



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
CRÁTON – Grupo de Pesquisa em Evolução Crustal e
Metalogenia

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOQUÍMICA DAS
ROCHAS HOSPEDEIRAS DO DEPÓSITO DE OURO DO
GARIMPO DO EDU, EM NOVA SANTA HELENA – MT.

PATRÍCIA ALVES NALON

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
GEOLOGIA

Cuiabá, Abril/2005.

CAPÍTULO 4: Geologia Local

4.1 INTRODUÇÃO

A área em estudo insere-se no contexto geológico limitado pelas Províncias Geocronológicas Ventuari – Tapajós e Rio Negro - Juruena (Tassinari & Macambira 1999), localizada no município de Nova Santa Helena, na região centro norte do Estado de Mato Grosso. A partir dos dados obtidos em campo e através do estudo petrográfico foi possível relacionar os litotipos aflorantes no entorno do depósito com as unidades geológicas identificadas como Complexo Cuiú-Cuiú e Granito Nhandu, descritas anteriormente no Capítulo 3.2.

As rochas encontradas na área do Garimpo do Edu são caracterizadas por composições gnáissicas (SH 35), sieno (amostras SH 7, SH 9, SH 16 e SH 19) a monzogranítica (amostras AJ-76, SH 1, SH 17 e SH 17 B) associadas a rochas gabróicas (amostras SH 6, SH 10 e SH 17 C) conforme mostra a Tabela 2, em anexo.

4.2 XENÓLITO CUIÚ-CUIÚ

- SENA??

Este corpo aflora isoladamente na área do Garimpo do Edu, numa área de pastagem, sob a forma de matacões e blocos *in situ*, sub-arredondados a sub-angulosos com dimensões que variam entre 0,3 e 1,5 m de diâmetro, em relevos suaves (Figura 7).

Em análise macroscópica, identificou-se uma rocha gnáissica de granulação média, coloração variando de rosado a cinza-escuro, magnético, apresentando bandamento composicional marcado por alternância de leitos quartzo-feldspáticos e leitos máficos e foliação mineral (Figura 8).

Os minerais que compõem a porção félsica desta rocha estão representados por feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio, rara biotita, pouca sulfetação, epidoto e clorita denotando alteração incipiente.

A porção mesocrática apresenta foliação mineral bem marcada, evidenciada principalmente pelo enriquecimento de biotita e anfibólio.



Figura 7 - Fotografia mostrando modo de ocorrência da rocha gnáissica do Complexo Cuiú-Cuiú no Garimpo do Edu.



Figura 8 - Detalhe do bandamento composicional da rocha gnáissica, pertencente ao xenólito do Complexo Cuiú-Cuiú, aflorante no Garimpo do Edu.

4.2.1 Descrição Petrográfica

4.2.1.1 Porção Mesocrática

A porção mesocrática da rocha gnáissica, em seção delgada, mostra a orientação preferencial dos minerais máficos, com textura granolepidoblástica, média, com porfiroclastos de feldspato alcalino e plagioclásio. São constituídas essencialmente por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino e anfibólio. Subordinadamente ocorrem titanita, allanita, zircão e opacos

como minerais acessórios enquanto, biotita, epidoto e clorita representam minerais de alteração.

O plagioclásio dispõe-se em cristais incolores, subédricos de hábito tabular, com dimensões variando entre de 0,6 na matriz a 1,25 mm quando em porfiroclastos. Apresenta-se por vezes sericitizado a saussuritizado, com a saussuritização predominando e intensificada no núcleo do cristal. A geminação albíta, por vezes, encontra-se preservada em alguns grãos (Figura 9 A), identificado segundo o método Michel Levy, como oligoclásio. Ocasionalmente a geminação Carlsbad é visível em associação com a geminação albíta. Observa-se ainda intercrescimentos gráficos e mirmequíticos (Figura 9 B).

O feldspato alcalino está caracterizado como microclínio e exibe-se em cristais subédricos a anédricos de 0,2 a 0,8 mm, caracterizado pela geminação em grade bem marcada e comumente pertítico (Figura 9 C).

O quartzo ocorre em grãos, predominantemente, anédricos que variam de 0,2 até 0,4 mm de diâmetro. Os cristais recristalizados exibem extinção ondulante e, mais raramente, textura mortor. Seus contatos intergrãos, em geral, são lobados, entretanto, contatos retos também são visíveis.

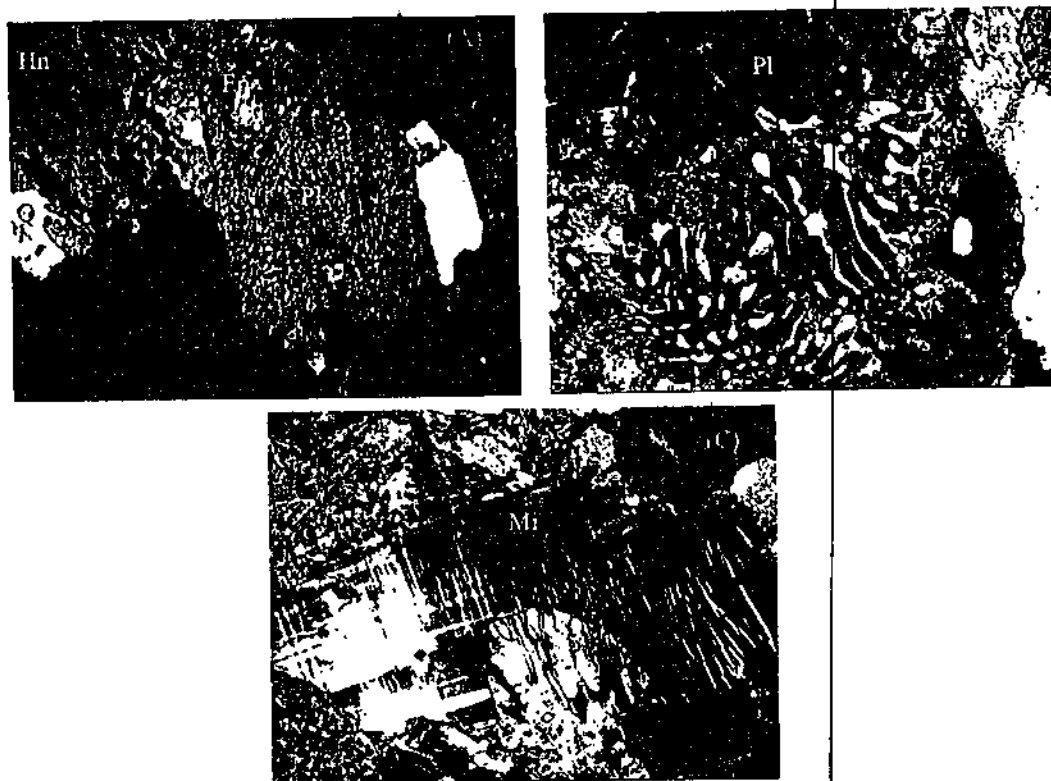


Figura 9 - Ilustrações de fotomicrografias utilizando polarizadores cruzados: (A) saussuritização do plagioclásio com o desenvolvimento de cristal de epidoto; (B) plagioclásio com intercrescimento mirmequítico; (C) cristal de microclínio pertítico exibindo geminação xadrez. Aumento de 10x.

O anfibólio de pleocroísmo verde-oliva a castanho, identificado como hornblenda, dispõe-se em prismas subédricos a anédricos com dimensões entre 0,15 a 0,6 mm. Altera, principalmente nas bordas e planos de clivagens, para biotita (Figura 10) e, apresenta grãos de quartzo, resultantes do excesso de sílica da substituição piroxênio/anfibólio.

A biotita apresenta-se sob a forma de cristais subédricos com hábito, em geral, em palhetas ou lamelar orientadas, com pleocroísmo variando de castanho-claro a marrom-escuro, com características de uma paragenese mineral secundária, típica alteração. Associa-se ao anfibólio e localmente a cristais de titanita.

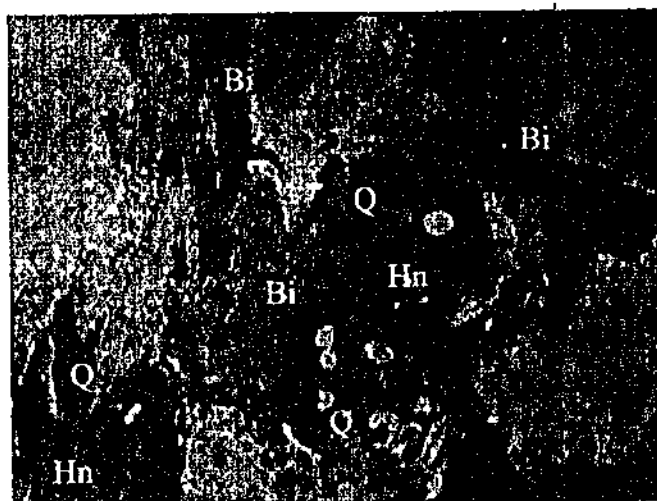


Figura 10 - Detalhe da alteração da hornblenda para biotita, com a ocorrência de grãos de quartzo. Polarizadores paralelos e aumento de 10x.

A titanita é o mineral acessório mais freqüente e ocorre nos interstícios entre os grãos. Apresenta-se de cor rosa-acastanhada, em cristais subédricos a prismáticos, de relevo muito alto.

A allanita é observada em cristais isolados ou associada ao epidoto e a biotita, constituindo um mineral acessório primário (Figura 11). Exibe-se com hábito prismático, geralmente romboédrico, de cor amarela-alaranjada, não pleocróica e relevo alto, mostrando-se, às vezes, metamictizada.



Figura 11 - Detalhe do cristal prismático de allanita associado ao epidoto e a biotita. Na borda observa-se plagioclásio com geminação albíta e quartzo recristalizado. Polarizadores cruzados e aumento de 10x.

A clorita dispõe-se sob a forma de cristais anédricos, lamelares, que se associam aos opacos e máficos e representa um produto de alteração da biotita e do anfibólio, exibindo pleocroísmo que oscila de verde-claro a verde-amarelado.

O epidoto ocorre como um mineral de procedência secundária e está relacionado à alteração por saussuritização dos plagioclásios. Apresenta-se em cristais anédricos com pleocroísmo variando de verde-pálido a verde-amarelado e relevo alto.

O zircão é um mineral acessório incolor, apresenta relevo muito forte e exibe hábito bipiramidal euédrico a subédrico com dimensões médias de aproximadamente 0,01 mm. Normalmente ocorre como inclusão nos plagioclásios e principalmente na clorita, proveniente da alteração da biotita.

Os opacos encontram-se disseminados em grãos subédricos a anédricos que variam de 0,02 a 0,2 mm de diâmetro.

4.2.1.2 Porção Félsica

Apresenta textura granoblástica, média com fenoblastos de plagioclásio e feldspato alcalino, constituída por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo, anfibólio e piroxênio. Os minerais acessórios estão representados pelos opacos, titanita, zircão, allanita e apatita. Biotita, epidoto, clorita denotam uma paragênese resultante de processos de alteração de minerais primários.

O plagioclásio ocorre sob a forma de cristais tabulares subédricos, com dimensões entre 0,5 a 1,5 mm e ocasionalmente zonados. De acordo com método de Michel Levy, o plagioclásio foi identificado como oligoclásio e evidencia principalmente, geminação albita. Nota-se diferentes fases de saussuritização, onde palhetas finas de sericitas são visíveis nas fases mais avançadas e intercrescimentos mirmequítico e gráfico são comuns.

O feldspato alcalino está caracterizado pelo microclínio, disposto em cristais anédricos com 0,3 a 1,2 mm, apresentando geminação em grade e localmente, mostra-se pertítico.

O quartzo dispõe-se em grãos anédricos, com dimensões que variam de 0,3 a 0,8 mm, exibem contatos intergrãos do tipo lobulados a retos. Localmente, vê-se recristalização.

Raros relictos de clinopiroxênio, identificado como augita, com pleocroísmo variando de amarelado a castanho mostram-se em cristais anédricos. Este mineral evidencia uralitização que resultam em anfíbólio.

O anfíbólio ocorre em raros cristais de hábito tabular, subédricos, com pleocroísmo castanho-claro a verde, maclados reconhecido como hornblenda. Alteração para biotita é visível (Figura 12 A).

A apatita representa um mineral acessório traço ocorrendo em cristais prismáticos subédricos a euédricos, incolor, disposto como inclusão em cristais de plagioclásio e feldspato alcalino.

A titanita apresenta cor rósa-acastanhada, em cristais prismáticos, euédricos de relevo muito alto (Figura 12 B).

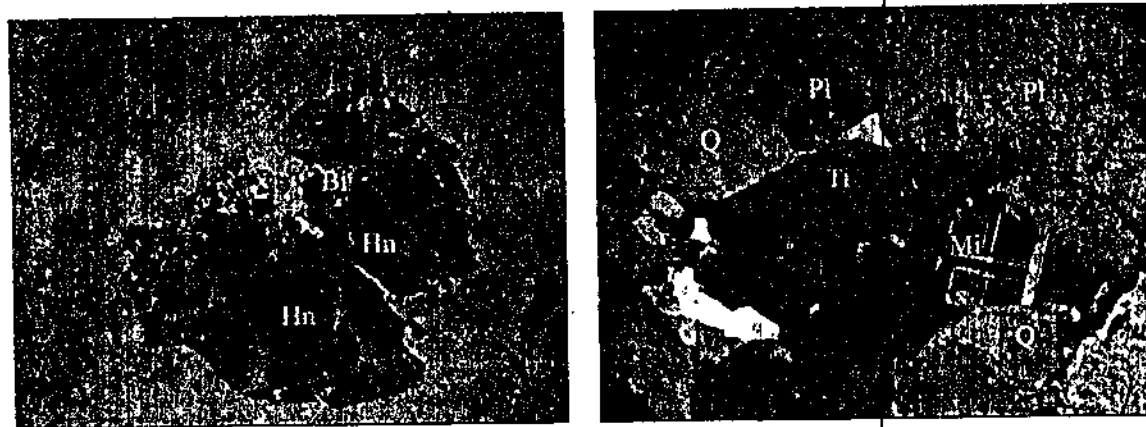


Figura 12 - (A) Observa-se a alteração de um cristal de anfíbólio para biotita. (B) Cristal euédrico de titanita mostrando hábito e cor característicos, ocorrendo nos interstícios de plagioclásio, quartzo e microclínio. Em (A) polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados e aumento de 4x.

A allanita exhibe-se com hábito prismático, geralmente romboédrico, de coloração amarela-alaranjada, não pleocróica e relevo alto. Por vezes, é observada em cristais associada ao epidoto.

Os opacos estão disseminados em cristais, em geral anédricos, enquanto o zircão dispõe-se em cristais incolor, euédrico, com hábito bipiramidal e com dimensões entorno de 0,03 mm (Figura 13).

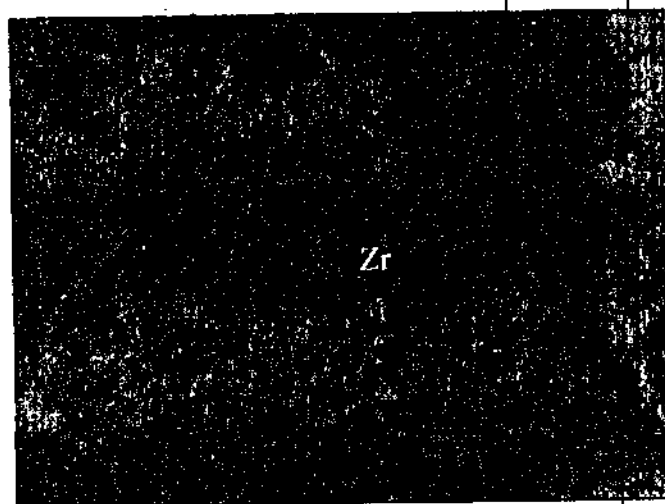


Figura 13 – Cristal de zircão euédrico, com hábito bipiramidal incluído em cristal de plagioclásio. Polarizadores cruzados e aumento de 40x.

A biotita distribui-se em cristais lamelares subédricos a anédricos, com pleocroísmo castanho-claro a esverdeado, onde se verifica localmente, uma discreta orientação. Associa-se ao epidoto e possivelmente resulta da alteração total dos anfibólios.

O epidoto apresenta-se principalmente como produto da saussuritização dos plagioclásios e ocasionalmente em cristais isolados. Em geral, mostram cristais anédricos e por vezes associa-se a allanita e a biotita.

A clorita caracteriza-se em diminutas lamelas anédricas de cor verde, resultante da alteração da biotita e anfibólio.

4.3. ROCHAS SIENO A MONZOGRANÍTICAS

Estas rochas distribuem-se em todo o entorno do Garimpo do Edu ocorrendo principalmente sob a forma de matações e blocos *in situ*, sub-arredondados a sub-angulosos com dimensões que variam entre 0,1 e 1,2 m de diâmetro, aflorantes em meio as áreas de pastagens, em relevos suaves (Figura 14).

Em amostra de mão, os sieno a monzogranitos apresentam-se isotrópicos, de textura inequigranular a equigranular, média a fina, com coloração variando de cinza-avermelhada a rosada, e comumente magnéticos. Seus principais minerais constituintes são quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino, biotita e, às vezes, epidoto como produto de alteração.

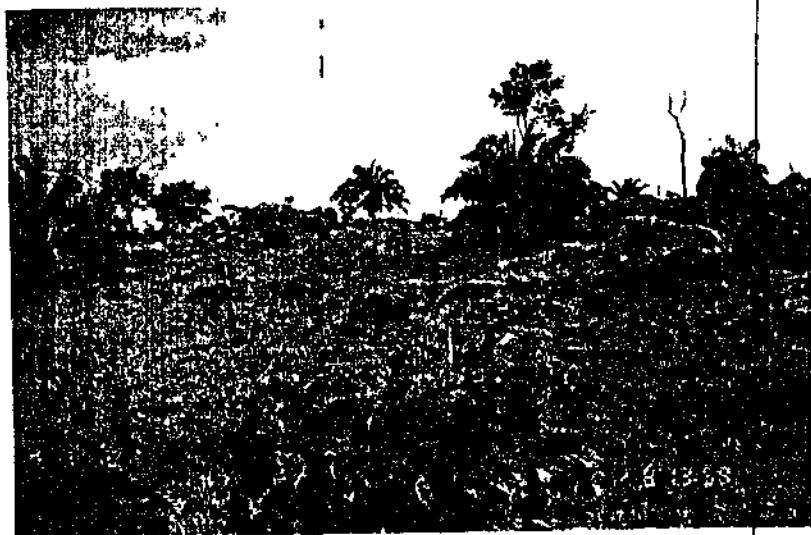


Figura 14 - Ilustração da forma de ocorrência das rochas graníticas no entorno do Garimpo do Edu.

4.3.1 Descrição Petrográfica

Os sieno a monzogranitos, em seção delgada, mostram-se hipidiomórficos de textura inequigranular, média a fina, por vezes porfírica com fenocristais de feldspato alcalino e/ou plagioclásio. São constituídos essencialmente por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino (em proporções variadas) e biotita. Subordinadamente ocorrem titanita, allanita e opacos como minerais acessórios enquanto, epidoto e clorita representam minerais de alteração.

O plagioclásio, identificado como oligoclásio ocorre em cristais incolores, subédricos a anédricos de hábito tabular, com dimensões variando entre de 0,3 a 2,3 mm quando em fenocristais. Apresenta-se por vezes saussuritizado a sericitizado, mostrando diferentes níveis de alteração. Alguns cristais são zonados, onde a sericitização é mais intensa no núcleo, caracterizada por palhetas finas de sericita. Os cristais exibem geminação albita e periclina, intercrescimento mirmequíticos e gráficos são comuns (Figura 15 A).

O feldspato alcalino, representado pelo microclínio, dispõe-se em cristais anédricos com dimensões entre 0,6 a 2,5 mm (fenocristal). Exibe geminação em grande e comumente mostra-se pertítico (Figura 15 B).

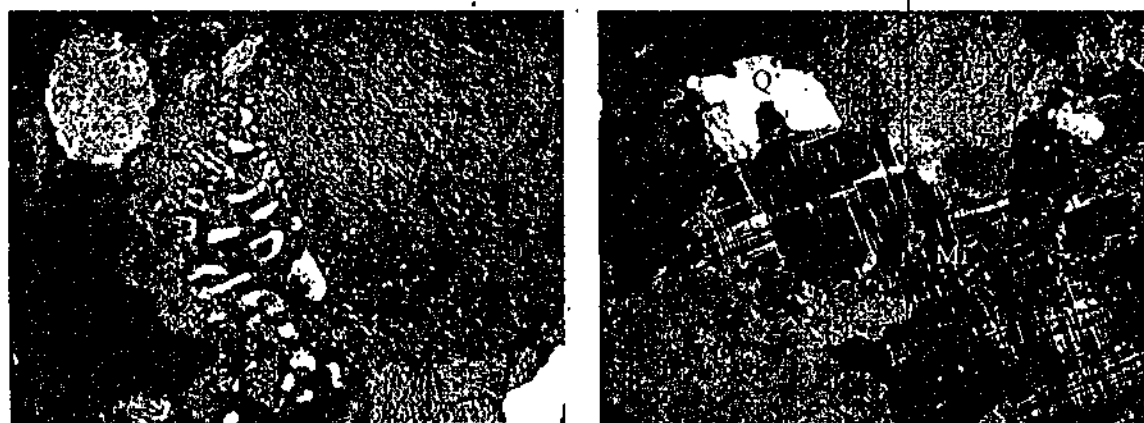


Figura 15 - (A) Intercrescimento gráfico observado em um cristal de plagioclásio. (B) Cristal característico de microclínio com geminação em grade em contato com quartzo e plagioclásio. Polarizadores cruzados e aumento de 10x (A) e 4x (B).

O quartzo, em geral, apresenta-se em grãos anédricos que variam de 0,6 até 1,2 mm de diâmetro. Os cristais recristalizados exibem extinção ondulante e seus contatos intergrãos são retos a lobulados.

A biotita apresenta-se sob a forma de cristais subédricos com hábito, em geral, em palhetas, com pleocroísmo variando de castanho-claro a castanho-amarelado, com características de origem essencialmente primária. Por vezes, alteração da biotita para clorita é observada.

A titanita é um mineral acessório que ocorre nos interstícios entre os grãos e associada a agregados formados por biotita, opacos e quartzo (Figura 16). Apresenta-se de cor rosa-acastanhada, de relevo muito alto, em cristais euédricos a subédricos e hábito prismático.



Figura 16 - Detalhe do agregado formado por titanita, biotita, quartzo e opacos. Polarizadores paralelos e aumento de 4x.

A allanita ocorre associada comumente ao epidoto, com hábito romboédrico, de cor amarela-alaranjada, não pleocróica e relevo alto.

A clorita, caracterizada como peninita dispõe-se em cristais anédricos, lamelares, de cor verde. Representa um produto de alteração da biotita (Figura 17) e do anfíbólio.

O epidoto ocorre como um mineral secundário e está relacionado à alteração por saussuritização dos plagioclásios. Apresenta-se em cristais anédricos incolor e de relevo alto.

Os opacos encontram-se disseminados em grãos subédricos a anédricos que variam de 0,02 a 0,4 mm de diâmetro.

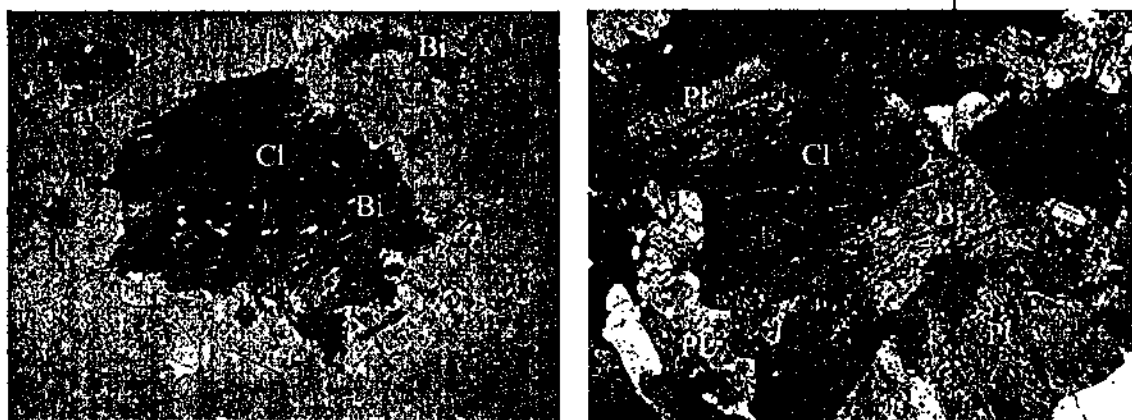


Figura 17 - Fotomicrografia mostrando processo cloritização da biotita com polarizadores paralelos (A). Em (B) com polarizadores cruzados, nota-se ainda plagioclásio com geminação albita/Carslbud e quartzo ocorrendo na borda. Aumento de 4x.

4.4 ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS

Os gabros encontrados na área do Garimpo do Edu ocorrem sob a forma de blocos e matacões sub-angulosos (Figura 18), possivelmente associados às rochas sieno a monzogranítica.

Apresentam coloração cinza-escuro, granulação média a fina, textura sub-ofítica exibindo ripas de anfibólio, sulfetação e uma leve alteração evidenciada por grãos de epidoto.



Figura 18 - Fotografia ilustrando a forma de ocorrência, em um dos afloramentos, das rochas gabróicas no entorno do Garimpo do Edu.

4.4.1 Descrição Petrográfica

Em análise petrográfica, os gabros são holocristalinos, de granulação grossa, apresentando uma textura sub-ofítica, cujas ripas de plagioclásio dispõem-se caoticamente estando intensamente afetadas pela alteração hidrotermal. Esta rocha está constituída essencialmente por plagioclásio, anfibólio, epidoto, piroxênio, opacos e clorita.

