substituído por clorita nas bordas, mas também nas clivagens.

Hornblenda (7%): Subidiomórfico de tamanho 0,2mm, concentrada de um lado na amostra como substituição de piroxênio

Biotita (<1%): Subédrico de tamanho 0,1mm e como mineral secundário.

Clorita (15%): Xenomórfico, pervasiva na rocha alterando os piroxênios, associada a opacos e calcita.

Quartzo (<1%): Anédrico de tamanho 0,05mm, próximo ao veio, com extinção ondulante e intersticial.

Calcita (10%): Subédrico a anédrico, de tamanho de 0,1mm, porém algumas vezes bem formada, pervasiva na rocha, porém concentrada próximo ao veio.

Opacos (3%): Sem orientação, subidiomórficos de tamanho 0,1mm, associados à clorita relacionada à alteração.

Rocha: Quartzo- Gabro Alterado

Sequência de Cristalização							
	Magmático				Pós Magmático		
Plagioclásio							
Piroxênio							
Hornblenda							
Biotita							
Clorita							
Quartzo							
Calcita							
Opacos							

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica de granulação fina a média, índice de cor de 25%, com veio e concentração de fêlsicos. Composta por piroxênio-anfibólio (?) (25%), plagioclásio (65%), quartzo (10%). Classificado como quartzo diorito.

Descrição microscópica

Feldspato Alcalino (Ortoclásio) (7%): Xenomórfico, ocorre intersitcial ao plagioclásio e alterado.

Plagioclásio (55%): Subeuédrico a xenomórfico de tamanho 0,2 mm (foto 12), muito alterado, com germinação em alguns não sericitizados.

Clinopiroxênio (Pigeonita) (9%): Mineral subeuédrico a xenomórfico de tamanho 0,1mm, prismático, com clivagem *espinha de peixe* com substituição nas bordas por clorita e com borda com zeolita.

Quartzo (4%): Anédrico de tamanho 0,05 mm e intersticial.

Biotita (6%): Subédrico de tamanho 0,2 mm, alterado por clorita e também totalmente substituído.

Sericita (4%): Sem orientação como produto de alteração de plagioclásio.

Clorita (4%): Xenomórfico alterando biotitas e piroxênio.

Calcita (2%): Subédrico de tamanho 0,02 mm, associado a alteração.

Epidoto (2%): Xenomórfico, de tamanho 0,02mm, tardio.

Clinozoisita(?)(<1%): Xenomórfico de tamanho 0,1mm de formação tardia.

Titanita (1%): Subédrico a xenomórfico de tamanho 0,02 e de cristalização tardia

Zeolita(?) (4%): mineral presente no veio associado com calcita encontrada também alterando os outros minerais.

Opacos(2%): Sem orientação, subidiomórficos, associados a clorita, de tamanho de 0,025 mm.

Rocha: Diorito (?) Alterado

HML-LI-001								
Sequência de Cristalização								
	Magmático				Pós Magmático			
Feldspato Alcalino								
Plagioclásio								
Piroxênio								
Quartzo								
Biotita								
Sericita								
Clorita								
Calcita								
Epidoto								
Clinozoisita								
Zeolita								
Opacos								

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica de granulação média e índice de cor de 15%. Composta por anfibólio (10%), quartzo (20%) e feldspato (70%), com razão plagioclásio/feldspato alcalino de 4/1. Rocha classificada como granodiorito.

Descrição microscópica

Feldspato Alcalino (Ortoclásio) (15%): Xenomórfico de tamanho 0,25 mm, intersticial e com leve alteração.

Plagioclásio (35%): Subédrico a xenomórfico de tamanho 0,25mm, alterado (foto 14).

Hornblenda (11%): Subidiomórfico de tamanho 0,4 mm, em aglomerado deste mineral.

Quartzo (15%): Anédrico de tamanho 0,1mm, intersticial e por vezes com extinção ondulante. Pequenos veios de quartzo de geração secundária.

Piroxênio (4%): Mineral substituído por hornblenda, com textura coronária, presente em alguns núcleos.

Clorita (5%): Xenomórfico, substituição total ou parcial em biotita (foto 13).

Sericita (7%): Fina, sem orientação, pervasiva em todos os minerais de plagioclásio.

