

Capítulo 6

Capítulo 6

6. Resultados das rochas formadas durante a Orogenia Sunsás

6.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados petrográficos e geoquímicos dos corpos intrusivos gerados durante a Orogenia Sunsás (1280-950 Ma). Abaixo é apresentada uma tabela que resume o número de amostras, a unidade e as análises realizadas (Tabela 6.1).

Tabela 6.1. Relação entre as amostras, unidades e análises.

Código das amostras	Nome da rocha tomando como base nas referências bibliográficas	Tipo de Análise
BO-04-18	Granito Talcoso	Petrografia Geoquímica
BO-04-19	Granito Naranjito	Petrografia Geoquímica
BO-04-20	Granodiorito Primavera	Petrografia Geoquímica
BO-04-21	Granodiorito Taperas	Petrografia Geoquímica
BO-04-22	Granito Cachuela	Petrografia Geoquímica

6.2 Descrição petrográfica

6.2.1 Granito Talcoso (BO-04-18)

O granito Talcoso (BO-04-18) encontra-se ao norte da cidade de San Javier (Fotografia 6.1), seguindo-se a trilha até a Fazenda Cachuela (ver Anexo 3). Nesta localidade encontra-se um maciço intrusivo isotropico, de granulometria grossa, cor esbranquiçada ou amarelada quando alterada, de natureza félsica devido ao quartzo, K-feldspatos e biotitas que se apresentam em menor proporção.



Fotografia 6.1. Vista panorâmica do afloramento do granito Talcoso (BO-04-18).

A composição petrográfica está marcada por uma abundância de quartzo (40%), plagioclásio (26%) e K-feldspato (20%), seguido de exoluções de mirmequitas (3%), biotita (9%), hornblenda (1%), minerais acessórios (1%), como se observa na Tabela 6.2 (pag. 81).

Os minerais félsicos são maioria na rocha, com quartzo, plagioclásios e K-feldspatos que somam 86 % da análise modal. O quartzo, mineral dominante, apresenta-se em forma de massas subédricas, com fraturas preenchidas por material secundário, com a típica extinção ondular, bordas suturadas e esporádicas inclusões de zircão.

Os plagioclásios se exibem em duas variedades: albita ($An_{16.5}$) e oligoclásio ($An_{5.6}$) que se desenvolve em formas subédricas, macladas segundo a lei da albita e em contato com o quartzo se formam exoluções mirmequíticas. A feição dominante que se apresenta nestes minerais é a inclusão de agulhas de muscovita (Fotomicrografia 6.1) e epidoto.

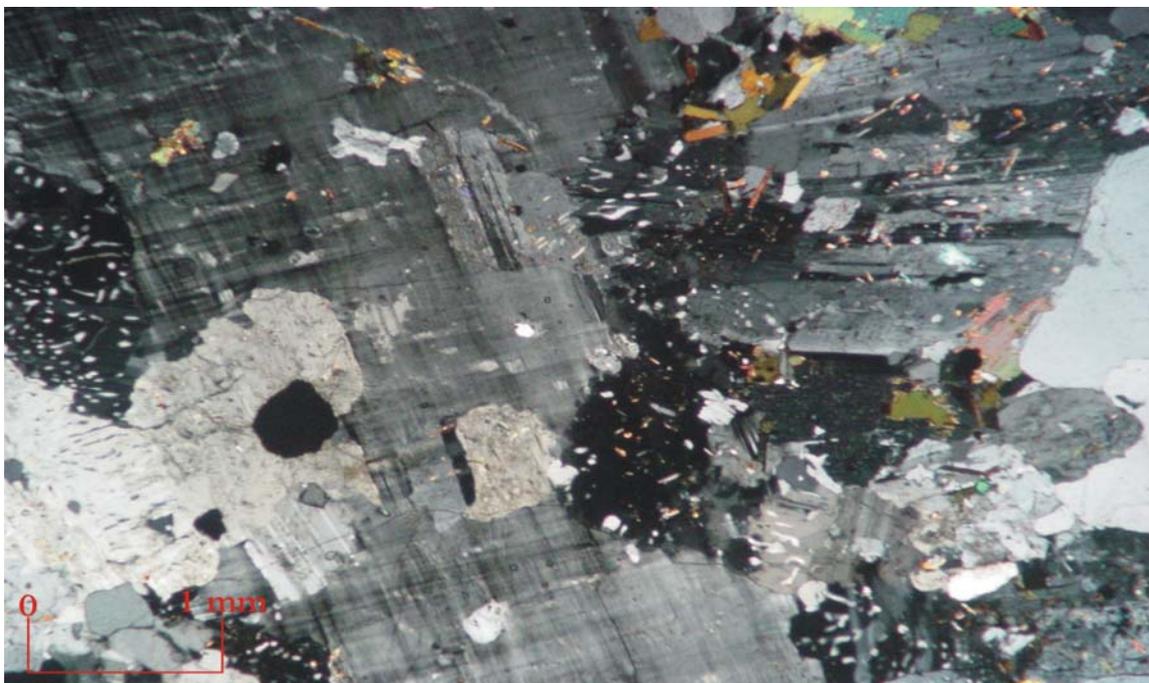
Os K-feldspatos encontram-se representados por fenocristais de microclina em maior proporção e ortoclásio em menor porcentagem. A microclina se mostra com formas quadriculadas e seus contatos com os grãos

de quartzo formam golfos de corrosão. A maioria dos grãos de microclina apresenta uma aparência suja, provavelmente produto de uma alteração argílica incipiente, junto com inclusões de agulhas de muscovita. O ortoclásio se caracteriza pela cor de interferência cinza de primeira ordem e por ser limpo e não alterado.

Os minerais máficos estão representados por biotita e hornblenda. O primeiro máfico aparece de cor castanho esverdeado, com formas tabulares e em corte basal; apresentam-se acompanhados de fases acessórias com zircão e apatita rodeadas por minerais opacos. A hornblenda encontra-se em menor proporção, caracteriza-se por apresentar pequenas inclusões de zircão.

Os cristais de zircão, apatita e magnetita se exibem como minerais acessórios à maneira de inclusões nos fenocristais máficos e félsicos.

A muscovita e o epidoto atuam como minerais secundários, com inclusões em plagioclásios e microclinas. E em particular, a muscovita se apresenta à maneira de pequenos cristais em forma de agulhas com bordas corroídas. Pelos dados obtidos e aplicando-se o diagrama QAP (Figura 6.1), tem-se classificada esta rocha como um granito (Fotomicrografia 6.1).