O plagioclásio perfaz a maior proporção mineral (Figura 19 A) e encontra-se intensamente alterado (saussuritizado) principalmente no núcleo, destacando-se grãos bem desenvolvidos de epidoto e uma nítida e intensa zonação normal, que contrasta com as bordas límpidas deste mineral (Figura 19 B). Os cristais são subédricos a euédricos, de hábito tabular, de dimensões variando entre 0,12 a 0,8 mm e eventualmente, notam-se cristais que preservam a geminação albita e localmente periclina, permitindo classificá-lo, pelo método estatístico do ângulo de extinção, de Michel-Levy, como oligoclásio (Figura 19 C).

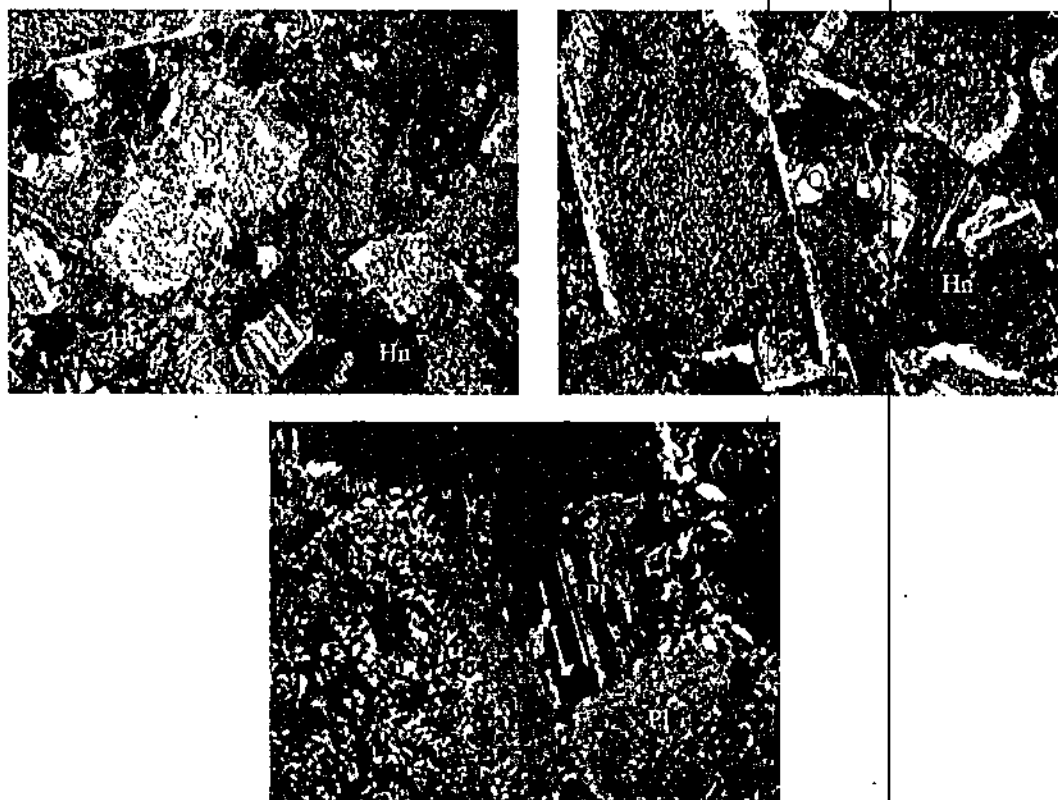


Figura 19 - (A) Aspecto geral dos gabros, onde nota-se cristais de plagioclásio intensamente alterados, evidenciando zonação comum. (B) Detalhe de cristais de plagioclásio mostrando diferentes estágios de saussuritização. (C) Cristal de plagioclásio com geminação albita preservada com a associação de actinolita ocorrendo na borda direita do mineral. Polarizadores cruzados e aumento de 10x.

Os anfibólios estão representados por duas fases distintas, sendo uma de origem essencialmente primária e a outra fase resultante de processos de alteração hidrotermal. O anfibólio de origem primária está caracterizado pela hornblenda, que exibe-se em grãos anédricos, maclados, zonados, com pleocroísmo que varia de verde-oliva a castanho e de relevo moderado (Figura 20). Associa-se aos opacos, piroxênio e comumente, altera para clorita. A actinolita dispõe-se em cristais anédricos, raramente prismáticos, com hábito fibroso, incolor, constituindo desta forma, um mineral secundário, proveniente da alteração hidrotermal existente.

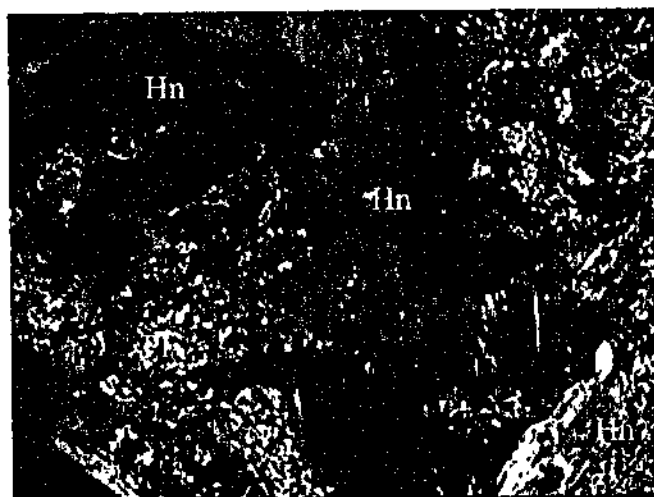


Figura 20 - Disposição dois cristais de hornblenda, um em seção basal e outro com macla bem marcada, associados a cristais de plagioclásio alterados e de muscovita. Polarizadores cruzados e aumento de 10x.

O piroxênio ocorre em cristais reliquiares anédricos, com pleocroísmo que varia de verde-claro a verde-amarelado-pálido, tendo sido identificado como augita. Alteram comumente para hornblenda. Em alguns cristais observam-se inclusões de opacos e alteração também para epidoto.

A clorita apresenta-se como produto de alteração de um máfico primário, tal como augita, hornblenda e biotita. Apresentando-se em cristais anédricos de pleocroísmo variando entre verde-pálido e verde-amarelado-claro. Está associada, muitas vezes, aos opacos.

O epidoto, resultante da alteração do plagioclásio, é encontrado em cristais anédricos, de relevo alto, com discreto pleocroísmo variando entre amarelo-pálido e amarelo.

Os opacos ocorrem inclusos nos minerais máficos ou como produto de ex-solução do anfibólio (figura 21 A), dispondo-se, preferencialmente, nas suas bordas e planos de clivagem (Figura 21 B).

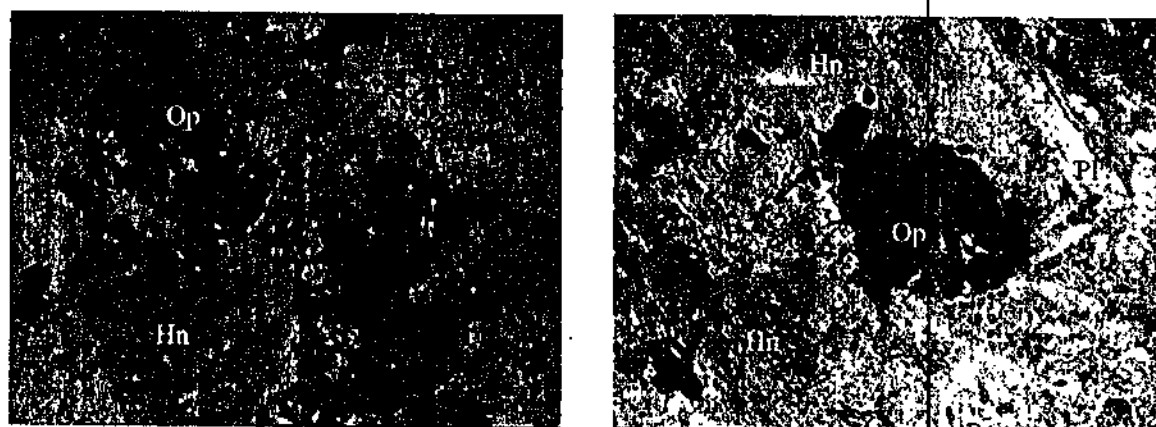


Figura 21 - Fotomicrografias ilustrando processo de liberação de opacos em cristais de hornblenda em estágio inicial (A) e em estágio final, com a completa substituição pelos opacos (B). Polarizadores paralelos e aumento de 10x.

CAPÍTULO 5: Geologia Do Depósito

5.1 INTRODUÇÃO

A mineralização aurífera do Garimpo do Edu foi definida como estando associada a veio de quartzo, inserido num envelope de filonito/quartzo filonito em zona de cisalhamento transcorrente rúptil-dúctil de cinemática dextral, encaixada em monzogranito magnético (Granito Nhandu) (Santos, 2000).

5.2 DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

A partir da descrição petrográfica referente ao furo FTN 01, foi possível a individualização e caracterização de três zonas minerais, identificadas como: Zona Clorítica (45,38 a 51,57 m), Zona Cataclástica (49,34 a 66,36 m), Zona Sericítica (35,20 - 35,42 m a 63,12 - 68,60 m) além do reconhecimento da Zona Diabásica (37,13 - 37,24 m a 78,08 - 78,33 m) e da Zona Granítica (38,56 - 44,62 m a 67,26 - 78,94 m), conforme se observa na Figura 22. As proporções modais para cada zona mineral, encontram-se sumarizadas nas Tabelas 3 e 4, em anexo.

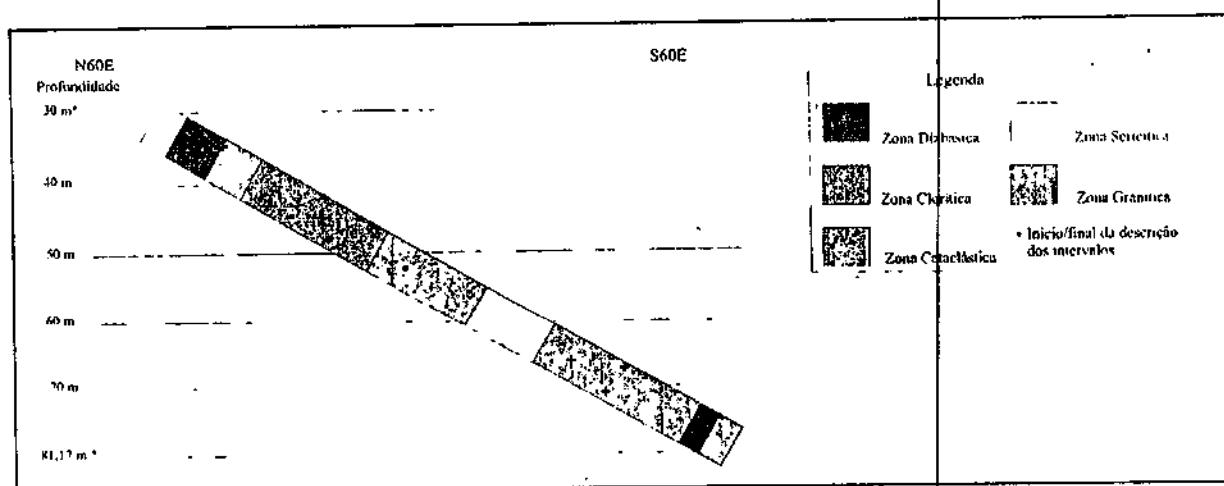


Figura 22 - Log do furo FTN 01 mostrando a individualização das zonas minerais identificadas pela petrografia.

5.2.1 ZONA DIABÁSICA

Compreendem rochas holocristalinas, de granulação fina a porfirítica, evidenciando uma textura sub-ofítica, constituída por ripas de plagioclásio distribuídas aleatoriamente e alguns fenocristais de plagioclásio alterados (Figura 23). Estas rochas são mineralogicamente compostas por plagioclásio, anfibólio, piroxênio, clorita e opacos.

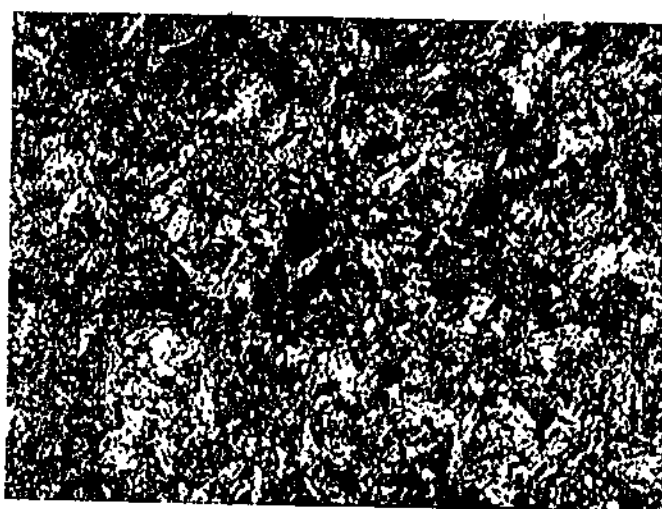


Figura 23 - Aspecto geral da zona diabásica, caracterizada pela textura sub-ofítica, com ripas de plagioclásio intensamente alteradas, cristais de anfibólio e piroxênio. Polarizadores cruzados e aumento de 4x.

O plagioclásio constitui o mineral de maior predominância desta rocha, ocorrendo em cristais de hábito tabular euédricos a subédricos intensamente alterados, com dimensões entre 0,07 a 0,25 mm para os grãos constituintes da matriz e de até 1 mm para os fenocristais. Apesar da intensa alteração, alguns cristais ainda preservam geminação albita e/ou periclina. Tamanho e alteração impedem a determinação óptica do teor de anortita deste plagioclásio.

Os anfibólios que caracterizam esta zona são representados pela hornblenda e pela actinolita. O anfibólio identificado como hornblenda, apresenta-se em cristais anédricos, por vezes maclados, com pleocroísmo que varia de verde-claro a verde-oliva. Altera-se, preferencialmente, para clorita. A actinolita ocorre sob a forma de cristais anédricos, de hábito fibroso, relevo moderado, evidenciando assim uma paragênese secundária.

O piroxênio ocorre como diminutos cristais reliquiais, preservados na hornblenda, principal alteração deste mineral. Em geral são anédricos, com pleocroísmo discreto, que varia de incolor a amarelo-claro, com extinção oblíqua, caracterizando um clinopiroxênio, correspondente à augita.

O epidoto resulta da saussuritização dos plagioclásios e está caracterizado em cristais anédricos, incolores de relevo alto.

Os opacos ocorrem disseminados em cristais anédricos, muito pequenos onde o diâmetro varia de 0,03 a 0,06 mm.

A clorita dispõe-se sob a forma de lamelas, de cor verde, correspondendo ao principal mineral de alteração da hornblenda.

Localmente, nota-se a ocorrência de vênulas preenchidas por carbonato que posteriormente são seccionadas por micro-vênulas de quartzo. Este último apresenta-se recristalizado (Figura 24).

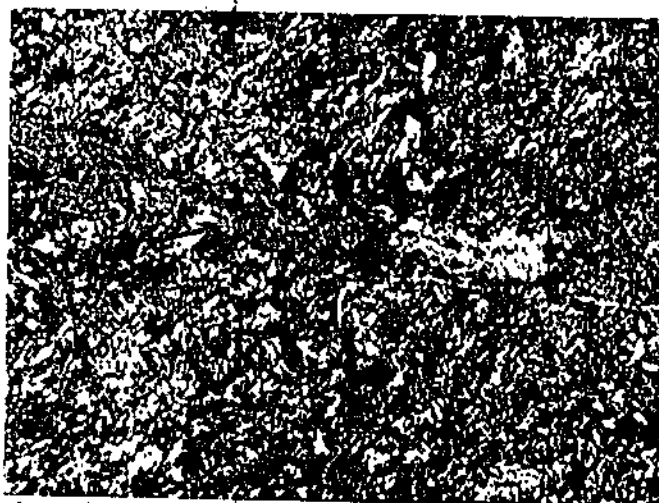


Figura 24 - Detalhe de micro-vênula de carbonato interceptada e deslocada por micro-vênula de quartzo, em uma matriz muito fina constituída, essencialmente, por plagioclásio, anfibólios, piroxênio e epidoto. Polarizadores cruzados e aumento 10x.

5.2.2 ZONA CLORÍTICA

10.05.2015 117
8-51 22

Esta zona é formada por rochas de textura inequigranular, constituída por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e opacos. Os minerais de alteração correspondem a sericita e clorita, com o predomínio desta última. Por vezes, esta rocha aparenta feições de cataclase, onde os clastos de quartzo e plagioclásio estão imersos em uma matriz fina de quartzo recristalizado cimentado por intensa alteração clorítica.

O quartzo ocorre em grãos subédricos a anédricos, localmente deformados, com extinção ondulante e dimensões submilimétricas (0,12 a 0,25 mm). Apresenta contatos retos a serrilhados e, não raro, mostram textura mortar.

O plagioclásio caracteriza-se por se apresentar em cristais subédricos a anédricos, que podem exibir geminação segundo a lei albita. Localmente, encontram-se envolvidos pela alteração clorítica. Mostra diferentes estágios de alteração para epidoto e sericita (Figura 25), dentre essas, argilização é incipiente. Por vezes, acha-se fraturado indicando deformação rúptil (?).

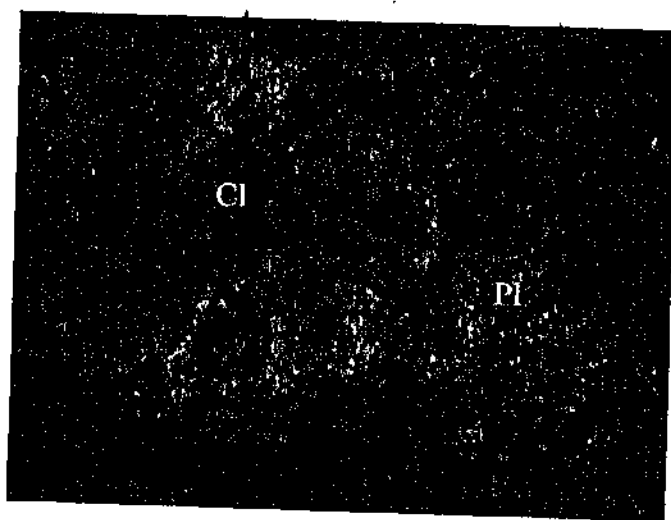


Figura 25 - Ilustração do aspecto geral da zona cloritizada, mostrando plagioclásio, quartzo, clorita e opacos. Polarizadores paralelos e aumento de 10x.

O feldspato alcalino está representado pelo microclínio, que geralmente mostra geminação xadrez (combinada albita+periclina), disposto em cristais geralmente anédricos, de dimensões entre 0,62 e 0,25mm e, comumente pertítico.

Os opacos estão dispostos em cristais pequenos, <0,02 mm, que ocorrem amplamente disseminados por toda a rocha. Geralmente estão associados à alteração clorítica e às vênulas de carbonato.

A clorita é o mais comum mineral de alteração, estando caracterizada sob a forma de finas lamelas, de cor verde, comumente associadas a sericita.

A sericita apresenta-se em finas palhetas, provenientes da saussuritização do plagioclásio e sericitização de ambos feldspatos.

5.2.3 ZONA CATACLÁSTICA

Corresponde a rochas de granulação média a fina, classificada como cataclasito (Figura 26) e compostas de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, imersos em uma matriz

microcristalina predominantemente de quartzo, intensamente cortada por venulação carbonática tardia.

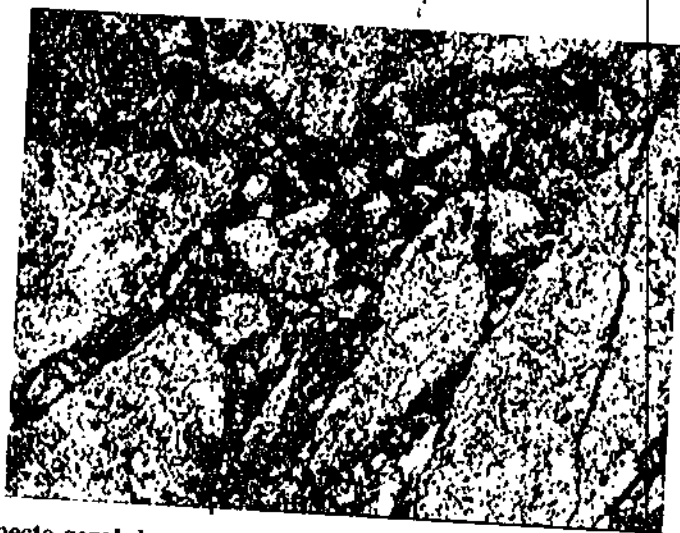


Figura 26 - Ilustração do aspecto geral da zona cataclástica onde os fragmentos angulosos estão envolvidos pela alteração clorítica+sericitica+epidoto+opacos. Polarizadores paralelos e aumento de 10x.

O quartzo exibe-se em grãos anédricos, com dimensões $<0,62$ a $0,7$ mm. Mostra extinção ondulante e intenso fraturamento.

O plagioclásio ocorre em cristais anédricos a subédricos de $0,06$ a $1,25$ mm de diâmetro. Por vezes, vê-se a geminação albita e alguns cristais quebrados, onde há a ocorrência de diferentes estágios de alteração (Figura 27).

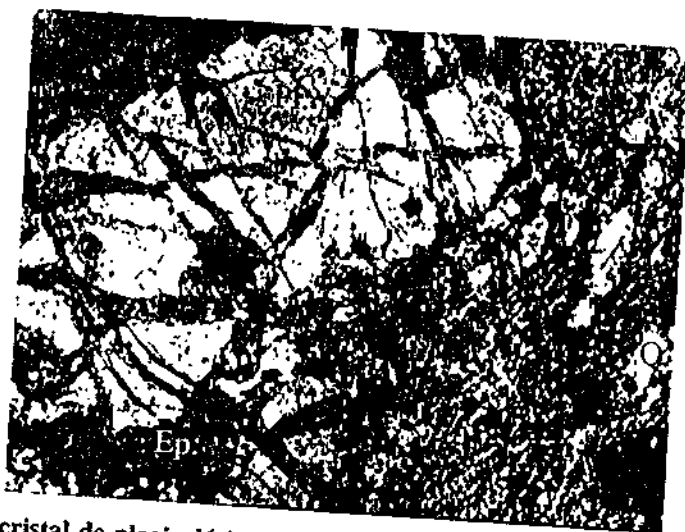


Figura 27 - Detalhe do cristal de plagioclásio alterado e quebrado. Polarizadores cruzados e aumento de 10x.

O feldspato alcalino presente é o microclínio, que ocorre como cristais anédricos de até $1,25$ mm de diâmetro e com sua geminação típica xadrez.

A paragénese de alteração ocorre preenchendo os fraturamentos da zona cataclástica assim como substituindo parte de sua matriz. É caracterizada pela associação clorita + sericita + epidoto onde a maioria dos opacos estão associados.

5.2.4 ZONA SERICÍTICA

Compreende rochas intensamente sericitizadas e localmente cloritizadas, com matriz de granulação média, constituídas por quartzo, plagioclásio, feldspato alcalino e opacos. O epidoto, também mineral de alteração ocorre em percentagens mais subordinadas.

O plagioclásio dispõe-se, ocasionalmente, sob a forma de cristais subédricos, de dimensões entorno de 0,3 mm, com raros intercrescimentos mirmequíticos, intensamente alterados, evidenciando poucas vezes a geminação albita (Figura 28). A sericitização ocorre de forma homogênea e iniciando-se a partir da geminação mineral. A saussuritização também é perceptível, devido à presença de epidoto em alguns cristais.



Figura 28 - Evidenciando intensa sericitização por parte dos cristais de plagioclásio e geminação albita preservada. (No canto inferior direito nota-se a substituição total, por opacos de um mineral máfico. Polarizadores cruzados e aumento de 10x.)

O feldspato alcalino presente é o microclínio, que ocorre sob a forma de cristais anédricos levemente alterados, preservando sua geminação característica do tipo xadrez.

O quartzo é, na maioria das vezes, sub-angular e anédrico, apresenta extinção ondulante e seu contato intergrãos, geralmente é serrilhando.

A sericita constitui o mineral de alteração em maior proporção resultante dos processos de sericitização e saussuritização do plagioclásio. Apresenta-se incolor e com relevo baixo, e localmente evolui para muscovita.

O epidoto também representa produto de alteração dos plagioclásios (Figura 29). é incolor, disposto em cristais anédricos e de relevo alto.



Figura 29 - Detalhe de um cristal de epidoto resultante do processo de saussuritização em um cristal de plagioclásio. Polarizadores cruzados e aumento de 10x.

A clorita constitui um mineral de alteração, de cor verde, relevo baixo e comumente associa-se ao epidoto e a sericita.

Os opacos estão disseminados por toda a seção e se apresentam em cristais anédricos a subédricos, associados principalmente e clorita.

5.2.1 ZONA GRANÍTICA

Corresponde a zonas de maior preservação em relação à alteração hidrotermal. Em seções delgadas, esta zona é caracterizada por rochas holocristalinas, hipidiomórficas, apresentando textura inequigranular, de média a grossa, onde por vezes observa-se sericitização parcial dos minerais. Está constituída mineralogicamente por quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino e subordinadamente piroxênio. Como minerais secundários tem-se, opacos, titanita, allanita, rutilo e zircão. Os minerais de alteração mais comuns nesta seção estão caracterizados pelo epidoto e clorita.

O plagioclásio dispõe-se sob a forma de cristais subédricos, localmente sericitizados e intensamente saussuritizados (Figura 30), onde suas dimensões variam de 0,25 a até 1,3 mm (para os fenocristais). Nota-se por vezes, intercrescimento mirmequítico e textura em *drops* de quartzo, porém a geminação albita raramente encontra-se preservada. Eventualmente alguns cristais apresentam-se fragmentados e preenchidos por micro-vênulas de carbonato.