Apatita (<1%): Idiomórfico inclusa em hornblenda, com tamanho de 0,02 mm.

Zircão(<1): Idiomórfico, provável primário.

Titanita (5%): Subidiomórfico a xenomórfico de tamanho 0,02 mm, hábito romboédrico e de cristalização primária.

Opacos(3%): Xenomórfico de tamanho 0,1 mm, inclusa em hornblenda, porém também tardia relacionado com clorita.

Rocha: Granodiorito

HML-SL-SML-001		
Sequência de Cristalização		
	Magmático	Pós Magmático
Feldspato potássico		
Plagioclásio		
Piroxênio		
Hornblenda		
Quartzo		—?
Biotita		
Clorita		
Titanita		
Opacos	—?	

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica média com índice de cor de 10%. Composta por anfibólio (8%), quartzo (22%) e feldspato (70%), com razão plagioclásio/feldspato alcalino de 3/1. Rocha classificada como granodiorito.

Descrição microscópica

Feldspato Alcalino (Ortoclásio) (15%): Xenomórfico de tamanho 0,2 mm, zonado e levemente alterado. Com inclusões de zircão, opacos e plagioclásio.

Plagioclásio (35%): Subidiomórfico de tamanho 0,1 mm, tabular, com poucas inclusões, germinação polissintética (An~50 Andesina) porém com minerais alterados.

Quartzo (18%): Xenomórfico de tamanho 0,05 mm, bem distribuído em toda a rocha, com textura em mosaico e quartzo ondulante, com inclusões de plagioclásio.

Clinopiroxênio (?) (3%): Xenomórfico, de tamanho 0,1 mm, substituído por hornblenda.

Hornblenda (10%): Subidiomórfico a xenomórfico de tamanho 0,1 mm, coronário ao piroxênio incolor. Possui inclusão de plagioclásio e opacos. Em alguns cristais é possível observar duas fases de cristalização, com hornblenda inclusa em outra hornblenda com extinção e pleocroísmo diferente.

Biotita (7%): Subidiomórfico de tamanho 0,1 mm, com opacos, hornblenda e plagioclásio incluso. Em uma fase magmática teve o crescimento concomitante a hornblenda (foto 15). Em alguns minerais ocorrem cloritização.

Sericita (3%): Fina, sem orientação e pervasiva nos no plagioclásio.

Clorita (4%): Xenomórfico, produto de alteração da biotita.

Titanita (2%): Subidiomórfico a xenomórfico, associada com hornblenda e de cristalização primária.

Epidoto (<1%): Xenomórfico, associado à hornblenda e cristalizado em processos tardios.

Opacos (4%): Xenomórfico de tamanho 0,05 mm, associados aos máficos e inclusos em hornblenda e biotita.

Zircão (<1%): Euédrico, sem halo, incluso em feldspato alcalino, primário.

Apatita (<1%): Agulhas de apatita inclusas em ortoclásio e de cristalização primária.

Rocha : Granodiorito a tonalito

Sequência de Cristalização							
	Magmático				Pós Magmático		
Feldspato Alcalino							
Plagioclásio							
Quartzo			?				
Pirroxênio							
Hornblenda							
Biotita							
Serfita							
Ciorita							
Titanita							
Epidoto							
Opacos							

HLM-SL-SML-022

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica de granulação média e índice de cor de 15%. Composta por anfibólio e biotita (15%), quartzo (20%) e feldspato (65%), com razão plagioclásio/feldspato alcalino de 3/1. Rocha classificada como granodiorito.

Descrição microscópica

Feldspato Alcalino (Ortoclásio) (15%): Xenomórfico de tamanho 0,3 mm intersticial, porém em grandes cristais.

Plagioclásio (33%): Subidiomórfico de tamanho 0,3 mm[], tabular, com germinação polissintética (An~46 O- Andesina), com inclusão de hornblenda, levemente zonado e alterado.

Quartzo (20%): Xenomórfico de tamanho 0,2 mm, bem destruído em toda a rocha, somente intersticial.