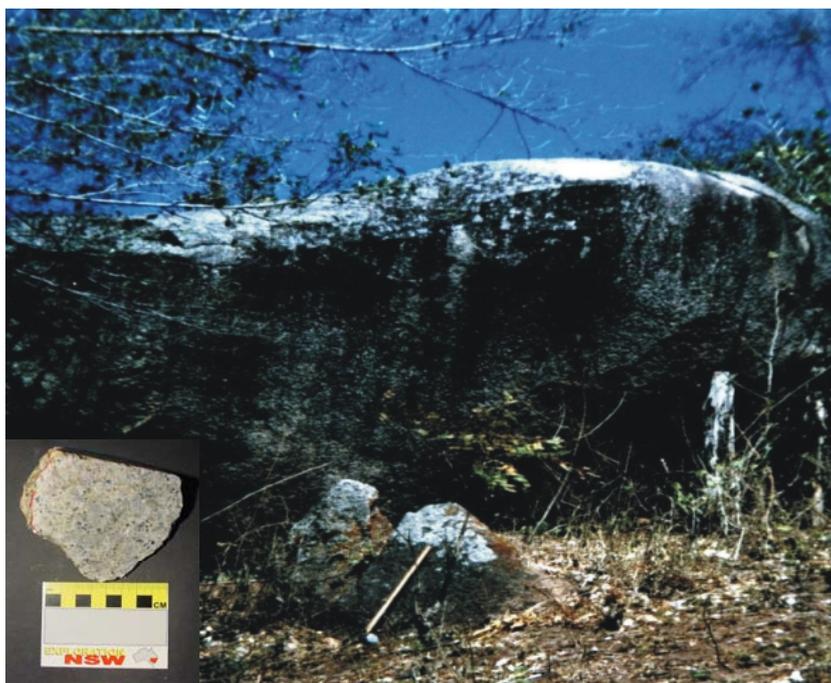


Fotomicrografia 6.1. Lâmina petrográfica do Granito Talcoso (amostra BO-04-18), com fenocristais de microclina, acompanhada de mirmequita com inclusões de quartzo e agulhas de muscovita, objetiva 2.5x, nicóis (X).

6.2.2 Granito Taperas ou San Francisco (BO-04-21)

No extremo sul da cidade de San Javier, passando pela Fazenda El Cusi, encontra-se o granito Taperas (BO-04-21), ver Anexo 3. Este corpo se caracteriza por ser uma rocha, leucocrática, de granulometria grossa e de cor amarelada pela abundância de K-feldspatos e quartzo (Fotografia 6.2).

Descrições microscópicas mostram que se trata de uma rocha de composição quartzo-feldspática, uma vez que os constituintes félsicos somam 83%. O quartzo (37%) e o plagioclásio (40%) se encontram em proporções equivalentes, tendo como diferença o maior tamanho de plagioclásio. Os K-feldspatos aparecem com cerca de 10%, seguidos de máficos como biotitas (8%) e cristais de titanita (2%) e por último minerais acessórios (1%) e minerais secundários (1%) como se pode observar na tabela 6.2.



Fotografia 6.2. Exposição de onde se extraiu a amostra BO-04-21.
do granodiorito Taperas ou San Francisco.

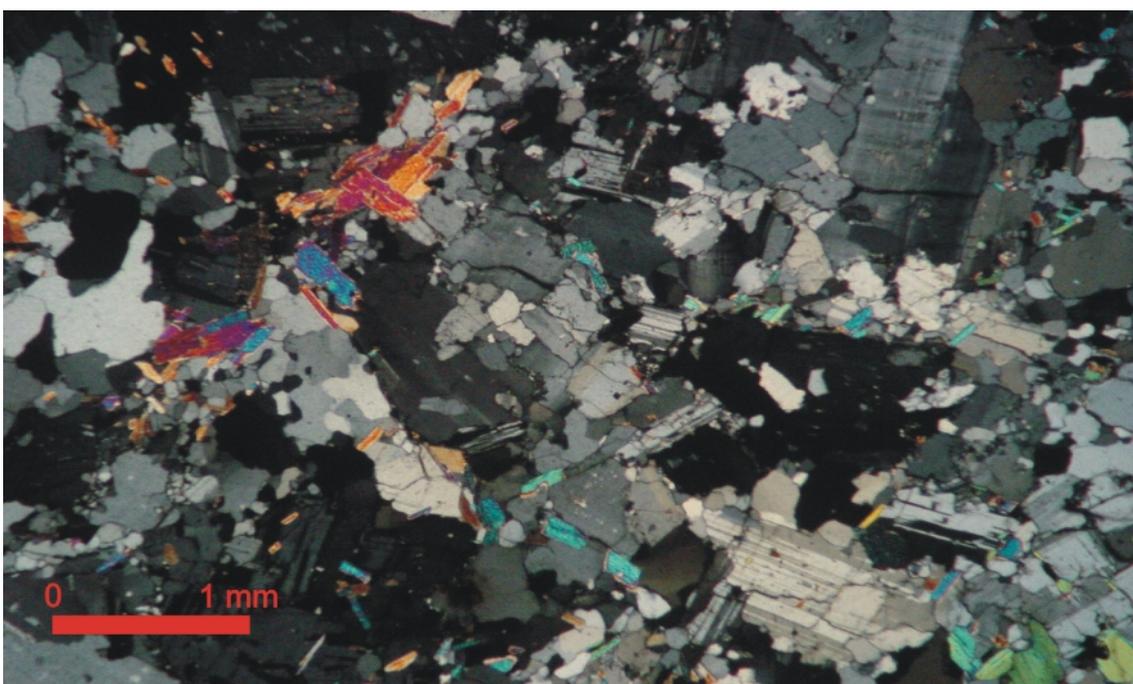
Mediante o diagrama QAP e a descrição de lâminas este corpo intrusivo é classificado como um granodiorito (Figura 6.1, pag 83), cujas características ópticas serão descritas a seguir.

O quartzo, um dos componentes majoritários, se apresenta com formas subédricas, bordas suturadas e alguns cristais fortemente fraturados com preenchimento por sericita (Fotomicrografia 6.2).

O plagioclásio, variedade oligoclásio (An_{5-6}), reconhecido pelo maclado polissintético, encontra-se com zonação normal. Aqueles que aparecem na borda da lâmina se distinguem por uma forte alteração sericítica e com inclusões menores de epidoto e agulhas de muscovita.

Os K-feldspatos estão presentes com microclinas e ortoclásios, ambos em proporções iguais, com formas subédricas.

O mineral máfico com maior abundância é a biotita, seguida da titanita, que se apresenta em proporções menores. A mica se caracteriza pela forma tabular, pleocroísmo variando de castanho a castanho esverdeado, rodeado por minerais opacos, com inclusões de zircão, associados a titanitas e com uma leve cloritização (Fotomicrografia 6.2).