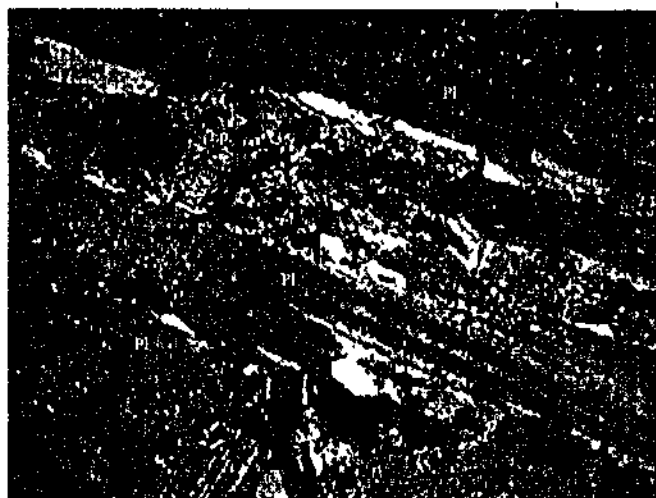


Figura 30 - Ilustração do avançado estágio de saussuritização (com a formação de epidoto) em um cristal de plagioclásio com geminação albita preservada. Polarizadores cruzados e aumento de 10x.

O quartzo ocorre sob a forma de grãos anédricos, incolor, de 0,15 a 1,25 mm de diâmetro onde os contatos intergrãos podem ser serrilhados a retos. Exibe extinção ondulante e, mais raramente, textura mortar.

O feldspato alcalino está representado pelo microclínio, disposto em cristais anédricos, de dimensões que variam de 0,20 a 0,62 mm. Localmente mostra intercrescimento peritéticos e geminação xadrez característica.

Relictos de piroxênio são encontrados em associação a cristais de clorita. Correspondem a um clinopiroxênio, identificado como augita, em cristais anédricos onde o pleocroísmo varia de amarelo-claro a amarelo.

Os opacos encontram-se disseminados sob a forma de cristais subédricos a anédricos em íntima associação com clorita+epidoto+opacos e por vezes, rutilo.

A titanita ocorre nos interstícios entre os cristais, apresenta cor rosa-acastanhada, hábito subédrico a prismático, relevo forte. Ocasionalmente associa-se a clorita, epidoto e opacos.

A allanita ocorre em cristais isolados e subédricos, por vezes em hábito romboédrico, onde se observa cor amarelo-alaranjada, não pleocróica e relevo alto. Comumente está associada ao epidoto e a titanita, representando desta forma um mineral acessório primário.

A clorita dispõe-se em lamelas, de cor verde, resultante como produto de alteração de algum mineral máfico primário, tal como anfibólio. Normalmente associa-se ao epidoto.

O epidoto é o mineral resultante da saussuritização dos plagioclásios, apresenta-se em cristais incolores, anédricos, estando associados a clorita.

O rutilo exibe-se em grãos diminutos, com dimensões de aproximadamente 0.01 mm. Ocorre em cristais subédricos a euédricos, de cor vermelha, relevo alto e por vezes, associa-se aos opacos.

O zircão apresenta-se em cristais zonado, euédricos a subédricos, exibindo hábito bipiramidal, em prismas curtos, inclusos no plagioclásio e principalmente na clorita (Figura 31).

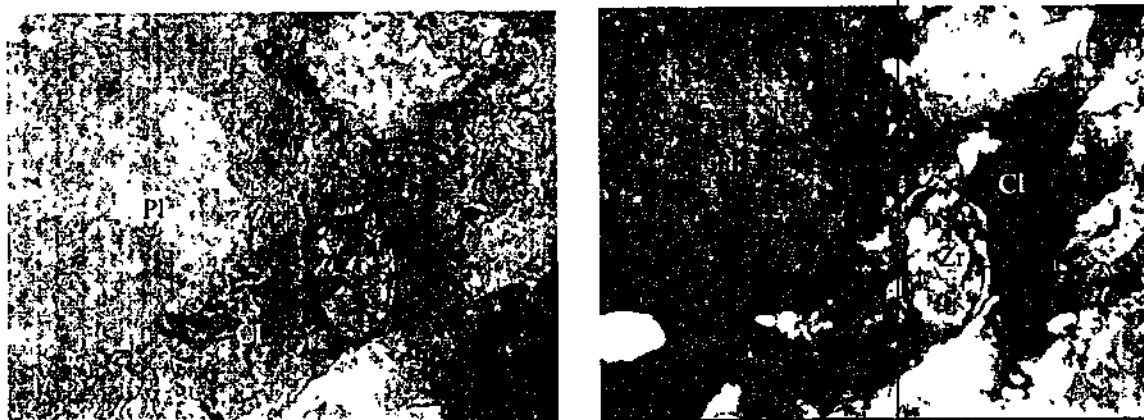


Figura 31 - Detalhe de um cristal de zircão bipiramidal zonado, ocorrendo como inclusão na clorita. (A) Polarizadores paralelos, (B) polarizadores cruzados e aumento de 40x.

CAPÍTULO 6: Geoquímica

6.1 INTRODUÇÃO

As análises geoquímicas foram realizadas para a determinação dos elementos maiores, menores e traços (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , MnO , P_2O_5 ; Ba, Cr, Cs, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, Rb, Sc, Sn, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr; Ce, La, Nd) cujos resultados estão dispostos na tabela 4. Para a referida análise foram selecionadas dezesseis amostras como mais representativas, das quais, duas pertencem ao furo FTN 01 e as catorze restantes correspondem às rochas encontradas no entorno do garimpo do Edu.

A partir dos dados obtidos foi possível investigar as afinidades geoquímicas, a natureza do magmatismo e dos ambientes tectônicos destas rochas; bem como classificá-las.

Tabela 1 - Composição química (óxidos, elementos maiores, menores e traços) das rochas do entorno do Garimpo do Edu.

Amostras (%)	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	P.F.(1000° C)
AJ-76	70,65	0,266	15,03	2,18	0,039	0,55	1,82	4,07	4,55	0,090	0,54
PN 28	66,83	0,414	15,14	3,70	0,063	1,55	2,58	4,10	3,60	0,135	1,56
PN 29	67,05	0,434	15,18	3,72	0,067	1,71	3,00	4,20	2,91	0,141	1,76
SH 5	73,24	0,176	14,31	1,38	0,021	0,45	1,80	3,63	4,54	0,063	0,40
SH 6	46,38	1,257	19,60	11,94	0,133	5,32	10,90	2,23	0,99	0,057	1,17
SH 17	71,03	0,354	14,59	2,59	0,033	0,63	1,59	4,04	4,69	0,101	0,43
SH 7	74,06	0,202	13,58	1,65	0,035	0,33	1,02	3,83	5,13	0,050	0,31
SH 17 B	70,69	0,196	15,95	1,51	0,032	0,44	1,96	4,76	3,98	0,059	0,41
SH 17 C	48,38	0,725	11,74	12,02	0,214	12,00	9,93	1,50	1,22	0,141	1,69
SH 9	72,21	0,240	14,79	2,00	0,046	0,48	1,75	4,02	4,31	0,080	0,47
SH 10	47,20	1,372	14,97	12,37	0,168	8,74	8,78	2,49	1,59	0,345	2,00
SH 19	73,84	0,321	13,65	1,61	0,064	0,34	0,78	4,27	5,03	0,061	0,38
SH 16	75,04	0,280	12,93	1,67	0,056	0,40	0,81	3,69	5,01	0,052	0,48
SH 1	70,35	0,272	15,13	2,25	0,040	0,69	2,04	4,28	4,16	0,099	0,72
SH 3 B	76,74	0,108	12,61	0,75	0,016	0,21	0,42	2,69	6,23	0,048	0,46
SH 4	67,8	0,71	17,3	2,5	0,01	0,27	0,39	0,30	5,3	0,33	3,54

Tabela 1 - Continuação

Amostras	Ba	Ce	Cr	Cs	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb
($\mu\text{g g}^{-1}$)											
AJ-76	2015	82	60	<11	8,6	16,8	50	13,1	27	10,2	23,1
PN 28	1208	64	115	<11	33	17,4	35	11,2	19	14,4	14,9
PN 29	963	65	71	<11	17,9	15,1	38	11,8	23	14,2	14,4
SH 5	1689	52	41	<11	7,8	14,2	36	6,3	19	7,6	22,6
SH 6	206	30	29	<11	20,1	20,3	6,5	6,7	16	30	7,1
SH 17	1721	132	60	<11	13,6	18,6	81	11,3	41	15,3	15,3
SH 7	791	118	60	<11	19,7	17,7	74	24,5	35	7,6	25,1
SH 17 B	2095	72	36	<11	2,6	16,5	61	4,5	27	10,5	17,4
SH 17 C	79	54	1463	<11	54	22,7	<4	2,3	12	219	50
SH 9	1412	99	40	<11	3,3	16,0	61	4,2	30	10,9	25,9
SH 10	297	46	384	<11	48	20,7	10,3	9,9	19	128	6,1
SH 19	755	155	82	<11	1,4	20,2	76	16,9	53	11,5	21,3
SH 16	417	125	40	<11	3,8	17,4	75	20,1	47	8,6	23,5
SH 1	1337	56	48	<11	4,6	18,8	41	7,1	19	13,7	24,4
SH 3 B	353	58	98	<11	4,6	17,6	45	27,7	12	6,3	30
SH 4	607	118	48	<11	21,6	18,3	66	17,6	42	21,6	16,8

Tabela 1 - Continuação

Amostras	Rb	Sc	Sn	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
($\mu\text{g g}^{-1}$)										
AJ-76	151	<5	<3	476	15,4	2	18,0	6,5	27,4	186
PN 28	71	5,2	<3	483	13,5	2	60	14,6	33	138
PN 29	68	5	<3	591	13,6	4	62	14,2	35	147
SH 5	114	<5	<3	450	5,6	<2	25,8	11,0	17,1	116
SH 6	36	46	<3	654	3,0	3	260	18,8	74	64
SH 17	115	<5	<3	289	17,1	<2	31	19,3	25,1	281
SH 7	239	<5	<3	147	31,9	8,9	12,6	14,8	23,8	184
SH 17 B	104	<5	<3	557	8,0	<2	16,0	5,8	24,0	124
SH 17 C	50	35	4,6	380	1,9	2	276	24,3	105	59
SH 9	124	<5	<3	385	16,4	5,7	18,6	3,0	42	169
SH 10	63	35	<3	546	<1,5	<2	268	21,2	95	96
SH 19	137	<5	<3	128	15,3	3,4	14,8	37	51	229
SH 16	224	<5	3,4	85	27,4	6,3	15,6	37	53	183
SH 1	122	<5	2	490	10,5	3,7	29,3	7,1	39	111
SH 3 B	182	<5	<3	126	24,5	5,7	6,1	9,2	16,5	112
SH 4	167	6,3	<3	49	18,2	10,8	83	21,6	89	314

6.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS

No estudo petrográfico das rochas do entorno do Garimpo do Edu, as amostras foram classificadas modalmente como sienos a monzogranitos (Figura 32). Confirmando este estudo, essas amostras plotadas no diagrama TAS (Total de Álcalis versus Sílica) proposto por Le Bas *et al.* (1986, in: Le Maitre, 1989) coincidem com o campo dos riolitos. Três outros resultados analíticos dispõem-se no campo do dacito, correspondente plutônico do granodiorito. Enquanto as rochas gabróicas plotadas estão representadas no domínio proposto para basalto. *Fig 33*

Utilizando sílica e elementos considerados como menos móveis nos processos de alteração e metamorfismo, no diagrama proposto por Winchester & Floyd (1977) SiO_2 versus Zr/TiO_2 , as rochas graníticas se classificam como riolitos, riodacitos-dacito que correspondem aos granitos, monzo e granodioritos ao passo que, os gabros situam-se no limite dos campos dos basaltos subalcalinos e alcalinos.

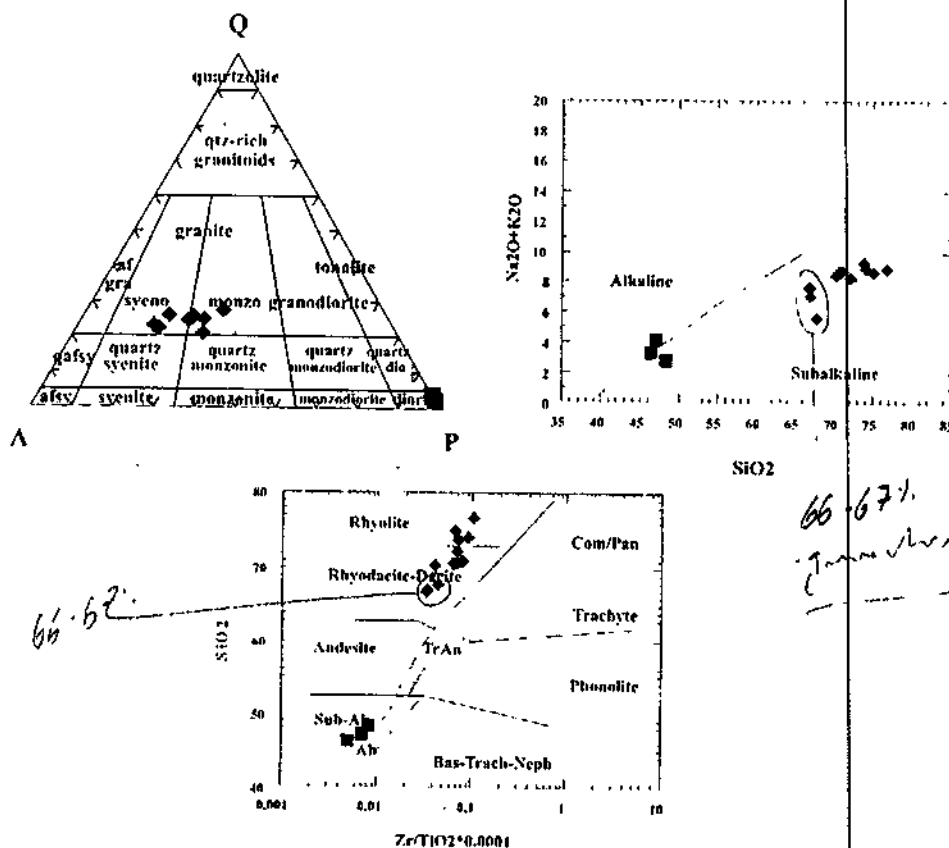


Figura 32 - Distribuição das rochas analisadas quimicamente nos diagramas QAP, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 e SiO_2 versus Zr/TiO_2 . Símbolos: losango azul cheio = rochas sienos a monzograníticas, cruz vermelha = rocha gnáissica do Complexo Cuiú-Cuiú e quadrado verde cheio = rocha gabróica.

O magmatismo que deu origem às rochas monzo a sienógraníticas foi caracterizado como subalcalino e cálcio-alcalino, respectivamente, nos diagramas $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 e AFM (A = Na_2O , F = FeOT , M = MgO) propostos por Irvine & Baragar (1971) (Figuras 33). Para as rochas gabróicas o magmatismo foi classificado como subalcalino a levemente alcalino do tipo toleítico.

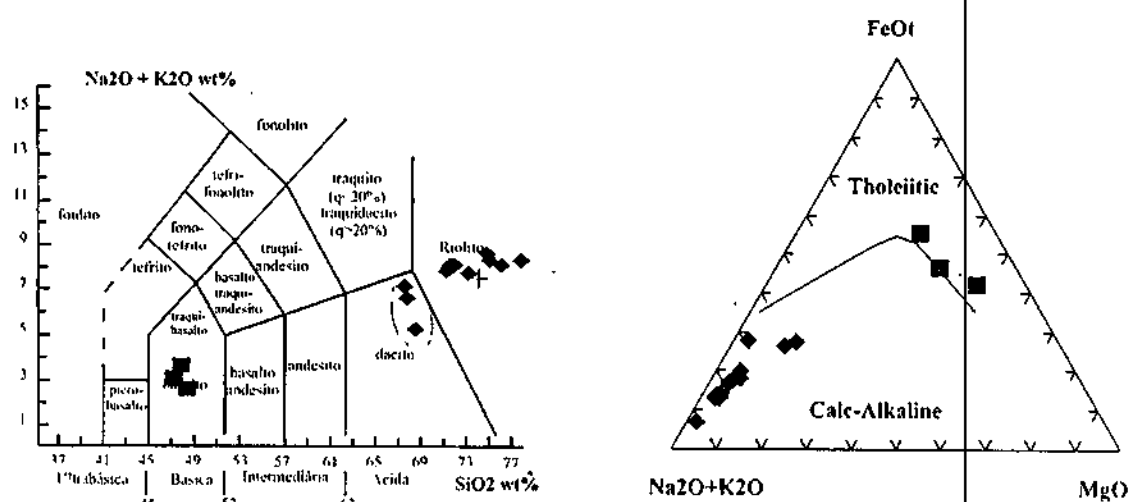


Figura 33 - Distribuição das rochas analisadas quimicamente nos diagramas $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 e AFM. Símbolos: losango azul cheio = rochas monzo a monzograníticas, cruz vermelha = rocha gnáissica do Complexo Cuiú-Cuiú e quadrado verde cheio = rocha gabróica.

Quanto à saturação em alumina e álcalis, as rochas do entorno do depósito do Garimpo do Edu foram classificadas no diagrama proposto por Maniar & Piccoli (1989), que relaciona as proporções moleculares das razões $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, identificadas, respectivamente, como A/CNK e A/NK, segundo os índices de Shand (Metaluminoso: $\text{A/NK} > 1,0$ e $\text{A/CNK} < 1,0$; Peralcalino: $\text{A/NK} < 1,0$; Peraluminoso: $\text{A/CNK} > 1,0$). As amostras se dispõem na linha limite dos campos metaluminoso e peraluminoso, sugerindo a transição de um caráter metaluminoso a levemente peraluminoso, enquanto os dados para os gabros indicam um caráter essencialmente metaluminoso (Figura 34).

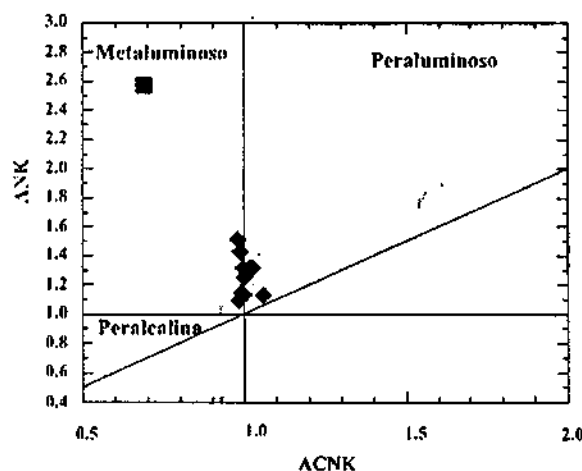


Figura 34 - Diagrama A/CNK x A/NK para as rochas do entorno do Garimpo do Edu. Símbolos: losango azul cheio = rochas sieno a monzograníticas, cruz vermelha = rocha gnáissica do Complexo Cuiú-Cuiú e quadrado verde cheio = rocha gabróica.

6.3 COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS MAIORES E MENORES

As rochas que hospedam a mineralização do depósito do Garimpo do Edu, apresentam uma homogeneidade composicional, com valores de SiO_2 entre 66% e 76%. Utilizando SiO_2 como índice de diferenciação em diagramas de Harker é possível notar as tendências de variações coerentes para a maioria dos óxidos, conforme observado na figura 31, o que sugere uma sequência evolutiva normal.

Tendências de diferenciação lineares negativas são observadas entre SiO_2 para Al_2O_3 e para os elementos presentes em minerais máficos (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , P_2O_5 , TiO_2). A considerável diminuição do Al_2O_3 pode estar ligada ao fato de que o aumento de SiO_2 das rochas resulta em incrementos maiores nos teores modais de quartzo quando comparados aos de feldspato alcalino e plagioclásio, suficientes para determinar a correlação negativa entre estes dois elementos (Figura 35 A). Os decréscimos dos teores de Fe_2O_3 , MgO , MnO , CaO , P_2O_5 e TiO_2 com a diferenciação devem-se ao empobrecimento em minerais máficos primários, tais como hornblenda, biotita, ilmenita-magnetita, titanita e apatita. A correlação negativa entre SiO_2 e CaO (Figura 35 D) justifica-se também devido ao CaO presente nos granitos mais evoluídos, formar a molécula de anortita dos plagioclásios, mineral que tende a se tornar mais sódico com a diferenciação.

Dos álcalis, o K_2O representa o único óxido que evidencia correlação positiva com SiO_2 , onde seus teores variam de 2,9% a 6,3% indicando a coerência da sua distribuição com

a diferenciação. Esta correlação é corroborada pela diferenciação linear positiva definida pelo Rb versus SiO_2 (Figura 36 C). Os teores referentes a Na_2O apresentam uma discreta tendência de diferenciação linear negativa, o que não é característico de evolução magmática normal.

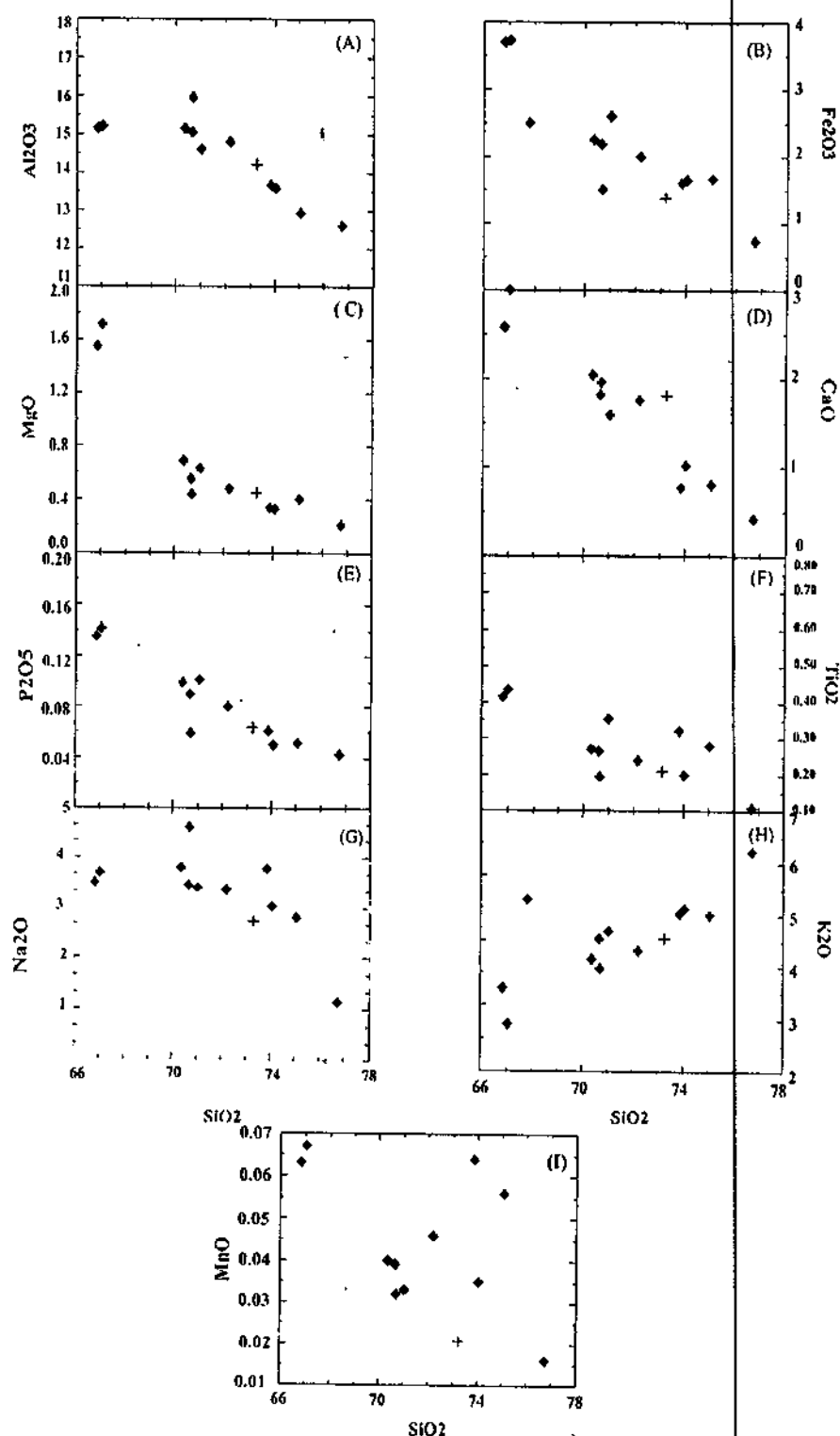


Figura 35 - Diagrama de Harker de óxidos versus sílica para as rochas do entorno do Garimpo do Edu. Símbolos: losango cheio azul = rochas sienite a monzograníticas, cruz vermelha = rocha gnáissica do Complexo Cuiú-Cuiú.

Os elementos menores e traços quando plotados em relação ao índice de diferenciação (SiO_2), na maioria dos casos, não apresentam correlações muito definidas. Porém o Sr, Y e V mostram decréscimos com o aumento da diferenciação (Figura 36). O empobrecimento em Sr com o enriquecimento de SiO_2 (Figura 37 B), determina tendências coerentes com a diferenciação envolvendo o fracionamento de plagioclásio, o que também está evidenciado pelo diagrama $\text{CaO} \times \text{SiO}_2$. O empobrecimento em Y e V (Figura 36 D, F) pode ser reflexo do aprisionamento, destes elementos, nos retículos cristalinos de determinados minerais acessórios que com estes apresentam afinidades, tais como zircão, magnetita, entre outros.

O Rb, Nb e Nd, apesar da aparente dispersão de seus pontos, apresentam uma sutil correlação positiva quanto a diferenciação, não sendo possível observar uma correlação significativa para os outros elementos estudados (Figura 36 C, E, G).

