

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

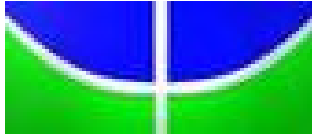
**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E
METALOGENÉTICA DA OCORRÊNCIA DE Cu-Au
(Mo-Co), DO GRUPO RIO NOVO, NO CONTATO S-
SE COM O GRANITO CIGANO, PROVÍNCIA
MINERAL DE CARAJÁS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 247

MARIANA MOELLMANN NEGRÃO

Orientador: Prof. Dr. NILSON FRANCISQUINI BOTELHO

Brasília, 2008



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E
METALOGENÉTICA DA OCORRÊNCIA DE Cu-Au
(Mo-Co), DO GRUPO RIO NOVO, NO CONTATO S-
SE COM O GRANITO CIGANO, PROVÍNCIA
MINERAL DE CARAJÁS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 247

MARIANA MOELLMANN NEGRÃO

Banca examinadora:

Prof. Dr. Nilson Francisquini Botelho (Orientador)

Prof. Dr. Cesar Fonseca Ferreira Filho (UnB)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Mesquita Barros (UFPR)

Brasília, 2008



AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Nilson Francisquini Botelho, pela orientação, disposição, dedicação e pelas discussões geológicas muito produtivas durante o desenvolvimento desta Dissertação de Mestrado.

A TeckCominco Brasil S.A., pelo apoio logístico durante os trabalhos de campo, financiamento de análises litogeoquímicas, isotópicas, pela disponibilização de dados pré-existentes da área estudada, que muito contribuíram para as interpretações e conclusões, e também pela disponibilidade dos funcionários e geólogos durante todo o desenvolvimento desta Tese de Mestrado. Agradeço também a CAPES pela bolsa de mestrado e ao CNPq pelo financiamento de análises químicas.

Ao Instituto de Geociências pelo suporte técnico, aos funcionários e professores que auxiliaram de alguma forma nas etapas de desenvolvimento deste trabalho. Principalmente aos laboratórios de Laminação, Microsonda Eletrônica, Microscopia e Geocronologia, fundamentais para a obtenção da maioria dos dados utilizados.

Ao geólogo Luciano Costa Conçalves, pelas intensas discussões geológicas e grande ajuda na confecção dos mapas temáticos e interpretações a eles relacionados. Aos amigos da pós-graduação e agregados pelo agradável convívio durante o curso, em especial, Aline, Cristiano, Danielle e Jacqueline. Aos familiares, Adriana, Flávia, Ricardo, Rejane e irmãos, e aos amigos que participaram comigo nesta etapa, do desenvolvimento da tese de mestrado.



SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	I
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS.....	XII
RESUMO	XIV
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 – APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA	1
1.2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	2
1.3 - MÉTODOS UTILIZADOS	3
1.3.1 - <i>Atividades de Campo</i>	3
1.3.2 - <i>Petrografia</i>	4
1.3.3 - <i>Química Mineral</i>	4
1.3.4 - <i>Litogeoquímica</i>	4
1.3.5 - <i>Química Isotópica</i>	5
CAPÍTULO 2.....	6
GEOLOGIA E GEOQUÍMICA DO GRUPO RIO NOVO, NO DOMÍNIO DO GRANITO CIGANO, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS - ALVO RN4.....	6
2.1 - INTRODUÇÃO.....	6
2.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	6
2.3 - GEOLOGIA DO ALVO RN-4	10
2.3.1 - <i>Grupo Rio Novo</i>	10
Formação Ferrífera de fácies óxido.....	10
Anfibolito	12
Ferro-antofilita Cordieritito.....	14
Biotita Xisto e Muscovita Xisto	14
Grafita-muscovita Xisto	15
Metanorito	15



2.3.2 - Formação Águas Claras	17
2.3.3 - Granito Cigano	17
2.3.4 - Elementos Estruturais	17
2.4 - GEOQUÍMICA	19
2.4.1 - Litogeoquímica	19
Grupo Rio Novo	19
2.4.2 - Química Mineral	31
Anfibólios	31
Biotitas	33
Cloritas	34
Cordierita	35
Feldspato	35
Muscovita	35
Ferropirosmalita	36
2.4.3 - Geotermometria	36
2.5 - GEOCRONOLOGIA	38
2.6 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	40
CAPÍTULO 3	49
CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA DA OCORRÊNCIA DE CU, AU (CO-MO) NO GRUPO RIO NOVO, CONTATO S-SE DO GRANITO CIGANO, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS	49
3.1 - INTRODUÇÃO	49
3.2 – CONTEXTO GEOLÓGICO DOS DEPÓSITOS DE COBRE E OURO DE CARAJÁS	50
3.3 - OCORRÊNCIA DE CU, AU (MO-CO) NO ALVO RN4	53
3.3.1 - Geologia da Ocorrência	53
3.3.2 - Petrografia	55
Rochas Hospedeiras e Diques Graníticos	55
Zonas Mineralizadas	59
3.3.3 - Litogeoquímica	63
Diques Graníticos e Granito Cigano	64
Xistos e Zonas Mineralizadas	68
3.3.4 - Química Mineral	75



Minerais da Ganga e Rochas Hospedeiras	75
Minerais de Minério	82
3.3.5 - QUÍMICA ISOTÓPICA	85
3.4 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	88
3.4.1 - Controle da Mineralização	88
3.4.2 - Fonte da Mineralização	90
3.4.3 - Modelo Genético	92
CAPÍTULO 4	97
CONCLUSÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXO I - QUÍMICA MINERAL	111
ANEXO II - LITOGEOQUÍMICA	140
ANEXO III – QUÍMICA ISOTÓPICA.....	146
ANEXO IV - MAPA GEOLÓGICO E PERFIL LITOESTRATIGRÁFICO	148



LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- FIGURA 1.01–A) LOCALIZAÇÃO DA PMC NA PORÇÃO SUDESTE DO PARÁ, BRASIL (CPRM 2004). B) LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS DA PMC E DA ÁREA DE ESTUDO. 3

CAPÍTULO 2

- FIGURA 2.01 - MAPA GEOLÓGICO DO CINTURÃO ITACAIÚNAS E LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS A ELE RELACIONADOS (CPRM 2004). 8
- FIGURA 2.02 – MAPA GEOLÓGICO DO ALVO RN-4 E LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDA RND-08, RND-09 E RND-10. 11
- FIGURA 2.03-A) AFLORAMENTO DA FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA E BRECHADA RUPTILMENTE. B) AFLORAMENTO DE BOLSÕES HEMATÍTICOS COM LENTES CENTIMÉTRICAS DE QUARTZO NEOFORMADO PROVENIENTES DE REMOBILIZAÇÃO DA FORMAÇÃO FERRÍFERA. C) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ REFLETIDA DO BANDAMENTO PREDOMINANTE NA FORMAÇÃO FERRÍFERA CORTADO POR MICROVEIOS DE QUARTZO (QTZ) NEOFORMADO. D) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ REFLETIDA, MOSTRANDO MAGNETITA (MAG) PARCIALMENTE SUBSTITUÍDA POR HEMATITA (HEM). 12
- FIGURA 2.04-A) AFLORAMENTO DE ANFIBOLITO. B) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS CRUZADOS DO ANFIBOLITO ONDE OBSERVA-SE UMA TEXTURA RELIQUIAR SUBOFÍDICA ENTRE HORNBLENDA (HBL) E PLAGIOCLÁSIO (PL) PARCIALMENTE SUBSTITUÍDA POR ALTERAÇÃO SERICÍTICA. C) DISSEMINAÇÃO DE SULFETOS COMO CALCOPIRITA (CCP) E PIRITA (PY) EM LENTES NO ANFIBOLITO COM LUZ REFLETIDA E NICÓIS PARALELOS. D) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS CRUZADOS DO ANFIBOLITO FORTEMENTE SUBSTITUÍDO PELA ALTERAÇÃO SÓDICA (ALT.Na) ONDE O PRINCIPAL CONSTITUINTE É ALBITA (AB). 13
- FIGURA 2.05–A) AFLORAMENTO DA FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO. B) FOTOMICROGRAFIA DE CALCOPIRITA (CCP) E ILMENITA (ILM) TARDIAS. C) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS PARALELOS QUE MOSTRA A CORDIERITA (CRD) PINITIZADA E A CLORITA (CHL) ENLOBANDO A CALCOPIRITA. D) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS CRUZADOS QUE MOSTRA A RELAÇÃO ENTRE A FERRO-GEDRITA E A FERRO-ANTOFILITA. 14
- FIGURA 2.06–A) AFLORAMENTO DO BIOTITA XISTO BRECHADO. B) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS CRUZADOS DO BIOTITA XISTO COM CORDIERITA (CRD) RELIQUIAR,



PARCIALMENTE SUBSTITUÍDA POR BIOTITA (BT) E ANDALUZITA (AND) E TURMALINA (TUR) TARDIAS. C) VEIO DE QUARTZO (QTZ) COM PIRITA (PY) E CALCOPIRITA (CCP) EM FOTOMICROGRAFIA COM LUZ REFLETIDA. D) AFLORAMENTO DO GRAFITA-MUSCOVITA XISTO COM BANDAS CLARAS E ESCURAS MILIMÉTRICAS. E) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS PARALELOS DO GRAFITA-MUSCOVITA XISTO CARACTERIZADO POR APRESENTAR FOLIAÇÃO PENETRATIVA FORMADA POR MUSCOVITA (Ms), QUARTZO E OPACOS POSTERIORMENTE CRENUADA. A ANDALUZITA (AND) É UM MINERAL TARDIO QUE CRISTALIZOU SOBRE A CRENUAÇÃO, POSTERIORMENTE CORTADA POR MICROVEIOS DE QUARTZO. F) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ REFLETIDA DE LAMELAS DE GRAFITA COM AUMENTO DE 50 VEZES (ÓLEO).	16
FIGURA 2.07-A) ESTEREOGRAMA DE DENSIDADE DAS MEDIDAS DA FOLIAÇÃO SN COM QUATRO FOLIAÇÕES PRINCIPAIS P1, P2, P3 E P4. B) ESTEREOGRAMAS DE PONTOS DE MEDIDAS SN+1 COM DUAS FOLIAÇÕES PRINCIPAIS, P1 E P2. C) PERFIL GEOLÓGICO A(SUL)-A'(NORTE), DA ÁREA MAPEADA.	18
FIGURA 2.08 - DIAGRAMA ETR COM AMOSTRA DA FORMAÇÃO FERRÍFERA PLOTADA NORMALIZADA POR DADOS DE SUN & MCDONOUGH 1989.....	20
FIGURA 2.09 - GRÁFICO Nb/Y-Zr/TiO ₂ (WINCHESTER & FLOYD 1977), UTILIZADO PARA INDICAR UM POSSÍVEL PROTÓLITO PARA O ANFIBOLITO ESTUDADO E CORRELACIONÁ-LO A ROCHAS MÁFICAS E INTERMEDIÁRIAS DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS.	23
FIGURA 2.10 – DIAGRAMAS MULTIELEMENTARES NORMALIZADOS AO MANTO PRIMORDIAL DE MCDONOUGH & SUN (1995). A) ANFIBOLITO MENOS ALTERADO. B) ANFIBOLITO FORTEMENTE ALTERADO; ÁREA SOMBREADA CINZA REPRESENTA O DOMÍNIO DOS PADRÕES DO ANFIBOLITO MENOS ALTERADO DA FIGURA A.	24
FIGURA 2.11 - DIAGRAMAS DE ETR NORMALIZADOS POR VALORES DE CONDRITO PROPOSTOS POR SUN & MCDONOUGH (1989). A) ANFIBOLITO POUCO ALTERADO, B) ANFIBOLITO FORTEMENTE ALTERADO; ÁREA SOMBREADA CINZA REPRESENTA O DOMÍNIO DOS PADRÕES NA FIGURA A. .	25
FIGURA 2.13–A) DIAGRAMA DE ETR PARA FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO, ENCLAVE E ANFIBOLITO(ÁREA SOMBREADA), NORMALIZADOS PELO CONDRITO COM VALORES DE SUN & MCDONOUGH (1989), B) DIAGRAMA DE ETR PARA BIOTITA XISTO E GRAFITA-MUSCOVITA XISTO, NORMALIZADOS PELO CONDRITO COM VALORES DE SUN & MCDONOUGH (1989), C) DIAGRAMA MULTIELEMENTAR PARA FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO, ENCLAVE E ANFIBOLITO, NORMALIZADOS PELO MANTO PRIMORDIAL COM VALORES DE MCDONOUGH & SUN (1995), D) DIAGRAMA MULTIELEMENTAR PARA BIOTITA XISTO E GRAFITA-MUSCOVITA	



XISTO, NORMALIZADOS PELA MÉDIA DA CROSTA CONTINENTAL COM VALORES DE WEAVER & TARNEY (1984).	30
FIGURA 2.14-A) GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO DE ANFIBÓLIOS SEGUNDO LEAKE <i>ET AL.</i> , 1997, ONDE ESTÃO PLOTADAS ANÁLISES DE ANFIBOLITO, META-NORITO E FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO; B) GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO DE ORTOANFIBÓLIOS SEGUNDO LEAKE <i>ET AL.</i> , 1997, COM ANÁLISES DO META-NORITO E FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO.....	31
FIGURA 2.15 - GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO DE ANFIBÓLIOS CÁLCICOS (LEAKE <i>ET AL.</i> , 1997), COM ANÁLISES DO ANFIBOLITO, META-NORITO E FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO (LEGENDA NA FIGURA 2.14).	32
FIGURA 2.16-A) DIAGRAMA DESENVOLVIDO POR LEAKE (1965) COM CAMPOS PARA ANFIBÓLIOS ÍGNEOS (C) E METAMÓRFICOS (D). B) DIAGRAMA DESENVOLVIDO POR LEAKE (1965B) PARA DEFINIR A PRESSÃO DE CRISTALIZAÇÃO DO ANFIBÓLIO.	33
FIGURA 2.17-A) DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DE BIOTITAS PROPOSTO POR DEER <i>ET AL.</i> 1992. B) DIAGRAMA 10.TiO ₂ -FeO+MnO-MgO DE NACHIT (1986). (A: BIOTITAS PRIMÁRIAS, B: BIOTITAS REEQUILIBRADAS, C: BIOTITAS NEOFORMADAS).	33
FIGURA 2.18 - A) GRÁFICO TRIANGULAR DE CLASSIFICAÇÃO DE CLORITAS RICAS EM Fe ₂ , Mg OU Mn; B) GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO DE CLORITAS RICAS EM FERRO.	34
FIGURA 2.19 - A) DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DE FELDSPATOS COM AMOSTRAS DO BIOTITA XISTO E DA ENCLAVE, B) DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO PARA AMOSTRAS DO ANFIBOLITO E DO META-NORITO.....	35
FIGURA 2.20 - PRINCIPAIS SUBSTITUIÇÕES EM MUSCOVITA DE XISTOS, META-NORITO E FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO.	36
FIGURA 2.21 – FOTOMICROGRAFIAS DA MICROLENTE MINERALIZADA NA FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO. A, B) LENTE DE SULFETOS E FERROPIROSMALITA, CLORITA E BIOTITA COMO PRINCIPAIS MINERAIS DA GANGA, C) CALCOPIRITA E PIRROTITA COMO MINERAIS DE MINÉRIO.	36
FIGURA 2.22 - DIAGRAMA X _{Mg} X Ti (A.F.U.), ONDE AS LINHAS CONTÍNUAS E TRACEJADAS REPRESENTAM ISOTERMAS (°C), PROPOSTO POR HENRY <i>ET AL.</i> (2005) PARA PRESSÃO ENTRE 3,3-6 KBAR. A LINHA PONTILHADA VERMELHA REPRESENTA O LIMITE INFERIOR DE X _{Mg} (0,257) DOS DADOS ORIGINAIS E AS AMOSTRAS PLOTADAS REPRESENTAM O ANFIBOLITO ALTERADO, BIOTITA XISTO, FE-ANTOFILITA CORDIERITITO, META-NORITO E A ENCLAVE DO GRANITO CIGANO.	38



FIGURA 2.23–A) ISÓCRONA SM/ND FORMADA A PARTIR DE QUATRO AMOSTRAS DE ANFIBOLITO. B) ISÓCRONA SM/ND FORMADA A PARTIR DE TRÁS AMOSTRAS DE XISTOS.....	39
--	----

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.01: MAPA GEOLÓGICO DO CINTURÃO ITACAIÚNAS E LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS A ELE RELACIONADOS (CPRM 2004).	52
FIGURA 3.02 – MAPA GEOLÓGICO DO ALVO RN-4 E LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDA RNJD- 08, RND-09 E RND-10.	54
FIGURA 3.03–PERFIL SIMPLIFICADO DOS FUROS DE SONDA RND-08, RND-09 E RND-10 E POSSÍVEL CORRELAÇÃO ENTRE ELES. A LOCALIZAÇÃO DESSES FUROS NO ALVO RN-4 PODE SER OBSERVADA NA FIGURA 3.02.	56
FIGURA 3.04-A) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS CRUZADOS DO GRANADA BIOTITA XISTO QUE MOSTRA A GRANADA SIN-TECTÔNICA COM SOMBRA DE PRESSÃO FORMADA POR MUSCOVITA E QUARTZO. B) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS PARALELOS DA TURMALINA BIOTITA XISTO MOSTRANDO O HÁBITO GRANULAR DA TURMALINA E SUA ASSOCIAÇÃO COM A BIOTITA. C) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS PARALELOS DO ANFIBOLITO CLORITIZADO COM RESTOS DE ACTINOLITA DE COR VERDE E CLORITA AMARELA ESVERDEADA. D) FOTO DE CAMPO DO GRANITO CIGANO E DO ENCLAVE DE BIOTITITO.	57
FIGURA 3.05-A) AMOSTRA DE TESTEMUNHO DO FURO RND-09 DE DIQUE TONALÍTICO COM MOLIBDENITA (Mo). B) AMOSTRA DE TESTEMUNHO DO FURO RND-08, DE DIQUE GRANÍTICO CORTADO POR VEIO DE QUARTZO ESTÉRIL. C) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS CRUZADOS DO DIQUE TONALÍTICO DA FIGURA “A” ONDE OS SULFETOS OCORREM ASSOCIADOS A QUARTZO, CARBONATO, EPIDOTO E CLORITA EM UMA LENTE MINERALIZADA. D) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ REFLETIDA DE MOLIBDENITA E CALCOPIRITA (CCP) INDICADOS COMO SULFETOS NA FIGURA “C”	59
FIGURA 3.06-A) AMOSTRA DE TESTEMUNHO DE ZONA MINERALIZADA, COM SULFETOS DISSEMINADOS E LENTES NO GRANADA-BIOTITA XISTO, AMBOS PARALELOS À FOLIAÇÃO DA ROCHA. B) AMOSTRA DE TESTEMUNHO DO BIOTITA XISTO CORTADO POR VEIOS MILIMÉTRICOS A CENTIMÉTRICOS DE QUARTZO E DE SULFETOS, COMO CALCOPIRITA E PIRITA. C) AMOSTRA DE TESTEMUNHO QUE MOSTRA A BRECHA FORMADA POR CLASTOS DE QUARTZO CIMENTADOS POR SULFETOS. (CCP: CALCOPIRITA; PY:PIRITA; PO: PIRROTITA; GRT: GRANADA; QZ:QUARTZO). 60	
FIGURA 3.07 - FOTOMICROGRAFIAS DE ASSOCIAÇÕES GANGA-SULFETO DE ZONAS MINERALIZADAS, ONDE AS FOTOS “A” E “C” SÃO EM LUZ TRANSMITIDA COM NICÓIS CRUZADOS E AS DEMAIS	



FOTOS EM LUZ REFLETIDA COM NICÓIS PARALELOS. A) ASSOCIAÇÃO CLORITA-SULFETOS ONDE SE OBSERVA CLORITA, TURMALINA QUARTZO E SULFETOS. B) PIRITA COM FRATURAS MILIMÉTRICAS PREENCHIDAS POR CALCOPIRITA E GRÃO DE OURO (ZOOM), REFERENTES AOS “SULFETOS” DA FOTO DA FIGURA A. C) ASSOCIAÇÃO TURMALINA-SULFETOS EM VEIO MILIMÉTRICO COM BORDA DE ALBITA. D) FIGURA “C” EM LUZ REFLETIDA, COM PIRITA ENGLOBALADA POR CALCOPIRITA. E) CALCOPIRITA ASSOCIADA A IDAÍTA E POSSÍVEL COVELITA. F) CALCOPIRITA E ESFALERITA, COM TEXTURA DO TIPO <i>CHALCOPYRITE DISEASE</i> ASSOCIADAS A PIRITA.....	62
FIGURA 3.08-A) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ REFLETIDA COM NICÓIS PARALELOS DE MINERAIS DA ASSOCIAÇÃO QUARTZO-SULFETO 2, COM PIRROTITA (Po) ENTRE GRÃOS DE QUARTZO E COM EXSOLUÇÕES DE CO-PENTLANDITA (Co-Pn) E INCLUSÕES DE GLAUCODOTO. B) FOTOMICROGRAFIA EM LUZ REFLETIDA COM NICÓIS PARALELOS DE CLINOSSAFORITA BLINDADA POR GLAUCODOTO, AMBOS ENGLOBALADOS POR PIRROTITA. PIRITA (PY) ENGLOBALA PARCIALMENTE O GLAUCODOTO E, JUNTO COM CALCOPIRITA (CCP) OCORRE COMO INCLUSÕES NA PIRROTITA.	63
FIGURA 3.09 - AMOSTRAS DE DIQUES GRANÍTICOS E DO GRANITO CIGANO. A) DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO TECTÔNICA DE PEARCE <i>ET AL.</i> (1984), B) DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DE GRANITOS DE WHALEN <i>ET AL.</i> (1987), C, D) DIAGRAMAS DE ETR COM AMOSTRAS DOS DIQUES GRANÍTICOS E TONALÍTICOS NORMALIZADOS COM VALORES DE PEARCE <i>ET AL.</i> (1989), E, F) DIAGRAMA MULTIELEMENTAR PROPOSTOS POR PEARCE <i>ET AL.</i> (1984) PARA CLASSIFICAÇÃO TECTÔNICA DE GRANITOS, G) DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DE GRANITOS TIPO A ₁ E A ₂ PROPOSTO POR EBY (1992), H) DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DE GRANITOS REDUZIDOS E OXIDADOS PROPOSTO POR DALL’AGNOL E OLIVEIRA (2007) PARA GRANITOS DA PMC.	66
FIGURA 3.10 – DADOS REFERENTES A AMOSTRAS DE DIQUES GRANÍTICOS E DO GRANITO CIGANO. A, B, C) DIAGRAMAS BINÁRIOS CU-AU, CU-MO E AU-(NI+CO) MOSTRANDO ALTAS CONCENTRAÇÕES DESSES METAIS EM DUAS AMOSTRAS DE TONALITO, D) DIAGRAMA TERNÁRIO AU-MO-CU.	68
FIGURA 3.11 - DIAGRAMAS BINÁRIOS ENTRE K ₂ O, TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ E OS PRINCIPAIS METAIS DA MINERALIZAÇÃO CU, AU, CO E NI, COM EXCEÇÃO DO MO. FORAM PLOTADAS NESSES DIAGRAMAS AMOSTRAS DAS ZONAS MINERALIZADAS DIVIDIDAS EM SULFETOS DISSEMINADOS E QUARTZO-SULFETOS 1 E 2, ANTERIORMENTE DESCRITAS, E SUA RELAÇÃO COM AMOSTRAS HOSPEDEIRAS POUCO ALTERADAS REPRESENTADAS POR POLÍGONOS CINZA. AS SETAS CINZA	



REPRESENTAM DUAS AMOSTRAS DA ASSOCIAÇÃO QUARTZO-SULFETOS 2 ENRIQUECIDAS EM FERRO, OURO, COBALTO E NÍQUEL.	71
FIGURA 3.12 - DIAGRAMAS BINÁRIOS COM AMOSTRAS DE ZONAS MINERALIZADAS. A) AU X CU, ONDE OBSERVA-SE LEVE CORRELAÇÃO POSITIVA ENTRE ESSES ELEMENTOS, B) MO X (CO+NI), ONDE AMOSTRAS RICAS EM MO NÃO APRESENTAM NENHUM TIPO DE CORRELAÇÃO COM CO+NI, C) AU X (CO+NI), MOSTRANDO LEVE CORRELAÇÃO POSITIVA ENTRE ESSES ELEMENTOS, D) CU X (CO+NI). COM BOA CORRELAÇÃO POSITIVA ENTRE ESSES ELEMENTOS, FORMANDO DOIS GRUPOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE CU.	72
FIGURA 3.13 - DIAGRAMAS QUE RELACIONAM OS TEORES DE CU, AU, MO, CO E ZONAS MINERALIZADAS DESCRITAS NO FURO RND-09.....	73
FIGURA 3.14 - DIAGRAMAS DE ETR NORMALIZADOS COM VALORES DE SUN & MCDONOUGH (1989). A) A ÁREA CINZA REPRESENTA AMOSTRAS DE BIOTITA XISTO E A ÁREA AZUL REPRESENTA AS AMOSTRAS DE CLORITA XISTO POUCO ALTERADAS. ASSOCIADAS A ESSAS AMOSTRAS ESTÃO PLOTADAS TODAS AS AMOSTRAS DE ROCHA COM SULFETOS DISSEMINADOS. B) AMOSTRAS DE XISTOS POUCO ALTERADOS (ÁREAS CINZA E AZUL) E ROCHAS MINERALIZADAS DAS ZONAS DE QUARTZO E SULFETOS 1 (AZUL) E 2 (VERDE). C) COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS DE ETR ENTRE AS AMOSTRAS DAS ZONAS DE SULFETOS DISSEMINADOS (ÁREA ROSA) E DAS ZONAS DE QUARTZO E SULFETOS 1 (AZUL) E 2 (VERDE).....	74
FIGURA 3.15 - DIAGRAMAS CLASSIFICATÓRIOS ENTRE A RAZÃO $Fe/(Fe+Mg)$ E $Al^{(VI)}$ PARA BIOTITAS. A) DIAGRAMA COM BIOTITAS DAS ROCHAS HOSPEDEIRAS DA MINERALIZAÇÃO REPRESENTADAS POR BIOTITA XISTO, DIQUES GRANÍTICOS E GRANITO CIGANO. B) DIAGRAMA COM BIOTITAS DAS ZONAS MINERALIZADAS TIPO SULFETOS DISSEMINADOS E QUARTZO-SULFETOS1.	75
FIGURA 3.16-A) DIAGRAMA $10.TiO_2-FeO+MnO-MgO$ DE NACHIT (1986) UTILIZADO PARA SEPARAR BIOTITAS MAGMÁTICAS DE BIOTITAS SECUNDÁRIAS. B) DIAGRAMA AL (TOTAL) POR CL COM TODAS AS AMOSTRAS DE BIOTITA PLOTADAS (SÍMBOLOS NA FIGURA 3.16).....	76
FIGURA 3.17 - DIAGRAMAS OR-AB-AN DE CLASSIFICAÇÃO DE FELDSPATOS. A) FELDSPATOS PRESENTES EM ROCHAS HOSPEDEIRAS POUCO ALTERADAS. B) FELDSPATOS PRESENTES NAS ROCHAS HOSPEDEIRAS DAS ZONAS MINERALIZADAS.....	77
FIGURA 3.18 - DIAGRAMA MOSTRANDO AS PRINCIPAIS SÉRIES DE MICAS TRIOCTAÉDRICAS E DIOCTAÉDRICAS. A) AMOSTRAS DE ROCHAS HOSPEDEIRAS POUCO ALTERADAS E DIQUES GRANÍTICOS. B) AMOSTRAS DAS ZONAS MINERALIZADAS.....	78



FIGURA 3.19 - DIAGRAMA BINÁRIO FE-CL. A) AMOSTRAS DE ROCHAS HOSPEDEIRAS POUCO ALTERADAS E DIQUES GRANÍTICOS. B) AMOSTRAS DAS ZONAS MINERALIZADAS (LEGENDA NA FIGURA 3.18).	79
FIGURA 3.20 - DIAGRAMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE CLORITAS. A) GRÁFICO TRIANGULAR PARA CLORITAS RICAS EM Fe ²⁺ , Mg ou Mn; B) GRÁFICO DE CLASSIFICAÇÃO DE CLORITAS RICAS EM FERRO. AS ÁREAS CINZA REPRESENTAM AS CLORITAS FE-ANTOFILITA CORDIERITITO (THURINGITA) E O ANFIBOLITO SILICIFICADO (CHAMOSITA).	79
FIGURA 3.21 - DIAGRAMAS CL x Fe E CL x Mg PARA AS CLORITAS.....	79
FIGURA 3.22-A) DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO COMPOSICIONAL DE TURMALINAS DE ACORDO COM HAWTHORNE & HENRY (1999). B) DISTRIBUIÇÃO DAS ANÁLISES EM TURMALINAS ASSOCIADAS AOS DIQUES GRANÍTICOS E AOS TONALITOS MINERALIZADOS, SEGUNDO AS TRAJETÓRIAS DE SUBSTITUIÇÃO MAGMÁTICA E HIDROTERMAL.	80
FIGURA 3.23 - DIAGRAMA BINÁRIO AL x Fe/(Fe+Mg) ONDE AS AMOSTRAS DOS TONALITOS APRESENTAM TREND PARALELO AO FORMADO PELAS AMOSTRAS DE BIOTITA XISTO. ENTRETANTO, AS TURMALINAS DOS TONALITOS SÃO EMPOBRECIDAS EM Fe EM RELAÇÃO AS DO XISTO. (LEGENDA NA FIGURA 3.22).	81
FIGURA 3.24-A) DIAGRAMA TRIANGULAR Fe-S-Cu COM ANÁLISES DE Py, Ccp, Po, Id e Cc . B) DIAGRAMA TRIANGULAR Co-Ni-Fe COM Co-PENTLANDITA, PENTANDITA E PIRROTITA. C) DIAGRAMA TRIANGULAR As-Co+Ni-S+Fe COM CLINOSSAFLORINA E GLAUCODOTO. OS PONTOS AMARELOS NOS TRÊS DIAGRAMAS REPRESENTAM AS COMPOSIÇÕES IDEAIS DE CADA MINERAL CITADO (WEB MINERAL).	84
FIGURA 3.25 - DIAGRAMAS TERNÁRIOS QUE MOSTRAM OS <i>TRENDS</i> DE COMPOSIÇÃO DO GLAUCODOTO E OS PÓLOS DAS COMPOSIÇÕES IDEAIS DO GLAUCODOTO E DA COBALTITA REPRESENTADOS POR PONTOS AMARELAS (WEB MINERAL).	85
FIGURA 3.26 - ISÓCRONA Sm-Nd CALCULADA COM RAZÕES ISOTÓPICAS DE AMOSTRAS DO BIOTITA XISTO.....	87
FIGURA 3.27 - FIGURA ESQUEMÁTICA DAS CARACTERÍSTICAS HIDROTERMAIS E PERCOLAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE FLUIDOS COM PREDOMINÂNCIA DE FLUIDOS MAGMÁTICOS E NÃO MAGMÁTICOS PARA DEPÓSITOS TIPO <i>IOCG</i> (BARTON & JOHNSON, 2004).	95



LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA 2.01 - ANÁLISES DA FORMAÇÃO FERRÍFERA (F. Fe) E DO ANFIBOLITO DO GRUPO RIO NOVO, NO SUDESTE DO GRANITO CIGANO (< ABAIXO DO LIMITE DE DETECÇÃO; ÓXIDOS, S E C EM % PESO, AU EM PPB E DEMAIS ELEMENTOS EM PPM).	21
TABELA 2.02 - TABELA COM O COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR(R) ENTRE AS AMOSTRAS DE ANFIBOLITO SERICITIZADO E COM ALTERAÇÃO SÓDICA.	22
TABELA 2.03 – RAZÕES ENTRE ELEMENTOS IMÓVEIS, UTILIZADAS POR CONDIE (1989) PARA DETERMINAR A ASSINATURA GEOQUÍMICA DE BASALTOS E ANDESITOS PRÉ-CAMBRIANOS, COMPARADAS COM AS ANÁLISES DO ANFIBOLITO ESTUDADO. ONDE WPB = BASALTO INTRAPLACA, ARCB = BASALTO DE ARCO, IAB = BASALTO DE ILHA OCEÂNICA, CABI = BASALTO CÁLCIO –ALCALINO DE ARCO DE ILHA, CABC = BASALTO CÁLCIO-ALCALINO DE ARCO CONTINENTAL.	23
TABELA 2.04 - ANÁLISES DO FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO, DO ENCLAVE (BIOTITITO), BIOTITA XISTO E GRAFITA-MUSCOVITA XISTO DO GRUPO RIO NOVO, NO SUDESTE DO GRANITO CIGANO (< ABAIXO DO LIMITE DE DETECÇÃO; ÓXIDOS, S E C EM % PESO, AU EM PPB E DEMAIS ELEMENTOS EM PPM).	27
TABELA 2.05 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR(R) ENTRE AS AMOSTRAS DE FERRO-ANTOFILITA CORDIERITITO.	28
TABELA 2.06 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR(R) ENTRE AS AMOSTRAS DE XISTOS.	29
TABELA 2.07 - TEMPERATURAS PARA A PARAGÊNESE HORNBLENDA-PLAGIOCLÁSIO COM BASE NA EQUAÇÃO (1) DESCRITA POR HOLLAND & BLUNDY (1994) RELACIONADAS A PRESSÃO.	37
TABELA 2.08 – DADOS DAS ANÁLISES DE SM-ND NO ANFIBOLITO, BIOTITA XISTO E GRAFITA-MUSCOVITA XISTO.	39

CAPÍTULO 3

TABELA 3.01 - TABELA COM A COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS GRANITOS E TONALITOS REFERENTE À FASE MAGMÁTICA, SERICITIZAÇÃO (ALTERAÇÃO 1), LENTES (ALTERAÇÃO 2) E DOS MICROVEIOS QUE CORTAM OS TONALITOS.	58
--	----



TABELA 3.02 - PRINCIPAIS ASSOCIAÇÕES MINERAIS DAS ZONAS MINERALIZADAS OBSERVADAS EM LÂMINAS E SEÇÕES POLIDAS. OS RETÂNGULOS VERMELHOS REPRESENTAM MINERAIS QUE OCORREM LOCALMENTE.	61
TABELA 3.03 - ANÁLISES LITOGEOQUÍMICAS REPRESENTATIVAS DE AMOSTRAS DE TESTEMUNHO DOS DIQUES DE COMPOSIÇÃO GRANÍTICA E TONALÍTICA, BIOTITA XISTO E CLORITA XISTO DO GRUPO RIO NOVO POUCO ALTERADOS, NO SUDESTE DO GRANITO CIGANO (< ABAIXO DO LIMITE DE DETECÇÃO; ÓXIDOS, S E C EM % PESO, AU EM PPB E DEMAIS ELEMENTOS EM PPM).	65
TABELA 3.04 - ANÁLISES LITOGEOQUÍMICAS DE AMOSTRAS DE TESTEMUNHO DAS ZONAS MINERALIZADAS, DIVIDIDAS EM CINCO GRUPOS COM BASE NA ANÁLISE PETROGRÁFICA (< ABAIXO DO LIMITE DE DETECÇÃO; ÓXIDOS, S E C EM % PESO, AU EM PPB E DEMAIS ELEMENTOS EM PPM).	69
TABELA 3.05 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS AMOSTRAS DE TESTEMUNHO DAS ZONAS MINERALIZADAS.	70
TABELA 3.05 - COMPOSIÇÃO DAS GRANADAS ANALISADAS SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO DE WINCHELL (1933).	82
TABELA 3.06 – COMPOSIÇÃO DE AMOSTRAS DE PIRITA (PY), PIRROTITA (PO), CALCOPIRITA (CCP), IDAÍTA (ID), CALCOCITA (CC), PENTLANDITA (PN), GLAUCODOTO (GLD), CLINOSSAFORITA (CLINO-SF), GALENA (GN), ESFALERITA (SP) E MOLIBDENITA (MO), EM PORCENTAGEM (%) E NORMALIZAÇÃO ATÔNICA (N.A.).	83
TABELA 3.07 - DADOS DAS ANÁLISES DE SM-ND NOS XISTOS HOSPEDEIROS, POUCO ALTERADOS, E MINERALIZADOS.	86
TABELA 3.08 - RESULTADOS ISOTÓPICOS RE-OS E DETERMINAÇÃO DA IDADE MODELO DAS MOLIBDENITAS ANALISADAS.	87
TABELA 3.09 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS DEPÓSITOS SALOBO, GAMELEIRA, BREVES, SERRA VERDE E A OCORRÊNCIA DE CU, AU (MO, CO) ESTUDADA.	94



Resumo

O Grupo Rio Novo é uma seqüência vulcano-sedimentar arqueana ($> 2,76$ Ga), caracterizada por hospedar mineralizações de cobre e ouro, localizada na porção centro-leste do Cinturão Itacaiúnas na Província Mineral de Carajás. Intrusões de corpos arqueanos e paleoproterozóicos no Grupo Rio Novo, a exemplo do Granito Cigano (1,88 Ga), estão eventualmente associadas a estas mineralizações. Na borda sul-sudeste do Granito Cigano, afloram formação ferrífera, anfíbolito, ferro-antofilita cordierítico e xistos do Grupo Rio Novo, metamorfizados em fácies anfíbolito e deformados nos eventos tectono-metamórficos de 2,70 Ga a 2,50 Ga, responsável pelo desenvolvimento dos sistemas de cisalhamento Carajás e Cinzento. Deformações tardias entre 1,90 Ga e 1,00 Ga foram associadas a reativações das zonas de cisalhamento Carajás e Cinzento, implantação de sistemas transcorrentes rúpteis-dúcteis e intrusões de granitos tipo-A. A ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) hospedada em xistos e anfíbolito do Grupo Rio Novo foi caracterizada por disseminações de pirita, calcopirita e ouro nos planos da foliação principal, enquanto as associações de pirita, calcopirita, pirrotita, pentlanditas, glaucodoto, molibdenita e ouro foram descritas como veios, lentes e brechas remobilizados. Idades modelo Re-Os (1883 ± 9 Ma e 1884 ± 9 Ma) em molibdenita e idade de isócrona em rocha total Sm-Nd (1729 ± 420 Ma) de xistos mineralizados corroboram a hipótese de remobilização dos minerais de minério contemporânea à intrusão do Granito Cigano. Dados geoquímicos indicam que os metais, cobre, ouro, níquel, cobalto e platina são provenientes de mineralizações prévias, em protólitos máficos, enquanto molibdênio é proveniente de outra fonte. A ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) hospedada no Grupo Rio Novo apresenta características semelhantes aos depósitos tipo *IOCG* da Província Mineral de Carajás, entretanto, a ausência de óxidos de ferro, alterações sódico-cálcica e potássica associadas à mineralização remobilizada não permitem a classificação genética dessa ocorrência como tipo *IOCG* clássico.



Abstract

The Rio Novo Group is an Archean volcano-sedimentary sequence (> 2.76 Ga), known for hosting copper and gold mineralizations, located in the mid-eastern portion of the Itacaiúnas Belt in the Carajás Mineral Province. Archean and Paleoproterozoic intrusions in the Rio Novo Group, e.g. the Cigano Granite (1.88 Ga), have been related to such mineralizations. The outcropping rocks to the south-southeast of the Cigano Granite: banded iron formation; amphibolite; Fe-antophyllite cordierite; and schists, were deformed and metamorphosed under amphibolite facies during the 2.70 Ga to 2.50 Ga tectono-metamorphic events, responsible for the Carajás and Cinzento shear systems. Late deformations between 1.90 Ga and 1.00 Ga have been associated to reactivations in the Carajás and Cinzento shear zones, the establishment of brittle-ductile transcurrent systems, and A-type granite intrusions. The Cu-Au (Mo-Co) occurrence hosted in schists and amphibolites of the Rio Novo Group was characterized by pyrite, chalcopyrite and gold disseminations in the main foliation planes, while the pyrite, pentlandite, glucodote, molybdenite and gold associations were described as veins, lenses and remobilized breccias. Re-Os model ages (1883 ± 9 Ma e 1884 ± 9 Ma) in molybdenite and an Sm-Nd total rock isochrone age of (1729 ± 420 Ma) in mineralized schists corroborate with the hypothesis that the ore minerals were remobilized during the intrusion of the Cigano Granite. Geochemical data indicate that copper, gold, nickel, cobalt and platinum came from previous mineralizations, in mafic protoliths, while molybdenium comes from another source. The Cu-Au (Mo-Co) occurrence hosted in the Rio Novo Group presents similar features when compared to the IOCG type deposits in the Carajás Mineral Province, however, the absence of iron oxides, sodic-calcic and potassic alterations associated to the remobilized mineralization does not allow the genetic classification of this occurrence as a classic IOCG type.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 – APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA

A Província Mineral de Carajás (PMC) está situada na porção sudeste do Pará e representa uma das principais províncias minerais do mundo com importantes depósitos de Fe, Mn, Au-Pt-Pd, Ni, e Cu-Au.

O arcabouço tectônico desta província é formado por embasamento gnáissico mesoarqueano (3,0 Ga – 2,98 Ga) de composição heterogênea, metamorfoisado nos fácies anfíbolito e granulito durante o primeiro evento tectono-metamórfico registrado na região (E-W).

No início do neoarqueano este embasamento foi recoberto por seqüências vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belts* (2,76 Ga) relacionadas a depósitos singenéticos de ferro e intrudidas por granitos tipo-A. Nesta época tais rochas foram submetidas a um segundo evento deformacional (WNW-ESE) caracterizado pelos sistemas de falhas transcorrentes dextrais Carajás e Cinzento.

No final do Arqueano ocorreu a deposição de sedimentos marinhos rasos (2,67 Ga), relacionados a depósitos de manganês (Nogueira *et al.*, 1994), e um segundo pulso magmático caracterizado pela cristalização de uma nova suíte granítica.

Os depósitos de Cu-Au de classe mundial, classificados como do tipo *IOCG* pela maioria dos autores que estudam a região (Huhn & Nascimento, 1997, Villas & Santos, 2001, Grainger *et al.*, 2008), foram formados neste segundo evento tectonometamórfico e estão diretamente ligados às seqüências vulcano-sedimentares, às rochas intrusivas e aos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento.

O terceiro evento tectonometamórfico ocorreu no paleoproterozóico e reativou antigas falhas WNW-ESE, o que possibilitou a colocação de uma nova suíte granítica tipo-A (1,88 Ga) e a formação de depósitos menos representativos de Cu-Au.

Assim, por ser descrita como uma região polideformada, a PMC é alvo de importantes discussões sobre sua evolução geotectônica e complexidade metalogenética, sendo necessários

estudos detalhados da região com o intuito de um melhor aproveitamento de seus recursos naturais.

O objeto de estudo deste mestrado é a ocorrência de Cu-Au (Mo-Co), hospedada em rochas de uma das sequências vulcano-sedimentares arqueanas, denominada Grupo Rio Novo, na borda sul-sudeste do granito Cigano, do tipo-A paleoproterozóico, e situada no Rabo de Cavalo Serra Pelada, parte leste da zona de cisalhamento Cinzento.

A área estudada está requerida para pesquisa mineral pela empresa Teck Cominco do Brasil Ltda, e foi escolhida como objeto de pesquisa por apresentar ocorrência mineral com características distintas daquelas comumente descritas em modelos metalogenéticos para Cu-Au na Província Mineral de Carajás, tais como ausência de concentrações consideráveis de óxido de ferro e zonas de alterações potássicas e sódico-cálcicas.

Assim, os objetivos desta dissertação de mestrado são: (1) caracterizar as rochas hospedeiras da ocorrência, através de mapeamento geológico de detalhe, petrografia e geoquímica e, (2) propor um modelo genético da ocorrência, estabelecido por meio do reconhecimento dos processos físicos e químicos que conduziram à formação do mineral de minério e suas feições.

Esta Dissertação de Mestrado foi compartimentada em quatro capítulos. O primeiro capítulo consiste na justificativa do tema, localização da área de trabalho e materiais e métodos utilizados.

Os capítulos 2 e 3 foram desenvolvidos de forma a adaptá-los ao formato de dois artigos científicos a serem submetidos em revistas de circulação nacional e internacional. O capítulo 2 trata das rochas hospedeiras da ocorrência de Cu-Au (Mo, Co) e sua relação com rochas adjacentes a área mineralizada, como formação ferrífera, anfíbolito e ferro-antofilita cordieritito pertencentes ao Grupo Rio Novo. O capítulo 3 trata das rochas mineralizadas, sua relação com as rochas hospedeiras estudadas com maior detalhe no primeiro artigo, as possíveis fontes para os metais e a sugestão para o modelo genético da ocorrência.

O capítulo 4 apresenta as conclusões finais da dissertação com base nas discussões e conclusões parciais desenvolvidas nos capítulos 2 e 3

1.2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área estudada está situada 12 km à nordeste da cidade de Parauapebas/PA, é definida pelas coordenadas UTM (Zona 22 S) leste (E), 630.700m e 633.200m, e norte (N), 9.336.600m e

9.333.400m, representando uma superfície de 8 km² (Figura 1.01), e tem como via de acesso principal a PA-275.

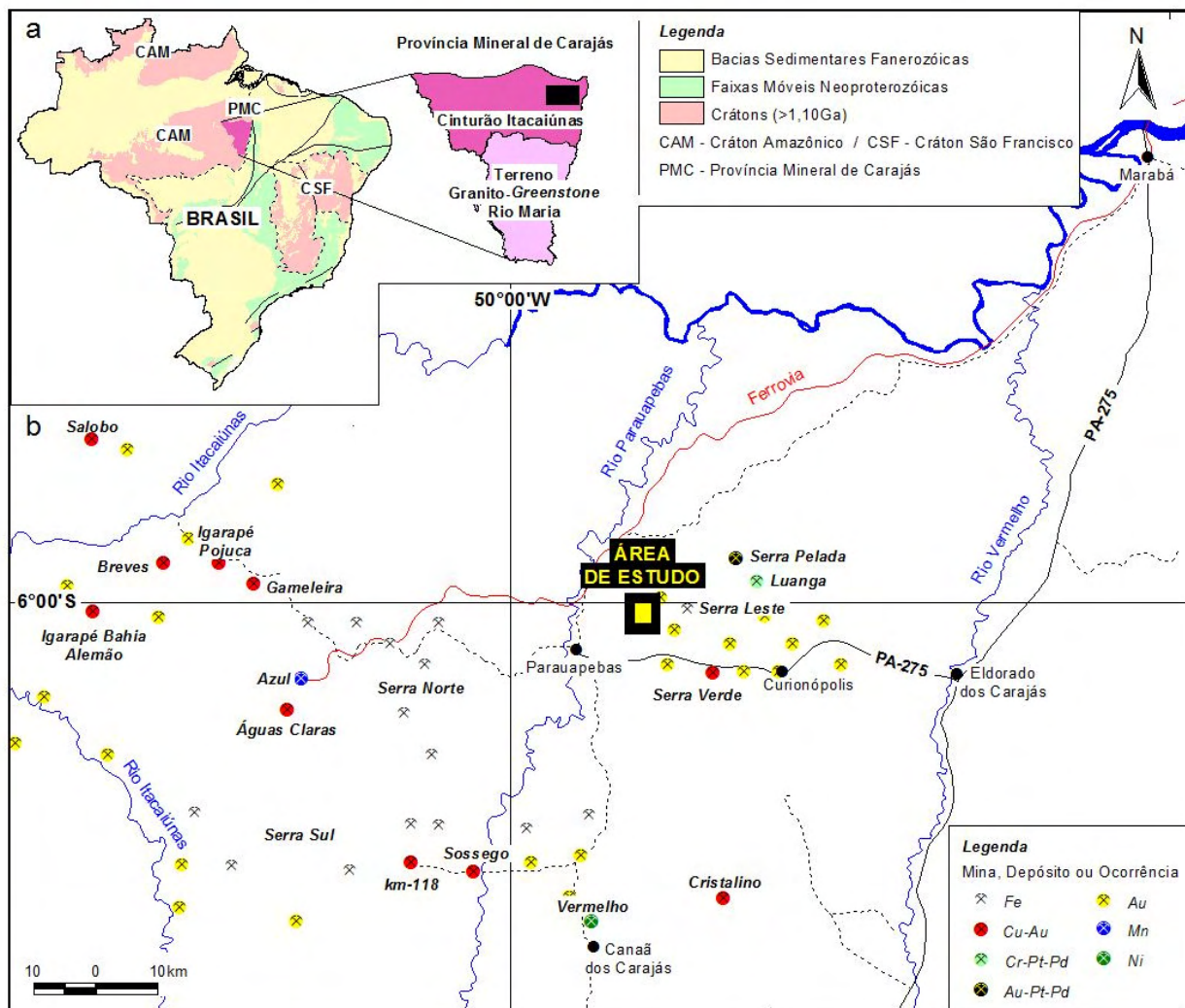


Figura 1.01–a) Localização da PMC na porção sudeste do Pará, Brasil (CPRM 2004). b) Localização dos principais depósitos minerais da PMC e da área de estudo.

1.3 - MÉTODOS UTILIZADOS

As atividades realizadas para o desenvolvimento do projeto de mestrado estão descritas a seguir.

1.3.1 - Atividades de Campo

Foram realizadas duas atividades de campo no Projeto Rio Novo – Alvo RN4 (Teck Cominco do Brasil Ltda). A primeira ocorreu em novembro de 2006, quando foram coletadas 83

amostras referentes aos furos de sonda RND8, RND9 e RND10 localizados na porção centro-oeste do alvo e também o reconhecimento geológico da área estudada.

A segunda etapa ocorreu entre maio e junho de 2007, com o mapeamento da área em detalhe na escala 1:5.000. Neste mapeamento, foram descritos 218 pontos e coletadas 97 amostras. Os principais objetivos deste mapeamento de detalhe foram definir em superfície a área de alteração hidrotermal diretamente associada às brechas mineralizadas, efetuar medidas estruturais fundamentais para controle tectônico da ocorrência e definir os tipos de rocha que hospedam esta alteração.

Para estudo estrutural da região foram utilizadas medidas de elementos estruturais feitas em campo e interpretação de imagens de satélite Landsat sensor ETM+, RGB 547 e 457 fundidas com a banda 8.

1.3.2 - Petrografia

Das amostras de furos de sonda e superfície foram confeccionadas 46 lâminas polidas de rochas encaixantes, 18 lâminas e 17 seções polidas de rochas mineralizadas, todas descritas incluindo identificação mineralógica, texturais, paragêneses metamórficas e alterações hidrotermais, além da associação com minerais de minério e a relação destes com alterações hidrotermais presentes.

1.3.3 - Química Mineral

Para análise de química mineral da ganga e do minério na Microsonda Eletrônica CAMECA SX-50 da Universidade de Brasília, foram escolhidas 50 lâminas/seções polidas. Os minerais analisados foram: biotita, anfibólio, muscovita, feldspato, turmalina, granada, clorita, cordierita, andaluzita, sulfetos e óxidos. Os dados obtidos foram tratados nos *softwares Minpet 2.02* (Richard, 1996) e *Petrograph* (Petrelli, 2007), onde foram realizados cálculos de normalização e estruturais para a construção de diagramas classificatórios e discriminantes.

1.3.4 - Litogeoquímica

Entre as amostras de furos de sonda e superfície, 59 foram escolhidas para análise de química de rocha, realizada no Laboratório ACME – Analítica Laboratórios Ltda com as rotinas 4A e 4B. Nestas rotinas os elementos maiores são analisados no ICP-AES, S e C em Forno Leco,

e os elementos terras raras, refratários, metais preciosos e metais base no ICP-MS. Os elementos maiores, terras raras e refratários são anteriormente fundidos por metaborato/tetraborato de lítio e digeridos em ácido nítrico. Os metais preciosos e metais base são digeridos com água régia. Os dados obtidos foram tratados no *software Petrograph* (Petrelli, 2007), onde também foram confeccionados gráficos fundamentais para a interpretação da área estudada.

1.3.5 - Química Isotópica

Para a análise de Sm-Nd, foram selecionadas 20 amostras entre rochas encaixantes e mineralizadas com o intuito de auxiliar no estudo de proveniência, tanto dos materiais envolvidos na formação das rochas quanto na formação do minério. O método utilizado no Laboratório de Geocronologia-UnB foi desenvolvido por Gioia & Pimentel (2000), que utiliza para o cálculo das idades TDM o modelo de DePaolo (1981) e o *software Isoplot-Excel macro* (Ludwig, 2003) para construir isócronas.

Três amostras de molibdenita foram utilizadas para datação Re-Os. Duas amostras são provenientes do furo de sonda RND9 e uma terceira, coletada no “garimpo do Fernando”, localizado a sudoeste do granito Cigano, fora da área de pesquisa, datada para comparação com ocorrência de Cu-Au, situada no mesmo contexto geológico do Alvo RN-4. As molibdenitas foram analisadas no N-TIMS da Universidade de Alberta-Canadá, segundo o método desenvolvido por Selby & Creaser (2004) e Markey *et al.* (2007).

Capítulo 2

GEOLOGIA E GEOQUÍMICA DO GRUPO RIO NOVO, NO DOMÍNIO DO GRANITO CIGANO, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS - ALVO RN4

2.1 - INTRODUÇÃO

A seqüência vulcano-sedimentar do Grupo Rio Novo está inserida na porção centro-leste do Cinturão Itacaiúnas, no bloco norte da Província Mineral de Carajás, localizado na região sudeste do Pará. Este grupo representa uma faixa E-W com contatos mal definidos e está associado a depósitos minerais da Província Mineral de Carajás, como os depósitos de Serra Verde (Cu, Au), Serra Leste (Fe), Serra Pelada (Cr, Pt, Pd), Luanga (Au, Pd, Pt) e Formiga (Au, Cu). Estudos detalhados sobre o Grupo Rio Novo estão restritos às regiões mineralizadas como Luanga (Suíta 1988), Serra Pelada (Meyreles & Silva, 1988, Tallarico *et al.* 2000) e Serra Verde (Reis 2000, Reis & Villas 2002).

Algumas controvérsias ainda persistem a respeito do Grupo Rio Novo. Amaral *et al.* (1988) e Barros *et al.* (1997) consideram a seqüência metavulcano-sedimentar em discussão como parte dos grupos Salobo e Pojuca, que, assim como o Grupo Rio Novo, apresenta metamorfismo na fácies anfíbolito. Entretanto, a denominação dessa seqüência como Grupo Rio Novo é adotada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2004).

2.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O embasamento do Cinturão Itacaiúnas (WNW-ESE) é formado por granitos-gnaisses e tonalitos-gnaisses localmente migmatíticos (E-W) do Complexo Xingu (2,97 Ga - Araújo *et al.*, 1988 e Macambira & Lancelot, 1996) e rochas granulíticas máficas e félsicas (E-W) denominadas de Complexo Pium (3,0 Ga - Pidgeon *et al.*, 1998).

Estas rochas foram metamorfizadas durante o primeiro evento tectonometamórfico descrito na região (2,86 Ga - Machado *et al.*, 1991 e Pidgeon *et al.*, 2000). Segundo Pinheiro & Holdsworth (1997), Holdsworth & Pinheiro (2000) e Veneziani *et al.* (2004), a primeira fase deformacional deste evento foi marcada por movimentos transcorrentes sinistrais com direção principal em torno de N85W, associada a um metamorfismo nas fácies anfíbolito e granulito que afetaram o embasamento e, tardiamente, com menor intensidade, afetaram sequências vulcano-sedimentares recém depositadas.

A progressão desse evento, representada por falhas inversas e estruturas transtrativas desenvolvidas na zona de cisalhamento Itacaiúnas, favoreceu a deposição de sequências vulcano-sedimentares, que constituem o Grupo Rio Novo e o Supergrupo Itacaiúnas (Pinheiro & Holdsworth, 1997, Holdsworth & Pinheiro, 2000).

O Grupo Rio Novo foi descrito inicialmente por Hirata *et al.* (1982), que o definem como um pacote de anfíbolito-clorita xisto associado a rochas félsicas, formações ferríferas bandadas e *metacherts* subordinados. Suíta (1988) descreve esse grupo como *greenstone belt* arqueano de “arco de ilha”, depositado em bacia *back-arc*, formado por peridotitos komatiíticos, formações ferríferas de fácies silicato, basaltos de afinidade toleítica e rochas piroclásticas subordinadas, representas por tufos máficos e félsicos metamorfizados na fácies xisto-verde e, subordinadamente, na fácies anfíbolito.

Os Grupos Salobo e Pojuca constituem a base do Supergrupo Itacaiúnas e são formados por anfíbolitos, formações ferríferas, quartzitos e granulitos localizados a norte do cisalhamento Cinzento (DOCEGEO, 1988). Alguns autores, como Barros *et al.* (1997 e 2001) e Tallarico *et al.* (2005), consideram o Grupo Rio Novo como continuidade dos Grupos Salobo e Pojuca na porção leste da PMC, estando assim incluído no Supergrupo Itacaiúnas.

O Grupo Grão Pará é a unidade de maior volume do Supergrupo Itacaiúnas, composto pelas formações Parauapebas e Carajás. A primeira compreende rochas vulcânicas cálcio-alcalinas máficas e félsicas (2,74–2,76 Ga, Machado *et al.*, 1991; Trendall *et al.*, 1998), metamorfizadas na fácies xisto verde e a última é constituída pelas formações ferríferas que hospedam os depósitos gigantes de ferro (Tolbert *et al.*, 1971 in Tallarico *et al.*, 2005).

O Grupo Igarapé Bahia ocorre localmente, é formado por rochas vulcânicas na base, seguidas por formação ferrífera e outras rochas sedimentares, todas metamorfizadas na fácies xisto verde (DOCEGEO 1988).

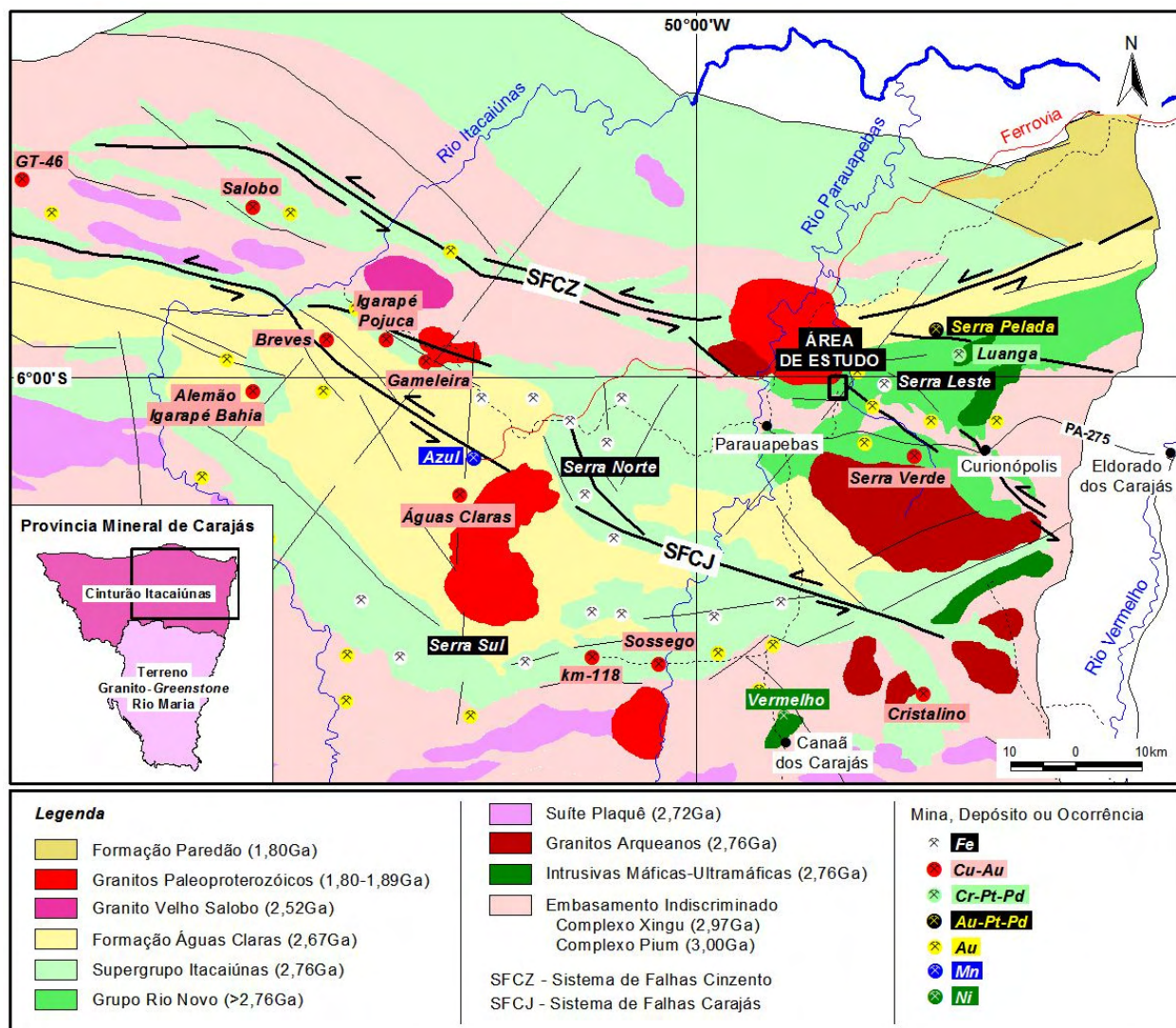


Figura 2.01 - Mapa geológico do Cinturão Itacaiúnas e localização dos principais depósitos minerais a ele relacionados (CPRM 2004).