Piroxênio (?) (5%): Xenomórfico, de tamanho 0,2 mm, substituído em sua borda por hornblenda (foto 16). Ocorre clionopixênio (pigeonita?) subidiomórfico e incolor, com birrefringência alta, extinção oblíqua, com inclusão de plagioclásio e com pouca substituição na borda por hornblenda.

Hornblenda (6%): Subidiomórfica a xenomórfica, de tamanho 0,2 mm e coronária ao piroxênio.

Biotita (14%): Idiomórfica a subidiomórfica de tamanho 0,4 mm (foto 17), em maior quantidade que hornblenda, com inclusão de plagioclásio, hornblenda e opacos.

Sericita(3%): Fina, sem orientação e pervasiva nos no plagioclásio.

Opacos (4%): Xenomórfico, Associados com hornblenda e biotia.

Titanita (<1%): subidiomórfico a xenomórfico e de cristalização primária.

Rocha : Tonalito a granodiorito

HML-SML-022(2)(1)							
Sequência de Cristalização							
	Magmático				Pós Magmático		
Feldspato Alcalino							
Plagioclásio							
Quartzo			?				
Piroxênio							
Hornblenda							
Biotita							
Sericita							
Opacos							

HLM-SL-SML-023

Descrição macroscópica

Rocha fanerítica de granulação média, com índice de cor de 7%. Composta por anfibólio (7%), quartzo (21%) e feldspato (70%), com razão plagioclásio/feldspato alcalino de 2/1. Rocha classificada como granodiorito a monzogranito.

Descrição microscópica

Ortoclásio (24%): Subidiomórfico de tamanho 0,4 mm, com inclusões de hornblenda e rodeado de plagioclásio.

Plagioclásio (28%): Subédrico a xenomórfico de tamanho 0,3 mm, com inclusões de hornblenda, germinação polissintética (An[~]32 - Andesina) e zonado (foto 18). Alterado por sericita.

Quartzo (20%): xenomórfico de tamanho 0,1 mm, bem distribuído na rocha, porém concentrado em algumas partes da amostra.

Hornblenda (13%): Subidiomórfico de tamanho 0,25 mm, com inclusões de opacos e quartzo.

Biotita (4%): Idiomórfico a subédrico de tamanho 0,1 mm, bem formada e substituindo hornblenda.

Clorita (2%): Xenomórfico substituindo biotita como produto de alteração.

Sericita (3%): Fina, sem orientação, pervasiva nos minerais de plagioclásio.

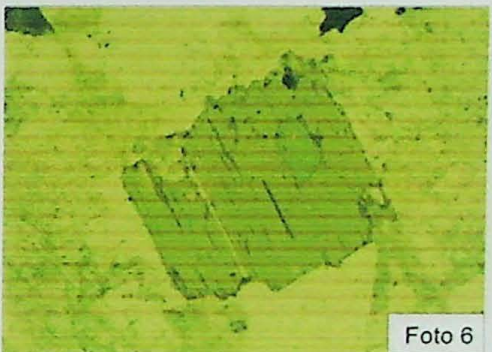
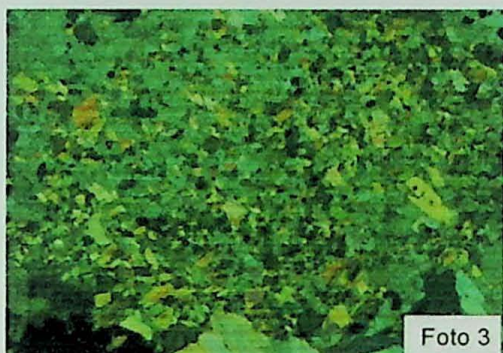
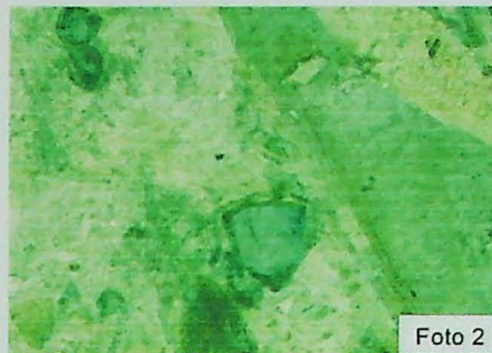
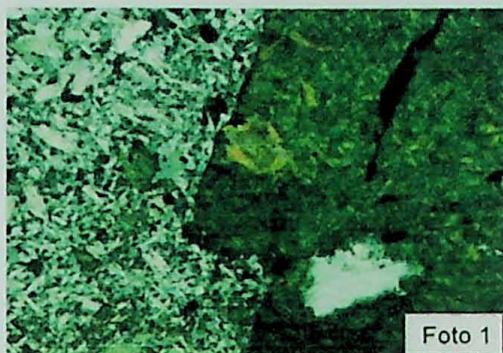
Titanita (2%): Subidiomórfico provavelmente primária. Ocorre na borda de opacos xenomórficos, como cristalização tardia.