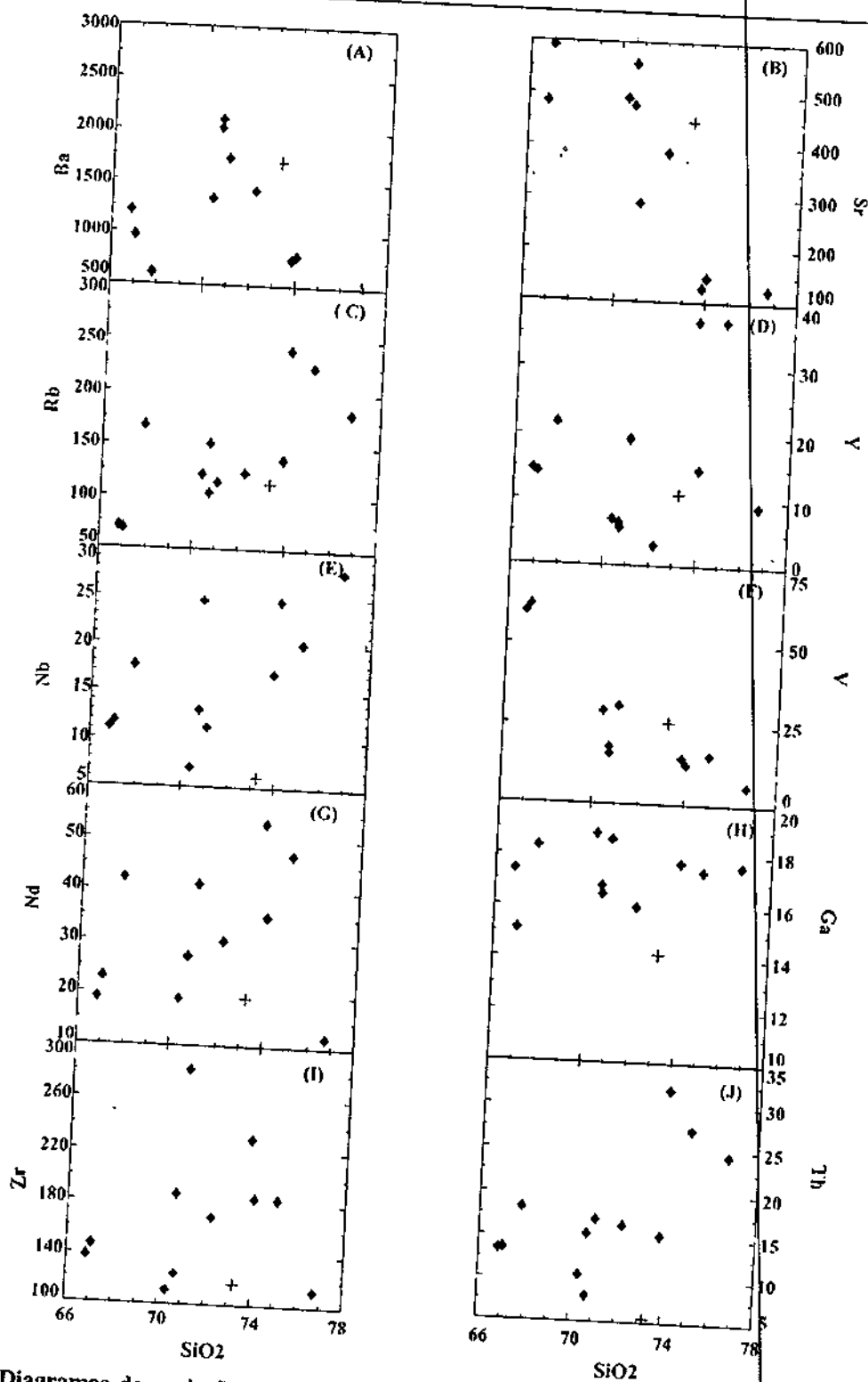


Figura 36 - Diagramas de variação dos elementos menores/traços (mg g^{-1}) versus sílica (%) para as rochas do entorno do Garimpo do Edu. Símbolos: losango cheio azul = rochas ígneas monzograníticas, cruz vermelha = rochas gnáissicas do Complexo Cuiú-Cuiú.

Para os diagramas que refletem a cristalização dos metais, observa-se um fracionamento de Ni evidenciando o seu empobrecimento na evolução magmática e, uma

considerável correlação positiva entre SiO_2 para U, Pb e Ce (Figura 37 A, C, G). Os demais elementos plotados (Cr, Cu, Zn, La) mostram-se, em geral, dispersos.

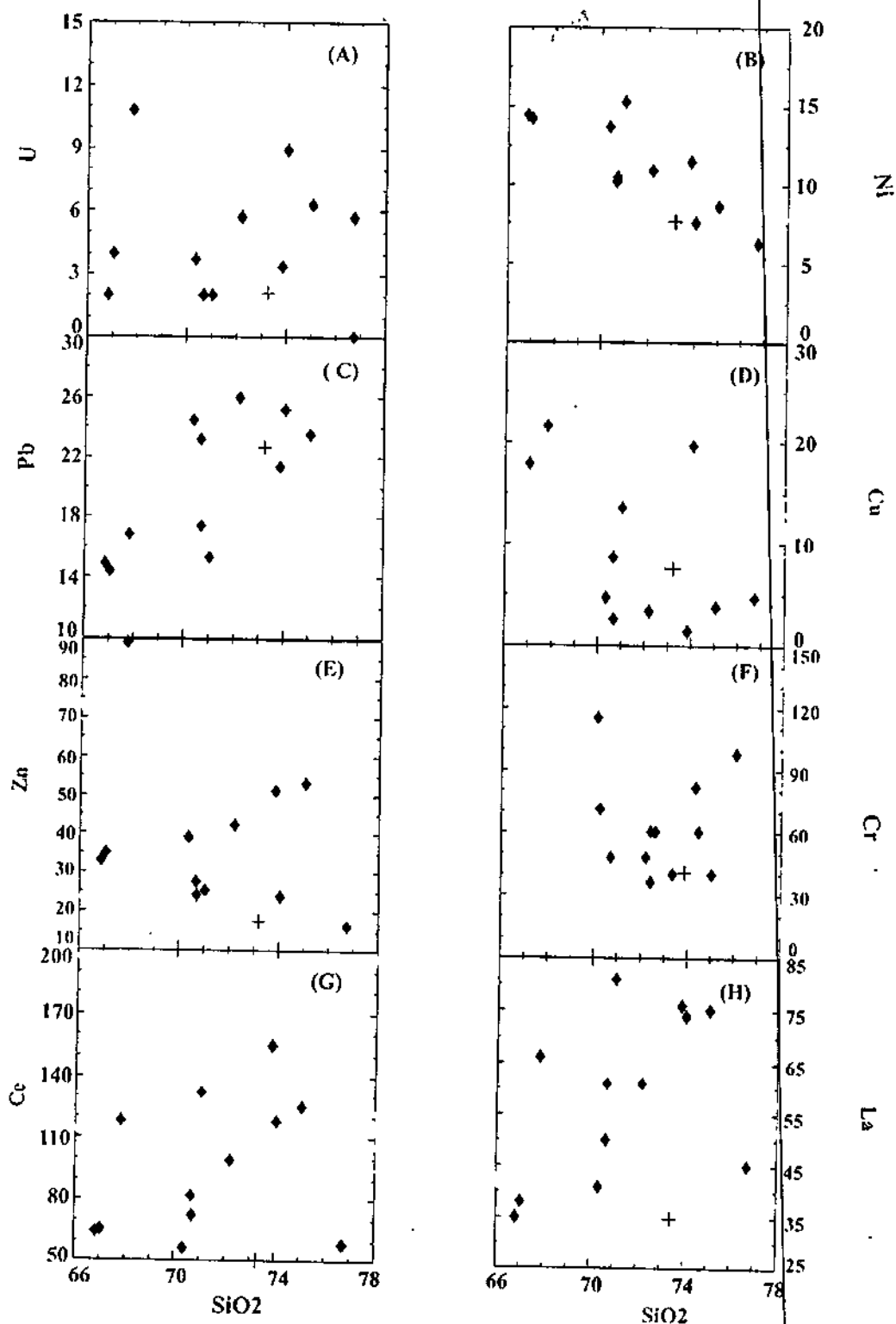


Figura 37 - Diagramas de variação dos elementos menores/traços (mg g^{-1}) versus sílica (%) para as rochas do entorno do Garimpo do Edu. Símbolos: losango cheio azul = rochas sieno a monzograníticas, cruz vermelha = rochas gnáissicas do Complexo Cuiú-Cuiú.

Com relação ao estudo das rochas gabróicas encontradas na área do Garimpo do Edu, os resultados químicos obtidos não serão aqui apresentados, devido ao comportamento pouco satisfatório exibido pelo índice de diferenciação (Mg) em relação aos demais elementos analisados.

6.4 AMBIENTE GEOTECTÔNICO E EVOLUÇÃO MAGMÁTICA

O provável ambiente de formação para as rochas hospedeiras da mineralização do Garimpo do Edu, evidenciado pelas análises químicas, coincide com o campo dos Granitos de Arco Vulcânico proposto por Pearce *et al.* (1984). O mesmo acontece para a amostra representativa do Complexo Cuiú-Cuiú, a qual é aproximadamente 200 Ma mais antiga que as rochas hospedeiras do depósito (Figura 38).

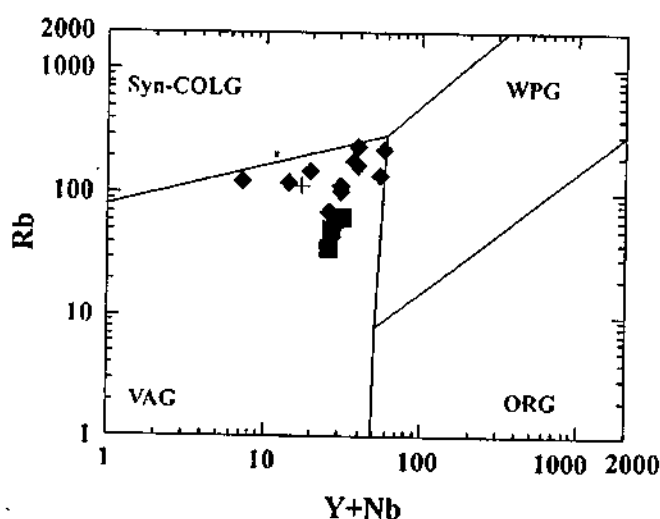


Figura 38 - Diagrama discriminante de ambiência tectônica - Log Y + Nb versus Log Rb. Símbolos: losango azul cheio = rochas sieno a monzograníticas, cruz vermelha = rocha gnáissica do Complexo Cuiú-Cuiú e quadrado verde cheio = rocha gabróica.

A evolução magmática foi estudada em base ao comportamento dos elementos traços K_2O , Rb, Ba, Th, Nb, Ce, Zr e Y normalizada aos valores dos Granitos de Cordilheira Meso-Oceânica (Figura 39).

Novamente o padrão apresentado pelas rochas hospedeiras é paralelizado pelo padrão representativo do Complexo Cuiú-Cuiú e caracterizados por enriquecimento nos elementos litófilos de baixa carga (LILE), K, Rb, Ba e Th, valores próximo a unidade para os

elementos de alta carga (HFSE), Nb, Ce e Zr e empobrecimento significativo de Y. Além disto, é notável a anomalia negativa de Nb em relação ao Th e Ce.

O enriquecimento em elementos litófilos de baixa carga em relação ao Granito de Cordilheira Meso-Oceânica sugere envolvimento de crosta continental, podendo ser explicado tanto pela contaminação crustal de um magma primário como pela fusão parcial da crosta continental pré-existente. O comportamento dos HFSE, especialmente Nb, Ce e Zr propõem um componente mantélico para as rochas estudadas, enquanto que, a anomalia negativa de Nb tem sido interpretada como indicação de fluídos derivados da desidratação de placa oceânica em regime de subducção (Pearce & Peate, 1995). O forte empobrecimento em Y é sugestivo da presença de granada no resíduo da fusão mantélica o que indica fusão em níveis rasos.

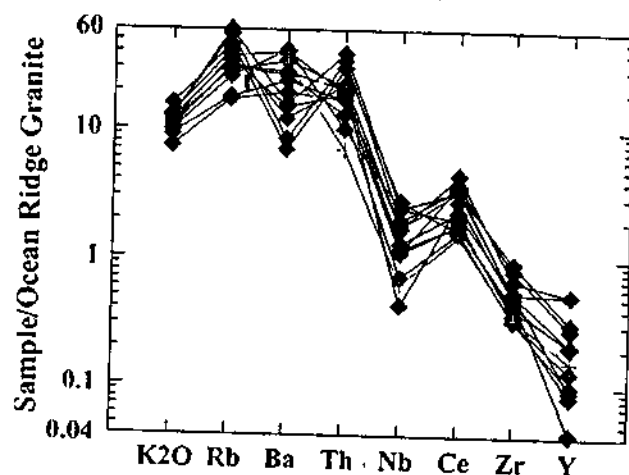


Figura 39 - Diagrama de distribuição dos elementos traços presentes nas rochas do entorno do Garimpo do Edu, normalizados em relação a granitos de cordilheira meso-oceânica. Símbolos: losango azul cheio = rochas sienito monzograníticas, cruz vermelha = rocha gnáissica do Complexo Cuiú-Cuiú.

A integração destes dados sugere uma complexa interação entre fontes mantélicas e crustais o que pode ser tentativamente explicado por um modelo que envolve três fases, a saber: 1) desidratação e fusão parcial de crosta oceânica, 2) interação deste fluído com magma derivado da fusão parcial do manto em níveis rasos e 3) contaminação com material crustal pré-existente, seguida de fracionamento de plagioclásios e minerais máficos em nível crustal raso (Figura 40).

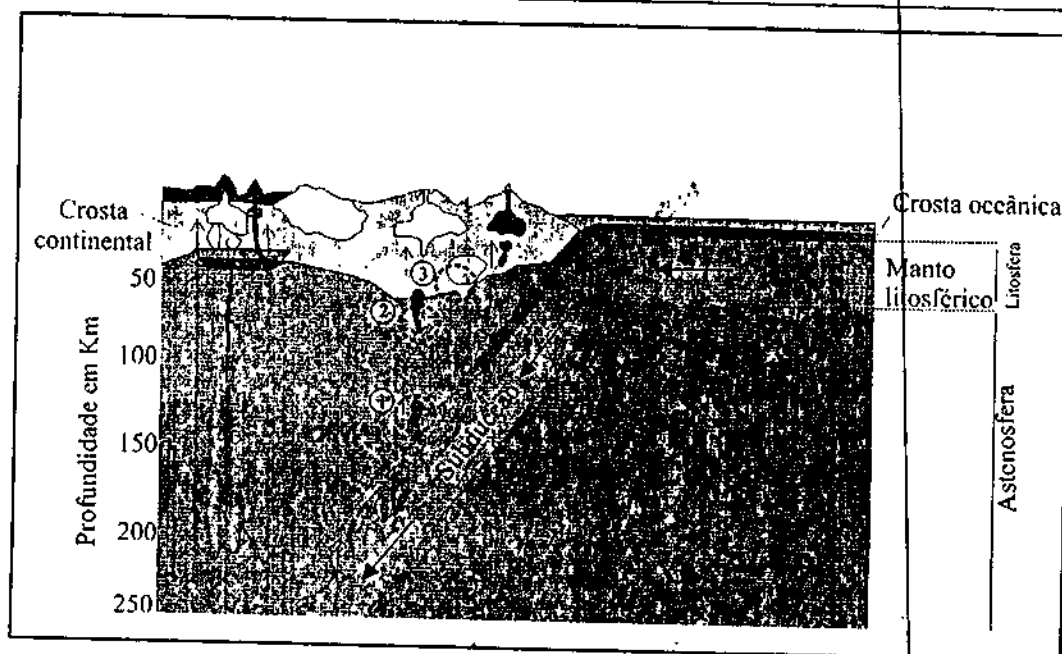


Figura 40 - Modelo esquemático ilustrando o ambiente gerador com as três fases que afetam a composição do arco magmático.

A similaridade entre os padrões geoquímicos das rochas hospedeiras e da análise representativa do Complexo Cuiú-Cuiú acena para uma possibilidade adicional qual seja, a derivação das rochas hospedeiras pela fusão parcial de crosta continental de composição química similar a das rochas do Complexo Cuiú-Cuiú. Entretanto, a confirmação de uma ou outra possibilidade é dependente da disponibilidade de dados isotópicos de Nd e Sr, o que não aconteceu neste trabalho.

CAPÍTULO 7: Evolução hidrotermal

7.1 INTRODUÇÃO

A interpretação petrográfica do Furo FTN 01 evidenciou a evolução do hidrotermalismo em base a atuação de três processos pós-magmáticos, possivelmente contemporâneos, (Figura 41) identificados como:

1) Cataclase em regime extensional, possivelmente de expressão local; 2) alteração hidrotermal a clorita+sericita+epidoto e mineralização principal preenchendo e/ou substituindo a rocha pré-existente e 3) brechação e venulação com preenchimento de carbonato e mineralização secundária associada.

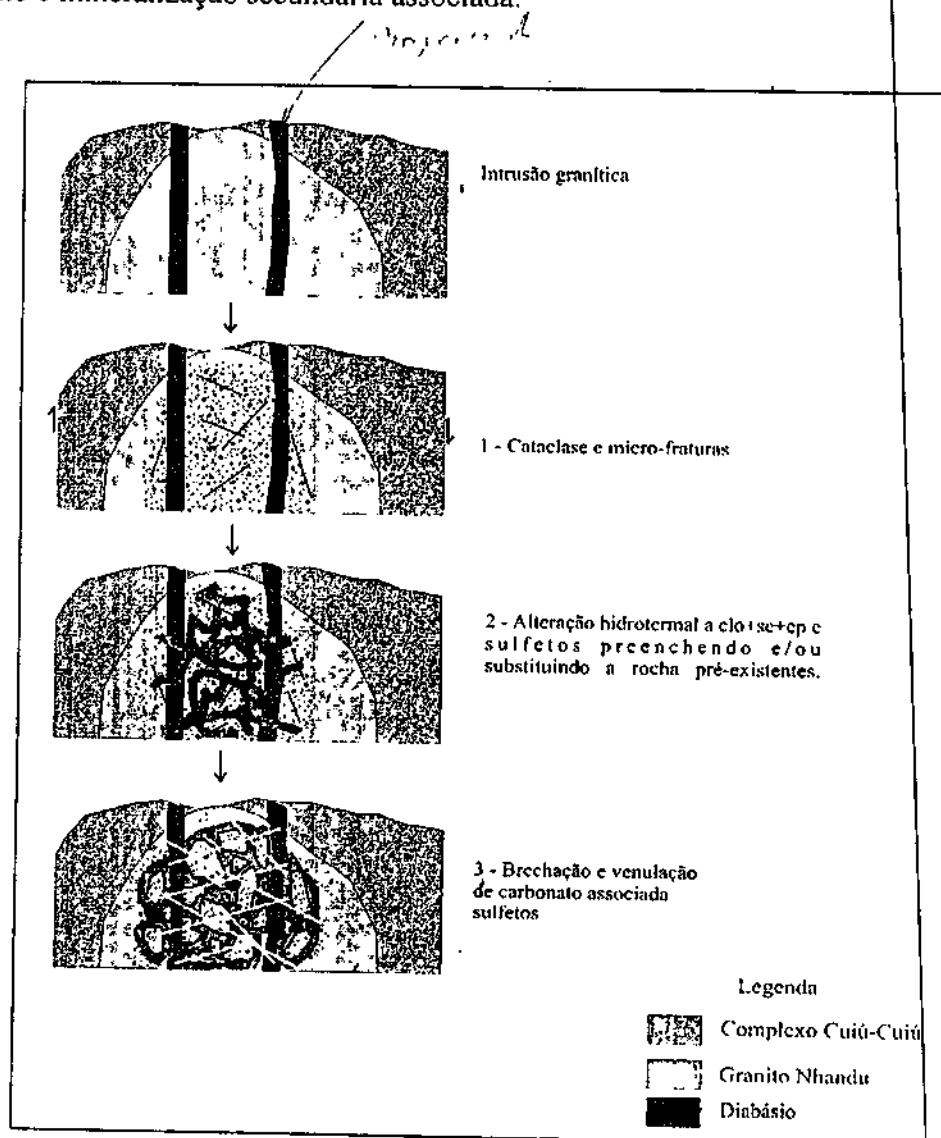


Figura 41 - Esquemática dos três processos ocorridos nas rochas hospedeiras da mineralização do Garimpo do Edu.

As rochas graníticas do Garimpo do Edu foram, inicialmente, afetadas por uma cataclase local, evidenciada pela fragmentação e presença de clastos angulosos de minerais que constituíam a rocha pré-existente.

Devido a percolação de fluídos hidrotermais que atingiram a intrusão e os diques de diabásio, ocorreu a formação de uma paragênese de alteração, identificada pela presença de minerais como epidoto, sericita e clorita associados a sulfetos.

A brechação atinge principalmente a rocha granítica que anteriormente havia sido afetada pela cataclase. Neste estágio, as brechas estão sendo preenchidas pela paragênese de alteração, com o predomínio da clorita, que ocorre como cimento em toda a matriz, enquanto sericita e epidoto caracterizam-se como minerais de alteração dos minerais pré-existentes. O surgimento de vênulas (ou micro-vênulas) de carbonato deve-se a processos de alteração hidrotermal que cortam tanto as rochas graníticas quanto as diabásicas.

CAPÍTULO 8: Considerações Finais

8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado na área do Garimpo do Edu possibilitou a caracterização geológica das rochas hospedeiras da mineralização aurífera, identificadas como sienos e monzogranitos, pertencentes à unidade estratigráfica Granito Nhandu. Estas rochas estão associadas a diques máficos tardios, que podem estar relacionados aos de diabásios encontrados no furo FTN 01. A associação das rochas graníticas e gabróicas sugere um magmatismo de natureza bimodal que afetou a área do garimpo.

As rochas graníticas foram afetadas por processos de alteração hidrotermal que também atingiram os diabásios adjacentes. Esta alteração resultou na identificação de três eventos distintos verificados ao longo do furo de sondagem, a saber: zona clorítica, zona sericitica e zona cataclástica, além do reconhecimento da zona diabásica e zona granítica.

Os resultados químicos obtidos indicam rochas graníticas oriundas de um magmatismo subalcalino a cálcio-alcalino enquanto que, para as rochas gabróicas o magmatismo é subalcalino a levemente alcalino do tipo toleítico. Para tanto, as rochas graníticas sugerem um caráter metaluminoso a levemente peraluminoso, onde os gabros mostram caráter essencialmente metaluminoso.

O comportamento de elementos traços e o acentuado enriquecimento em K, Rb, Ba e Th podem indicar o envolvimento de fontes magmáticas crustais e mantélicas. A contaminação de um magma primário pela fusão de uma crosta continental pré-existente evidencia um ambiente de arco vulcânico típico.

As características encontradas nas rochas hospedeiras da mineralização do Garimpo do Edu revelam afinidades geoquímicas análogas as obtidas para as rochas do Complexo Cuiú-Cuiú, entretanto, devido à indisponibilidade de dados isotópicos, entre outros, não foi possível a confirmação definitiva para esta correlação.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO – UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA – ICET
DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS – DRM
CURSO DE GEOLOGIA

CRÁTON – Grupo de Pesquisa em Evolução Crustal e Metalogenia

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOQUÍMICA DAS ROCHAS
HOSPEDEIRAS DO DEPÓSITO DE OURO DO LUIZÃO, NOVO MUNDO, MATO
GROSSO.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

CLECIANI COMELLI

CUIABÁ

29 de Abril de 2005.

CAPÍTULO V

V. GEOLOGIA LOCAL

A geologia local é apresentada com base em informações de campo e estudos petrográficos das rochas hospedeiras do *Depósito do Luizão* e demais litologias a elas relacionadas. Por meio da integração de dados de afloramentos superficiais com importantes informações de amostras de testemunhos de sondagem relacionou-se as unidades encontradas com as descritas em literatura.

Barros *et al.* (2004), com base nas características e especificidades – sobretudo metalogênicas – individualizaram e denominaram os litotipos de natureza granítica, hospedeiros do *Depósito do Luizão*, como Granito Novo Mundo que é cortado por um magmatismo Pré-Uatumã.

V.1. GRANITO NOVO MUNDO

O Granito Novo Mundo constitui a litologia principal da área, ocorrendo a cerca de 9 Km da sede do município homônimo, no Estado de Mato Grosso. Possui proporções de um *stock*, com 7 Km de comprimento por 5 Km de largura, aflorando principalmente na forma de blocos e lajeados que variam entre 50 e 100 m de extensão (Figura 10 A e B). Os caminhamentos de campo permitiram o reconhecimento das variações faciológicas deste corpo granítico.



Figura 10 – Fotografias ilustrando o modo de ocorrência do Granito Novo Mundo, em (A) blocos métricos *in situ* e em (B) lajeados, típicos do Granito Novo Mundo.

Composicionalmente é constituído na porção central do *stock* por uma Fácies Leucogranítica, enquanto que, em direção as suas bordas predomina uma Fácies Biotita Sienogranítica.

O Granito Novo Mundo é constituído de rochas em geral, equigranulares médias a finas, com gradiente de coloração que varia de rosa-claro a vermelho-escuro (Figura 11), contendo enclaves de composição máfica e, mais raramente, cortado por diques aplíticos (Figura 12 A e B).

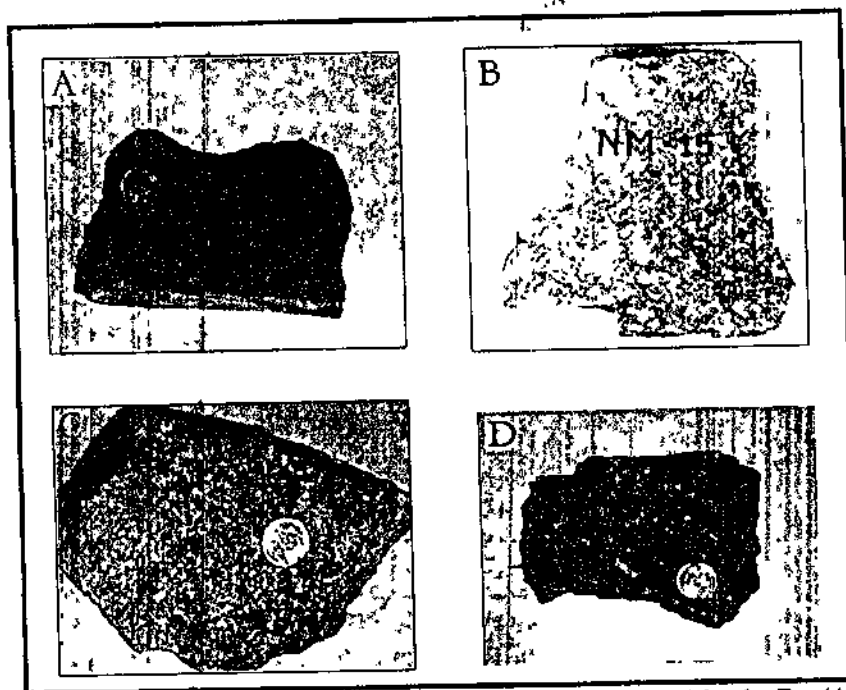


Figura 11 – Prancha mostrando amostras de mão encontradas no Granito Novo Mundo. Em (A) o granito tem cor vermelha forte e quartzo azulado em (B) persiste o quartzo azulado em granito de cor mais clara, em (C) o aspecto mais comumente encontrado no granito e, finalmente, em (D) o granito como se apresenta nas proximidades da borda oeste do stock.