A colocação do complexo acamadado máfico-ultramáfico Luanga nas rochas do Grupo Rio Novo é caracterizada como episódio tardio do mesmo evento de deposição deste grupo (Suíta, 1988). Machado *et. al.* (1991) obteve idade 2,76 Ga para o complexo Luanga, indicando assim a idade mínima para o Grupo Rio Novo.

No final deste primeiro fase deformacional, as seqüências vulcano-sedimentares foram submetidas a metamorfismo heterogêneo, com os grupos Salobo, Pojuca e Rio Novo metamorfizados em baixo e médio grau, e os demais na fácies xisto verde baixo (Pinheiro & Holdsworth, 1997, Holdsworth & Pinheiro, 2000).

A segunda fase de deformação é marcada pelo cisalhamento trascorrente dextral-obliquo (WNW-ESE) dúctil a dúctil-rúptil com vergência de NNW para SSE. Segundo Veneziani *et.al.*,

(2004), o início desta segunda fase é marcado pela colocação de granitos peraluminosos e calcialcalinos da Suíte Plaqué (Pb-Pb de 2,72 Ga - Avelar, 1994, Rosière *et al.*, 2006) e granitos sintectônicos como o Complexo Granítico Estrela (2,76 Ga - Barros *et al.*, 1997, Barros *et al.*, 2001) e o granito Serra do Rabo (2,74 Ga - Sardinha *et al.*, 2005), ambos alongados E-W.

Com a continuidade da deformação, em torno de 2,7 Ga e 2,6 Ga, ocorreu o desenvolvimento dos sistemas de falhas transcorrentes Cinzento e Carajás (Holdsworth & Pinheiro, 2000) e um grande evento extensional com a formação de bacias e a deposição de sedimentos plataformais rasos e fluviais da Formação Águas Claras (Nogueira *et al.*, 1994), como idade mínima de 2,66Ga (Dias *et al.*, 1996).

A terceira fase deformacional foi relacionada a movimentos transpressivos, e localmente transtrativos, rúpteis e rúpteis-dúcteis, cisalhantes sinistrais, com vergência de NE para SW, que reativaram as antigas linhas de fraqueza da região. Estas falhas deformaram todas as rochas presentes, com maior intensidade nas regiões adjacentes às falhas Carajás e Cinzento.

No final da terceira fase, ocorreu a colocação de granitos anorogênicos paleoproterozóicos em níveis crustais rasos. Esta suíte anorogênica paleoproterozóica do Cinturão Itacaiúnas (1,89 Ga a 1,87 Ga, Dall'Agnoll *et al.*, 1994) é formada pelos granitos, Cigano, Carajás Central, Pojuca e Novo Salobo.

O granito Cigano ocorre a NE da Serra dos Carajás e foi descrito pela primeira vez por Hirata *et al.* (1982) e estudado por Vieira *et al.* (1988) que propuseram sua subdivisão em cinco fácies principais. A fácies mais importante, constituída por anfibólio-biotita-monzogranito grosso, perfaz 50% da área aflorante e ocupa áreas planas e arrasadas da porção leste do corpo. As fácies, anfibólio-biotita-monzogranito porfirítico, biotita-monzo a sienogranito e monzogranitos ocorrem na porção central do corpo e apresentam intensa transformação tardi-magmática, associada a veios quartzosos compostos por epidoto, sericita, clorita, fluorita, carbonatos e sulfetos (molibdenita e calcopirita). A última fácies é representada por diques de microgranitos de composição monzogranítica, que ocorrem em todo o maciço e geralmente estão associados a alterações hidrotermais.

É importante ressaltar que em todos os depósitos de Cu-Au do tipo *IOCG* na porção norte da PMC, foram descritos metamorfismos hidrotermais e metassomatismo relacionados aos processos mineralizantes, como os descritos por Tallarico *et al.* (2000 e 2005), no depósito Igarapé-Bahia, e por Requía & Fontboté (1999) e Requía *et al.* (2003), no depósito Salobo. Outros autores, como Barros *et al.* (1997 e 2001) e Barros & Barbey (2000), descrevem também metamorfismo termal durante a evolução da PMC diretamente relacionado à colocação de corpos

arqueanos, como Granito Estrela e Granito Igarapé Gelado, localizados a menos de 1 Km a sul da área de estudo.

2.3 - GEOLOGIA DO ALVO RN-4

As rochas aflorantes na porção mapeada do Alvo-RN4 são anfibolito, formação ferrífera e xistos do Grupo Rio Novo, arenito da Formação Águas Claras e uma pequena porção do Granito Cigano (Figura 2.02).

2.3.1 - Grupo Rio Novo

As rochas aflorantes do Grupo Rio Novo estão dispostas da base (sul) para o topo (norte) na seguinte seqüência: formação ferrífera de fácies óxido, anfibolito, ferro-antofilita cordieritito, biotita xisto e grafita-muscovita xisto. O contato entre essas rochas não foi observado devido a grande extensão da cobertura do solo, sendo assim classificado como contato inferido.

Formação Ferrífera de fácies óxido

A formação ferrífera representa a base da porção aflorante do Grupo Rio Novo, ocorre na parte centro sul e nordeste da área mapeada. Em grande parte dos afloramentos, esta rocha apresenta-se brechada ruptilmente, formando clastos angulosos centimétricos a decimétricos bandados (Figura 2.03a). Em alguns locais observou-se que esta brechação torna-se dúctil com clastos de quartzo centimétricos alongados, orientados, e matriz hematítica (Figura 2.03b).

A banda clara é formada por quartzo (35%) recristalizado com junção tríplice, poligonal e subgrãos (Figuras 2.03c e 2.03d). Na banda escura ocorre a textura martítica, onde a magnetita (~25%) foi parcialmente substituída por hematita (~40%), estando os óxidos associados a grãos euédricos de limonita alinhados.

A rocha brechada ductilmente apresenta composição idêntica a da rocha bandada, mas nesta, as bandas de quartzo foram deformadas e transformadas em lentes orientadas englobadas por hematita com textura martítica.

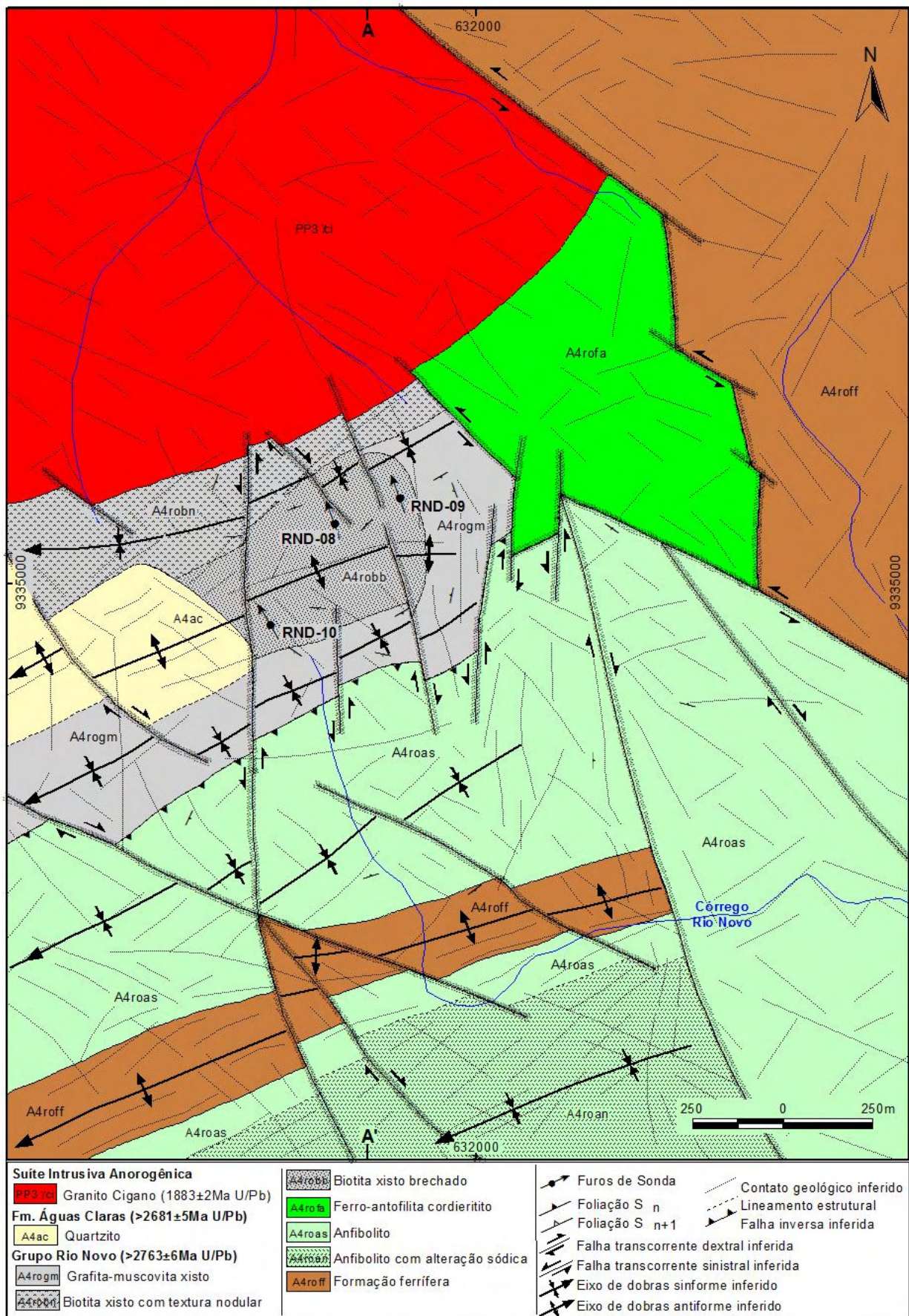


Figura 2.02 – Mapa geológico do Alvo RN-4 e localização dos furos de sonda RND-08, RND-09 e RND-10.

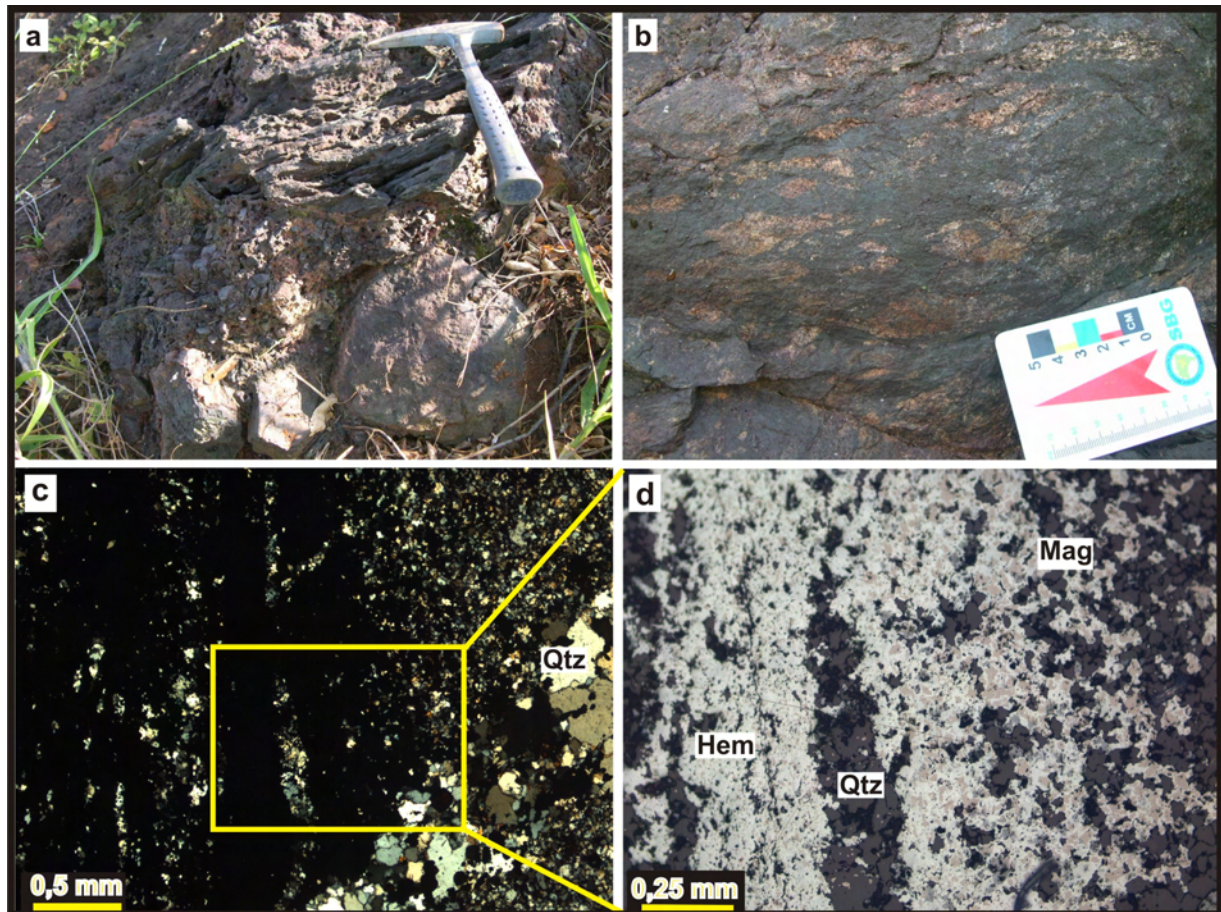


Figura 2.03-a) Afloramento da formação ferrífera bandada e brechada ruptilmente. b) Afloramento de bolsões hematíticos com lentes centimétricas de quartzo neoformado provenientes de remobilização da formação ferrífera. c) Fotomicrografia em luz refletida do bandamento predominante na formação ferrífera cortado por microveios de quartzo (Qtz) neoformado. d) Fotomicrografia em luz refletida, mostrando magnetita (Mag) parcialmente substituída por hematita (Hem).

Anfibolito

O anfibolito é cinza escuro, com ausência de orientação mineralógica e variações granulométricas entre média e fina, não sendo possível classificá-lo como protólito extrusivo ou intrusivo. Observou-se também sulfetos disseminados e fraturas milimétricas preenchidas por quartzo e subordinadamente feldspato (Figura 2.04a). A paragênese da rocha é formada por hornblenda (80-54%), plagioclásio (44-10%), quartzo (10-2%), ilmenita (~1%), além de calcopirita e pirita como acessórios os quais definiram uma textura subofítica reliquiar (Figura 2.04b).

A paragênese de alteração dessa rocha é marcada pela sericitização do plagioclásio, associada a alteração parcial da hornblenda para actinolita e esta para clorita e biotita, além da

presença freqüente de apatita e rara de titanita, que substituíram parcialmente minerais, indicando localmente texturas nematoblástica e lepidoblástica.

Além dessa alteração observou-se silicificação, albitização e potassificação difusas com diferentes níveis de substituição e veios milimétricos preenchidos por microclínio, albita, epidoto e quartzo com calcopirita e pirita intersticiais (Figura 2.04c) indicando assim um metassomatismo.

No extremo sul da área, o anfibolito ocorre com alteração sódica associada a “pods” milimétricos com textura nodular, constituídos de escapolita rica em sódio (marialita) e albita (Figura 2.04d). Essa mesma alteração foi descrita por Barros *et al.* (1997) em anfibolito do Supergrupo Itacaiúnas, que aflora centenas de metros a sul do Alvo RN-4. Esta paragênese foi descrita por esses autores como metamorfismo de contato causado pela colocação do Granito Estrela.

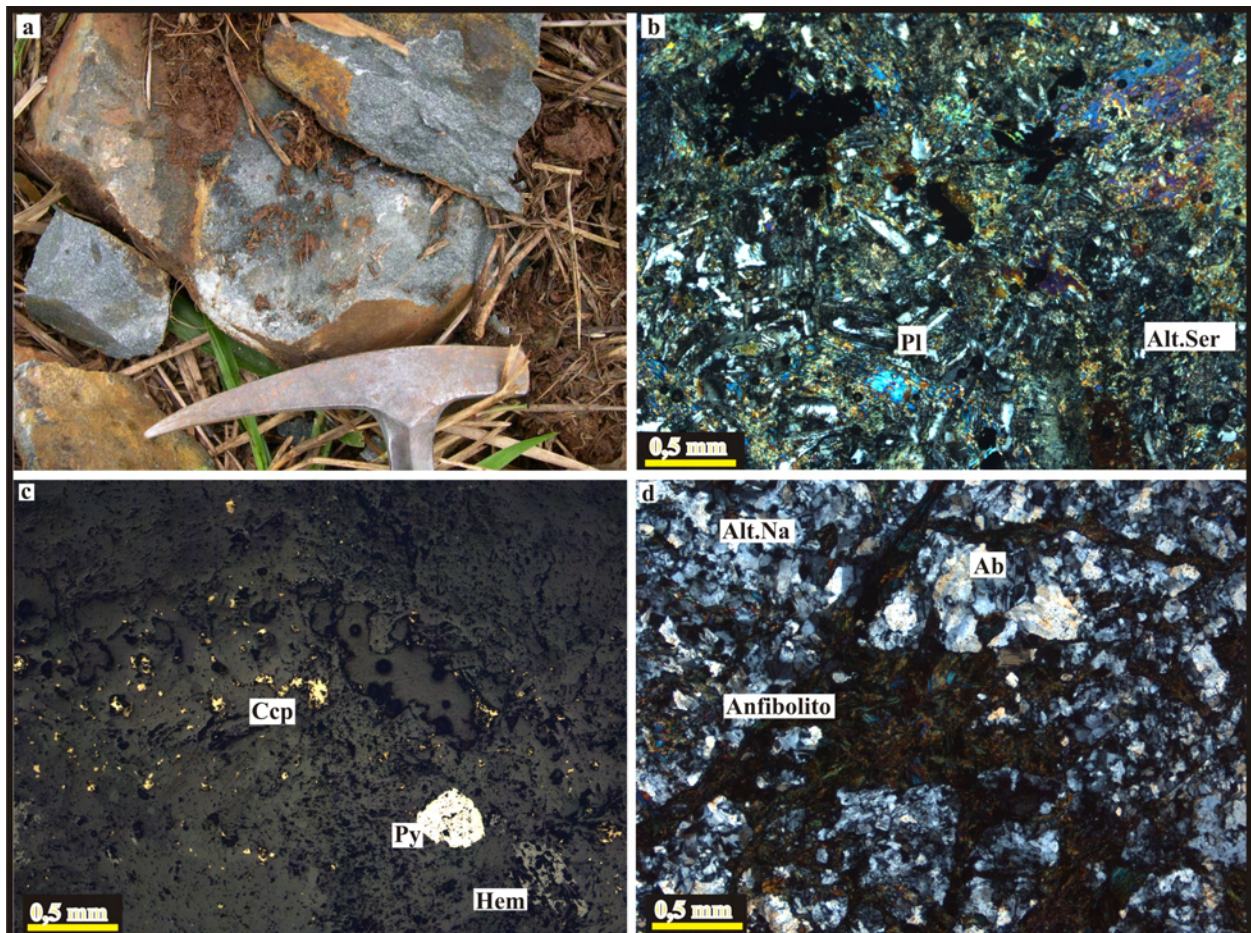


Figura 2.04-a) Afloramento de anfibolito. **b)** Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis cruzados do anfibolito onde observa-se uma textura reliquiar subofídica entre hornblenda (Hbl) e plagioclásio (Pl) parcialmente substituída por alteração sericítica. **c)** Disseminação de sulfetos como calcopirita (Ccp) e pirita (Py) em lentes no anfibolito com luz refletida e nicóis paralelos. **d)** Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis cruzados do anfibolito fortemente substituído pela alteração sódica (Alt.Na) onde o principal constituinte é albita (Ab).

Ferro-antofilita Cordieritito

É uma rocha cinza com textura nodular formada por cristais de cordierita centimétricos orientados. Esta rocha apresenta afloramentos métricos preservados, localizados entre o Granito Cigano, xistos, formação ferrífera e anfibolito.

Microscopicamente observou-se textura nematoblástica formada basicamente por grãos arredondados e orientados de cordierita (87-72%) englobados por cristais aciculares radiados levemente orientados de ferro-antofilita/gedrita (13-28%), submetidos a alteração constituída de quartzo, biotita marrom, clorita, ilmenita, sulfetos disseminados, como pirita, calcopirita, pirrotita e co-pentlandita, e forte pinitização da cordierita (Figura 2.05).

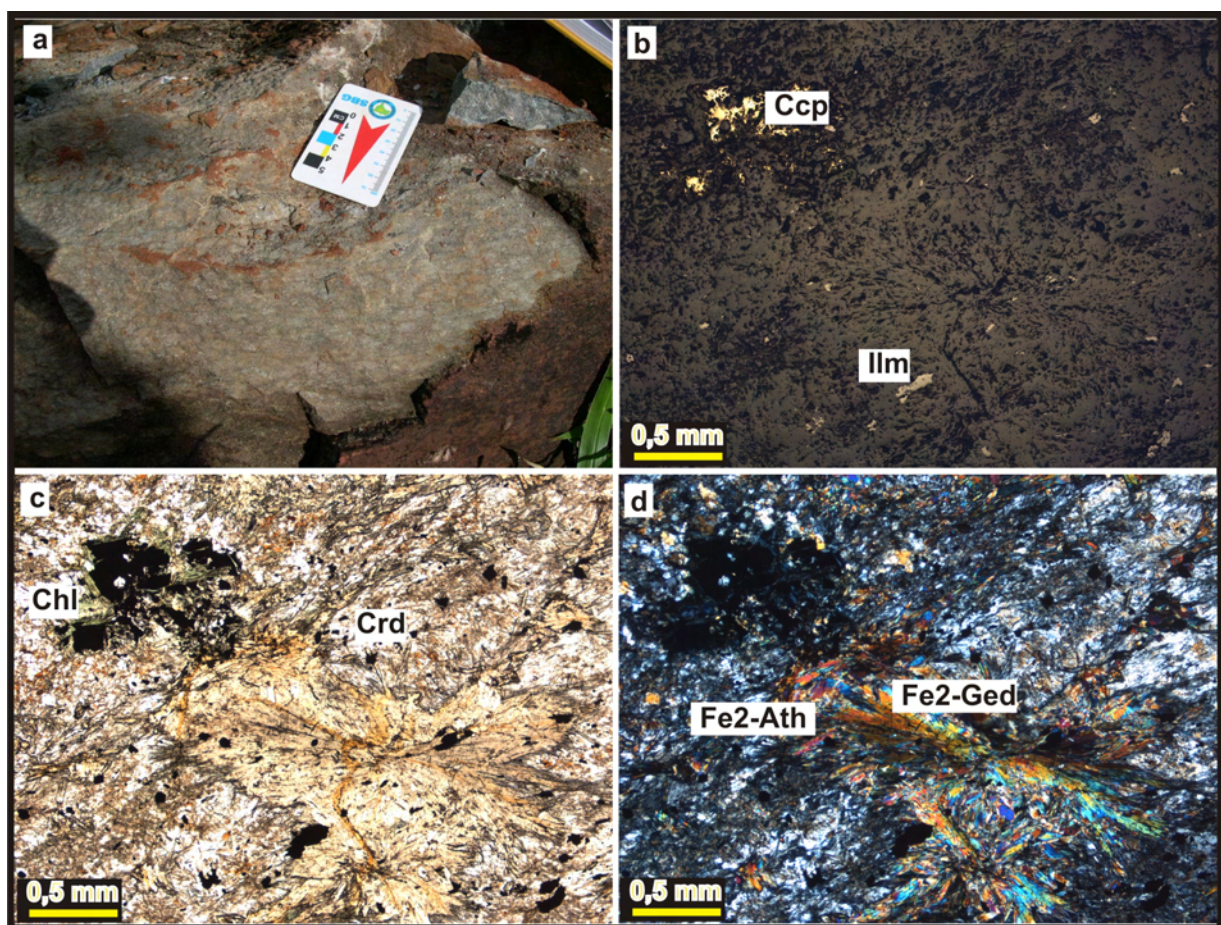


Figura 2.05–a) Afloramento da ferro-antofilita cordieritito. b) Fotomicrografia de calcopirita (Ccp) e ilmenita (Ilm) tardias. c) Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis paralelos que mostra a cordierita (Crd) pinitizada e a clorita (Chl) englobando a calcopirita. d) Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis cruzados que mostra a relação entre a ferro-gedrita e a ferro-antofilita.

Biotita Xisto e Muscovita Xisto

O biotita xisto apresenta cor cinza escuro e o muscovita xisto ocorre com cor cinza a cinza claro. Estas duas rochas ocorrem como intercalações heterogêneas, sendo muito difícil sua separação na escala do mapeamento geológico realizado. Por isso, foram tratadas aqui como a

mesma unidade de mapeamento. Ambas as rochas apresentam foliação penetrativa e granulação fina (Figura 2.06a). Em lâminas delgadas, pode-se observar texturas granoblástica e lepidoblástica, e comprovar que a diferença entre o biotita xisto e o muscovita xisto está diretamente relacionada à porcentagem de biotita marrom (3-50%), muscovita (2-45%), feldspato potássico (5-70%) e quartzo (2-15%). Ambas as rochas apresentam diferentes níveis de sericitização ligada a metamorfismo termal. Foi possível observar em algumas amostras, cordierita como mineral reliquiar, fortemente pinitizada, além de ilmenita e zircão, como minerais acessórios, e andaluzita como mineral tardio (Figura 2.06b).

A presença de andaluzita (<1-29%) centimétrica representa o metamorfismo termal causado pela colocação do Granito Cigano, assim como brechação associada a silicificação, precipitação de sulfetos, turmalina, epidoto, allanita e apatita (<1-2%) (Figura 2.06c).

A rocha brechada apresenta clastos centimétricos a milimétricos subangulosos englobados por matriz escura e foliada, formada por biotita marrom e quartzo neoforado. A paragênese biotita + quartzo + k-feldspato + cordierita também foi indicada como metamorfismo termal descrito anteriormente por Barros *et al.* (1997), em áreas próximas ao sul do Alvo RN4.

Grafita-muscovita Xisto

Associada ao biotita xisto na porção centro-oeste da área, ocorre uma rocha muito fina, cinza com bandamentos preto e cinza, milimétricos, classificada como grafita-muscovita xisto (Figura 2.06d).

A banda preta é formada por pequenos grãos de grafita (10%) e muscovita muito fina orientados (Figura 2.06e-f). A banda cinza é composta por muscovita (53%) fortemente orientada e quartzo (32%) fortemente estirado.

O rutilo (3%) está subparalelo às lamelas de muscovita e aos grãos estirados de quartzo caracterizado assim como mineral sin a tarditectônico. Os minerais tardi a postectônicos são pirita e calcopirita, como acessórios, e andaluzita (2%), que ocorre como fenoblastos, cortados por microveios de quartzo irregulares.

Metanorito

Esta rocha foi observada somente como bloco rolado decimétrico e arredondado em meio a vários blocos rolados de ferro-antofilita cordieritito.

Em lâmina apresenta localmente textura intergranular reliquiar entre plagioclásio e ortopiroxênio, mas, em grande parte da rocha, a textura observada é nematoblástica composta de anfibólitos e quartzo intersticiais e plagioclásio. O quartzo (6%) ocorre incluso nos minerais

alterados e como mineral neoformado, substituindo minerais da rocha, como grãos anédricos, com extinção fortemente ondulante e fraturas preenchidas por sericita.

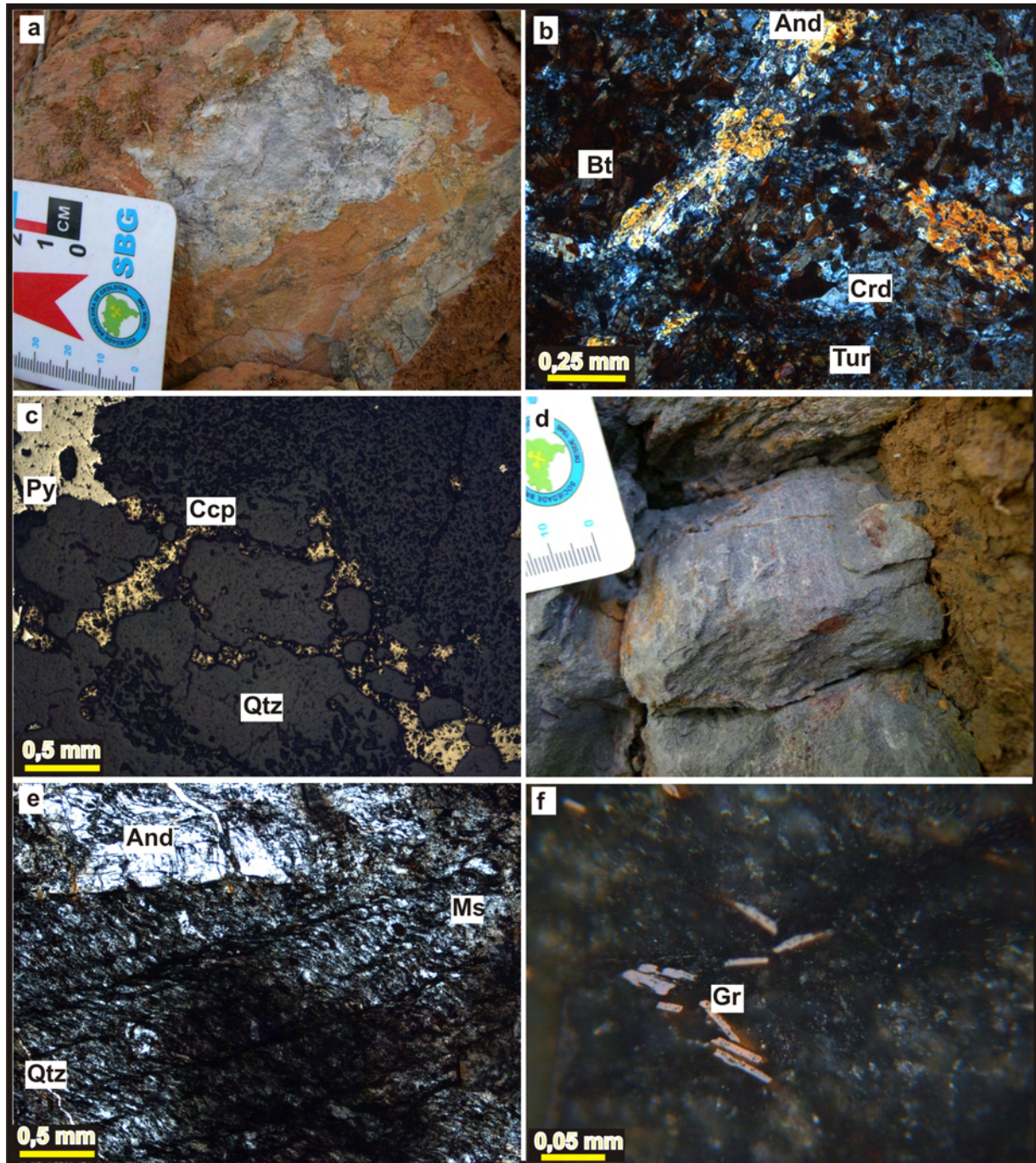


Figura 2.06–a) Aforamento do biotita xisto brechado. b) Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis cruzados do biotita xisto com cordierita (Crd) reliquiar, parcialmente substituída por biotita (Bt) e andaluzita (And) e turmalina (Tur) tardias. c) Veio de quartzo (Qtz) com pirita (Py) e calcopirita (CCp) em fotomicrografia com luz refletida. d) Afloramento do grafita-muscovita xisto com bandas claras e escuras milimétricas. e) Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis paralelos do grafita-muscovita xisto caracterizado por apresentar foliação penetrativa formada por muscovita (Ms), quartzo e opacos posteriormente crenulada. A andaluzita (And) é um mineral tardio que cristalizou sobre a crenulação, posteriormente cortada por microveios de quartzo. f) Fotomicrografia em luz refletida de lamelas de grafita com aumento de 50 vezes (óleo).

Plagioclásio (65%) apresenta composição de andesina An₄₅, com forte sericitização e bordas arredondadas. O ortopiroxênio En₄₈ (11%- microsonda) apresenta hábito subédrico, com bordas e fraturas alteradas para actinolita (microsonda) e biotita marrom.

A hornblenda (15%) é magnesianas e ocorre associada ao ortopiroxênio e também apresenta alteração para actinolita e biotita marrom. Os opacos observados são ilmenita (2%) disseminada e inclusa em grãos de outros minerais, com exsolução de hematita, e calcopirita (<1%) disseminada e associada a muscovita.

2.3.2 - Formação Águas Claras

A porção aflorante da Formação Águas Claras na área é representada por quartzito sericítico branco. O tipo de contato entre este quartzito e as rochas do Grupo Rio Novo não foi observado em campo, mas com base em interpretações de imagens de satélites, é possível que este contato seja tectônico ou discordante. O quartzito sericítico apresenta granulação média e duas clivagens bem marcadas sendo a primeira contínua, Sn (305/63), e a segunda espaçada, Sn+1 (310/40), com espaçamento centimétrico.

2.3.3 - Granito Cigano

A fácies aflorante do Granito Cigano na área é o biotita sienogranito, cinza, porfirítico, com texturas inequigranular e granofírica. Os fenocristais são de quartzo e ortoclásio e a matriz é formada por quartzo, ortoclásio, plagioclásio, biotita e, como acessórios, hornblenda, allanita, zircão e ilmenita.

Como resultado de metassomatismo, ocorreu a cloritização da biotita e cristalização de epidoto, apatita, turmalina e pequena quantidade de calcopirita e pirita. Em afloramentos próximos no contato com o biotita xisto, foram encontrados enclaves decimétricas de biotito e ferro-antofilita cordierito.

2.3.4 - Elementos Estruturais

Análises dos dados estruturais indicaram o desenvolvimento de três fases deformacionais preservadas nas unidades mapeadas na área de estudo. A fase de deformação F1 foi correlacionada ao desenvolvimento da foliação principal Sn, com direção preferencial ENE-WSW. Esta fase (F1) foi correlacionada aqui à segunda fase de deformação, descrita por Suíta

(1988) no Complexo de Luanga, por Grainger *et al.* (2002) em Serra Pelada nas proximidades da área de estudo, e também por Pinheiro & Holdsworth (1997) que definiram esta fase em escala regional como o início do desenvolvimento das zonas de cisalhamento Cinzento e Carajás (ca. 2,7 a 2,5 Ga).

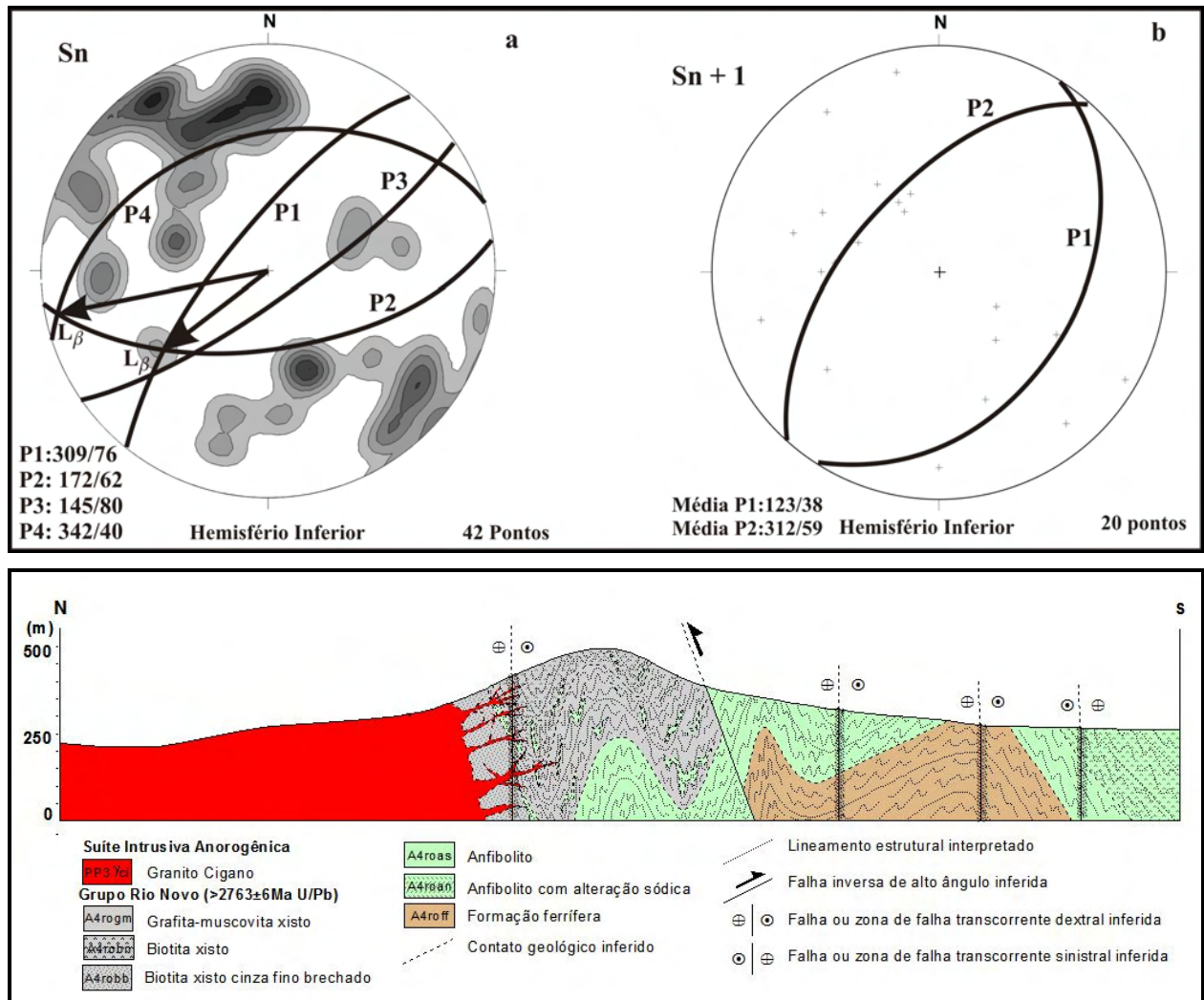


Figura 2.07-a) Estereograma de densidade das medidas da foliação Sn com quatro foliações principais P1, P2, P3 e P4. b) Estereogramas de pontos de medidas Sn+1 com duas foliações principais, P1 e P2. c) Perfil geológico A(sul)-A'(norte), da área mapeada.

A segunda fase de deformação F2, correlacionada a progressão do mesmo evento de F1 descrito por Pinheiro & Holdsworth (1997), foi interpretada como dobramento da foliação Sn. Estereogramas de frequência, confeccionados a partir de dados de foliação Sn, mostraram concentrações de polos associadas aos planos N31°E/72°NW, N72°E/40°NW, N82°E/62°SE e N55°E/80°SE, indicando o dobramento desta foliação com eixos (L_{β}) 40°/235° e 10°/260° e plano axial das dobras associado a foliação Sn+1 com duas direções principais N42°E/59°NW e N33°E/38°SE (Figura 2,07a,b). Nesta segunda fase também foi desenvolvida a falha ENE-WSW

inversa, interpretada como parte do Rabo de Cavalo compressivo Serra Pelada da Zona de Cisalhamento Cinzento (Costa e Siqueira, 1990), a qual colocou o anfibolito sobre o biotita xisto (Figura 2.07c).

A última fase de deformação (F3) foi caracterizada pela geração de sistemas de falhas transcorrentes rúptil-dúcteis, responsáveis pela movimentação direcional e basculamento das unidades litoestratigráficas, bem como das foliações S_n , S_{n+1} e eixos de dobras. Entretanto, as medidas de lineação mineral relacionadas aos movimentos das falhas não foram tomadas, pois nas zonas deformacionais as rochas estavam brechadas e fortemente alteradas. Assim, a análise de imagens Landsat sensor ETM+ (imagem RGB com as bandas 547 e 457 fundidas com a banda 8) da área estudada, permitiu a interpretação das falhas e zonas de cisalhamento desenvolvidas após o alojamento do Granito Cigano ($< 1,88$ Ga).

2.4 - GEOQUÍMICA

2.4.1 - Litogeoquímica

As análises litogeoquímicas foram realizadas com amostras da formação ferrífera, anfibolito com tipos diferentes de alterações, ferro-antofilita cordierito, biotita xisto e grafita-muscovita xisto. Todas as amostras analisadas foram submetidas a alterações de diferentes intensidades relacionadas a colocação do Granito Cigano e do Granito Estrela. Desse modo, a utilização de elementos maiores para alcalinidade e aluminosidade está comprometida e não será abordada.

A aplicação do método do coeficiente de correlação linear (r), desenvolvido por MacLean & Kranidiotis (1987) testa a mobilidade entre dois elementos com diferentes afinidade em rochas alteradas através do cálculo de r . Este método foi aplicado para todas as rochas com análise litogeoquímica deste trabalho.

Grupo Rio Novo

Formação ferrífera - A formação ferrífera (Tabela 2.01) é constituída basicamente por dois componentes: SiO_2 (42,27%) e Fe_2O_3 (56,45%). O conteúdo de elementos terras raras (ETR) 5,65 ppm está dentro do intervalo descrito para jaspilitos da Serra Norte (5,56 a 22,96 ppm, Lobato *et al.*, 2005). Mas, ao contrário destes, a formação ferrífera não apresenta anomalia positiva em Eu ($Eu/Eu^*=1,13$), possui um leve enriquecimento em ETRL ($(La/Sm)_N = 3,1$ e

padrão levemente empobrecido em ETRP com baixas concentrações (Σ ETRP 0,12 ppm), próximas do limite de detecção (Figura 2.08). Sua concentração em metais de transição também é baixa, com Cu 11,2 ppm e 6,8 ppm de Co.

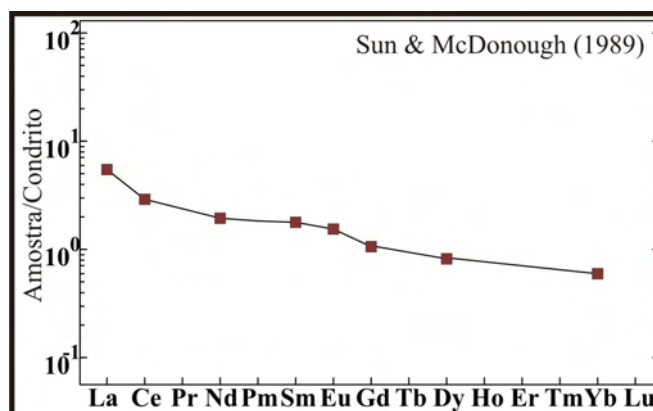


Figura 2.08 - Diagrama ETR com amostra da formação ferrífera plotada normalizada por dados de Sun & McDonough 1989.

Anfibolito - O anfibolito foi submetido a possíveis alterações metassomáticas relacionadas a colocação de corpos graníticos na região, como por exemplo, o Granito Estrela e o Granito Cigano. Por isso, para auxiliar a sua classificação, as treze análises de amostras do anfibolito (Tabela 2.01) foram divididas, segundo sua descrição petrográfica, em: sericitizado, silicificado, brechado, potassificado e com alteração sódica. As amostras classificadas como silicificadas, brechadas e potassificada não foram utilizadas nos diagramas, pois sua alteração foi intensa, sendo assim inviável sua correlação com outras amostras.

A amostra RN4-83B, descrita petrograficamente como um metanorito, foi tratada junto com as amostras do anfibolito, para investigar uma possível correlação entre estas duas rochas.

Segundo Floyd & Winchester (1978), suítes vulcânicas metamorfizadas e alteradas podem ser caracterizadas em termos de séries magmáticas e sua diferenciação utilizando elementos imóveis durante as alterações secundárias, como metamorfismo e alterações mais localizadas.

Os elementos terras raras (ETR), Al, Ti e elementos de alto campo de força (HFSE) como Y, Th, Zr, Hf, Nb e Ta, são normalmente caracterizados como elementos imóveis em várias situações. Mas quando a razão fluido/rocha em alterações hidrotermais é alta, a utilização de ETRL e Y fica comprometida (MacLean & Barrett, 1993), assim como algumas rochas na fácies granulito que, além dos elementos citados, também apresenta mobilidade em Nb e Ce.

Tabela 2.01 - Análises da formação ferrífera (F. Fe) e do anfíbolito do Grupo Rio Novo, no sudeste do granito Cigano (< abaixo do limite de detecção; óxidos, S e C em % peso, Au em ppb e demais elementos em ppm).

	F. Fe	Meta- norito	Anfíbolito											
			Silicificado		Brecha	Sericitizado				Alteração Sódica				Atl. K
	RN4- 36D	RN4- 83B	RN4- 64A	RN4- 71	RN4- 202	RN4- 120	RN4- 177	RN4- 141	RN4- 142	RN4- 151B	RN4- 174	RN4- 175A	RN4- 175B	RN4- 206
SiO ₂	42,27	51,67	80,77	82,87	78,31	49,97	51,72	55,14	52,58	62,00	56,97	51,44	54,88	51,39
Al ₂ O ₃	0,11	16,87	4,81	4,17	6,97	14,20	12,96	13,72	14,10	14,43	12,89	15,57	14,16	14,04
Fe ₂ O ₃	56,45	11,37	9,13	7,08	10,66	14,50	17,02	11,73	13,10	7,12	12,94	10,16	12,96	13,61
MnO	0,01	0,12	0,07	0,05	<0,01	0,30	0,11	0,34	0,47	0,06	0,06	0,05	0,05	0,10
MgO	<0,01	6,12	2,62	1,39	<0,01	6,11	3,40	4,68	5,96	3,44	3,67	7,06	5,11	3,62
TiO ₂	<0,01	1,47	0,09	0,17	0,41	1,41	1,69	1,05	0,70	0,48	1,09	0,54	0,61	1,08
CaO	0,07	7,39	0,07	1,76	<0,01	8,86	6,82	8,55	8,81	4,09	6,86	8,15	6,57	6,34
Na ₂ O	<0,01	1,34	0,01	0,56	<0,01	2,04	0,64	2,30	2,34	8,02	2,21	3,85	2,74	0,90
K ₂ O	<0,01	1,70	0,03	1,15	0,04	1,14	3,35	1,52	0,88	0,07	1,78	0,77	1,26	6,83
P ₂ O ₅	0,02	0,33	0,02	0,03	0,02	0,14	0,29	0,12	0,08	0,01	0,10	0,06	0,10	0,10
P.F	1,00	1,40	2,20	0,70	3,60	1,10	1,80	0,60	0,80	0,20	1,20	2,10	1,40	1,70
C	<0,02	<0,02	0,03	0,03	0,15	<0,02	0,08	0,03	<0,02	<0,02	0,10	0,23	0,14	<0,02
S	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,06	0,04	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02
Total	100,02	99,85	99,87	99,99	100,23	99,88	99,92	99,82	99,87	99,96	99,90	100,03	100,00	99,76
Rb	0,70	116,20	13,10	79,90	2,20	51,00	177,40	59,60	36,60	1,40	65,30	27,20	49,00	284,00
Ba	2,00	239,00	8,00	126,00	3,00	237,00	580,00	571,00	235,00	8,00	184,00	77,00	132,00	594,00
Sr	<0,50	151,80	1,60	9,20	0,90	102,80	129,20	159,60	127,00	8,80	62,50	113,60	81,80	125,80
Ga	1,70	18,30	10,20	6,70	9,30	20,10	19,90	19,60	18,60	10,60	17,60	13,40	15,30	20,00
Ni	1,50	26,40	61,80	36,90	3,30	31,40	30,80	11,60	9,10	4,80	19,00	46,30	31,10	16,60
Cr	<20,00	171,08	20,53	95,80	47,90	184,76	34,22	<20,00	88,96	20,53	61,59	75,27	<20,00	47,90
Co	6,80	39,30	11,10	18,20	4,90	47,70	49,30	35,30	36,80	27,40	38,40	42,80	48,50	44,50
Zn	3,00	8,00	37,00	14,00	2,00	22,00	35,00	61,00	27,00	2,00	12,00	5,00	7,00	21,00
Mo	0,20	0,30	0,30	<0,10	0,40	0,30	0,90	0,40	0,20	<0,10	0,40	<0,10	0,30	<0,10
Cu	11,20	42,80	141,20	143,60	81,40	160,10	224,80	103,10	38,40	78,50	572,70	417,80	268,10	15,80
Ag	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
As	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1,40	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Au	<0,50	1,00	0,70	2,40	<0,50	2,30	4,80	<0,50	1,00	1,10	1,10	3,50	4,10	<0,50
Sn	3,00	<1,00	2,00	3,00	<1,00	2,00	3,00	1,00	1,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00
W	2,10	0,80	1,40	0,90	1,30	1,10	0,90	0,90	0,60	2,90	0,80	<0,50	0,60	0,80
Ta	<0,10	0,60	0,10	<0,10	0,20	0,30	0,50	0,40	0,30	0,20	0,50	0,20	0,20	0,50
Nb	0,20	9,00	2,50	1,30	4,70	5,50	9,20	5,90	3,70	2,10	6,00	2,70	3,30	6,40
Th	0,20	2,50	<0,20	2,50	4,30	1,80	7,80	6,50	4,30	1,20	9,30	2,60	3,40	7,70
U	0,20	1,10	0,10	0,60	1,00	0,60	1,90	2,10	0,90	0,70	2,50	0,80	0,80	2,00
Zr	1,10	153,00	0,30	32,60	75,20	99,50	193,90	118,30	78,10	43,50	112,50	59,30	69,70	123,80
Hf	<0,10	4,00	<0,10	0,90	1,90	2,80	5,50	3,70	2,30	1,20	3,70	1,70	1,90	3,40
Y	1,50	22,80	3,10	10,90	3,70	28,40	52,10	31,10	24,70	11,30	25,00	13,70	13,60	158,00
Sc	<1,00	26,00	15,00	9,00	7,00	44,00	36,00	38,00	38,00	32,00	34,00	34,00	35,00	39,00
Cs	0,10	0,70	0,30	0,20	<0,10	0,30	0,30	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	0,20	0,80	0,30
Pb	1,30	0,80	2,60	1,40	2,10	0,80	15,70	2,40	1,10	1,40	5,00	1,30	0,80	3,50
V	18,00	202,00	48,00	52,00	80,00	309,00	291,00	250,00	233,00	164,00	366,00	195,00	247,00	406,00
La	1,30	19,40	7,30	17,80	1,20	9,90	40,60	21,80	13,20	4,90	13,60	7,20	3,30	197,20
Ce	1,80	40,90	3,20	25,30	2,40	21,20	72,90	39,00	25,00	9,50	24,40	7,40	4,20	76,80
Pr	0,33	5,20	0,95	3,14	0,14	2,91	9,77	4,85	3,14	1,09	3,13	1,37	0,82	57,94
Nd	0,90	20,20	2,70	11,50	0,50	13,60	38,30	18,90	13,00	5,20	11,50	5,50	3,30	210,40
Sm	0,27	4,47	0,54	2,43	0,21	3,31	8,00	4,20	2,93	1,65	2,55	1,32	1,18	42,80
Eu	0,09	1,26	0,14	0,59	0,08	0,99	2,26	1,57	0,98	0,89	1,14	0,60	0,66	14,59
Gd	0,22	4,43	0,52	2,13	0,22	4,02	8,84	4,59	3,28	1,86	3,14	1,66	1,70	40,50
Tb	0,08	0,76	0,10	0,36	0,08	0,82	1,50	0,85	0,63	0,37	0,58	0,35	0,35	6,70
Dy	0,21	4,20	0,65	2,10	0,51	4,75	8,84	5,21	3,86	2,25	3,61	2,29	2,06	37,20
Ho	0,09	0,79	0,14	0,40	0,14	1,03	1,87	1,08	0,84	0,41	0,82	0,49	0,51	6,70
Er	0,18	2,20	0,42	1,17	0,41	2,98	5,18	3,28	2,52	1,17	2,36	1,47	1,44	16,47
Tm	0,04	0,38	0,07	0,20	0,08	0,47	0,82	0,55	0,43	0,19	0,42	0,25	0,27	2,51
Yb	0,10	2,16	0,47	1,15	0,49	2,82	4,84	3,27	2,64	1,27	2,42	1,41	1,73	14,20
Lu	0,04	0,31	0,07	0,16	0,09	0,42	0,74	0,50	0,39	0,20	0,35	0,22	0,27	1,86

Na Tabela 2.02 observa-se que o Al e o Th são os únicos elementos que não apresentam boa correlação com os demais elementos da tabela de correlação, com exceção do Hf. Já os outros elementos analisados apresentam boa correlação entre si, demonstrando que as alterações não afetaram a proporção entre elementos com comportamento geoquímico semelhante, sendo assim elementos confiáveis para interpretações.

As razões Zr/TiO_2 e Nb/Y foram utilizadas por Winchester & Floyd (1977) para classificar rochas vulcânicas do recente, metamorfizadas e alteradas. Na figura 2.09, estão plotadas amostras do anfibolito e áreas pontilhadas que indicam a posição das amostras metamáficas dos depósitos Igarapé Bahia e Gameleira, hospedados em rochas do Grupo Grão Pará, GT46 e Salobo, hospedados em rochas dos grupos Salobo e Pojuca. Com exceção do depósito GT46, as amostras dos demais depósitos situam-se no campo de transição entre basaltos subalcalinos e basaltos andesíticos, associadas com as amostras de anfibolito do Grupo Rio Novo.

Tabela 2.02 - Tabela com o coeficiente de correlação linear(r) entre as amostras de anfibolito sericitizado e com alteração sódica.

	Al	Ti	Ta	Nb	Th	Zr	Hf	Y	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Ho	Yb	Lu
Al	1,00															
Ti	-0,68	1,00														
Ta	-0,88	0,78	1,00													
Nb	-0,78	0,95	0,89	1,00												
Th	-0,82	0,53	0,92	0,74	1,00											
Zr	-0,75	0,91	0,86	0,99	0,73	1,00										
Hf	-0,80	0,89	0,92	0,99	0,81	0,99	1,00									
Y	-0,69	0,91	0,81	0,96	0,63	0,97	0,95	1,00								
La	-0,64	0,79	0,79	0,90	0,67	0,95	0,93	0,96	1,00							
Ce	-0,68	0,82	0,81	0,92	0,65	0,95	0,93	0,98	0,99	1,00						
Nd	-0,64	0,85	0,76	0,92	0,59	0,95	0,92	0,98	0,99	0,99	1,00					
Sm	-0,64	0,86	0,75	0,91	0,55	0,94	0,91	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00				
Eu	-0,73	0,80	0,81	0,91	0,66	0,93	0,92	0,94	0,97	0,98	0,97	0,97	1,00			
Ho	-0,66	0,92	0,78	0,95	0,58	0,97	0,94	1,00	0,95	0,97	0,99	0,99	0,94	1,00		
Yb	-0,70	0,89	0,79	0,95	0,62	0,96	0,94	0,99	0,95	0,97	0,97	0,97	0,94	0,99	1,00	
Lu	-0,68	0,88	0,77	0,94	0,60	0,96	0,93	0,99	0,95	0,97	0,98	0,98	0,94	0,99	1,00	1,00

Estudos realizados por Condie (1989) relacionaram razões entre elementos imóveis, usados para classificar basaltos e andesitos modernos, em basaltos e andesitos pré-cambrianos de *greenstone belts*. Nestes estudos, observou-se que a maioria dos basaltos pré-cambrianos analisados foi classificada como basaltos toleíticos de arco de ilha e em menor quantidade em basaltos cálcio-alcalinos de arco. Pelos critérios de Condie (1989), o anfibolito do Grupo Rio Novo seria classificado então como “basalto” cálcio-alcalino de arco continental (CABC) e, como pode ser observado na tabela 2.03, suas razões entre elementos apresentaram grande semelhança com a média das razões em basaltos arqueanos também classificados como basaltos cálcio-alcalinos.

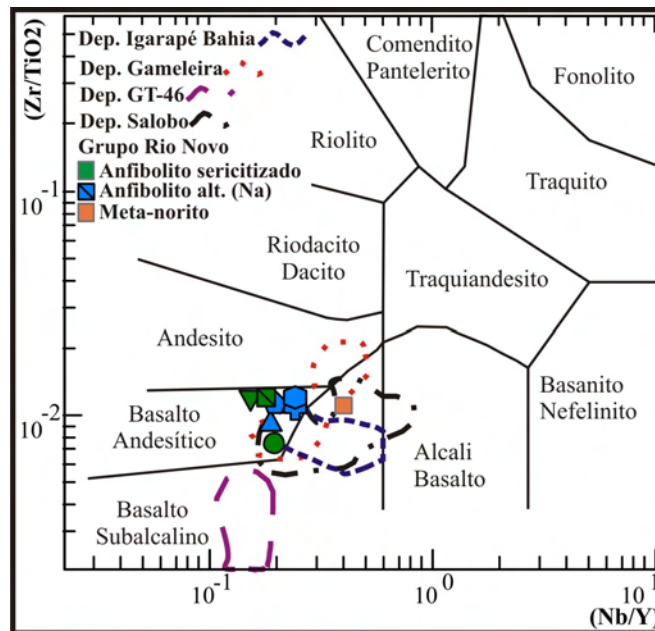


Figura 2.09 - Gráfico Nb/Y-Zr/TiO₂ (Winchester & Floyd 1977), utilizado para indicar um possível protólito para o anfibolito estudado e correlacioná-lo a rochas máficas e intermediárias da Província Mineral de Carajás.

Tabela 2.03 – Razões entre elementos imóveis, utilizadas por Condie (1989) para determinar a assinatura geoquímica de basaltos e andesitos pré-cambrianos, comparadas com as análises do anfibolito estudado. Onde WPB = Basalto intraplaca, ARCB = Basalto de arco, IAB = Basalto de ilha oceânica, CABI = Basalto cálcio –alcalino de arco de ilha, CABC = Basalto cálcio-alcalino de arco continental.

	Anfibolito								Média	Arqueano		Screen 1	
	Sericitizado				Alteração Sódica					>3,5 Ga	2,5-3,5 Ga	1ª-ordem	
	RN4-120	RN4-177	RN4-141	RN4-142	RN4-151B	RN4-174	RN4-175A	RN4-175B				Média	WPB MORB
Nb/La	0,56	0,23	0,27	0,28	0,43	0,44	0,38	1,00	0,45	0,70	1,00	>1,00	≤1,00
Hf/Ta	9,33	11,00	9,25	7,67	6,00	7,40	8,50	9,50	8,58	7,10	7,00	<5,00	≥5,00
Ti/Y	297,74	194,53	202,47	169,96	254,74	261,47	236,38	268,98	235,78	283,00	253,00	≥350,00	<350,00
												2ª-ordem	
TiO ₂ %	1,41	1,69	1,05	0,70	0,48	1,09	0,54	0,61	0,95	0,99	0,97	>1,25	≤1,25
Ta(ppm)	0,2	0,3	0,5	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	0,33	0,31	0,30	>0,70	≤0,70
Nb(ppm)	4,7	5,5	9,2	5,9	3,7	2,1	6	2,7	4,98	5,20	5,10	>12,00	≤12,00
												Screen 3	
												NMORB	ARCB
Nb/La	0,56	0,23	0,27	0,28	0,43	0,44	0,38	1,00	0,45	0,70	1,00	>0,80	<0,80
												Screen 4	
												IAB CABI	CABC
Zr/Y	3,50	3,72	3,80	3,16	3,85	4,50	4,33	5,13	4,00	3,80	2,80	<3,00	≥3,00
Ta/Yb	0,11	0,10	0,12	0,11	0,16	0,21	0,14	0,12	0,16	0,13	0,13	≤0,10	>0,10
												Screen 5	
												IAB	CABI
Ti/Zr	84,98	52,27	53,23	53,75	66,17	58,10	54,61	52,48	59,45	81,00	102,00	≥85,00	<85,00

Todas as amostras de anfibolito, inclusive as amostras fortemente alteradas, estão plotadas nos diagramas da figura 2.10, normalizadas pelo manto primordial de McDonough & Sun (1995). As amostras do anfibolito sericitizado e com alteração sódica mostram anomalia negativa em Ta e Nb e levemente negativa em Sr e Ti. Em relação aos outros elementos, apresentam um padrão horizontalizado dez vezes mais enriquecido que o padrão de normalização. Já as amostras de anfibolito fortemente alteradas apresentam anomalias negativas mais fortes em Ta, Nb, Sr e Ti, e um padrão irregular em relação à normalização.