Opacos (4%): Xenomórficos, 0,1 mm de tamanho, incluso em hornblenda e associado com biotita. Alguns possuem titanita em sua borda.

Zircão (<1%): euédrico, sem halo, incluso em anfibólio. Cristalização primária

HML-SML-023							
Sequência de Cristalização							
	Magmático				Pós Magmático		
Feldspato potássico							
Plagioclásio							
Quartzo							
Hornblenda							
Biotita							
Clorita							
Titanita							
Opacos							

Rocha : Monzogranito a granodiorito



- Foto 1 - JS-001 - Turmalinito Brechado - X. Lado maior da foto 1 mm.
 Foto 2 - JS-001 - Seção basal de turmalina - II. Lado maior da foto 0,4 mm.
 Foto 3 - JS-003 - Biotita, quartzo, titanita e opacos - X. Lado maior da foto 0,04 mm
 Foto 4 - JS-003 - Biotita e titanita anédrica - X. Lado maior da foto 0,2 mm.
 Foto 5 - JS-007 - Rocha. Plagioclásio, horblenda e quartzo - II. Lado maior da foto 0,4 mm.
 Foto 6 - JS-007 - Horblenda em biotita - II. Lado maior da foto 0,2 mm.

JS-001, JS-003, JS-007

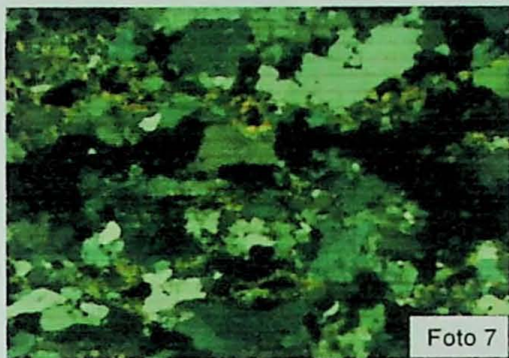


Foto 7

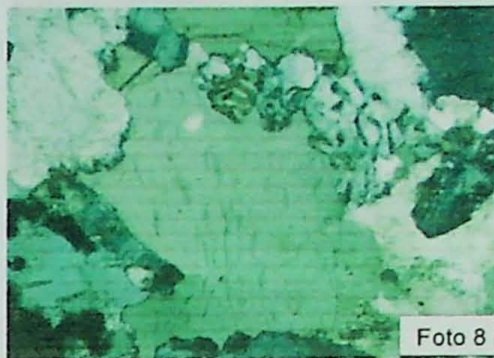


Foto 8

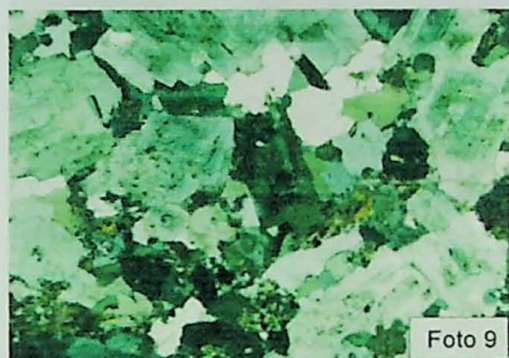


Foto 9

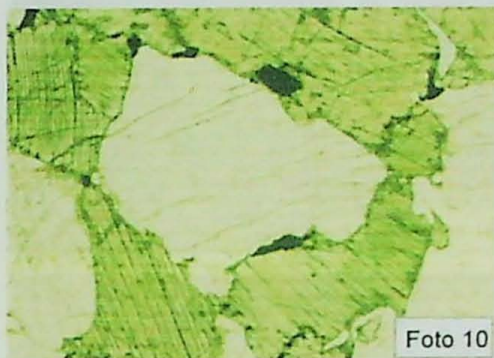


Foto 10

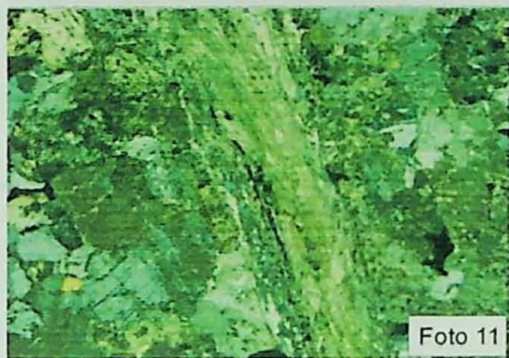


Foto 11

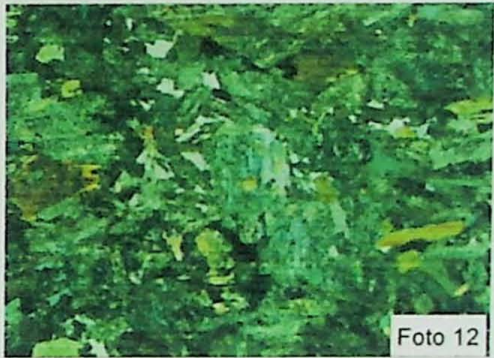


Foto 12

Foto 7 - JS-020 - Orientação dos máficos e quartzo (ondulante) - X. Lado maior da foto 1 mm.

Foto 8 - JS-020 - Mimerquite e lamelas - X. Lado maior da foto 0,2 mm.

Foto 9 - JS-021 - Feldspato zonado -X. Lado maior da foto 1 mm.

Foto 10 - LC-004 - Plagioclásio envolto por piroxênio - II. Lado maior da 0,4 mm.

Foto 11 - LC-004 - Veio de clorita e calcita - X. Lado maior da foto 1 mm.

Foto 12 - LI-001 - Plagioclásio pouco alterado - X. Lado maior da foto 1 mm.