Fotomicrografia 6.2. Lâmina petrográfica do Granodiorito Taperas (amostra BO-04-21), mostrando as porcentagens abundantes de plagioclásio, seguida de quartzo e muscovitas em menor proporção, aumento 2.5X, nicóis (X).

A titanita se apresenta com relevo alto, cor castanha, formas prismáticas e com inclusões de apatita. Apatita, allanita, muscovita e zircão aparecem como minerais acessórios. O zircão se apresenta como cristais de hábito prismático, à maneira de inclusões nas biotitas e titanitas. Os minerais secundários, como epidoto e sericita, são restritos aos plagioclásios e microclinas.

6.2.3 Granito Cachuela (BO-04-22)

No extremo sul da zona de estudo, passando pela Fazenda Miraflores, encontra-se o Cerro Cachuela (BO-04-22), ver Anexo 3. A descrição de campo é dada por um granito cor rosa, de granulometria média e com cristais de K-feldspatos, quartzo e biotita.

Mediante as descrições microscópicas e com base na moda, lançado no diagrama QAP (Figura 6.1), este corpo ígneo pode ser classificado como um granito (Fotografia 6.3).



Fotografia 6.3. Amostra de mão do granito Cachuela.

Os constituintes do Granito Cachuela estão representados por quartzo (38%), K-feldspatos (28%), plagioclásios (14%), exoluções mirmequíticas (3%), biotitas (5%), minerais acessórios (2%) e secundários (2%), como se observa na Fotomicrografia 6.3.

O quartzo pode ser descrito como mineral subédrico a anédrico, com bordas suturadas, onde as fraturas são de pouca relevância, mas se caracterizam pelo preenchimento sericítico.

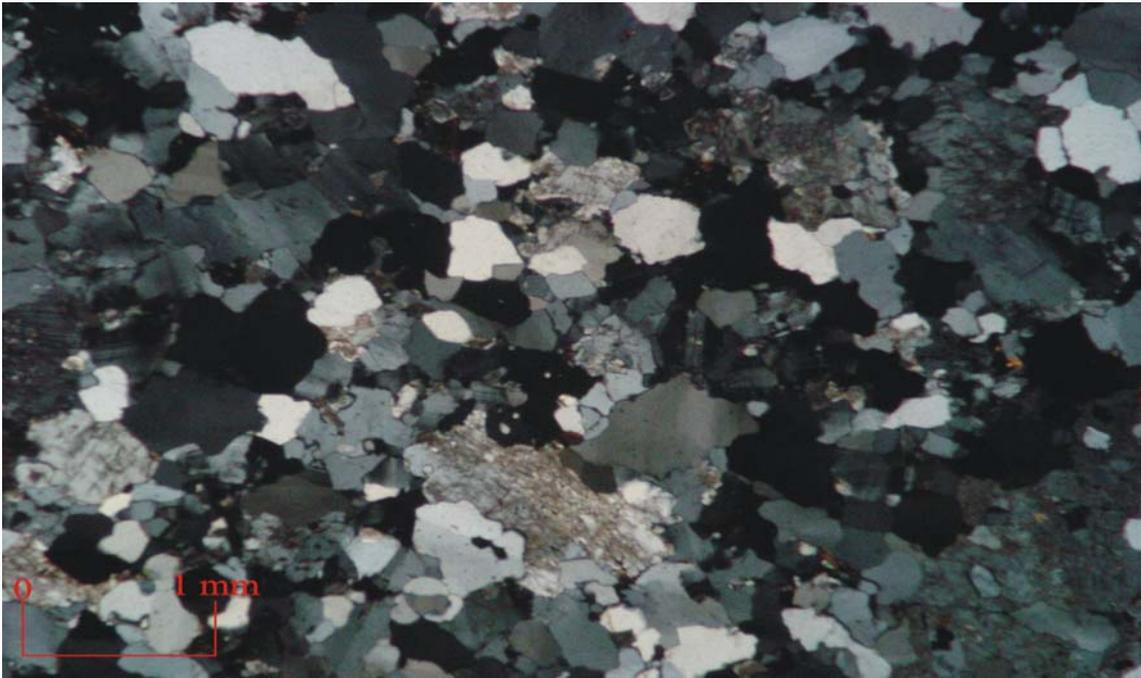
O plagioclásio, como é característico na maioria das rochas descritas, se apresenta com formas subédricas de 2,5 mm de comprimento e com inclusões de epidoto e agulhas de muscovita. Em contato com o quartzo, se formam exoluções de mirmequita, que na maioria rodeiam os plagioclásios.

O K-feldspato de maior importância é a microclina de até 7 mm de comprimento, com inclusões de epidoto, mas em menor proporção em relação aos plagioclásios.

O segundo mineral félsico identificado na lâmina é o plagioclásio variedade ortoclásio com menos de 5%. O único mineral máfico reconhecido na lâmina foi à biotita tabular, pleocróica e com fraca cloritização. Algumas biotitas encontram-se rodeadas por minerais opacos e aparecem com inclusões de zircão.

Como minerais acessórios nesta lâmina ocorrem alanitas de cor vermelha, zircão e titanita como inclusões nos minerais essenciais.

Os minerais secundários estão representados por sericitas e epidoto, como produto da alteração do K-feldspato e do plagioclásio.



Fotomicrografia 6.3. Granito Cachuela (amostra BO-04-22), com quartzo e plagioclásios sericitizados, objetivo 2.5 X, nicóis (X).