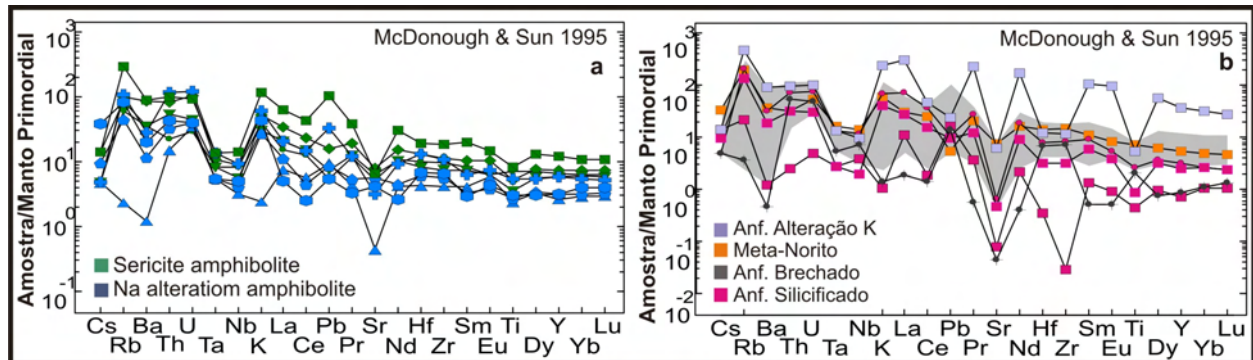


Figura 2.10 – Diagramas multielementares normalizados ao manto primordial de McDonough & Sun (1995). a) anfibolito menos alterado. b) anfibolito fortemente alterado; área sombreada cinza representa o domínio dos padrões do anfibolito menos alterado da figura a.

As amostras menos alteradas do anfibolito apresentam padrão levemente inclinado nos ETRL com razão $(La/Sm)_N$ baixa, variando entre 1,83 e 3,52 (Figura 2.11a), e horizontalizado nos elementos ETRP, estando assim pouco fracionadas com razão $(La/Yb)_N$ baixa entre 1,37 e 6,02.

O anfibolito com alteração sódica apresenta anomalia positiva de Eu (Eu/Eu^* entre 1,23 e 1,55) devido à substituição parcial da rocha por albita, enquanto duas amostras ocorrem com anomalia levemente negativa em Ce (Ce/Ce^* 0,58 e 0,63), devido à oxidação. A concentração total de ETR nessas amostras é de 10 a 50 vezes maior que o condrito.

Nas amostras do anfibolito fortemente alteradas (Figura 2.11b), com exceção do anfibolito brechado, o fracionamento dos ETR é bem maior em relação ao anfibolito pouco alterado, principalmente no anfibolito com alteração potássica, com razão $(La/Yb)_N$ entre 1,26 e 29,26. O anfibolito com alteração potássica e uma amostra de anfibolito silicificado mostram anomalia negativa em Ce (Ce/Ce^* 0,18 e 0,30), que ocorre provavelmente por fortes oxidações.

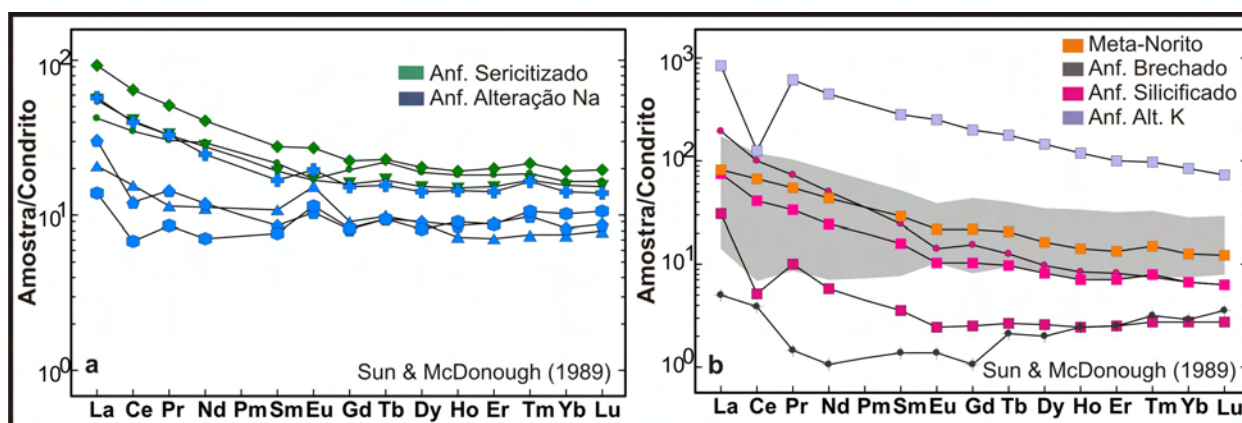


Figura 2.11 - Diagramas de ETR normalizados por valores de condrito propostos por Sun & McDonough (1989). a) anfibólito pouco alterado, b) anfibólito fortemente alterado; área sombreada cinza representa o domínio dos padrões na figura a.

Com base nos parâmetros utilizados acima, por Condie (1989) e anomalias negativas em Ta e Nb nos diagramas multielementares, observou-se uma tendência de classificar os anfibólitos estudados como produto de metamorfismo de “basaltos” com assinatura cálcio-alcálica.

Ferro-antofilita cordieritito – O ferro-antofilita cordieritito é uma rocha formada basicamente por cordierita e antofilita. Para definir um possível protólito para esta rocha, foram utilizados parâmetros de Taylor & McLennan (1985) com o intuito de comparação entre as análises do cordieritito e a média de paraderivados arqueanos.

As análises litogeoquímicas da ferro-antofilita cordieritito apresentam conteúdos de SiO₂, Al₂O₃, CaO, Na₂O e K₂O menores que as médias das amostras apresentadas por Taylor & McLennan (1985) para rochas paraderivadas arqueanas, em terrenos metamórficos de alto grau (SiO₂~55,26%; Al₂O₃~18,24%; CaO~2,75%, Na₂O~2,45%, K₂O~2,15%, TiO₂~0,87%, Fe₂O₃*(total)~13,85% e MgO~3,69%). O conteúdo de TiO₂ é semelhante e os conteúdos de Fe₂O₃* e MgO são maiores que aqueles apresentados por esses autores (Tabela 2.04).

Na matriz de correlação entre as amostras de ferro-antofilita cordieritito (Tabela 2.05), o Al₂O₃ tem alta correlação negativa ($r < -0,98$) com Fe₂O₃* (total) e Co e correlação positiva ($r > 0,98$) com Mo, HFSE e ETRP. Na₂O e Cu apresentam forte correlação positiva entre si, mas não estão correlacionados com nenhum outro elemento da tabela. O Au apresenta forte correlação negativa com o MgO e positiva com Eu. Os elementos Ta, Nb, Th, Hf e Y também apresentam ótima correlação entre si, assim como os ETR.

O ferro-antofilita cordieritito e o enclave de biotitito apresentam a mesma assinatura de ETR, com razão (La/Sm)_N entre 1,96 e 3,84, demonstrando assim, um leve enriquecimento em ETRL. Tais rochas não apresentam anomalia de Ce, mas mostram anomalia negativa de Eu em relação ao condrito, onde Eu/Eu* varia entre 0,34 e 0,72. Em relação aos ETRP essas rochas

apresentam um padrão horizontal com enriquecimento aproximado de 10 vezes o condrito e menos enriquecida que o anfibolito (Figura 2.13a).

Segundo Deer *et al.* (1997), foram descritos dois possíveis protólitos para rochas formadas por ortoanfibólio e cordierita. Um primeiro estudo indica derivação a partir de protólito formado por clorita e quartzo, proveniente da alteração hidrotermal de basaltos, relacionada à circulação de água do mar e formação de depósitos sulfetados (Wolter & Seifert, 1984; Bernier *et al.*, 1987; Hinchey & Carr, 2007).

Uma segunda hipótese sugere que rochas com ortoanfibólio + cordierita também podem ser restitos, provenientes da fusão parcial ou migmatização de grauvacas ou metapelitos em eventos orogênicos, durante a descompressão de terrenos de alto grau metamórfico. Neste caso é comum a presença de granada (Owen & Greenough, 2000; Reche & Martínez, 2008).

Bucher & Frey (1994) afirmam que rochas pelíticas metamorfizadas a baixas e médias pressões (2-5 Kbar) e altas temperaturas (>600°C), em ambientes de metamorfismo de contato, apresentam paragêneses com cordierita, ortoanfibólio, biotita, muscovita, granada e K-feldspato. A formação de ortoanfibólio + cordierita pode ocorrer pelo consumo de biotita, clorita e quartzo em condições de fácies anfibolito ou granulito quando o ortoanfibólio produzido é a gedrita.

A primeira hipótese, que relaciona essas rochas com protólito basáltico hidrotermalizado, parece ser a mais adequada ao contexto estudado, considerando as diferenças de composição química em relação a protólitos sedimentares arqueanos, apresentados por Taylor & McLennan (1985), e as relações de campo, que sugerem uma continuidade entre o domínio do Fe-antofilita cordieritito e o domínio do anfibolito (Figura 2.02), mesmo apresentando um possível contato tectônico entre si. Ao considerar o protólito do cordieritito como ígneo, sua normalização pelo manto primordial (McDonough & Sun, 1995) indica anomalias negativas em Ta e Nb (Figura 2.13c), como assinatura semelhante a do anfibolito.

Biotita Xisto e Grafita-Muscovita xisto - Os xistos apresentam teores menores em SiO₂, CaO e Na₂O em relação à média das amostras apresentadas por Taylor & McLennan (1985) para rochas metassedimentares de *greenstone belts* arqueanos (SiO₂~64,11%; Al₂O₃~15,12%; CaO~1,12%, Na₂O~0,99%, K₂O~3,67%, TiO₂~0,58%, Fe₂O₃*(total)~9,18% e MgO~1,87%), conteúdo semelhante de Fe₂O₃* e MgO e maiores concentrações em Al₂O₃, TiO₂ e K₂O (Tabela 2.04).

Tabela 2.04 - Análises do ferro-antofilita cordieritito, do enclave (biotitito), biotita xisto e grafita-muscovita xisto do Grupo Rio Novo, no sudeste do granito Cigano (< abaixo do limite de detecção; óxidos, S e C em % peso, Au em ppb e demais elementos em ppm).

Amostras	Fe Antofilita cordieritito			Enclave	Graf.Musc Xisto	Biotita Xisto		
	RN4-26	RN4-80	RN4-83 ^a	RN4-1A	RN4-16	RN4-3A	RN4-4	RN4-216
SiO ₂	49,97	47,42	50,87	45,34	54,84	58,28	54,87	63,99
Al ₂ O ₃	15,65	15,41	14,23	15,74	27,16	18,84	17,84	19,55
Fe ₂ O ₃	18,32	21,24	24,69	15,15	2,82	7,22	12,29	4,11
MnO	0,18	0,33	0,19	0,09	<0,01	0,05	0,04	0,03
MgO	12,62	11,16	7,05	12,22	0,25	0,51	2,15	1,61
TiO ₂	1,23	0,67	0,63	0,90	1,37	1,48	1,24	1,38
CaO	0,20	0,43	0,20	0,43	<0,01	0,81	0,45	0,12
Na ₂ O	0,15	0,41	0,33	1,68	0,17	0,76	0,26	0,11
K ₂ O	0,10	0,16	0,37	7,49	6,19	9,81	8,30	5,92
P ₂ O ₅	0,12	0,10	0,09	0,07	0,07	0,55	0,47	0,09
P.F	1,10	2,30	1,00	1,10	6,90	1,60	2,10	2,80
C	0,04	<0,02	<0,02	0,01	1,13	0,04	0,02	0,07
S	<0,02	0,18	0,15	0,02	<0,02	0,10	<0,01	<0,02
Total	99,73	99,85	99,85	100,28	100,97	100,06	100,05	99,83
Rb	4,50	8,90	22,60	412,90	146,40	133,40	136,20	155,30
Ba	2,00	31,00	189,00	109,00	477,00	1059,60	740,00	459,00
Sr	1,90	8,70	2,80	11,30	16,30	21,40	8,90	12,70
Ga	20,60	16,00	15,00	17,20	33,30	33,40	29,60	33,90
Ni	12,60	12,30	21,90	144,80	3,70	34,70	39,60	24,20
Cr	184,76	109,49	205,29	239,51	171,08	41,06	34,22	198,45
Co	54,80	56,60	63,60	52,90	6,50	19,50	29,00	20,80
Zn	14,00	22,00	40,00	64,00	<1,00	15,00	8,00	6,00
Mo	0,10	<0,10	<0,10	0,10	3,40	2,20	10,90	1,90
Cu	1,40	1188,20	1089,00	6,20	36,60	800,30	271,20	112,90
Ag	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	0,10
As	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	8,20
Au	<0,50	1,90	2,90	0,90	6,00	7,30	1,40	1,30
Sn	<1,00	<1,00	<1,00	3,00	4,00	5,00	2,00	3,00
W	2,00	1,20	1,10	1,10	3,60	3,40	2,10	5,70
Ta	0,50	0,30	0,30	0,20	1,90	3,10	2,70	1,90
Nb	8,60	4,40	4,80	3,10	26,50	51,90	44,00	32,30
Th	9,30	2,70	3,90	1,50	32,70	48,80	41,10	34,10
U	2,00	0,70	0,90	1,40	5,80	12,10	11,30	8,80
Zr	102,20	85,60	86,00	53,40	469,90	1053,60	808,30	554,30
Hf	3,50	2,20	2,20	1,80	11,90	23,80	19,30	14,30
Y	22,30	16,30	19,70	25,10	46,40	111,40	157,20	53,30
Sc	41,00	36,00	37,00	33,00	43,00	14,00	12,00	22,00
Cs	0,30	0,50	0,60	3,90	0,50	0,70	1,20	0,80
Pb	1,30	0,40	0,40	1,20	1,60	7,20	2,90	4,80
V	335,00	221,00	232,00	253,00	250,00	71,00	69,00	171,00
La	9,80	10,60	26,50	9,10	93,10	69,70	55,50	67,70
Ce	19,20	21,40	51,20	17,70	168,20	165,20	104,80	129,20
Pr	2,57	2,55	5,80	2,40	18,19	17,44	11,10	13,99
Nd	11,60	10,50	21,30	10,70	59,20	64,20	43,10	48,50
Sm	3,23	2,26	4,46	2,90	9,89	11,20	10,10	8,29
Eu	0,39	0,53	1,01	0,51	2,09	2,48	2,23	1,63
Gd	3,74	2,52	4,13	3,38	8,65	13,64	14,94	7,85
Tb	0,70	0,45	0,69	0,69	1,40	2,96	2,76	1,33
Dy	4,08	2,98	3,83	4,24	8,22	17,42	16,60	8,15
Ho	0,79	0,61	0,72	0,84	1,60	3,58	3,60	1,80
Er	2,41	1,78	2,10	2,46	4,85	10,42	11,35	5,03
Tm	0,39	0,31	0,33	0,35	0,75	1,45	1,58	0,84
Yb	2,38	1,75	1,91	2,29	4,77	9,55	9,42	5,03
Lu	0,38	0,28	0,30	0,34	0,71	1,44	1,51	0,82

Tabela 2.05 - Coeficiente de correlação linear(r) entre as amostras de ferro-antofilita cordieritito.

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	Co	Mo	Cu	Au	Ta	Nb	Th	Zr	Hf	Y	Sc	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Yb
SiO2	1,00																								
Al2O3	0,85	1,00																							
Fe2O3	-0,81	-0,98	1,00																						
MgO	-0,90	-0,86	0,76	1,00																					
CaO	-0,97	-0,75	0,74	0,77	1,00																				
Na2O	-0,67	-0,53	0,63	0,29	0,79	1,00																			
K2O	0,89	0,99	-0,95	-0,92	-0,78	-0,49	1,00																		
Co	-0,83	-1,00	0,99	0,83	0,74	0,55	-0,98	1,00																	
Mo	0,88	0,99	-0,96	-0,90	-0,78	-0,50	1,00	-0,99	1,00																
Cu	-0,62	-0,60	0,72	0,28	0,73	0,98	-0,54	0,62	-0,56	1,00															
Au	0,83	0,86	-0,76	-0,99	-0,68	-0,19	0,92	-0,84	0,91	-0,20	1,00														
Ta	0,89	1,00	-0,98	-0,86	-0,81	-0,60	0,99	-0,99	0,99	-0,65	0,85	1,00													
Nb	0,90	0,99	-0,99	-0,84	-0,83	-0,65	0,98	-0,99	0,98	-0,70	0,83	1,00	1,00												
Th	0,90	0,98	-0,98	-0,84	-0,84	-0,67	0,97	-0,98	0,98	-0,72	0,82	1,00	1,00	1,00											
Zr	0,89	1,00	-0,97	-0,89	-0,79	-0,54	1,00	-0,99	1,00	-0,59	0,89	1,00	0,99	0,99	1,00										
Hf	0,89	0,99	-0,98	-0,86	-0,81	-0,61	0,99	-0,99	0,99	-0,66	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00									
Y	0,93	0,98	-0,97	-0,88	-0,87	-0,64	0,98	-0,98	0,98	-0,68	0,85	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00								
Sc	0,80	0,78	-0,86	-0,53	-0,86	-0,94	0,74	-0,80	0,76	-0,96	0,46	0,83	0,86	0,87	0,78	0,83	0,85	1,00							
La	0,93	0,96	-0,90	-0,97	-0,82	-0,45	0,99	-0,94	0,98	-0,47	0,96	0,96	0,95	0,94	0,98	0,96	0,97	0,70	1,00						
Ce	0,93	0,95	-0,89	-0,97	-0,82	-0,44	0,99	-0,94	0,98	-0,46	0,96	0,96	0,94	0,94	0,97	0,95	0,96	0,69	1,00	1,00					
Nd	0,94	0,95	-0,89	-0,97	-0,84	-0,47	0,98	-0,94	0,98	-0,48	0,95	0,96	0,95	0,95	0,97	0,96	0,97	0,71	1,00	1,00	1,00				
Sm	0,97	0,94	-0,89	-0,96	-0,89	-0,54	0,97	-0,92	0,96	-0,54	0,93	0,96	0,95	0,95	0,96	0,95	0,97	0,75	0,99	0,99	0,99	1,00			
Eu	0,91	0,90	-0,81	-1,00	-0,79	-0,35	0,95	-0,88	0,94	-0,35	0,98	0,90	0,89	0,88	0,93	0,90	0,91	0,59	0,99	0,99	0,99	0,98	1,00		
Gd	0,97	0,95	-0,91	-0,93	-0,91	-0,61	0,97	-0,94	0,97	-0,62	0,89	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,99	0,81	0,98	0,98	0,99	1,00	0,95	1,00	
Yb	0,91	0,98	-0,98	-0,85	-0,85	-0,66	0,98	-0,98	0,98	-0,70	0,83	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,87	0,95	0,95	0,95	0,96	0,89	0,97	1,00

Tabela 2.06 - Coeficiente de correlação linear(r) entre as amostras de xistos.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ni	Co	Mo	Cu	Au	Ta	Nb	Th	Hf	Y	Sc	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Yb	
SiO₂	1,00																									
Al₂O₃	0,99	1,00																								
Fe₂O₃	-0,96	-0,95	1,00																							
MgO	-0,88	-0,92	0,77	1,00																						
CaO	-0,24	-0,12	0,20	-0,14	1,00																					
Na₂O	-0,87	-0,85	0,70	0,87	0,33	1,00																				
K₂O	-0,20	-0,07	0,21	-0,23	0,98	0,20	1,00																			
Ni	-0,93	-0,95	0,80	0,99	0,02	0,93	-0,07	1,00																		
Co	-0,94	-0,97	0,87	0,98	-0,09	0,84	-0,15	0,98	1,00																	
Mo	0,11	0,12	0,18	-0,42	0,03	-0,56	0,21	-0,43	-0,26	1,00																
Cu	0,34	0,46	-0,36	-0,64	0,83	-0,18	0,84	-0,51	-0,62	0,09	1,00															
Au	0,28	0,39	-0,37	-0,50	0,83	-0,01	0,79	-0,37	-0,53	-0,16	0,97	1,00														
Ta	0,67	0,74	-0,53	-0,94	0,43	-0,71	0,53	-0,88	-0,88	0,54	0,79	0,64	1,00													
Nb	0,68	0,76	-0,56	-0,95	0,42	-0,72	0,52	-0,89	-0,89	0,51	0,80	0,65	1,00	1,00												
Th	0,76	0,82	-0,63	-0,97	0,34	-0,77	0,43	-0,93	-0,93	0,49	0,76	0,62	0,99	0,99	1,00											
Hf	0,67	0,75	-0,56	-0,94	0,46	-0,69	0,55	-0,87	-0,89	0,48	0,83	0,68	1,00	1,00	0,99	1,00										
Y	0,26	0,33	-0,03	-0,67	0,42	-0,56	0,58	-0,61	-0,52	0,88	0,55	0,33	0,84	0,82	0,78	0,81	1,00									
Sc	-0,57	-0,63	0,38	0,88	-0,38	0,73	-0,52	0,83	0,79	-0,72	-0,69	-0,50	-0,97	-0,97	-0,95	-0,96	-0,93	1,00								
La	0,93	0,96	-0,85	-0,99	0,09	-0,86	0,16	-0,99	-1,00	0,30	0,62	0,51	0,89	0,90	0,94	0,90	0,56	-0,81	1,00							
Ce	0,86	0,91	-0,81	-0,96	0,29	-0,72	0,34	-0,92	-0,98	0,20	0,77	0,70	0,91	0,93	0,95	0,93	0,54	-0,80	0,97	1,00						
Nd	0,82	0,89	-0,77	-0,96	0,34	-0,70	0,39	-0,91	-0,97	0,23	0,80	0,72	0,93	0,94	0,96	0,95	0,59	-0,83	0,96	1,00	1,00					
Sm	0,72	0,78	-0,58	-0,96	0,37	-0,75	0,47	-0,91	-0,91	0,53	0,77	0,61	1,00	1,00	1,00	1,00	0,81	-0,97	0,92	0,93	0,95	1,00				
Eu	0,65	0,72	-0,51	-0,93	0,44	-0,70	0,55	-0,87	-0,87	0,55	0,80	0,64	1,00	1,00	0,99	1,00	0,85	-0,98	0,88	0,90	0,92	1,00	1,00			
Gd	0,45	0,52	-0,25	-0,81	0,47	-0,63	0,61	-0,75	-0,70	0,74	0,71	0,51	0,95	0,94	0,91	0,93	0,97	-0,99	0,73	0,74	0,77	0,93	0,96	1,00		
Yb	0,44	0,53	-0,28	-0,82	0,56	-0,58	0,67	-0,74	-0,72	0,67	0,79	0,61	0,96	0,95	0,92	0,95	0,94	-0,98	0,74	0,77	0,81	0,94	0,97	0,99	1,00	

Na matriz de correlação das amostras de biotita xisto (Tabela 2.06) o SiO_2 apresenta forte correlação (r) positiva com Al_2O_3 , e o Al_2O_3 por sua vez apresenta forte r negativa com Co. Elementos como MgO, Ni e Co apresentam ótimas a boas correlações negativas ou positivas entre si e com ETRL. Os HFSE, com exceção do ítrio, apresentam ótima correlação entre si e com os ETRP, já os ETRL não apresentam boa correlação com os ETRP, indicando um fracionamento entre eles. Entre os metais foi possível observar uma ótima correlação positiva entre Cu e Au.

No diagrama ETR (Figura 2.13b), os ETRL apresentam fracionamento moderado com $(\text{La}/\text{Sm})\text{N}$ entre 3,55 e 6,08 e anomalia negativa de európio com Eu/Eu^* entre 0,55 e 0,69. Os ETRP têm padrão retilíneo com enriquecimento de 50 a 100 vezes o condrito.

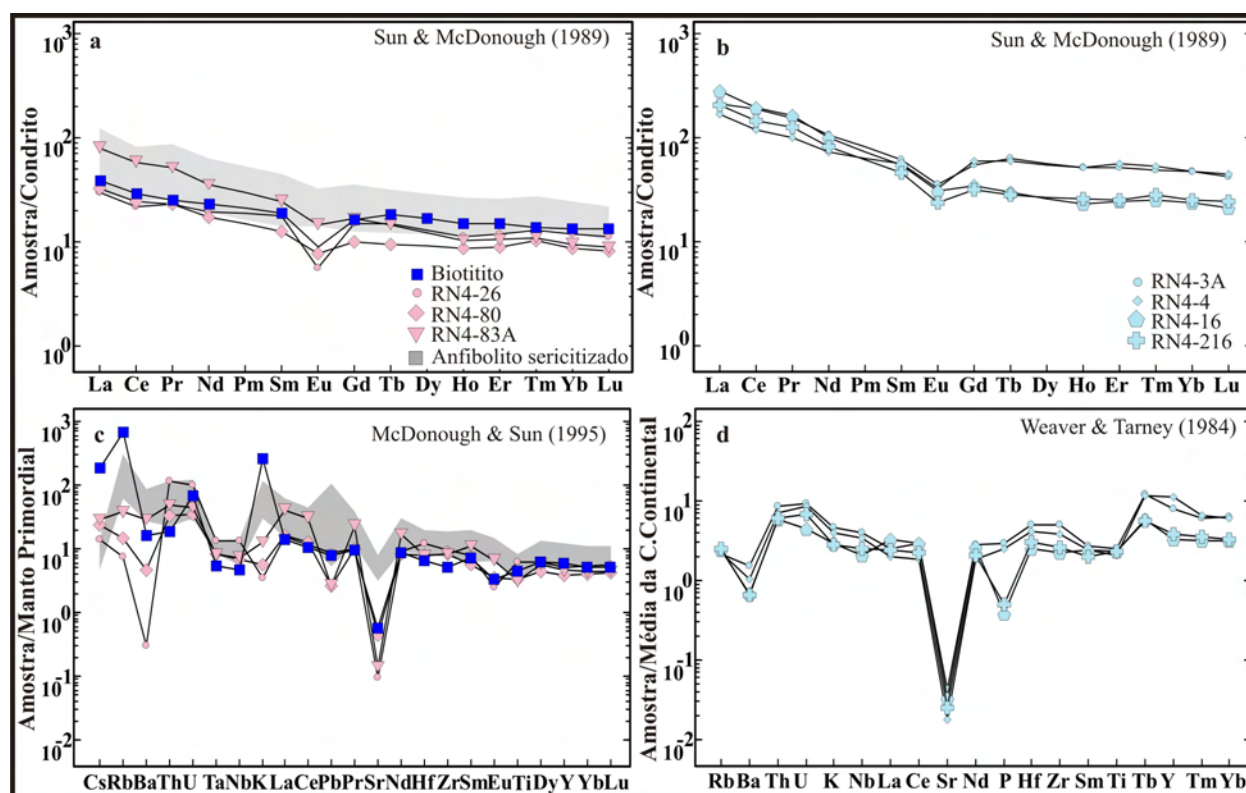


Figura 2.13–a) diagrama de ETR para ferro-antofilita cordieritito, enclave e anfibolito (área sombreada), normalizados pelo condrito com valores de Sun & McDonough (1989), b) diagrama de ETR para biotita xisto e grafita-muscovita xisto, normalizados pelo condrito com valores de Sun & McDonough (1989), c) diagrama multielementar para ferro-antofilita cordieritito, enclave e anfibolito, normalizados pelo manto primordial com valores de McDonough & Sun (1995), d) diagrama multielementar para biotita xisto e grafita-muscovita xisto, normalizados pela média da crosta continental com valores de Weaver & Tarney (1984).

No diagrama multielementar (Figura 2.13d), as amostras de biotita xisto e grafita-muscovita xisto foram normalizadas pela média da crosta continental (Weaver & Tarney, 1984). Neste diagrama observou-se que os xistos apresentam anomalias negativas em Ba, Sr e P,

anomalias positivas em Th, U e Tb e um padrão horizontalizado nos outros elementos, mostrando um enriquecimento de 3 vezes a média da crosta.

2.4.2 - Química Mineral

Anfibólios

Além do anfibolito e do ferro-antofilita cordieritito, o metanorito também apresenta anfibólio na sua composição. A classificação utilizada aqui para todos os anfibólios é baseada em Leake *et al.* (1997) (Figura 2.14), que indica a presença de dois grupos: cálcicos e Fe-Mg-Mn-Li.

No grupo cálcico, estão plotadas análises de anfibólios do anfibolito e algumas análises de anfibólio no metanorito, classificados como ferro-hornblenda e hornblenda parcialmente alteradas para ferro-actinolita, actinolita, ferro-tschermakita, ferro-edenita e ferro-pargasita (Figura 2.15a), representando assim um enriquecimento relativo em sílica, sódio e potássio.

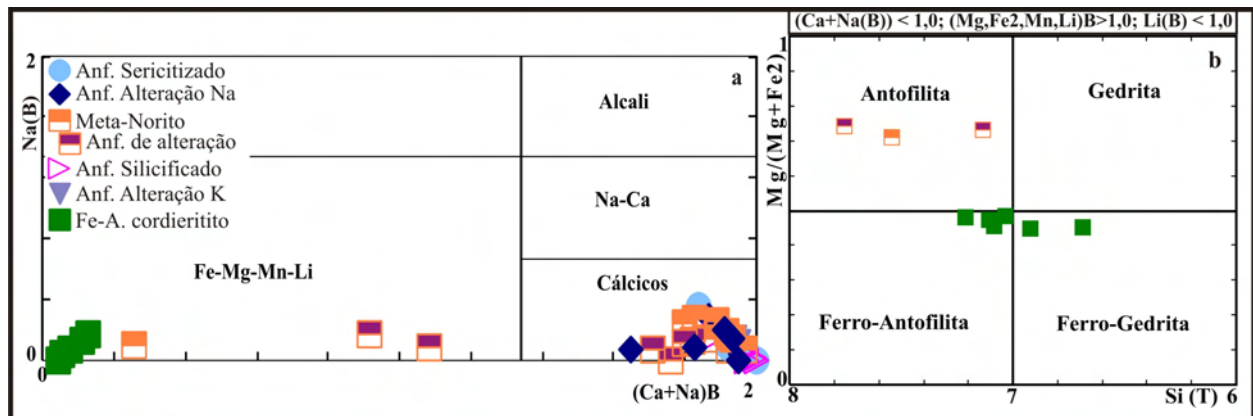


Figura 2.14-a) Gráfico de classificação de anfibólios segundo Leake *et al.*, 1997, onde estão plotadas análises de anfibolito, meta-norito e ferro-antofilita cordieritito; b) Gráfico de classificação de ortoanfibólios segundo Leake *et al.*, 1997, com análises do meta-norito e ferro-antofilita cordieritito.

O diagrama $Al^{VI} \times (Al, Si)^{IV}$, desenvolvido por Leake (1965), apresenta, com base em análises de vários tipos de anfibólios cálcicos de rochas ígneas e metamórficas, dois campos de maior representatividade: C (ígneo) e D (metamórfico) e uma linha A-B que define o limite máximo de Al^{VI} em anfibólios cálcicos. Os anfibólios cálcicos analisados plotaram, em sua grande maioria, no campo D que representa anfibólios de origem metamórfica (Figura 2.16a).

Dois rochas apresentam anfibólios classificados no grupo Fe-Mg-Mn-Li (Figura 2.14b). O anfibólio do ferro-antofilita cordieritito apresenta composição entre a ferro-gedrita e ferro-antofilita, com predominância da ferro-antofilita. A gedrita ocupa os núcleos dos cristais e a

antofilita as bordas, evidenciando um empobrecimento em Al durante a cristalização do anfibólio. Segundo Deer *et al.* 1994, esta variação composicional indicaria uma diminuição de temperatura durante o crescimento do anfibólio. A outra rocha é o meta-norito representado por um bloco rolado encontrado entre blocos do ferro-antofilita cordieritito, que apresenta como um dos anfibólios de alteração da antofilita.

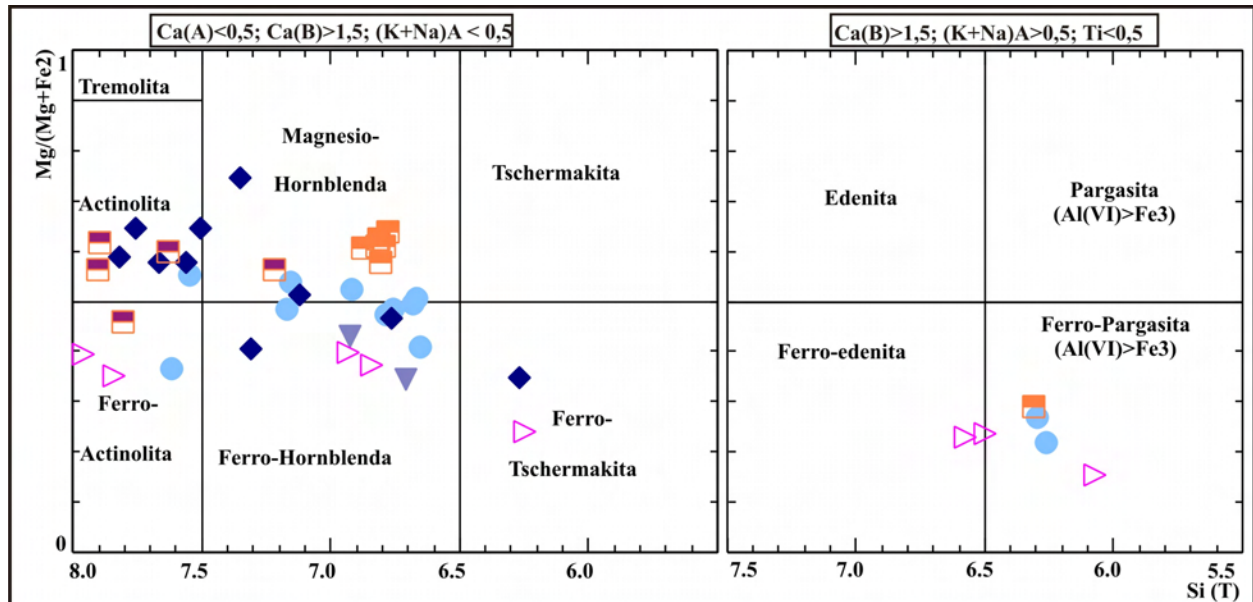


Figura 2.15 - Gráfico de classificação de anfibólios cálcicos (Leake *et al.*, 1997), com análises do anfibólito, meta-norito e ferro-antofilita cordieritito (legenda na figura 2.14).

Os anfibólios cálcicos analisados plotaram preferencialmente no campo de anfibólios metamórficos com alto alumínio no sítio octaédrico. No gráfico $Al^{(IV)} \times Al^{(VI)} + Ti + Fe^{3+}$, proposto por Leake (1965b) para comparar anfibólios cristalizados em altas, médias e baixas pressões, as análises de ferro-gedrita, ferro-antofilita e actinolita, do Fe-antofilita cordieritito e do metanorito plotaram no campo de pressões $> 4kb$, enquanto as outras plotaram no campo com pressão de formação $< 4kb$, indicando assim, dois prováveis eventos metamórficos ou rochas com profundidades diferentes de metamorfismo durante o mesmo evento (Figura 2.16b). Com base na textura subofítica reliquiar apresentada pelo anfibólito e na cristalização tipo radial dos ortoanfibólios no ferro-antofilita cordieritito, pode-se sugerir que estas rochas foram submetidas a metamorfismo termal, como descrito por Barros *et al.* (2001) em rochas encaixantes do Granito Estrela, situadas a sul da área estudada.

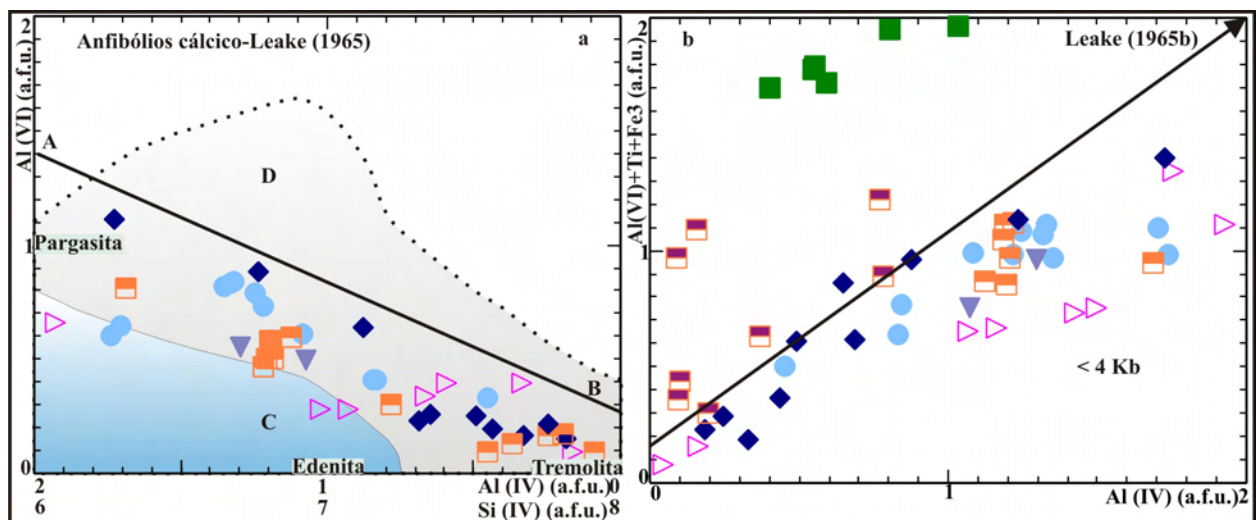


Figura 2.16-a) Diagrama desenvolvido por Leake (1965) com campos para anfibólios ígneos (C) e metamórficos (D). b) Diagrama desenvolvido por Leake (1965b) para definir a pressão de cristalização do anfibólio.

Biotitas

A biotita analisada em amostras de anfibolito, ferro-antofilita cordieritito e metanorito é marrom e ocorre como alteração dos minerais máficos. A biotita dessas rochas e a biotita do biotita xisto têm uma variação de composição semelhante, próxima da siderofilita, com maior teor de alumínio na biotita do biotita xisto (Figura 2.17a). Já a biotita do enclave de biotitito é mais rica em magnésio e apresenta composição entre eastonita e siderofilita com uma variação considerável no $Al^{(VI)}$. Já a biotita verde do enclave, proveniente de alteração da biotita marrom, possui maior conteúdo de $Al^{(VI)}$.

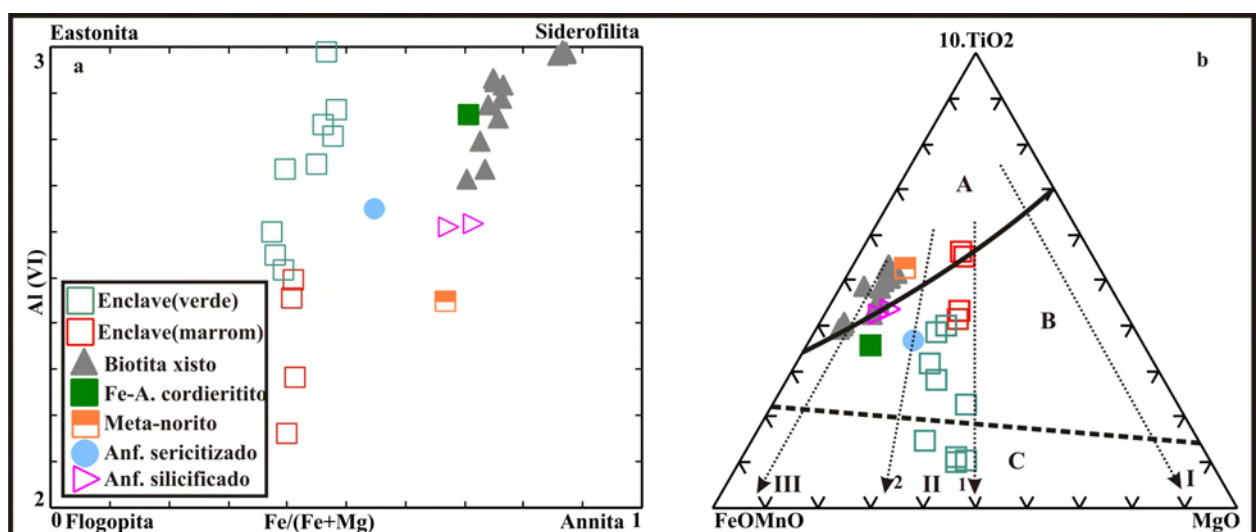


Figura 2.17-a) diagrama de classificação de biotitas proposto por Deer *et al.* 1992. b) diagrama $10.TiO_2$ - $FeO+MnO-MgO$ de Nachit (1986). (A: biotitas primárias, B: biotitas reequilibradas, C: biotitas neoformadas).

A maioria das biotitas analisadas apresenta uma concentração média em TiO_2 de 2,19%, variando entre 0,31% e 3,81%. Segundo Nachit (1986), biotitas primárias, que incluem biotitas ígneas e metamórficas de alta temperatura, tendem a apresentar maior quantidade de titânio que biotitas secundárias, como é observado no gráfico triangular $10\text{TiO}_2\text{-FeO+MnO-MgO}$ (Figura 2.17b), que mostra algumas evoluções tardi- a pós-magmáticas de biotitas de diferentes tipos de rochas. Neste diagrama, observa-se que as biotitas provenientes do enclave apresentam o *trend* II, caracterizado por reequilíbrio de biotita em torno de 700°C . As demais amostras ocorrem no início do *trend* III, representando biotitas marrom e marrom-avermelhada com maior conteúdo de titânio, que apresenta protólito com minerais ricos em ferro.

Cloritas

A clorita está presente nas rochas analisadas como produto de alteração de anfibólios no Ferro-antofilita cordieritito, de biotita no biotita xisto e, provavelmente, como alteração de ambos no anfibolito silicificado. No diagrama triangular de classificação de clorita, $\text{Mn-Fe}^{2+}\text{-Mg}$ (Figura 2.18a), todas as análises plotaram no campo da chamosita. Já no diagrama de classificação com base no $\text{Fe}(\text{total})$ e Si (Figura 2.18b), as análises distribuem-se em dois grupos, o grupo de anfibolito silicificado, no qual a clorita é do tipo chamosita, e o grupo formado por clorita do biotita xisto e da ferro-antofilita cordieritito, cujas análises plotaram no campo da thuringita, indicando um menor conteúdo de sílica.

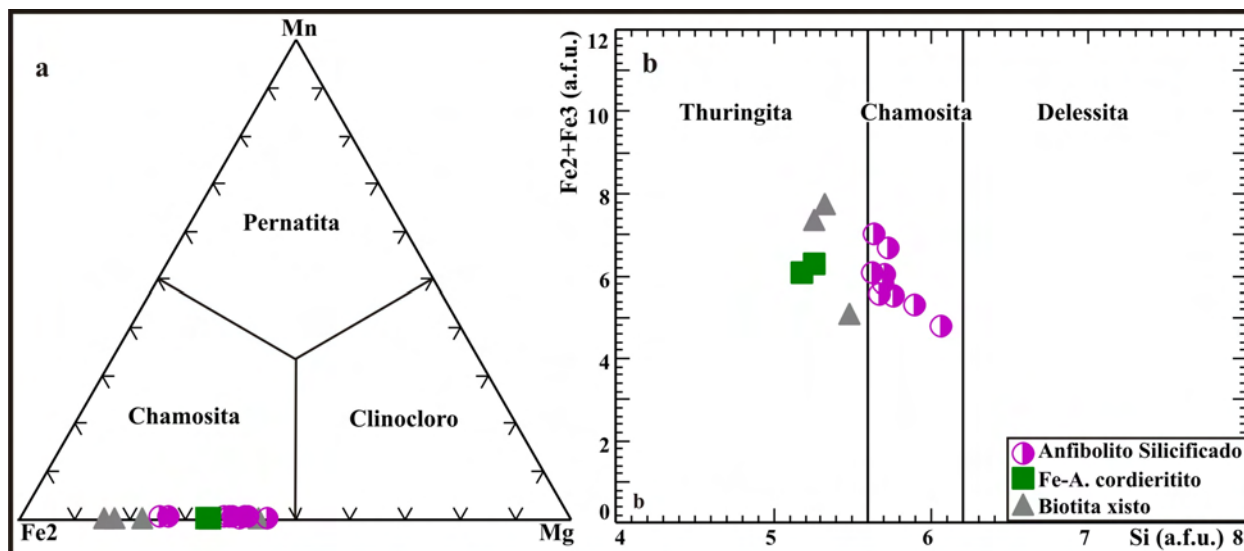


Figura 2.18 - a) Gráfico triangular de classificação de cloritas ricas em Fe_2 , Mg ou Mn; b) gráfico de classificação de cloritas ricas em ferro.

Cordierita

A cordierita apresenta FeO~12%, MgO~6% e razão $100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Mn}) \sim 48$, com poucas variações, e baixa concentração de Na₂O e MnO, compatíveis com cordieritas metamórficas ricas em ferro (Deer *et al.*, 1997). Grande parte dos grãos foi alterada para pinita ou parcialmente substituída por, clorita, muscovita, quartzo e biotita.

Feldspato

No biotita xisto o feldspato alcalino é predominante e está fortemente sericitizado enquanto a albita (An₁) é local e englobada por sulfetos. No enclave, o feldspato predominante é albita (An₅₋₁₂), que ocorre associada a biotita verde e a quartzo formando nódulos (Figura 2.19a).

O anfibolito sericitizado apresenta plagioclásio (An₅₃₋₅₉) e feldspato alcalino em microveios. O anfibolito com alteração potássica apresenta substituição parcial da rocha por microclínio (Figura 2.19b).

O plagioclásio (An₂₇) no anfibolito silicificado apresenta composição freqüente no domínio do anortoclásio, provavelmente decorrente de análises sobre intercrescimentos anti-peritéticos muito finos. Já no metanorito, o plagioclásio (An₅₁₋₇₅) com menor teor de anortita está fortemente saussuritizado, submetido a descalcificação.

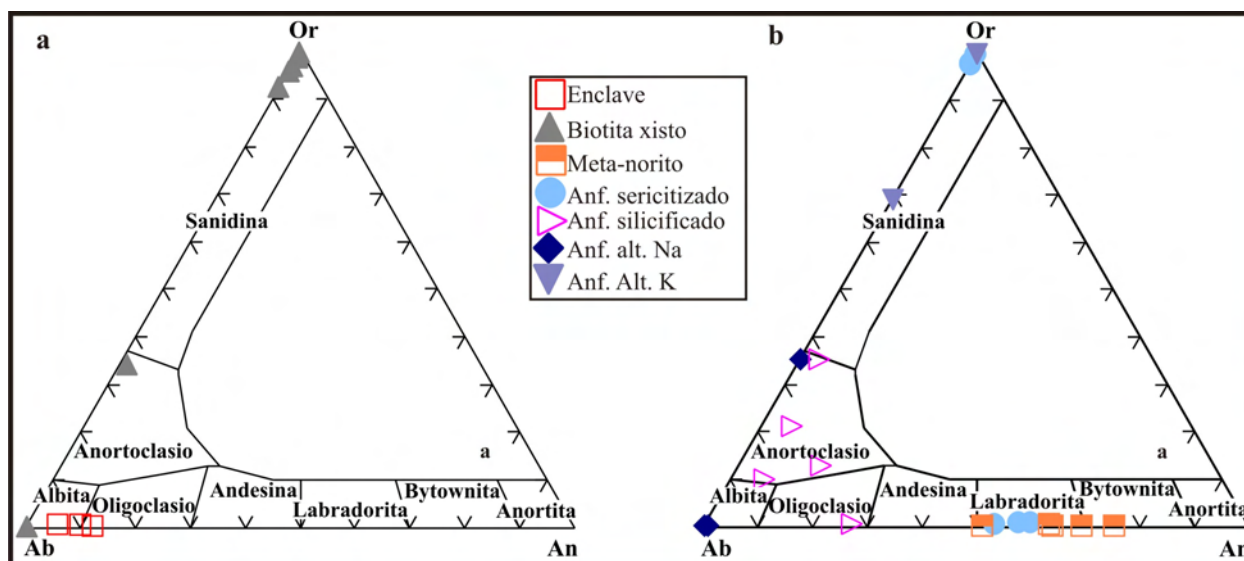


Figura 2.19 - a) Diagrama de classificação de feldspatos com amostras do biotita xisto e da enclave, b) diagrama de classificação para amostras do anfibolito e do meta-norito.

Muscovita

A muscovita ocorre em todas as rochas em diferentes proporções como mineral de alteração em feldspatos, cordierita e biotita. Os teores de FeO*(total) variam entre 0,88% e

7,89% e MgO entre 0,14% e 3,35%, resultando em uma variação composicional no *trend* fengítico, com leve desvio para o *trend* di- tri-octaédrico, que poderia representar muscovita proveniente de alteração da biotita (Figura 2.20).

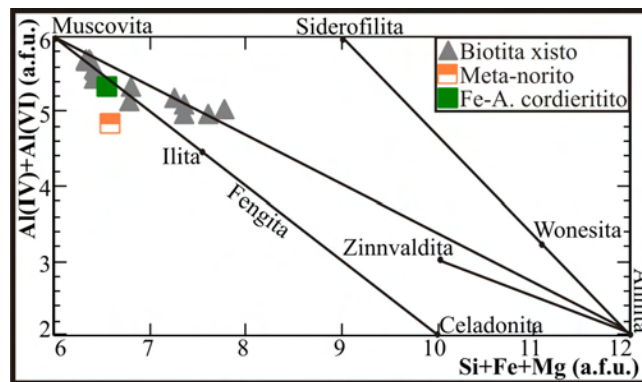


Figura 2.20 - Principais substituições em muscovita de xistos, meta-norito e ferro-antofilita cordieritito.

Ferropirosmalita

Além dos principais minerais descritos acima, observou-se localmente um filossilicato rico em ferro (50% FeO) e cloro (~6%) classificado como ferropirosmalita $\{(Fe_{7,6}Mn_{0,16}Mg_{0,12}Al_{0,08})_{7,96}Si_6O_{15}(Cl_6OH_4)\}$ (ideal = $Fe_8Si_6O_{15}(OH,Cl)_{10}$) em uma lente no ferro-antofilita cordieritito englobada por sulfetos (Figura 2.21).

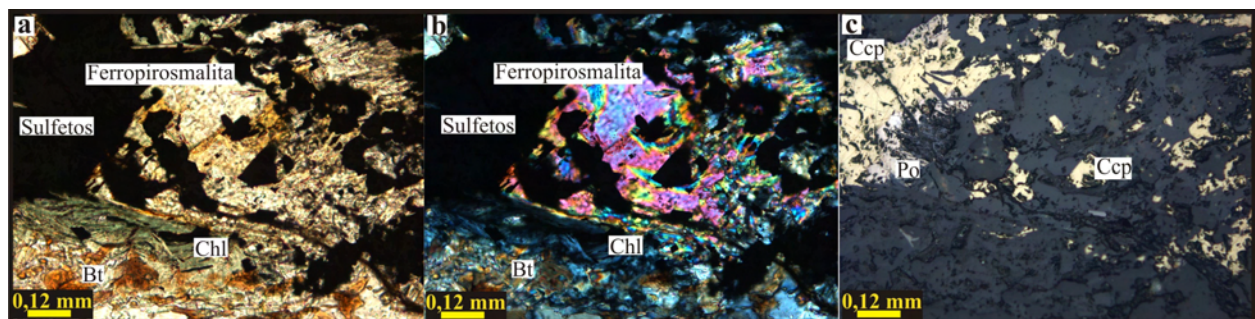


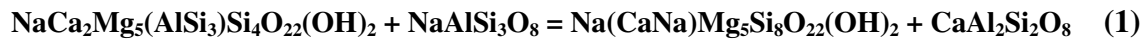
Figura 2.21 – Fotomicrografias da microlente mineralizada na ferro-antofilita cordieritito. a, b) lente de sulfetos e ferropirosmalita, clorita e biotita como principais minerais da ganga, c) calcopirita e pirrotita como minerais de minério.

2.4.3 - Geotermometria

A termometria foi utilizada neste trabalho para indicação de temperatura de equilíbrio da paragênese plagioclásio e hornblenda na amostra RN4-120, referente ao anfibolito sericitizado, e também a temperatura de formação de biotitas com alto teor de titânio, observadas nos xistos,

enclaves, além de biotita do anfibolito, que ocorre como alteração da hornblenda. Nestes dois casos, a pressão é estimada.

Dados de microsonda eletrônica em plagioclásio e hornblenda do anfibolito foram utilizados para estimativa da temperatura de equilíbrio dessa paragênese, pelo método desenvolvido por Holland & Blundy (1994), baseado na seguinte reação de equilíbrio

**Edenita****Albita****Richterita****Anortita,**

como membros finais da solução sólida entre anfibólios cálcicos-sódicos e entre plagioclásios, com ou sem a participação de quartzo, podendo ser usada para rochas insaturadas e saturadas em sílica. Os resultados obtidos foram dispostos na Tabela 2.07 a qual relaciona temperatura e pressão. As pressões sugeridas para o metamorfismo do anfibolito, considerando que esta rocha foi submetida a metamorfismo termal, como já explicado anteriormente, estariam entre 0 Kbar e 5 Kbar (Bucher & Frey, 1994), o que indicaria um intervalo de temperatura entre 558°C e 617°C.

Tabela 2.07 - Temperaturas para a paragênese hornblenda-plagioclásio com base na equação (1) descrita por Holland & Blundy (1994) relacionadas a pressão.

Hornblenda-Plagioclásio (Holland & Blundy, 1994)				
Pressão (Kbar)	0	5	10	15
T°C(1): ed-ri	566	613	659	706
T°C(2): ed-ri	558	617	676	735
T°C(3): ed-ri	625	656	687	718

Henry & Guidotti (2002) e Henry *et al.* (2005) apresentam estudos detalhados referentes à temperatura de entrada de titânio em biotitas de metapelitos peraluminosos, compostos por biotita + quartzo + ilmenita/rutilo ± granada ± grafita, metamorfizados entre 3,3 e 6 kbar. O cálculo da temperatura tem como base um diagrama tridimensional, onde são plotadas as análises de biotitas, gerando uma superfície de saturação em titânio, representada pela seguinte equação:

$$T = \{[\ln(\text{Ti}) - a - c(X_{\text{Mg}})^3]/b\}^{0,333} \quad (2)$$

onde T = temperatura em °C; Ti = titânio (a.f.u.); $X_{\text{Mg}} = \text{Mg}/(\text{Fe}+\text{Mg})$; a, b e c são parâmetros calculados estatisticamente para formar a superfície de saturação de titânio. As condições ideais

para um bom resultado são: o cálculo do Ti (a.f.u.) com base em 22 O, X_{Mg} entre 0,275-1,000 e Ti (a.f.u.) entre 0,04 – 0,6. A Figura 2.22 é um diagrama X_{Mg} x Ti (a.f.u.) com isoterma (°C) calculadas a partir da superfície de saturação em titânio representada pela equação (2).

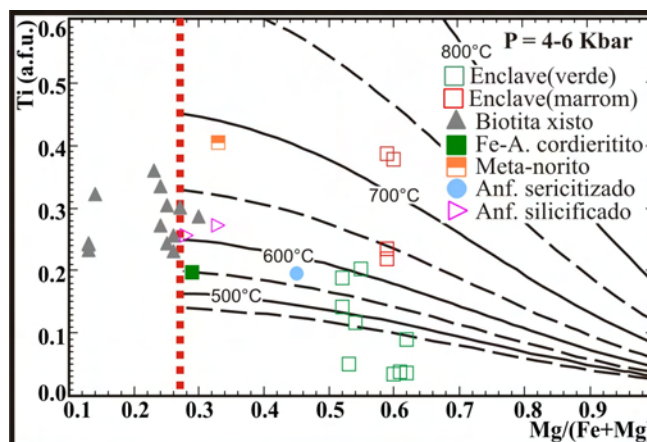


Figura 2.22 - Diagrama X_{Mg} x Ti (a.f.u.), onde as linhas contínuas e tracejadas representam isoterma (°C), proposto por Henry *et al.* (2005) para pressão entre 3,3-6 kbar. A linha pontilhada vermelha representa o limite inferior de X_{Mg} (0,257) dos dados originais e as amostras plotadas representam o anfibolito alterado, biotita xisto, Fe-antofilita cordieritito, meta-norito e a enclave do granito Cigano.

As biotitas verde e marrom referentes ao enclave apresentam um enriquecimento quase contínuo no conteúdo de Ti (a.f.u.) (Figura 2.22), indicando temperatura mais elevada para a biotita marrom (725°C - 650°C) em relação à biotita verde (< 600°C), descrita anteriormente como alteração da primeira.

As biotitas analisadas no anfibolito sericitizado e silicificado, no ferro-antofilita cordieritito e no biotita xisto, apresentam temperatura intermediária entre 550°C e 650°C, compatíveis com as temperaturas sugeridas pelo par plagioclásio e hornblenda do anfibolito.

2.5 - GEOCROLOGIA

Amostras de rocha total do anfibolito, metanorito, ferro-antofilita cordieritito e xistos foram analisadas isotopicamente pelo método Sm-Nd (Tabela 2.08). As quatro amostras do anfibolito indicaram uma isócrona com idade 2405 ± 410 Ma (1σ) e MSWD = 7,9 (Figura 2.23a) e TDM entre 3,08 Ga e 3,54 Ga. No Cinturão Itacaiúnas, a idade em torno de 2,4 Ga é caracterizada pela reativação de zonas de falhas como Carajás e Cinzento, associada a processos mineralizantes.

No depósito Salobo, titanitas do anfibolito indicaram a idade de 2495 ± 5 Ma- (Requia *et al.* 2003) e calcopiritas (Pb-Pb por lixiviação) apresentaram idade 2427 ± 130 Ma (Tassinari *et*

al., 2003). No depósito Igarapé-Bahia, datações Pb-Pb por lixiviação em calcopirita também mostraram idade de 2417 ± 120 Ma (Tallarico *et al.* 2005). Por esta razão, a idade obtida acima para o anfibolito do Rio Novo foi interpretada como abertura do sistema Sm-Nd causada pela reativação da zona de cisalhamento Cinzento.

Tabela 2.08 – Dados das análises de Sm-Nd no anfibolito, biotita xisto e grafita-muscovita xisto.

Amostras	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(\pm 2\text{SE})$	T_{DM} (Ga)	
Anfibolito						
RN4-141	4,166	18,766	0,1342	0,511409	+/-15	3,16
RN9-202,80	4,777	19,355	0,1492	0,511577	+/-5	3,54
RN4-177	7,844	37,262	0,1272	0,511304	+/-8	3,08
RN4-175B	1,153	3,257	0,2141	0,51267	+/-14	-
Biotita xisto						
RN4-4	10,457	41,401	0,1527	0,511567	+/-19	3,79
RN10-136,46	6,477	36,224	0,1081	0,51099	+/-15	2,97
Grafita-Ms xisto						
RN4-16	9,692	58,478	0,1002	0,51097	+/-5	2,78

O $\epsilon\text{Nd}(t)$ do anfibolito foi calculado a partir de $t = 2,76$ Ga, com resultado negativo entre -5,74 e -1,34, indicando assim uma leve contaminação crustal. A idade U-Pb 2,76 Ga foi caracterizada como idade mínima dessas rochas segundo Suíta (1988), Reis (2000) e Reis & Villas (2002) que descreveram o complexo máfico-ultramáfico Luanga (2,76 Ga) e o complexo granítico Estrela (2,76 Ga - Barros *et al.*, 2001) como intrudidos no Grupo Rio Novo.

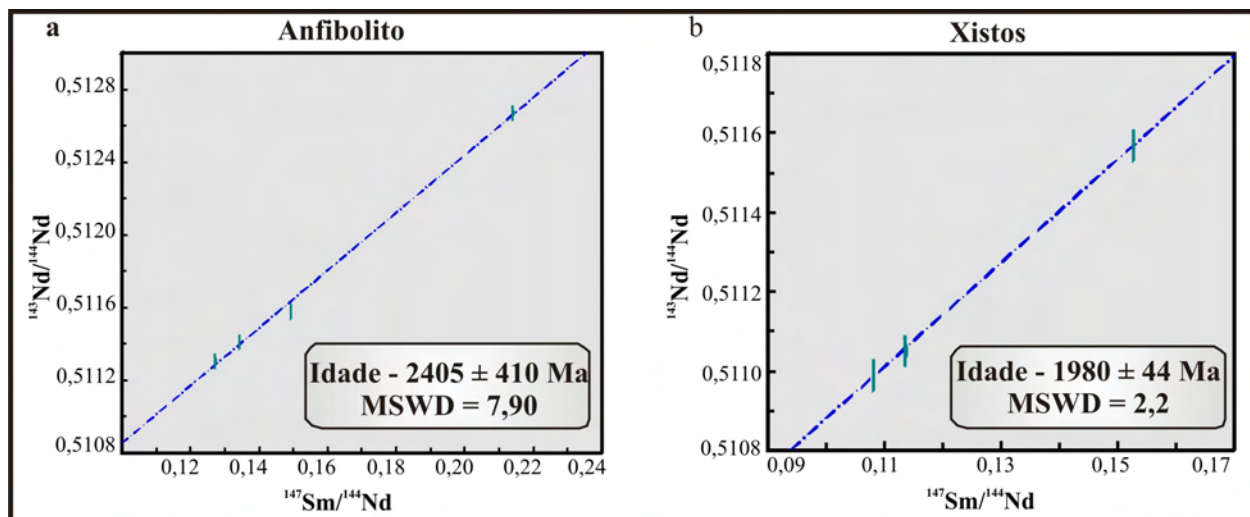


Figura 2.23–a) Isócrona Sm/Nd formada a partir de quatro amostras de anfibolito. b) Isócrona Sm/Nd formada a partir de três amostras de xistos.