JS-020, JS-021, LC-004 e LI-001

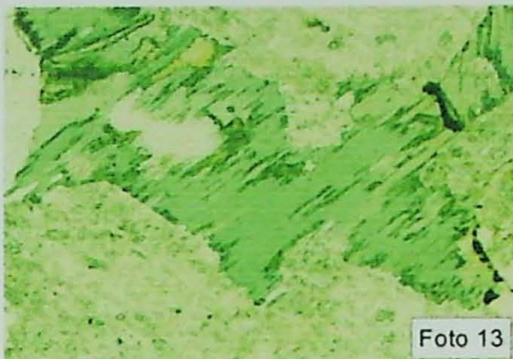


Foto 13

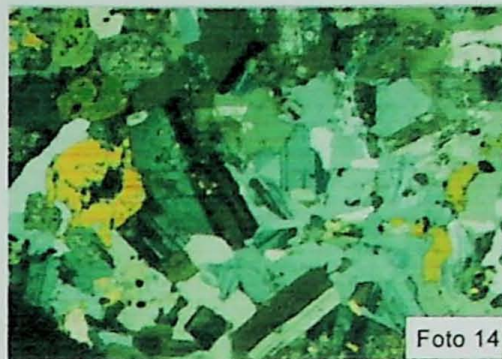


Foto 14

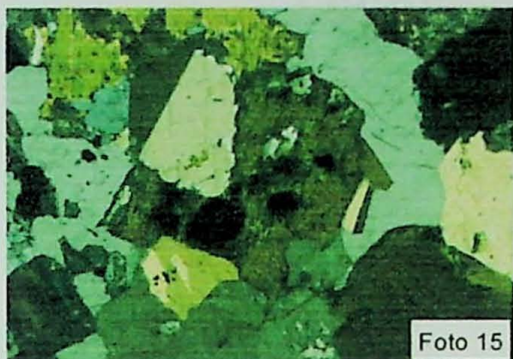


Foto 15

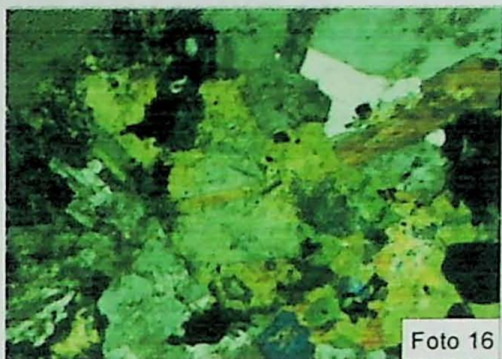


Foto 16

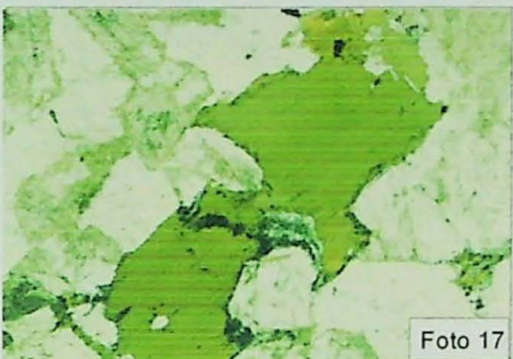


Foto 17

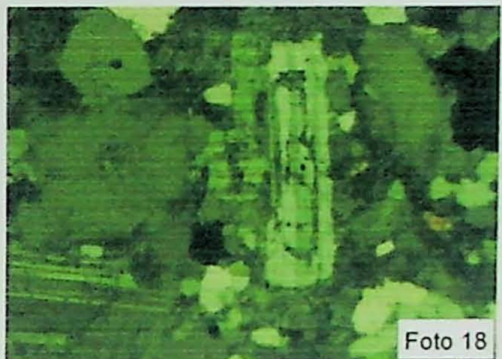


Foto 18

- Foto 13 - SML-001 - Clorita e epidoto substituindo biotita - II. Lado maior da foto 0,2 mm.
 Foto 14 - SML-021 - Plagioclásio - X. Lado maior da foto 1 mm.
 Foto 15 - SML-021 - Biotita com núcleo de horblenda - X. Lado maior da foto 0,4 mm.
 Foto 16 - SML-022 - Horblenda com núcleo, biotita e plagioclásio - II. Lado maior da foto 0,4 mm.
 Foto 17 - SML-022 - Biotita subidiomórfica - II . Lado maior da foto 0,4 mm.
 Foto 18 - SML-023 - Plagioclásio zonado - X. Lado maior da foto 0,4 mm.

SML-001, SML-021, SML-022 e SML-023

Anexo II

Fluorescência de Raios X