Este corpo é cortado por enxames de diques de diabásio e, subordinadamente, de composição dacítica, sendo denominados de Rochas Associadas neste trabalho. As relações de contato entre o Granito Novo Mundo e as rochas do Complexo Xingu não foram observadas em campo, no entanto, é sugerido por Barros *et. al.* (2004), que ela seja de caráter intrusivo.

Mineralogicamente está representando por quartzo, comumente azulado, feldspato alcalino, por vezes pertítico, plagioclásio e biotita como mineral máfico. Como paragenese de alteração são encontrados epidoto e muscovita. Os minerais metálicos estão representados principalmente por pirita e calcopirita, apenas como inclusão no primeiro. São citados por Barros *et al.* (2004) galeña disseminada na ganga, sob grãos finos, telureto de prata incluso na pirita e ocorrência de pirita zonada ou com bandas de crescimento.

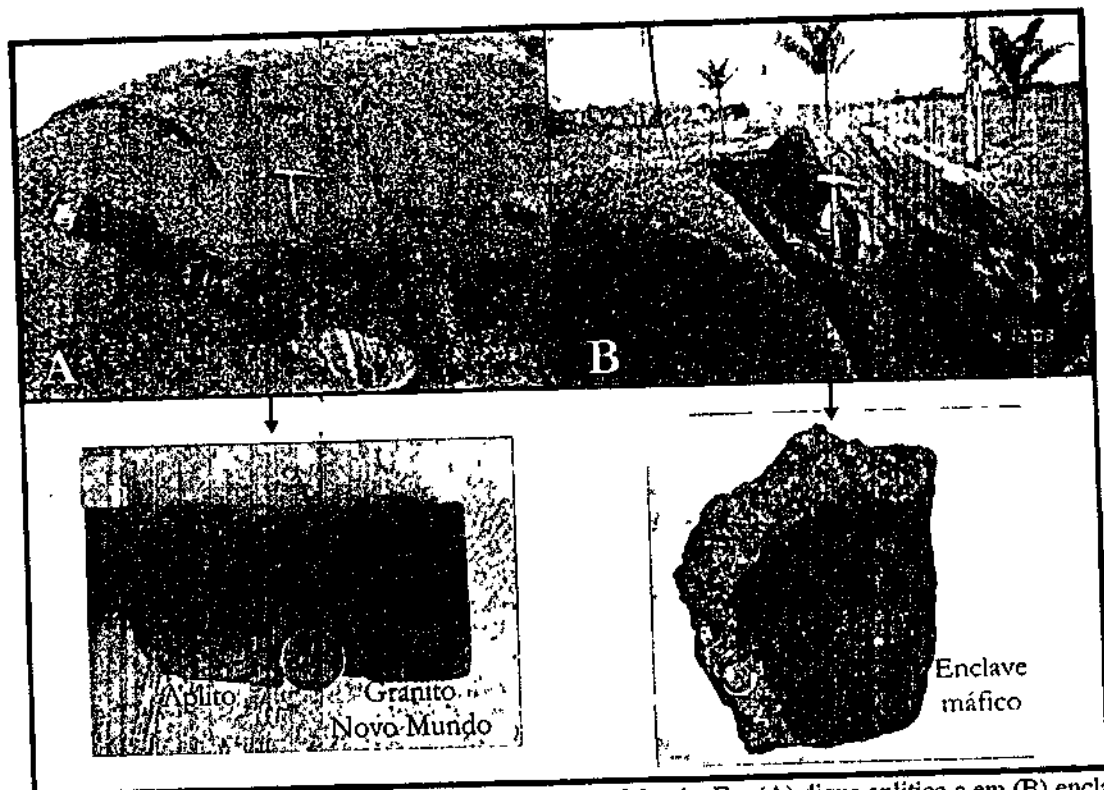


Figura 12 – Feições encontradas em rochas do Granito Novo Mundo. Em (A) dique aplítico e em (B) enclave de tamanho métrico de contorno sub-arredondado.

Dois eventos deformacionais foram identificados no Granito Novo Mundo, um de natureza dúctil-rúptil que afeta o corpo imprimindo à rocha uma foliação penetrativa marcada pela orientação dos cristais de feldspato e quartzo e que varia entre N30E e N20W (Figura 13); e outro, que se manifesta através da ocorrência de fraturas e brechas preenchidas por sílica, que está representado em rochas alteradas hidrotermalmente.

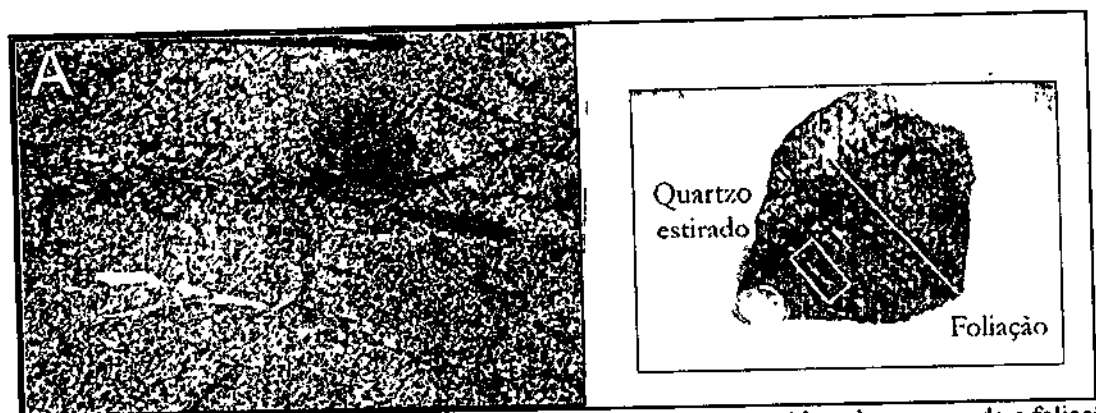


Figura 13 – Quartzo estirado no afloramento em A, e em amostra de mão A', ambos marcando a foliação.

Alterações pós-magmáticas de natureza hidrotermal têm ampla distribuição ao longo de todo *stock*. As rochas que apresentam claras evidências da atuação desses processos ocorrem em regiões onde foram encontradas importantes mineralizações de ouro associados a

sulfetos subordinados como o *Garimpo do Zaneti* e o *Filão do Edeimar*, além do depósito alvo deste trabalho.

Ao Granito Novo Mundo associam-se diabásios e gabros, bem como raros dacitos porfíricos. As primeiras são regionalmente correlacionadas à Suíte Flor da Serra (Abreu Filho & Barros, 1992 e Moreton & Martins, 2000). Essas litologias apresentam-se, no local, sob a forma de diques, falhados, cortando o Granito Novo Mundo. Possuem dimensões reduzidas, com espessura de poucos metros e extensão variável (Figura 14).



Figura 14 – Diques que afloram cortando o Granito Novo Mundo. Detalhes evidenciam o contato com a encaixante.

Os diabásios e gabros têm cor cinza-escura, com tonalidades esverdeadas, estrutura maciça e compõem na área morfologia arrasada com solo de tonalidade avermelhada. Subordinadamente foram encontrados dacitos porfíricos de cor cinza-clara, com pórfiros, em geral, de feldspato alcalino, imersos em matriz fina (Figura 15 A e A'), ocorrendo em bloco isolado de cota topográfica elevada, em sequência de morrotes alinhados, a oeste da área de estudo.

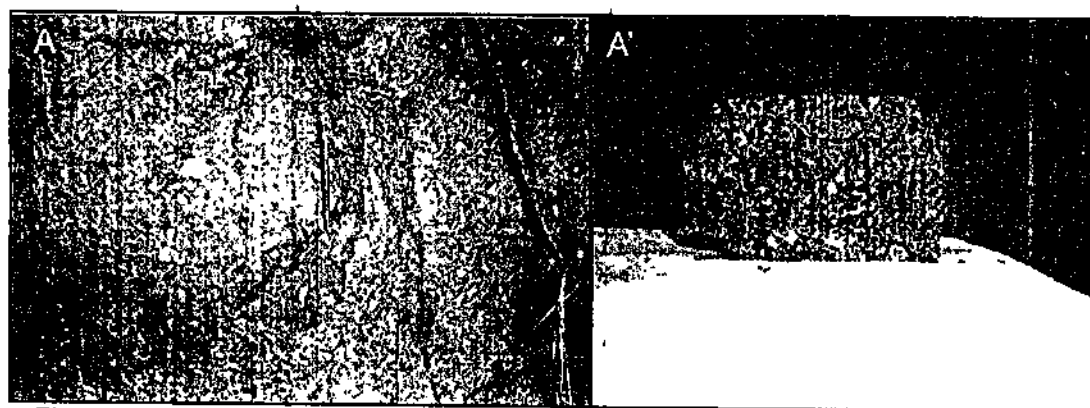


Figura 15 – Em A dacito porfírico em afloramento restrito. Em A' mostra-se os pórfiros que são predominantemente cristais alterados de feldspato alcalino.

V.2. PETROGRAFIA

Os dados petrográficos, obtidos a partir do estudo de 10 lâminas delgadas, permitiram a individualização de três fácies composicionais das rochas hospedeiras do *Depósito do Luizão*; enumeradas abaixo. No entanto, a primeira e a terceira fácies apresentam também rochas com aspecto estruturalmente diferenciado, caracterizando uma foliação protomilonítica, estando todas descritas no texto a seguir.

Fácies Leucogranito;

Fácies Biotita Sienogranito;

Fácies Titanita-Biotita-Sienogranito.

V.2.1. Fácies Leucogranito

Ao exame óptico, as rochas que constituem a Fácies Leucogranito apresentam-se equigranulares, finas a médias, com contatos serrilhados entre os grãos exibindo, localmente, silicificação e argilização. Os minerais máficos não excedem 5% do volume da rocha e, portanto permite sua caracterização como um leucogranito.

A mineralogia primária consiste de quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e biotita; tendo como acessórios opacos, zircão e titanita, e como minerais de alteração, muscovita, sericita, epidoto, argilo-minerais e clorita.

O quartzo (40%) apresenta extinção ondulante, em grãos preferencialmente anédricos. Ocorre, não raramente, como produto do processo de silicificação, em microvenulações (Figura 16).



Figura 16 – Fotomicrografias mostrando as formas de ocorrência do quartzo na Fácies Leucogranito, à esquerda com deformação e extinção ondulante e à direita recristalizado pela protomilonitização. Ambas com polarizadores cruzados.

O feldspato alcalino (27%) exibe-se com geminação combinada (albita+periclina) sendo classificado como microclínio. Ocorre, comumente, em grãos anédricos a subédricos com 0.6 mm de dimensões médias, pertíticos com a fase hóspede (plagioclásio sódico) disposta em filmes e grãos.

O plagioclásio (25%), correspondente ao oligoclásio, apresenta-se em cristais subédricos a anédricos, em geral, menores que 2 mm, comumente sericitizados e, por vezes, com zonação normal, inferida por um maior conteúdo de produtos de alteração no núcleo. Ocasionalmente, a geminação albita é descontínua, ocorrendo preferencialmente nas bordas dos cristais.

A biotita (3 %) apresenta-se na forma de palhetas de no máximo 0,4 mm, ou quando preenchendo vênulas, pode medir até 0.8 mm. Mostra pleocroísmo variando de verde-escuro até verde-claro.

Os opacos constituem menos de 1 % da rocha, ocorrendo em cristais euédricos a subédricos, preferencialmente, na forma cúbica e/ou ortorrômbica e também como intercrescimento simplectítico. Estão freqüentemente associados às vênulas preenchidas por biotita, clorita e epidoto.

O zircão (< 1%) exibe-se em cristais de forma prismática e, às vezes, zonado, em cristais subédricos inclusos na biotita, onde forma halos pleocróicos.

A titanita representa menos de 1% da rocha e ocorre em cristais de cor marrom-escuro, euédricos, de forma romboédrica.

A apatita constitui um mineral acessório raro e ocorre em cristais euédricos aciculares de birrefringência baixa, inclusa nos feldspatos.

A muscovita/sericita (< 1%) ocorre como finas palhetas incolores de alta birrefringência. Substitui de forma pervasiva os cristais de plagioclásio, e parcialmente, o feldspato alcalino, tanto nas bordas, como em suas geminações e clivagens.

O epidoto (2 %), em grãos de até 0.2 mm de tamanho, incolores, de relevo forte e alta birrefringência, subédrico a anédrico, representa um produto de saussuritização do plagioclásio.

A clorita apresenta-se em palhetas anédricas, com pleocroísmo variando de verde até amarelo-claro e cor de interferência azul-berlín, representando o principal produto de alteração da biotita. Ocorre comumente associada a opacos e contornando cristais de pirita.

Quando protomilonitizadas, as rochas da fácies Leucogranito apresentam uma foliação incipiente marcada por porfiroclastos de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio margeado grãos de granulação fina a média, de quartzo.

O quartzo apresenta-se com extinção ondulante ou constituindo *ribbons*. Os porfiroclastos de feldspato alcalino estão sericitizados em diferentes graus de substituição. O plagioclásio também sericitizado, exibe lamelas de geminação em *kinks* evidenciando

deformação dúctil (Figura 17) e, por vezes, apresenta descontinuidades cristalinas preenchidas por subgrãos de quartzo.



Figura 17 – Fotomicrografia com polarizadores cruzados da Fácies Leucogranito mostrando o plagioclásio com suas lamelas em *kink*.

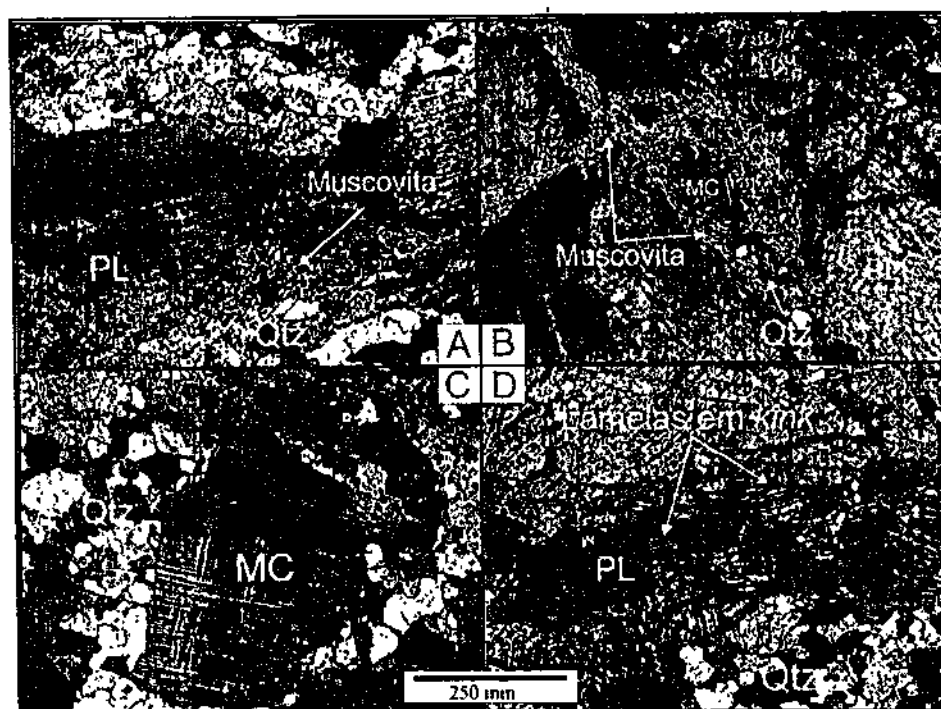


Figura 18 – Prancha de fotomicrografias com polarizadores cruzados da Fácies Leucogranito mostrando: A e B - a muscovita preenchendo vênulas; C porfiroclasto de feldspato alcalino (microclínio) exibindo geminação em grade, margeado por grãos de quartzo recristalizado; D - lamelas de geminação do plagioclásio em *kink*.

V.2.2. Fácies Biotita Sienogranito

Ao exame óptico, as rochas desta fácies apresentam textura equigranular média a fina. A mineralogia essencial é formada por quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino e biotita; os minerais acessórios estão representados por opacos e zircão, bem como, por sericita e clorita constituindo a paragênese secundária

O quartzo (30 %) é a fase mineral mais abundante e apresenta-se em grãos anédricos exibindo extinção ondulante e contato serrilhado. Constitui as texturas do tipo poiquilítica, em

cristais de biotita, e textura mirmequítica em forma de intercrescimento vermicular no plagioclásio.

O plagioclásio (13%), caracterizado como oligoclásio, ocorre em cristais tabulares e subédricos com dimensões que variam entre 0,4 e 0,5 mm. Ocasionalmente apresenta-se em grãos com geminação albita marginal, também podendo constituir intercrescimento mirmequítico (Figura 19). Mostra-se, por vezes, com processos de sericitização e saussuritização

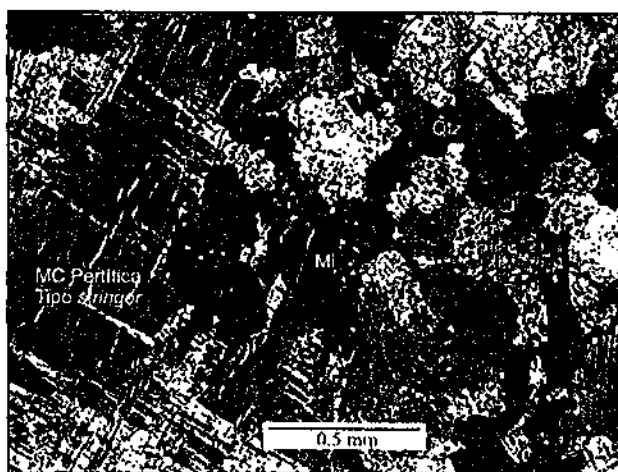


Figura 19 – Fotomicrografia com polarizadores cruzados da Fácies Biotita Sienogranito, mostrando microclínio pertítico com geminação em grade, na interface com cristais de mirmequita.

O feldspato alcalino (37%), identificado como microclínio, anédrico, exibe geminação em grade (combinada albita+periclina) e forma grãos de até 2 mm. Localmente, mostra intercrescimento pertítico em filmes.

A biotita (15%) apresenta-se em palhetas anédricas de até 2mm, com pleocroísmo forte, variando de marrom a verde, com clivagem perfeita em uma direção. Ocorre associada aos minerais opacos ou, por vezes, parcialmente cloritizada (Figura 20).

Os opacos (3%) estão intimamente associados à biotita. Comumente preservam o hábito cúbico, sugerindo tratar-se de cristais de pirita.

O zircão forma pequenos cristais de hábito prismático, incluso em lamelas de biotita, onde, às vezes, desenvolve halos pleocróicos.

A sericita apresenta-se em minúsculas palhetas incolores e de birrefringência alta, como produto de alteração hidrotermal, não pervasiva nos plagioclásio e feldspato alcalino.

A clorita ocorre em agregados lamelares, com pleocroísmo verde claro a verde, substituindo parcialmente a biotita.

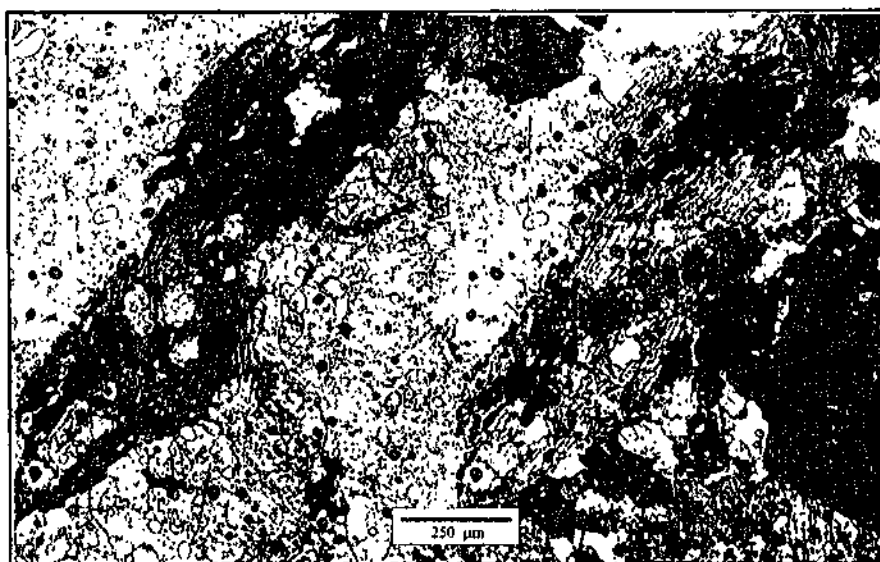


Figura 20 – Fotomicrografias da Fácies Biotita Sienogranito mostrando vênula preenchida por biotita, parcialmente cloritizada, com inclusões de quartzo e opacos, respectivamente, à esquerda e à direita.

V.2.3. Fácies Titanita-Biotita-Sienogranito

As rochas que constituem a Fácies Titanita-Biotita-Sienogranito apresentam estrutura maciça. Opticamente, apresentam textura equigranular média, com micro-vênulas preenchidas por biotita e quartzo recristalizado, em grãos menores que 1 mm. Tem como mineralogia primária cristais subédricos a anédricos de quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e biotita; titanita, opacos, zircão e apatita representam os minerais acessórios, e como paragênese de alteração, clorita, sericita, muscovita e argilo-minerais.

O quartzo (35 %) é o principal constituinte dessa rocha e ocorre em grãos anédricos, com dimensões médias de 2 mm, exibindo, freqüentemente, extinção ondulante. É encontrado, às vezes, de forma vermicular e em gotículas, associado ao plagioclásio, formando textura mirmequítica.

O Feldspato alcalino (35%) exibe geminação em grade (combinada albita+periclina) e evidências de exsolução, o que o caracteriza como microclínio pertítico. A fase hóspede, o feldspato sódico, dispõe-se neste intercrescimento em forma de *stringer*. Por vezes, apresenta-se turvo devido à alteração para sericita e argilo-minerais.

O plagioclásio (10%), de composição correspondente ao oligoclásio, constitui grãos anédricos e subédricos de hábito tabular, com geminação albita e periclina. Ocorre ainda em cristais individuais com intercrescimento vermicular de quartzo, na interface com o microclínio, caracterizando mirmequitas. Apresenta, freqüentemente, evidências de alteração hidrotermal, tais como, sericita, muscovita e argilo-minerais.

A biotita (10%), apresenta-se na forma de palhetas e plaquetas de 1 mm, intersticial e também em micro-vênulas, exibindo pleocroísmo verde-claro a verde-escuro. Comumente,

encontra-se parcialmente cloritizada. A titanita (5%) ocorre em cristais de até 0.7 mm, euédricos a subédricos, de forma romboédrica, de coloração marrom-escura e relevo muito alto (Figura 21).

Os minerais opacos (1%) apresentam hábito cúbico, caracterizado como pirita; ocorrendo principalmente como preenchimento de micro-vênulas.

A clorita (3%), de cor de interferência azul-berlim característico, de pleocroísmo variando de verde-claro até amarelo, está estreitamente associada à biotita como seu produto de alteração.

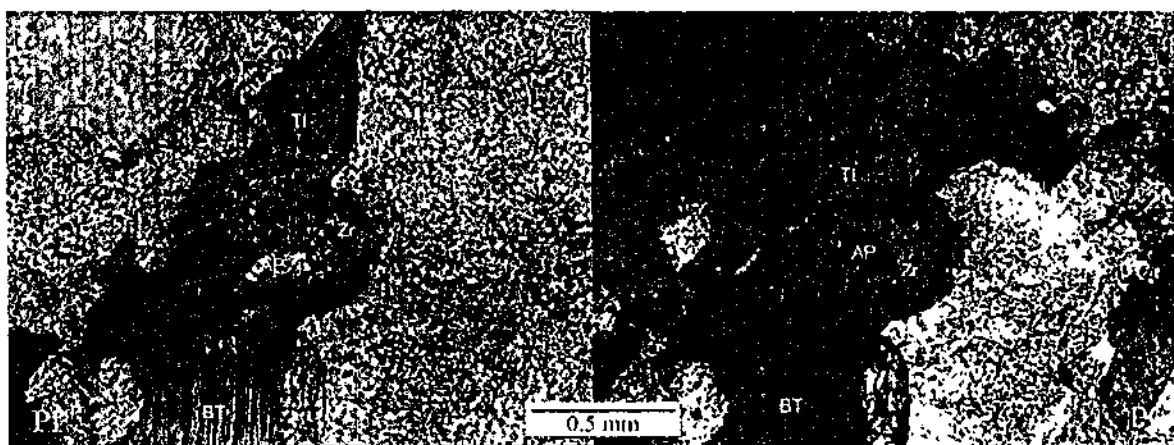


Figura 21 – Fotomicrografia ilustrando a associação titanita, zircão opacos e biotita.

A sericita, a muscovita e os argilo-minerais (< 1%) são produtos de alteração hidrotermal não pervasivos do feldspato alcalino e plagioclásio. Ocorrem, respectivamente, em minúsculas palhetas, lamelas e finíssimas plaquetas.

O zircão (<1%) apresenta-se em cristais menores que 1 mm, subédricos e freqüentemente inclusos na biotita formando halos pleocróicos.

A apatita (< 1%) apresenta-se euédrica, em cristais aciculares inclusos no feldspato alcalino, plagioclásio e biotita.