Por apresentarem boa correlação entre os ETRL, duas amostras do biotita xisto e uma amostra do grafita-muscovita xisto foram plotadas no mesmo diagrama $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ por $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ e apresentaram idade 1980 ± 44 Ma (Figura 2.23b). Estas rochas estão situadas na borda do granito Cigano (1,88 Ga) e foram submetidas provavelmente a abertura e

homogeneização do sistema isotópico Sm/Nd, que apresenta idade compatível com a idade do granito, dentro do intervalo de erro. Mesmo apresentando um grande erro, esta idade é semelhante a resultados publicados por Pimentel *et al.* (2003) para rochas do depósito de Gameleira, como biotita xisto (ca. 1958 Ma) e veios de grunerita-quartzo hidrotermais (1839 ± 15 Ma), associadas à mineralização, em parte relacionada à granitogênese de 1880 Ma.

2.6 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As descrições apresentadas neste capítulo sobre a formação ferrífera, anfibolito e xistos do Grupo Rio Novo, também foram citadas, em parte, por Reis (2000) no depósito de Serra Verde e Barros *et al.* (1997) como encaixante do Granito Estrela, em áreas situadas a SE do alvo-RN4.

Reis (2000) descreveu três paragêneses de rochas metamáficas, a formação ferrífera, metarenito arcoseano e quartzitos ferríferos na região de Serra Verde. Das três variedades descritas por esse autor para as rochas metamáficas, duas foram também observadas na área mapeada. A primeira é a metamáfica à actinolita-plagioclásio-escapolita localizada na auréola externa de metamorfismo do Granito Estrela, e descrita neste trabalho no extremo sul do alvo RN4, como anfibolito com alteração sódica. A outra variedade é a metamáfica a Mg-hornblenda-plagioclásio descrita como constituinte da auréola interna de metamorfismo do Granito Estrela e caracterizada aqui como anfibolito sericitizado.

Barros *et al.* (1997) também descrevem rochas máficas caracterizadas como anfibolitos, formações ferríferas e clorita-quartzo xisto como parte das rochas encaixantes do Granito Estrela. Entretanto, tais autores não descrevem essas rochas como pertencentes ao Grupo Rio Novo, e sim como rochas pertencentes ao Supergrupo Itacaiúnas.

Porém Suíta (1988), no depósito de Luanga, e Grainger *et al.* (2002), no depósito de Serra Pelada, ambos situados a leste da região em estudo, descreverem rochas máficas, formações ferríferas e xistos do Grupo Rio Novo. Entretanto, nestes locais, as rochas do Grupo Rio Novo apresentam metamorfismo na fácies xisto verde e, localmente, na fácies anfibolito, não sendo assim viável uma correlação direta entre as paragêneses das rochas aflorantes a leste da área estudada e as rochas observadas no Alvo-RN4, pois não foi descrito metamorfismo termal naqueles depósitos.

Com base nas relações de campo e nos dados petrográficos e químicos do Alvo-RN4, localizado a S-SE do Granito Cigano pode-se concluir que:

- Na área estudada, as rochas do Grupo Rio Novo foram submetidas a três fases deformacionais. A primeira fase deformacional (F1) é representada pela foliação S_n (ENE/WSW) e pela falha inversa ENE/WSW que colocou em contato o anfibolito e os xistos, relacionada ao desenvolvimento zona de cisalhamento Cinzento, caracterizada como dextral, desenvolvida entre 2,7-2,5 Ga (Pinheiro & Holdsworth 1997). A segunda fase deformacional é representada por dobras F2 e pela foliação S_{n+1} caracterizada como uma progressão do evento que gerou F1. A terceira fase está correlacionada a zonas de falhas NNW/SSE, NE/SW e NW/SE evidenciadas em campo como brechas nos afloramentos da formação ferrífera e dos xistos. Essas falhas também estão correlacionadas a deslocamentos de todas as rochas mapeadas, inclusive do Granito Cigano, sendo assim, tardias e/ou posteriores ao mesmo (Figura 2.02).
- As rochas do Grupo Rio Novo foram submetidas a metamorfismo termal em condições de fácies xisto verde a anfibolito, comprovadas por tratamentos termométricos entre plagioclásio e hornblenda do anfibolito, (Tabela 2.07) e a alta concentração de titânio na biotita do biotita xisto (Figura 2.22).
- Além dos dados de termometria descritos acima, a paragênese antofilita-cordierita é descrita na literatura como uma paragênese de fácies anfibolito com protólito máfico hidrotermalizado. Com base nos padrões geoquímicos de ETR e HFSE com anomalia negativa em Ta e Nb e nas relações de campo observadas no mapa geológico (Figura 2.02), é provável que o protólito da ferro-antofilita cordieritito seja o anfibolito.
- Os dados isotópicos de $\epsilon Nd_{(t)}$ para o anfibolito indicam contaminação crustal. As anomalias negativas de Ta e Nb (Figura 2.10) e os resultados das razões propostas por Condie (1989) para classificar basaltos e andesitos de *greenstone belts* apontam uma assinatura calci-alcalina para o protólito do anfibolito e o classificam como basalto de arco continental
- As idades Sm/Nd obtidas para o anfibolito 2405 ± 410 Ma e para os xistos 1980 ± 130 Ma indicam uma re-homogeneização parcial desse sistema. O resultado obtido para o anfibolito é semelhante ao mesmo descrito em alguns depósitos da província como uma idade de reativação das falhas Carajás e Cinzento, associadas a forte hidrotermalismo, metamorfismo termal e conseqüentemente a reconcentração de sulfetos. Já os dados obtidos para os xistos indicam uma abertura total do sistema durante a colocação do Granito Cigano.

Assim, com os estudos petrográficos e geoquímicos associados ao mapeamento geológico da área pode-se sugerir que as rochas aflorantes do Grupo Rio Novo, no domínio do Granito Cigano, apresentam semelhanças com as rochas do mesmo grupo, situadas no depósito Serra Verde e como encaixantes do Granito Estrela. No domínio do Granito Cigano, estas rochas foram metamorfozadas a baixas pressões e baixas a médias temperaturas, caracterizando assim, um metamorfismo termal, representado por alterações sericítica, localmente potássica e sódica.

Através da análise de dados estruturais coletados em campo e da interpretação de imagens Landsat (ETM+), pode-se sugerir que as rochas estudadas, foram submetidas a três fases deformacionais. As duas primeiras foram associadas ao evento tectonometamórfico que ocorreu entre 2,7 Ga e 2,5 Ga, caracterizado pelo desenvolvimento das zonas de cisalhamento Carajás e Cinzento e também registrado na idade Sm-Nd apresentada pelo anfibólito (2405 ± 410 Ma). A última fase foi associada ao evento tectonometamórfico caracterizado pelo desenvolvimento de zonas de cisalhamentos associadas às falhas Cinzento e Carajás, e pela colocação de granitos anorogênicos, registrado na área de estudo pela idade Sm-Nd dos xistos (1980 ± 130 Ma) localizados na borda do granito Cigano (1,88 Ga).

Capítulo 3

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA DA OCORRÊNCIA DE Cu, Au (Co-Mo) NO GRUPO RIO NOVO, CONTATO S-SE DO GRANITO CIGANO, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

3.1 - INTRODUÇÃO

A Província Mineral Carajás (PMC) localizada a sudeste do Pará representa uma das principais províncias minerais polimetálicas do mundo com depósitos de ferro, manganês, Cu-Au e Au-Pd-Pt de classe mundial, associados a rochas máficas/intermediárias e sedimentares do Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Rio Novo (~2,76 Ga) e Formação Águas Claras (~2,62 Ga). Todos os depósitos supracitados estão associados aos sistemas de falhas transcorrentes Carajás e Cinzento (WNW-ESE).

Os depósitos de Igarapé Bahia-Alemão, Salobo e Sossego são exemplos dos depósitos de Cu-(Au) classificados atualmente como Óxido de Fe, Cu-Au (Mo-Ag-U-ETR). Já depósitos como Águas Claras, Breves, Estrela e Gameleira são classificados como Cu-Au (W-Sn-Bi). Os primeiros estão relacionados geneticamente a granitos arqueanos (2,76 Ga - 2,54 Ga) e os últimos a granitos paleoproterozóicos (1,88 Ga) (Tallarico *et al.*, 1998, Pimentel *et al.*, 2003).

Os depósitos de Serra Verde (Cu, Au), Serra Leste (Fe), Serra Pelada (Au, Pd, Pt), Luanga (Cr,Pt,Pd) e Formiga (Au, Cu) estão associados à seqüência vulcano-sedimentar Rio Novo (Reis 2000, Reis & Villas 2001, Tallarico *et al.* 2000b, Hirata 1982, Grainger *et al.* 2007), assim como a ocorrência de Cu, Au (Mo, Co) estudada, hospedada em xistos e anfibolitos do grupo supracitado na borda S-SE do Granito Cigano, alojada no Rabo de Cavalão Serra Pelada, parte leste da zona de cisalhamento Cinzento.

3.2 – CONTEXTO GEOLÓGICO DOS DEPÓSITOS DE COBRE E OURO DE CARAJÁS.

O Cinturão Itacaiúnas (Figura 3.01), tem como embasamento granitos/ tonalitos gnaiss e migmatíticos (2,97 Ga - Macambira & Lancelot, 1996) do Complexo Xingu (Araújo *et al.*, 1988) e granulitos félsicos e máficos do Complexo Puim (3,0 Ga – Pidgeon *et al.*, 1998), submetidos ao mesmo evento tectonometamórfico regional (Tassinari & Macambira 1999) classificado como cisalhamento Itacaiúnas e representado por falhas inversas e estruturas transtativas E-W (Holdsworth & Pinheiro, 2000).

Este primeiro evento favoreceu a formação de bacias e a deposição das seqüências vulcano-sedimentares Rio Novo (> 2,76 Ga) (Hirata *et al.*, 1982 e Suíta, 1988) e Supergrupo Itacaiúnas (ca. 2,76 Ga - Machado *et al.*, 1991; Trendall *et al.*, 1998) composto pelos grupos Salobo, Pojuca, Igarapé Bahia e Grãos Pará (DOCEGEO 1988). Neste primeiro evento também ocorreu a colocação do Complexo Granítico Estrela (ca. 2,76 Ga – Barros *et al.*, 1997 & Barros *et al.*, 2001) e do Complexo máfico-ultramáfico Luanga (ca. 2,76 Ga - Suíta, 1988).

Durante o primeiro evento tectonometamórfico regional ocorreu a formação de depósitos singenéticos como o depósitos gigante de ferro (Beisiegel *et al.*, 1973) pertencentes à Formação Carajás do Grupo Grão Pará (ca. 2,76 Ga), com uma reserva estimada de 18 bilhões de toneladas @ 63% Fe, localizados nas Serras Norte, Sul e Leste e alguns depósitos tipo óxido de Fe, Cu e Au hospedados nas seqüências vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belts*.

Lobato *et al.* (2005) propõem que o depósito gigante de ferro está relacionado a extensa alteração hidrotermal associada a fluidos provenientes de intrusões magmáticas alcalinas, distais do paleoproterozóico como os granitos Carajás e Cigano (1,88 Ga). Tais fluidos reconcentraram o ferro das formações ferríferas e vulcânicas, sendo assim um depósito de ferro singenético de 2,75 Ga reconcentrado em 1,88 Ga por atuação de fluidos hidrotermais.

Outro exemplo de depósito singenético é o de Serra Verde de Cu-Mo-Au (Ni-Co) do tipo *Bessih* (Reis, 2000, Reis & Villas, 2002), associado a zona de cisalhamento e na auréola interna de metamorfismo de contato, hospedado no Grupo Rio Novo, encaixante do Complexo Estrela, e localizado entre as cidades de Parauapebas e Curionópolis. Tal depósito é caracterizado pela ocorrência de duas lentes maciças de sulfetos do tipo VMS contemporâneas, retrabalhadas pela intrusão do Complexo Estrela (2,76 Ga) e posteriormente deformadas pela zona de cisalhamento Carajás (2,6 – 2,5 Ga), representada pela idade Re-Os de 2,6 Ga obtida em molibdenita (Marschik *et al.*, 2005).

O segundo evento tectonometamórfico é representado pelo desenvolvimento dos sistemas transcorrentes Cinzento e Carajás (Holdsworth & Pinheiro, 2000) associados a uma fase extensional onde sedimentos plataformais rasos e fluviais da Formação Águas Claras (< 2,66 Ga - Dias *et. al.*, 1996) foram depositados. Este evento foi finalizado pela colocação de granitos alcalinos, como Velho Salobo e Itacaiúnas com idades 2,57 e 2,52Ga (Machado *et. al.*, 1991 e Souza *et. al.*, 1996).

Os depósitos de Óxido de Fe Cu-Au (Mo-Ag-U-ETR) como Salobo, Igarapé-Bahia/Alemão, Cristalino e Sossego/Sequeirinha estão hospedados em brechas nas sequências do tipo *greenstone belts* do Supergrupo Itacaiúnas, próximas a intrusões máficas a félsicas, e associadas a zonas de cisalhamento formadas no final do segundo evento tectonometamórfico. Tais depósitos também apresentam fortes alterações hidrotermais sódicas, sódico-cálcicas e/ou potássicas, além de cloritização, turmalinização e silicificação, associadas a magnetita e/ou hematita e sulfetos (Monteiro *et al.*, 2007).

Dados Pb-Pb em monazita e Pb-Pb e Re-Os em sulfetos apresentam idade 2,57 Ga para a mineralização dos depósitos Salobo, Igarapé-Bahia/Alemão, Cristalino e provavelmente Sossego/Sequeirinha (Tallarico *et al.*, 2005, Requia *et al.*, 2003), classificados como depósitos de classe mundial.

O terceiro evento tectonometamórfico está relacionado a movimentos transpressivos, e localmente transtrativos, rúpteis e rúpteis-dúcteis cisalhantes sinistrais (NW-SE) que reativaram as antigas linhas de fraqueza da região como as falhas Carajás e Cinzento, também associado a colocação de granitos anorogênicos como Cigano, Carajás Central, Pojuca, Novo Salobo e Breves (1,89 Ga a 1,87 Ga, Dall’Agnoll *et. al.*, 1994). Associados à colocação dos granitos e ao evento deformacional estão os depósitos de Gameleira que apresenta idade Re-Os de 2,61 Ga em molibdenitas (Marschik *et al.* 2005) e idade Sm/Nd de 1,83 Ga em veios hidrotermais, indicando assim dois eventos mineralizantes, o Alvo-118, assim como o depósito Gameleira, apresenta idade de mineralização Pb-Pb de 1,8 Ga obtida em xenotima hidrotermal (Tallarico *et al.*, 2004), paleoproterozóica, e o depósito de Breves.

O depósito de Cu-Au (Mo,W,Sn,Bi) Breves é classificado como híbrido, com características similares tanto às de depósitos do tipo pórfiro, como do tipo *IOCG* e depósitos de Sn e W associados a cúpulas graníticas (Botelho *et al.*, 2005). Este depósito está hospedado em biotita granito reduzido, com características geoquímicas similares e mesma idade, 1,88 Ga dos granitos tipo-A paleoproterozóicos da região (Tallarico *et. al.*, 2004, Botelho *et al.*, 2005) e em rochas metavulcânicas e metassedimentares hidrotermalizadas, encaixantes da intrusão. Dados Pb-Pb

em xenotima e monazita de veios hidrotermais apontam idade de 1,87 Ga (Tallarico *et al.*, 2004), indicando assim que a idade de mineralização é próxima da idade de colocação do biotita granito.

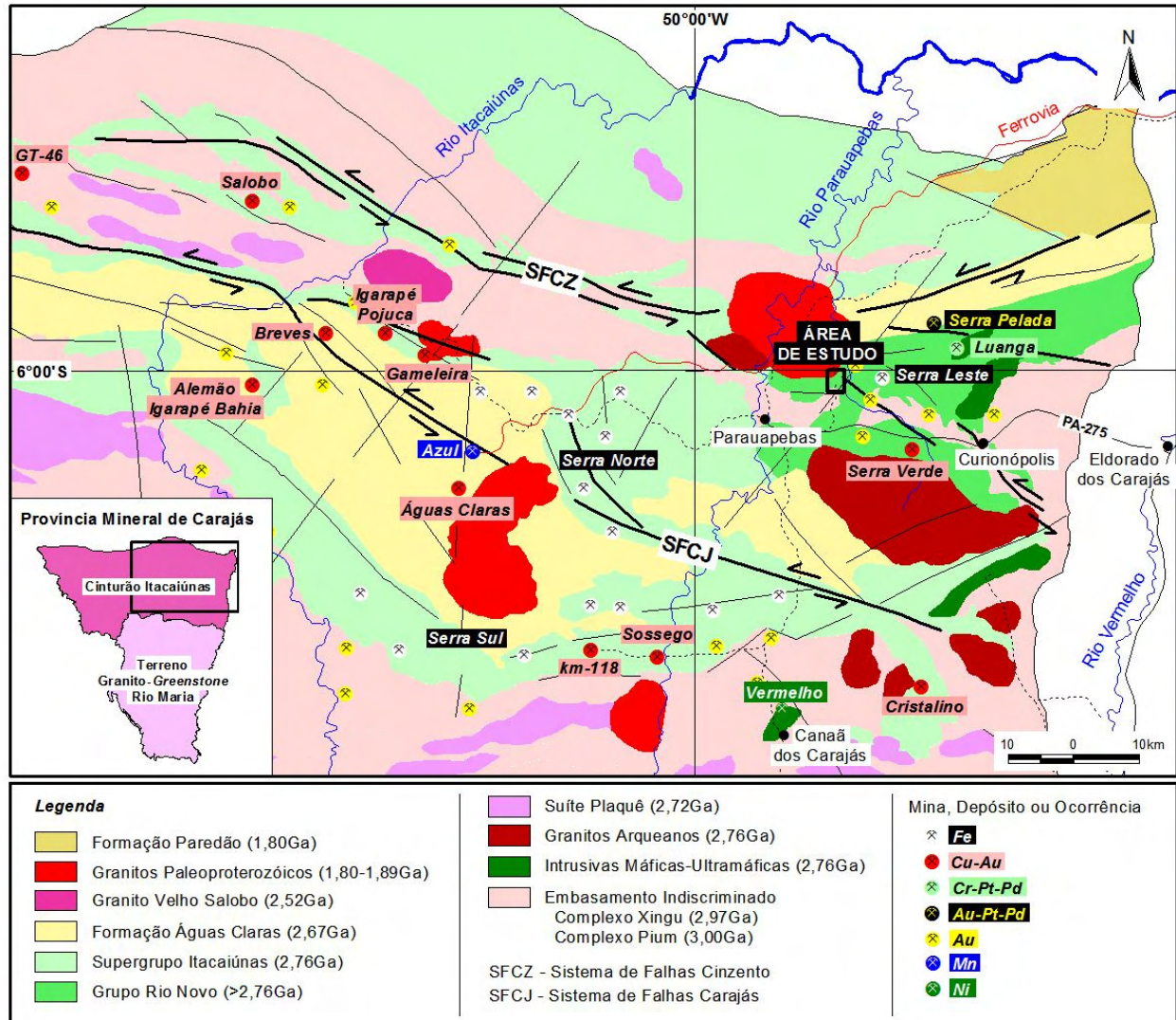


Figura 3.01: Mapa geológico do Cinturão Itacaiúnas e localização dos principais depósitos minerais a ele relacionados (CPRM 2004).

Na Formação Águas Claras (2,68 Ga) estão hospedados depósitos de manganês como Azul e Sereno em siltitos (Coelho & Rodrigues, 1986), depósitos de Cu-Au (Mo-W-Bi-Sn), conhecido como depósito Águas Claras (Cordeiro & Silva, 1986), localizado a oeste do granito Carajás em uma zona de cisalhamento dextral NE-SW, hospedado em quartzitos, siltitos e diques gabróicos.

O depósito epigenético de Au-PGE Serra Pelada/Serra Leste também está hospedado na Formação Águas Claras, mais precisamente no contato entre margas e metasiltilito carbonático (Meireles & Silva, 1988, Nogueira *et al.*, 1994 e 2000). Este depósito apresenta um forte

controle estrutural e está alojado na charneira de uma sinforme reclinada próxima à falha Cotia E-W, a NW de Luanga e a leste da ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) estudada neste artigo.

3.3 - OCORRÊNCIA DE Cu, Au (Mo-Co) NO ALVO RN4

3.3.1 - Geologia da Ocorrência

A ocorrência de Cu, Au (Mo-Co) do Alvo RN4 está hospedada em xistos do Grupo Rio Novo, no domínio do Rabo de Cavalo Serra Pelada, terminação leste da zona de cisalhamento Cinzento, e nas proximidades da borda S-SE do granito Cigano (Figura 3.02).

No alvo RN4 aflora formação ferrífera, anfíbolito, ferro-antofilita cordieritito e xistos do Grupo Rio Novo, além do quartzito da Formação Águas Claras e o Granito Cigano.

As rochas do Grupo Rio Novo estão metamorfizadas na fácies anfíbolito e apresentam três fases deformacionais. A foliação principal da área (Sn) é referente a fase de deformação F1, está dobrada e ocorre com direção ENE-WSW paralela à falha inversa (ENE-WSW) que coloca o anfíbolito em contato com os xistos. A segunda fase (F2) é representada pela foliação Sn+1 que apresenta direção NE/SW, interpretada como foliação plano axial de dobras (F2) fechadas e inclinadas com eixo NE/SW. As fases de deformação F1 e F2, foram interpretadas como contemporâneas ao segundo evento tectonometamórfico regional que atingiu a PMC e ocorreu entre ca. 2,7 Ga e 2,5 Ga, associado ao desenvolvimento das zonas de cisalhamento Carajás e Cinzento. A terceira fase (F3) é representada por grupos de falhas NNE-SSW, NE-SW e NW-SE que deslocam todas as rochas da região, inclusive o Granito Cigano.

Nesta área o anfíbolito apresenta cinco tipos de alterações. A alteração sericítica é a mais comum, embora possa ser classificada como incipiente. As alterações sódicas, representadas pela formação de albita e escapolita, e potássica são restritas ao extremo sul do alvo RN4; a silicificação está localizada próxima ao contato do anfíbolito com o ferro-antofilita cordieritito; a cloritização foi observada somente nos furos de sonda, associada à actinolita.

Os xistos aflorantes são o biotita xisto brechado e com textura nodular no contato com o Granito Cigano, e o grafita-muscovita xisto, que apresenta bandamento milimétrico e foliação SC. Nos furos de sonda, além dos xistos mapeados em superfície, foram descritos granada-biotita xisto, turmalina-biotita xisto e muscovita-clorita xisto (Figura-3.03).

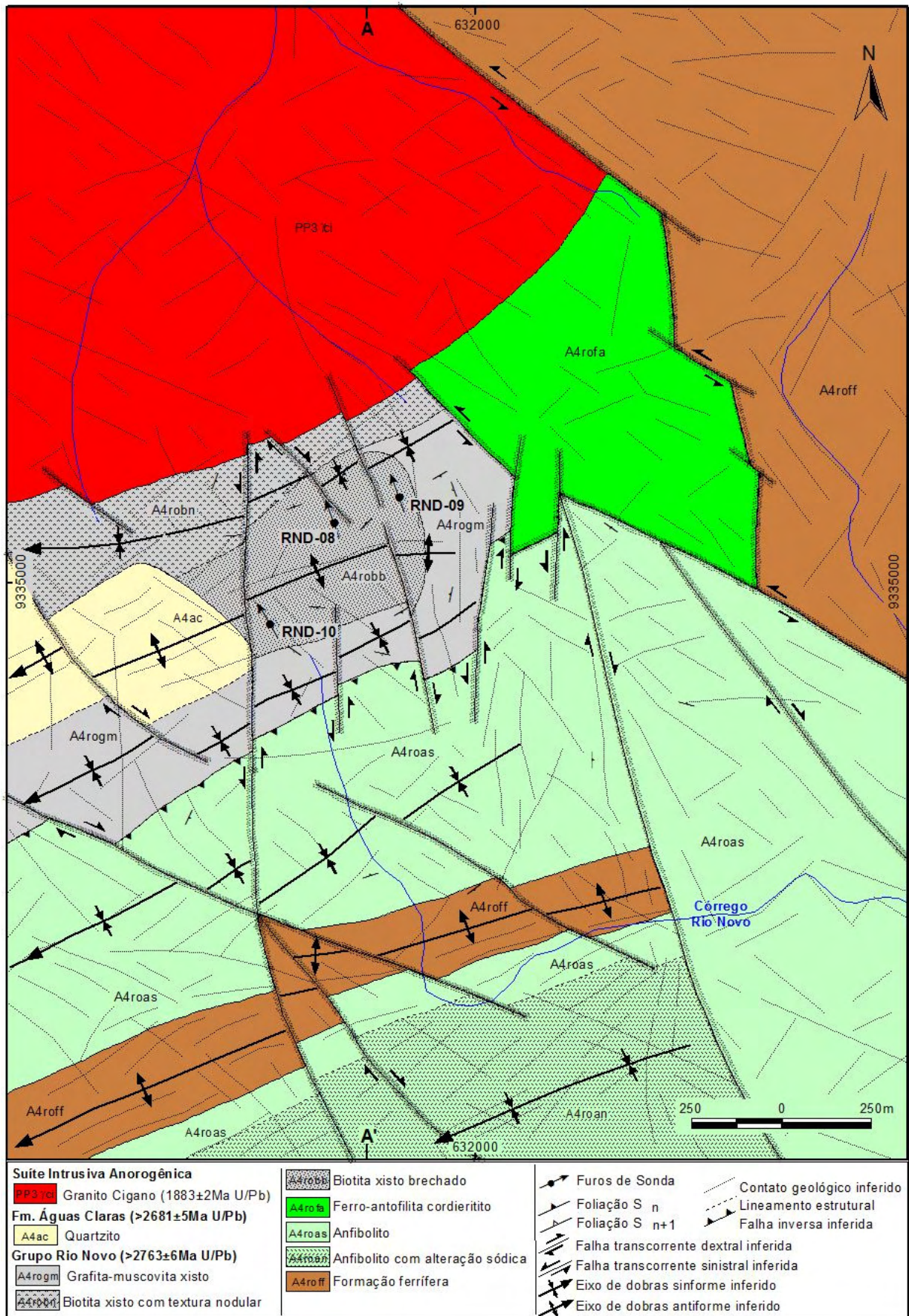


Figura 3.02 – Mapa geológico do Alvo RN-4 e localização dos furos de sonda RNJD-08, RND-09 e RND-10.

Os xistos são cortados discordantemente por diques graníticos de composição sienogranítica a tonalítica, descritos apenas em testemunhos de sondagem, e por veios e lentes milimétricos a centimétricos, compostos por quartzo e sulfetos, principalmente pirita, calcopirita e pirrotita.

3.3.2 - Petrografia

A análise petrográfica da ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) foi desenvolvida a partir das amostras de testemunhos de sondagens, divididas em dois grupos: i) rochas hospedeiras, representadas por xistos, anfíbolito cloritizado e diques graníticos e ii) zonas mineralizadas.

Rochas Hospedeiras e Diques Graníticos

O biotita xisto é a rocha mais abundante entre os xistos, pois ocorre tanto em superfície quanto nos três furos de sonda. A rocha geralmente está brechada, com clastos subangulosos ou arredondados e orientados.

O biotita xisto apresenta texturas granoblástica e lepidoblástica e é formado por quartzo (5-30%), biotita marrom (3-60%), feldspato alcalino (2-55%) e, como minerais acessórios, zircão e ilmenita. A cordierita foi observada em algumas lâminas como mineral fortemente pinitizado, associado a biotita. A paragênese biotita+quartzo+k-feldspato+ilmenita±cordierita, associada ao alto teor de titânio na biotita marrom, (Figura 2.22) indica metamorfismo na fácies anfíbolito.

Com a colocação do granito Cigano, o xisto foi submetido a metamorfismo de contato, representado pela cristalização precoce de andaluzita e cristalização tardia de turmalina, granada, apatita e sulfetos, associados a uma nova geração de quartzo.

Andaluzita ocorre como fenoblastos subcentimétricos a centimétricos, como um mineral tardi- a pós-tectônico, que cristalizou sobre a trama anterior.

Granada-biotita xisto foi encontrado nos furos de sonda RND-09 e RND-10 em intervalos de 1m a 20m (Figura 3.03). A rocha apresenta texturas granoblástica e lepidoblástica com fenoblastos de granada sin e tardi-tectônicos, que englobam parte da trama anterior formada por biotita, quartzo e feldspato alcalino. Como minerais acessórios neoformados, foram descritos allanita, calcopirita, pirrotita e Co-pentlandita, que geralmente estão associados à granada (Figura 3.04a).

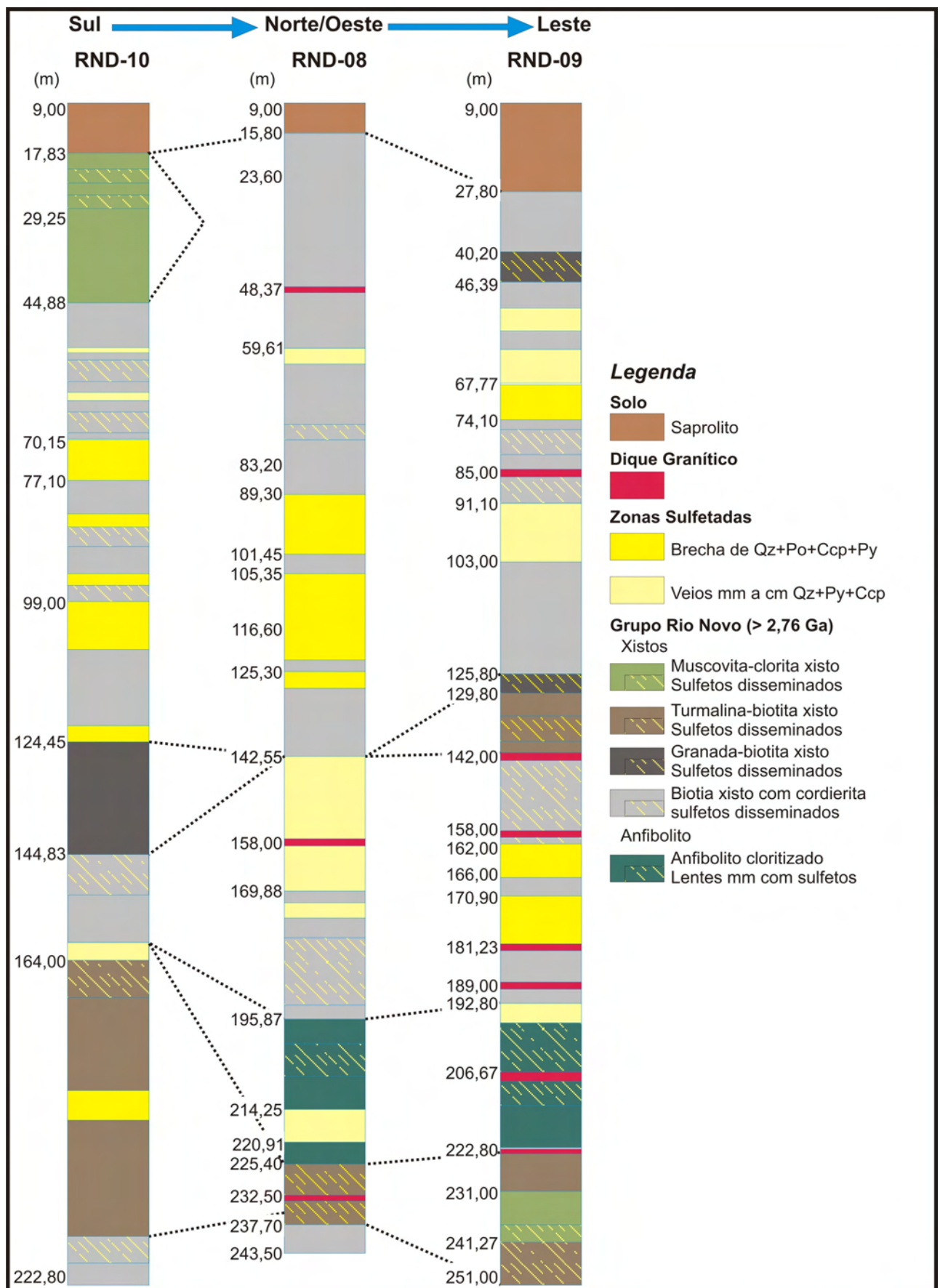


Figura 3.03–Perfil simplificado dos furos de sonda RND-08, RND-09 e RND-10 e possível correlação entre eles. A localização desses furos no Alvo RN-4 pode ser observada na figura 3.02.

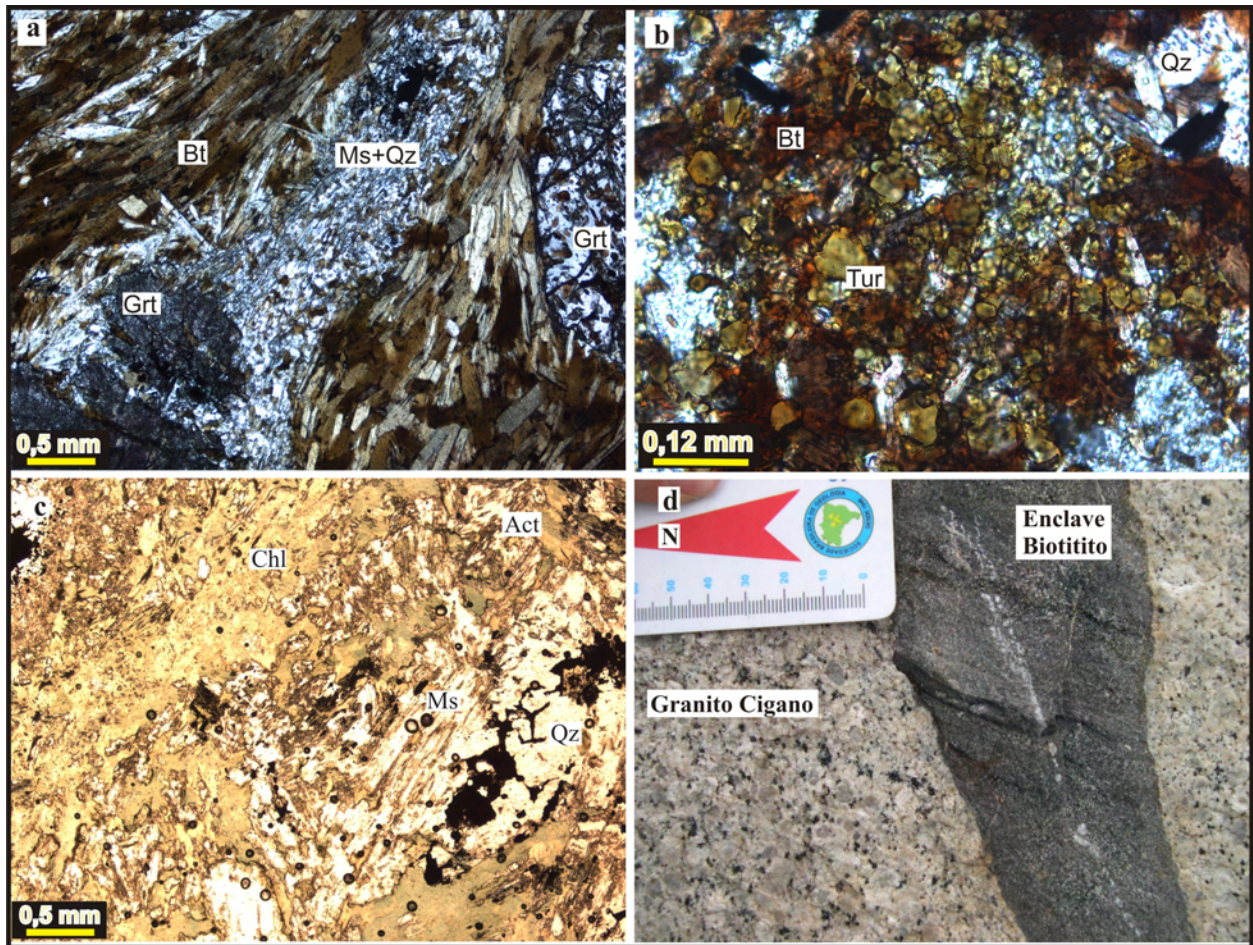


Figura 3.04-a) Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis cruzados do granada biotita xisto que mostra a granada sin-tectônica com sombra de pressão formada por muscovita e quartzo. **b)** Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis paralelos da turmalina biotita xisto mostrando o hábito granular da turmalina e sua associação com a biotita. **c)** Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis paralelos do anfibolito cloritizado com restos de actinolita de cor verde e clorita amarela esverdeada. **d)** Foto de campo do Granito Cigano e do enclave de biotitito.

O turmalina-biotita xisto também foi descrito nos três furos de sonda. Esta rocha apresenta texturas granoblástica e lepidoblástica, onde a turmalina não apresenta orientação e substitui a trama anterior, cristalizada preferencialmente sobre a biotita. Nesta rocha, e também em alguns veios e lentes sulfetadas, a turmalina ocorre com duas cores diferentes, verde amarronzada e marrom (Figura 3.04b). Associados à turmalina, ocorrem clorita, muscovita, epidoto, quartzo e sulfetos. Estes minerais substituíram os minerais anteriores e também preencheram veios e lentes nas zonas mineralizadas.

O muscovita-clorita xisto ocorre preferencialmente no final dos furos RND-08 e RND-09 e no início do furo RND-10, como uma espécie de lente com maior teor de Fe e Mg em relação ao biotita xisto. Essa rocha apresenta texturas granoblástica e lepidoblástica e é composta por quartzo (10-57%), feldspato alcalino (<1-27%), clorita (3-50%), muscovita (10-50%) e como

minerais acessórios observou-se a calcopirita, ilmenita e pirita disseminados. As biotitas marrom e verde ocorrem parcialmente substituídas por clorita.

Tabela 3.01 - Tabela com a composição mineralógica dos granitos e tonalitos referente à fase magmática, sericitização (alteração 1), lentes (alteração 2) e dos microveios que cortam os tonalitos.

GRANITOS				
Minerais	Magmático	Sericitização	Lentes	Microveios
Quartzo	██████████	██████████	██████████	
Ortoclásio	██████████			
Plagioclásio	██████████			
Hornblenda	████			
Biotita marrom		██████████		
Zircão	████			
Ilmenita	████			
Apatita	████			
Allanita	████			
Muscovita		██████████		
Clorita		██████████	██	██
Epidoto		██████████		
Rutilo		████		
Carbonato				██
Turmalina			██████████	██████████
Pirita	████		██████████	██████████
Calcopirita	████		██████████	
Hematita		████		
Molibdenita			██████████	
Pirrotita			██████████	
Co-Pentlandita			████	
Ouro				██

O anfibolito cloritizado foi descrito nos furos RND-08 e RND-09 com intervalos de aproximadamente 30m, apresenta texturas granoblástica e nematoblástica, e é composto por quartzo (2-45%), actinolita (1-37%), plagioclásio (<1-30%), clorita (1-50%), biotita verde (1%) e, como minerais acessórios, carbonato, epidoto, calcopirita e pirita (Figura 3.05c).

A porção aflorante do Granito Cigano na área estudada foi classificada como biotita monzogranito porfírico, composto por quartzo (47%), plagioclásio (22%), feldspato alcalino (27%), biotita marrom (3%), hornblenda (<1%) e, como acessórios, zircão, ilmenita e allanita (Figura 3.05d). Clorita, epidoto, pirita, calcopirita e muscovita ocorrem como minerais secundários (Tabela 3.01).

Os diques graníticos foram observados nos furos RND-08 e RND-09. Estes diques cortam discordantemente os xistos, apresentam espessura métrica e foram divididos em dois grupos com diferentes composições: granitos e tonalitos. A textura é inequigranular e são

formados por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, biotita (<2%), turmalina verde e turmalina azul. Como acessórios ocorrem ilmenita e zircão (Figura 3.06a, b).

Todos os diques foram saussuritizados e posteriormente silicificados, com formação de quartzo, apatita, epidoto, turmalinas verde e azul, carbonato e sulfetos, calcopirita, pirita e, localmente, pirrotita, co-pentlandita e molibdenita. A silicificação ocorre como alteração difusa e também em veios e lentes que cortam os diques e suas rochas encaixantes (Figura 3.06 c, d) (Tabela 3.01).

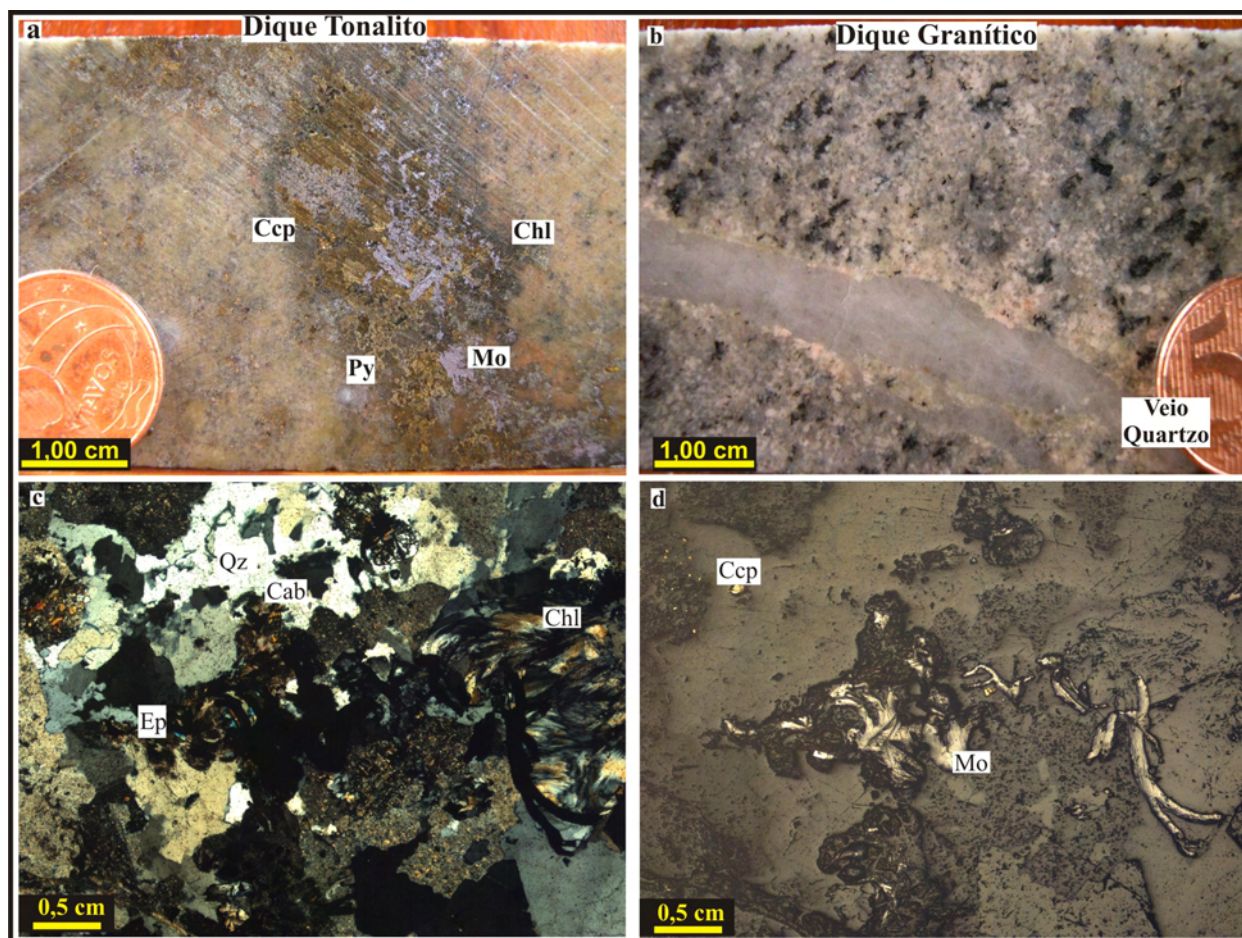


Figura 3.05-a) Amostra de testemunho do furo RND-09 de dique tonalítico com molibdenita (Mo). b) Amostra de testemunho do furo RND-08, de dique granítico cortado por veio de quartzo estéril. c) Fotomicrografia em luz transmitida com nicóis cruzados do dique tonalítico da figura “a” onde os sulfetos ocorrem associados a quartzo, carbonato, epidoto e clorita em uma lente mineralizada. d) Fotomicrografia em luz refletida de molibdenita e calcopirita (Ccp) indicados como sulfetos na figura “c”.

Zonas Mineralizadas

A descrição macroscópica das zonas mineralizadas permitiu dividi-las em quatro grupos: i) sulfetos disseminados e lentes paralelas à foliação, ii) veios milimétricos a centimétricos, preenchidos por sulfetos e quartzo, iii) brechas sulfetadas, compostas por grãos de quartzo

centimétricos e cimentados por pirrotita, calcopirita e pirita, e iv) associação entre rocha com sulfetos disseminados e brechas de quartzo + sulfetos (Figura 3.07).

As descrições microscópicas permitiram dividir as zonas mineralizadas nas seguintes associações: i) clorita-sulfetos, ii) turmalina-sulfetos, iii) quartzo-sulfetos 1, iv) quartzo-sulfetos 2, e v) sulfetos disseminados. As associações i e ii ocorrem localmente, enquanto as demais associações formam grande parte das zonas mineralizadas descritas nos furos (Figura 3.03, Tabela 3.02).

A associação i) *clorita e sulfetos* ocorre preferencialmente no muscovita-clorita xisto, no anfibolito cloritizado e, localmente, como lentes associadas a zonas brechadas. Os minerais da ganga são clorita, quartzo, epidoto e albita, enquanto calcopirita e pirita são os principais minerais de minério, localmente associados a ouro (~60 μm) (Figura 3.07a, b)

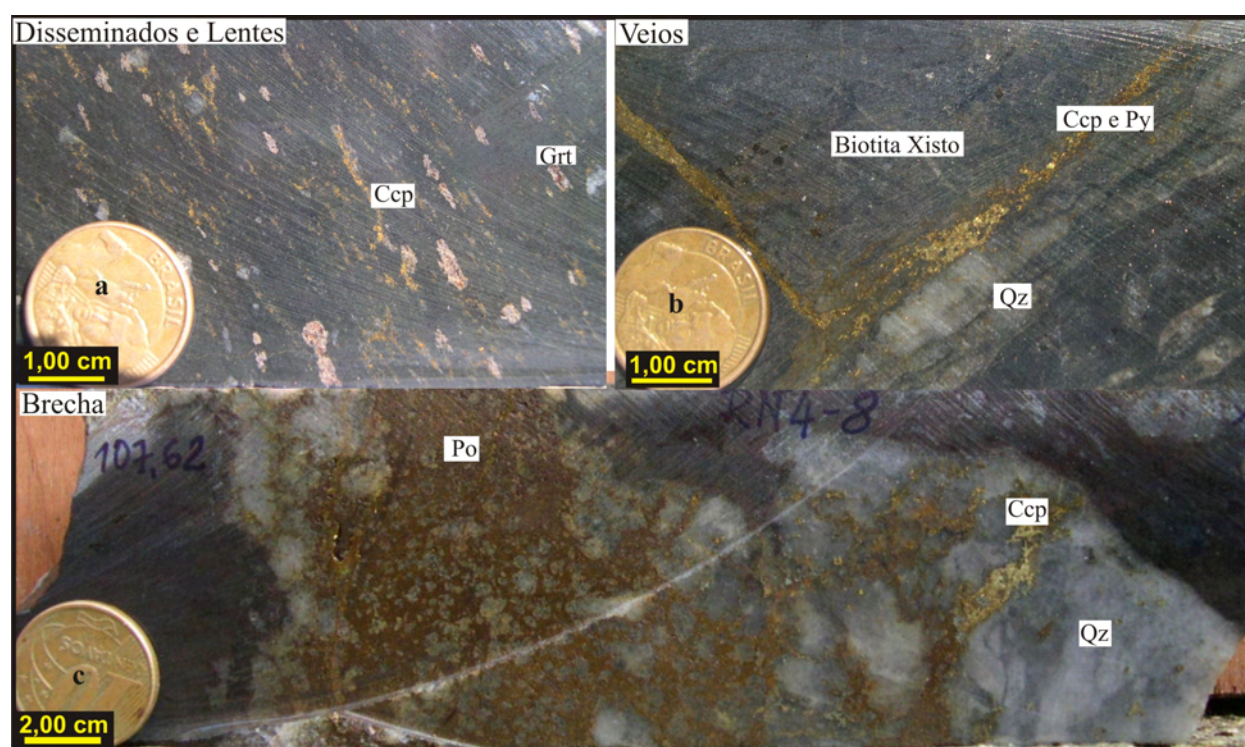


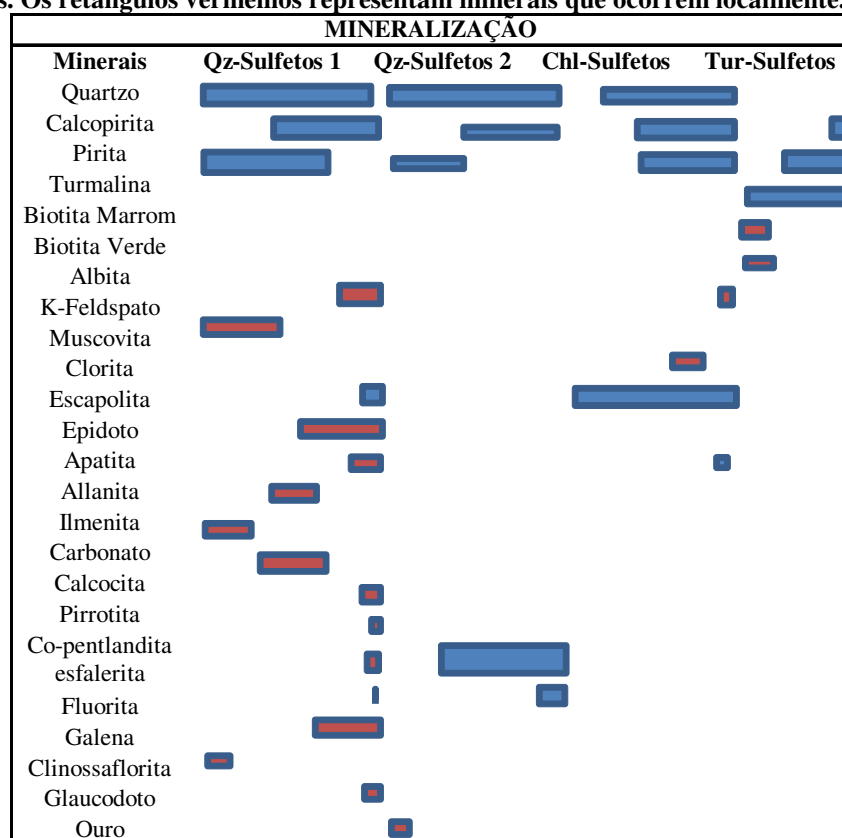
Figura 3.06-a) Amostra de testemunho de zona mineralizada, com sulfetos disseminados e lentes no granada-biotita xisto, ambos paralelos à foliação da rocha. b) Amostra de testemunho do biotita xisto cortado por veios milimétricos a centimétricos de quartzo e de sulfetos, como calcopirita e pirita. c) Amostra de testemunho que mostra a brecha formada por clastos de quartzo cimentados por sulfetos. (Ccp: calcopirita; Py:pirita; Po: pirrotita; Grt: granada; Qz:quartzo).

A associação ii) *turmalina e sulfetos* ocorre localmente e está sempre como veios centimétricos e milimétricos que cortam a foliação. A turmalina está geralmente inclusa nos sulfetos, enquanto os outros minerais da ganga, como biotita, clorita e albita, estão dispostos nas bordas dos veios. Os minerais de minério são calcopirita, pirita e, subordinadamente, pirrotita e co-pentlandita (Figura 3.07c, d).

A associação iii) *quartzo e sulfetos 1* ocorre como veios e lentes centimétricos a milimétricos nos xistos concordantes e discordantes da foliação. Os minerais da ganga são quartzo e, subordinadamente, clorita e os minerais de minério são pirita e calcopirita.

Paragêneses mais diversificadas ocorrem, localmente, na associação quartzo e sulfetos 1, como observado no extremo sul da área mapeada, nos anfibolitos com alteração sódica formada por escapolita, acompanhada de epidoto, k-feldspato e carbonato como minerais da ganga e idaíta (Cu_5FeS_6) e covelita, como alterações parciais da calcopirita observadas também nos furos (Figura 3.07e).

Tabela 3.02 - Principais associações mineralizadas observadas em lâminas e seções polidas. Os retângulos vermelhos representam minerais que ocorrem localmente.



Na associação quartzo e sulfetos 1, em biotita xisto, foi observada a textura *chalcopyrite disease* (Barton & Bethke, 1987), formada entre esfalerita e calcopirita (Figura 3.07f). Nesta mesma rocha, observou-se também esfalerita e calcopirita, sem a textura acima mencionada, como cimento em pirita brechada com inclusões de galena. Em amostras da associação quartzo sulfetos 1, observou-se localmente fluorita, carbonato, apatita, allanita, pirrotita e Co-pentlandita, como minerais acessórios.

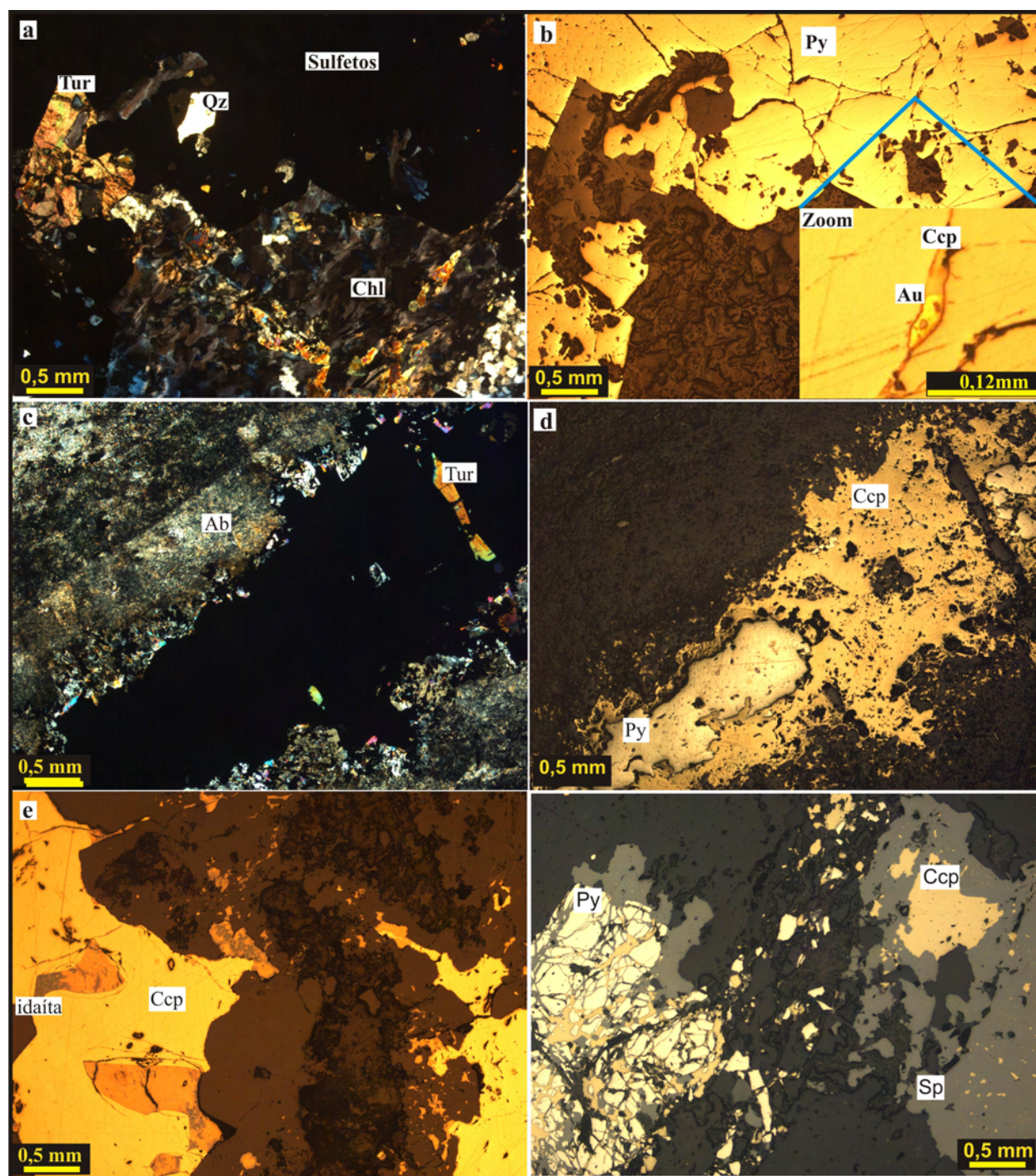


Figura 3.07 - Fotomicrografias de associações ganga-sulfeto de zonas mineralizadas, onde as fotos “a” e “c” são em luz transmitida com nicóis cruzados e as demais fotos em luz refletida com nicóis paralelos. a) Associação clorita-sulfetos onde se observa clorita, turmalina quartzo e sulfetos. b) Pirita com fraturas milimétricas preenchidas por calcopirita e grão de ouro (zoom), referentes aos “sulfetos” da foto da figura a. c) Associação turmalina-sulfetos em veio milimétrico com borda de albita. d) figura “c” em luz refletida, com pirita englobada por calcopirita. e) Calcopirita associada a idaíta e possível covelita. f) Calcopirita e esfalerita, com textura do tipo *chalcopyrite disease* associadas a pirita.

Associação iv) *quartzo e sulfetos 2* equivale a brechas sulfetadas com clastos de quartzo centimétricos, cimentados por pirrotita, calcopirita e subordinadamente pirita. Nessa associação, é comum a presença de *flames* e grãos de Co-pentlandita ((Co, Ni, Fe)₉S₈) e grãos de glaucodoto

((Co,Fe)AsS) na pirrotita (Figura 3.08a). Clinossaflorita ((Co,Fe,Ni)As₂), observada localmente, ocorre blindada por glaucodoto, ambos englobados por pirrotita (Figura 3.08b). Já o ouro foi observado como pequeno grão (~10 µm) incluso na pirrotita.

Os v) sulfetos disseminados ocorrem em zonas adjacentes às brechas, veios e lentes, que apresentam, como principais minerais da ganga, biotita marrom, microclínio no biotita xisto e albita no clorita xisto, quartzo, clorita, epidoto, apatita e turmalina, indicando uma assembléia geralmente rica em potássio e ferro. Nessas áreas, os principais minerais de minério também são pirita, calcopirita e, subordinadamente, pirrotita. À medida que a concentração de sulfetos aumenta, as zonas de minérios disseminados passam para zonas com minério mais concentrado, associadas a lentes de quartzo e sulfetos 1, indicando assim uma forte entrada de sílica no sistema.

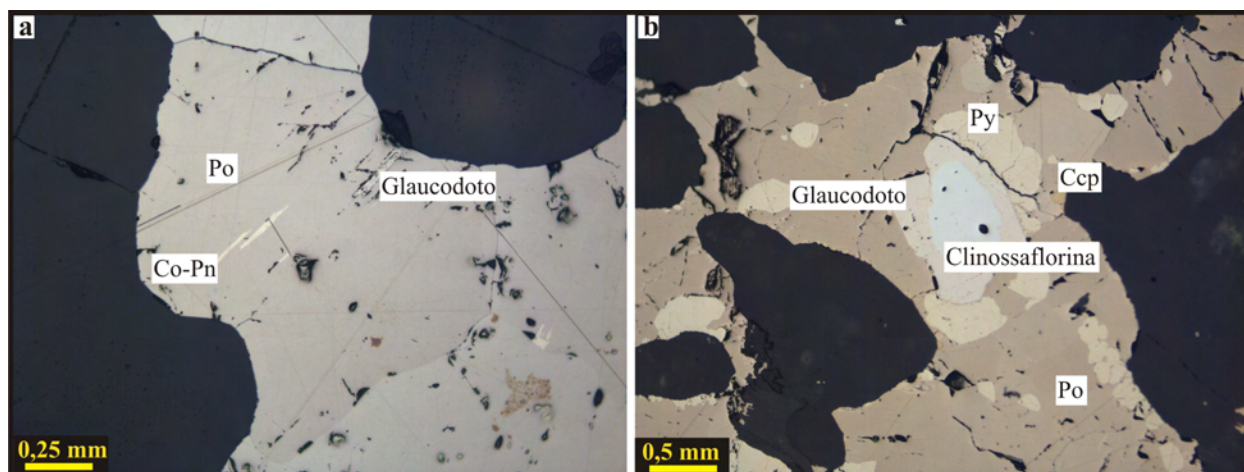


Figura 3.08-a) Fotomicrografia em luz refletida com nicóis paralelos de minerais da associação quartzo-sulfeto 2, com pirrotita (Po) entre grãos de quartzo e com exsoluções de co-pentlandita (Co-Pn) e inclusões de glaucodoto. **b)** Fotomicrografia em luz refletida com nicóis paralelos de clinossaflorita blindada por glaucodoto, ambos englobados por pirrotita. Pirita (Py) engloba parcialmente o glaucodoto e, junto com calcopirita (Ccp) ocorre como inclusões na pirrotita.