%	Sum	Fe2O3	MnO	TiO2	CaO	K2O	P2O5	SiO2	Al2O3	MgO	Na2O
HLM-SL-JS-001	90.877	6.39	0.02	0.2	0.77	0.025	0.01	57.235	19.55	5.27	1.4
HLM-SL-JS-003	98.6135	1.425	0.03	0.16	1.585	6.7	0.12	69.635	15.42	0.515	3.03
HLM-SL-JS-007	98.86	4.66	0.07	0.635	3.465	3.99	0.14	66.07	14.865	1.85	3.11
HLM-SL-JS-020	98.865	4.29	0.06	0.55	2.5	4.45	0.16	68.575	14.15	0.915	3.205
HLM-SL-JS-021	99.13	2.875	0.1	0.28	2.925	3.525	0.115	66.815	16.72	0.645	5.135
HLM-SL-LC-004	96.125	15.325	0.27	1.495	7.23	1.1	0.5	48.56	14.345	3.905	3.405
HLM-SL-LI-001	97.3405	6.555	0.12	0.635	7.235	2.21	0.22	54.7	17.98	4.34	3.35
HLM-SL-SML-001	97.771	5.18	0.08	0.65	3.545	3.6	0.15	64.19	15.015	2.25	3.11
HLM-SL-SML-021	98.314	5.33	0.08	0.62	4.705	2.975	0.16	62.855	15.83	2.285	3.48
HLM-SL-SML-022	97.8715	6.66	0.12	0.71	4.855	3.04	0.16	60.555	15.62	3.06	3.09
HLM-SL-SML-023	99.4845	5.345	0.1	0.665	4.865	3.475	0.17	63.01	15.865	2.37	3.62