6.2.4 Granodiorito Primavera (BO-04-20)

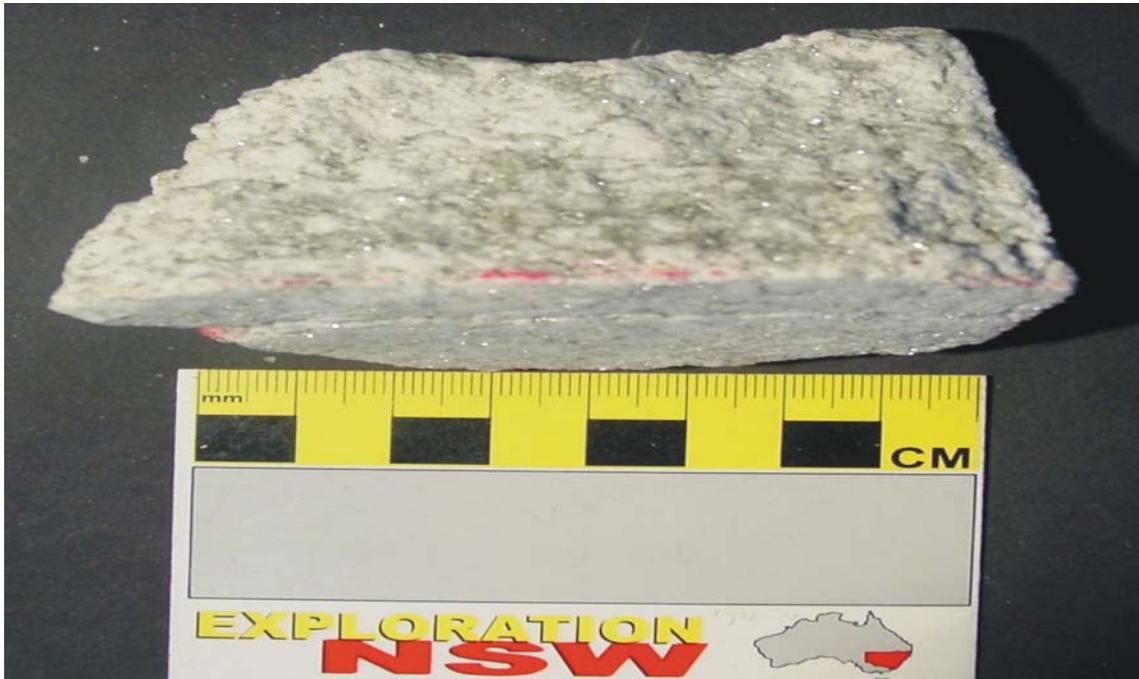
A 3 km, a oeste da cidade de San Javier, em direção à comunidade San José Obrero, encontra-se o granodiorito Primavera (BO-03-20), ver Anexo 3, caracterizado por sua forma alongada, de caráter leococrático, granulometria fina, esbranquiçado, com quartzo, plagioclásio e abundante muscovita (Fotografia 6.4).

De acordo com o diagrama QAP de Streckeisen (1976), esta rocha foi classificada como granodiorito com elevadas porcentagens de plagioclásio (42%) e quartzo (33%), seguidos de K-feldspatos (14%).

Zircões ocorrem como mineral acessório. Os minerais secundários encontram-se representados por epidoto, sericita (2%) e muscovita (9%) ocorre distribuída pela lâmina, como se observa na Tabela 6.2.

As caracterizações petrográficas estão marcadas por uma abundância de plagioclásio, quartzo e K-feldspatos equigranulares, sendo que os plagioclásios encontram-se fortemente fraturados e com inclusões de epidoto.

O quartzo aparece com formas subédricas, com bordas suturadas, limpo e não fraturado.



Fotografia 6.4. Amostra de mão do granodiorito Primavera.

Os K-feldspatos representados por microclinas, encontram-se com uma ligeira alteração sericítica e com esporádicas inclusões de epidoto.

A característica principal nesta rocha está dada pela presença da mica branca (muscovita), que aparece em forma tabular, com bordas corroídas, formando glomeropórfidos, mas em percentagem inferior a 10% (Fotomicrografia 6.4).

Os minerais acessórios que aparecem à maneira de inclusões nos minerais félsicos ocorrem em menor proporção à dos outros corpos graníticos estudados.

Os minerais secundários estão representados por sericitas e epidoto restritos a inclusões nos plagioclásios e microclinas.



Fotomicrografia 6.4. Granodiorito Primavera, amostra BO-04-20 de granulometria média à fina, com quartzo, plagioclásios com muscovita tabular sobreposta sobre os minerais félsicos, sugerindo origem secundária, objetiva 2.5 x, nicóis (X).

6.2.5. Granito Naranjito (BO-04-19)

O granito Naranjito (BO-04-19), descrito pela primeira vez por Adamek *et al.* (1996), encontra-se ao leste de San Javier (ver Anexo 3) e aflora na estrada que une as cidades de San Javier e Concepción, entrando-se pela fazenda San Javier.

Este corpo granítico caracteriza-se por apresentar um contato brusco com o embasamento, leucocrático, com predomínio de quartzo, seguido por plagioclásios e K-feldspatos. A coloração se caracteriza por ser amarela esbranquiçada, com cobertura cinza, produto do intemperismo, granulometria grossa e equigranular (Fotografia 6.5).

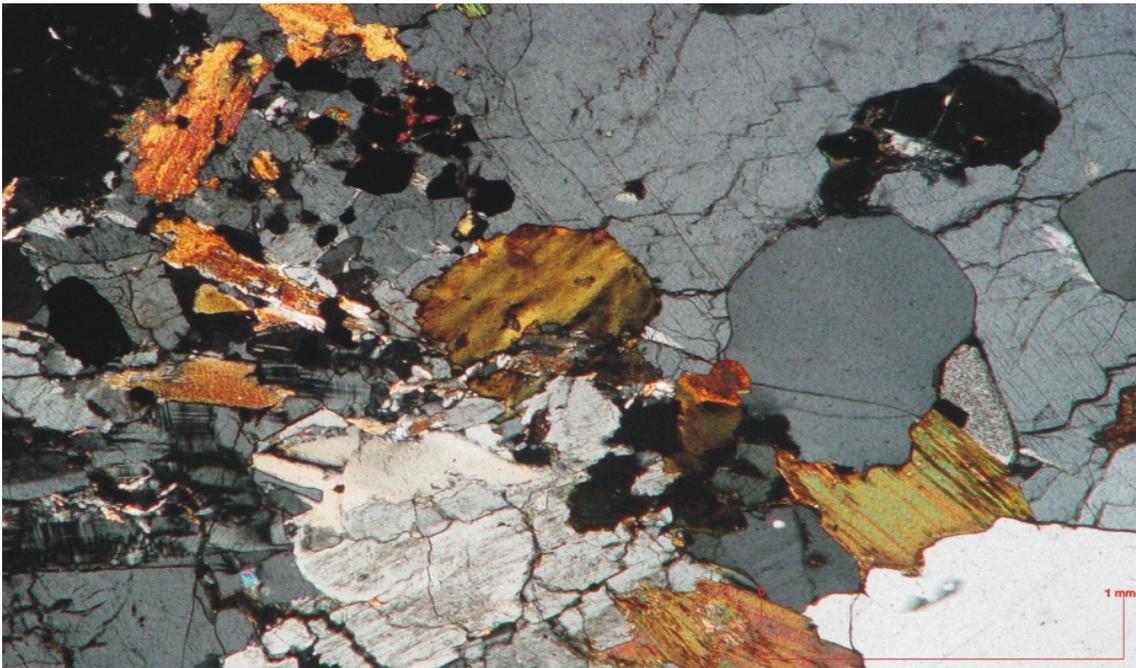
Descrições microscópicas, acompanhadas pela análise modal no diagrama ternário QAP, Streckeisen (1976), observados na Figura 6.1, outorgam a este corpo intrusivo a natureza granítica, sendo quartzo (28%), plagioclásio (38%) e K-feldspatos (26%) como minerais essenciais, representando 92% do total com minerais félsicos.