As associações dispostas na tabela 3.02 indicam que o principal mineral da ganga, com exceção para os sulfetos disseminados, é o quartzo, seguido por clorita. Os principais minerais de minério são pirita, calcopirita e pirrotita, seguidos de co-pentlandita, glaucodoto, molibdenita e ouro.

3.3.3 - Litogeoquímica

A litogeoquímica foi realizada com base em amostras de testemunhos dos furos de sonda divididas em amostras de rochas hospedeiras menos alteradas e amostras de zonas mineralizadas.

Para efeito de comparação, as amostras dos diques graníticos e do granito Cigano foram tratadas como um único grupo e os xistos e rochas mineralizadas em outro grupo.

Para evitar os efeitos de alterações associadas à mineralização, não foram utilizados elementos maiores para análises de parâmetros como alcalinidade e aluminosidade.

Diques Graníticos e Granito Cigano

Os diques graníticos analisados são referentes às amostras de testemunho dos furos RND-08 e RND-09, divididas em dois grupos de acordo com as descrições petrográficas: granitos e tonalitos (Tabela 3.03).

Os diques graníticos, assim como o Granito Cigano descrito na literatura, foram interpretados como granitos intraplaca o que pode ser observado no diagrama classificatório de ambientes tectônicos de (Pearce *et al.*, 1984) com enriquecimento em Yb, Ta e Rb dos granitos em relação aos diques tonalíticos plotados no campo de arco vulcânico (Figura 3.09a).

Ao contrário do Granito Cigano, classificado como granito Tipo-A, a maioria das análises de diques plotaram entre os campos de Granitos Tipo-I, S e Tipo-A no diagrama proposto por Whalen *et al.*, 1987 (Figura 3.09b). Porém, vale ressaltar que o diagrama de Whalen *et al.* (1987) utiliza dados de alumínio os quais podem ter sido relativamente alterados pela ação de fluidos com a cristalização de alguns minerais que fixam o alumínio, associada a lixiviação de outros elementos elevando assim, a concentração relativa de alumínio na rocha.

Outra característica semelhante aos granitos anorogênicos paleoproterozóicos da PMC é o enriquecimento em ETR descrito por Dall'Agnol *et al.* (1994) com anomalia negativa em Eu e padrão pouco fracionado dos ETRP também observadas nos diques graníticos. Estes apresentam fracionamento moderado em ETRL (entre 20 e 200 vezes o condrito), horizontal e enriquecido nos ETRP (entre 20 e 50 vezes o condrito) com uma discreta anomalia negativa em Eu (Figura 3.09c). Já a amostra de superfície do Granito Cigano apresenta forte enriquecimento nos ETRL e forte anomalia negativa em Eu (Figura 3.09c), interpretada como uma fase co-genética e um pouco mais precoce que os diques de composição granítica, por apresentarem o mesmo *trend* nos ETR.

Outra característica importante para a classificação tectônica desses diques é a semelhança com padrões em amostras de granitos intraplaca sugeridos por Pearce *et al.* (1984) para elementos traços e K₂O normalizados pela média de granitos da dorsal oceânica. Nesses diagramas multielementares as análises dos diques apresentam alta concentração de K₂O, Rb e Th em relação aos outros elementos e valores de Hf próximos à normalização, os quais permitem classificar essas amostras como granitos intraplaca.

Tabela 3.03 - Análises litogeoquímicas representativas de amostras de testemunho dos diques de composição granítica e tonalítica, biotita xisto e clorita xisto do Grupo Rio Novo pouco alterados, no sudeste do granito Cigano (< abaixo do limite de detecção; óxidos, S e C em % peso, Au em ppb e demais elementos em ppm).

Amostras	Granito		Tonalito		Bt Xisto		Clorita Xisto
	RN4-1B	RN8-232,66	RN9-226,12	RN9-158,40	RN9-248,00	RN10-137,53	RN10-033,95
SiO ₂	71,75	73,55	72,00	67,23	60,01	41,84	51,74
Al ₂ O ₃	12,94	13,81	16,21	16,58	18,49	17,68	14,21
Fe ₂ O ₃	4,26	1,70	0,78	2,58	8,32	30,35	17,14
MnO	0,04	0,02	0,01	0,02	0,05	3,64	0,14
MgO	0,23	0,07	0,23	0,34	2,65	1,44	5,15
TiO ₂	0,35	0,14	0,08	0,23	1,18	0,87	1,20
CaO	1,44	1,04	3,10	3,48	0,21	2,05	4,40
Na ₂ O	3,15	3,01	5,11	4,54	0,52	0,03	0,94
K ₂ O	4,53	5,65	1,04	1,48	4,55	2,74	3,96
P ₂ O ₅	0,08	0,03	0,04	0,21	0,14	0,11	0,10
P,F	1,10	1,00	1,30	3,00	3,80	<0,10	1,10
C	0,03	0,02	0,07	0,09	0,05	0,08	0,03
S	0,01	<0,01	<0,01	1,55	0,11	0,13	<0,01
Total	99,91	100,05	99,98	101,34	100,11	101,11	100,14
Rb	182,40	205,90	39,40	73,40	109,90	103,40	220,90
Ba	1690,50	1230,00	197,30	208,30	593,30	280,10	228,40
Sr	146,90	92,10	180,90	176,50	11,10	1,20	32,40
Ga	24,10	22,20	17,70	22,70	28,50	16,30	19,40
Ni	2,70	0,70	6,20	16,00	48,10	105,70	54,10
Cr	<20,00	<20,00	20,53	41,06	184,76	355,84	136,86
Co	4,90	4,60	3,90	12,60	28,40	60,10	49,90
Zn	35,00	7,00	6,00	33,00	9,00	35,00	40,00
Mo	2,00	1,70	0,90	>2000,00	4,20	4,10	0,90
Cu	6,20	4,30	5,00	1383,50	640,70	245,00	1,80
Ag	<0,10	<0,10	<0,10	1,00	0,20	<0,10	<0,10
As	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	2,20	<0,50	<0,50
Au	<0,50	3,50	2,00	35,60	9,60	5,70	2,40
Sn	2,00	2,00	<1,00	1,00	3,00	5,00	4,00
W	0,70	0,90	0,60	27,40	8,60	1,30	0,70
Ta	3,00	2,70	0,70	1,50	1,70	0,50	0,40
Nb	45,10	32,50	4,60	12,30	27,00	8,00	6,50
Th	44,30	47,00	12,90	82,90	36,90	16,10	8,00
U	11,00	20,10	16,80	1072,70	7,50	4,40	1,70
Zr	492,70	234,20	53,80	81,30	488,30	179,90	90,10
Hf	13,80	8,70	3,50	3,10	12,30	4,70	3,00
Y	85,50	50,50	21,80	55,50	41,60	110,30	32,90
Sc	8,00	2,00	3,00	4,00	26,00	41,00	39,00
Cs	1,10	1,20	0,50	0,40	1,10	1,50	3,50
Pb	10,80	9,70	5,70	375,90	3,30	0,90	1,60
V	<5,00	<5,00	15,00	19,00	170,00	242,00	321,00
La	152,90	58,10	15,40	38,20	37,90	82,40	12,60
Ce	353,50	124,00	26,80	63,40	77,40	159,30	29,00
Pr	34,34	12,82	2,76	6,51	8,20	16,64	3,74
Nd	118,50	41,90	9,10	22,50	27,00	58,20	15,40
Sm	17,90	7,00	1,80	4,80	4,50	10,80	4,20
Eu	2,40	1,64	2,15	1,89	1,35	4,02	1,14
Gd	14,93	6,24	1,99	5,43	4,71	11,90	5,18
Tb	2,72	1,21	0,43	1,23	0,99	2,71	1,03
Dy	15,70	7,08	2,94	8,67	6,41	17,64	6,08
Ho	2,89	1,46	0,59	1,84	1,29	3,52	1,10
Er	8,29	4,77	1,99	5,72	4,14	9,68	3,13
Tm	1,22	0,76	0,29	0,79	0,59	1,19	0,40
Yb	7,74	5,22	2,18	4,92	4,05	7,31	2,79
Lu	1,14	0,83	0,36	0,70	0,65	1,05	0,43

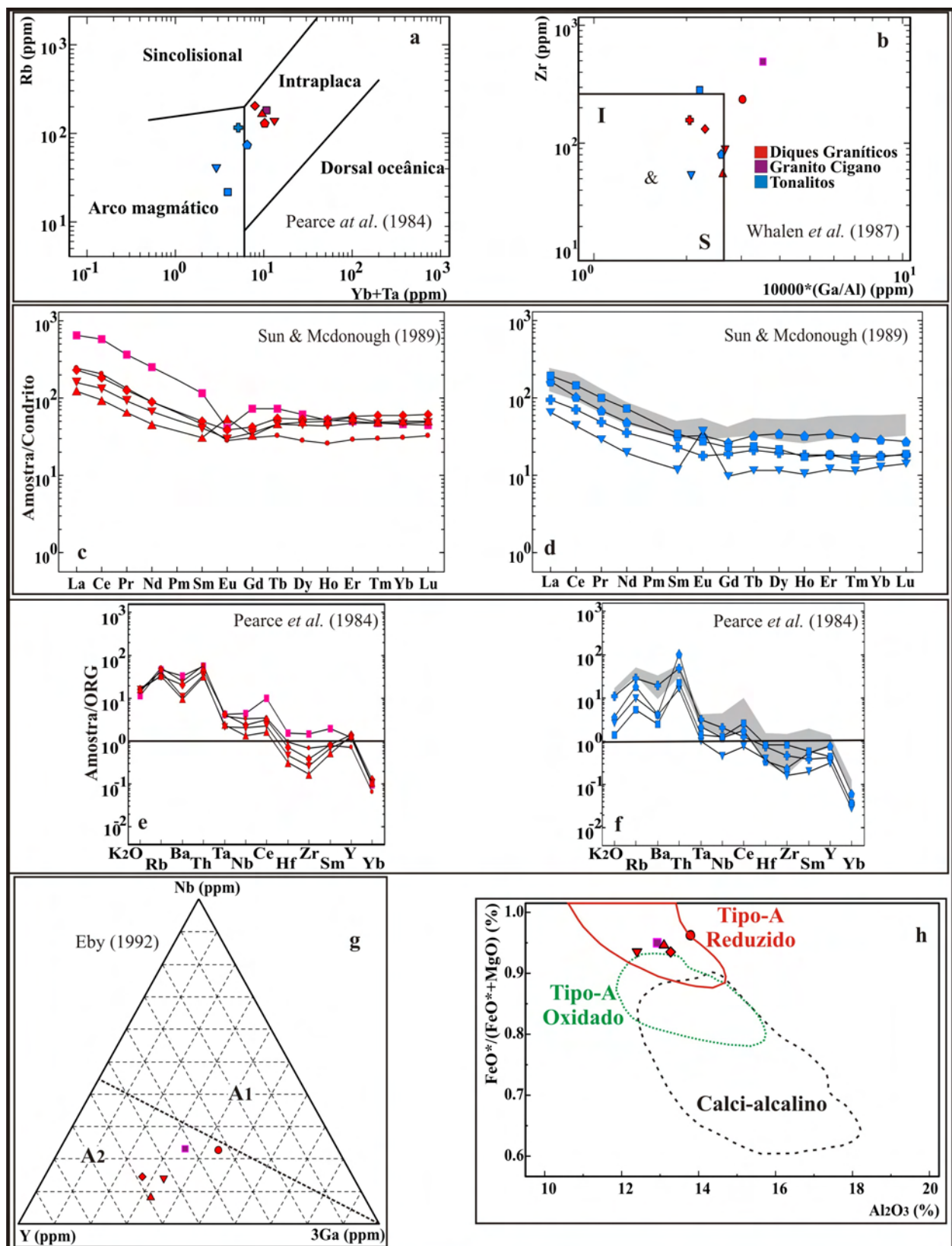


Figura 3.09 - Amostras de diques graníticos e do granito Cigano. a) Diagrama de classificação tectônica de Pearce *et al.* (1984), b) Diagrama de classificação de granitos de Whalen *et al.* (1987), c, d) Diagramas de ETR com amostras dos diques graníticos e tonalíticos normalizados com valores de Pearce *et al.* (1989), e, f) Diagrama multielementar proposto por Pearce *et al.* (1984) para classificação tectônica de granitos, g) Diagrama de classificação de granitos tipo A₁ e A₂ proposto por Eby (1992), h) Diagrama de classificação de granitos reduzidos e oxidados proposto por Dall’Agnol e Oliveira (2007) para granitos da PMC.

O enriquecimento em Rb e Th em relação ao Ta e Nb e um padrão horizontalizado do Ta ao Y indicam fonte com características crustais (Figura 3.09e, f). A diferença entre os diques graníticos e tonalíticos está em uma maior anomalia em Th e menor concentração nos demais elementos analisados.

Os diques tonalíticos apresentam, em relação aos diques graníticos, padrão menos enriquecido de ETR e mais fracionado nos ETRP (10 e 30 vezes o condrito), além de não apresentar anomalia negativa de Eu (Figura 3.09d), não podendo assim serem agrupados com os diques graníticos e com o Granito Cigano por apresentarem assinaturas ETR diferentes dos demais grupos.

Fontes com características de rochas crustais para os granitos analisados também podem ser exemplificadas pelo diagrama triangular Nb-Y-3Ga sugerido por Eby (1992) o qual divide os granitos Tipo-A em dois grupos A₁ e A₂. As amostras analisadas, com exceção dos tonalitos, plotaram no campo dos granitos A₂ interpretados como magmas derivados de crosta continental espessa (Figura 3.09g).

Já em relação à classificação em granitos oxidados e reduzidos, o diagrama utilizado aqui foi sugerido por Dall'Agnol & Oliveira (2007) o qual separa granitos Tipo-A reduzidos, granitos Tipo-A oxidados e granitos cálcio-alcálicos com base em dados de granitos da PMC e de outras províncias minerais no mundo. Neste diagrama, as amostras de granito analisadas plotaram no campo de granitos Tipo-A reduzidos, como sugerido anteriormente, por esses autores, para o Granito Cigano (Figura 3.09h).

Vale ressaltar que as anomalias em Cu, Au, Mo e Co ocorrem somente em algumas amostras de tonalito (Figura 3.10). Essas anomalias são devidas a veios e lentes constituídos de quartzo, clorita, epidoto, carbonato e turmalina, como ganga, e molibdenita, calcopirita, pirrotita, Co-pentlandita e ouro, como minerais de minério. Já os diques de composição granítica não apresentam anomalias nesses metais e sim uma concentração baixa próxima ao limite de detecção.

Com base nos dados litogeoquímicos, pode-se sugerir que os diques de composição granítica apresentam características semelhantes àqueles do Granito Cigano, classificado na literatura como granito intraplaca, Tipo-A e reduzido (Dall'Agnol *et al.*, 1994, Dall'Agnol & Oliveira, 2007).

Os diques de composição tonalítica foram interpretados aqui como rochas provenientes de uma suíte com características distintas do Granito Cigano, com padrões de fracionamento diferentes e menor enriquecimento nos ETR em relação aos diques graníticos. Observou-se

também alta concentração de Th no diagrama de Pearce *et al.* (1984) e na tabela 3.03, que mostra teores de mineralização em Th e U associados às porções mineralizadas com concentração de Cu, Au, Mo e Co, bem diferente dos granitos estéreis.

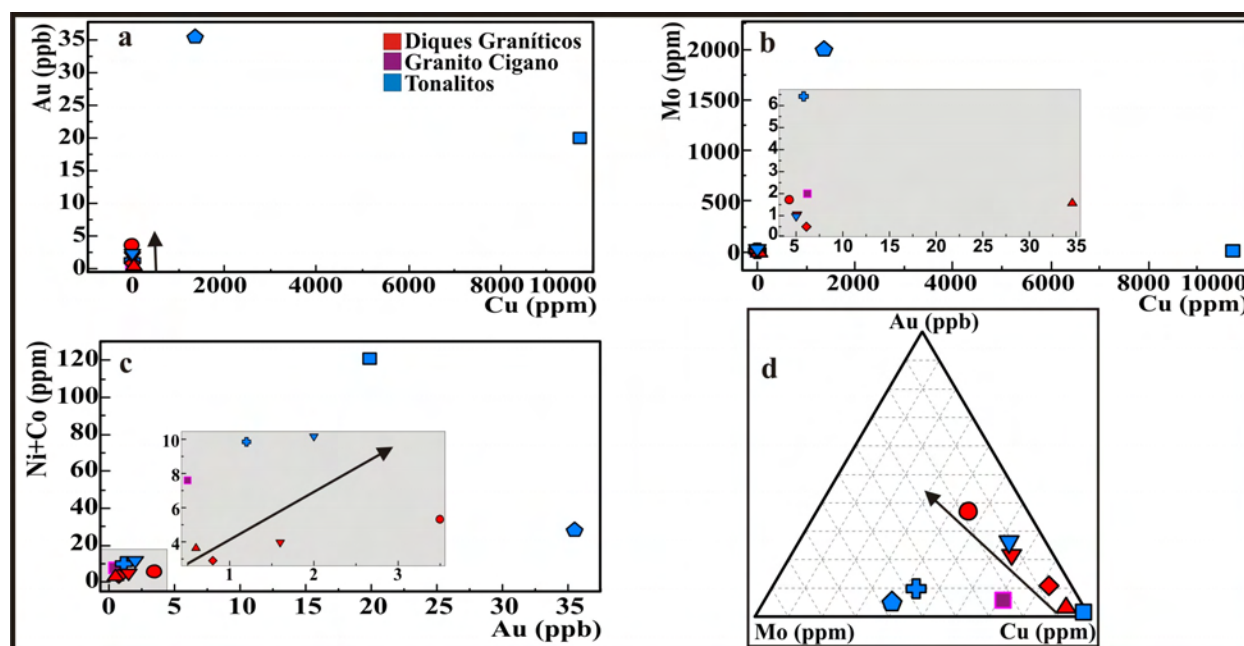


Figura 3.10 – Dados referentes a amostras de diques graníticos e do Granito Cigano. a, b, c) Diagramas binários Cu-Au, Cu-Mo e Au-(Ni+Co) mostrando altas concentrações desses metais em duas amostras de tonalito, d) Diagrama ternário Au-Mo-Cu.

Xistos e Zonas Mineralizadas

As amostras mineralizadas tratadas aqui foram divididas, de acordo com a petrografia, em três grupos com diferentes associações entre minerais da ganga e minerais de minério: sulfetos disseminados, quartzo e sulfetos 1, que incluem os grupos clorita-sulfetos e sulfetos-turmalina, e quartzo e sulfetos 2. (Tabela 3.04).

Por estarem fortemente alteradas, as amostras das zonas mineralizadas foram tratadas pelo método do coeficiente linear (r) desenvolvido por MacLean & Kranidiotis (1987), para testar a mobilidade entre elementos móveis com comportamentos geoquímicos semelhantes.

Na matriz de correlação das amostras de zonas mineralizadas, observou-se ótima correlação (Probabilidade > 99%-Kozak, 1966) entre Nb, Th, Zr e Yb. Já Lu, Ho, Y e Hf têm ótima correlação entre si, mas não apresentam boa correlação com o Yb, que normalmente tem o mesmo comportamento geoquímico do Lu, por serem ambos ETRP (Tabela 3.05).

Tabela 3.04 - Análises litogeoquímicas de amostras de testemunho das zonas mineralizadas, divididas em cinco grupos com base na análise petrográfica (< abaixo do limite de detecção; óxidos, S e C em % peso, Au em ppb e demais elementos em ppm).

Amostras	Sulf-Disseminados		Qz-Sulfetos1		Qz-Sulfetos2		Chl-Sulfetos		Tur-Sulfetos
	RN9-047,64	RN9-099,80	RN10-104,25	RN9-245,05	RN8-107,67	RN9-172,70	RN9-202,80	RN9-230,25	RN9-091,09
SiO2	54,99	55,87	62,28	65,92	52,86	59,44	36,05	68,01	66,49
Al2O3	13,43	24,06	14,70	16,07	8,35	3,97	16,11	8,06	11,90
Fe2O3	21,96	6,82	8,33	7,53	27,56	27,69	24,41	13,21	8,23
MnO	0,14	0,05	0,04	0,03	0,03	0,01	0,11	0,08	0,04
MgO	1,20	0,84	2,20	2,16	1,23	0,35	7,58	4,77	0,76
TiO2	0,75	1,02	0,71	0,73	0,38	0,13	0,90	0,17	0,71
CaO	0,21	0,41	0,34	0,25	0,11	0,18	3,88	0,46	0,30
Na2O	0,11	0,78	2,12	0,64	0,04	0,27	0,07	0,14	2,56
K2O	4,70	7,81	3,41	4,30	2,52	0,85	2,95	2,09	3,22
P2O5	0,13	0,15	0,11	0,07	0,08	0,05	0,08	0,09	0,13
P,F	2,00	2,00	3,40	2,00	5,90	6,10	6,50	2,40	2,70
C	0,16	0,72	0,30	<0,02	0,20	0,03	0,47	<0,02	0,19
S	0,10	0,17	2,41	0,38	10,33	13,05	0,94	1,07	3,35
Total	99,90	100,73	100,37	100,12	109,60	112,13	100,08	100,58	100,59
Rb	122,90	150,30	138,80	96,60	75,50	36,80	126,90	91,10	85,30
Ba	671,00	704,50	505,00	602,00	144,00	56,00	604,00	203,00	568,00
Sr	20,10	22,80	43,10	11,60	6,50	4,00	16,40	5,70	30,80
Ga	17,50	34,40	18,90	20,80	12,60	6,50	20,40	13,00	17,10
Ni	95,60	48,20	103,80	75,10	1098,50	1576,80	187,40	171,40	166,50
Cr	192,60	205,29	157,39	150,55	61,59	34,22	218,98	61,59	109,49
Co	65,20	45,10	25,40	43,80	878,20	1407,70	80,60	99,40	30,20
Zn	41,00	13,00	93,00	13,00	39,00	46,00	69,00	65,00	73,00
Mo	4,00	7,70	2,20	3,50	1,40	1,30	2,70	1,90	19,10
Cu	1696,60	1080,10	>10000,00	1662,60	6186,70	5295,20	9384,10	2808,10	>10000,00
Ag	0,90	0,20	6,50	0,40	2,10	1,40	2,80	0,50	5,10
As	0,80	38,00	<0,50	3,90	33,90	378,60	0,70	0,90	7,40
Au	20,30	3,20	10,40	311,40	196,60	311,90	12,40	50,20	558,30
Sn	22,00	4,00	9,00	5,00	13,00	3,00	10,00	1,00	28,00
W	7,60	13,70	6,20	4,30	3,30	1,30	1,20	0,90	7,30
Ta	0,90	1,60	1,00	0,90	0,50	0,20	0,20	0,20	1,10
Nb	13,80	20,40	16,20	12,00	10,50	3,10	5,20	4,20	18,10
Th	22,90	35,70	18,40	16,70	11,60	4,50	0,30	6,90	22,50
U	5,50	10,80	5,60	4,50	3,10	1,90	0,30	2,00	7,30
Zr	259,50	415,80	257,70	198,80	145,20	52,20	48,40	72,70	300,40
Hf	6,50	10,30	6,60	5,50	3,70	1,20	1,50	1,70	7,90
Y	33,00	53,40	35,00	14,30	22,10	21,20	8,60	72,60	46,10
Sc	20,00	30,00	24,00	15,00	10,00	3,00	41,00	10,00	16,00
Cs	2,20	1,20	0,60	0,80	0,90	0,20	1,00	1,70	0,20
Pb	1,40	5,10	5,50	2,40	3,00	4,10	1,50	14,00	3,40
V	133,00	188,00	161,00	141,00	78,00	31,00	264,00	71,00	101,00
La	58,60	79,50	47,80	33,30	95,40	7,30	2,50	39,60	111,10
Ce	112,50	159,60	83,70	58,90	171,50	12,90	3,80	69,10	190,50
Pr	11,93	15,96	9,24	6,38	18,34	1,38	0,52	7,19	20,11
Nd	42,20	55,50	34,00	24,30	64,70	4,70	2,40	26,10	66,80
Sm	7,18	8,80	5,76	3,61	10,29	0,99	0,78	4,69	10,41
Eu	3,34	5,32	1,37	1,05	2,68	0,42	0,25	1,18	3,92
Gd	6,35	8,08	5,68	3,05	8,12	1,73	1,19	5,53	8,70
Tb	0,99	1,47	1,03	0,48	1,02	0,44	0,25	1,21	1,37
Dy	5,59	8,84	5,83	2,48	4,68	3,09	1,47	8,48	7,31
Ho	1,16	1,67	1,22	0,51	0,82	0,74	0,32	2,10	1,53
Er	3,20	5,04	3,42	1,36	1,95	2,12	0,87	6,40	4,28
Tm	0,51	0,68	0,57	0,21	0,31	0,31	0,13	0,97	0,70
Yb	3,19	4,68	3,53	1,48	1,90	1,58	0,90	5,41	4,17
Lu	0,47	0,71	0,57	0,23	0,28	0,21	0,15	0,71	0,65



Tabela 3.05 - Matriz de correlação entre as amostras de testemunho das zonas mineralizadas.

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	Ta	Nb	Th	Zr	Hf	Y	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Yb	Co	Cu	Mo	Au	
SiO2	1,00																										
Al2O3	-0,54	1,00																									
Fe2O3	-0,63	-0,26	1,00																								
MgO	-0,63	0,19	0,38	1,00																							
CaO	-0,32	0,07	0,07	0,60	1,00																						
Na2O	0,19	0,16	-0,51	-0,09	0,30	1,00																					
K2O	-0,21	0,74	-0,39	-0,22	-0,24	0,01	1,00																				
TiO2	-0,64	0,81	-0,06	0,33	0,42	0,15	0,54	1,00																			
Ta	-0,16	0,01	0,00	0,40	0,91	0,39	-0,25	0,37	1,00																		
Nb	-0,13	0,55	-0,35	-0,30	-0,24	0,06	0,88	0,54	-0,22	1,00																	
Th	0,05	0,57	-0,47	-0,50	-0,40	0,14	0,85	0,35	-0,31	0,86	1,00																
Zr	-0,18	0,57	-0,27	-0,29	-0,26	-0,03	0,84	0,60	-0,24	0,96	0,80	1,00															
Hf	-0,23	0,53	-0,30	0,02	0,41	0,27	0,58	0,80	0,49	0,70	0,51	0,72	1,00														
Y	-0,15	0,35	-0,27	0,10	0,38	0,31	0,46	0,54	0,48	0,58	0,44	0,58	0,83	1,00													
La	-0,07	0,38	-0,14	-0,27	-0,33	0,34	0,26	0,17	-0,17	0,24	0,50	0,26	0,13	0,16	1,00												
Ce	-0,07	0,41	-0,15	-0,33	-0,44	0,22	0,37	0,17	-0,30	0,34	0,61	0,38	0,14	0,15	0,98	1,00											
Nd	-0,03	0,40	-0,18	-0,37	-0,46	0,23	0,38	0,16	-0,32	0,37	0,61	0,40	0,14	0,16	0,97	0,99	1,00										
Sm	-0,15	0,40	-0,19	-0,07	0,22	0,50	0,23	0,43	0,41	0,26	0,41	0,26	0,52	0,55	0,79	0,73	0,73	1,00									
Eu	-0,07	0,46	-0,23	-0,26	-0,02	0,37	0,38	0,27	0,16	0,24	0,57	0,22	0,32	0,35	0,75	0,73	0,70	0,79	1,00								
Gd	-0,06	0,44	-0,23	-0,37	-0,45	0,17	0,60	0,27	-0,33	0,67	0,79	0,69	0,38	0,44	0,81	0,88	0,90	0,66	0,60	1,00							
Dy	-0,06	0,45	-0,30	-0,29	-0,36	0,05	0,75	0,36	-0,30	0,85	0,81	0,88	0,56	0,67	0,44	0,55	0,57	0,40	0,37	0,86	1,00						
Yb	-0,01	0,39	-0,36	-0,27	-0,28	0,04	0,80	0,32	-0,25	0,89	0,77	0,85	0,57	0,68	0,19	0,28	0,31	0,18	0,20	0,64	0,92	1,00					
Co	-0,06	-0,48	0,57	-0,23	-0,19	-0,24	-0,36	-0,43	-0,14	-0,31	-0,29	-0,27	-0,39	-0,29	-0,10	-0,08	-0,09	-0,19	-0,25	-0,15	-0,21	-0,26	1,00				
Cu	-0,16	-0,22	0,32	0,16	-0,13	0,14	-0,43	-0,17	-0,25	-0,25	-0,36	-0,23	-0,42	-0,37	0,07	0,03	0,05	-0,14	-0,30	-0,02	-0,18	-0,24	0,28	1,00			
Mo	-0,10	0,09	0,07	-0,01	-0,09	-0,10	-0,07	0,10	-0,08	0,08	0,11	0,06	0,02	-0,05	0,23	0,19	0,17	0,10	-0,04	0,13	0,05	0,05	-0,11	0,19	1,00		
Au	0,30	-0,46	0,06	-0,27	-0,24	0,36	-0,45	-0,35	-0,32	-0,27	-0,31	-0,25	-0,26	-0,23	0,13	0,04	0,04	-0,02	-0,07	-0,11	-0,24	-0,25	0,39	0,42	-0,03	1,00	

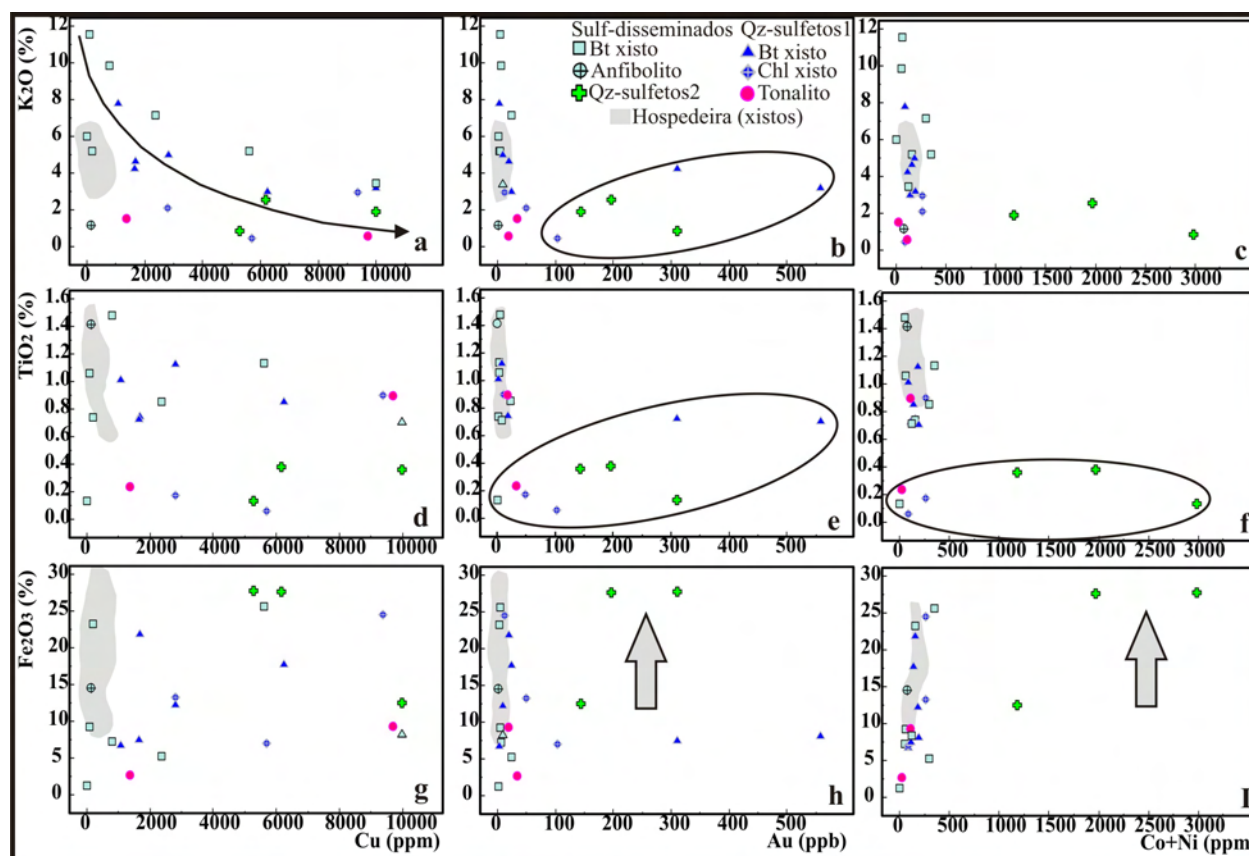


Figura 3.11 - Diagramas binários entre K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 e os principais metais da mineralização Cu, Au, Co e Ni, com exceção do Mo. Foram plotadas nesses diagramas amostras das zonas mineralizadas divididas em sulfetos disseminados e quartzo-sulfetos 1 e 2, anteriormente descritas, e sua relação com amostras hospedeiras pouco alteradas representadas por polígonos cinza. As setas cinza representam duas amostras da associação quartzo-sulfetos 2 enriquecidas em ferro, ouro, cobalto e níquel.

Com exceção de Co e Ni, os principais metais associados à mineralização, como Cu, Au e Mo não apresentaram boa correlação linear (r) entre si, ou com outro elemento presente na tabela de correlação (tabela 3.05).

O K_2O apresenta boa correlação negativa não linear com o Cu, principalmente nos zonas mineralizadas com sulfetos disseminados e na associação quartzo e sulfetos1 e boa correlação levemente positiva com o Au nas amostras das associações entre quartzo e sulfetos 1 e 2. Já as anomalias de Co e Ni estão geralmente hospedadas em rochas com baixo K_2O (Figura 3.11a,b,c).

Uma relação semelhante ocorre entre o TiO_2 e os metais Au, Co e Ni (Figura 3.11 d,e,f), representada por amostras mineralizadas com alto teor de metais e baixo conteúdo de TiO_2 . Já o ferro não apresenta correlação com nenhum desses metais, indicando que provavelmente esse elemento não esteve diretamente associado ao processo mineralizante (Figura 3.11 g,h,i).

A leve correlação positiva entre Cu, Au, Co e Ni está exposta nos diagramas binários da figura 3.12. O grupo das amostras de quartzo-sulfetos 2 e algumas amostras de quartzo-sulfetos 1

apresentam alto teor nesses metais. Esse tipo de relação também foi observado nos diagramas de teores versus profundidade do furo RND-09 (Figura 3.13), onde picos de Cu, Au e Co (Ni) só ocorrem juntos, nas brechas de Qz+Po+Ccp+Py.

Picos de Cu e Au também ocorrem em zonas de veios (Qz+Py+Ccp) associadas a zonas de sulfetos disseminados (Figura 3.13).

Molibdênio apresenta um comportamento diferente dos outros metais analisados, com picos em áreas de diques tonalíticos e também em zonas de veios (Qz+Py+Ccp) associado a Cu, mas não a Au, representando um intervalo de 10 metros, no início do furo RND-09 (Figura 3.13).

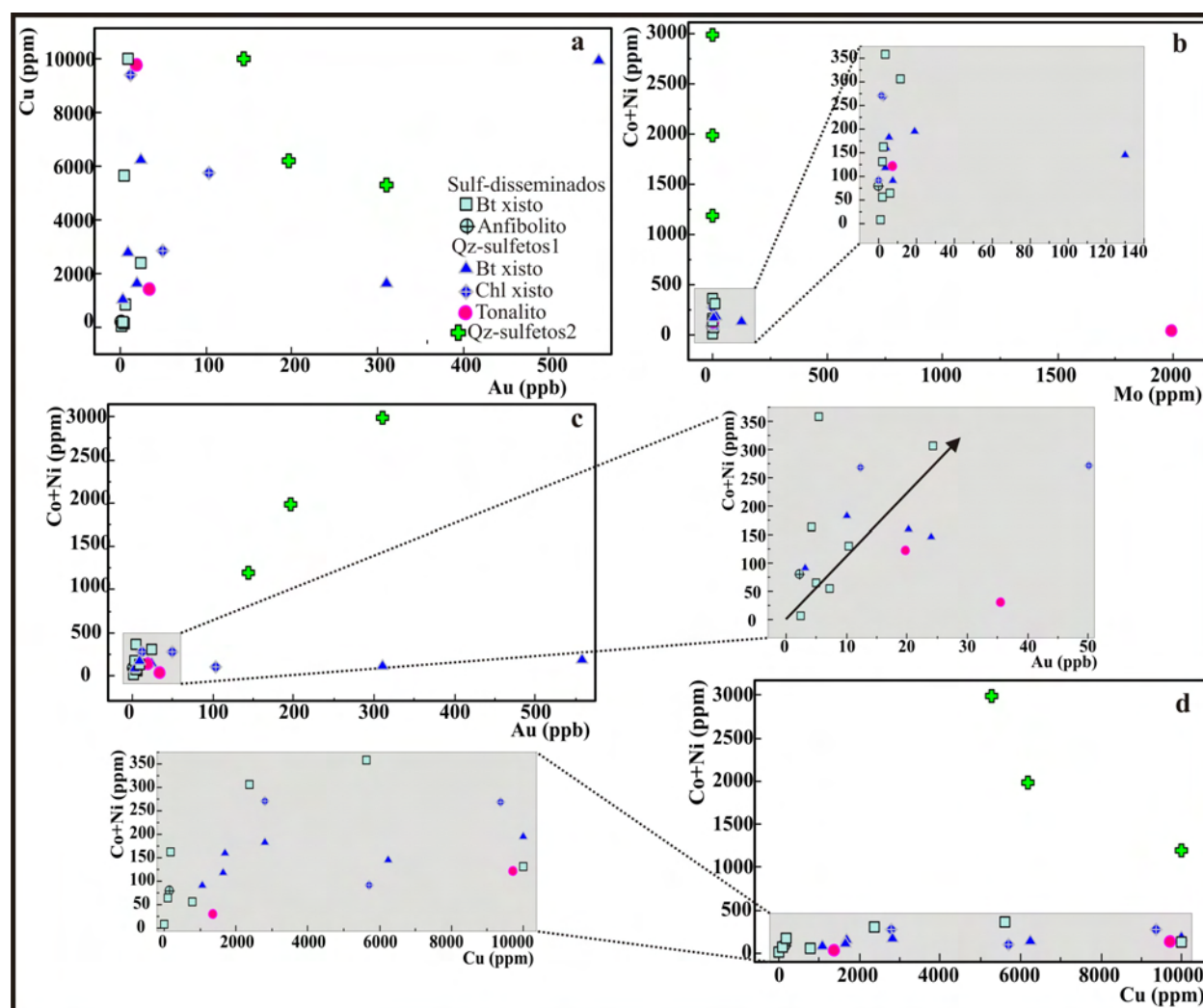


Figura 3.12 - Diagramas binários com amostras de zonas mineralizadas. a) Au x Cu, onde observa-se leve correlação positiva entre esses elementos, b) Mo x (Co+Ni), onde amostras ricas em Mo não apresentam nenhum tipo de correlação com Co+Ni, c) Au x (Co+Ni), mostrando leve correlação positiva entre esses elementos, d) Cu x (Co+Ni), com boa correlação positiva entre esses elementos, formando dois grupos com diferentes concentrações de Cu.

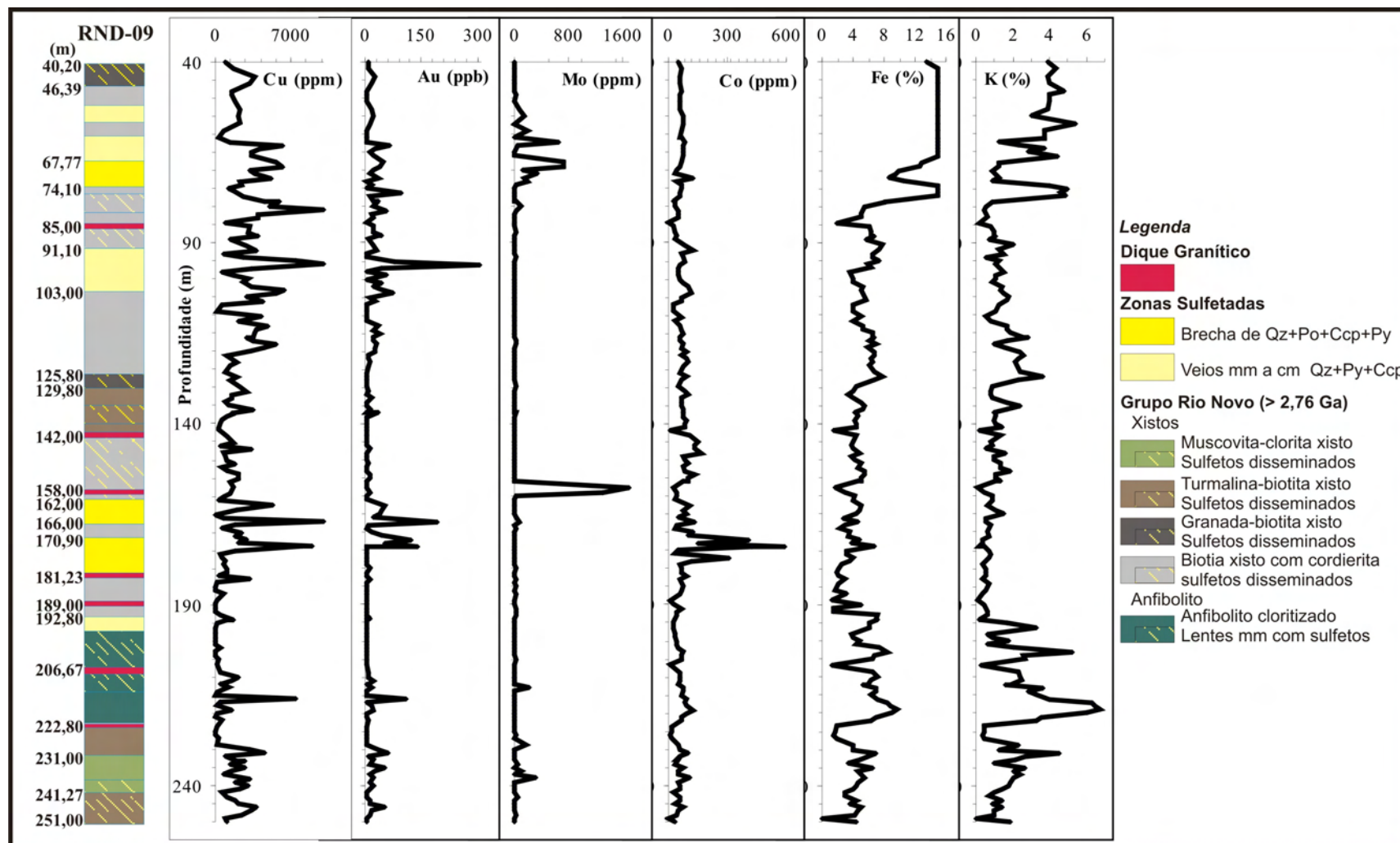


Figura 3.13 - Diagramas que relacionam os teores de Cu, Au, Mo, Co e zonas mineralizadas descritas no furo RND-09.

Nesses diagramas de teores versus profundidade do furo RND-09, os picos de K e Fe coincidem somente com altos e médios teores de Cu, localizados em zonas de sulfetos disseminados e algumas zonas mineralizadas formadas por veios constituídos por quartzo, calcopirita e pirita.

Nos diagramas de ETR, a maior parte das amostras mineralizadas apresenta a mesma assinatura das rochas hospedeiras pouco alteradas, com enriquecimento e forte fracionamento em ETRL (500 a 40 vezes o condrito), padrão pouco fracionado nos ETRP. Algumas amostras apresentam anomalia positiva de Eu (Figura 3.15).

Nas amostras de clorita xisto, a assinatura de ETR é bastante diferente, pois apresentam fraco fracionamento e padrão praticamente plano com leve enriquecimento em ETRL (50 a 10 vezes o condrito). As zonas mineralizadas hospedadas em clorita xisto também têm padrão pouco fracionado e menos enriquecido em ETR do que as rochas hospedeiras pouco alteradas.

A baixa correlação linear (r) entre os ETRP pode ser explicada por um fracionamento seletivo, como observado nos diagramas ETR da figura 3.14, de alguns elementos durante o processo de mineralização.

Os dados litogeoquímicos mostram então que o cobre, principal metal da ocorrência, tem leve correlação positiva com Au, Co e Ni. Essa correlação também é observada ao longo do furo RND-09 (Figura 3.14), onde Cu ocorre como anomalia em vários intervalos, associado a altos valores de K e Fe, localizados nas zonas de sulfetos disseminados e veios. Os picos de Au estão sempre associados a picos de Cu e os picos de Co sempre associados aos de Au e Cu. Já o Mo apresenta um comportamento diferente, com anomalias deslocadas acima das anomalias de Au.

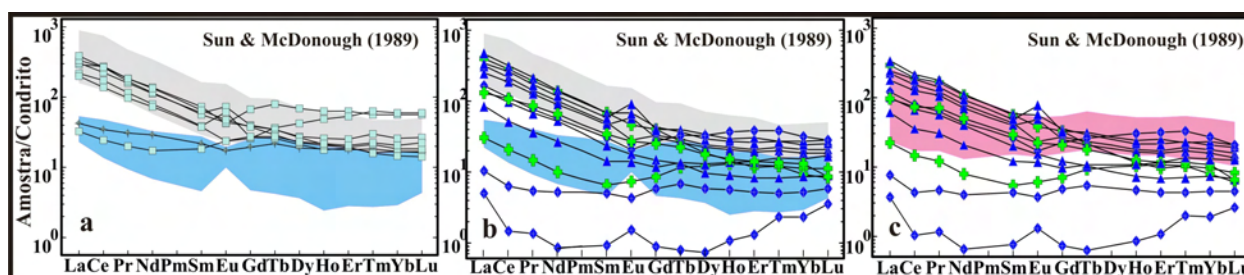


Figura 3.14 - Diagramas de ETR normalizados com valores de Sun & McDonough (1989). a) A área cinza representa amostras de biotita xisto e a área azul representa as amostras de clorita xisto pouco alteradas. Associadas a essas amostras estão plotadas todas as amostras de rocha com sulfetos disseminados. b) Amostras de xistos pouco alterados (áreas cinza e azul) e rochas mineralizadas das zonas de quartzo e sulfetos 1 (azul) e 2 (verde). c) Comparação das assinaturas de ETR entre as amostras das zonas de sulfetos disseminados (área rosa) e das zonas de quartzo e sulfetos 1 (azul) e 2 (verde).

3.3.4 - Química Mineral

As principais fases minerais observadas nas rochas hospedeiras pouco alteradas e mineralizadas, como silicatos, sulfetos e óxidos, foram analisadas por microsonda eletrônica. Para discussão do contexto metalogenético as fases minerais analisadas foram divididas em minerais da ganga, ou seja silicatos e óxidos das rochas hospedeiras pouco alteradas e das zonas mineralizadas, e minerais de minério representados por sulfetos.

Minerais da Ganga e Rochas Hospedeiras

Biotita - A biotita, com exceção de alguns diques graníticos, é encontrada em todas as rochas descritas na ocorrência, tanto nas rochas hospedeiras pouco alteradas, como biotita xisto e clorita xisto, como também nas zonas mineralizadas.

No clorita xisto, a biotita ocorre subordinadamente. No biotita xisto, este mineral é caracterizado por apresentar cor marrom e ocorrer parcialmente cloritizado. Outra variação de biotita, observada localmente no furo RND-09, tem cor marrom avermelhada e está associada a grãos de cordierita, andaluzita e sulfetos.

Biotitas referentes ao biotita xisto pouco alterado e às zonas mineralizadas com sulfetos disseminados e associação quartzo-sulfetos 1 apresentam composição semelhante, próxima da siderofilita.

As biotitas dos diques graníticos e do Granito Cigano têm composição entre a siderofilita e a annita, com menor conteúdo de $Al^{(VI)}$ (Figura 3.15).

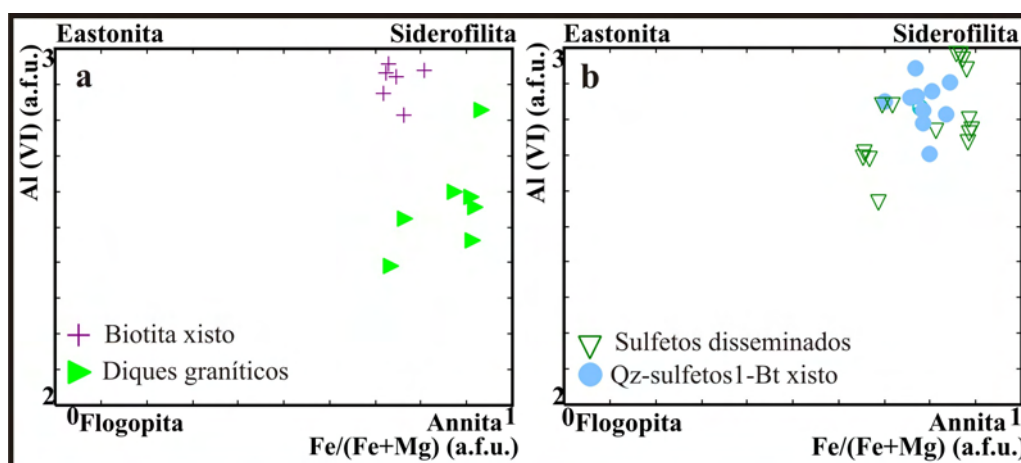


Figura 3.15 - Diagramas classificatórios entre a razão $Fe/(Fe+Mg)$ e $Al^{(VI)}$ para biotitas. a) Diagrama com biotitas das rochas hospedeiras da mineralização representadas por biotita xisto, diques graníticos e Granito Cigano. b) Diagrama com biotitas das zonas mineralizadas tipo sulfetos disseminados e quartzo-sulfetos 1.

As análises de biotita dos diques graníticos e do granito Cigano apresentam conteúdo variável de titânio, entre 3,5 e 0,5%, exemplificado no diagrama proposto por Nachit (1986). Segundo esse autor biotitas plotadas na área 1 são biotitas primárias e biotitas plotadas nas áreas 2 e 3 são biotitas secundárias, provenientes da alteração de biotitas primárias ou de minerais ferromagnesianos (Fe-hornblenda), muito comuns em granitos alcalinos (Figura 3.16a).

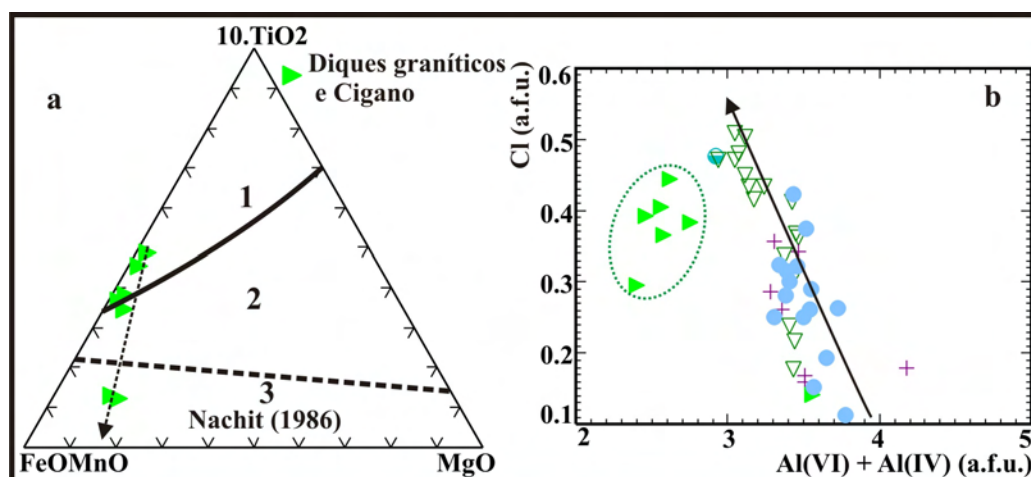


Figura 3.16-a) Diagrama 10.TiO₂-FeO+MnO-MgO de Nachit (1986) utilizado para separar biotitas magmáticas de biotitas secundárias. b) Diagrama Al (total) por Cl com todas as amostras de biotita plotadas (símbolos na figura 3.16).

As biotitas no geral, apresentam um *trend* de enriquecimento em Cl que varia entre 0,10 e 0,52 (a.f.u.). Nesse *trend*, observou-se que as biotitas das zonas mineralizadas com sulfetos disseminados são mais enriquecidas em Cl que as biotitas do biotita xisto e da associação quartzo-sulfeto1 (Figura 3.16b), indicando assim que as biotitas da associação de sulfetos disseminados e da associação quartzo sulfetos 1 foram submetidas a diferentes processos associados a fluidos hidrotermais com maior concentração de Cl.

As biotitas do Granito Cigano plotaram fora desse *trend* indicando um menor conteúdo de Al (total) e uma concentração de Cl variando entre 0,30 e 0,45 (a.f.u.), sendo as biotitas secundárias menos enriquecidas em Cl que as biotitas magmáticas. Porém a amostra que representa a biotita dos diques graníticos, classificada no diagrama de Nachit (1986) como primária, ocorre no mesmo *trend* das biotitas que representam os xisto e as zonas mineralizadas.

Feldspatos - Os feldspatos ocorrem na maioria das rochas estudadas, mas estão ausentes em algumas amostras de xistos. Nos diques de composição granítica, os feldspatos ocorrem como microclínio e plagioclásio (oligoclásio). Os diques de composição tonalítica apresentam plagioclásio albitizado, pois, ao contrário dos diques graníticos, os tonalitos ocorrem também

mineralizados com lentes, veios e brechas sulfetadas, estando assim mais suscetível a alterações associadas ao processo de mineralização.

No biotita xisto, o microclínio ocorre como um dos principais constituintes da rocha. No clorita xisto, o feldspato presente é a albita, que está sempre associada à muscovita (Figura 3.17a).

Nas rochas hospedeiras das zonas mineralizadas, assim como nas rochas pouco alteradas, os feldspatos presentes são o microclínio e a albita, que ocorre localmente como ganga na borda de veios sulfetados. A labradorita ocorre nos anfibolitos onde os sulfetos estão disseminados e inclusos em microlentes e veios (Figura 3.17b).

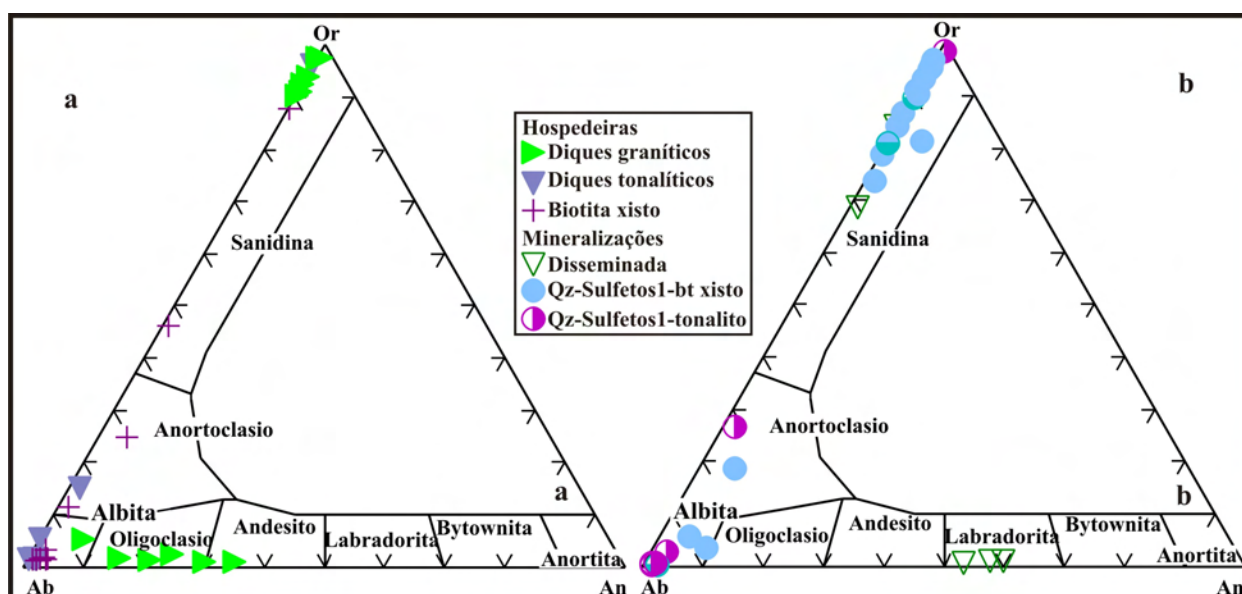


Figura 3.17 - Diagramas Or-Ab-An de classificação de feldspatos. a) Feldspatos presentes em rochas hospedeiras pouco alteradas. b) Feldspatos presentes nas rochas hospedeiras das zonas mineralizadas.

Muscovita - A muscovita também está presente em todas as rochas estudadas, mas, ao contrário da biotita e da maioria dos feldspatos, ocorre como mineral secundário, proveniente de alteração sericítica e também alteração de minerais como biotita e feldspatos.

Nas zonas mineralizadas, a muscovita está presente tanto na rocha hospedeira como na ganga, geralmente associada à clorita, em veios e lentes sulfetados. As muscovitas apresentam dois *trends* composicionais. O primeiro é representado por muscovitas dos diques graníticos, de algumas rochas hospedeiras fracamente mineralizadas e de zonas mineralizadas, que têm composição sobre o *trend* fengítico. O segundo comporta a maior parte das análises de muscovita, cuja composição se distribui sobre o *trend* fengítico, nos termos mais próximos de muscovita, passando a composição mais intermediária entre micas di e trioctaédricas nos termos mais ricos em Fe e Mg, representado pelo *trend* muscovita-annita (Figura 3.18).

Uma diferença importante entre as muscovitas analisadas é a maior contração de ferro e cloro nas amostras das zonas mineralizadas comparadas com as amostras das rochas hospedeiras pouco alteradas (Figura 3.18).

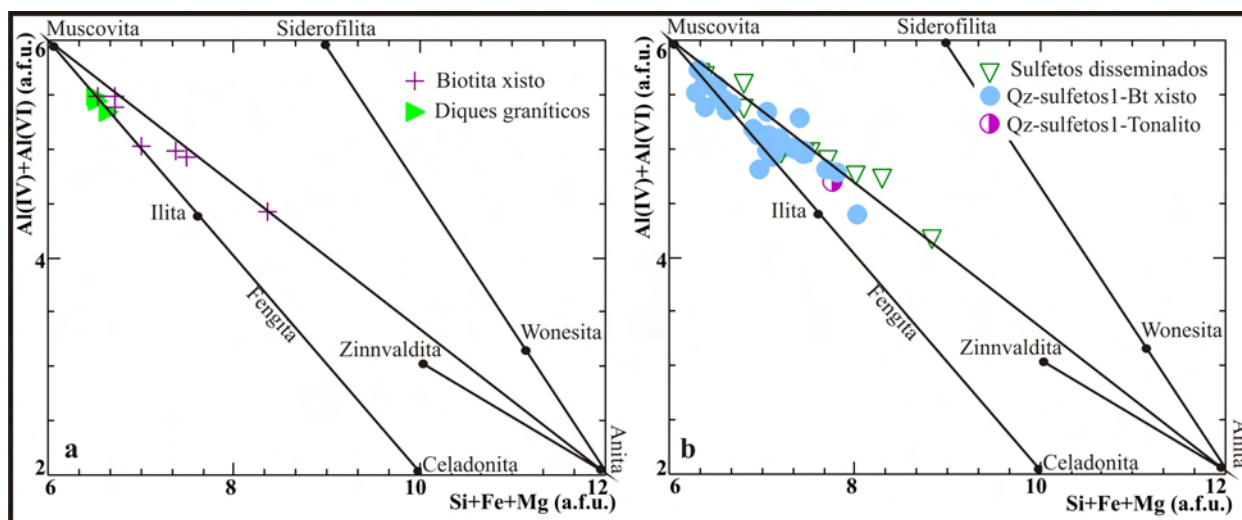


Figura 3.18 - Diagrama mostrando as principais séries de micas trioctaédricas e dioctaédricas. a) Amostras de rochas hospedeiras pouco alteradas e diques graníticos. b) Amostras das zonas mineralizadas.

Clorita - A clorita ocorre principalmente no clorita xisto e nas zonas mineralizadas, caracterizadas como clorita-sulfetos, associada a muscovita e a epidoto como ganga. No biotita xisto e nos diques tonalíticos, a clorita ocorre subordinada e está sempre associada a alteração da biotita.

A clorita mais comum apresenta cor de interferência cinza, mas em algumas rochas, inclusive nas mineralizadas, foram observadas cloritas com cor de interferência roxa azulada. No diagrama classificatório Mn-Fe²⁺-Mg todas as cloritas plotaram no campo da chamosita, apresentando uma forte variação no conteúdo de Fe e Mg (Figura 3.19a).