Texturalmente, esta fácies pode se apresentar protomilonítica, com a mesma paragéneses, diferenciando-se pela textura caracterizada por grãos de quartzo recristalizados de extinção ondulante, às vezes em *ribbons* e porfiroclastos anédricos a subédricos de feldspato alcalino e plagioclásio, e pela biotita, parcialmente cloritizada, disposta em agregados de palhetas preenchendo vênulas, associada a opacos.

V.3. ROCHAS ASSOCIADAS AO GRANITO NOVO MUNDO

V.3.1. Gabros

Ao microscópio, possui granulação média (até 2 mm), com arranjo textural sub-ófitico, onde os piroxênios formam uma trama intersticial às ripas de plagioclásio (Figura 22).

A mineralogia primária consiste plagioclásio, clinopiroxênio e opacos; argilo-minerais, clorita e sericita representam a paragênese de alteração.

O plagioclásio, identificado através do método estatístico de Michel Levy como andesina, apresenta-se em cristais tabulares, euédricos a subédricos, com geminação do tipo albita e periclina. Encontra-se parcialmente substituído por sericita disposta em finíssimas palhetas e por argilo-minerais.

O clinopiroxênio, caracterizado como augita, ocorre em cristais prismáticos, subédricos, de coloração levemente esverdeada, com grau de alteração variável, preenchendo os intertícios entre as ripas de plagioclásio. Alguns cristais podem se apresentar pseudomorfizados, mostrando o seu hábito peculiar totalmente preenchido pelo seu principal produto de alteração nesta rocha, argilo-mineral. Eventualmente, essa augita ocorre como diminutos grânulos reliquiais, dentro de cristais pseudomorfizados de piroxênio.

Os opacos são abundantes (10%) e preferencialmente euédricos a subédrico de forma cúbica e romboédrica, por vezes com intercrescimento simplectítico com piroxênio e plagioclásio.

Os argilo-minerais apresentam-se em um agregado de cristais de hábito fibroso a fibrorradiado. Afetam a rocha pervasivamente causando substituição parcial do plagioclásio.

A clorita ocorre em agregados de pequenas palhetas pseudomorfizando a augita e preenchendo o seu hábito prismático. A sericita, dispersa em minúsculas palhetas, de alta birrefringência, provem da alteração do plagioclásio.

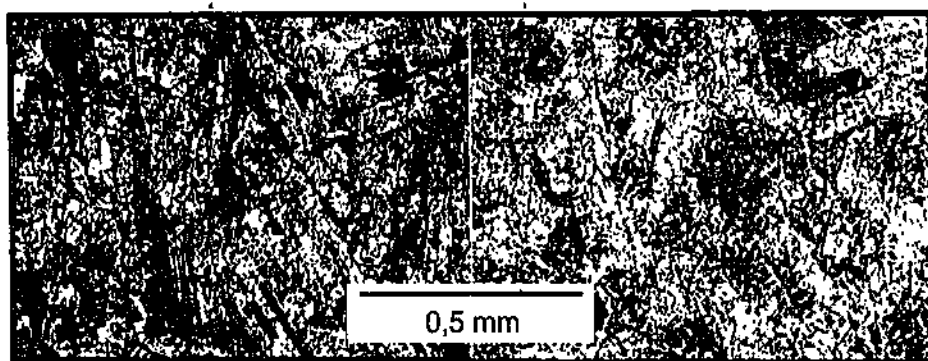


Figura 22 – Fotomicrografias do gabro mostrando uma textura sub-óptica formada por ripas de plagioclásio e augita intersticial, comumente alteradas. Polarizadores cruzados, à esquerda e paralelos, à direita.

V.3.2. Dacito Porfíritico

O Dacito Porfíritico apresenta-se maciço, de coloração cinza-esverdeada. Ao exame óptico, apresenta textura porfírica constituída por fenocristais de quartzo e plagioclásio em matriz fina a média, intensamente alterada. A mineralogia essencial é constituída por plagioclásio, quartzo e feldspato alcalino. Como minerais acessórios são encontrados apatita e

opacos; enquanto a paragênese de alteração é constituída por sericita, carbonato, muscovita e epidoto.

O plagioclásio, determinado através do método de Michel Levy como andesina, possui geminação albita, e constitui preferencialmente os fenocristais, subédricos, turvos a totalmente obliterados por alteração sericítica, bem como, sendo substituído por muscovita (Figura 23).

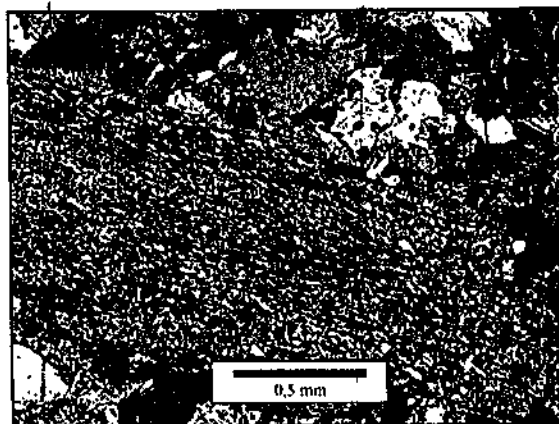


Figura 23 – Fotomicrografia ilustrando o porfiroclasto de plagioclásio alterado com sericita e muscovita.

O quartzo, quando em porfiroclastos tem dimensões médias de 5 mm, variando de anédrico a subédrico, com hábito hexagonal e inclui grande quantidade de minerais pré-existent a sua formação, tais como plagioclásio e biotita. Quando constituinte da matriz tem dimensões médias de 0,5 mm, apresentando-se em grãos geralmente anédricos. Exibe evidências de corrosão magmática tanto nos porfiroclastos quanto nos grãos da mesóstase, principalmente em suas bordas, mas também nos núcleos (Figura 24).

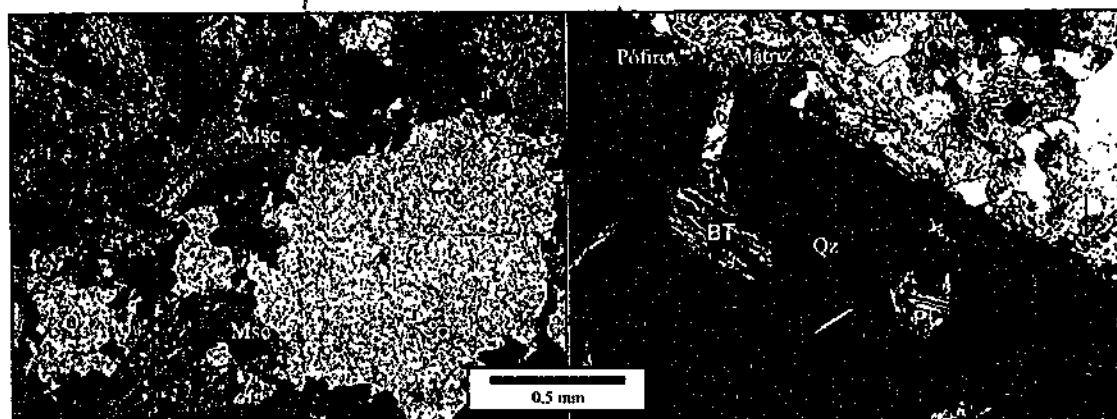


Figura 24 – Fotomicrografias ilustrando aspectos do Dacito Porfíritico, com polarizadores cruzados: a esquerda, fenocristais de quartzo com bordas afetadas por corrosão magmática e muscovita com hábito em roseta; a direita, fenocristal de quartzo, na sua posição de extinção, mostrando corrosão magmática e inclusão de plagioclásio e biotita cloritizada.

O feldspato alcalino, está representado pelo ortoclásio, ocorrendo em microfenocristais anédricos de tamanhos diminutos compondo a matriz.

A muscovita com granulação fina a média, ocorre intersticial onde se apresenta fibrorradiada, em roseta, bem como em lamelas isoladas dispersas na matriz. Representa um produto de alteração de ambos feldspatos e constitui o mais comum mineral de alteração do plagioclásio, pseudomorfizando-o (Figura 25).

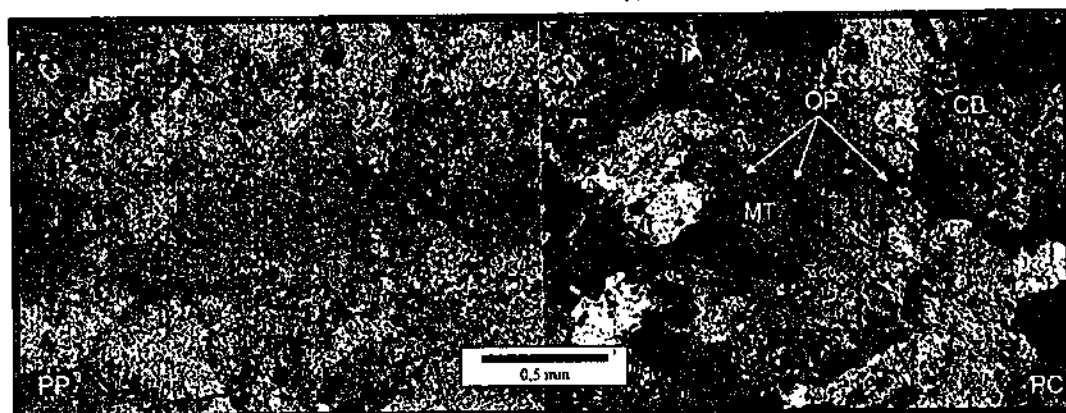


Figura 25 – Fotomicrografia ilustrando a muscovita associada a opacos e os carbonatos.

A sericita constitui palhetas com birrefringência baixa e alterando plagioclásio e feldspato alcalino e associada a muscovita.

A clorita ocorre a partir da alteração total da biotita com pleocroísmo verde-amarelado a verde, em palhetas anédricas.

A apatita é acicular com relevo médio e birrefringência baixa, ocorre inclusive no quartzo e feldspato.

Os opacos desenvolvem-se finamente ao longo do plano de clivagem da biotita.

O carbonato, anédrico, com alta birrefringência, é um dos principais produtos de alteração, compõe a matriz sendo intimamente relacionado ao plagioclásio por transformação deste.

V.4. GEOLOGIA DO DEPÓSITO DO LUIZÃO

O Depósito do Luizão, também conhecido como *Filão do Luizão*, está localizado na porção central do *stock* Granítico Novo Mundo, constituído por mineralização de ouro associada a sulfetos, relacionada a processos hidrotermais. Esse depósito foi classificado e avaliado pelas empresas *Júnior Company (RJK)* e *Companhia Rio Tinto Desenvolvidos Minerais Ltda (RTDM)*, como sendo do tipo disseminado com teores médios de ouro variando entre 0,54 e 10,41 g/t.

A paisagem encontrada no local do depósito é constituída por um relevo movimentado, típico de atividade garimpeira exercida em passado recente, numa área de aproximadamente 200 m², com bordas escavadas formando barrancos abruptos de até 3

metros de topografia negativa. O solo observado *in loco* é do tipo areno-cascalhoso de cor marrom-amarelada.

No estudo das contra-partes de testemunhos de sondagem do furo FNV 02, locado no referido depósito, foi discriminada nas primeiras caixas, correspondentes a profundidades de 0 a 5 m, uma porção constituída por saprólito de coloração marrom-amarelada (Figura 26).



Figura 26 – Fotografia mostrando as porções iniciais do FNV 02, alteradas para saprólito.

Ao longo do furo, os testemunhos de sondagem são, à primeira vista, muito semelhantes as litologias encontradas em afloramentos no entorno do depósito. Nele basicamente existem duas litologias distintas, a principal correspondente ao Granito Novo Mundo tem em geral, tonalidades vermelhas, granulação fina a média e, mineralogicamente, apresentam quartzo azulado, feldspato alcalino e sulfetos preenchendo bolsões, em “Boxworks” e disseminados (Figura 27). Em linhas gerais, o granito descrito nos testemunhos de sondagem é muito semelhante àquele encontrado no entorno do depósito, todavia, com o detalhamento das descrições, foi possível estabelecer diferenças petrográficas ao longo dos 60,00 m de contrapartes do FNV 02.

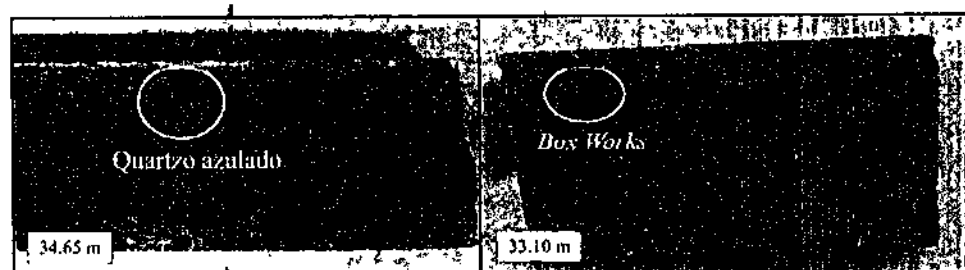


Figura 27 – Fotografia de amostras de testemunhos do Granito Novo Mundo, com quartzo azulado e sulfetos em *boxworks*. Profundidade identificada no canto esquerdo inferior de cada foto.

A outra litologia, presente no furo, está representada em estreitas faixas de até 3 m de comprimento, constituídas por diabásio (Figura 28) de cor cinza escuro, afanítico, com vênulas preenchidas por sílica amorfa, o qual também foi encontrado nas proximidades do Depósito do Luizão, cortando abruptamente o Granito Novo Mundo em ambas as situações.

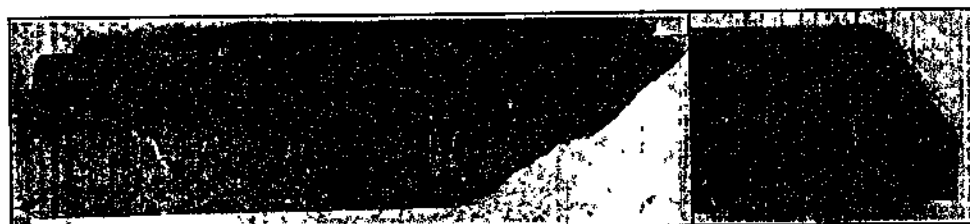


Figura 28 – Aspecto macroscópico do diabásio encontrado no furo analisado.

As alterações por fluidos, via de regra, estão representadas em toda a coluna de amostragem do furo FNV 02, na forma de sericitização e cloritização, que afetam a rocha com variável intensidade. A partir das informações resgatadas dos testemunhos de sondagem confeccionou-se um log (perfil) do furo de sondagem do *Depósito do Luizão* (Figura 29). As descrições macroscópicas detalhadas de toda a coluna do testemunho FNV 02 são apresentadas na forma de Anexo (I).

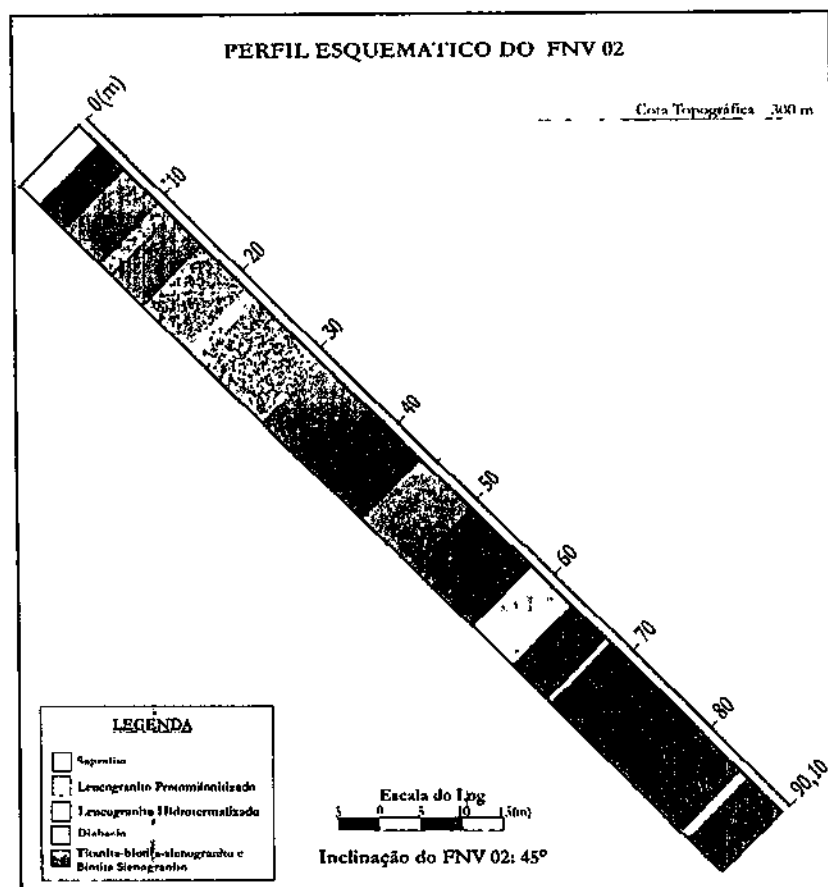


Figura 29 – Desenho esquemático do Log do furo FNV 02, de 90,10 m de comprimento, marcando as principais variações litológicas, a partir de uma cota topográfica de 300 m.

V.5. PETROGRAFIA DO FURO FNV 02

V.5.1. Granito Novo Mundo

Predomina na coluna de amostragem do FNV 02 a Fácies Biotita Sienogranito, que no furo ocorre protomilonitizada, porém as zonas mineralizadas estão relacionadas à Fácies Leucograníticas.

Com relação às amostras do entorno do *Depósito do Luizão*, os testemunhos de sondagem são distintos nos seguintes aspectos: (i) empobrecimento de cristais de titanita, (ii) a alteração hidrotermal ocorre pervasivamente e (iii) aumento de veios subverticais com preenchimento por quartzo. Foram também encontrados, restritos aos veios, quartzo com feições de zonação e geminação.

I.1.1. Fácies Biotita Sienogranito

Essa rocha apresenta textura porfiroclástica, constituída por quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio de até 0,4 mm, com orientação discreta. A matriz é composta predominantemente por quartzo de granulação fina. A biotita representa praticamente toda a porção máfica da rocha, tendo zircão como acessório. Como minerais de alteração ocorrem sericita e clorita. A silicificação é pervasiva e preenche fraturas e descontinuidades no plagioclásio e feldspato alcalino.

O feldspato alcalino, microclínio, constitui porfiroclastos subédricos com cerca de 1 mm, com geminação em grade (combinada albita+periclina), exibindo diferentes graus de substituição por sericita principalmente ao longo de descontinuidades estruturais. Ocorre com inclusões de quartzo e com textura de desmisturação, mostrando a fase sódica em cristais subédricos. Próximo da zona mineralizada os fenocristais de microclínio apresentam intensa alteração, sobretudo ao longo de fraturas, geminações e clivagens (Figura 30).



Figura 30 – Fotomicrografia da Fácies Biotita- Sienogranito Protomilonitizada, ilustrando um fenocristal de microclínio alterado e fraturado com deslocamento de lamelas de geminação, margeado por quartzo recristalizado. Polarizadores cruzados.

O plagioclásio, de composição correspondente ao oligoclásio, está representado tanto na matriz como constituindo porfiroclastos, de tamanho médio igual a 2 mm, anédricos a subédricos de hábito tabular que, por vezes, estão fraturados e deformados com lamelas de geminação polissintética, do tipo albita e/ou periclina, em *kink* (Figura 31), sugerindo uma deformação dúctil-rúptil. Comumente, exibe-se intensamente sericitizado. Ocorrem localmente descontinuidades estruturais preenchidas por quartzo em subgrãos.

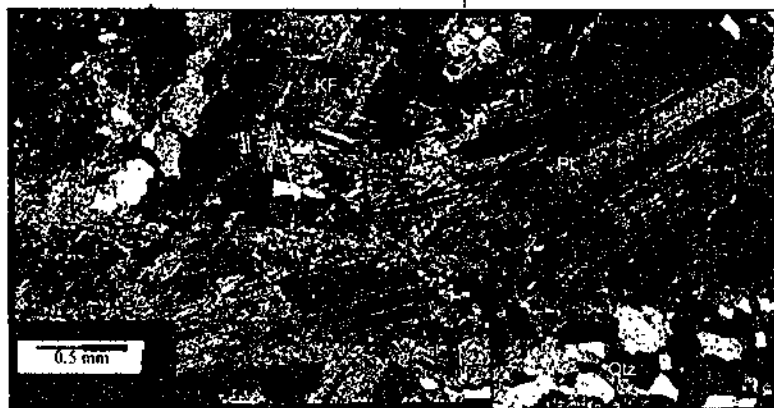


Figura 31 – Fotomicrografia da Fácies Biotita Sienogranito ilustrando um fenocristal de plagioclásio fraturado com lamelas de geminação albita em *kink*, sericita e muscovita de alteração, margeado por quartzo recrystalizado. Polarizadores cruzados.

O quartzo ocorre em porfiroclastos anédricos, que incluem minerais pré-existentes como o microclínio e o plagioclásio. Encontra-se recrystalizado na matriz, onde forma cristais com dimensões menores que 1 mm, exibindo textura em mosaico, ou em *ribbons*, e ainda ocorre preenchendo microfraturas como produto da silicificação que atingiu esta rocha.

A biotita ocorre em plaquetas e palhetas contornando e preenchendo microvênulas e descontinuidades de minerais como plagioclásio e feldspato alcalino. Apresenta estreita associação com sericita e parcialmente cloritizada.

A sericita está associada à substituição do plagioclásio, finamente granulada, ocorrendo nas bordas e ao longo de clivagens e descontinuidades.

O zircão ocorre em cristais subédricos, prismáticos de alta cor de interferência, inclusos na clorita.

Os opacos quando euédricos estão preferencialmente na forma cúbica e/ou ortorrômbicos. Frequentemente associados às vênulas preenchidas por biotita e apresentam intercrescimento simplectítico com a mesma.

V.5.2. Fácies Leucogranito

A rocha apresenta ao exame óptico textura inequigranular a equigranular, constituída por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e subordinadamente ocorrem biotita e muscovita. A paragênese hidrotermal é constituída por sericita que forma uma alteração não pervasiva.

O quartzo (40%) usualmente apresenta extinção ondulante, localmente também apresenta bordas de reação.

Os feldspatos alcalinos (30%) estão representados preferencialmente pelo microclínio mas também pelo ortoclásio. O primeiro configura-se em grãos com geminação xadrez de granulação média de 0,4 mm a 1 mm. E o segundo exibe exsolução e geminação Carlsbad, caracterizando-o como ortoclásio pertítico.

O plagioclásio (15%), correspondente ao oligoclásio, freqüentemente apresenta geminação albita e/ou periclina associada a Carlsbad e por vezes ocorre microfraturado. Ocorrem com sericitização não pervasiva.

A sericita e a muscovita são encontradas de modo esparsos preferencialmente nas fraturas, como produto de alteração, na forma de finas palhetas.

Os opacos são raros, euédricos e estão nitidamente relacionados à biotita.

V.5.2.1 Hidrotermalito

Quando sob alteração hidrotermal branda, o protólito revela-se com granulação média a grossa, com quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio e pouquíssimos minerais máficos, sendo identificado, então, como Leucogranito. A zona hidrotermalizada corresponde a níveis de alteração, de cor cinza com tonalidade esverdeada, constituídos por sericita, clorita e opacos em diferentes proporções os quais podem substituir até 70% da rocha original. Genericamente estes níveis foram classificados como Hidrotermalitos. Correspondem também aos mais altos índices de sulfetação encontrados no furo FNV02 e seus intervalos mais representativos estão situados nas seguintes profundidades: 8.56 m, 10.21 m, 10.50 e 31.10 m (Figura 32).

A sericita constitui uma massa pervasiva de alta birrefringência associada a clorita e aos opacos. A clorita tem coloração verde, com cor de interferência azul-berlim e forma aglomerados de palhetas dentro da massa sericítica. Os opacos assumem importante representação nesse nível ora em hábito cúbico ora apresentam-se como intercrescimentos simplectíticos imersos na massa sericita+clorita.

O processo de argilização participa da zona mineralizada causando manchas marrons no feldspato alcalino e plagioclásio. Concomitante a isso, ocorre intensa microvenulação e microfraturamento.

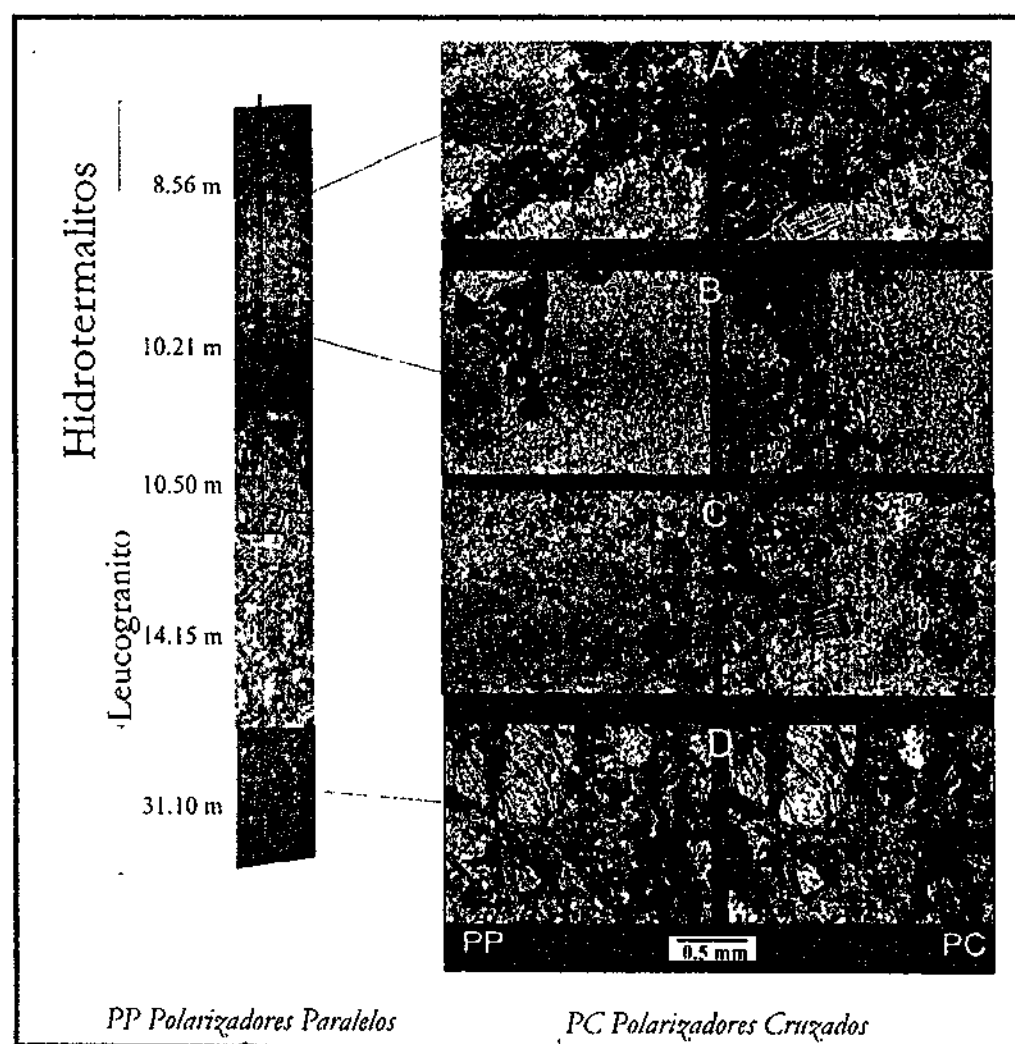


Figura 32 – Prancha do Hidrotermalito ilustrando (à esquerda) a rocha na coluna de testemunho e, (à direita) fotomicrografias revelando aspectos característicos dos intervalos com maiores intensidades de alteração, sendo: A e D mais alterados que B e C.