ppm	Sum	Sn	Mo	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	Th	Ga	Zn	W	Cu	Ni	V	Co	Pb	Ba	Cr
HLM-SL-JS-001	1.582	-3.9	-1.8	10.5	11.3	62.3	5.9	319.4	-1.6	5.3	35.5	57.3	274.3	1.1	13.7	15.9	71.3	11.7	33.2
HLM-SL-JS-003	3.475	-1.2	-1.2	11.3	243.6	22.1	365.7	106.8	106.8	3.2	18.7	40.9	310.4	9.3	1.2	16.8	104.8	19.6	4304.8
HLM-SL-JS-007	3.455	0.1	-2.5	10.3	282.3	26.7	299.3	124.6	124.6	4.6	18.1	60.3	779.6	40.2	3.3	82.8	102.7	15.4	1052.7
HLM-SL-JS-020	3.511	0	-2.5	25.2	340.7	57.4	207.3	121.2	121.2	8.9	20.8	69.0	355.1	5.1	5.4	37.1	169.3	18.8	1084.7
HLM-SL-JS-021	5.225	-1	5.0	12.4	105.8	17.7	712.5	61.9	61.9	2.9	18.8	56.6	225.9	1.4	0.2	33.0	63.5	17.3	757.2
HLM-SL-LC-004	2.969	-3.4	1.7	13.1	79.4	32.9	374.7	18.7	18.7	2.3	19.8	98.0	59.4	7.4	4.9	197.2	34.1	11.3	424.5
HLM-SL-LI-001	2.960	-3.3	1.1	8.1	168.5	22.5	487.1	64.0	64.0	3	18.5	77.1	73.6	40.9	33.7	122.8	36.9	9.2	666.1
HLM-SL-SML-001	3.290	-4.4	-2.8	12.2	227.5	24.8	364.6	100.4	100.4	4.0	18.0	218.5	207.8	65.9	9.0	97.8	53.3	13.3	1061.2
HLM-SL-SML-021	3.416	-3.2	-1.7	13.3	206.3	24.3	374.1	93.5	93.5	7.0	17.3	57.6	218.5	41.2	9.1	97.8	52.7	11.3	771.5
HLM-SL-SML-022	3.269	1	2.9	15.4	128.7	26.8	351.2	97.3	97.3	7.6	16.5	105.3	297.3	18.2	10.0	129.1	64.9	25.5	719.6
HLM-SL-SML-023	3.875	-1.8	0.5	15.4	216.8	24.5	402.7	88.9	88.9	5.4	18.8	72.4	298.5	15.0	8.6	94.1	69.1	13.3	813.3

Fluorescência de Raios X. Elementos maiores e traços.

Anexo III **Tabela K-Ar, Rb-Sr e Sm-Nd**



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

Datação K/Ar

Data: 09/06/08

SPK	N. de Campo	Material Analisado	Rocha	% de K	erro de K (%)	^{40}Ar Rad ccSTP/g ($\times 10^{-6}$)	^{40}Ar Atm (%)	Tmax (Ma)	Idade (Ma)	Erro Max (Ma)
8148	HLM-SL-JS-003 D12	Biotita	Granito Pegmatítico	6.0368	0.5000	46.88	24.67	194.6	189.6	5.0
8149	HLM-SL-SML-021 D12	Biotita	Granodionito	4.8404	0.5000	38.45	31.41	199.1	193.7	5.3
8150	HLM-SL-SML-023 D12	Biotita	Diorito	5.2506	0.7424	45.12	23.14	215.3	208.7	6.6
8203	HLM-SL-SML-001	Biotita	Granodionito	0.4968	1.5901	4.24	45.96	221.3	207.5	13.8
8152	HLM-SL-LC-004	Plagioclásio	Gabro	1.6628	1.5423	23.22	5.20	337.8	328.0	9.8