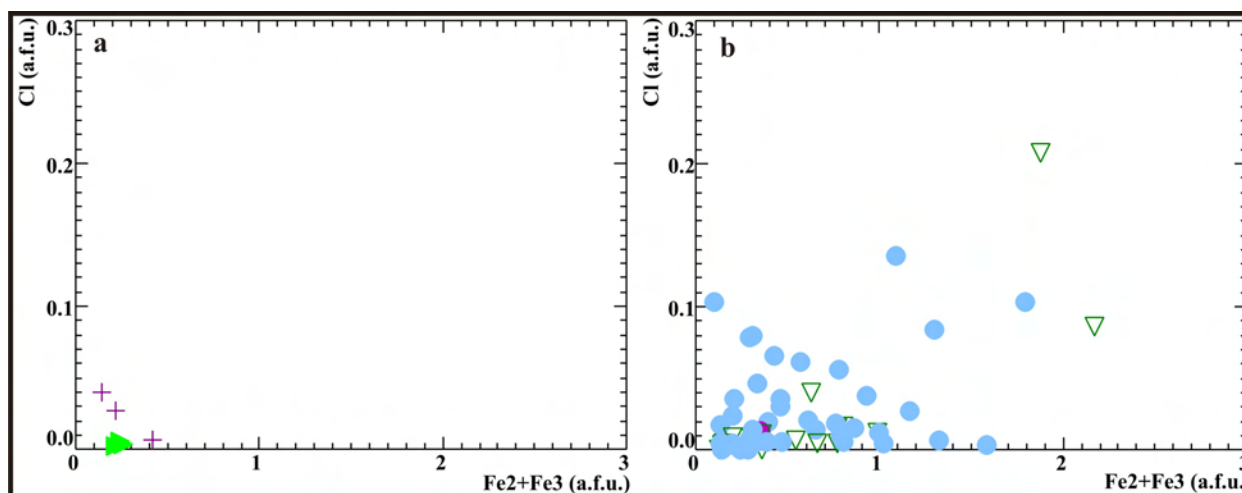


Figura 3.19 - Diagrama binário Fe-Cl. a) Amostras de rochas hospedeiras pouco alteradas e diques graníticos. b) Amostras das zonas mineralizadas (legenda na figura 3.18).

No diagrama Si x Fe(total), a maioria das cloritas tem composição de thuringita. Entretanto, no clorita xisto mineralizado, a clorita é mais rica em Si e tem composição de chamosita (Figura 3.20b). Essa variação composicional também é encontrada em outras rochas da área estudada, descritas no capítulo 2 (Figura 2.18), como o Fe-antofilita cordieritito, cuja clorita tem composição de thuringita, e o anfibolito silicificado com sulfetos disseminados, cuja clorita tem composição de chamosita.

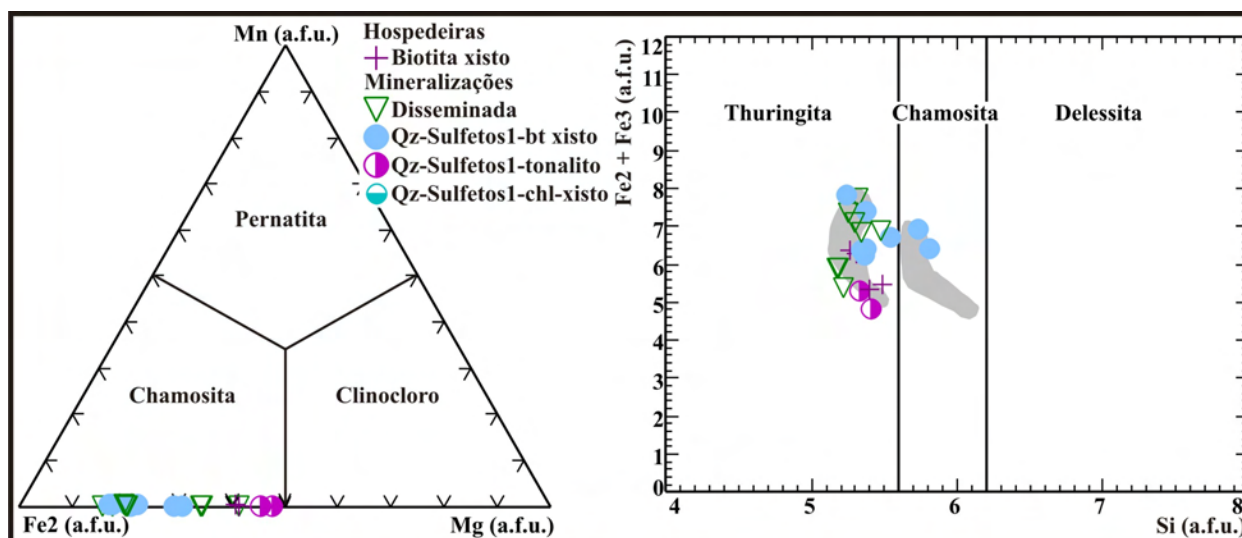


Figura 3.20 - Diagramas de classificação de cloritas. a) Gráfico triangular para cloritas ricas em Fe₂, Mg ou Mn; b) gráfico de classificação de cloritas ricas em ferro. As áreas cinza representam as cloritas Fe-antofilita cordieritito (thuringita) e o anfibolito silicificado (chamosita).

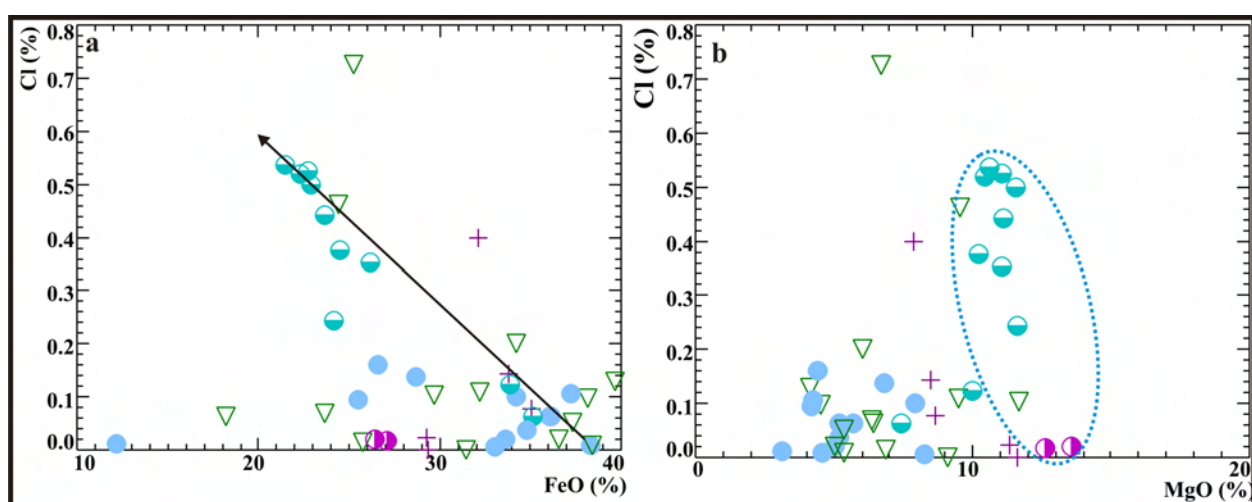


Figura 3.21 - Diagramas Cl x Fe e Cl x Mg para as cloritas.

As cloritas do clorita xisto apresentam a maior concentração de Cl entre as cloritas analisadas. As cloritas do dique tonalítico, caracterizadas como ganga em zonas de lentes sulfetadas, associadas a um pequeno grão de Au, apresentam baixo conteúdo de cloro, mas, no diagrama classificatório triangular, elas ocorrem próximas ao campo do clinocloro, caracterizadas por apresentar um menor conteúdo de Fe e maior conteúdo de Mg, em relação às demais cloritas (Figuras 3.20 e 3.21).

Turmalina - As turmalinas ocorrem no biotita xisto, no clorita xisto, nos diques graníticos e nas zonas mineralizadas. Este mineral foi identificada como produto de alteração hidrotermal, sempre associado aos sulfetos quando estes estão presentes na rocha. Com base em características ópticas, a turmalina pode ser dividida em três grupos: turmalina verde amarronzada, turmalina marrom e turmalina azul.

A turmalina azul tem composição de schorlita e ocorre localmente, tendo sido observada somente no biotita xisto, como aglomerados de grãos prismáticos, que cresceram sobre a trama da rocha.

As turmalinas verde amarronzadas e marrons são as mais comuns na ocorrência estudada, apresentam hábito arredondado e subordinadamente prismático e ocorrem como aglomerados associados a biotita. No diagrama de classificação elas plotam principalmente nos campos de dravita e schorlita (Figura 3.22).

A turmalina das rochas não mineralizadas apresenta maior concentração de Fe em relação à maioria das amostras de turmalina das zonas mineralizadas, que são mais ricas em Mg e pobres em Ti, como observado nas figuras 3.22 e 3.23.

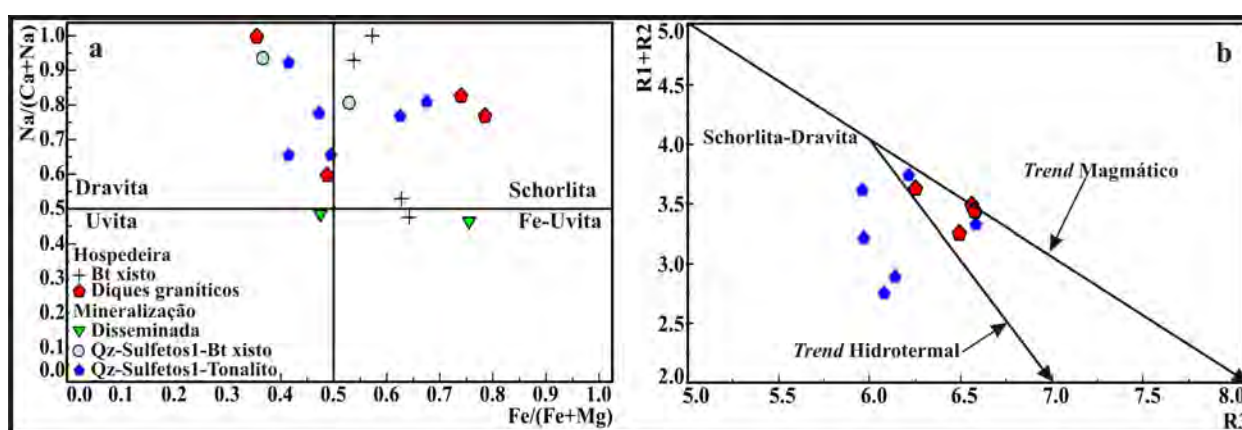


Figura 3.22-a) Diagrama de classificação composicional de turmalinas de acordo com Hawthorne & Henry (1999). b) Distribuição das análises em turmalinas associadas aos diques graníticos e aos tonalitos mineralizados, segundo as trajetórias de substituição magmática e hidrotermal.

O diagrama (R1+R2) x R3, em que $R1=Na+Ca$, $R2=Fe+Mg+Mn$ e $R3=1,3*Ti+Al$ (London *et al.* 1997), mostra a posição dos pólos schorlita-dravita e os principais *trends* de substituição observados em turmalinas associadas a granitos e pegmatitos. Neste diagrama, as análises de turmalinas dos diques graníticos plotaram entre os *trends* magmático e hidrotermal. Já as análises de turmalinas dos diques tonalíticos, com mineralização do tipo quartzo-sulfetos¹, plotaram paralelas ao *trend* hidrotermal, mas empobrecidas em Ti e Al, indicando assim que a origem mais provável dessas turmalinas é hidrotermal. (Figura 3.23b).

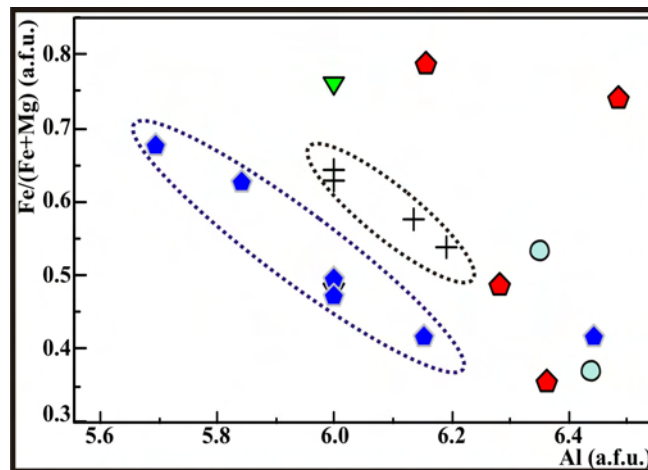


Figura 3.23 - Diagrama binário Al x Fe/(Fe+Mg) onde as amostras dos tonalitos apresentam trend paralelo ao formado pelas amostras de biotita xisto. Entretanto, as turmalinas dos tonalitos são empobrecidas em Fe em relação as do xisto. (legenda na figura 3.22).

Granada - A granada ocorre subordinadamente no biotita xisto, apresenta cor vinho e foi caracterizada microscopicamente como mineral pré a sin-tectônico, pois ocorre deformada e paralela à foliação da rocha. Em todas as lâminas, observou-se que a granada engloba parte da matriz da rocha como grãos de quartzo, biotita e localmente calcopirita, estando geralmente associada à mineralização disseminada.

Os grãos de granada analisados apresentam composição próxima à almandina, com pequenas contribuições de Mg (piropo), Mn (espessartita) e Ca (grossulária) (Tabela 3.05).

Ilmenita - A ilmenita ocorre comumente como mineral traço em todas as rochas exceto nos diques graníticos. Este mineral ocorre associado à hematita, formando uma textura de oxidação, ou como inclusões elípticas e orientadas em grãos de andaluzita.

Os grãos de ilmenita apresentam composição bastante homogênea com valores de FeO variando entre 41,43% e 44,95% e de TiO₂ entre 51,78% e 53,35%. Nenhuma amostra apresentou conteúdo de Fe₂O₃, mas em todas as amostras observou-se a presença de MnO (0,98% a 1,92%) e em algumas a presença de CaO (0-0,25%). Os baixos teores de Fe₂O₃ e MnO

atestam o caráter reduzido da ilmenita, entretanto a textura de substituição por hematita e rutilo indica oxidação (Czamanske & Mihálik, 1972).

Tabela 3.05 - Composição das granadas analisadas segundo a classificação de Winchell (1933).

Amostras(%)	PIRALSPITA			UGRANDITA		
	Almandina $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	Piropo $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	Espessartita $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$	Uvarovita $Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$	Grossulária $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	Andradita $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$
RN9-59,05-1	75,72	2,52	12,33	0,23	4,52	4,62
RN9-59,05-2	76,83	2,49	12,38	0,49	2,63	5,18
RN9-59,05-3	86,44	2,62	0,00	0,00	10,94	0,00
RN9-59,05-4	79,98	2,83	6,75	0,14	6,63	3,67
RN9-127,44-1	81,24	10,57	4,97	0,14	1,26	1,82
RN9-127,44-2	79,24	12,08	5,18	0,00	3,51	0,00

Minerais de Minério

Os minerais de minério analisados incluem sulfetos, como calcopirita, pirita, pirrotita, Co-pentlandita, glaucodoto, clinossaflorita, e ouro. Molibdenita, esfalerita e galena ocorrem localmente e não apresentam variação composicional significativa, por isso não serão abordados em detalhe (Tabela 3.06).

Pirita e calcopirita - Pirita e calcopirita estão geralmente associadas e representam juntas os sulfetos mais comuns na ocorrência. Os grãos de pirita e calcopirita são homogêneos e não apresentam grandes variações composicionais, sendo a pirita uma fase precoce em relação à calcopirita. Idaíta, digenita e calcocita ocorrem localmente e compõem textura de alteração na calcopirita (Figuras 3.07e, 3.24).

As principais impurezas encontradas na pirita são As (0-0,15%), Ni (0-0,8%) e Pt (0-0,7%). A calcopirita também apresenta impurezas de As (0-0,15%) e Pt (0-1,06%) sem quantidades significativas de Ni ou Co.

Pirrotita - A ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) apresenta dois tipos de associações com pirrotita. A primeira e mais abundante é descrita em brechas formadas por quartzo+pirrotita+calcopirita+pirita (quartzo sulfetos 2), onde o quartzo ocorre como clastos e os sulfetos como matriz. Nessas brechas, a pirrotita engloba grãos de pirita, clinossaflorita blindada por glaucodoto e calcopirita. Pirrotita e calcopirita parecem simultâneas, pois ambas ocorrem como hóspedes e hospedeiros.

Tabela 3.06 – Composição de amostras de pirita (Py), pirrotita (Po), calcopirita (Ccp), idaíta (Id), calcocita (Cc), pentlandita (Pn), glaucodoto (Gld), clinossafflorita (Clino-Sf), galena (Gn), esfalerita (Sp) e molibdenita (Mo), em porcentagem (%) e normalização atômica (n.a.).

AMOSTRAS	Py	Po	Ccp	Id	Cc	Pn	Gld	Clino-Sf	Gn	Sp	Mo
S%	37,51	38,35	30,96	22,48	20,38	33,76	19,20	0,49	13,65	32,88	40,06
Fe%	58,27	56,11	8,74	2,23	0,70	26,55	5,07	9,64	1,05	5,30	0,08
Ni%	0,28	0,31	–	–	–	26,31	12,39	3,94	–	0,04	–
Co%	0,05	–	0,06	–	0,05	6,12	16,48	11,11	–	0,05	0,02
Zn%	–	–	0,04	–	0,06	–	0,02	0,03	0,04	55,94	–
Pt%	0,11	–	0,20	–	0,21	0,56	0,30	–	–	–	–
Mo%	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	59,05
Cu%	–	–	54,32	76,13	75,15	–	0,07	–	0,25	0,07	0,09
As%	0,06	0,14	–	0,01	0,11	0,08	48,83	77,77	–	–	0,06
In%	0,01	–	–	0,02	–	–	–	0,03	–	–	–
U%	–	–	0,04	0,05	–	–	–	–	–	–	–
Pb%	–	–	–	–	–	–	–	0,07	87,55	–	–
Cd%	0,02	0,01	0,02	0,01	–	–	–	–	0,02	0,22	–
Total%	96,31	94,97	94,37	100,94	96,66	93,37	102,35	103,09	102,56	94,50	99,35
S(n.a.)	52,68	54,16	48,77	36,14	34,63	50,52	32,63	1,04	48,83	51,78	66,81
Fe(n.a.)	46,99	45,49	7,91	2,06	0,68	22,81	4,95	11,64	2,16	4,79	0,08
Ni(n.a.)	0,22	0,24	–	–	–	21,50	11,50	4,53	–	0,04	–
Co(n.a.)	0,04	–	0,05	–	0,05	4,98	15,24	12,72	–	0,04	0,02
Zn(n.a.)	–	–	0,03	–	0,05	–	0,01	0,03	0,06	43,20	–
Pt(n.a.)	0,03	–	0,05	–	0,06	0,14	0,08	–	–	–	–
Mo(n.a.)	–	–	0,00	–	–	–	–	–	–	–	32,92
Cu(n.a.)	–	–	43,19	61,76	64,45	–	0,06	–	0,45	0,06	0,07
As(n.a.)	0,04	0,08	–	0,01	0,08	0,05	35,52	70,01	–	–	0,04
In(n.a.)	0,01	0,02	–	0,01	–	–	–	0,02	–	–	–
U(n.a.)	–	–	0,01	0,01	–	–	–	–	–	–	–
Pb(n.a.)	–	–	–	–	–	–	–	0,02	48,48	–	–
Cd(n.a.)	0,01	–	0,01	0,01	–	–	–	–	0,02	0,10	–
Total(n.a.)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,93

A associação menos comum consiste de pirrotita em pequena proporção, em zonas mineralizadas com sulfetos disseminados e quartzo-sulfetos 1, sempre associada a calcopirita. Em ambas as associações, a pirrotita apresenta exsoluções de Co-pentlandita, pentlandita e inclusões de glaucodoto.

As impurezas observadas na pirrotita foram as mesmas observadas na pirita com diferente concentração somente no Ni (0-0,60%), provavelmente por causa da exsolução de pentlandita e co-pentlandita.

Pentlandita e Co-pentlandita – Pentlandita e Co-pentlandita ocorrem como *flames* e também como grãos associados a fraturas, ambos na pirrotita. A ocorrência desses dois minerais

como *flames* é indicativa de temperaturas de cristalizações um pouco maiores, no início do processo de exsolução, do que a de grãos associados a fraturas, cristalizados provavelmente durante o resfriamento do sistema (Vaughan & Craig, 1997).

Os minerais pentlandita e Co-pentlandita apresentam Pt (0-0,56%) como impureza, assim como a pirrotita, calcopirita e pirita. Na figura 3.24b, observa-se um *trend* entre pentlandita e Co-pentlandita, onde é mantida a razão Fe/Ni.

Glaucodoto e clinossaflorita - As fases minerais classificadas aqui como glaucodoto apresentam na verdade uma composição intermediária entre glaucodoto e cobaltita, exemplificada nos diagramas ternários S-Co-Ni, onde o enriquecimento em Ni não altera a concentração de S na rocha (Figura 3.25a). Já no diagrama ternário Fe-Co-Ni, observa-se nitidamente um enriquecimento em Ni associado ao enriquecimento em Fe, mesma situação apresentada pela pentlandita - Co-pentlandita, também inclusas na pirrotita (Figura 3.25b).

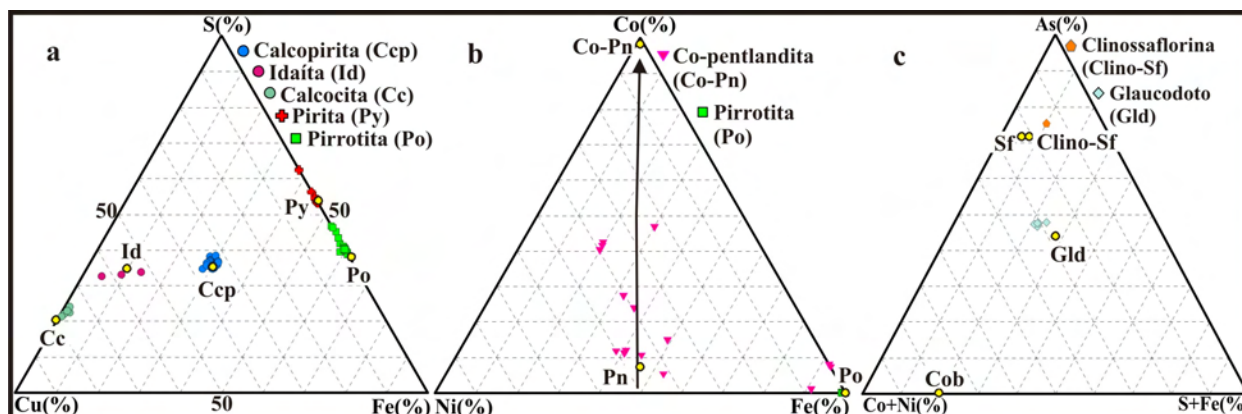


Figura 3.24-a) Diagrama triangular Fe-S-Cu com análises de Py, Cep, Po, Id e Cc . b) Diagrama triangular Co-Ni-Fe com Co-Pentlandita, pentlandita e pirrotita. c) Diagrama triangular As-Co+Ni-S+Fe com clinossaflorina e glaucodoto. Os pontos amarelos nos três diagramas representam as composições ideais de cada mineral citado (Web Mineral).

A clinossaflorita ocorre localmente e está blindada por glaucodoto, ambos englobados por pirrotita. Apenas glaucodoto apresenta pequena quantidade de Pt (0-0,9%). No diagrama ternário As-CoNi-SFe (Figura 3.24c) é possível observar a composição das duas fases minerais, glaucodoto e clinossaflorita, em relação às suas composições ideais.

Esfalerita - A esfalerita foi observada no furo RND-08 e ocorre localmente. Esse mineral possui inclusões irregulares e orientadas de calcopirita, compondo uma textura semelhante ao que é denominado de *chalcopyrite disease* (Barton & Bethke, 1987). Também faz parte da associação a pirita que, nesta rocha, ocorre fortemente brechada e cimentada por calcopirita e esfalerita.

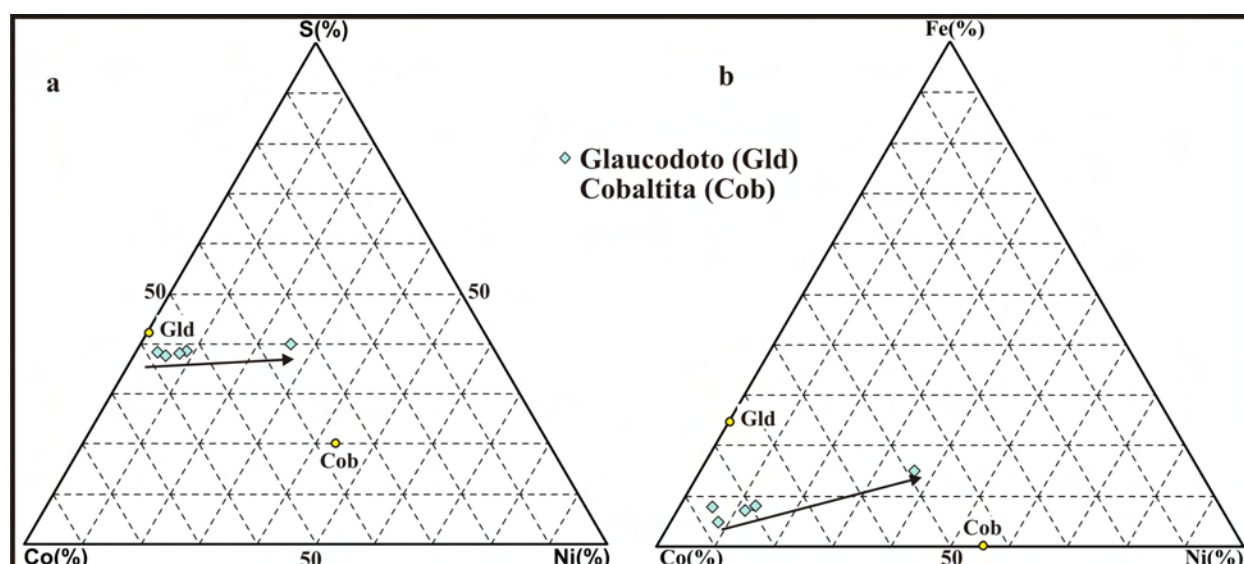


Figura 3.25 - Diagramas ternários que mostram os *trends* de composição do glaucodoto e os pólos das composições ideais do glaucodoto e da cobaltita representados por pontos amarelas (Web Mineral).

3.3.5 - QUÍMICA ISOTÓPICA

Os dados isotópicos obtidos pelos métodos Sm-Nd em rocha total (Tabela 3.07) e Re-Os em molibdenita (Tabela 3.08) foram utilizados neste trabalho com o objetivo de correlacionar dados de rochas hospedeiras, encaixantes e das zonas mineralizadas, buscando assim semelhanças entre assinaturas isotópicas dessas rochas e também a idade da mineralização.

Para análise das rochas hospedeiras graníticas pelo método Sm-Nd foram escolhidas três amostras representativas: uma amostra de superfície do Granito Cigano, uma amostra de testemunho de sondagem de dique granítico, definido petrograficamente e quimicamente como fase tardia do Granito Cigano, e uma amostra de dique tonalítico mineralizado. As análises referentes a essas rochas foram plotadas no diagrama Nd^{143}/Nd^{144} - Sm^{147}/Nd^{144} e não apresentaram alinhamento, não sendo possível assim a construção de isócrona.

O cálculo de $\epsilon Nd_{(t)}$ das amostras do Granito Cigano foi feito com base na idade U-Pb do granito de 1883 ± 2 Ma (Machado *et al.* 1991). Assim, o Granito Cigano e o dique granítico apresentam respectivamente idades TDM de 2770 Ma e 2730 Ma e $\epsilon Nd_{(t)} = -8,87$ e $-8,67$, o que configura a mesma assinatura isotópica para as duas amostras, cuja idade da fonte é semelhante à das rochas encaixantes, como Grupo Rio Novo e Supergrupo Itacaiúnas, assim como das suítes graníticas Estrela, Plaqué e do complexo máfico-ultramáfico Luanga.

A amostra do dique tonalítico apresenta idade TDM de 3330 Ma, semelhante às idades TDM de rochas máficas arqueanas, cuja idade absoluta é de 2705 ± 2 Ma (Pb-Pb em zircão),

descritas no depósito Gameleira e interpretadas como o limite superior do intervalo 3330 Ma a 2850 Ma, referente a diferenciação manto-crosta e formação do embasamento gnáissico da PMC (Galarza & Macambira, 2002). Esta idade TDM de 3330 Ma também está dentro da variação de TDM apresentada pelo anfibolito do Grupo Rio Novo (3080 Ma e 3540 Ma), apresentada no capítulo 2.

Foram analisadas também pelo método Sm-Nd, nove amostras de biotita xisto provenientes das zonas mineralizadas (idade TDM entre 2960 e 3820 Ma) e das áreas pouco alteradas (idade TDM entre 2780 e 3040 Ma), que indicaram uma isócrona de idade 1729 ± 420 Ma (Figura 3.27). Apesar de ter apresentado um erro grande, a idade de 1729 ± 420 Ma foi interpretada como referência para o processo de mineralização, com abertura total do sistema isotópico Sm-Nd durante os processos mineralizantes, que coincidiriam com a idade de colocação do granito Cigano.

Tabela 3.07 - Dados das análises de Sm-Nd nos xistos hospedeiros, pouco alterados, e mineralizados.

<i>Amostras</i>	<i>Sm(ppm)</i>	<i>Nd(ppm)</i>	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(\pm 2SE)$	$T_{DM}(\text{Ga})$	
Hospedeira						
RN4-4	10,457	41,401	0,1527	0,511567	+/-19	3,79
RN4-16	9,692	58,478	0,1002	0,51097	+/-5	2,78
RN10-136,46	6,477	36,224	0,1081	0,51099	+/-15	2,97
RN4-3A	10,532	56,026	0,1136	0,511051	+/-16	3,04
Mineralizadas						
RN8-218,75	8,056	46,242	0,1053	0,510891	+/-6	3,04
RN10-189,94	1,465	6,294	0,1407	0,511254	+/-17	3,82
RN9-47,67	7,111	40,556	0,106	0,510956	+/-15	2,96
RN9-172,82	0,946	4,482	0,1276	0,511248	+/-10	3,2

Esse tipo de situação também foi descrito no depósito Gameleira, onde o Granito Pojuca (idade U-Pb de 1874 ± 2 - Machado *et al.*, 1991) afetou o sistema isotópico de suas encaixantes (Souza *et al.* 1996). Este evento também foi descrito por Pimentel *et al.* (2003) que, por meio de estudos isotópicos, definiram idade Sm-Nd de 1839 ± 30 Ma para hidrotermalitos bandados, interpretada como idade da mineralização, e 1700 ± 70 Ma para veios mineralizados formados por biotita e sulfetos, também associados à mineralização.

Para estudo do sistema isotópico Re-Os, foram analisadas três amostras de molibdenita: duas referentes a amostras de testemunho do furo RND-09 e uma terceira, proveniente do “Garimpo do Fernando”, localizado a aproximadamente 12 Km a SE da ocorrência, no contexto geológico do Depósito de Serra Verde, próximo à borda do granito Estrela, também hospedados em rochas do Grupo Rio Novo.

As amostras RN9-158,80 e RN9-243,82 possuem molibdenita com hábito lamelar e representam, respectivamente, lentes sulfetadas no dique tonalítico e no contato entre veio centimétrico de quartzo e o biotita xisto. Já a amostra do Garimpo Fernando representa molibdenita maciça e fina, hospedada em rochas do Grupo Rio Novo. Os resultados isotópicos estão dispostos na Tabela 3.07.

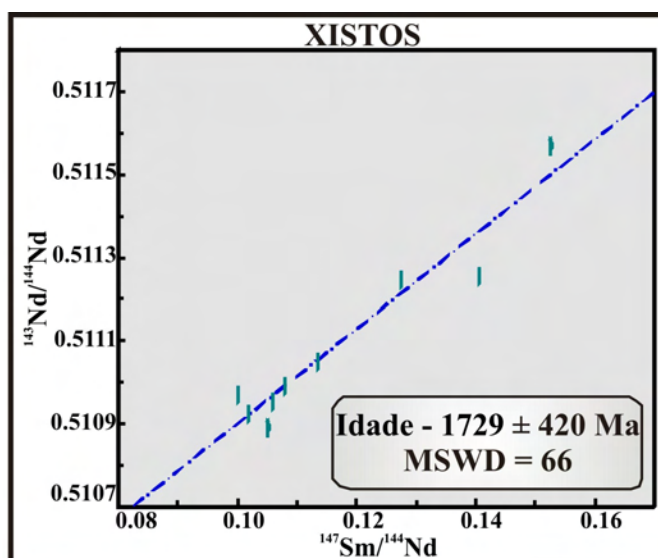


Figura 3.26 - Isócrona Sm-Nd calculada com razões isotópicas de amostras do biotita xisto.

As molibdenitas referentes às amostras do furo de sonda, associada à ocorrência de Cu-Au (Mo,Co), apresentam idades modelo de 1883 ± 9 Ma e 1884 ± 9 Ma. Essas idades são comparáveis à idade U-Pb em zircão 1883 ± 2 Ma (Machado *et al.*, 1991) do granito Cigano, podendo concluir assim que a colocação do granito Cigano na região está diretamente associada a precipitação de molibdenita, e, pelo menos em parte, à formação das concentrações de Cu, Au, Mo, Co do Alvo RN4.

Tabela 3.08 - Resultados isotópicos Re-Os e determinação da idade modelo das molibdenitas analisadas.

AMOSTRA	Re (ppm)	¹⁸⁷ Re (ppm)	¹⁸⁷ Os(ppb)	Os c (pg)	Idade Modelo (Ma)	±2 σ (Ma)
GF	8,463 ± 0,033	5,320 ± 0.021	239,9 ± 0,3	14,2	2647	13
RN9-158,80	80,15 ± 0,31	50,38 ± 0,19	1606 ± 3	1,8	1883	9
RN9-243,82	36,32 ± 0,15	22,83 ± 0,09	727,8 ± 1,7	29,1	1884	9

A idade modelo de 2647 ± 13 Ma, referente à amostra do Garimpo Fernando, estaria relacionada, provavelmente, ao evento mineralizador mais importante, relacionado a época metalogenética regional. Segundo Marschik *et al.* (2005) molibdenitas dos depósitos de Gameleira e Serra Verde apresentam idades modelo semelhantes: 2614 ± 14 Ma e 2609 ± 13 Ma

respectivamente. Molibdenitas do Garimpo do Fernando, datadas por esses autores, apresentaram duas idades $2,592 \pm 13$ Ma e $2,602 \pm 13$ Ma.

As mineralizações de Cu-Au-Mo, referentes às idades arqueanas em torno de 2,6 Ga nas molibdenitas citadas acima, foram interpretadas como epigenéticas e coincidentes com o regime tectônico regional representado pela reativação das falhas transcorrentes Cinzento e Carajás.

Assim, os dados isotópicos dos sistemas Sm-Nd e Re-Os indicam que o evento de mineralização responsável pela ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) do Alvo RN4 está diretamente associado a colocação do Granito Cigano.

3.4 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

3.4.1 - Controle da Mineralização

A região estudada neste trabalho está relacionada à terceira fase deformacional, definida como reativação das zonas de cisalhamento Carajás e Cinzento (1,9Ga a 1,0Ga) descrita para a Província Mineral de Carajás. Esta fase foi caracterizada por desenvolver movimentos transpressivos sinistrais (E-W), e localmente transtrativos dextrais (E-W), rúpteis e rúpteis-dúcteis cisalhantes que reativaram as antigas linhas de fraqueza da região (Pinheiro e Holdsworth (1997).

A reativação das falhas Carajás e Cinzento foi responsável pela deformação de todas as rochas presentes na região de Carajás, com maior intensidade nas zonas adjacentes a estas falhas. A colocação de granitos anorogênicos paleoproterozóicos em níveis crustais rasos, como o Granito Cigano, também ocorreu durante essa fase (~. 1,88 Ga), os quais foram alojados em locais de movimentos transtrativos com aberturas NNE-SSW.

A ocorrência de Cu, Au (Mo, Co), hospedada em xistos do Grupo Rio Novo na borda S-SE do Granito Cigano, está situada na terminação leste da zona de cisalhamento Cinzento (ENE-WSW), mais precisamente sobre o rabo de cavalo compressivo Serra Pelada. Esta estrutura é formada por zonas de cavalgamento NE-SW que divergem da zona transcorrente Cinzento (E-W).

Os sulfetos são os principais minerais de minério da ocorrência, estão dispostos em três tipos principais de associações, observadas em todos os furos de sonda (RND-08, RND-09 e RND-10). A primeira associação é representada por sulfetos disseminados, hospedados entre os

planos da foliação Sn (NE-SW a ENE-WSW), a qual define a xistosidade da rocha hospedeira (Figura 3.03).

A segunda associação é representada por veios e lentes centimétricos, paralelos e discordantes de Sn, formados por sulfetos, como calcopirita e pirita, além de quartzo, clorita e turmalina, como minerais de ganga. Em alguns diques tonalíticos essa associação torna-se mais diversificada, com a presença de molibdenita e ouro (Figura 3.03).

A terceira associação é representada por brechas centimétricas a decimétricas, que cortam discordantemente as rochas hospedeiras, formadas por quartzo, cimentado por pirrotita, calcopirita e, subordinadamente, pirita.

As zonas mineralizadas descritas acima estão presentes em todos os tipos de rochas descritos nos furos. Observou-se em lâminas polidas, que as zonas mineralizadas não apresentam alterações mineralógicas posteriores à precipitação dos sulfetos, ou seja, as zonas mineralizadas contêm as últimas alterações que atuaram em sua rocha hospedeira.

Com base nas descrições petrográficas, pode-se afirmar que a ocorrência de cobre e ouro do Alvo RN4 não apresenta controle litológico bem definido entre os xistos e o anfibolito cloritizado, presente assim, em todos os tipos litológicos descritos.

Molibdenita tem ocorrência restrita no alvo estudado, precipitada em lentes de dique tonalítico e também em veio de quartzo, que corta discordantemente o biotita xisto. No veio de quartzo, a molibdenita ocorre próxima a aglomerado de turmalina, localizado a dois metros de distância do dique tonalítico, também mineralizado.

Os controles estruturais são mais evidentes na ocorrência, pois, como descrito anteriormente, sulfetos disseminados ocorrem entre os planos de foliação Sn (NE-SW a ENE-WSW). Os sulfetos estão localizados entre lamelas de biotita, grãos de quartzo e também alojados na sombra de pressão de fenoblastos de granada no granada-biotita xisto.

É provável que a mineralização em zonas de sulfetos disseminados e lentes paralelas à foliação seja sintectônica, diretamente relacionada à reativação das zonas de cisalhamento Carajás e Cinzento, que provocou intensa deformação em zonas adjacentes às falhas (Pinheiro & Holdsworth, 1997). Assim, as zonas com sulfetos disseminados foram classificadas como uma mineralização precoce em relação aos veios e brechas.

As relações entre as injeções graníticas e veios mineralizados indicam contemporaneidade, com remobilização da mineralização disseminada pré-existente, evidenciadas por predominância de venulações a partir dos diques graníticos para a rocha encaixante hospedeira da mineralização. Entretanto, não se pode descartar remobilizações mais

tardias, associadas às falhas NNW-SSE e NW-SE, que afetam as rochas encaixantes e o corpo granítico (Figura 3.02).

A partir de descrições das amostras de testemunho observou-se que as mineralizações com lentes e sulfetos disseminados são anteriores às brechas (quartzo-sulfetos 2), que cortam a foliação e conseqüentemente as mineralizações disseminadas. Já, a relação espacial e cronológica entre as brechas e as zonas mineralizadas formadas por veios (quartzo-sulfetos 1) não foram identificadas. No entanto, com base nas características texturais dessas brechas, existe uma tendência de identificá-las como brechas hidrotermais, não apresentando assim, orientação ou contatos retilíneos com as rochas hospedeiras.

3.4.2 - Fonte da Mineralização

Os sulfetos mais abundantes da ocorrência de Cu, Au (Mo-Co) são pirita, calcopirita e pirrotita. Co-pentlandita, glaucodoto, molibdenita e ouro ocorrem, em grande parte da mineralização, como acessórios. Já, esfalerita, galena, clinossaflorita, idaíta e covelita ocorrem como minerais traços.

Em diagramas binários de análises de rocha total, observou-se uma leve correlação positiva entre Cu, Au, Co e Ni. Essa correlação também ocorre nos diagramas de teores versus profundidade dos furos RND-08, RND-09 (Figura 3.13) e RND-10. Nestes gráficos, foi possível observar que o cobre ocorre associado a todos os outros metais, exceto nas zonas com sulfetos disseminados, onde só existem teores anômalos de cobre.

Molibdênio ocorre restrito, associado a cobre e ouro, em dique tonalítico e veio de quartzo. O ouro, além de ocorrer associado ao cobre e ao molibdênio, está também associado ao cobalto, que ocorre restrito às brechas de quartzo-sulfetos 2, como exsoluções de co-pentlandita, pentlandita e inclusões de glaucodoto na pirrotita.

Análises de química mineral de calcopirita, pirita, pirrotita, co-pentlandita, pentlandita e glaucodoto indicaram a presença de platina como elemento traço (0% a 0,90%). Essa impureza de platina também foi observada em anfíbolito, localizado no sul da área mapeada, fora da zona mineralizada (Figura 3.02).

O enriquecimento em cobalto e níquel e os traços de platina encontradas sugerem que a fonte dos metais do Alvo RN4 esteja ligada a um protólito máfico. Considerando o contexto geológico da área e os dados litogeoquímicos e de química mineral, pode-se sugerir que cobre, cobalto, níquel, ouro e platina sejam provenientes da remobilização de concentrações prévias

desses metais existentes em rochas do Grupo Rio Novo, máficas ou derivadas de protólito máfico.

Esse tipo de remobilização em depósitos de Cu-Au já foi descrito no Cinturão Itacaiúnas, como os depósitos de Gameleira, Salobo, Igarapé-Bahia e Serra Verde. Assim como a ocorrência de Cu-Au (Mo, Co), o depósito Serra Verde também está hospedado no Grupo Rio Novo, e segundo Reis & Villas (2002) a fonte para os metais supracitados é o próprio Rio Novo, caracterizado por esses autores por apresentar uma mineralização tipo VMS durante sua deposição no assoalho oceânico (ca. 2763 Ma), e posteriormente modificada pela colocação do granito Estrela e pela zona de cisalhamento Carajás.

Com base nas análises geoquímicas e nas evidências petrográficas, é sugerido aqui que o molibdênio seja também proveniente da remobilização de mineralizações anteriores, mas provavelmente derivado de outra fonte, pois não apresenta traços de platina, cobalto ou níquel.

O depósito de Serra Verde e o “Garimpo do Fernando” são ocorrências de Cu-Au com forte presença de molibdenita, cuja idade-modelo é arqueana (ca. 2600 Ma) ao contrário das molibdenitas estudadas, que apresentam idade-modelo paleoproterozóica (ca. 1883 Ma) e foram caracterizadas como uma remobilização de parte do molibdênio diretamente associada a colocação do granito Cigano.

O Granito Cigano apresenta composição de granito Tipo-A reduzido, caracterizado como uma fácies pouco evoluída dos granitos paleoproterozóicos, em relação a outros corpos da mesma suíte. Em Carajás, mineralizações de Cu-Au-Co relacionadas a granitos paleoproterozóicos evoluídos, como, por exemplo, o depósito Breves (Botelho *et al.*, 2005) apresentam em sua associação concentrações de Sn e W, como cassiterita e wolframita. Essa assinatura não foi encontrada no Alvo RN4.

Por essas características, fica desconsiderada a idéia de ter o Granito Cigano como fonte para os metais da ocorrência estudada ou mesmo para os fluidos mineralizantes. Mas é provável que o mesmo tenha sido a principal fonte de calor para a circulação de fluidos mineralizantes, provenientes das rochas encaixantes e também associados à reativação do sistema de falhas Cinzento, que serviram como condutos para estes fluidos.

A geração e/ou remobilização de depósitos de Cu-Au relacionadas com a reativação dos sistemas Cinzento e Carajás também foi evidenciada nos depósitos Gameleira (Lindenmayer *et al.*, 2001, Pimentel *et al.*, 2003), Salobo (Requia *et al.*, 2003) e Igarapé-Bahia (Galarza *et al.*, 2008).

3.4.3 - Modelo Genético

A ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) do Alvo RN4, assim como as demais ocorrências e depósitos de Cu-Au do Cinturão Itacaiúnas, estão hospedadas em rochas das sequências Vulcano-Sedimentares do tipo *Greenstone Belts*, relacionadas a granitogêneses e às zonas de cisalhamentos Carajás ou Cinzento. Para sugestão de um modelo genético desta ocorrência e correlacioná-lo aos demais depósitos de Cu-Au da região, foram levados em consideração o controle da mineralização, as prováveis fontes para os metais e a “época metalogenética” da sua formação (Tabela 3.09).

No Cinturão Itacaiúnas, são considerados três tipos de mineralizações formadas por Cu-Au. O mais abundante é o tipo Óxido de Fe, Cu-Au (U ETR, Co),(*IOCG*) proposto na província pela primeira vez por Huhn e Nascimento (1997). Os depósitos descritos com esse tipo de mineralização apresentam diferenças em relação às idades de formação, como por exemplo, a idade em torno de 2,61 Ga no depósito Gameleira (2614±14 Ma – Re-Os em molibdenita, Marschik *et al.*, 2005) e em torno de 2,57 Ga nos depósitos Igarapé-Bahia (2576 ± 12 Ma-U/Pb monazita hidrotermal, Tallarico *et al.*, 2005) e Salobo (2576±8 e 2562±8 Ma- Re-Os em molibdenita, Requia *et al.*, 2003).

Além das diferenças nas idades de formação dos depósitos tipo *IOCG* existem também diferenças em algumas idades de remobilização desses depósitos pela reativação das falhas Cinzento e Carajás, como 2417 ± 120 Ma no depósito Igarapé-Bahia (Pb-Pb em calcopirita, Galarza *et al.*, 2008) e 1839 ± 12 Ma no Gameleira (Sm-Nd, Pimentel *et al.*, 2003).

O segundo tipo de mineralização de Cu-Au no Cinturão Itacaiúnas foi descrito no depósito Breves, classificado com híbrido por apresentar características de depósito dos tipos *IOCG*, pórfiro e *intrusion related* (Botelho *et al.* 2005). No caso do Alvo RN4, não foram descritos minerais com Sn ou W e nem observadas anomalias desses dois elementos nas análises litogeoquímicas, sendo descartada sua correlação com depósitos do tipo Breves.

O terceiro tipo de mineralização de Cu-Au ocorre no depósito de Serra Verde, descrito por Reis (2000) como depósito tipo *Besshi* (VMS), hospedado em rochas máficas do Grupo Rio Novo, na borda do granito Estrela. Apesar de apresentarem rochas hospedeiras do grupo Rio Novo, ao contrário da ocorrência estudada, a Serra Verde possui lentes maciças de sulfetos, caracterizadas como singenéticas metamorfisadas.

A ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) estudada apresenta maior semelhança com os depósitos do tipo *IOCG*, descritos na Província. Porém, é importante ressaltar que, além das semelhanças, existem também importantes diferenças. As principais semelhanças são:

(1) principais minerais de minério de cobre ocorrem como sulfetos (calcopirita \pm bornita, calcocita, covelita, idaíta) associados a diferentes concentrações de Mo (molibdenita), Co (cobaltita ou glaucodoto), Ni (pentlandita), As (safflorita e clinossafflorita) além de sulfetos de Fe (pirita e pirrotita) e ouro nativo.

(2) Os minerais de minério estão hospedados em rochas das sequências Vulcano-Sedimentares do tipo *Greenstone Belts*.

(3) O minério ocorre disseminado, em veios e brechas.

(4) Os principais minerais de ganga são quartzo, clorita, biotita e turmalina, além de allanita (ETR), apatita (P) e minerais com enriquecimento em cloro e urânio, observados como fortes anomalias desse elemento em análises litogeoquímicas do dique tonalítico mineralizada a Cu e Mo.

(5) A maioria dos depósitos apresenta associação com rochas intrusivas (félsicas ou máficas) descritas como principais fontes de calor para o processo de mineralização.

(6) Os depósitos estão associados às zonas de cisalhamento Carajás ou Cinzento, caracterizadas também como condutos para os fluidos mineralizantes e principais mecanismos de remobilização dos metais, registrada em idades isotópicas em torno de 2,41 Ga (Pb/Pb, em calcopiritas, monazitas, e Sm/Nd em rocha total) e idades Re/Os em molibdenita, de 1,88 Ga, e Sm/Nd, em torno de 1,88 Ga e 1,71 Ga.

As diferenças entre a ocorrência do Alvo RN4 e os depósitos tipo *IOCG* descritos no Cinturão Itacaiúnas são:

(1) Ausência de níveis ou concentrações de óxidos de ferro, magnetita e/ou hematita.

(2) A apatita (P) ocorre apenas localmente.

(3) Ausência de metassomatismo potássico e/ou sódico-cálcico. Entretanto, na sul da área mapeada, fora da zona mineralizada, foi identificada a presença de alteração sódica representada por escapolita (marialita) e albita.

**Tabela 3.09 – Principais características dos depósitos Salobo, Gameleira, Breves, Serra Verde e a ocorrência de Cu, Au (Mo, Co) estudada.**

	Salobo	Gameleira	Breves	Serra Verde	Ocorrência Estudada
Tipo de Depósito	IOCG	IOCG	Híbrido	Tipo Besshi (VMS)	?
Idades das Mineralizações	Re/Os = 2576±8 Ma	Re/Os = 2614±14 Ma (Marschik <i>et al.</i> 2005)	<i>IOCG</i>	Singênético(ca. 2760 Ma)	Sm/Nd = 2405±410 Ma(?)
Remobilização		Sm/Nd = 1839±15 Ma e 1839±15 Ma	<i>Intrusion Related-Greisen-1872±7 Ma (Xenotima-monazita-Tallarico et al. 2004)</i>	Re/Os = 2609±13 Ma (Mo)	Re/Os = 1883±9 Ma (Mo) e Sm/Nd = 1729 ± 420 Ma
Contexto Estrutural	Zona de cisalhamento Cinzento	Zona de cisalhamento Carajás		Zona de cisalhamento Carajás	Zona de cisalhamento Cinzento
Rochas Hospedeiras	Anfibolito do Grupo Salobo	Metagabro e Meta-andesito (Bt xisto Grt-bt xisto)-Grupo Salobo	Bt-granito (Breves) e Metavulcânicas do Grupo Igarapé-Bahia	Anfibolito do Grupo Rio Novo	Biotita xisto e Clorita xisto do Grupo Rio Novo
Intrusões Associadas	Velho Salobo (U/Pb-2573±2 Ma) e Novo Salobo (Rb/Sr-1880±80 Ma)	Granito Pojuca, Tipo-A (ca. 1870 Ma)	Granito Breves, Tipo-A (ca. 1879 Ma)	Granito Estrela, Tipo-A(ca. 2760 Ma)	Granito Cigano, Tipo-A (ca. 1883 Ma)
Estilo de Mineralização	Lentes e corpos maciços-NW-SE(paralelos a falha)	Veios de qz+grt e brechas	Disseminados, veios e brechas	Disseminados e lentes de sulfetos maciços	Disseminados, veios e brechas
Associações de Sulfetos de Fe-Cu	Ccp+Bn+Cc	Ccp+Bn	Ccp+Py+Po	Ccp+Py+Po±(Sp+Cubanita+mackinawita)	Ccp+Py+Po
Ocorrência de Au-Ag-Bi-W-Sn	Au	Au	Au, Bi, Bismutita, Wolframita, Cassiterita, Schellita	Au	Au
Ocorrência Mo	Molibdenita	Molibdenita	Molibdenita	Molibdenita	Molibdenita
Ocorrência As-Co	Cobaltita, Safflorita	Cobaltita, Co-Pentlandita	Glaucodoto, Safflorita, Arsenopirita		Glaucodoto, Clinossafflorita, Co-Pentlandita
Associação com óxidos/silicatos de Fe	Magnetita+Grunerita±Hematita	Magnetita+Grunerita±Hematita		±Magnetita	±Hematita
Enriquecimento U-Th	Uraninita, Zircão	Uraninita	Uraninita, Monazita e Xenotima		Zircão
Enriquecimento ETR-L	Allanita	Allanita	Allanita		Allanita
Minerais com F-Cl	Apatita, fluorita	Apatita, fluorita	Apatita, fluorita	Fluorapatita	Apatita
Minerais da Ganga	Qz+Cal+Fe-Chl+Bt+KF+Alm+Tur	Bt+Alm+Qz+Ab+Tur±(Ttn+Scp+Cab)	Qz+Ms+Chl+Tur+Cab	Qz+Mg-Hbl+Ilm	Qz+Chl+Tur±(Ep+Ap+Ms+Bt)
Tipos de Alterações Associadas	Na, K e Fe	K	K + fengítica-clorítica	propilitização+Qz+Tur+Amph±(K+Ab)	Qz
Fluido Mineralizante		Magmático	Fluidos Aquosos		?
Fontes de Calor	Velho Salobo	Granito Pojuca, Tipo-A	Granito Breves, Tipo-A	Vulcano-exalativo	Granito Cigano, Tipo-A
Referencia	Requia <i>et al.</i> , 2003	Pimentel <i>et al.</i> , 2003	Botelho <i>et al.</i> , 2005	Reis & Villas, 2002	Este trabalho

Segundo Williams *et al.* (2005), as cinco principais características que definem um depósito do tipo Óxido de Fe, Cu-Au (*IOCG*) são: (1) cobre é o principal metal com potencial econômico com ou sem a presença de ouro, (2) a mineralização apresenta forte caráter hidrotermal e controle tectônico, (3) abundância de magnetita e/ou hematita, (4) óxidos de Fe com alta razão Fe/Ti, geralmente maiores que a média da crosta e de rochas ígneas, e (5) não apresenta relação espacial com rochas intrusivas, assim como observado nos depósitos tipo pórfiro e *skarn*. Além disso, outras características importantes nos depósitos tipo *IOCG* são o enriquecimento em diversos elementos, com várias combinações entre F, P, Co, Ni, As, Mo, Ag, Ba, ETRL e U, e a sua ocorrência do arqueano (PMC) ao recente.

Williams *et al.* (2005) dividem os depósitos tipo *IOCG* em dois grupos segundo a principal fonte de fluidos: como magmático e não magmático. Os depósitos associados a fluidos não-magmáticos são, por sua vez, divididos em fluidos predominantemente meteóricos ou sedimentares e fluidos metamórficos (Figura 3.27).

Nos depósitos tipo *IOCG* formados por fluidos predominantemente meteóricos ou sedimentares, os minerais de óxido de Fe, magnetita e/ou hematita, precipitam-se no início da mineralização a partir de fluidos de alta temperatura associados ou não a Cu. Nos depósitos com predominância de fluidos metamórficos, a ocorrência de óxidos de Fe é relativamente restrita, em comparação com os outros depósitos.

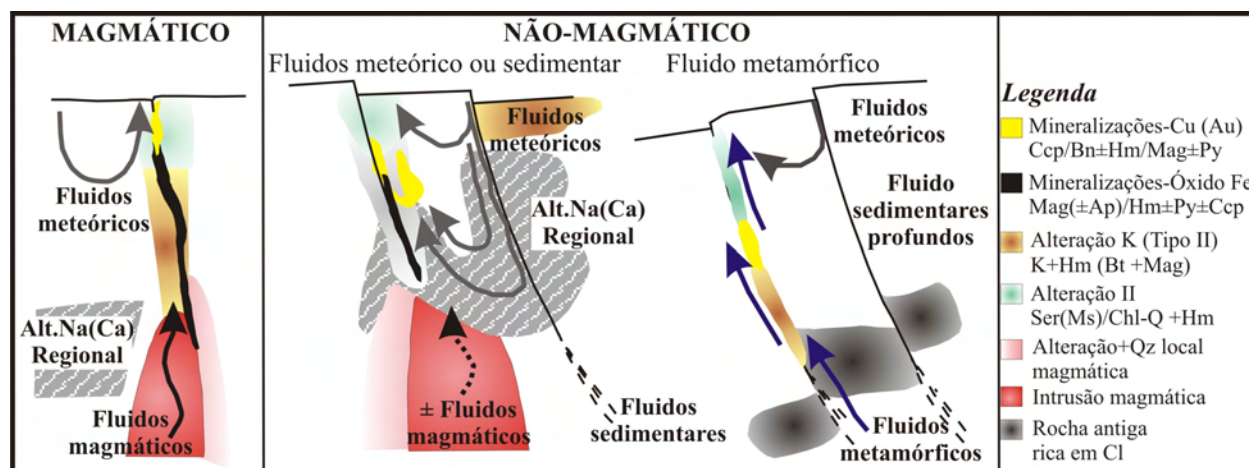


Figura 3.27 - Figura esquemática das características hidrotermais e percolação dos diferentes tipos de fluidos com predominância de fluidos magmáticos e não magmáticos para depósitos tipo *IOCG* (Barton & Johnson, 2004).

Com base nas afirmações feitas por Williams *et al.* (2005), a ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) do Alvo RN4 apresenta semelhança com depósitos tipo *IOCG*, caracterizados por predominância de fluidos metamórficos, salvo pela ausência, ao nível de conhecimento atual, de



concentrações de óxidos de Fe e de zonas com alterações K e Na(Ca) importantes. Sendo assim, é inviável, no atual estágio de conhecimento, a classificação da ocorrência como depósito do tipo *IOCG*.

O estabelecimento de um modelo genético único para o alvo-RN4, fica restrito à mineralização disseminada, caracterizada aqui como precoce e classificada como do tipo Cu-Au (Mo-Co) desenvolvida em zona de cisalhamento.

Capítulo 4

CONCLUSÕES FINAIS

Os estudos geológicos, estruturais, petrográficos e geoquímicos realizados nas rochas do Grupo Rio Novo e na ocorrência de Cu-Au (Mo-Co) nele hospedada, no domínio do Granito Cigano em Carajás, contribuíram para um melhor entendimento das rochas hospedeiras e também para o desenvolvimento de uma possível proposta de modelo genético para esta ocorrência no Alvo RN-4. A seguir, estão descritas as principais conclusões obtidas neste trabalho.

- As rochas aflorantes do Grupo Rio Novo no domínio do Granito Cigano, como formação ferrífera, anfíbolito e xistos, apresentam semelhanças com rochas hospedeiras do depósito Serra Verde (Reis 2000) e como encaixantes do Granito Estrela Barros *et al.*, (1997), ambos localizados a sudeste da área estudada.
- Por meio de descrições petrográficas e estudos geoquímicos, foi sugerido que as rochas do Grupo Rio Novo apresentam paragênese metamórfica termal na fácies xisto verde e localmente na fácies anfíbolito. Esta sugestão é reforçada por dados termométricos entre plagioclásio e hornblenda do anfíbolito, pela alta concentração de titânio na biotita do biotita xisto e pela paragênese antofilita-cordierita, descrita na literatura como fácies metamórfica termal de médio grau.
- Com base nos padrões litogeoquímicos de ETR e HFSE com anomalia negativa em Ta e Nb e nas relações de campo observadas, é provável que o protólito da ferro-antofilita cordieritito seja o anfíbolito anteriormente hidrotermalizado.
- As rochas do Alvo-RN4 foram submetidas a três fases deformacionais. As duas primeiras foram associadas ao evento tectonometamórfico que ocorreu entre 2,7 Ga e 2,5 Ga, caracterizado pelo desenvolvimento das zonas de cisalhamento Carajás e Cinzento e também registrado na idade Sm-Nd apresentada pelo anfíbolito (2405 ± 410 Ma). A última fase foi associada ao evento tectonometamórfico caracterizado pela reativação das zonas de cisalhamento Cinzento e Carajás, e pela colocação de granitos anorogênicos,

registrado na área de estudo, pela idade Sm-Nd dos xistos (1980 ± 130 Ma) localizados na borda do granito Cigano (1,88 Ga).