V.5.3. *Fácies Titanita-Biotita Sienogranito*

Opticamente, as rochas que constituem esta fácies apresentam-se equigranulares a inequigranulares, com granulação média a fina, constituída essencialmente por quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. Os minerais máficos primários são representados por biotita, titanita e zircão; enquanto os de alteração correspondem a clorita, sericita e epidoto.

O quartzo, apresenta-se com extinção ondulante, anédrico a subédrico, podendo mostrar inclusão de outros minerais em seus domínios.

Os feldspatos alcalinos são pertíticos, sendo dominante o componente potássico exibindo geminação combinada albita + periclina e geminação Carlsbad caracterizando-os como, respectivamente, microclínio e ortoclásio. Em geral, apresentam-se anédricos ou em cristais tabulares subédricos, com dimensões que variam de 0,2 a 6 mm, e de aspecto turvo devido à alteração.

O plagioclásio, identificado como oligoclásio, apresenta-se em prismas tabulares subédricos com dimensões que variam 0,3 a 0,7 mm. Ocorre frequentemente zonado com núcleo mais sericitizado que a borda, sugerindo uma zonação normal. Na maior parte das vezes, o plagioclásio está alterado, com formação de sericita e muscovita de origem hidrotermal.

A biotita apresenta-se na forma de palhetas curtas a lamelas subédricas a anédricas. Exibe-se com pleocroísmo variando de verde-pálido a verde-escuro, relevo médio, muito associada a opacos formando aglomerados máficos oxidados (Figura 33 B).

A titanita, zircão e opacos ocorrem associados constituindo os minerais acessórios mostrados na figura 29. A titanita apresenta relevo forte, birrefringência elevada, com dimensões de até 0,5 mm (Figura 29 A e C) e os opacos preservam forma cúbica ou alongada (Figura 29 B e D).

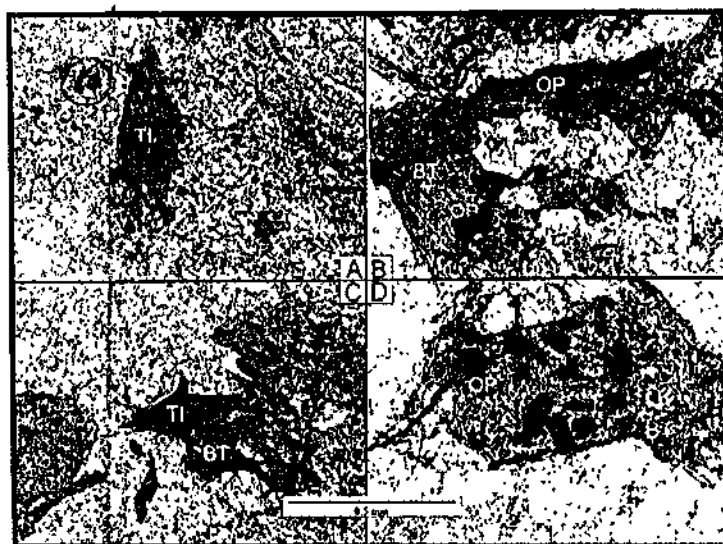


Figura 33 – . Fotomicrografias da Fácies Titanita-Biotita Sienogranito ilustrando a associação da titanita e opacos à biotita. Polarizadores paralelos

1.1.1.1. Veios de Quartzo

Dentre as lâminas confeccionadas a partir de amostras de testemunhos foi observado, na porção 43.65 m, características anômalas em cristais de quartzo. Trata-se de uma porção onde se pode identificar, macroscopicamente, grande quantidade de veios de quartzo subverticais, centimétricos, que cortam o Granito Novo Mundo. Estes veios são comumente encontrados, porém nesta porção eles tornam-se mais largos, deixando de ter proporções submilimétricas a milimétricas e assumindo dimensões de até 3 cm (Figura 34).



Figura 34 – Amostra de mão ilustrando o veio de quartzo.

Ao exame óptico, são constituídos essencialmente por cristais hexagonais euédricos a subédricos de quartzo finamente zonados e geminados. As demais características comuns ao quartzo são observadas: inócolores, de relevo e birrefringência baixos, uniaxiais positivos.

Faz-se necessário enfatizar que este fenômeno foi observado apenas em uma amostra dentre as 33 lâminas delgadas que foram confeccionadas, sendo, portanto, estatisticamente, insuficiente para quaisquer observações conclusivas. Deste modo, a abordagem realizada no presente trabalho tem o intuito de registrar essa ocorrência de maneira a embasar quaisquer possíveis descobertas futuras de mesmo âmbito.

Fenômeno semelhante foi descrito por Ioannou *et al.* (2003) em cristais de quartzo relacionados a depósitos do tipo sulfeto maciço vulcanogênico – VMS – em Matagami no distrito de Noranda (Canadá) onde tais características foram visualizadas e ilustradas apenas por catodoluminescência (CL) revelando que o quartzo zonado concêntrico precede pulsos de mineralizações de sulfetos – clara evidência que o quartzo é indeformado e diretamente relacionado a VMS mineralizações. (Figura 35).

No presente trabalho, esta observação já é, plenamente, possível em microscópio petrográfico (Figura 30), onde se constata quartzo claramente pseudo-hexagonal, com estruturas zonadas, interpretadas como causadas pelo crescimento rápido a partir de uma solução fortemente supersaturada.

Segundo esses autores, esse tipo de quartzo tem origem hidrotermal e tem potencial como hospedeiro de inclusões fluidas hidrotermais primárias. O quartzo euedricamente zonado sugere que estes veios foram formados de múltiplos pulsos de fluidos hidrotermais. Intercrescimentos com zonas truncadas com núcleos arredondados, não foram identificadas nestes cristais, porém indicam que ocasionalmente ocorreram da dissolução desses veios, provavelmente causados pelo aumento da pressão quando se deu o preenchimento das fraturas.

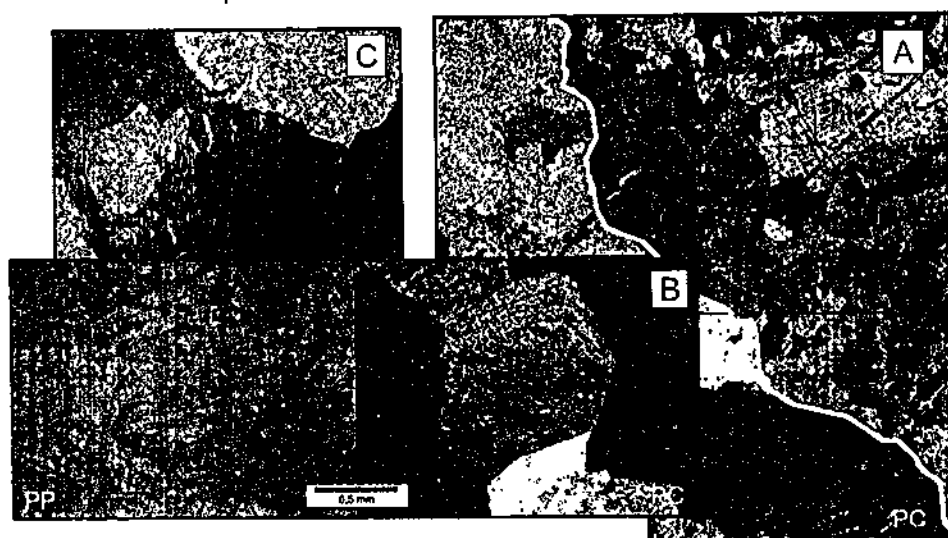


Figura 35 – Prancha do veio de quartzo ilustrando: A – limite, linha amarela, entre o veio de Quartzo e a fácies encaixante, Biotita Siénogranito; B – zonação do cristal euédrico do quartzo; C – Geminação.

V.6. DIABÁSIO

As rochas que constituem esses diques apresentam coloração cinza-escuro a esverdeado, granulação fina (< 1 mm). Ao exame óptico, caracteriza-se por intensa sericitização pervasiva e cloritização mais local, que obliteram parcialmente a trama primária da rocha. Em alguns locais observam-se aspectos dessa textura constituída por ripas de plagioclásio e cristais máficos substituídos totalmente por clorita, caracterizando-a com subofítica. Como minerais acessórios ocorrem apatita e zircão. Microvenulações preenchidas por quartzo recristalizado são comuns.(Figura 36).

O plagioclásio ocorre de forma tabular, preferencialmente euédrico a subédrico, intensamente alterado. Às vezes, apresenta-se pseudomorfizado pela sericita, incluindo apatita acicular.

Os opacos estão freqüentemente associados às vênulas preenchidas por clorita e apresentam preferencialmente intercrescimento simplectítico. Quando euédricos exibem forma cúbica e/ou ortorrômbicos.

O Feldspato alcalino encontra-se alterado e compõe discretamente a matriz juntamente com o quartzo.

A clorita ocorre como agregados anédricos, de hábito fibroso com pleocroísmo de verde claro a verde escuro. Forma-se a partir da substituição de grãos (cloritização).

A sericita apresenta-se na forma de palhetas curtas, de birrefringência alta. Resulta da alteração das ripas de plagioclásio.

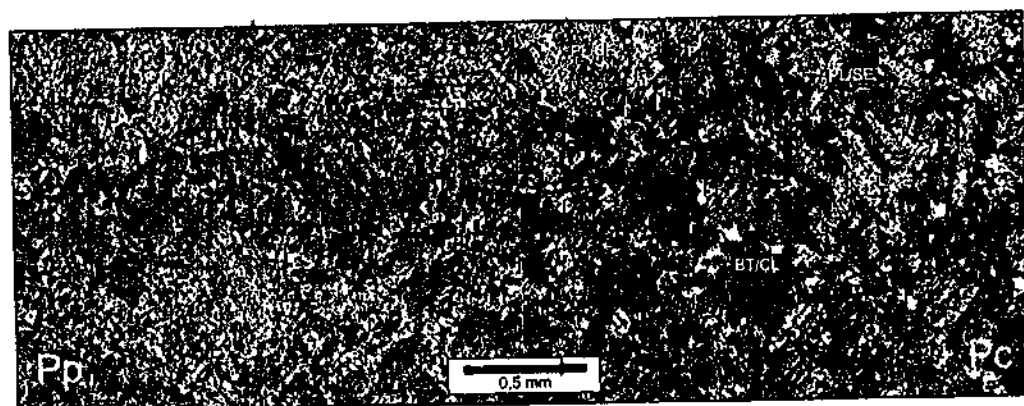


Figura 36 – Fotomicrografia do diabásio ilustrando a textura

CAPÍTULO VI

VI. GEOQUÍMICA DO GRANITO NOVO MUNDO

Neste capítulo a resposta geoquímica é interpretada buscando-se confirmar e ampliar as constatações petrográficas, bem como classificar as rochas do Granito Novo Mundo, hospedeiras do *Depósito do Luizão*, e caracterizar o magmatismo que as originou, identificando assim, o mais provável cenário de sua evolução.

O tratamento geoquímico foi realizado, então, a partir dos dados analíticos obtidos no Laboratório de Geoquímica Analítica do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) para elementos maiores – SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , - menores – Ba, Cr, Ni, Sc, Cs, Ga, Nb, Rb, Sn, Sr, Th, U, V, Zr e Y – e traços – La, Ce, Nd – em 13 amostras (Tabela 01), conforme metodologia descrita no capítulo I.

A partir da composição modal, as rochas do Granito Novo Mundo, que constituem o entorno do Depósito do Luizão, classificam-se como sienogranitos (figura 37 A). Confirmando o estudo petrográfico, os dados geoquímicos destes litotipos plotados no diagrama TAS, total de álcalis versus sílica (Le Bas et al. 1986 in: Le Maitre 1989), coincidem com o campo dos riolitos (Figura 37 A). Utilizando sílica e elementos considerados como menos móveis nos processos de alteração e metamorfismo, Winchester & Floyd (1977) propõem o diagrama SiO_2 versus Zr/TiO_2 . Nele, (Figura 37 B) a classificação anteriormente feita é corroborada, com a maioria dos pontos plotando-se no domínio dos riolitos. No entanto, três amostras de monzogranito, que têm teores inferiores de sílica, coincidem com o campo dos riodacitos-dacitos.

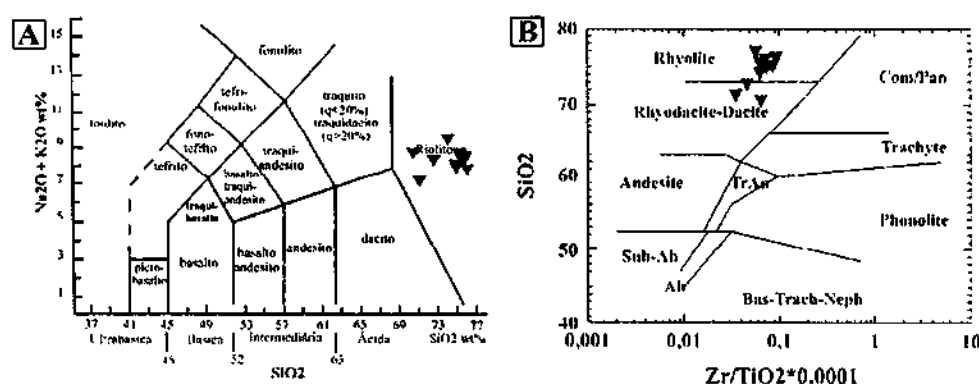


Figura 37 - Distribuição das rochas dos pontos representativos das rochas graníticas do entorno do *Depósito do Luizão* no diagramas químico-classificatório, em (A) álcalis versus sílica (% em peso), segundo Cox et al. (1979) e, em (B) SiO_2 versus Zr/TiO_2 .

As amostras determinadas modalmente como monzogranitos são encontradas na borda oeste do stock granítico (Figura 9), os outros pontos são representações de amostras das porções intermediária, sienogranítica, e central, leucogranítica, com altos teores de sílica.

Os resultados geoquímicos indicam para o Granito Novo Mundo um magmatismo subalcalino, do tipo cálcio-alcalino, características ilustradas, respectivamente, nos diagramas $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 (Figura 38 A) e AFM (onde: A = Na_2O , F = FeO , M = MgO ; Figura 38 B), propostos por Irvine & Baragar (1977).

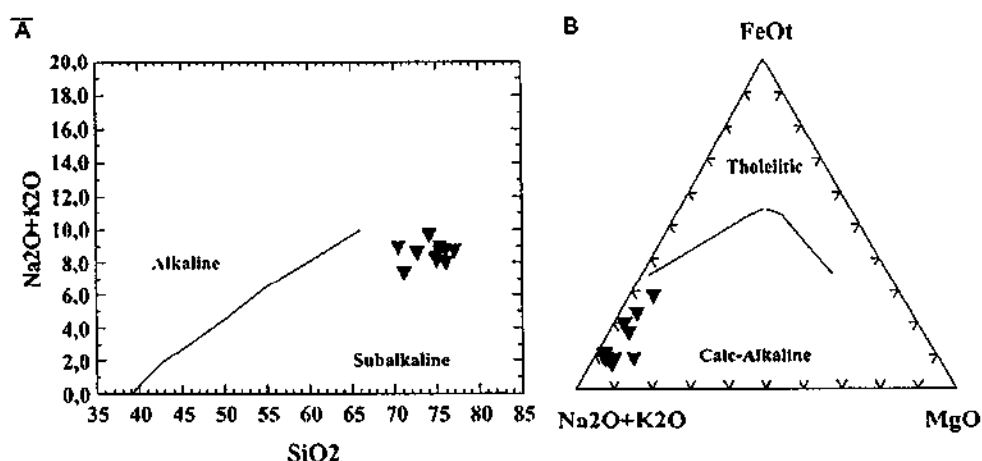


Figura 38 – Distribuição das rochas analisadas quimicamente nos diagramas (A) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 e em (B) AFM do entorno do Depósito do Luizão.

O caráter cálcio-alcalino de alto potássio a shoshonítico, definido a partir da tendência modal das rochas, ricas em feldspato alcalino, fica evidenciado no diagrama da figura 39 (A). Este diagrama, K_2O versus SiO_2 , proposto por Piccirillo & Taylor (1976) confirma o posicionamento da maior parte das amostras no campo shoshonítico, ressaltando assim essa afinidade para as rochas graníticas, que se plotam, preferencialmente, no limite superior da série cálcio alcalina de alto-K até o domínio inferior da série shoshonítica.

Quanto à saturação em alumina e álcalis, as rochas do entorno do Depósito do Luizão foram classificadas no diagrama proposto por Maniar & Piccoli (1989), que relaciona as proporções moleculares das razões $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, identificadas, respectivamente, como A/CNK e A/NK, segundo os índices de Shand (Metaluminoso: $\text{A/NK} > 1,0$ e $\text{A/CNK} < 1,0$; Peralcalino: $\text{A/NK} < 1,0$; Peraluminoso: $\text{A/CNK} > 1,0$) apresentadas na figura 39 (B). A disposição dos pontos que representam as amostras estudadas sugere uma transição de um caráter pouco metaluminoso a levemente peraluminoso, indicando provável contaminação crustal. Esta peraluminosidade da série shoshonítica, segundo Eklund *et al.* (1998), também pode ser explicada em granitos quando o conteúdo de SiO_2 supera o valor de 65%, mostrando uma relação direta e proporcional entre esse dois parâmetros, ou seja, quanto mais ácido, mais peraluminoso.

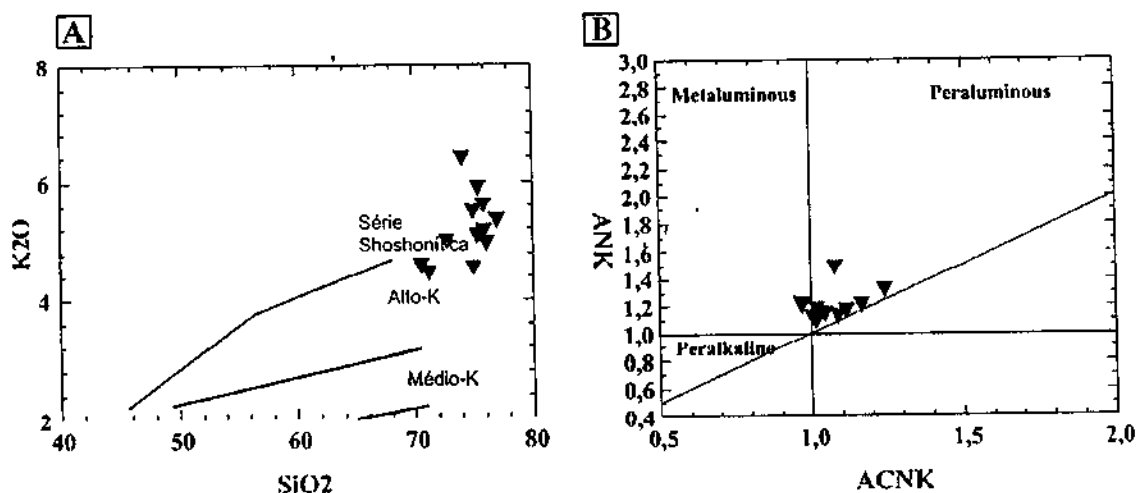


Figura 39 – Distribuição das rochas graníticas do entorno do Depósito do Luizão, no diagrama K₂O versus SiO₂, com os domínios propostos por Piccerillo & Taylor (1976), em (A) e, em (B), diagrama A CNK x A NK para as rochas do entorno do Depósito do Luizão.

VI.1. COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS MAIORES E MENORES

De acordo com as análises geoquímicas, as rochas do Granito Novo Mundo apresentam valores de SiO₂ variando num estreito intervalo entre 70,54% e 77,03% (Tabela 01) mostrando homogeneidade composicional, cujos extremos correspondem, respectivamente, às amostras da Fácies Biotita Sienogranito e Leucogranito, com concentração de teores entre 74 e 76%, refletindo a natureza evoluída do magmatismo e as caracterizando como rochas graníticas diferenciadas.

Em diagramas de Harker, observam-se tendências de variações coerentes para a maioria dos óxidos, (Figura 40), o que sugere uma sequência evolutiva normal. Identificam-se correlações lineares negativas entre a sílica e Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO e P₂O₅, óxidos vinculados aos minerais máficos, mais comuns nas rochas menos evoluídas deste conjunto. A diminuição do Al₂O₃ deve estar vinculada também ao fato de que o aumento de SiO₂ da rocha durante sua diferenciação proporciona, ao mesmo tempo, incrementos maiores nos teores modais de quartzo quando comparados aos de feldspato alcalino e plagioclásio, suficientes para impor a correlação negativa entre estes dois elementos.

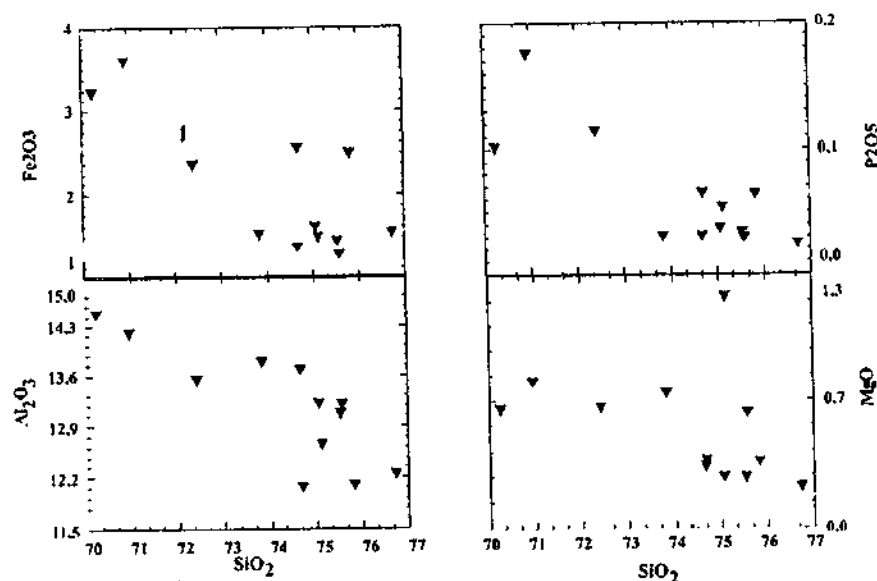


Figura 40 - Diagrama de Harker de óxidos versus sílica para as rochas do entorno do Depósito do Luizão.

O CaO e TiO₂ mostram distribuições semelhantes em relação à sílica, com teores em geral, menores do que 1 e 0,3%, respectivamente. Apresentam valores elevados apenas para as três amostras menos diferenciadas, com paragênese enriquecida em titanita e apatita, classificadas como dacitos na figura 41 (A) e como metaluminosas na figura 41 (B).

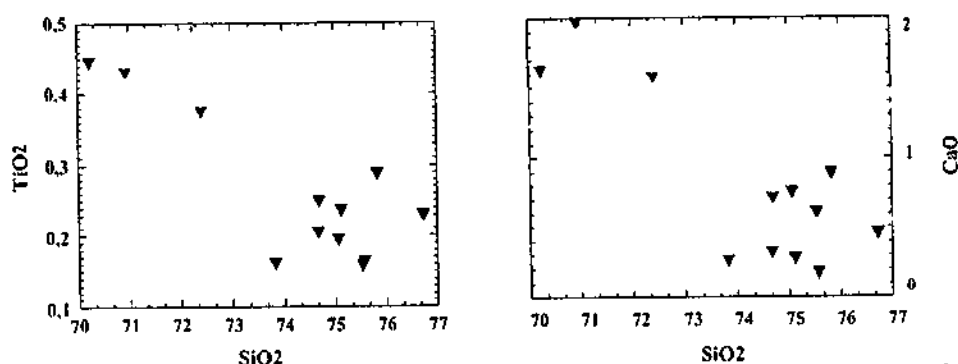


Figura 41 - Diagrama de Harker de óxidos versus sílica para as rochas do entorno do Depósito do Luizão.

Os diagramas que envolvem os álcalis (Figura 42) não mostram, no entanto, um padrão evolutivo bem definido, observando-se uma relativa dispersão dos pontos que os representam, resultante da maior mobilidade apresentada por estes elementos durante a atuação de processos pós-magmáticos. Os valores de K₂O, geralmente maiores do que 4% devem, no entanto, caracterizar o magmatismo como do tipo de alto potássio, como já ilustrado na figura 39 (A).