Como minerais máficos tem-se a biotita (5%) e, como acessórios, o zircão, apatita e magnetita (2%) e, como minerais secundários, sericita e epidoto (1%) (Tabela 6.2).

O quartzo, fenocristal de 4 x 2,5 mm de comprimento se apresenta com bordas suturadas, fortemente fraturadas e com inclusões de biotita.



Fotografia 6.5. Afloramento onde se coletou a amostra BO-04-19 do Granito Naranjito.



Fotomicrografia 6.5. Fenocristais de biotita em corte basal, carente de clivagem, rodeada de minerais opacos e inclusões de muscovita em uma massa quartzo-feldespática, do Granito Naranjito (BO-04-19), objetivo 5X, nicóis (X).

Tabela 6.2. Tabela em que se mostra a composição mineralógica dos cinco corpos granítico

Componentes No de amostra	Minerais essenciais				Minerais específicos			Minerais secundários				Minerais acessórios			
	Qz	Plg	Ort	Mcl	Bt	Hb	Esf	Mq	Msc	Op	Sericita	Arcilla	Ap	Zn	Ep
Granito Talcoso (BO-04-18)	●	●	★	■	■	★		★	★	★			★	★	
Granito Naranito (BO-04-19)	●	●	★	●	■	★	★		★	★	★	★	★	★	★
Granodiorito Primavera (BO-04-20)	●	●	■	■					■		★			★	★
Granodiorito Taperas (BO-04-21)	●	●	★	★	■		★		★		★	★	★	★	★
Granito Cachuela (BO-04-22)	●	●	■	●	■		★	★	★	★	★	★		★	★

Abundante ●
Moderado ■
Raro ★

6.3 Classificação tomando como base os minerais.

Com as descrições petrográficas (duas lâminas por amostra) apresentadas nos parágrafos anteriores e tomando-se como base o diagrama ternário QAP (Streckeisen 1976), as rochas da Orogenia Sunsás neste estudo foram catalogadas como granitos a granodioritos, como se observa na Figura 6.1, com exceção de uma das amostras (BO-04-22) que apresentou uma composição de granito alcalino, esta variação na mesma rocha se deve provavelmente à alterações da primeira amostra.

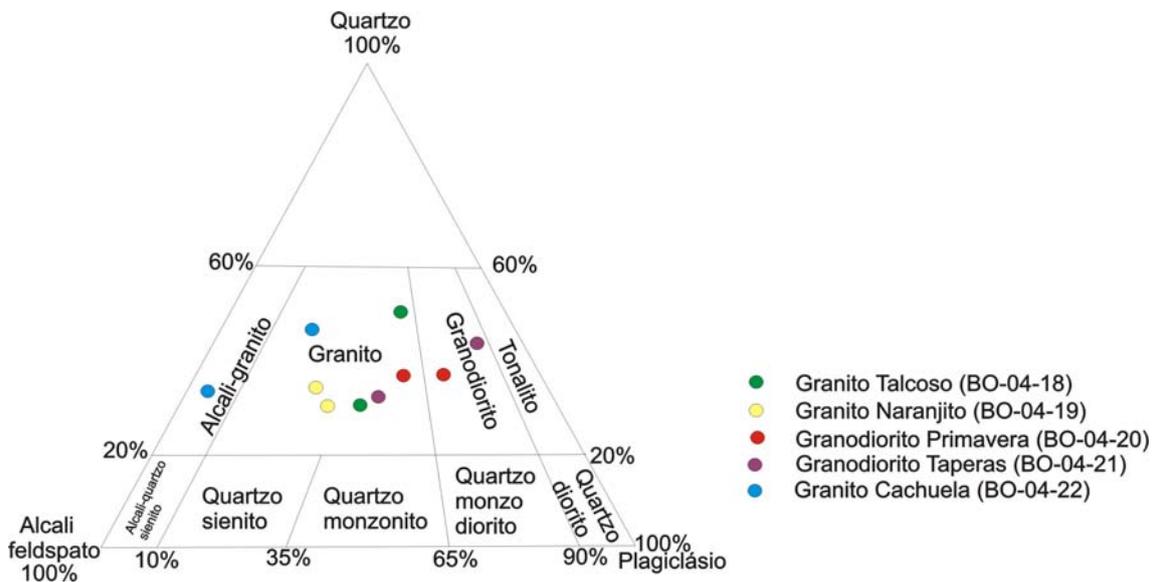


Figura 6.1. Diagrama ternário, proposto por Streckeisen (1975), em função do Quartzo (Q), plagioclásio (P) e Ákali-feldspato (A).

6.4. Geoquímica dos granitóides Sunsás

6.4.1 Classificação geoquímica tomando-se como base a saturação de alumina.

Os valores de alumina para os granitóides Sunsás, quando lançados no diagrama $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ versus $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ caem no campo metaluminoso, com índice de Shand $< 1,1$, excetuando-se o granodiorito Taperas que apresenta uma tendência metaluminosa (Figura 6.2).