- A ocorrência de Cu, Au (Mo, Co) está situada na terminação leste da zona de cisalhamento Cinzento (ENE-WSW), mais precisamente sobre o rabo de cavalo compressivo Serra Pelada, e está diretamente associada ao último evento tectonometamórfico regional (1,9 Ga a 1,0 Ga) responsável pela reativação destas falhas. Esta ocorrência não apresenta controle litológico, estando assim hospedada nos xistos e anfibolito cloritizado descritos nos três furos de sonda estudados.
- Os principais minerais de minério do Alvo-RN4 são sulfetos, como pirita, calcopirita, pirrotita e como acessórios pentlanditas, glaucodoto, molibdenita e ouro, e os principais minerais da ganga são quartzo e clorita. Estes sulfetos estão dispostos em três tipos principais de associações. A primeira associação é representada por sulfetos disseminados, hospedados entre os planos da foliação Sn (NE-SW a ENE-WSW), a qual define a xistosidade da rocha hospedeira. A segunda associação é representada por veios e lentes centimétricos, paralelos e discordantes de Sn, e a terceira associação é representada por brechas centimétricas a decimétricas, que cortam discordantemente as rochas hospedeiras.
- A provável fonte para os metais estudados no Alvo RN-4 foi definida por dados litogeoquímicos e de química mineral, associados ao contexto geológico da área, os quais sugerem que a maioria desses metais estudados, como cobre, cobalto, níquel, ouro e traços de platina, sejam provenientes da remobilização de concentrações prévias desses metais existentes em rochas do Grupo Rio Novo, máficas ou derivadas de protólito máfico.
- A remobilização desses metais foi correlacionada a reativação do sistema de falhas Cinzento, que serviram como condutos para estes fluidos e também ao alojamento do granito Cigano, pois é provável que o mesmo tenha sido a principal fonte de calor para a circulação de fluidos mineralizantes. Esta correlação é reforçada por resultados de dados isotópicos Re-Os em molibdenitas em torno de 1882 Ma e análises em rocha total Sm-Nd de xistos mineralizados e estéreis, as quais formaram uma isócrona com idade aproximada de 1729 Ma, ou seja, idade próxima da cristalização do Granito Cigano (~1,88 Ga).
- As características descritas para a ocorrência de Cu-Au (Mo-Co), como rochas hospedeiras, controle estrutural, intrusões associadas, estilo da mineralização e minerais

de minério são semelhantes às características descritas para os depósitos tipo *IOCG* da PMC. Porém, a ausência de fases ricas em óxidos de ferro e de alterações potássicas e sódico-cálcicas associadas à mineralização impossibilitam a classificação da ocorrência no Alvo RN-4 como *IOCG*.

A superposição de eventos mineralizadores impede o estabelecimento de um modelo genético único para o alvo-RN4. O evento mineralizador mais importante e mais precoce deu origem à mineralização disseminada de Cu-Au (Mo-Co), desenvolvida em zona de cisalhamento e associada a intrusões graníticas, representadas pelos granitos Estrela e/ou Igarapé Gelado. Os demais eventos atuaram apenas como remobilizadores do minério disseminado.

Referências Bibliográficas

- Amaral E. V., Farias N. F., Saueressig R., Viana A. Jr, Andrade V. L. L. 1988. Jazida de Cobre Salobo 3A e 4A, Serra dos Carajás, Pará. *In: Schobenhau C., Coelho C. E. S. (coord). Principais Depósitos Minerais do Brasil, 3*, DNPM, Brasília, p.: 43-54.
- Araújo O. J. B., Maia R. G. N., Xafi J. J. S., Costa J. B. S. 1988. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. *In: VII Congresso Latino–Americano de Geologia*, p. 324–333.
- Avelar V. G., Lafon J. M., Scheller T., Araújo O.J. B., Macambira E. M. B. 1994. Geocronologia Pb-Pb por evaporação de zircão e Rb-Sr em rocha total do Granito Seringa, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Boletim de resumo expandido, 2*, 287-389.
- Barros C. E. M., Dall’Agnoli R., Barbey P., Boullier A. M. 1997. Geochemistry of the Estrela Granite Complex, Carajás region, Brazil: an exemple of an Archean A-type granitoid. *Journal of South American Sciences, 10*: 321-330.
- Barros C. E. M., barbey P. 2000. Carajás Mining Province: Shear Belt or Plutono-metamorphic belt?. *In: SBG, 31º International Geological Congress, Rio de Janeiro, Abstract volume, CD-ROM.*
- Barros C. E. M., Barbey P., Boullier A. M. 2001. Role of magma pressure, tectonic stress and crystallization progress in the emplacement of syntectonic granites. The A-type Estrela Granite Complex (Carajás Mineral Province, Brazil). *Tectonophysics, 343*: 93–109.
- Barton P. B. Jr. & Bethke P. M. 1987. Chalcopyrite disease in sphalerite: pathology and epimiology. *American Mineraogist, 72*: 451-467.
- Barton M. D. & Johnson, D. A., 2004. Footprints of Fe-oxide(-Cu-Au) systems. *In: SEG, Predictive Mineral Discovery Under Cover, Centre for Global Metallogeny, Spec. Pub. 33*, The University of Western Australia, p.: 112-116.
- Beisiegel V. R., Bernardelli A. L., Drummond N. F., Ruff A. W., Tremaine J. W. 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Rev. Bras. Geol., 3(4)*:215-242. *In: Lobato L. M., Rosière C. A., Silva R. C. F., Zucchetti M., Seoane J. C. S., Rios F. J., Pimentel M. M., Mendes G. E., Monteiro A. M. 2005. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – Controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da*

- província. In: O. J. Marini, E. T. Queiroz, B. W. Ramos (eds.) *Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia*. DNPM, CT-Mineral, ADIMB, p.: 25-92.
- Bernier L., Pouliot G., MacLean W. H., 1987. Geology and Metamorphism of the Montauban North Gold Zone: A Metamorphosed Polymetallic Exhalative Deposit, Grenville Province, Quebec. *Economic Geology*, **82**: 2076-2090.
- Botelho N. F., Moura M. A., Teixeira L. M., Olivo G. R., Cunha L. M., Santana M. U. 2005. Caracterização geológica e metalogenética do depósito de Cu (Au, W, Mo, Sn) Breves, Carajás. In: O. J. Marini, E. T. Queiroz, B. W. Ramos (eds.) *Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia*. DNPM, CT-Mineral, ADIMB, p.: 339-389.
- Bucher K. & Frey M. 1994. *Petrogenese of Metamorphic Rocks*. Complete Revision of Winkler's Textbook, 6th edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Verlag, 318p.
- Coelho C. E. S., Rodrigues O. B. 1986. Jazida de manganês do azul, Serra dos Carajás, Pará. In: Schobbenhaus C, Coelho, CES (coords) Principais depósitos minerais do Brasil, Brasília, DNPM/CVRD, **2**, p.: 145–152.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) 2004. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas – SIG e Mapas na escala 1:1.000.000. SB-22 Folha Araguaia*. CD-ROM.
- Condie K. C. 1989. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: Identification and significance. *Lithos*, **23**: 1-18.
- Cordeiro A. A. C., Silva A. V 1986. Depósito de wolframita da região de Pedra Preta, Pará In: Schobbenhaus C, Coelho, CES (coords) Principais depósitos minerais do Brasil, Brasília, DNPM/CVRD, **2**, p.: 409–415.
- Costa J. B. S. & Siqueira J. B. 1990. Transtração e transpressão ao longo do lineamento Cinzento (Região da Serra dos Carajás). *Rev. Bras. Geol.*, **20**: 243-238.
- Czamanske G. K. & Mihálik P. 1972. Oxidation During Magmatic Differentiation, Finnmarka Complex, Oslo Area, Norway: Part 1, The Opaque Oxides. *Journal of Petrology*, **13**: 493-509.
- Dall'Agnoll R., Lafon J. M., Macambita M. J. B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineral Petrology*, **50**: 113-138.

- Dall'Agnol R., & Oliveira D. C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**: 215-233.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J.(eds.) 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Second Edition, Hong Kong Printing Press Ltd.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J.(eds.) 1994. *Rock-Forming Minerals - Disilicates and Ring Silicates*. Second Edition **1B**, The Geological Society, London, 629 p.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1997. *Rock-Forming Minerals – Double-Chain Silicates*. Second Edition **2B**, The Geological Society, London, 764 p.
- DePaolo D.J. 1981. A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular ranges, California. *Journal of Geophysical Research*, **86**: 10470–10488.
- Dias G. S., Macambira M. J. B., Dall'Agnol R., Soares A. D. V., Barros C. E. M. 1996. Datação de zircões de *Sill* de metagabro: comprovação da idade arqueana da Formação Águas Claras, Carajás, Pará. *In*: SBG, V Simpósio de Geologia da Amazônia, p. 376–379.
- DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração S.A.), 1988. Província Mineral de Carajás. Litoestratigrafia e principais depósitos minerais. *In*: SBG, 35 Congresso Brasileiro de Geologia, **165**.
- Eby G. N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, **20**: 641–644.
- Floyd P. A. & Winchester J. A. 1978. Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements. *Chemical Geology*, **21**: 291-306.
- Galarza M. A. & Macambira M. J. B. 2002. Geocronologia e evolução crustal da área do depósito de Cu-Au Gameleira, Província Mineral de Carajás (Pará), Brasil. *Geologia USP Série Científica*, **2**: 143-159.
- Galarza M. A., Macambira M. J. B., Villas R. N. 2008. Dating and isotopic characteristics (Pb and S) of the Fe oxide-Cu-Au-U-REE Igarapé bhaia ore deposit, Carajás Mineral Province, Pará state, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**: 377-397.

- Gioia S. M. C. L. & Pimentel M. M. 2000. The Sm-Nd Isotopic Method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **72(2)**: 219-245.
- Grainger C. J., Groves D. I., Costa C. H. C. 2002. The epigenetic sediment-hosted Serra Pelada Au-PGE deposit and its potential genetic association with Fe-oxide Cu-Au mineralisation within the Carajás Mineral Province, Amazon Craton, Brazil. *Society of Economic Geologists Special Publication*, **9**: 47-64.
- Grainger C. J., Groves D. I., Tallarico F. H. B., Fletcher I. R. 2008. Metallogensis of the Carajás Mineral Province, Southern Amazon Craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base- and precious-metal mineralization. *Ore Geology Reviews*, **33**: 451-489.
- Hawthorne F. C. & Henry D. J. 1999. Classification of the minerals of the tourmaline group. *European Journal of Mineralogy*, **11**: 201-215.
- Henry D. J. & Guidotti C. V. 2002. Titanium in biotite from metapelitic rocks: Temperature effects, crystal-chemical controls, and petrologic applications. *American Mineralogist*, **87**: 375-382.
- Henry D. J., Guidotti C. V., Thomson J. A. 2005. The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. *American Mineralogist*, **90**: 316-328.
- Hinchey A. M. & Carr S. D., 2007. Protolith composition of cordierite-gedrite basement rocks and garnet amphibolite of the Bearpaw Lake area of the Thor-Odin Dome, Monashee Complex, British Columbia, Canada. *The Canadian Mineralogist*, **45**: 607-629.
- Hirata W. K., Rigon J. C., Kadkaru K., Cordeiro A. A. C., Meireles E. M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: SBG, I Simp. Geol. Amaz., Belém, Boletim, p.: 100-110.
- Holdsworth R. E. & Pinheiro R. V. L. 2000. The anatomy of shallow crustal transpressional structures: insights from the Archean Carajás fault zone, Amazon, Brazil. *Journal of Structural Geology*, **22**: 1105-1123.

- Holland T., Blundy J., 1994. Non-ideal intersections in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **116**: 433-447.
- Huhn S. R. B. & Nascimento J. A. S. 1997. São os depósitos cupríferos de Carajás do tipo Cu-Au-U-ETR? In: Costa M. L., Angélica R. S. (Coord.) *Contribuições a Geologia da Amazônia*. SBG-NO, FINEP, Belém, p.: 143-160.
- ISOPLLOT 2003. Projected for Ludwig K. R., revised version: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[®], *Special Publication 4*, Berkeley Geochronological Center, Berkeley, (Canada).
- Kozak A. 1966. Multiple correlation coefficient tables up to 100 independent variables. Research notes from the files of the Faculty of Forestry. University of British Columbia. Vancouver, Canada.
- Leake B. E. 1965. The Relationship between tetrahedral aluminum and the maximum possible octahedral aluminum in natural calciferous and subcalciferous amphiboles. *The American Mineralogist*, **50**: 843-851.
- Leake B. E. 1965b. The Relationship between composition of calciferous amphibole and grade of metamorphism. In: Pitcher W. S. & Flinn G. W. (Eds.) *Control of metamorphism*. Geology Journal, Edinburgh, Oliver & Boyd, **1**: 299-318.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., maresch W. V., nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Youzhi G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *The Canadian Mineralogist*, **35**: 219-246.
- Lindenmayer Z. G., Pimentel M. M., Ronchi L. H., Althoff F. J., Laux J. H., Araújo J. C., Fleck A., Bartowski D. C., Nowatzki A. C., 2001. Geologia do depósito de Cu–Au de Gameleira, Serra dos Carajás, Pará. In: Jost, H., Brod, J.A., Queiroz, E.T. (Eds.), *Caracterização de Depósitos Auríferos Brasileiros ADIMBDNPM*, Brasília, p.: 79–139.
- Lobato L. M., Rosière C. A., Silva R. C. F., Zucchetti M., Seoane J. C. S., Rios F. J., Pimentel M. M., Mendes G. E., Monteiro A. M. 2005. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás – Controle estrutural e contexto na evolução metalogenética

- da província. In: O. J. Marini, E. T. Queiroz, B. W. Ramos (eds.) *Caracterização de Depósitos Minerai s em Distritos Mineiros da Amazônia*. DNPM, CT-Mineral, ADIMB, p.: 25-92.
- London D., Morgan G. B., Wolf M. B. 1997. Boron in granitic rocks and their contact aureolas. In: E. S. Grew & L. M. Anovitz (eds.) *Boron: mineralogy, petrology and geochemistry*. Reviews in Mineralogy, 33, Mineralogical Society of America, p.: 559-644.
- Macambira M. J. B. & Lancelot J. 1996. Time constraints of the Archean Rio Maria crust, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Int. Geol. Rev.*, **38**: 1134-1142.
- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T. E., Lindenmayer D. 1991. U–Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329–354.
- MacLean W. H. & Kranidiotis P. 1987. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, **82**: 951-962.
- MacLean W. H. & Barrett T. J. 1993. Lithochemical techniques using immobile elements. *Journal of Science Exploration*, **48**: 109-133.
- Markey R., Stein H. J., Hannah H. J. X., Selby D., Creaser R. A. 2007. Standardizing Re-Os geochronology: A new molybdenite Reference Material (Henderson, USA) and the stoichiometry of Os salts. *Chemical Geology*, **244**: 74-87.
- Marschik R., Mathur R., Ruiz J., Leveille R. A., Almeida A. J. 2005. Late Archean Cu-Au-Mo mineralization at Gameleira and Serra Verde, Carajás Mineral Province, Brazil: constraints Re-Os molybdenite ages. *Mineralium Deposita*, **39**: 983-991.
- McDonough W. F., Sun S. S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, **120**: 223-253.
- Meireles E. M., Silva A. R. B. 1988. Depósito de ouro de Serra Pelada, Marabá, Para. In: Schobbenhaus C, Coelho CES (eds) *Principais Depósitos Minerai s do Brasil*. DNPM/CVRD, **3**, Brasília, p.: 547–557.
- MINPET 1996. Projected for Richard L. R, version 2.02: mineralogical and petrological data processing system for Windows. Quebec (Canada).

- Monteiro L. V. S., Xavier R. P., Carvalho E. R., Hitzman M. W., Johnson G. A., Filho C. R. S., Rorresi I. 2008. Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sossego iron oxide-copper-gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil: paragenesis and stable isotope constraints. *Miner. Deposita*, **34**: 317-336.
- Nachit H. 1986. Contribution à l'étude analytique et expérimentale des biotites des granitoïdes. Applications typologiques. Dissertação de Doutorado, Universidade da Bretanha Ocidental, p.: 92.
- Nogueira A. C. R., Truckenbrod W., Costa J. B. S., Pinheiro R. V. L. 1994. Análise faciológica e estrutural da Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás. In: SBG, IV Simpósio de Geologia da Amazônia, p. 363–364.
- Nogueira A. C. R., Truckenbrod W., Pinheiro R. V. L. 2000. Storm and tide-dominated siliciclastic deposits of the Archean Águas Claras Formation, Serra dos Carajás, Brazil. In: SBG, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, CD-ROM.
- Owen J. V., Greenough J. D. 2000. Petrology of Cosmacks Lake Complex, Newfoundland: decompressional reaction relations in cordierite+orthoamphibolite-bearing gneisses and associated rocks. *Mineralogical Magazine*. **64 (4)**: 711-724.
- Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindl A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**: 956-983.
- PETROGRAPH 2005. Projected for Petrelli M., Poli G., Perugini D., Peccerillo A., version beta 2. Petrograph: a new Software to visualize, model, and present geochemical data for Windows. Perugia (Itália). Disponível em <http://www.unipg.it/~maurip/SOFTWARE.htm>. Acessado em 3 fev 2008.
- Pidgeon R., Macambira M. J. B., Lafon J. M. 1998. Datação U-Pb de estruturas primárias e secundárias de zircões de granulitos do Complexo Pium, Província de Carajás, Pará. In: SBG, XL Cong. Bras. de Geol., *Anais*, p. 56.
- Pidgeon R. T., Macambira M. J. B., Lafon J.M. 2000. Th–U–Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for ages of granulite facies metamorphism and protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, **166**: 157–171.

- Pimentel M. M., Lindenmayer Z. G., Laux J. H., Armstrong R., Araújo, J. C. 2003. Geochronology and Nd isotope geochemistry of the Gameleira Cu–Au deposit, Serra dos Carajás, Brazil: 1.8– 1.7 Ga hydrothermal alteration and mineralization. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**: 803–813.
- Pinheiro R. V. L. & Holdsworth R. E. 1997. Reactivation of Archean strike-slip fault systems, Amazon region, Brazil. *Journal of the Geological Society*, **154**: 99–103.
- Reche J., Martínez F. J. 2008. Exhumation of HT-LP Variscan metapelites from interlayered cordierite-orthoamphibole assemblages (MnNCFMASH System) Catalan Coastal Ranges, NE Iberia. *Comptes Rendus Geoscience*. **340**: 288-297.
- Reis F. N. 2000. Origem e evolução do depósito de sulfetos de Serra Verde, Curionópolis (PA), com base em dados geológicos, petrográficos, mineralógicos e isotópicos de Pb. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências, Universidade Federal do Pará, 229 p.
- Reis F. N. & Villas R. N. 2002. Mineralização e alteração hidrotermal no depósito cupor-aurífero de Serra Verde, Província Mineral de Carajás. *Rev. Bras. de Geociências*, **32(1)**: 69-86.
- Requia K., Fontboté L. 1999. Hydrothermal alkali metasomatism in the Salobo iron oxide Cu (-Au) deposit, Carajás Mineral Province, northern Brazil. *Mineral deposits: processes to processing*, Balkema, Amsterdam, p.: 1025-1028.
- Requia K., Stein H., Fonboté L., Chiarada M. 2003. Re–Os and Pb–Pb geochronology in the Archean Salobo iron oxide copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, northern Brazil. *Mineralium Deposita*, **38**: 727–738.
- Rosière C. A., Baars F. J., Seoane J. C. S., Lobato L. L., Silva L. L., Souza S. R. C., Mendes G. E. 2006. Structure and iron mineralisation of the Carajás Province. *Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B)*, **115 (4)**: 126-133.
- Sardinha A. S., Barros C. E. M., Krymsky M. 2006. Geology, geochemistry and U Pb geochronology of the Archean (2.74Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Metalogenetic Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**: 327–339.
- Selby D. & Creaser, R.A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age

- determinations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **68**: 3897-3908.
- Souza S. R. B., 1996. Geocronologia e geoquímica isotópica da região do Igarapé-Bahia Pojuca, Serra dos Carajás. Dissertação de Mestrado, universidade Federal do Pará, 106p. *In*: Requia K., Stein H., Fonboté L., Chiarada M. 2003. Re–Os and Pb–Pb geochronology in the Archean Salobo iron oxide copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, northern Brazil. *Mineralium Deposita*, **38**: 727–738.
- Souza S. R. B., Macambira M. J. B., Scheller J. 1996. Novos dados geocronológicos para os granitos deformados do Rio Itacaiunas (Serra dos Carajás, PA); implicações estratigráficas. *In*: SBG, V Simpósio de Geologia da Amazônia, p.: 380–383.
- Suíta M. T. F. 1988. Geologia da área de Luanga com ênfase na petrologia do Complexo Básico-Ultrabásico Luanga e depósitos de cromita associados. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 281 p.
- Sun S. S., McDonough W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**:313-345.
- Tallarico F. H. B., Rego J. L., Olivera C. G., 1998. A mineralização de óxido de Fe (Cu–U–Au–ETR). *In*: SBG, 40 Congresso Brasileira Geologia, Belo Horizonte, p.: 116.
- Tallarico F. H. B., Oliveira C. G., Figueiredo B. R., 2000. The Igarapé Bahia Cu–Au mineralization, Carajás Province. *Revista Brasileira de Geociências* **30**: 230–233.
- Tallarico F. H. B., Coimbra C. R., Costa C. H. C., 2000b. The Serra Leste sediment-hosted Au–(Pd–Pt) mineralization, Carajás province. *Revista Brasileira de Geociências*, **30(2)**: 226-229.
- Tallarico F. H. B., McNaughton N. J., Groves D. I., Fletcher I. R., Figueiredo B. R., Carvalho J. B., Rego J. L., Nunes A. R. 2004. SHRIMP II U–Pb constraints on the age of the Breves Cu–Au–(W–Bi–Sn) mineralisation: evidence of Paleoproterozoic (1.88 Ga) metallogeny in the Carajás Copper–Gold Belt, Brazil. *Mineralium Deposita* **39**: 68–86.
- Tallarico F. H. B., Figueiredo B. R., Groves D. I., Kositsin N., McNaughton N. J., Fletcher I. R., Rego J. L. 2005. Geology and SHRIMP–Pb Geochronology of the Igarapé Bahia Deposit,

- Carajás Copper–Gold Belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of iron–oxide Cu–Au–(U–REE) mineralization. *Economic Geology*, **100**: 7–28.
- Taylor S. R. & McLennan S. M.(eds.) 1985. *The Continental Crust: its Composition and Evolution*. Blackwell (Oxford), 312 pp.
- Tassinari C. C. G., Macambira M. J. B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**: 174–182.
- Tassinari C. C. G, Mellito, K., Babinski M. 2003. Age and origin of the Cu (Au–Mo–Ag) Salobo 3A ore deposit, Carajás Mineral Province, Amazonian Craton, northern Brazil. *Episodes*, **26**: 2-9.
- Tolbert G. E., Tremaine J. W., Melcher G. C., Gomes C. B. 1971, The recently discovered Serra dos Carajás iron deposit, northern Brazil: *Economic Geology*, **66**: 985–994. In: Tallarico F. H. B., Figueiredo B. R., Groves D. I., Kositcin N., McNaughton N. J., Fletcher I. R., Rego J. L. 2005. Geology and SHRIMP–Pb Geochronology of the Igarapé Bahia Deposit, Carajás Copper–Gold Belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of iron–oxide Cu–Au–(U–REE) mineralization. *Economic Geology*, **100**: 7–28.
- Trendall A. F., Basei M. A. S., Laeter Jr., Nelson D. R. 1998. SHIRIMP U–Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, amazon Craton. *Journal of South American Sciences*, **11**: 265-277.
- Vaughan D. J. & Craig J. R. 1997. Sulfide ore mineral stabilities, morphologies, and intergrowth texture. In: Barnes H. L. (ed.), *Geochemistry of hydrothermal Ore Deposits*, 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., **8**, p.: 367-434.
- Vieira E. A. T., Conzalez M. G. B., Dall’Agnol R., Macambira M. J. B., Angelim E. P. V., Senta N. D. 1988. Geologia do Maciço Anorogênico Cigano, Vale do Rio Parauapebas – PA. In:SBG, XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, **3**: 1132-1146.
- Villas R. N. & Santos, M. D. 2001. Gold deposits of the Carajás mineral province: deposit types and metallogenesis. *Mineralium Deposita*, **36**: 300–331.
- Veneziani P., Santos A. R., Paradella W. R. 2004. A evolução tectono-estratigráfica da Província Mineral de Carajás: um modelo com base em dados de sensores remotos orbitais (SAR-C Radarsat-1, TM Landsat-5) Aerogeofísica e Dados de Campo. *Rev. Bras. Geol.*, **34** (1): 67-78.



-
- Weaver B. L. & Tarney J., 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature* **310**: 575–577.
- Web Mineral – Disponível em: <http://webmineral.com>. Acessado durante os anos de 2007 e 2008.
- Whalen J. B., Currie K. L., Chappell B. W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **95**: 407-419.
- Williams P. J, Barton M. D, Johnson D. A, Fontboté L, Haller A, Mark G, Oliver N. H. S., Marschik R. 2005. Iron oxide copper–gold deposits: geology, space–time distribution, and possible modes of origin. *Econ. Geol.*, **100th Anniversary Volume**: 371–406.
- Winchell A. N. 1933. Elements of Optical Mineralogy, Part II, Descriptions of Minerals, 3rd edition, John Wiley, New York.
- Winchester J. A. & Floyd P. A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, **20**: 325-343.
- Wolter H. U., Seifert F., 1984. Mineralogy and Genesis of cordierita-anthophyllite rocks from the sulfide deposit of Falun, Sweden. *Lithos*, **17**: 147-152.

ANEXO I - QUÍMICA MINERAL

Química Mineral - Feldspatos (Anfibolito)														
Amostras	Microclínio													Albita
	RN4-65-1	RN4-65-2	RN4-65-3	RN4-65-5	RN4-71-1	RN4-71-2	RN4-71-3	RN4-71-4	RN4-175A-1	RN4-206-1	RN4-142-1	RN4-142-2	RN4-206-2	RN4-65-4
SiO2	65,72	65,25	65,81	65,48	64,10	60,27	61,08	61,57	68,29	64,56	66,31	65,55	64,41	69,76
Al2O3	18,18	17,67	18,19	18,11	22,97	25,06	25,30	23,86	19,53	18,67	18,19	18,19	18,70	19,97
FeO	0,46	0,19	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,65	0,03	<0,01	<0,01	0,40	0,12
MnO	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
CaO	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,26	0,67	1,09	2,98	0,03	0,07	<0,01	<0,01	0,01	0,47
BaO	0,21	0,07	0,27	0,30	0,08	0,05	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,45	0,06	<0,01	<0,01
Na2O	0,72	0,22	0,26	0,26	9,63	6,12	7,49	7,87	8,25	3,53	0,25	0,04	0,00	12,80
K2O	16,53	16,26	16,54	16,55	1,78	5,38	3,30	2,14	6,91	11,98	16,83	16,77	16,75	0,11
Total	101,83	99,65	101,07	100,70	99,81	97,54	98,27	100,10	103,04	99,36	102,03	100,61	100,27	103,23
Si	11,99	12,10	12,05	12,05	11,35	11,02	11,02	10,98	11,90	11,89	12,06	12,05	11,91	11,87
Al	3,91	3,86	3,92	3,93	4,79	5,40	5,37	5,01	4,01	4,05	3,90	3,94	4,07	4,00
Fe2	0,07	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,25	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	0,06	0,02
Mn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ca	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,24	0,13	0,21	0,57	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09
Ba	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
Na	0,25	0,08	0,09	0,09	3,31	2,17	2,62	2,72	2,79	1,26	0,09	0,02	<0,01	4,22
K	3,85	3,85	3,87	3,89	0,40	1,26	0,76	0,49	1,54	2,82	3,91	3,93	3,95	0,03
Cátions	20,11	19,93	19,97	19,99	20,10	19,99	19,98	20,10	20,25	20,12	20,01	19,95	20,01	20,24
Ab	6,20	2,00	2,30	2,30	83,80	61,00	73,00	72,00	64,40	30,80	2,20	0,40	0,00	97,50
An	0,00	0,00	0,00	0,00	6,10	3,70	5,90	15,10	0,10	0,30	0,00	0,00	0,10	2,00
Or	93,80	98,00	97,70	97,70	10,20	35,30	21,10	12,90	35,50	68,90	97,80	99,60	99,90	0,60

Química Mineral - Feldspatos (Anfibolito)										Química Mineral - Feldspatos (Metanorito)				
Amostras	Albita				Plagioclásio					Plagioclásio				
	RN4-151B-1	RN4-151B-2	RN4-151B-3	RN4-151B-4	RN4-71-5	RN4-120-1	RN4-120-2	RN4-120-3	RN4-83B-1	RN4-83B-2	RN4-83B-3	RN4-83B-4	RN4-83B-5	
SiO2	70,59	70,74	70,62	70,49	61,66	50,72	54,32	53,24	49,96	51,24	55,21	51,57	52,98	
Al2O3	19,84	20,02	19,73	19,66	24,24	30,27	28,15	29,20	32,39	31,06	24,88	30,94	31,01	
FeO	0,13	<0,01	<0,01	<0,01	0,16	0,80	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,50	<0,01	0,11	
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	
CaO	0,08	0,17	0,22	0,08	5,52	13,17	11,13	12,20	15,15	13,74	10,96	13,07	13,20	
BaO	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,10	0,10	0,05	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	
Na2O	12,48	12,29	12,32	13,61	8,16	4,88	5,36	4,94	2,74	3,37	5,79	4,08	4,18	
K2O	0,07	0,08	0,07	0,05	0,11	0,16	0,15	0,19	0,03	0,07	0,03	0,07	0,09	
Total	103,19	103,31	102,95	103,90	99,88	99,99	99,21	99,86	100,32	99,48	98,40	99,77	101,58	
Si	11,97	11,98	12,00	11,93	10,94	9,29	9,89	9,67	9,08	9,35	10,21	9,38	9,46	
Al	3,96	3,99	3,95	3,92	5,07	6,53	6,04	6,25	6,93	6,67	5,42	6,63	6,52	
Fe2	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,23	<0,01	0,02	
Mn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Ca	0,01	0,03	0,04	0,02	1,05	2,58	2,17	2,37	2,95	2,69	2,17	2,55	2,53	
Ba	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Na	4,11	4,03	4,06	4,47	2,81	1,73	1,89	1,74	0,97	1,19	2,08	1,44	1,45	
K	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	
Cátions	20,10	20,05	20,06	20,34	19,93	20,32	20,05	20,09	19,94	19,91	20,12	20,02	20,00	
Ab	99,30	98,80	98,70	99,40	72,30	39,80	46,20	41,80	24,60	30,60	48,80	35,90	36,30	
An	0,30	0,80	0,90	0,30	27,00	59,30	53,00	57,10	75,20	69,00	51,00	63,70	63,20	
Or	0,40	0,40	0,40	0,20	0,60	0,90	0,80	1,10	0,20	0,40	0,20	0,40	0,50	

Química Mineral - Feldspatos (Xistos)														
Microclínio														
Amostras	RN4-3A-1	RN4-3A-2	RN4-3A-3	RN4-3A-4	RN4-3A-5	RN4-3A-6	RN4-3A-8	RN4-3A-9	RN9-91,09-1	RN9-91,09-2	RN9-91,09-3	RN9-91,09-4	RN9-91,09-5	RN9-91,09-6
SiO2	66,15	66,15	65,62	65,81	65,59	65,56	65,69	64,44	65,65	65,45	65,80	62,67	65,46	65,81
Al2O3	19,15	19,15	17,96	18,12	17,90	18,02	18,24	19,07	18,34	18,24	18,75	17,84	18,19	18,55
FeO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,24	<0,01	0,25	0,31	0,20	0,24	0,60	0,35
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,04	<0,01	0,02	<0,01	0,03	<0,01
CaO	0,28	0,02	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,32	0,10	0,01	0,02
BaO	0,15	0,06	0,28	0,15	0,22	0,07	0,15	0,40	0,33	0,33	0,20	0,27	0,35	0,36
Na2O	7,00	0,15	0,34	0,89	0,04	0,34	0,45	0,04	0,75	0,53	2,83	2,33	0,98	1,75
K2O	5,68	16,54	16,64	16,42	16,47	16,71	15,66	15,97	15,56	15,93	12,89	13,30	15,12	14,21
Total	98,41	102,07	100,84	101,41	100,22	100,69	100,47	99,92	100,91	100,79	101,00	96,74	100,73	101,04
Si	11,96	11,97	12,06	12,03	12,10	12,06	12,05	11,92	12,02	12,02	11,94	11,93	12,01	11,99
Al	4,08	4,08	3,89	3,90	3,89	3,90	3,94	4,16	3,96	3,95	4,01	4,00	3,93	3,98
Fe2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	0,04	0,05	0,03	0,04	0,09	0,05
Mn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ca	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,02	0,00	<0,01
Ba	0,01	<0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03
Na	2,45	0,05	0,12	0,32	0,01	0,12	0,16	0,01	0,27	0,19	1,00	0,86	0,35	0,62
K	1,31	3,82	3,90	3,83	3,88	3,92	3,67	3,77	3,63	3,73	2,98	3,23	3,54	3,30
Cátions	19,89	19,93	20,02	20,10	19,91	20,01	19,89	19,92	19,97	19,98	20,05	20,13	19,98	20,00
Ab	64,20	1,30	3,00	7,60	0,30	3,00	4,20	0,30	6,80	4,80	24,60	20,90	8,90	15,70
An	1,40	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,50	0,10	0,10
Or	34,30	98,60	96,90	92,30	99,60	97,00	95,80	99,70	93,20	95,20	73,80	78,60	91,00	84,20

Química Mineral - Feldspatos (Xistos)														
Microclínio														
Amostras	RN9-95,50-1	RN9-95,50-2	RN9-95,50-3	RN9-95,50-4	RN9-99,86-1	RN9-99,86-2	RN9-99,86-3	RN9-99,86-4	RN9-99,86-5	RN9-99,86-6	RN9127,44-1	RN9127,44-2	RN9-133,53-1	RN9-230,40-1
SiO2	61,89	65,75	61,77	62,82	66,32	61,11	66,01	64,02	64,55	66,62	49,87	51,82	64,40	52,22
Al2O3	20,80	18,03	23,25	19,96	18,65	21,19	21,00	18,18	18,01	22,18	36,59	34,58	17,63	32,18
FeO	1,50	0,19	0,85	1,17	0,47	0,56	0,64	0,28	0,03	0,17	0,85	0,97	0,13	3,12
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,07
CaO	0,01	<0,01	1,12	0,00	0,03	1,12	1,69	0,11	0,05	0,98	0,17	<0,01	<0,01	0,05
BaO	0,04	0,01	0,03	0,12	0,29	0,03	<0,01	0,12	0,12	0,12	0,08	<0,01	0,12	0,07
Na2O	0,42	0,74	7,64	0,35	2,14	1,36	9,12	0,98	0,46	9,63	2,05	1,03	1,54	1,46
K2O	14,44	15,88	2,89	15,09	14,02	13,03	0,54	14,75	15,66	0,94	7,11	8,38	15,07	9,50
Total	99,10	100,61	97,56	99,51	101,91	98,39	99,01	98,46	98,87	100,53	96,72	96,78	98,89	98,66
Si	11,53	12,06	11,23	11,69	11,98	11,43	11,69	11,98	12,04	11,60	9,24	9,58	12,04	9,72
Al	4,56	3,90	4,98	4,37	3,97	4,67	4,38	4,01	3,96	4,55	7,99	7,53	3,88	7,06
Fe2	0,23	0,03	0,13	0,18	0,07	0,09	0,10	0,04	0,00	0,03	0,13	0,15	0,02	0,49
Mn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Ca	<0,01	0,00	0,22	<0,01	0,01	0,23	0,32	0,02	0,01	0,18	0,03	<0,01	<0,01	0,01
Ba	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01
Na	0,15	0,26	2,69	0,12	0,75	0,49	3,13	0,36	0,17	3,25	0,74	0,37	0,56	0,53
K	3,43	3,72	0,67	3,58	3,23	3,11	0,12	3,52	3,73	0,21	1,68	1,98	3,59	2,26
Cátions	19,98	19,97	19,95	19,98	20,04	20,03	19,74	19,95	19,93	19,84	19,97	19,81	20,10	20,13
Ab	4,30	6,60	75,20	3,30	18,80	12,90	87,60	9,10	4,20	89,20	30,10	15,70	13,40	18,80
An	0,10	0,00	6,10	0,00	0,10	5,90	9,00	0,50	0,30	5,10	1,40	0,00	0,00	0,40
Or	95,70	93,30	18,70	96,70	81,10	81,30	3,40	90,30	95,50	5,70	68,50	84,30	86,60	80,80

Química Mineral - Feldspatos (Xistos)														
Amostras	Microclínio									Albita				
	RN9-230,40-3	RN9-243,82-1	RN9-243,82-3	RN9-243,82-4	RN9-243,82-5	RN-10189,94-1	RN-10189,94-2	RN-10189,94-3	RN-10189,94-4	RN4-1A-1	RN4-3A-7	RN9-216,50B-1	RN9-216,50B-2	RN9-243,82-6
SiO2	64,36	66,72	65,06	65,07	65,48	64,76	62,58	66,43	67,57	68,73	70,31	66,54	66,54	68,62
Al2O3	18,72	22,02	18,45	18,53	18,61	19,22	23,47	18,94	22,82	20,43	19,37	19,63	19,63	19,48
FeO	0,89	<0,01	1,26	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2,32	2,32	<0,01
MnO	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,04	<0,01
CaO	0,03	1,53	0,01	0,18	0,03	0,24	0,95	0,04	0,42	1,17	0,10	0,45	0,45	0,72
BaO	1,13	0,17	0,29	0,43	0,18	0,06	<0,01	0,17	<0,01	<0,01	0,01	0,11	0,11	<0,01
Na2O	1,07	10,00	0,86	0,17	0,65	5,90	7,85	1,33	10,46	11,17	13,36	11,26	11,26	12,83
K2O	14,44	0,95	16,22	15,49	16,45	7,85	4,23	14,82	2,07	0,27	0,05	0,07	0,07	0,08
Total	100,66	101,39	102,15	99,86	101,40	98,02	99,09	101,71	103,34	101,78	103,21	100,42	100,42	101,73
Si	11,86	11,58	11,88	12,01	11,97	11,88	11,25	12,00	11,54	11,83	11,97	11,72	11,72	11,87
Al	4,06	4,50	3,97	4,03	4,01	4,15	4,97	4,03	4,59	4,14	3,88	4,07	4,07	3,97
Fe2	0,14	<0,01	0,19	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,34	0,34	<0,01
Mn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Ca	0,01	0,29	<0,01	0,04	0,01	0,05	0,18	0,01	0,08	0,22	0,02	0,09	0,09	0,13
Ba	0,08	0,01	0,02	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Na	0,38	3,37	0,30	0,06	0,23	2,10	2,74	0,46	3,46	3,73	4,41	3,85	3,85	4,30
K	3,40	0,21	3,78	3,65	3,84	1,84	0,97	3,41	0,45	0,06	0,01	0,02	0,02	0,02
Cátions	20,07	19,96	20,19	19,85	20,07	20,01	20,11	19,93	20,12	19,98	20,30	20,18	20,18	20,30
Ab	10,10	87,20	7,40	1,70	5,70	52,70	70,30	11,90	86,80	93,20	99,30	97,40	97,40	96,60
An	0,10	7,40	0,00	0,90	0,20	1,20	4,70	0,20	1,90	5,40	0,40	2,20	2,20	3,00
Or	89,70	5,40	92,50	97,40	94,10	46,10	24,90	87,90	11,30	1,40	0,20	0,40	0,40	0,40

Química Mineral - Feldspatos (Xistos)							Química Mineral - Feldspatos (Diques graníticos)						
Amostras	Albita			Plagioclásio			Microclínio				Albita		
	RN9-243,82-7	RN9-248,26-1	RN9-248,26-2	RN9-248,26-3	RN9-248,26-4	RN9-243,82-2	RN8-48,05-4	RN8232,71-1	RN9-84,86-2	RN9-84,86-3	RN9-158,40-1	RN8-48,05-1	
SiO2	66,98	94,59	70,58	69,70	69,35	63,40	65,37	65,71	65,33	65,70	59,14	68,18	
Al2O3	19,46	3,22	19,95	19,45	19,49	23,19	18,21	18,14	17,94	18,36	23,26	19,29	
FeO	<0,01	0,47	0,07	0,04	0,10	<0,01	<0,01	0,09	0,12	0,06	0,32	0,01	
MnO	<0,01	0,02	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
CaO	0,45	0,09	0,19	0,32	0,52	4,44	0,01	0,04	0,01	0,09	0,36	0,05	
BaO	0,14	0,00	0,04	0,12	0,13	<0,01	0,42	0,09	0,25	<0,01	<0,01	0,23	
Na2O	11,94	3,76	12,45	12,90	11,16	9,47	0,44	1,04	0,24	0,92	6,80	10,88	
K2O	0,39	0,03	0,06	0,05	0,11	0,21	16,42	15,14	16,30	15,00	3,87	0,92	
Total	99,36	102,19	103,34	102,63	100,86	100,71	100,93	100,25	100,18	100,13	93,74	99,56	
Si	11,86	15,20	11,96	11,94	12,01	11,16	12,02	12,06	12,07	12,05	11,19	12,00	
Al	4,06	0,61	3,98	3,92	3,98	4,80	3,94	3,92	3,90	3,97	5,18	4,00	
Fe2	<0,01	0,06	0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	<0,01	
Mn	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Ca	0,09	0,02	0,04	0,06	0,10	0,84	<0,01	0,01	0,00	0,02	0,07	0,01	
Ba	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,03	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,02	
Na	4,10	1,17	4,09	4,29	3,75	3,23	0,16	0,37	0,09	0,33	2,50	3,71	
K	0,09	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	3,85	3,55	3,84	3,51	0,93	0,21	
Cátions	20,21	17,08	20,10	20,25	19,89	20,08	20,04	19,94	19,96	19,88	19,93	19,97	
Ab	96,00	98,20	98,80	98,40	96,90	78,50	3,90	9,50	2,20	8,50	71,30	94,50	
An	2,00	1,30	0,80	1,30	2,50	20,30	0,00	0,20	0,10	0,40	2,10	0,30	
Or	2,10	0,50	0,30	0,30	0,60	1,20	96,00	90,40	97,70	91,00	26,70	5,30	

Química Mineral - Feldspatos (Diques graníticos)												
Amostras	Albita								Plagioclásio			
	RN8-48,05-2	RN8-48,05-3	RN9-246,60-1	RN9-246,60-2	RN9-246,60-3	RN9-246,60-4	RN9-246,60-5	RN9-246,60-6	RN4-1B-1	RN4-1B-2	RN8232,71-2	RN9-84,86-1
SiO ₂	70,43	69,73	69,83	67,85	69,45	69,53	69,54	65,96	61,05	60,74	66,00	58,69
Al ₂ O ₃	19,62	19,58	19,86	20,76	19,54	19,66	19,80	20,22	24,73	26,38	22,04	26,63
FeO	0,05	0,04	0,07	0,07	0,09	0,04	0,13	0,10	<0,01	<0,01	0,02	1,60
MnO	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
CaO	0,04	0,30	0,39	0,35	0,26	0,26	0,39	0,52	6,04	7,29	3,20	3,75
BaO	0,09	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Na ₂ O	11,33	11,14	10,69	10,65	10,60	10,94	11,47	9,92	7,84	7,53	9,70	6,51
K ₂ O	0,05	0,07	0,09	0,10	0,11	0,07	0,10	0,42	0,19	0,19	0,33	0,35
Total	101,61	100,96	100,95	99,77	100,04	100,58	101,44	97,14	99,84	102,13	101,29	97,53
Si	12,07	12,04	12,03	11,85	12,07	12,04	11,98	11,84	10,85	10,60	11,48	10,63
Al	3,96	3,98	4,03	4,27	4,00	4,01	4,02	4,28	5,18	5,42	4,51	5,68
Fe ₂	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,24
Mn	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ca	0,01	0,06	0,07	0,07	0,05	0,05	0,07	0,10	1,15	1,36	0,60	0,73
Ba	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Na	3,77	3,73	3,57	3,61	3,57	3,67	3,83	3,45	2,70	2,55	3,27	2,28
K	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,10	0,04	0,04	0,07	0,08
Cátions	19,84	19,84	19,74	19,82	19,72	19,80	19,94	19,79	19,92	19,98	19,93	19,70
Ab	99,60	98,10	97,50	97,60	98,10	98,30	97,60	94,60	69,40	64,40	83,00	73,90
An	0,20	1,40	2,00	1,80	1,30	1,30	1,80	2,80	29,60	34,50	15,10	23,50
Or	0,30	0,40	0,50	0,60	0,60	0,40	0,60	2,70	1,10	1,10	1,80	2,60