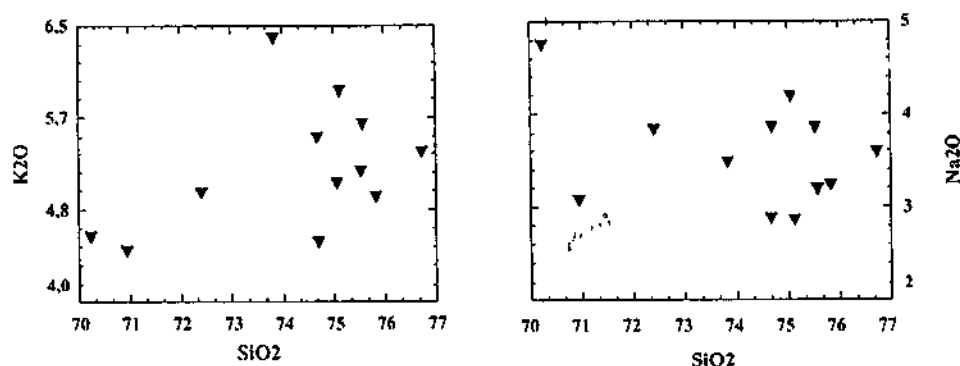


Figura 42 - Diagramas de variação K_2O e Na_2O versus sílica para as rochas do Granito Novo Mundo.

Com relação ao comportamento dos elementos traços das rochas do Granito Novo Mundo, não foram observadas correlações entre a maioria deles e sílica. As melhores distribuições apresentam-se para o Ba e Sr, que mostram correlações negativas com este índice de diferenciação utilizado (Figura 43). A diminuição do Sr com o aumento de SiO_2 , define tendências coerentes com processos evolutivos envolvendo fracionamento de plagioclásio; enquanto que, semelhantemente, o Ba confirma a atuação de fracionamento de biotita, mineral mais comum nos litotipos menos diferenciados, não devendo, portanto, estar associado aos feldspatos alcalinos.

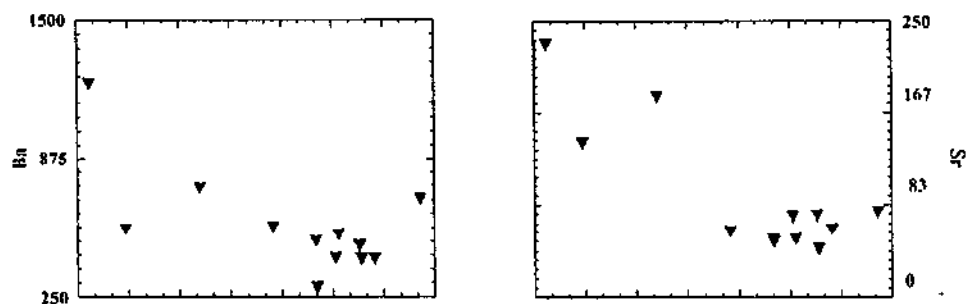


Figura 43 - Diagramas de variação Ba e Sr (ppm) versus sílica (%) para as rochas do Granito Novo Mundo.

Tabela 1 - Análises químicas dos elementos maiores, em %, para óxidos do entorno do Depósito do Luizão.

AMOSTRA (%)	NM- 03	NM- 08	NM- 12A	NM- 12B	NM- 14	NM- 17	NM- 15	NM- 19	NM- 26	NM 33	NM- 23	FNM- 02
SiO ₂	72,70	70,54	49,51	71,23	75,84	76,12	74,14	77,03	75,87	75,37	74,97	75,43
TiO ₂	0,374	0,444	1,554	0,429	0,157	0,286	0,160	0,229	0,164	0,193	0,203	0,237
Al ₂ O ₃	13,53	14,46	14,14	14,18	13,06	12,08	13,78	12,23	13,18	13,20	13,67	12,64
Fe ₂ O ₃	2,08	3,08	14,34	3,52	1,01	2,23	1,10	1,13	0,80	1,21	0,92	1,07
MnO	0,043	0,060	0,224	0,036	0,055	0,056	0,031	0,042	0,029	0,056	0,031	0,025
MgO	0,61	0,60	5,50	0,74	0,25	0,33	0,68	0,20	0,58	0,25	0,31	1,19
CaO	1,57	1,62	8,25	1,96	0,61	0,88	0,26	0,45	0,17	0,75	0,32	0,27
Na ₂ O	3,52	4,28	2,39	2,89	3,54	3,02	3,23	3,32	2,99	3,82	2,73	2,71
K ₂ O	4,98	4,58	2,19	4,46	5,17	4,94	6,38	5,34	5,60	5,07	5,49	5,90
P ₂ O ₅	0,113	0,101	0,548	0,175	0,033	0,063	0,030	0,024	0,029	0,037	0,030	0,053
P.F. (1000°C)	0,34	0,24	1,53	0,68	0,48	0,24	0,50	0,32	0,92	0,28	1,57	0,79
SOMA (µg g ⁻¹)	99,9	100,0	100,2	100,3	100,2	100,2	100,3	100,3	100,3	100,2	100,3	100,3
BA	737	1214	682	554	481	423	565	688	420	426	503	534
CE	116	142	72	67	139	119	80	137	62	82	85	94
CR	36	56	72	72	44	69	19,7	38	53	51	14,4	52
CS	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11	<11
CU	3,0	9,1	54	4,1	2,8	6,9	5,5	3,5	4,1	4,4	2,0	35
GA	16,9	19,5	22,6	25,6	18,5	16,2	15,8	14,8	16,7	17,7	18,3	15,5
LA	71	67	15	31	485	65	60	71	42	52	54	53
NB	15,7	18,2	5,1	11,1	8,6	15,7	13,3	14,3	16,6	14,9	15,8	14,5
ND	41	58	31	13	279	52	27	53	16	23	26	33
NI	11,0	12,7	48,6	29,2	4,8	6,6	7,4	4,4	8,5	10,3	9,5	5,5
PB	28,1	24,0	9,3	30	30	24,3	22,6	24,1	19,0	31	30	16,6
RB	217	169	67	176	215	146	221	141	222	209	231	163
SC	<5	<5	29,9	5,7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	<5
SN	3,9	5,9	<3	<3	3,0	<3	4	3	<3	<3	<3	3
SR	180	229	404	139	74	61	59	76	43	73	52	52
TH	35	11,7	4,4	15,5	16,0	11,2	13,5	14,8	13,4	17,2	24,2	13,5
U	8,6	5,3	<2	2,9	<2	4,0	3	<2	3	3	4,7	<2
V	27,1	25,4	287	24,8	8,0	9,9	7,1	8,4	9,4	9,1	9,4	15,8
Y	35	48	31	18,8	167	46	19,7	34	19,0	22,0	12,7	23,4
ZN	46	63	112	68	27,3	76	19,6	33	20,8	30	24,5	17,5
ZR	174	283	139	149	133	265	100	130	117	122	149	166

VI.2. AMBIENTE GEOTECTÔNICO

O provável ambiente de formação para as rochas hospedeiras da mineralização do Depósito do Luizão, evidenciado pelas análises químicas, coincide com o campo definido por Pearce et al. (1984) para os Granitóides de Arco Vulcânico. No diagrama Rb versus Y + Nb (Figura 44), os pontos que representam a maioria das rochas do Granito Novo Mundo distribuem-se, essencialmente neste domínio, com apenas duas amostras coincidindo com as linhas limites deste campo com o proposto para Granitóides Intra Placas e outra com àquele para Granitóides Sin-colisionais, o que não influencia a interpretação de que estas rochas foram formadas em ambiente de arco vulcânico.

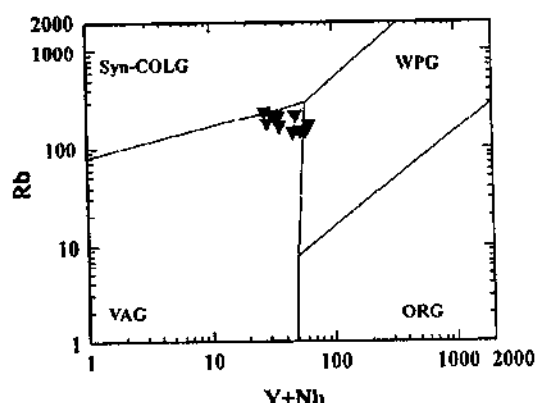


Figura 44 - Diagrama discriminante de ambiência tectônica - Log Y + Nb versus Log Rb.

A evolução mágmática foi estudada em base ao comportamento do K_2O e dos elementos traços Rb, Ba, Th, Nb, Ce, Zr e Y normalizados em relação aos valores dos Granitos de Cordilheira Meso-Oceânica (Figura 45). Neste diagrama, os resultados obtidos evidenciam, para as rochas do Granito Novo Mundo, um enriquecimento nos elementos de íon pequeno, caracterizados por elementos litófilos de baixa carga, (LILE) K, Rb, Ba e Th em relação aos elementos de alta carga (HFSE) Nb, Ce, Zr e Y; com valores inferiores a um para os dois últimos e empobrecimento significativo de Y. Além disto, são notáveis as anomalias negativas de Ba em relação ao Rb e Th e do Nb em relação ao Th e Ce (Figura 45).

O enriquecimento em elementos litófilos de baixa carga em relação ao Granito de Cordilheira Meso-Oceânica sugere envolvimento de crosta continental na formação do Granito Novo Mundo, podendo ser explicado tanto pela contaminação crustal de um magma primário como pela fusão parcial da crosta continental pré-existente. O comportamento dos HFSE indica um componente mantélico para as rochas estudadas, enquanto que, a anomalia negativa de Nb tem sido interpretada como indicação de fluidos derivados da desidratação de placa oceânica em regime de subducção (Pearce & Peate, 1995). O forte empobrecimento em

Y é sugestivo da presença de granada no resíduo da fusão mantélica o que indica fusão em níveis rasos.

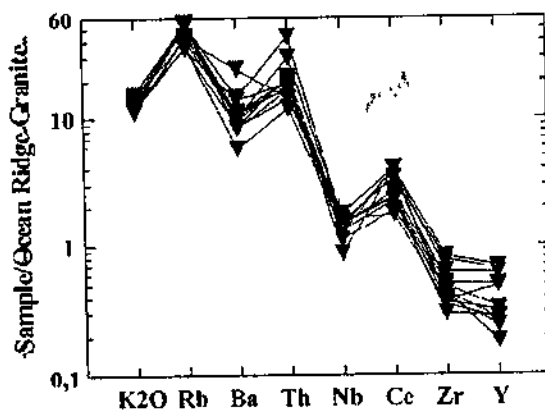


Figura 45 - Diagrama de distribuição de K₂O e dos elementos traços das rochas do Granito Novo Mundo normalizados em relação a Granitos de Cordilheira Meso-Oceânica.

A gênese das rochas graníticas de afinidade shoshonítica tem sido atribuída a processos associados a zonas de convergência de placas (arcos de ilhas, exemplo, Fiji; margens continentais ativas, exemplo, Andes Central; e zonas de colisão continental, exemplo, Irã) e com ambientes não diretamente relacionados com o processo de subducção, isto é, rochas geradas após o término da subducção, como em New South Wales, Austrália (Carr & Fardy 1983).

Os shoshonitos são ligados às fases tardias do processo de subducção com freqüente desenvolvimento de magmatismo alcalino após a estabilização do arco (Morrison 1980, Venturelli *et al.* 1984, Ujike 1985). Autores como Joplin *et al.* (1972) relacionam as rochas shoshoníticas à série cálcio-alcalina, enquanto Dickinson *et al.* (1968), Gill (1970) e Windley (1984) consideram estas rochas como equivalentes às séries alcalinas. Entretanto, uma revisão das diversas associações shoshoníticas sugere para este grupo de rochas ricas em K, com afinidades cálcio-alcalinas, uma série independente (Mackenzie & Chappel 1972, Morrison 1980, Hughes 1982).

Atualmente, autores como Eklund *et al.* (1998) Liégeois *et al.* (1998) e Nardi (1986) admitem rochas supersaturadas como pertencentes à série shoshonítica. Liégeois (1998) afirma que a sucessão das séries magmáticas é uma evolução normal, tendo constatado que a própria origem dos magmas calcico-alcalinos trata-se de uma sucessão de origens. Granitóides calcicoalcalinos de alto-K a shoshoníticos, geralmente se plotam no campo dos Granitos tipo-A e sua origem orogênica associada a zonas convergentes é, então, desprezada.

Na química de elementos maiores de um arco magmático, a distinção fundamental entre as séries toleítica, cálcio-alcalina e shoshonítica é o aumento progressivo, nesta ordem, do conteúdo de álcalis. Como o K é o principal indicador desse aumento (Jakes & White 1972, Hughes 1982, Ewárt 1982) ele é utilizado como elemento discriminante entre as diferentes séries magmáticas. Embora haja possibilidade do Granito Novo Mundo ter sofrido adição de K durante a alteração, os teores invariavelmente altos deste elemento em todas as amostras analisadas sugerem um magma originalmente rico em K para esse corpo.

A integração destes dados sugere uma complexa interação entre fontes mantélicas e crustais onde se sugere um modelo que envolve três fases: 1) desidratação e fusão parcial de crosta oceânica, 2) interação deste fluido com magma derivado da fusão parcial do manto em níveis rasos e 3) contaminação com material crustal pré-existente, seguida de fracionamento de plagioclásios e minerais máficos em nível crustal raso (Figura 46).

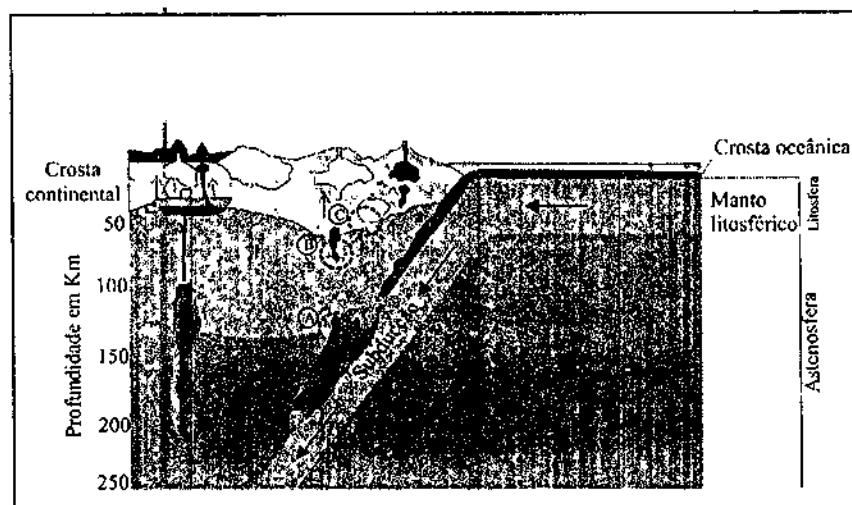


Figura 46 - Modelo esquemático ilustrando o ambiente gerador com as três fases que afetam a composição do arco magmático.

VI.3. EVOLUÇÃO DO HIDROTHERMALISMO

O hidrotermalismo que afeta o Granito Novo Mundo foi observado em todas as suas fácies, podendo ser caracterizadas duas zonas de alteração hidrotermal principais, que foram identificadas como: zona sericítica, onde ocorre sericita e subordinadamente clorita, e clorítica, onde a clorita é a principal constituinte tendo sericita subordinada, ambas estão sobrepostas à deformação dúctil-rúptil com silicificação e associadas a uma intensa argilização e pode ser observado, restritamente, a saussuritização. O conjunto desses processos causou, por fim, alteração química do protólito granítico leucocrático, bem como, dos diques que o cortam e, principalmente, elas vem a condicionar as mineralizações de ouro

primário associado a sulfetos, isso em base a íntima relação que essas zonas tem com as mineralizações.

A sericitização é, volumetricamente, o principal processo hidrotermal registrado no Granito Novo Mundo e resulta da alteração do feldspato alcalino, deixando-os com aspecto turvo, em geral, define o núcleo das variedades sódicas do plagioclásio, onde torna visível ao microscópio petrográfico a zanação de caráter normal. Muito comum é a associação sericita+muscovita, marcado uma clara evolução mineralógica ocasionada pelo processo de alteração que mobiliza componentes resultando numa nova paragéneze (Figura 47).

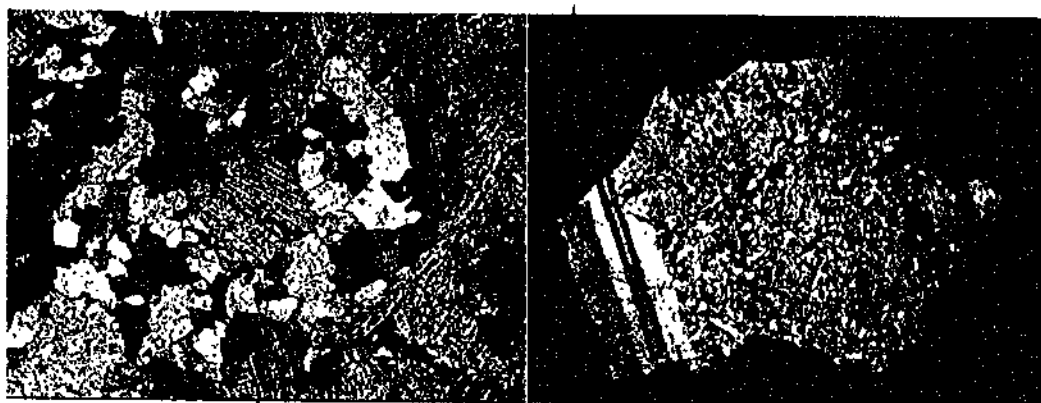


Figura 47 – Fotomicrografia mostrando, à esquerda plagioclásio sericitizado margeado por quartzo recristalizado e, à direita, a sericitização no plagioclásio mostrada em literatura.

A cloritização ocorre a partir da alteração parcial da biotita, e quando em gabros e dacitos está instalada nos piroxênios. Subordinadamente, ocorre a saussuritização do plagioclásio mais cálcico, produzindo, além da sericita, minerais do Grupo do Epidoto.

A sericitização e cloritização são seguidas por alteração do feldspato potássico caracterizado como argilização. A argilização causa mudança na cor dos minerais e pode também se concentrar nos limites dos cristais de quartzo. O processo de argilização ocorre principalmente associado aos processos de sericitização e cloritização, porém sua origem pode ser admitida como sendo contemporânea aos fluidos hidrotermais ou ainda por intemperismo posterior que encontrou facilidade de atuação nas rochas com alterações hidrotermais prévias, sendo então realçado nestas.

A silicificação é provável que tenha se instalado sob regime extensional, que está representado por inúmeros veios de quartzo subverticais, subseqüentes à alteração hidrotermal principal.

Propõe para a seqüência de atuação dos processos citados, com base nos estudos contidos neste trabalho a seguinte ordem de ocorrência:

↑Sericitização + ↓Saussuritização → Cloritização → (?)Argilitização(?) → Silicificação

Outros reflexos que podem ser atribuídos à atuação dos fluidos hidrotermais no Granito Novo Mundo residem na variação do gradiente de cores avermelhadas que é muito característico dessas rochas, que deriva da oxidação das rochas, provocando a mudança de coloração dos feldspatos, e a ocorrência do quartzo zonado e geminado observado em venulações. Nas rochas dacíticas porfíricas a muscovita em roseta é resultado da cristalização a partir de fluidos em espaços que permitam o crescimento desse hábito cristalino.

A resposta da geoquímica pode estar atribuída a grande dispersão dos pontos nos elementos considerados mais móveis e na grande maioria dos traços.

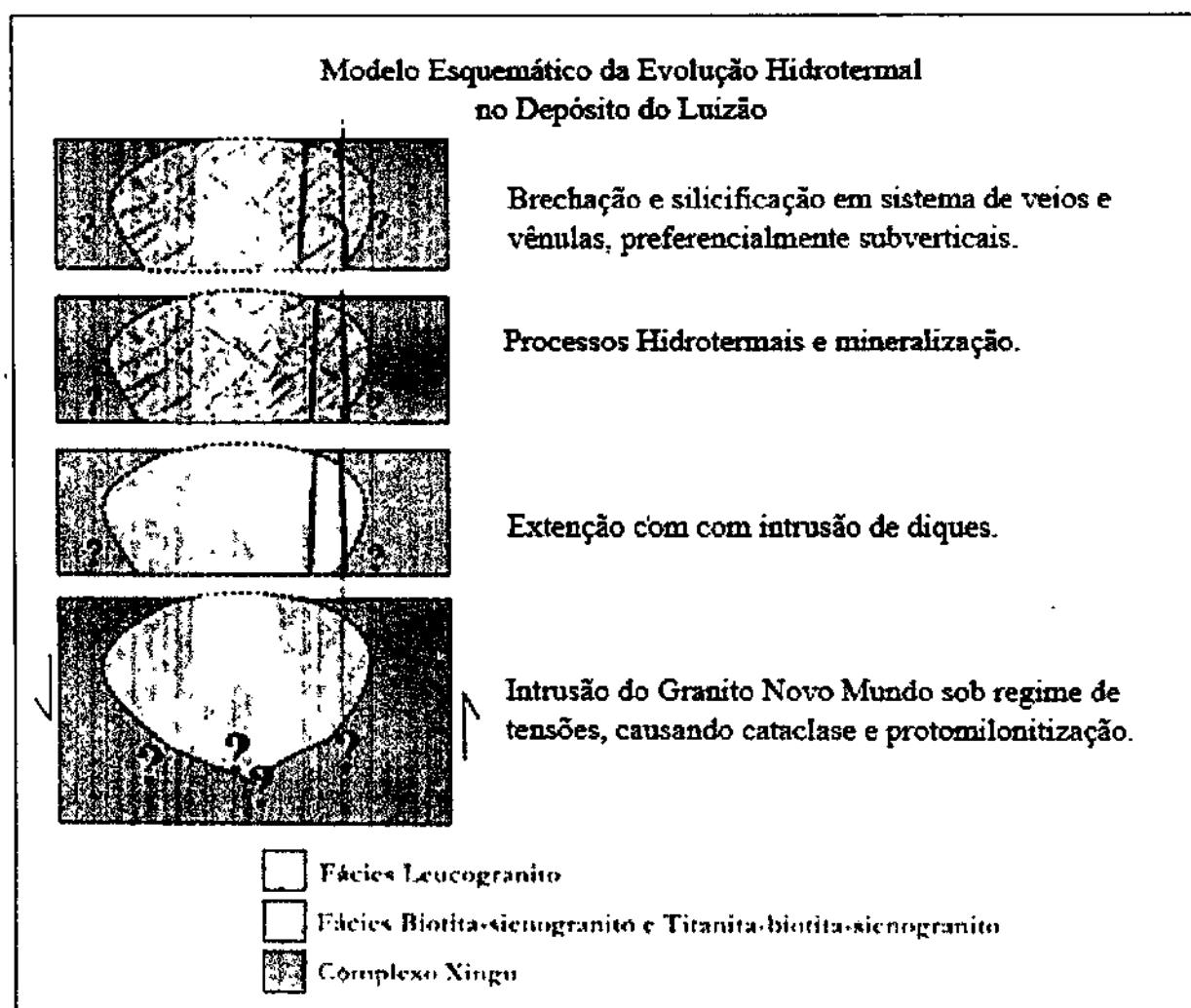


Figura 48 – Cartão do esboço da evolução hidrtermal no Granito Novo Mundo e Rochas Associadas.

CAPÍTULO VII

VII. CONCLUSÃO

A caracterização geológica e geoquímica das rochas hospedeiras do Depósito do Luizão possibilitou a identificação de duas litologias distintas, o Granito Novo Mundo e as rochas vulcânicas máficas e félsicas informalmente denominadas Rochas Associadas.

Três fácies petrográficas foram identificadas no Granito Novo Mundo e classificadas como Fácies Biotita Sienogranito, Fácies Titanita-Biotita Sienogranito e Fácies Leucogranito. Dentre elas, as duas últimas podem se apresentar protomilonitizadas.

As Fácies Biotita Sienogranito e Titanita-Biotita Sienogranito constituem as hospedeiras distais do referido depósito, enquanto que a Fácies Leucogranito está diretamente relacionada à mineralização de ouro associado a sulfetos subordinados, bem como, apresenta os índices mais altos de alteração hidrotermal, tendo sido por este motivo, classificada como Hidrotermalito em algumas porções.

Correlações lineares negativas foram observadas entre a sílica e Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO e P_2O_5 , sugerindo uma sequência evolutiva normal de cristalização. Os álcalis não caracterizam um padrão evolutivo bem definido, podendo ser resultado da maior mobilidade apresentada por estes elementos durante a atuação de processos pós-magmáticos. Os teores elevados de K_2O ($> 4\%$) caracterizam o magmatismo que originou o Granito Novo Mundo como de alto potássio. As distribuições de Ba e Sr apresentam diminuição com a sílica, comportamento que define tendências coerentes com processos evolutivos envolvendo fracionamento de plagioclásio e de biotita.

O quimismo das rochas graníticas as situa como oriundas de um magmatismo subalcalino a cálcio-alcalino, metaluminoso a levemente peraluminoso, indicando uma provável contaminação crustal.

Evolução em condições oxidantes (alta fugacidade de oxigênio) é sugerida pela presença de titanita, geralmente encontrada associada a mineral hidratado, como biotita, fato comum em rochas plutônicas cálcio-alcalinas, do tipo I de Chappel & White (1984); enquanto que a presença simultânea de feldspato potássico peritítico e oligoclásio como fase separada o classificam como granito *subsolvus* (Tuttle & Bowen 1958).

O comportamento de elementos traços e o acentuado enriquecimento em K, Rb, Ba e Th, sugerem o envolvimento de fontes magmáticas crustais e mantélicas. A contaminação de

um magma primário pela fusão de uma crosta continental pré-existente evidencia um ambiente de arco vulcânico em margem continental.

As rochas hospedeiras do Depósito do Luizão foram afetadas por um evento hidrotermal que desencadeou modificações importantes no protolito granítico, bem como, nas rochas associadas. Evidências de atuação de processos relacionados a esta fase foram reconhecidas e correspondem, em ordem de importância volumétrica, à: sericitização, cloritização, argilização e saussuritização. A este evento associa-se a mineralização aurífera e, por fim, o cenário do depósito encerra-se com silicificação e brechação do protolito alterado.