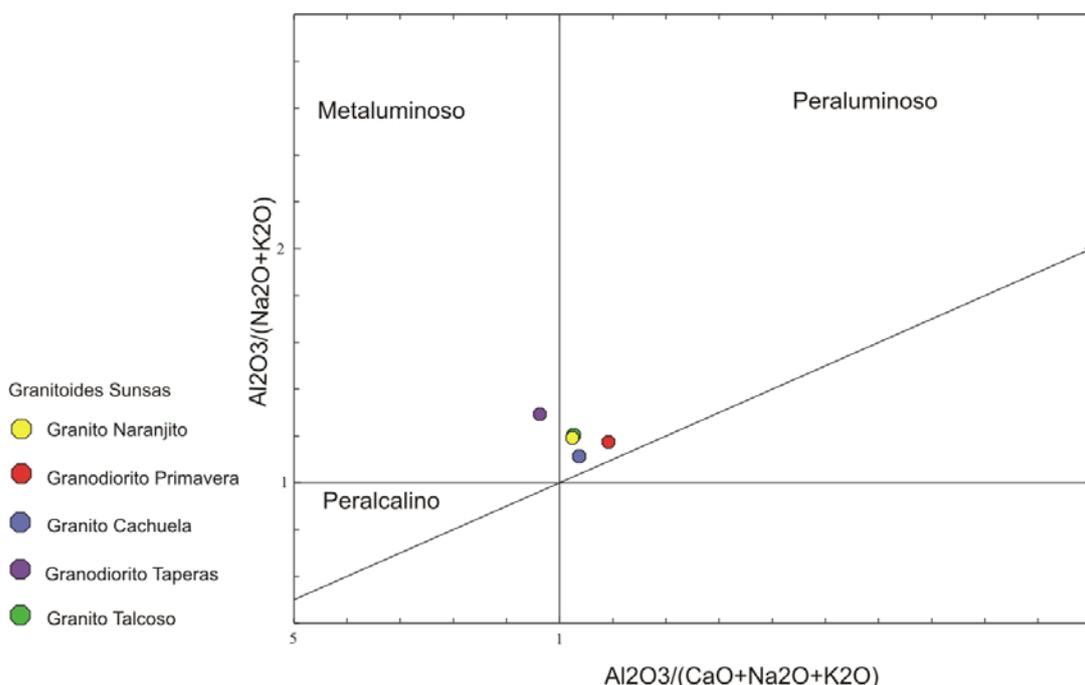


Figura 6.2. Diagrama que mostra a saturação de alumina para os granitos Sunsás, proposta por Shand (1927, 1943).

6.4.2 Classificação tomando-se como base a Norma

Segundo a classificação que toma como base a relação ternária Albita-Anortita-Ortoclásio, proposta por O'connor em 1965, as rochas estudadas encontram-se no campo E, descritas como granitos (Figura 6.4).

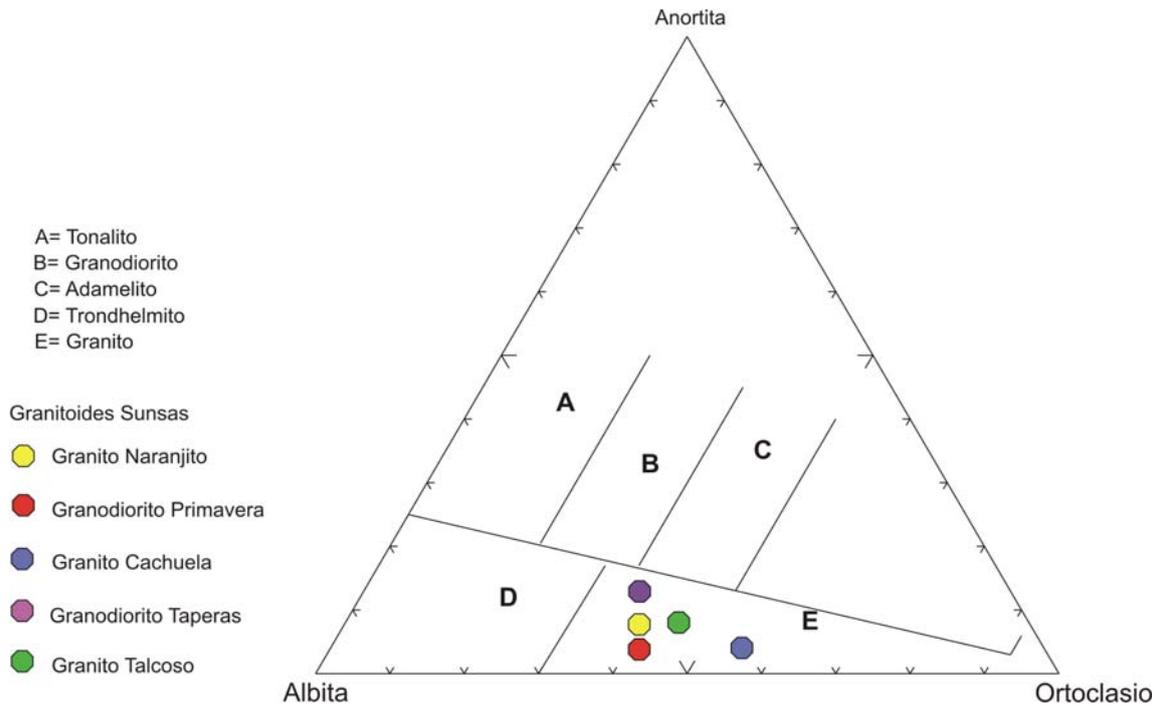


Figura 6.3. Classificação dos granitos Sunsás, com base na composição normativa An-Ab-Or, segundo O'connor (1995).

6.4.3 Ambientes Tectônicos

Aplicando-se os diagramas e tomando-se como base a relação Nb (ppm) *versus* Y (ppm), pode-se observar (Figura 6.5) que as rochas da Orogenia Sunsás encontram-se no campo intraplaca, salvo o Granito Cachuela que pode ser interpretado como proveniente de um arco vulcânico.