Prof.Dr. Umberto G. Cordani - Coordenador K/Ar

Prof.Dr. Miguel A.S. Basei - Diretor do CPGeo



Centro de Pesquisas Geocronológicas - CPGeo - IG - USP

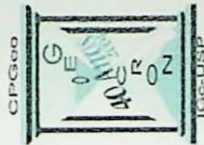
Datação: Rb/Sr

Data: 1/8/2008

SPR	No. Campo	Material	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$ (X)	Erro	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ (Y)	Erro
5439	HLM-SL-JS-001	RTOT/ Dique	0.39	363.79	0.0031	0.0001	0.70925	0.00005
5436	HLM-SL-JS-003	RTOT/ Granito Pegmatítico	115.5	410.1	0.816	0.003	0.715887	0.000035
5175	HLM-SL-JS-007	RTOT/ Granodiorito	122.26	291.60	1.2137	0.0155	0.70988	0.00004
5440	HLM-SL-JS-020	RTOT/ Gnaiss	133.8	231.3	1.680	0.039	0.735442	0.000033
5441	HLM-SL-JS-021	RTOT/ Granito	82.14	895.71	0.2654	0.0021	0.70628	0.00004
5442	HLM-SL-LC-004	RTOT/ Gabro	12.11	367.40	0.0954	0.0007	0.70679	0.00003
5443	HLM-SL-LI-001	RTOT/ Rocha intrusiva	61.5	526.8	0.338	0.001	0.709127	0.000053
5444	HLM-SL-SML-001	RTOT/ Granodiorito	108.2	405.9	0.771	0.005	0.705479	0.000034
5174	HLM-SL-SML-021	RTOT/ Granodiorito	95.92	376.92	0.7366	0.0045	0.70893	0.00005
5437	HLM-SL-SML-022	RTOT/ Diorito	107.8	430.7	0.725	0.019	0.708976	0.000033
5438	HLM-SL-SML-023	RTOT/ Diorito	111.9	526.6	0.615	0.010	0.708455	0.000038

Coordenador Rb/Sr

Prof. Dr. Miguel A.S. Basei - Diretor do CPGeo



Centro de Pesquisas Geocronológicas - CPGeo - IG - USP

Datação: Sm/Nd

Data: 9/2/2008

SPS	No. Campo	Material	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	Erro	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Erro	$f_{\text{Sm/Nd}}$	T_{Dezolo} (Ga)	η_0
5599	HLM-SL-JS-001	RTOT/ Dique	0.715	3.942	0.1097	0.0006	0.512258	0.00013	-0.44	1.2	-7.41
5436	HLM-SL-JS-003	RTOT/ Granito Pegmatítico	14.243	117.627	0.0732	0.0005	0.511864	0.00012	-0.63	1.3	-15.09
5175	HLM-SL-JS-007	RTOT/ Granodiorito	5.194	27.556	0.1140	0.0007	0.512288	0.00010	-0.42	1.2	-6.83
5440	HLM-SL-JS-020	RTOT/ Gnaiss	13.167	72.986	0.1091	0.0007	0.512043	0.00009	-0.45	1.5	-11.61
5441	HLM-SL-JS-021	RTOT/ Granito	3.315	16.754	0.1197	0.0007	0.512343	0.00009	-0.39	1.1	-5.76
5442	HLM-SL-LC-004	RTOT/ Gabro	6.221	28.332	0.1328	0.0008	0.512267	0.00010	-0.32	1.5	-7.24
5443	HLM-SL-LJ-001	RTOT/ Rocha intrusiva	4.472	22.585	0.1197	0.0007	0.512274	0.00013	-0.39	1.2	-7.10
5600	HLM-SL-SML-001	RTOT/ Granodiorito	4.777	24.680	0.1170	0.0007	0.512223	0.00013	-0.40	1.3	-8.09
5174	HLM-SL-SML-021	RTOT/ Granodiorito	4.987	26.803	0.1124	0.0007	0.512283	0.00010	-0.43	1.1	-6.92
5437	HLM-SL-SML-022	RTOT/ Diorito	4.961	24.584	0.1220	0.0008	0.512278	0.00014	-0.38	1.3	-7.02
5438	HLM-SL-SML-023	RTOT/ Diorito	4.646	25.037	0.1122	0.0015	0.512281	0.00015	-0.43	1.1	-6.96

Coordenador Sm/Nd

Prof. Dr. Miguel A.S. Basei - Diretor do CPGeo