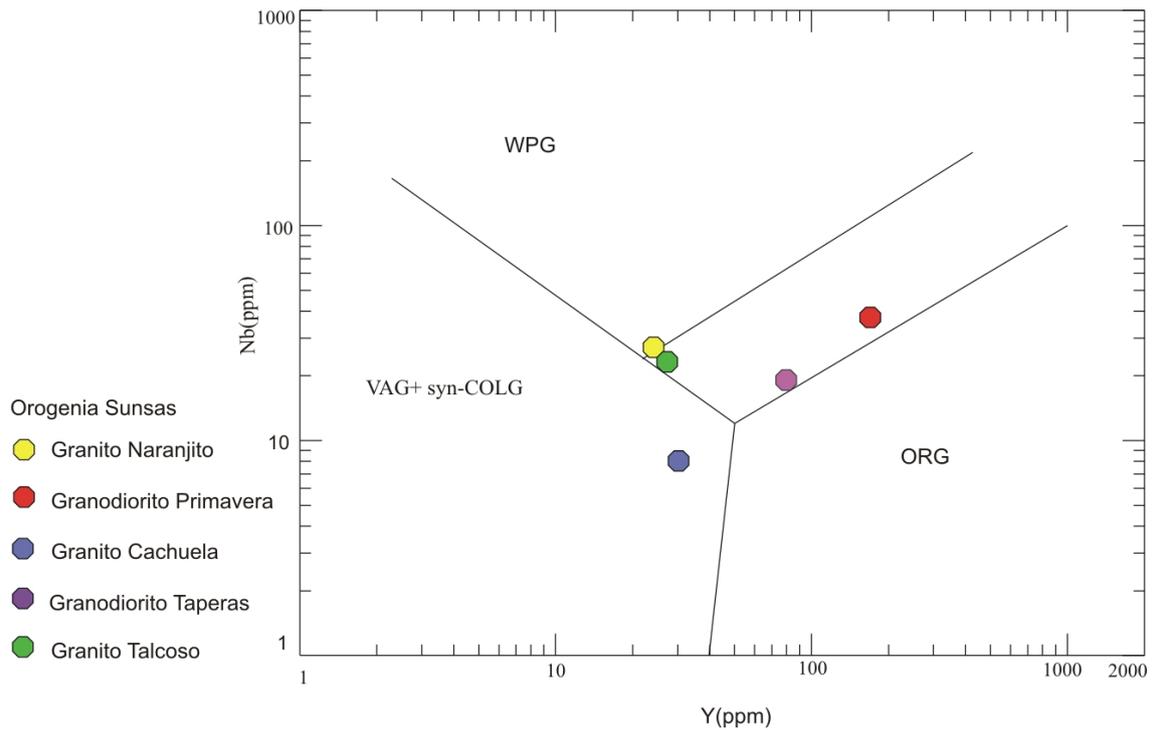


Figura 6.4. Diagrama de discriminação com base no conteúdo de Nb (ppm) e Y (ppm), proposto por Pearce et al. (1984). Esta figura mostra os ambientes dos granitos, como os granitos de arco vulcânico (VAG), granitos sin-colisional (SCG), granito intraplaca (WPG) e granitos de Cordilheira oceânica (ORG).

O diagrama tectônico em função de Rb (ppm) *versus* Y+Nb (ppm) mostra que os granitos Sunsás estudados distribuem-se na parte central superior do diagrama, excetuando-se o granodiorito Primavera (Figura 6.6). Esta posição indica uma variação dos ambientes tectônicos desde arco vulcânico a ambiente intra-placa para a formação dos granitos Sunsás.

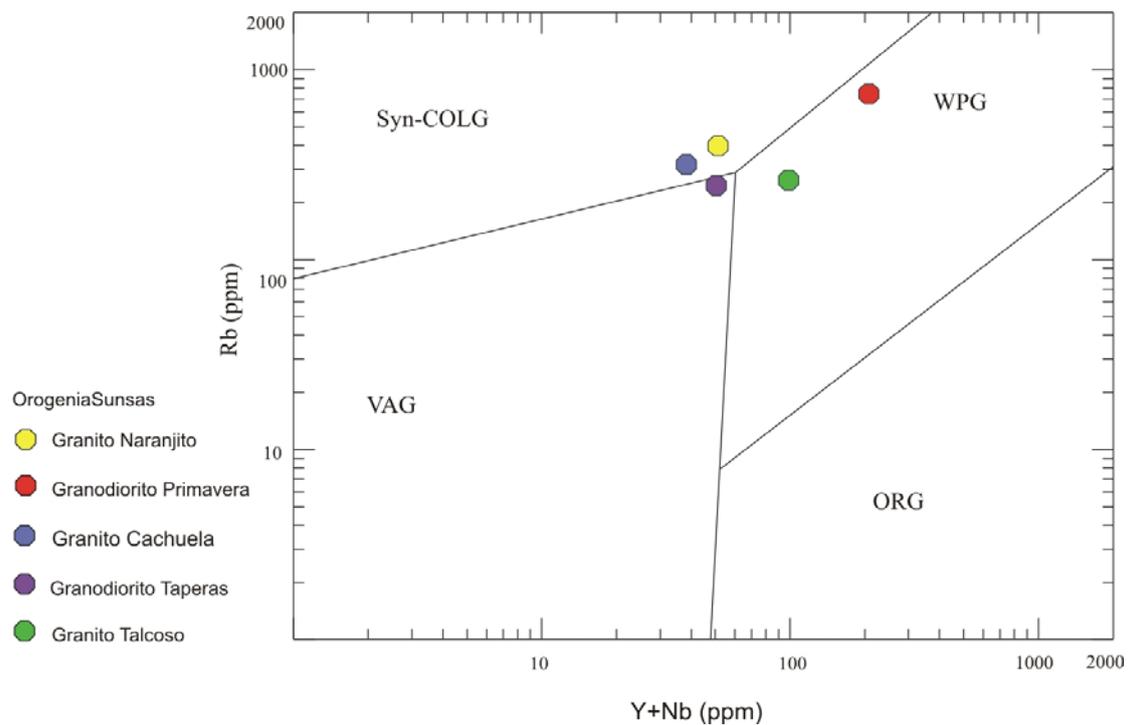


Figura 6.5. Diagrama tectônico em função de Rb-Y versus Nb, mostrando um ambiente sin-colisional (syn-COLG), granitos intraplaca (WPG), granitos arco vulcânico (VAG) e granitos de Cordilheiras oceânicas (ORG), desenvolvidos por Pearce *et al.* (1984).

Outra classificação proposta por De la Roche *et al.* (1980) e aplicada por Batchelor & Bowden (1985), baseia-se nos três mecanismos possíveis para a formação dos magmas (fusão parcial, cristalização fracionada e mistura de magmas). Permite-se apresentar que os granitos gerados durante a Orogenia Sunsás foram formados em um ambiente sin-colisional, menos o granodiorito Taperas, que apresenta uma afinidade tardi-orogênica (Figura 6.3).

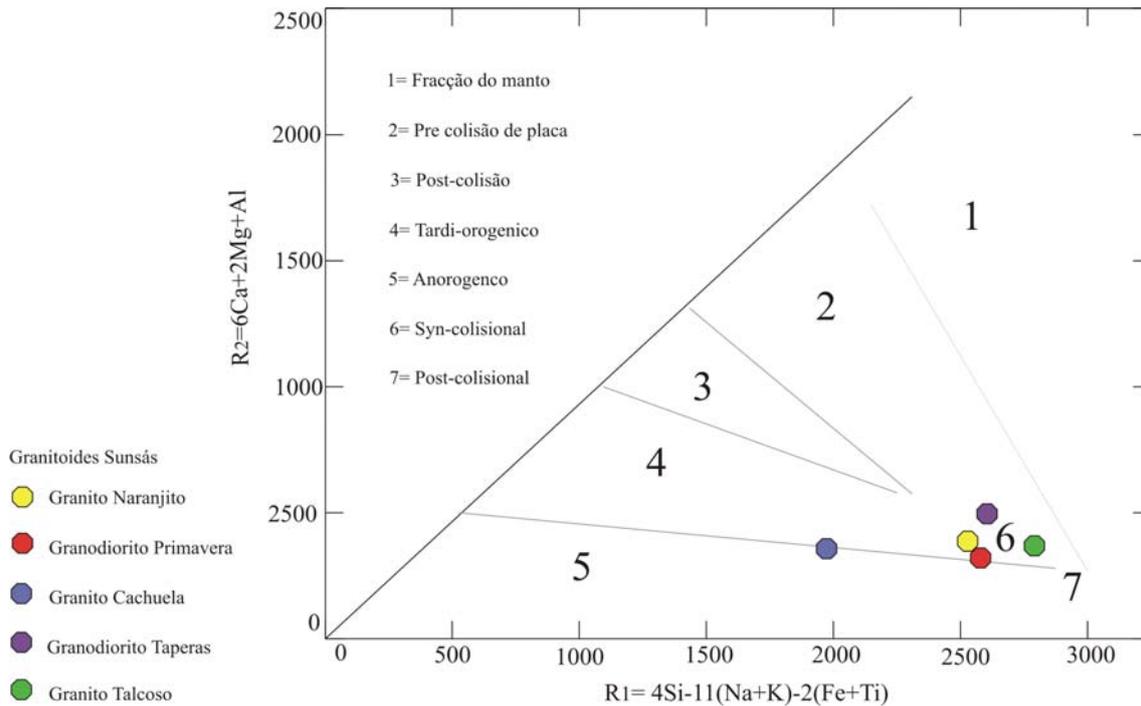


Figura 6.6. Diagrama multicatiônico segundo Batchelor & Bowden (1985) mostrando que os granitos Sunsás apresentam uma tendência a serem formados em ambiente sin-colisional.

6.4.4 Classificação tomando-se como base os Elementos Terras-Raras

Neste item são apresentados os padrões ERT para amostras da Orogenia Sunsás e suas interpretações. Foram identificados 3 padrões distintos de ETR entre as amostras de granitoides do Sunsás.

As amostras BO-04-18, BO-04-19 e BO-04-20 apresentam uma inclinação negativa na porção dos ETR leves até o Eu onde se apresenta uma forte anomalia negativa, provavelmente devido à presença de plagioclásios nas fases iniciais da cristalização. Na porção dos ETR pesados, as amostras apresentam uma tendência horizontalizada, sendo que os padrões das amostras BO-04-18 e BO-04-19 se cruzam nesta parte do diagrama.

A amostra BO-04-21 apresenta comportamento similar as 3 amostras anteriormente descritas, porém, a anomalia negativa de Eu é bem menos significativa.

A amostra BO-04-22 apresenta diferenças significativas em relação as 4 amostras anteriores. Na porção de ETR leves, ao contrário das outras amostras, o Eu apresenta uma suave anomalia positiva. Na porção de ETR pesados esta amostra apresenta valores crescentes, formando uma inclinação positiva.

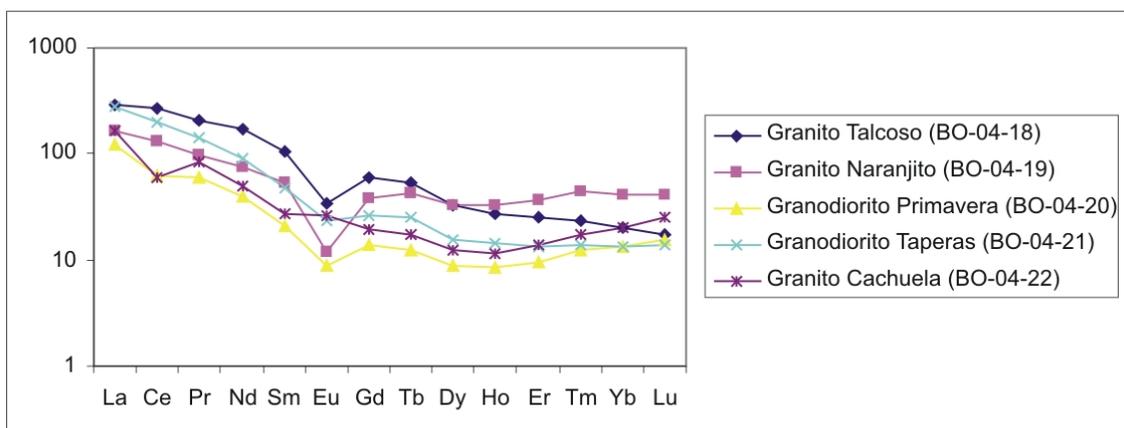


Figura 6.7. Padrão de terras-raras da Orogenia Sunsás do pré-cambriano Boliviano, normalização pelo Condrito segundo Boynton (1984)

6.5 Discussão dos resultados

As rochas da Orogenia Sunsás encontram-se sobrepostas discordantemente sobre todas as unidades anteriormente descritas, localmente deformadas ou por vezes metamorfisadas. Neste sentido, são apresentadas agora as discussões sobre as rochas, as composições químicas e os possíveis ambientes onde foi formada esta orogenia, bem como as fontes das rochas formadas no final do Mesoproterozóico. Segundo Litherland *et al.* (1986) a Orogenia Sunsás é a mais jovem do pré-Cambiano boliviano (1,3 Ga a 1,0 Ga; idades Rb-Sr e K-Ar). Segundo Boger *et al.* (2005) a idade U-Pb do granito Tapera é de 1076 ± 18 Ma.

Tomando em conta a composição das rochas, segundo o diagrama QAP de Streckaisen (1976) e o diagrama normativo as rochas da Orogenia Sunsás apresentam uma composição granítica a granodiorítica sugerindo uma suíte calcialcalina. A presença de um granito alcalino como foi apresentado na Figura 6.1 (Granito Cachuela) foi recontado e reavaliado, devido às variações em porcentagem entre as duas contagens.

A discriminação tectônica com base no conteúdo das variações Rb-Y-Nb segundo Pearce *et al.* (1984) e o diagrama multivariável aplicado por Batchelor & Bowden (1985) não é clara. As amostras dos quatro corpos graníticos representados no Anexo 3 pelos corpos Naranjito, Primavera Taperas e Talcoso, segundo o diagrama R1 *versus* R2 foram formados em um ambiente de colisão, com exceção do granito Cachuela. No diagrama proposto por Pearce *et al.* (1984) (diagrama Rb *versus* Y+Nb) todas as amostras caem no campo de granitos intra-placa, com exceção do granito Cachuela (campo arco magmático). No diagrama Rb *versus* Y+Nb os granitos Naranjito e Cachuela caem no campo de granitos sin-colisionais. O granito Taperas (1076±18), cai no campo dos granitos formados em arco magmático e os granitos Primavera e Talcoso caem no campo de granitos intra-placa.

Estes resultados permitem sugerir que as amostras de granitóides do Sunsás foram geradas em um processo de fracionamento magmático e em um ambiente de subducção crosta oceânica/crosta continental. Neste sentido, os granitos Talcoso (BO-04-18), Naranjito (BO-04-19) e granodiorito Primavera (BO-04-20) são os produtos magmáticos mais fracionados, o granodiorito Taperas (BO-04-21) tem posição intermediária no processo de fracionamento magmático e o granito Cachuela (BO-04-22) é a representante mais primitiva das rochas graníticas estudadas e formadas durante o evento Sunsás.