Química Mineral - Anfibólio (Anfibolito)																			
Amostras	RN4-65-1	RN4-65-2	RN4-65-3	RN4-71-2	RN4-71-4	RN4-71-6	RN4-71-7	RN4-71-8	RN4-120-1	RN4-120-2	RN4-120-3	RN4-120-4	RN4-120-5	RN4-142-1	RN4-142-2	RN4-142-3	RN4-142-4	RN4-142-5	RN4-151B-1
SiO2	46,31	48,08	46,66	41,56	51,54	50,83	43,73	44,70	49,44	45,99	49,87	42,53	47,38	45,47	44,84	47,46	44,54	43,25	48,95
TiO2	0,22	0,55	0,33	0,54	0,08	0,06	0,83	0,98	0,28	0,25	0,19	0,33	0,07	0,35	0,36	0,20	0,33	0,32	0,15
Al2O3	3,24	3,12	4,87	9,89	0,66	1,42	8,87	8,42	11,69	9,54	4,40	11,76	7,05	11,11	11,44	6,98	12,21	11,91	5,23
FeO	23,51	23,66	24,10	26,74	22,77	24,60	21,52	20,74	16,49	18,01	17,12	18,97	18,33	18,61	18,07	19,29	17,36	16,84	23,92
MnO	0,16	0,22	0,16	0,28	0,31	0,31	0,21	0,20	0,16	0,27	0,34	0,32	0,35	0,32	0,56	0,45	0,45	0,57	0,18
MgO	6,08	6,64	6,21	4,12	8,39	7,37	6,94	7,48	5,34	9,41	11,05	7,03	10,13	8,55	8,47	9,34	8,76	8,56	8,00
CaO	11,05	11,62	10,69	11,42	12,15	11,96	11,53	11,65	10,02	11,68	11,58	11,66	11,68	11,62	11,55	11,95	11,32	11,01	11,95
Na2O	0,42	0,64	1,00	1,08	0,00	0,00	0,81	0,68	1,45	0,49	0,31	0,99	0,58	1,12	0,69	0,70	1,54	1,25	0,40
K2O	0,25	0,22	0,31	1,81	0,01	0,12	1,12	1,08	0,42	0,24	0,12	0,43	0,09	0,27	0,34	0,20	0,33	0,32	0,14
Cl	0,18	0,29	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,13	0,05	0,20	0,11	0,14	0,14	0,22	0,11	0,11	0,19
Total	91,41	95,03	94,55	97,45	95,92	96,67	95,57	95,91	95,59	96,07	95,02	94,26	95,73	97,80	96,35	96,78	97,07	94,16	99,10
Fórmula calculada na base de 23 oxigênios equivalentes																			
Si	7,61	7,62	7,38	6,56	7,96	7,83	6,82	6,92	7,53	6,89	7,52	6,64	7,13	6,75	6,72	7,15	6,64	6,62	7,29
Al ^{IV}	0,39	0,38	0,62	1,44	0,04	0,17	1,18	1,08	0,47	1,11	0,48	1,36	0,87	1,25	1,28	0,85	1,36	1,38	0,71
Fe ^{3IV}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti ^{IV}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ ^{IV}	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
CaI	0,23	0,20	0,29	0,40	0,08	0,09	0,45	0,45	1,62	0,57	0,30	0,80	0,38	0,69	0,74	0,39	0,78	0,77	0,21
CFe3	0,03	0,00	0,26	0,36	0,00	0,09	0,21	0,12	0,00	0,55	0,29	0,20	0,53	0,42	0,48	0,31	0,38	0,48	0,52
CTi	0,03	0,07	0,04	0,06	0,01	0,01	0,10	0,11	0,03	0,03	0,02	0,04	0,01	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02
CMg	1,49	1,57	1,47	0,97	1,93	1,69	1,61	1,73	1,21	2,10	2,48	1,64	2,27	1,89	1,89	2,10	1,95	1,95	1,78
CFe2	3,20	3,14	2,92	3,18	2,94	3,08	2,60	2,56	2,10	1,71	1,87	2,28	1,78	1,90	1,79	2,12	1,78	1,67	2,46
CMn	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,08	0,02
CCa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ ^C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
BMg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BFe2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BCa	1,95	1,97	1,81	1,93	2,00	1,97	1,93	1,93	1,63	1,88	1,87	1,95	1,88	1,85	1,86	1,93	1,81	1,81	1,91
BNa	0,06	0,03	0,19	0,07	0,00	0,00	0,07	0,07	0,37	0,13	0,09	0,05	0,12	0,15	0,14	0,07	0,19	0,19	0,09
Σ ^B	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,97	2,00	2,00	2,00	2,00	1,96	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
ACa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ANa	0,08	0,17	0,12	0,26	0,00	0,00	0,17	0,14	0,06	0,02	0,00	0,25	0,05	0,17	0,06	0,13	0,25	0,18	0,02
AK	0,05	0,04	0,06	0,37	0,00	0,02	0,22	0,21	0,08	0,05	0,02	0,09	0,02	0,05	0,07	0,04	0,06	0,06	0,03
Σ ^A	0,13	0,22	0,18	0,63	0,01	0,02	0,40	0,35	0,14	0,06	0,02	0,34	0,07	0,22	0,12	0,17	0,32	0,24	0,05
Cátions	15,13	15,22	15,18	15,63	15,01	15,00	15,40	15,35	15,14	15,06	14,98	15,34	15,07	15,22	15,12	15,17	15,32	15,24	15,05
CCl	0,05	0,08	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,01	0,05	0,03	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03	0,05
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Química Mineral - Anfibólio (Anfibolito)																		
Amostras	RN4-151B-2	RN4-151B-3	RN4-151B-4	RN4-151B-5	RN4-206-1	RN4-206-2	RN4-175A-1	RN4175A-2	RN4175A-3	RN4175B-1	RN4175B-2	RN9-216,50B-1	RN9-216,50B-2	RN9-216,50B-4	RN9-216,50B-5	RN9-216,50B-6	RN9-216,50B-7	RN9-216,50B-8
SiO2	47,98	53,01	51,05	52,11	42,84	44,03	49,27	52,34	50,22	44,77	41,78	47,30	46,93	47,24	49,68	51,33	47,30	46,93
TiO2	0,25	0,08	0,08	0,11	0,42	0,54	0,15	0,11	0,21	0,27	0,35	0,12	0,10	0,11	0,16	0,10	0,12	0,09
Al2O3	8,68	1,94	3,61	2,88	10,03	8,44	4,15	2,64	5,27	11,91	16,08	2,20	5,19	1,64	1,70	1,06	2,20	5,19
FeO	18,69	16,45	17,29	16,68	23,22	20,01	15,09	13,94	13,63	18,32	21,06	34,63	23,77	34,44	35,36	34,37	34,63	23,77
MnO	0,10	0,20	0,11	0,18	0,09	0,07	0,12	0,07	0,07	0,03	0,11	0,48	0,14	0,44	0,49	0,46	0,48	0,14
MgO	9,63	12,80	12,23	12,69	6,03	7,89	12,73	13,85	14,76	8,12	5,72	7,92	6,76	7,82	8,40	8,77	7,92	6,76
CaO	10,82	12,24	11,80	12,13	11,15	11,21	10,92	12,30	10,28	11,50	11,25	0,42	11,59	0,64	0,50	1,09	0,42	11,59
Na2O	1,11	0,17	0,77	1,19	0,96	0,99	0,30	0,00	0,25	0,52	1,53	0,26	0,19	0,29	0,21	0,19	0,26	0,19
K2O	0,23	0,07	0,10	0,09	0,67	0,34	0,09	0,09	0,85	0,42	0,57	0,04	0,27	0,02	0,01	0,04	0,04	0,27
Cl	0,19	0,06	0,08	0,12	0,81	0,44	0,08	0,09	0,13	0,57	0,81	0,11	0,44	0,14	0,00	0,12	0,11	0,44
Total	97,68	97,02	97,11	98,18	96,20	93,97	92,91	95,43	95,66	96,44	99,24	93,47	95,38	92,78	96,49	97,53	93,47	95,37
Fórmula calculada na base de 23 oxigénios equivalentes																		
Si	7,05	7,80	7,53	7,65	6,67	6,90	7,45	7,74	7,25	6,73	6,23	6,75	7,33	6,82	6,85	7,04	6,75	7,33
Al ^{IV}	0,95	0,20	0,47	0,36	1,33	1,10	0,55	0,26	0,75	1,27	1,77	0,37	0,67	0,28	0,28	0,17	0,37	0,67
Fe ^{3IV}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00	0,90	0,88	0,79	0,89	0,00
Ti ^{IV}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ _{IV}	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
CAI	0,55	0,14	0,16	0,14	0,51	0,46	0,19	0,20	0,15	0,84	1,05	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
CFe3	0,58	0,13	0,33	0,02	0,57	0,38	0,68	0,12	1,15	0,43	0,50	3,25	0,36	3,25	3,20	3,14	3,25	0,36
CTi	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05	0,06	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
CMg	2,11	2,81	2,69	2,78	1,40	1,84	2,87	3,05	3,18	1,82	1,27	1,68	1,58	1,68	1,73	1,79	1,68	1,58
CFe2	1,72	1,89	1,80	2,03	2,46	2,25	1,23	1,61	0,49	1,88	2,13	0,00	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75
CMn	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,06	0,02	0,05	0,06	0,05	0,06	0,02
CCa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ _C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
BMg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BFe2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BCa	1,70	1,93	1,86	1,91	1,86	1,88	1,77	1,95	1,59	1,85	1,80	0,06	1,94	0,10	0,07	0,16	0,06	1,94
BNa	0,30	0,05	0,14	0,09	0,14	0,12	0,09	0,00	0,07	0,15	0,20	0,07	0,06	0,08	0,06	0,05	0,07	0,06
Σ _B	2,00	1,98	2,00	2,00	2,00	2,00	1,86	1,95	1,66	2,00	2,00	0,14	2,00	0,18	0,13	0,21	0,14	2,00
ACa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ANa	0,02	0,00	0,08	0,25	0,15	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AK	0,04	0,01	0,02	0,02	0,13	0,07	0,02	0,02	0,16	0,08	0,11	0,01	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05
Σ _A	0,06	0,01	0,10	0,26	0,28	0,25	0,02	0,02	0,16	0,09	0,35	0,01	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05
Cátions	15,06	14,99	15,10	15,26	15,28	15,25	14,87	14,97	14,82	15,09	15,35	13,14	15,05	13,18	13,13	13,22	13,14	15,05
CCI	0,05	0,01	0,02	0,03	0,22	0,12	0,02	0,02	0,03	0,15	0,21	0,03	0,12	0,03	0,00	0,03	0,03	0,12
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Química Mineral - Biotita (Anfibolito)					Química Mineral - Biotita (Ferro-antofilita cordierito)		Química Mineral - Biotita (Xistos)												
Amostra	RN4-71-1	RN4-71-2	RN4-120-1	RN9-216,50B-2	RN4-83A-1	RN4-83A-2	RN4-1A-1	RN4-1A-2	RN4-1A-3	RN4-1A-4	RN4-1A-5	RN4-1A-6	RN4-1A-7	RN4-1A-8	RN4-1A-9	RN4-1A-10	RN4-1A-11	RN4-1A-12	
SiO2	34,35	34,04	35,03	32,51	33,83	34,20	37,11	35,49	36,92	37,34	36,96	37,45	33,49	34,87	35,91	37,06	37,70	35,01	
TiO2	2,39	2,52	1,87	2,53	1,89	3,78	0,36	0,34	2,31	0,90	2,15	0,38	0,50	1,14	2,01	3,81	3,75	1,41	
Al2O3	14,78	13,99	14,86	15,58	17,21	13,32	16,22	17,09	14,12	15,44	14,36	15,50	19,62	18,24	16,95	13,12	12,54	18,56	
FeO	26,34	25,21	21,97	30,00	27,61	26,39	15,65	16,04	16,73	15,82	16,73	16,35	17,89	17,63	17,62	16,43	16,33	18,81	
MnO	0,15	0,16	0,06	0,10	0,01	0,06	0,03	0,11	0,13	0,10	0,12	0,14	0,05	0,04	0,11	0,12	0,07	0,12	
MgO	5,87	6,86	10,21	4,74	6,41	7,39	14,62	13,71	13,57	14,50	13,43	14,11	11,43	11,62	12,16	13,03	13,84	11,28	
BaO	0,01	0,00	0,12	0,10	0,49	0,13	0,12	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,19	0,06	0,00	0,00	0,00	
CaO	0,14	0,04	0,11	0,12	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	
Na2O	0,21	0,13	0,14	0,12	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,04	0,18	0,04	0,02	0,00	0,03	0,08	
K2O	8,65	9,08	7,99	7,02	8,00	8,53	10,38	10,23	9,90	9,87	10,04	9,91	10,05	10,10	10,00	10,09	10,08	9,66	
Cl	0,81	0,95	0,25	0,88	0,36	1,51	0,18	0,17	0,19	0,23	0,21	0,19	0,15	0,15	0,16	0,16	0,13	0,20	
H2O	3,85	3,78	4,08	3,77	4,07	3,70	4,30	4,22	4,24	4,28	4,24	4,27	4,19	4,23	4,28	4,24	4,29	4,26	
Total	97,55	96,75	96,67	97,47	99,88	99,04	98,94	97,51	98,11	98,48	98,33	98,36	97,53	98,26	99,27	98,05	98,76	99,39	
Fórmula calculada na base de 22 oxigênios equivalentes																			
Si	5,59	5,59	5,58	5,36	5,36	5,52	5,63	5,49	5,68	5,68	5,68	5,72	5,22	5,39	5,48	5,71	5,76	5,35	
Al ^{IV}	2,41	2,41	2,42	2,64	2,64	2,48	2,37	2,51	2,32	2,32	2,32	2,28	2,78	2,61	2,52	2,29	2,24	2,65	
S ^{IV}	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
Al ^{VI}	0,42	0,29	0,36	0,39	0,57	0,05	0,53	0,60	0,24	0,45	0,28	0,51	0,83	0,71	0,53	0,09	0,01	0,70	
Ti	0,29	0,31	0,22	0,31	0,23	0,46	0,04	0,04	0,27	0,10	0,25	0,04	0,06	0,13	0,23	0,44	0,43	0,16	
Fe2	3,58	3,46	2,93	4,14	3,66	3,56	1,99	2,08	2,15	2,01	2,15	2,09	2,33	2,28	2,25	2,12	2,09	2,41	
Mn	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	
Mg	1,42	1,68	2,42	1,17	1,51	1,78	3,31	3,16	3,11	3,29	3,08	3,21	2,66	2,68	2,77	2,99	3,15	2,57	
Ba	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
S ^{VI}	5,74	5,77	5,95	6,03	6,00	5,87	5,87	5,89	5,79	5,87	5,78	5,87	5,88	5,81	5,79	5,66	5,69	5,85	
Ca	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na	0,07	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	
K	1,80	1,90	1,62	1,48	1,62	1,76	2,01	2,02	1,94	1,92	1,97	1,93	2,00	1,99	1,95	1,98	1,96	1,89	
S _A	1,89	1,95	1,68	1,53	1,62	1,76	2,01	2,05	1,94	1,92	1,97	1,95	2,05	2,00	1,95	1,98	1,97	1,91	
Cátions	15,63	15,72	15,63	15,56	15,61	15,63	15,88	15,94	15,74	15,78	15,75	15,81	15,94	15,82	15,74	15,65	15,67	15,76	
CCl	0,45	0,53	0,13	0,49	0,19	0,83	0,09	0,09	0,10	0,12	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07	0,11	
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Química Mineral - Biotita (Xistos)																				
Amostra	RN4-1A-13	RN4-3A-1	RN4-3A-2	RN4-3A-3	RN4-3A-4	RN4-4-1	RN4-4-3	RN4-4-4	RN4-4-5	RN4-4-6	RN4-4-7	RN4-4-8	RN4-4-9	RN8-241,58-2	RN8-241,58-4	RN9-59,05-1	RN9-59,05-2	RN9-59,05-3	RN9-59,05-4	RN9-59,05-5
SiO2	35,61	32,71	31,58	31,62	31,78	31,75	34,07	33,62	34,18	31,65	34,06	33,58	34,22	31,89	33,38	32,05	32,56	33,03	32,13	30,84
TiO2	1,88	3,06	2,22	2,14	2,26	3,29	3,26	2,64	2,88	2,22	2,47	2,93	2,63	3,33	3,00	1,72	1,15	1,21	1,05	1,05
Al2O3	17,84	18,92	18,57	18,30	18,15	17,66	19,30	18,82	18,84	17,92	20,02	19,47	20,20	18,31	19,36	15,31	16,30	16,25	16,18	16,39
FeO	18,52	29,27	29,64	30,38	30,91	24,19	24,87	20,01	23,18	25,31	24,30	24,92	23,88	27,76	24,42	32,34	32,96	32,11	31,75	33,74
MnO	0,13	0,08	0,16	0,04	0,07	0,10	0,05	0,08	0,05	0,06	0,11	0,07	0,08	0,13	0,09	0,13	0,09	0,11	0,09	0,15
MgO	11,43	2,72	2,55	2,49	2,53	4,17	4,35	4,74	4,88	4,74	4,77	4,64	4,32	4,30	4,63	2,23	2,39	2,37	2,30	2,57
BaO	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,02	0,05	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,01	0,00	0,05	0,00	0,04	0,01	0,00	0,03	0,04
Na2O	0,15	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
K2O	9,94	8,99	8,53	8,84	8,63	9,25	9,61	9,02	9,63	8,50	8,94	9,26	8,93	7,76	9,59	8,87	9,07	9,01	8,54	7,29
Cl	0,21	0,58	0,67	0,77	0,63	0,53	0,51	0,52	0,52	0,46	0,54	0,56	0,47	0,50	0,66	0,85	0,89	0,94	0,91	0,75
H2O	4,29	3,99	3,83	3,81	3,86	3,83	4,10	3,89	4,03	3,84	4,08	4,05	4,09	3,95	4,00	3,68	3,75	3,75	3,67	3,68
Total	99,99	100,48	97,81	98,42	98,82	94,79	100,40	93,37	98,32	94,71	99,44	99,68	98,83	97,97	99,13	97,23	99,21	98,99	96,65	96,49
Fórmula calculada na base de 22 oxigênios equivalentes																				
Si	5,41	5,22	5,20	5,21	5,21	5,29	5,32	5,51	5,41	5,27	5,33	5,28	5,37	5,16	5,28	5,43	5,40	5,46	5,44	5,26
Al ^{IV}	2,59	2,78	2,80	2,79	2,79	2,71	2,68	2,49	2,59	2,73	2,67	2,72	2,63	2,84	2,72	2,57	2,60	2,54	2,56	2,75
S ^{IV}	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al ^{VI}	0,61	0,77	0,80	0,75	0,71	0,75	0,87	1,15	0,93	0,79	1,02	0,89	1,10	0,65	0,89	0,48	0,58	0,63	0,66	0,55
Ti	0,22	0,37	0,28	0,27	0,28	0,41	0,38	0,33	0,34	0,28	0,29	0,35	0,31	0,41	0,36	0,22	0,14	0,15	0,13	0,13
Fe ²	2,35	3,90	4,08	4,18	4,24	3,37	3,25	2,75	3,07	3,53	3,18	3,28	3,13	3,76	3,23	4,58	4,57	4,44	4,49	4,81
Mn	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Mg	2,59	0,65	0,63	0,61	0,62	1,03	1,01	1,16	1,15	1,18	1,11	1,09	1,01	1,04	1,09	0,56	0,59	0,59	0,58	0,65
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S ^{VI}	5,78	5,70	5,81	5,82	5,86	5,58	5,52	5,39	5,51	5,78	5,62	5,61	5,56	5,87	5,58	5,86	5,90	5,82	5,88	6,16
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Na	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
K	1,93	1,83	1,79	1,86	1,80	1,97	1,92	1,89	1,95	1,81	1,79	1,86	1,79	1,60	1,94	1,92	1,92	1,90	1,84	1,58
S _A	1,97	1,86	1,80	1,86	1,80	1,97	2,00	1,89	1,95	1,81	1,80	1,92	1,79	1,61	1,94	1,92	1,92	1,97	1,85	1,59
Cátions	15,76	15,56	15,61	15,68	15,66	15,55	15,52	15,28	15,45	15,59	15,42	15,52	15,35	15,48	15,52	15,78	15,82	15,79	15,73	15,75
CCl	0,11	0,31	0,38	0,43	0,35	0,30	0,27	0,29	0,28	0,26	0,29	0,30	0,25	0,27	0,36	0,49	0,50	0,53	0,52	0,43
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Química Mineral - Biotita (Xistos)																
Amostra	RN9- 91,09-4	RN9- 91,09-5	RN9- 91,09-6	RN9- 95,50	RN9- 99,86-1	RN9- 99,86-2	RN9- 99,86-3	RN9- 99,86-4	RN9- 99,86-5	RN9- 100,14-1	RN9- 100,14-2	RN9- 127,44-1	RN9- 127,44-3	RN9- 127,44-4	RN9- 127,52	RN9- 133,53
SiO ₂	31,59	33,07	33,98	33,95	34,78	32,83	32,08	35,38	34,24	33,98	34,51	34,85	34,64	33,79	33,46	33,18
TiO ₂	2,45	2,19	1,96	2,59	2,76	1,73	0,52	1,95	3,18	2,88	2,28	1,03	1,16	1,47	2,02	2,96
Al ₂ O ₃	18,44	19,40	19,96	19,68	18,92	18,41	19,64	21,44	18,97	18,56	19,43	16,99	17,95	16,86	17,30	17,83
FeO	28,39	27,93	26,06	26,41	25,92	25,79	25,95	23,49	25,40	26,15	24,00	25,18	24,16	23,60	25,74	24,58
MnO	1,12	0,22	0,17	0,09	0,18	0,13	0,16	0,10	0,11	0,10	0,07	0,08	0,06	0,06	0,01	0,11
MgO	2,93	2,90	4,31	2,93	3,98	4,36	4,42	3,31	3,92	4,72	5,75	7,44	6,74	6,94	6,28	4,31
BaO	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00
CaO	0,02	0,00	0,03	0,00	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,30	0,01	0,02	0,07	0,01	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,08	0,23	0,06	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,11	0,00	0,03	0,00	0,02
K ₂ O	8,96	9,01	8,38	8,18	9,52	9,51	9,35	7,30	8,94	8,91	9,36	8,71	8,02	8,54	9,30	9,25
Cl	0,79	0,72	0,57	0,51	0,64	0,59	0,36	0,22	0,55	0,49	0,59	0,91	0,83	0,85	0,83	0,54
H ₂ O	3,83	3,94	4,05	4,02	4,07	3,90	3,93	4,17	4,06	4,07	4,10	3,94	3,93	3,84	3,91	3,92
Total	98,54	99,48	99,46	98,42	101,04	97,46	96,41	97,41	99,64	99,87	100,39	99,30	97,56	96,04	98,86	96,70
Fórmula calculada na base de 22 oxigênios equivalentes																
Si	5,18	5,30	5,34	5,40	5,42	5,34	5,26	5,52	5,38	5,35	5,35	5,51	5,51	5,50	5,36	5,39
Al ^{IV}	2,83	2,71	2,66	2,60	2,58	2,66	2,74	2,48	2,62	2,65	2,65	2,49	2,49	2,51	2,64	2,61
S ^{IV}	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al ^{VI}	0,73	0,95	1,04	1,08	0,89	0,87	1,06	1,46	0,90	0,79	0,90	0,67	0,88	0,72	0,62	0,81
Ti	0,30	0,26	0,23	0,31	0,32	0,21	0,06	0,23	0,38	0,34	0,27	0,12	0,14	0,18	0,24	0,36
Fe ₂	3,89	3,74	3,43	3,51	3,38	3,51	3,56	3,07	3,34	3,44	3,11	3,33	3,22	3,21	3,45	3,34
Mn	0,16	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
Mg	0,72	0,69	1,01	0,69	0,92	1,06	1,08	0,77	0,92	1,11	1,33	1,75	1,60	1,68	1,50	1,05
Ba	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S ^{VI}	5,80	5,69	5,73	5,61	5,53	5,68	5,79	5,54	5,54	5,69	5,62	5,89	5,84	5,80	5,81	5,57
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,02	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01
K	1,87	1,84	1,68	1,66	1,89	1,97	1,96	1,45	1,79	1,79	1,85	1,76	1,63	1,77	1,90	1,92
S _A	1,88	1,84	1,69	1,68	1,97	2,00	1,96	1,46	1,87	1,79	1,90	1,79	1,63	1,80	1,90	1,92
Cátions	15,67	15,53	15,41	15,29	15,50	15,67	15,75	15,00	15,42	15,48	15,53	15,68	15,47	15,60	15,71	15,49
CCl	0,44	0,39	0,30	0,27	0,34	0,33	0,20	0,12	0,29	0,26	0,31	0,49	0,45	0,47	0,45	0,30
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Amostra	Química Mineral - Biotita (Xistos)						Diques graníticos						
	RN9- 243,81-1	RN9- 243,81-2	RN9- 243,81-3	RN10- 189,94-1	RN10- 189,94-2	RN10- 189,94-3	RN4- 1B-1	RN4- 1B-2	RN4- 1B-3	RN4- 1B-4	RN4- 1B-5	RN4- 1B-6	RN8- 232,71
SiO2	35,46	32,22	34,77	34,24	33,02	34,36	33,82	34,68	35,98	33,91	33,26	33,73	33,48
TiO2	3,12	2,22	2,12	2,16	2,06	2,13	1,82	0,53	0,49	2,19	2,97	3,36	1,80
Al2O3	19,64	19,06	19,65	19,90	19,49	20,52	14,61	13,87	13,10	13,91	13,47	13,04	19,55
FeO	26,48	29,11	24,45	23,99	24,86	24,67	31,66	30,75	29,49	33,51	33,79	33,27	29,31
MnO	0,08	0,17	0,11	0,04	0,06	0,05	0,26	0,29	0,22	0,24	0,28	0,28	0,33
MgO	3,41	5,58	5,40	5,31	5,15	5,30	2,54	5,29	6,01	1,84	1,65	1,79	1,18
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,29	0,29	0,00	0,01	0,00	0,00
CaO	0,01	0,01	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,12	0,00	0,01	0,02	0,03
Na2O	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,18	0,00	0,08	0,19	0,25	0,00	0,06	0,00
K2O	8,78	6,27	9,65	9,72	9,66	9,81	8,91	8,38	8,82	8,96	8,91	9,12	9,23
Cl	0,48	0,34	0,43	0,31	0,33	0,30	0,71	0,68	0,56	0,82	0,74	0,72	0,27
H2O	4,17	4,06	4,16	4,15	4,06	4,22	3,80	3,85	3,93	3,77	3,75	3,78	4,03
Total	101,62	99,03	100,90	99,83	98,67	101,52	98,76	98,73	99,19	99,40	98,84	99,17	99,20
Fórmula calculada na base de 22 oxigênios equivalentes													
Si	5,45	5,13	5,37	5,34	5,25	5,28	5,61	5,69	5,83	5,62	5,57	5,61	5,39
Al ^{IV}	2,56	2,88	2,63	2,66	2,75	2,72	2,39	2,31	2,17	2,38	2,43	2,39	2,61
S ^{IV}	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al ^{VI}	1,00	0,70	0,95	0,99	0,91	0,99	0,46	0,37	0,33	0,34	0,22	0,17	1,09
Ti	0,36	0,27	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23	0,07	0,06	0,27	0,37	0,42	0,22
Fe ²	3,40	3,87	3,16	3,13	3,31	3,17	4,39	4,22	4,00	4,65	4,73	4,63	3,94
Mn	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Mg	0,78	1,32	1,24	1,24	1,22	1,21	0,63	1,29	1,45	0,46	0,41	0,44	0,28
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
S ^{VI}	5,55	6,18	5,61	5,61	5,69	5,63	5,79	6,00	5,89	5,75	5,78	5,70	5,59
Ca	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
Na	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,06	0,08	0,00	0,02	0,00
K	1,72	1,27	1,90	1,93	1,96	1,92	1,89	1,75	1,82	1,90	1,90	1,94	1,90
S _A	1,72	1,27	1,94	1,94	1,96	1,98	1,89	1,79	1,90	1,98	1,90	1,96	1,90
Cátions	15,27	15,45	15,55	15,55	15,65	15,60	15,68	15,79	15,79	15,73	15,68	15,66	15,49
CCl	0,25	0,18	0,23	0,17	0,18	0,16	0,40	0,38	0,31	0,46	0,42	0,41	0,15
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Química Mineral - Clorita (Anfibolito)										Química Mineral - Clorita (Ferro-antofilita cordieritito)		Química Mineral - Clorita (Xistos)							
Amostra	RN4-60A2-2	RN4-60A2-3	RN4-60A2-4	RN4-64A-1	RN4-64A-2	RN4-64A-3	RN4-64A-4	RN4-65-1	RN4-65-2	RN4-83A-1	RN4-83A-2	RN4-3A-1	RN4-3A-2	RN4-216	RN9-91,09-1	RN9-91,09-2	RN9-99,95	RN9-100,14	RN9-127,44-1
SiO2	28,02	28,02	24,42	25,23	26,00	25,50	26,03	25,03	24,47	23,45	22,94	22,80	22,84	25,47	25,76	24,48	23,35	24,84	23,74
TiO2	0,03	0,03	0,04	0,12	0,07	0,08	0,10	0,03	0,03	0,16	0,06	0,18	0,06	0,09	0,66	4,69	0,04	0,55	0,03
Al2O3	20,03	20,03	17,40	17,39	18,22	17,58	18,56	18,21	17,72	21,34	19,38	19,65	20,96	20,96	19,79	19,27	20,28	20,15	22,41
FeO	26,47	26,47	28,58	32,44	31,81	32,12	29,82	34,82	36,41	32,79	32,73	39,71	38,19	28,34	37,25	34,79	38,35	36,05	32,19
MnO	0,29	0,29	0,26	0,34	0,26	0,30	0,18	0,26	0,22	0,05	0,08	0,16	0,10	0,12	0,23	0,28	0,25	0,26	0,11
MgO	10,34	10,34	11,17	11,27	11,36	10,64	11,14	7,28	7,04	9,80	9,75	4,12	4,53	12,25	4,24	5,17	4,55	5,72	9,47
CaO	0,16	0,16	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,00	0,05	0,01	0,06	0,07	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01
Na2O	0,10	0,10	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2O	0,17	0,17	0,03	0,00	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,06	0,02	0,02	0,04	0,97	0,55	0,00	0,97	0,00
Cl	0,01	0,01	0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,09	0,08	0,13	0,10	0,03	0,11	0,04	0,01	0,06	0,11
H2O	11,11	11,11	10,33	10,75	10,98	10,73	10,86	10,50	10,41	10,85	10,46	10,26	10,41	11,16	10,75	10,91	10,42	10,75	10,96
Total	96,71	0,00	92,53	97,60	98,75	97,03	96,78	96,26	96,50	98,55	95,59	97,03	97,35	98,56	99,75	100,20	97,25	99,36	99,02
Fórmula calculada na base de 28 oxigênios equivalentes																			
Si	6,05	6,05	5,66	5,62	5,68	5,70	5,75	5,72	5,63	5,17	5,25	5,32	5,25	5,47	5,73	5,38	5,37	5,54	5,18
Al ^{IV}	1,95	1,95	2,34	2,38	2,32	2,30	2,25	2,28	2,37	2,83	2,75	2,69	2,75	2,53	2,27	2,63	2,63	2,46	2,82
S ^{IV}	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al ^{VI}	3,15	3,15	2,42	2,19	2,37	2,33	2,58	2,61	2,44	2,71	2,48	2,71	2,93	2,77	2,92	2,36	2,87	2,82	2,94
Ti	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,11	0,78	0,01	0,09	0,01
Fe ²	4,78	4,78	5,55	6,05	5,81	6,01	5,51	6,65	7,01	6,05	6,27	7,74	7,35	5,09	6,94	6,39	7,38	6,72	5,88
Mn	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,03	0,05	0,04	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,05	0,02
Mg	3,33	3,33	3,86	3,74	3,70	3,55	3,67	2,48	2,42	3,22	3,33	1,43	1,55	3,92	1,41	1,69	1,56	1,90	3,08
Ca	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Na	0,04	0,04	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,05	0,05	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,28	0,15	0,00	0,28	0,00
S ^{VI}	11,43	11,43	12,01	12,07	11,96	11,97	11,82	11,84	11,98	12,02	12,13	11,95	11,92	11,87	11,69	11,43	11,86	11,86	11,92
Cátions	19,43	19,43	20,01	20,07	19,96	19,97	19,82	19,84	19,98	20,02	20,13	19,95	19,92	19,87	19,69	19,43	19,86	19,86	19,92
CCl	0,01	0,01	0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,06	0,06	0,10	0,08	0,02	0,08	0,03	0,01	0,05	0,08
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Química Mineral - Clorita (Xistos)																				Química Mineral - Clorita (Diques graníticos)	
Amostra	RN9-127,44-2	RN9-127,52-1	RN9-133,53-1	RN9-155,00-1	RN9-155,00-2	RN9-155,00-3	RN9-216,50B	RN9-230,40-1	RN9-230,40-2	RN9-230,40-3	RN9-230,40-4	RN9-230,40-5	RN9-243,81-1	RN9-243,81-2	RN9-243,81-3	RN9-248,26-1	RN10-189,94-1	RN10-189,94-2	RN9-248,26-2	RN9-246,60-1	RN9-246,60-2
SiO2	23,08	24,03	23,76	20,28	25,39	24,09	29,39	25,71	34,63	32,21	35,20	34,76	23,86	24,86	24,02	24,64	24,18	23,91	24,71	22,81	24,86
TiO2	0,11	0,14	0,00	1,86	0,27	0,02	0,05	0,05	0,28	0,35	0,81	0,80	0,00	0,70	0,00	0,11	0,18	0,16	0,03	0,07	0,14
Al2O3	21,82	21,70	20,64	15,00	19,57	21,15	14,71	19,92	17,93	17,27	17,37	17,32	22,08	20,75	21,55	20,86	21,41	20,83	19,56	18,43	20,42
FeO	31,42	29,72	33,02	36,14	33,60	34,24	35,11	33,90	22,90	24,52	22,28	21,52	36,55	37,32	38,39	29,27	35,09	33,79	29,35	27,13	26,46
MnO	0,11	0,09	0,17	0,21	0,17	0,19	0,15	0,24	0,11	0,14	0,20	0,14	0,20	0,12	0,11	0,28	0,09	0,18	0,19	0,12	0,14
MgO	9,10	11,69	8,25	5,17	5,01	7,91	7,43	9,99	11,58	10,23	10,46	10,63	5,01	5,38	5,36	11,32	8,64	8,49	11,61	12,60	13,55
CaO	0,00	0,00	0,02	0,01	0,06	0,00	1,70	0,07	0,03	0,50	0,76	0,02	0,04	0,03	0,38	0,05	0,00	0,02	0,04	0,00	0,09
Na2O	0,07	0,00	0,00	0,07	0,21	0,12	0,00	0,26	0,36	0,00	0,00	0,00	0,05	0,19	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2O	0,01	0,04	0,01	0,34	1,12	0,02	0,15	0,02	6,93	5,98	7,78	7,88	0,01	0,27	0,03	0,01	0,01	0,13	0,00	0,08	0,01
Cl	0,00	0,10	0,01	0,06	0,02	0,10	0,06	0,13	0,50	0,38	0,52	0,54	0,02	0,05	0,01	0,02	0,08	0,14	0,00	0,02	0,02
H2O	10,70	11,03	10,63	9,26	10,49	10,80	10,89	11,15	12,10	11,53	12,08	11,89	10,71	10,88	10,87	10,96	11,01	10,76	10,80	10,27	11,01
Total	96,41	98,54	96,49	88,40	95,90	98,65	99,64	101,42	107,35	103,10	107,45	105,49	98,52	100,56	100,85	97,53	100,69	98,41	96,28	91,53	96,70
Fórmula calculada na base de 28 oxigênios equivalentes																					
Si	5,17	5,21	5,36	5,24	5,80	5,34	6,46	5,52	6,80	6,65	6,92	6,93	5,34	5,47	5,30	5,39	5,26	5,31	5,49	5,33	5,41
Al ^{IV}	2,83	2,79	2,64	2,76	2,20	2,66	1,54	2,48	1,21	1,35	1,08	1,07	2,66	2,53	2,70	2,61	2,74	2,69	2,51	2,68	2,59
S ^{IV}	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al ^{VI}	2,93	2,76	2,85	1,81	3,07	2,86	2,27	2,55	2,94	2,84	2,94	3,00	3,16	2,85	2,90	2,77	2,74	2,76	2,60	2,39	2,65
Ti	0,02	0,02	0,00	0,36	0,05	0,00	0,01	0,01	0,04	0,06	0,12	0,12	0,00	0,12	0,00	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02
Fe ²	5,89	5,39	6,23	7,82	6,43	6,35	6,46	6,08	3,76	4,23	3,66	3,59	6,84	6,87	7,08	5,36	6,38	6,28	5,45	5,30	4,82
Mn	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03
Mg	3,04	3,78	2,77	1,99	1,71	2,61	2,44	3,20	3,39	3,15	3,06	3,16	1,67	1,77	1,76	3,69	2,80	2,81	3,84	4,39	4,40
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,40	0,02	0,01	0,11	0,16	0,00	0,01	0,01	0,09	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
Na	0,03	0,00	0,00	0,04	0,09	0,05	0,00	0,11	0,14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,01	0,00	0,11	0,33	0,01	0,04	0,01	1,73	1,57	1,95	2,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00
S ^{VI}	11,93	11,99	11,89	12,18	11,72	11,92	11,64	12,01	12,02	11,98	11,92	11,91	11,75	11,79	11,93	11,90	11,97	11,95	11,95	12,13	11,94
Cátions	19,93	19,99	19,89	20,18	19,72	19,92	19,64	20,01	20,02	19,98	19,92	19,91	19,75	19,79	19,93	19,90	19,97	19,95	19,95	20,13	19,94
CCl	0,00	0,08	0,01	0,06	0,02	0,08	0,05	0,09	0,33	0,26	0,35	0,36	0,02	0,04	0,01	0,02	0,06	0,11	0,00	0,01	0,02
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Amostra	Química Mineral - Muscovita (Tonalito)	Química Mineral - Muscovita (Xistos)																			
	RN9-158,40	RN4-3A-1	RN4-3A-2	RN4-3A-3	RN4-4-1	RN4-4-2	RN4-4-3	RN4-216-1	RN4-216-2	RN4-216-3	RN4-216-4	RN4-216-5	RN8-232,71-1	RN8-232,71-2	RN8-232,71-3	RN8-241,58-1	RN8-241,58-2	RN8-241,58-3	RN9-91,09-1	RN9-91,09-2	
SiO2	47.81	46.22	47.24	47.62	43.83	45.56	47.17	47.28	45.50	46.42	47.04	42.87	47.36	47.18	46.93	45.58	46.91	46.04	46.66	46.99	
TiO2	0.02	0.43	0.10	0.34	0.15	0.24	0.26	0.26	0.26	1.89	0.59	0.25	0.03	0.35	0.20	0.38	0.20	0.34	0.04	0.10	
Al2O3	34.30	36.25	37.21	36.95	32.21	33.66	37.09	35.79	31.21	34.74	36.04	30.26	35.20	33.98	34.66	34.80	34.23	34.45	31.43	37.16	
FeO	3.13	1.30	1.25	1.24	7.47	4.03	1.44	0.89	6.29	0.96	1.14	7.86	1.99	2.37	2.11	3.79	1.93	1.25	6.76	1.18	
MnO	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	
MgO	0.00	0.26	0.30	0.22	1.94	0.99	0.31	0.63	2.47	0.73	0.69	3.36	0.18	0.42	0.31	0.95	1.19	0.91	1.55	0.25	
CaO	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.06	0.00	
Na2O	0.35	0.42	0.48	0.18	0.11	0.40	0.26	0.37	0.47	0.00	0.23	0.16	0.52	0.43	0.69	0.36	0.19	0.56	0.04	0.30	
K2O	10.62	10.10	10.75	9.92	10.54	10.86	9.94	11.13	10.61	10.60	11.08	9.75	10.84	10.64	10.79	9.89	10.14	10.19	9.70	10.77	
Cl	0.03	0.01	0.00	0.00	0.14	0.06	0.02	0.01	0.11	0.00	0.01	0.09	0.00	0.01	0.01	0.02	0.06	0.09	0.04	0.01	
H2O	4.52	4.51	4.61	4.60	4.35	4.43	4.59	4.56	4.41	4.52	4.58	4.28	4.53	4.49	4.50	4.48	4.48	4.42	4.44	4.59	
Total	100.81	99.52	101.97	101.08	100.74	100.25	101.09	100.94	101.32	99.84	101.43	98.94	100.69	99.89	100.23	100.30	99.39	98.27	100.72	101.35	
Fórmula calculada na base de 22 oxigênios equivalentes																					
Si	6.33	6.14	6.14	6.20	6.00	6.14	6.16	6.21	6.15	6.16	6.16	5.98	6.26	6.30	6.25	6.09	6.26	6.22	6.29	6.14	
Al ^{IV}	1.67	1.86	1.86	1.80	2.00	1.86	1.85	1.79	1.85	1.84	1.84	2.02	1.74	1.70	1.75	1.91	1.74	1.79	1.71	1.86	
S ^{IV}	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
Al ^{VI}	3.69	3.82	3.83	3.87	3.19	3.49	3.86	3.75	3.12	3.59	3.72	2.96	3.74	3.64	3.68	3.57	3.65	3.69	3.28	3.86	
Ti	0.00	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.19	0.06	0.03	0.00	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.00	0.01	
Fe ²	0.35	0.15	0.14	0.14	0.86	0.46	0.16	0.10	0.71	0.11	0.13	0.92	0.22	0.26	0.24	0.42	0.22	0.14	0.76	0.13	
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mg	0.00	0.05	0.06	0.04	0.40	0.20	0.06	0.12	0.50	0.14	0.14	0.70	0.04	0.08	0.06	0.19	0.24	0.18	0.31	0.05	
Ca	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	
Na	0.09	0.11	0.12	0.05	0.03	0.11	0.07	0.10	0.12	0.00	0.06	0.04	0.13	0.11	0.18	0.09	0.05	0.15	0.01	0.08	
S ^{VI}	4.13	4.17	4.16	4.12	4.48	4.27	4.17	4.10	4.48	4.03	4.10	4.65	4.14	4.14	4.18	4.32	4.18	4.20	4.38	4.12	
K	1.80	1.71	1.78	1.65	1.84	1.87	1.66	1.87	1.83	1.79	1.85	1.74	1.83	1.81	1.83	1.69	1.73	1.75	1.67	1.80	
Cations	13.92	13.88	13.95	13.77	14.32	14.14	13.82	13.96	14.31	13.82	13.95	14.39	13.96	13.95	14.01	14.01	13.90	13.95	14.04	13.92	
CCI	0.01	0.01	0.00	0.00	0.07	0.03	0.01	0.00	0.05	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02	0.00	
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Amostra	Química Mineral - Muscovita (Xistos)																	
	RN9-91,09-3	RN9-91,09-4	RN9-91,09-5	RN9-91,09-6	RN9-91,09-7	RN9-91,09-8	RN9-95,50-1	RN9-95,50-2	RN9-95,50-3	RN9-95,50-4	RN9-95,50-5	RN9-95,50-6	RN9-99,86-1	RN9-99,86-2	RN9-99,86-3	RN9-99,86-4	RN9-99,86-5	RN9-99,86-6
SiO2	44.75	44.33	45.75	45.86	44.76	40.78	46.24	46.07	50.34	49.06	49.99	46.97	44.21	47.29	49.16	49.09	49.03	46.52
TiO2	0.00	0.00	0.48	0.17	0.15	0.04	0.07	0.00	0.05	0.02	0.06	0.47	1.37	0.16	0.02	0.01	0.03	0.00
Al2O3	30.60	29.35	34.46	35.68	33.67	28.11	34.27	31.83	32.61	32.23	31.92	36.44	26.54	35.18	33.63	33.06	33.09	35.71
FeO	7.43	8.61	2.72	2.58	11.86	8.11	7.18	5.39	2.58	3.41	2.88	1.42	11.06	1.26	2.68	2.84	2.81	1.61
MnO	0.01	0.07	0.02	0.05	0.06	0.08	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09	0.00	0.02	0.06	0.08	0.00
MgO	2.07	2.45	0.61	0.59	0.65	1.35	0.71	1.51	1.31	1.31	1.32	0.41	2.43	0.70	0.95	1.03	0.93	0.63
CaO	0.51	0.23	0.00	0.02	0.04	0.00	0.06	0.06	0.16	0.13	0.15	0.00	0.02	0.01	0.29	0.22	0.25	0.00
Na2O	0.21	0.17	0.29	0.29	0.17	0.09	0.16	0.07	0.51	0.00	0.58	0.34	0.01	0.45	0.26	0.15	0.25	0.38
K2O	9.50	9.55	10.77	10.73	7.44	9.28	8.84	10.40	10.09	9.73	10.36	11.02	9.59	10.75	9.78	9.91	9.63	10.96
Cl	0.03	0.03	0.18	0.18	0.02	0.01	0.01	0.05	0.00	0.01	0.01	0.01	0.18	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01
H2O	4.35	4.30	4.41	4.46	4.50	3.98	4.52	4.40	4.62	4.53	4.58	4.58	4.22	4.53	4.58	4.55	4.55	4.52
Total	99.46	99.09	99.69	100.60	103.30	91.83	102.10	99.77	102.27	100.44	101.86	101.65	99.73	100.34	101.38	100.95	100.66	100.34
Fórmula calculada na base de 22 oxigênios equivalentes																		
Si	6.16	6.17	6.16	6.11	5.96	6.14	6.12	6.26	6.53	6.49	6.54	6.14	6.22	6.25	6.43	6.46	6.46	6.17
Al ^{IV}	1.84	1.83	1.85	1.90	2.04	1.86	1.88	1.74	1.47	1.51	1.46	1.86	1.79	1.75	1.57	1.55	1.54	1.83
S ^{IV}	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al ^{VI}	3.13	2.99	3.62	3.70	3.24	3.12	3.47	3.35	3.51	3.51	3.45	3.75	2.61	3.73	3.61	3.57	3.59	3.75
Ti	0.00	0.00	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²	0.86	1.00	0.31	0.29	1.32	1.02	0.80	0.61	0.28	0.38	0.32	0.16	1.30	0.14	0.29	0.31	0.31	0.18
Mn	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Mg	0.42	0.51	0.12	0.12	0.13	0.30	0.14	0.31	0.25	0.26	0.26	0.08	0.51	0.14	0.19	0.20	0.18	0.12
Ca	0.08	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.04	0.00
Na	0.06	0.05	0.08	0.08	0.04	0.03	0.04	0.02	0.13	0.00	0.15	0.09	0.00	0.11	0.07	0.04	0.06	0.10
S ^{VI}	4.54	4.59	4.17	4.20	4.76	4.48	4.46	4.30	4.20	4.17	4.20	4.12	4.58	4.14	4.19	4.17	4.19	4.15
K	1.67	1.70	1.85	1.82	1.27	1.78	1.49	1.80	1.67	1.64	1.73	1.84	1.72	1.81	1.63	1.66	1.62	1.86
Cations	14.21	14.28	14.02	14.02	14.03	14.27	13.96	14.10	13.87	13.81	13.93	13.96	14.30	13.95	13.82	13.83	13.81	14.01
CCl	0.02	0.01	0.08	0.08	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Química Mineral - Muscovita (Xistos)													
Amostra	RN9- 99,95-2	RN9- 99,95-3	RN9- 99,95-4	RN9- 99,95-5	RN9- 99,95-6	RN9- 99,95-7	RN9- 99,95-8	RN9- 99,95-9	RN9- 99,95-10	RN9- 100,14-2	RN9- 127,44-1	RN9- 127,44-2	RN9- 127,52-1
SiO2	45.73	46.25	45.02	47.38	45.90	46.41	46.39	45.53	46.62	48.27	44.98	46.61	46.63
TiO2	0.01	0.02	0.08	0.22	2.45	0.37	0.28	1.76	0.00	0.09	0.00	0.01	0.03
Al2O3	29.52	31.95	30.42	34.80	29.64	34.38	33.71	33.84	31.80	32.53	30.51	31.29	30.09
FeO	10.04	5.01	8.00	1.78	3.71	2.92	1.73	1.26	4.11	3.53	6.66	4.76	6.89
MnO	0.07	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.07	0.00	0.00	0.05	0.04	0.04	0.05
MgO	1.71	1.02	1.54	0.61	1.02	0.71	0.74	0.47	0.81	1.40	2.59	3.23	4.94
CaO	0.00	0.03	0.02	0.21	0.05	0.03	0.33	0.89	0.01	0.00	0.04	0.05	0.05
Na2O	0.07	0.14	0.29	0.23	0.16	0.27	0.45	0.16	0.04	0.21	0.29	0.24	0.37
K2O	8.13	10.52	9.34	10.93	10.75	10.67	10.39	10.51	10.80	9.56	8.41	9.23	6.45
Cl	0.06	0.13	0.08	0.05	0.14	0.10	0.01	0.00	0.01	0.04	0.01	0.02	0.03
H2O	4.34	4.37	4.32	4.52	4.31	4.47	4.44	4.45	4.39	4.50	4.33	4.45	4.47
Total	99.69	99.43	99.12	100.75	98.14	100.32	98.53	98.86	98.59	100.18	97.86	99.91	99.99
Fórmula calculada na base de 22 oxigênios equivalentes													
Si	6.29	6.30	6.22	6.26	6.33	6.20	6.27	6.14	6.37	6.41	6.22	6.27	6.25
Al^{IV}	1.71	1.70	1.78	1.74	1.67	1.80	1.73	1.86	1.63	1.59	1.78	1.73	1.75
S^{IV}	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al^{VI}	3.07	3.42	3.17	3.68	3.14	3.60	3.63	3.52	3.48	3.50	3.19	3.23	3.00
Ti	0.00	0.00	0.01	0.02	0.25	0.04	0.03	0.18	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe²	1.16	0.57	0.93	0.20	0.43	0.33	0.20	0.14	0.47	0.39	0.77	0.54	0.77
Mn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
Mg	0.35	0.21	0.32	0.12	0.21	0.14	0.15	0.10	0.17	0.28	0.54	0.65	0.99
Ca	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.05	0.13	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Na	0.02	0.04	0.08	0.06	0.04	0.07	0.12	0.04	0.01	0.05	0.08	0.06	0.10
S^{VI}	4.61	4.24	4.51	4.11	4.08	4.18	4.18	4.10	4.13	4.24	4.59	4.48	4.87
K	1.43	1.83	1.65	1.84	1.89	1.82	1.79	1.81	1.88	1.62	1.48	1.58	1.10
Cations	14.03	14.07	14.15	13.95	13.97	14.00	13.97	13.91	14.01	13.86	14.07	14.07	13.97
CCl	0.03	0.06	0.04	0.02	0.07	0.05	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Amostra	Química Mineral - Muscovita (Xistos)												
	RN9- 127,52-2	RN9- 127,52-3	RN9- 133,53	RN9- 155,00-1	RN9- 155,00-2	RN9- 243,81-1	RN9- 243,81-2	RN9- 243,81-3	RN9- 243,81-4	RN9- 243,81-5	RN9- 243,81-6	RN9- 243,81-7	RN9- 243,81-8
SiO2	44.87	45.03	45.58	46.77	45.30	50.54	50.95	48.32	52.23	45.25	43.11	46.78	47.45
TiO2	0.01	0.01	0.02	0.24	0.09	0.01	0.04	0.07	0.02	1.07	0.28	0.25	0.75
Al2O3	29.67	30.09	30.43	36.13	34.93	33.29	33.24	35.21	33.41	30.51	34.82	36.86	37.16
FeO	8.77	6.88	6.92	0.88	1.26	2.80	3.35	3.33	1.84	5.49	5.78	1.25	1.09
MnO	0.07	0.00	0.04	0.01	0.04	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.04	0.05	0.00
MgO	6.10	3.31	2.13	0.71	0.45	0.86	0.86	1.01	1.15	1.61	1.25	0.47	0.40
CaO	0.07	0.03	0.05	0.01	0.01	0.09	0.03	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	1.07	0.13	0.20	0.30	0.30	0.04	0.22	0.04	0.14	0.00	0.37	0.64	0.04
K2O	4.20	7.72	9.36	11.28	11.29	9.50	9.55	10.18	9.35	10.34	8.91	10.80	10.72
Cl	0.03	0.04	0.02	0.23	0.00	0.02	0.03	0.00	0.02	0.09	0.01	0.01	0.00
H2O	4.42	4.33	4.36	4.50	4.41	4.62	4.66	4.63	4.71	4.33	4.39	4.59	4.64
Total	99.28	97.57	99.11	101.04	98.08	101.77	102.93	102.91	102.88	98.69	98.95	101.69	102.24
Fórmula calculada na base de 22 oxigênios equivalentes													
Si	6.07	6.23	6.26	6.16	6.16	6.55	6.55	6.26	6.64	6.24	5.89	6.11	6.14
Al ^{IV}	1.93	1.77	1.74	1.84	1.84	1.45	1.45	1.75	1.36	1.77	2.11	1.89	1.86
S ^{IV}	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al ^{VI}	2.81	3.13	3.18	3.76	3.76	3.63	3.58	3.62	3.65	3.19	3.50	3.78	3.80
Ti	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.11	0.03	0.03	0.07
Fe ²	0.99	0.80	0.79	0.10	0.14	0.30	0.36	0.36	0.20	0.63	0.66	0.14	0.12
Mn	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Mg	1.23	0.68	0.44	0.14	0.09	0.17	0.17	0.20	0.22	0.33	0.26	0.09	0.08
Ca	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.28	0.03	0.05	0.08	0.08	0.01	0.06	0.01	0.04	0.00	0.10	0.16	0.01
S ^{VI}	5.33	4.65	4.48	4.10	4.09	4.12	4.17	4.21	4.10	4.26	4.54	4.20	4.07
K	0.73	1.36	1.64	1.89	1.96	1.57	1.57	1.68	1.52	1.82	1.55	1.80	1.77
Cations	14.06	14.01	14.12	13.99	14.05	13.69	13.74	13.89	13.62	14.08	14.09	14.00	13.84
CCl	0.01	0.02	0.01	0.10	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
OH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Química Mineral - Granada						
Amostra	RN9-127,44/3/1	RN9-127,44/3/9	RN9-59,05/2/39	RN9-59,05/2/40	RN9-59,05/3/44	RN9-59,05/3/46
SiO ₂	37,83	36,99	37,22	36,62	37,06	37,14
TiO ₂	0,03	0,05	0,14	0,17	0,06	0,06
Al ₂ O ₃	20,91	20,54	19,55	19,55	19,81	19,89
Cr ₂ O ₃	0,00	0,04	0,09	0,15	0,00	0,04
FeO	35,25	36,11	32,41	32,45	35,59	34,52
Fe ₂ O ₃	0,00	0,60	1,50	1,69	0,00	1,19
MnO	2,28	2,18	5,21	5,16	0,00	2,88
MgO	3,01	2,64	0,60	0,59	0,61	0,69
CaO	1,22	1,12	3,15	2,74	3,52	3,52
Total	100,54	100,28	99,88	99,12	96,64	99,91
Fórmula calculada na base de 12 oxigênios equivalentes						
Si ^{IV}	3,04	2,99	3,06	3,04	3,13	3,04
Al ^{VI}	1,98	1,95	1,89	1,91	1,97	1,92
Fe ³	0,00	0,04	0,09	0,11	0,00	0,07
Ti	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Σ_A	1,98	1,99	2,00	2,04	1,97	2,00
Fe ²	2,37	2,44	2,23	2,25	2,51	2,37
Mg	0,36	0,32	0,07	0,07	0,08	0,08
Mn	0,16	0,15	0,36	0,36	0,00	0,20
Ca	0,11	0,10	0,28	0,24	0,32	0,31
Σ_B	2,99	3,01	2,94	2,93	2,90	2,96
Cátions	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Almandina	79,24	81,24	75,72	76,83	86,44	79,98
Andradita	0,00	1,82	4,62	5,18	0,00	3,67
Grossulária	3,51	1,26	4,52	2,63	10,94	6,63
Piropo	12,08	10,57	2,52	2,49	2,62	2,83
Espeartita	5,18	4,97	12,33	12,38	0,00	6,75
Uvarovita	0,00	0,14	0,30	0,49	0,00	0,14

Química Mineral - Cordierita (Ferro-antofilita cordierito)				Química Mineral - Cordierita (Xistos)														
Sample	RN4- 83A-1	RN4- 83A-2	RN4- 83A-3	RN9- 91,09-1	RN9- 91,09-2	RN9- 127,44-1	RN9- 127,44-2	RN9- 127,44-3	RN9- 127,44-4	RN9- 127,44-5	RN9- 127,44-6	RN9- 127,44-7	RN9- 127,44-8	RN9- 127,52-1	RN9- 127,52-2	RN9- 127,52-3	RN9- 127,52-4	RN9- 127,52-5
SiO2	48,37	47,72	47,96	46,88	46,92	46,72	48,32	47,69	48,02	47,95	47,95	47,89	46,48	47,83	47,36	44,41	46,23	48,11
TiO2	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,08	0,02	0,00
Al2O3	32,83	32,61	32,72	31,36	31,41	32,69	31,68	32,03	31,75	31,94	32,04	31,71	30,91	31,24	31,17	29,51	30,75	31,36
FeO	11,85	11,97	11,67	14,75	15,13	7,97	11,03	12,00	11,02	10,91	12,02	11,88	11,38	10,55	10,70	9,80	11,32	11,11
MnO	0,14	0,13	0,13	0,30	0,32	0,10	0,13	0,24	0,11	0,16	0,13	0,13	0,17	0,17	0,10	0,14	0,11	0,13
MgO	6,32	5,92	6,05	3,35	3,18	4,43	6,41	6,07	6,42	6,38	5,76	5,71	6,00	6,75	6,82	6,63	6,73	6,53
CaO	0,03	0,06	0,04	0,03	0,07	0,53	0,03	0,08	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04	0,00	0,03	0,03	0,14	0,02
Na2O	0,07	0,05	0,34	0,63	0,46	2,55	0,25	0,47	0,37	0,00	0,00	0,10	0,26	0,22	0,10	0,58	0,28	0,14
K2O	0,00	0,02	0,00	0,14	0,02	1,92	0,02	0,08	0,07	0,01	0,02	0,03	1,37	0,05	0,03	4,80	0,58	0,01
Total	99,60	98,54	98,96	97,44	97,52	96,91	97,87	98,68	97,77	97,37	97,96	97,46	96,63	96,84	96,32	95,99	96,16	97,39
Fórmula calculada na base de 18 oxigênios equivalentes																		
Si	5,00	4,99	5,00	5,09	5,08	5,21	5,09	5,01	5,07	5,06	5,05	5,08	5,04	5,08	5,05	5,01	4,98	5,08
Al ^{IV}	1,00	1,01	1,00	0,91	0,92	0,79	0,92	0,99	0,94	0,95	0,95	0,93	0,96	0,93	0,96	0,99	1,02	0,92
S ^{IV}	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al ^{VI}	2,99	3,01	3,02	3,09	3,09	3,51	3,01	2,97	3,01	3,02	3,03	3,03	2,98	2,98	2,96	2,94	2,89	2,98
Ti	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe ²	1,02	1,05	1,02	1,34	1,37	0,74	0,97	1,05	0,97	0,96	1,06	1,05	1,03	0,94	0,95	0,93	1,02	0,98
Mn	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	0,97	0,92	0,94	0,54	0,51	0,74	1,01	0,95	1,01	1,00	0,91	0,90	0,97	1,07	1,08	1,12	1,08	1,03
Ca	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Na	0,01	0,01	0,07	0,13	0,10	0,55	0,05	0,10	0,08	0,00	0,00	0,02	0,05	0,05	0,02	0,13	0,06	0,03
K	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,27	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,19	0,01	0,00	0,69	0,08	0,00
S ^{VI}	5,02	5,02	5,07	5,15	5,11	5,89	5,06	5,12	5,09	5,00	5,01	5,03	5,25	5,05	5,03	5,82	5,15	5,03
Cations	11,02	11,02	11,07	11,15	11,11	11,89	11,06	11,12	11,09	11,00	11,01	11,03	11,25	11,05	11,03	11,82	11,15	11,03

Química Mineral - Turmalina (Diques graníticos)											Química Mineral - Turmalina (Xistos)							
Amostras	RN8-232,71	RN9-84,86	RN9-242,82-1	RN9-242,82-2	RN9-246,60-1	RN9-246,60-2	RN9-246,60-3	RN9-246,60-4	RN9-246,60-5	RN9-246,60-6	RN8-241,58-1	RN8-241,58-2	RN9-59,05	RN9-99,95	RN9-100,14	RN9-127,52-1	RN10-189,94-1	RN10-189,94-2
SiO ₂	33,55	34,21	34,89	35,83	36,70	34,57	35,19	34,57	36,26	35,68	33,44	33,01	34,62	35,40	34,17	34,50	36,11	36,94
TiO ₂	0,46	0,55	1,30	1,33	0,39	0,84	0,75	0,84	0,51	1,57	0,70	0,81	0,80	0,84	0,87	1,15	0,21	0,09
Al ₂ O ₃	32,72	31,04	33,52	34,55	31,74	33,50	27,54	33,50	34,83	28,72	37,72	36,73	30,40	32,75	33,77	32,64	32,23	31,44
FeO	14,54	15,55	10,22	7,22	8,57	8,24	10,71	8,24	7,75	12,94	9,22	9,21	14,65	10,60	7,59	8,39	11,23	12,47
MgO	0,96	1,74	4,88	5,84	6,11	4,69	4,19	4,69	4,85	4,68	3,07	2,87	2,65	3,83	5,57	5,21	4,63	4,63
MnO	0,05	0,13	0,00	0,04	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,08	0,01	0,03	0,05	0,04	0,00	0,08	0,01	0,04
CaO	0,60	0,98	0,83	0,00	0,40	1,07	0,86	1,07	0,66	0,98	1,79	1,66	1,93	0,67	0,20	1,64	0,40	0,00
Na ₂ O	1,60	1,78	0,68	2,19	2,67	1,13	1,60	1,13	1,29	2,29	1,11	0,83	0,90	1,49	1,46	0,83	2,72	2,42
K ₂ O	0,07	0,06	0,07	0,05	0,01	0,08	3,18	0,08	0,04	0,02	0,06	0,10	0,09	0,04	0,10	0,03	0,03	0,05
H ₂ O	3,46	3,49	3,63	3,71	3,65	3,57	3,42	3,57	3,68	3,56	3,67	3,59	3,51	3,59	3,56	3,57	3,64	3,65
B ₂ O ₃	10,09	10,18	10,59	10,82	10,66	10,40	9,98	10,40	10,74	10,39	10,70	10,47	10,23	10,47	10,39	10,41	10,62	10,65
Total	98,11	99,71	100,61	101,57	100,90	98,07	97,48	98,07	100,61	100,90	101,50	99,30	99,82	99,71	97,66	98,45	101,82	102,38
Fórmula calculada na base de 24,5 oxigênios equivalentes																		
Si	5,81	5,87	5,76	5,79	6,02	5,81	6,16	5,81	5,90	6,00	5,46	5,51	5,91	5,91	5,75	5,79	5,94	6,06
Al	0,19	0,13	0,24	0,21	-0,02	0,19	-0,16	0,00	0,10	0,00	0,54	0,00	0,09	0,09	0,25	0,21	0,06	-0,06
T Si	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,81	6,00	6,00	6,00	5,51	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	6,49	6,16	6,28	6,36	6,15	6,45	5,84	6,00	6,00	5,70	6,00	6,00	6,00	6,35	6,44	6,00	6,19	6,14
Mg ₂₊	-0,49	-0,16	-0,28	-0,36	-0,15	-0,45	0,16	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	-0,35	-0,44	0,00	-0,19	-0,14
Fe ₂₊	2,11	2,23	1,41	0,98	1,18	1,16	1,57	1,16	1,06	1,82	1,26	1,29	2,09	1,48	1,07	1,18	1,55	1,71
Mg	0,73	0,60	1,48	1,77	1,65	1,62	0,94	1,17	1,18	0,87	0,75	0,71	0,68	1,31	1,84	1,30	1,33	1,27
Mn	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Ti	0,06	0,07	0,16	0,16	0,05	0,11	0,10	0,11	0,06	0,20	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,15	0,03	0,01
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,58	0,00	0,73	1,22	0,03	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00
T Y	2,91	2,93	3,06	2,91	2,87	2,88	2,61	3,07	2,87	2,90	2,82	3,33	2,91	2,90	3,01	2,90	2,90	3,00

	Química Mineral - Hematita (Formação Ferrífera)				Química Mineral - Ilmenita e Rutilo (Xistos)			Química Mineral - Ilmenita e Rutilo (Metanorito)				
Amostra	RN4-36D-1	RN4-36D-2	RN4-36D-3	RN4-36D-4	RN9-133,53-1	RN9-133,53-2	RN9-133,53-3	RN4-83B-1	RN4-83B-2	RN4-83B-3	RN4-83B-4	RN4-83B-5
SiO2	0,00	0,36	24,27	0,37	0,73	0,02	6,31	0,06	0,03	0,00	0,01	13,45
Al2O3	0,02	0,03	0,17	0,07	0,23	0,01	4,85	0,03	0,04	0,04	0,14	0,22
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,33	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	97,29	52,49	73,62	52,44	53,35	53,20	99,54	47,39
FeO	30,46	30,70	22,73	29,20	0,57	45,16	8,85	45,75	45,10	44,96	1,24	27,31
Cr2O3	0,05	0,00	0,03	0,02	0,05	0,03	0,04	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02
NiO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00	0,04	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,11	0,00	0,06	0,00	0,11	0,00	0,07	0,00	0,02	0,13
V2O5	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,17	0,06	0,40	0,12
CaO	0,00	0,01	0,02	0,02	0,18	0,00	0,16	0,04	0,02	0,10	0,30	7,16
MnO	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	1,50	0,78	1,41	1,51	1,92	0,00	1,59
Fe2O3	67,63	68,24	50,27	64,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total%	98,20	99,41	97,61	94,52	99,11	99,22	97,04	99,99	100,31	100,38	101,64	97,41
Si	0,00	0,11	6,23	0,12	0,16	0,00	1,40	0,02	0,01	0,00	0,00	3,29
Al	0,01	0,01	0,05	0,03	0,06	0,00	1,27	0,01	0,01	0,01	0,04	0,06
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,77	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	15,72	10,70	12,33	10,61	10,72	10,70	15,76	8,72
Fe	7,99	7,93	4,88	7,93	0,10	10,23	1,65	10,30	10,08	10,06	0,22	5,59
Cr	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
V	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,01	0,06	0,02
Ca	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,00	0,04	0,01	0,01	0,03	0,07	1,88
Mn	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,34	0,15	0,32	0,34	0,44	0,00	0,33
Fe2O3	15,97	15,87	9,70	15,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cátions	24,00	23,94	20,89	23,94	16,09	21,30	17,63	21,32	21,22	21,27	16,14	19,93

Química Mineral - Ilmenita e Rutilo (Anfibolito)					Química Mineral - Ilmenita e Rutilo (Diques graníticos)									
Amostra	RN4-175A-1	RN4-175A-2	RN4-175A-3	RN4-175A-4	RN9-158,58-1	RN9-158,58-2	RN9-158,58-3	RN9-242,82-1	RN9-242,82-2	RN9-242,82-3	RN9-242,82-4	RN9-246,60-1	RN9-246,60-2	RN9-246,60-3
SiO2	0,01	0,03	28,84	9,64	2,43	24,37	0,03	0,14	31,20	10,66	12,55	20,79	30,75	6,56
Al2O3	0,01	0,02	0,31	0,08	0,11	0,96	0,00	0,07	0,28	1,10	8,76	1,57	2,03	1,18
MgO	0,05	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	3,42	0,01	0,06	0,00
TiO2	52,95	52,01	41,20	81,16	93,09	41,82	52,31	99,40	39,36	48,36	51,72	56,27	37,13	58,14
FeO	44,20	44,27	2,29	0,58	0,41	3,63	41,43	0,36	0,95	30,73	13,67	2,07	0,46	25,64
Cr2O3	0,02	0,00	0,04	0,05	0,00	0,01	0,03	0,08	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,02	0,00	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
V2O5	0,24	0,25	0,04	0,35	0,19	0,11	0,13	0,15	0,18	0,08	0,25	0,22	0,10	0,16
CaO	0,03	0,05	25,81	10,37	3,20	24,93	0,25	0,22	28,30	10,97	0,18	22,02	28,12	6,16
MnO	0,98	0,96	0,03	0,02	0,00	0,24	1,69	0,00	0,01	0,74	0,13	0,58	0,00	0,95
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total %	98,51	97,67	98,55	102,35	99,49	96,09	95,89	100,42	100,38	102,63	90,72	103,56	98,64	98,82
Si	0,00	0,01	6,16	2,01	0,52	5,43	0,01	0,03	6,50	2,54	2,96	4,29	6,49	1,59
Al	0,00	0,01	0,08	0,02	0,03	0,25	0,00	0,02	0,07	0,31	2,43	0,38	0,50	0,34
Mg	0,02	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	1,20	0,00	0,02	0,00
Ti	10,80	10,72	6,61	12,70	15,02	7,01	10,91	15,86	6,17	8,67	9,18	8,73	5,89	10,62
Fe	10,02	10,15	0,41	0,10	0,07	0,68	9,61	0,06	0,17	6,13	2,70	0,36	0,08	5,21
Cr	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
V	0,04	0,05	0,01	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04	0,03	0,01	0,03
Ca	0,01	0,02	5,90	2,31	0,74	5,96	0,08	0,05	6,32	2,80	0,04	4,86	6,36	1,60
Mn	0,23	0,22	0,00	0,00	0,00	0,05	0,40	0,00	0,00	0,15	0,03	0,10	0,00	0,20
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cátions	21,13	21,20	19,18	17,22	16,41	19,40	21,04	16,06	19,26	20,61	18,59	18,75	19,35	19,58

Química Mineral – Molibdenita(Tonalito)

Amostra	RN9-158,58-1	RN9-158,58-2	RN9-158,58-3	RN9-158,58-4
As	0,00	0,04	0,00	0,00
S	30,96	38,99	37,25	39,30
Fe	4,44	0,11	1,27	0,03
Zn	0,00	0,00	0,15	0,07
Cu	0,10	0,06	0,12	0,02
Co	0,05	0,00	0,00	0,01
Ni	0,07	0,12	0,06	0,03
Cd	0,00	0,05	0,00	0,04
In	0,11	0,05	0,05	0,00
Mo	57,81	58,16	54,20	57,86
Total%	93,54	97,57	93,10	97,35
As	0,00	0,03	0,00	0,00
S	58,44	66,50	66,19	66,92
Fe	4,81	0,11	1,30	0,03
Zn	0,00	0,00	0,13	0,05
Cu	0,10	0,05	0,11	0,02
Co	0,05	0,00	0,00	0,00
Ni	0,08	0,11	0,06	0,02
Cd	0,00	0,02	0,00	0,02
In	0,06	0,03	0,02	0,00
Mo	36,47	33,15	32,19	32,93
N,A,	100,00	100,00	100,00	100,00

Química Mineral - Pirita (Anfibolito)				Química Mineral - Pirita (Xistos)										Química Mineral - Pirita (Diques graníticos)	
Amostra	RN4-175A-2	RN4-175A-3	RN4-175B-7	RN8-107,64-1	RN8-218,75-2	RN8-218,75-6	RN9-100,17-1	RN9-133,53-8	RN9-133,53-9	RN9-155,00-1	RN9-155,00-3	RN9-155,00-4	RN9-155,00-7	RN9-158,40-1	RN9-246,60-3
As	0,02	0,13	0,11	0,00	0,04	0,13	0,12	0,14	0,09	0,05	0,08	0,05	0,03	0,02	0,08
S	52,64	51,49	53,65	52,86	53,69	53,66	52,92	53,53	53,50	53,40	53,80	53,55	54,00	45,83	53,09
Fe	44,16	42,75	44,10	45,89	42,13	41,60	45,66	46,42	47,09	46,68	46,56	46,78	46,95	39,87	45,90
Zn	0,05	0,03	0,07	0,00	0,10	0,34	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Cu	0,19	0,15	0,00	0,00	0,18	0,04	0,31	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Co	0,00	0,13	0,11	0,12	0,00	0,65	0,00	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,18	0,60	1,64	0,80	0,04	0,18	0,13	0,77	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pt	0,28	0,16	0,16	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	0,33	0,13	0,21	0,68	0,67	0,33	0,29
Total%	97,51	95,43	99,84	99,68	96,85	96,60	99,15	101,20	101,42	100,27	100,65	101,06	101,65	86,04	99,38
As	0,01	0,07	0,06	0,00	0,02	0,07	0,07	0,07	0,05	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01	0,04
S	67,26	67,19	67,01	66,31	68,68	68,58	66,61	66,23	66,17	66,28	66,73	66,28	66,59	66,51	66,74
Fe	32,39	32,03	31,63	33,05	30,94	30,53	33,00	32,97	33,44	33,26	33,15	33,24	33,24	33,22	33,13
Zn	0,03	0,02	0,04	0,00	0,06	0,21	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Cu	0,12	0,10	0,00	0,00	0,12	0,03	0,20	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Co	0,00	0,09	0,08	0,08	0,00	0,45	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,12	0,43	1,12	0,55	0,03	0,12	0,09	0,52	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pt	0,06	0,04	0,03	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,07	0,03	0,04	0,14	0,14	0,08	0,06
Norm,At	100,00	99,96	99,97	99,99	100,00	100,00	99,97	100,00	100,00	99,60	99,97	99,69	99,99	99,82	99,98

Química Mineral - Pirrotita (Fe-antofilita cordierito)

Química Mineral - Pirrotita (Xistos)

Amostra	RN4-83A-2	RN4-83A-3	RN8-107,64-2	RN8-107,64-3	RN8-107,64-4	RN8-107,64-5	RN8-107,64-6	RN9-127,52-1	RN9-133,53-2	RN9-133,53-4	RN9-133,53-5
As	0,13	0,19	0,07	0,07	0,08	0,00	0,06	0,10	0,05	0,10	0,01
S	36,71	36,57	38,33	37,14	37,69	37,60	37,51	39,77	39,56	39,68	39,49
Fe	54,65	57,77	60,01	58,54	57,72	57,43	58,27	59,43	58,43	58,97	59,22
Zn	0,39	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,17	0,00	0,00
Cu	1,47	0,17	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00
Co	0,19	0,17	0,06	0,08	0,01	0,05	0,05	0,00	0,00	0,06	0,04
Ni	0,53	0,39	0,21	0,29	0,13	0,34	0,28	0,00	0,00	0,60	0,31
Pt	0,00	0,00	0,17	0,22	0,25	0,24	0,11	0,31	0,00	0,38	0,44
Total%	94,07	95,26	98,87	96,36	95,87	95,66	96,27	99,68	98,22	99,81	99,50
As	0,08	0,11	0,04	0,04	0,05	0,00	0,04	0,06	0,03	0,06	0,00
S	52,85	52,09	52,50	52,27	53,10	53,08	52,68	53,42	53,98	53,61	53,54
Fe	45,16	47,24	47,19	47,30	46,69	46,56	46,99	45,83	45,77	45,74	46,10
Zn	0,27	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,12	0,00	0,00
Cu	1,07	0,12	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
Co	0,15	0,14	0,05	0,06	0,01	0,04	0,04	0,00	0,00	0,04	0,03
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,42	0,30	0,15	0,22	0,10	0,26	0,22	0,00	0,00	0,44	0,23
Pt	0,00	0,00	0,04	0,05	0,06	0,06	0,03	0,07	0,00	0,08	0,10
Norm,At	100,00	100,00	100,00	99,97	100,00	100,00	99,99	99,42	99,91	99,99	100,00

Amostra	Química Mineral - Pirrotita (Xistos)											Q,M, - Po (Diques graníticos)
	RN9-133,53-6	RN9-133,53-10	RN9-155,00-2	RN9-155,00-5	RN9-172,82-7	RN9-172,82-8	RN9-172,82-9	RN9-230,40-1	RN9-230,40-2	RN9-243,81-2	RN10-145,87-1	RN9-158,40-4
As	0,02	0,03	0,11	0,07	0,14	0,00	0,02	0,09	0,00	0,08	0,00	0,05
S	39,75	39,53	39,39	39,89	38,35	38,89	38,70	38,80	39,86	39,45	39,86	39,58
Fe	58,91	58,87	59,11	59,19	56,11	56,59	50,60	58,11	56,95	57,44	59,39	54,71
Zn	0,03	0,01	0,04	0,00	0,00	0,05	0,00	0,15	0,01	0,00	0,00	0,07
Cu	0,53	0,00	0,07	0,04	0,00	0,04	0,03	0,04	0,00	0,01	0,05	0,39
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Ni	0,24	0,40	0,00	0,00	0,31	0,26	0,44	0,26	0,16	0,13	0,12	0,31
Pt	0,00	0,00	0,04	0,24	0,00	0,00	0,00	0,48	0,63	0,00	0,00	0,00
Total%	99,47	98,84	98,75	99,43	94,91	95,83	89,78	97,94	97,60	97,15	99,43	95,11
As	0,01	0,02	0,06	0,04	0,08	0,00	0,01	0,06	0,00	0,05	0,00	0,03
S	53,72	53,73	53,62	53,76	54,16	54,34	56,90	53,49	54,79	54,36	53,83	55,42
Fe	45,71	45,94	46,19	45,79	45,49	45,39	42,72	46,00	44,95	45,45	46,04	43,97
Zn	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,05
Cu	0,36	0,00	0,05	0,03	0,00	0,03	0,02	0,03	0,00	0,01	0,03	0,28
Co	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,18	0,30	0,00	0,00	0,24	0,20	0,35	0,20	0,12	0,10	0,09	0,24
Pt	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,11	0,14	0,00	0,00	0,00
Norm,At	99,99	100,00	99,95	99,68	99,98	100,00	100,00	99,98	100,00	100,00	99,99	99,98

Química Mineral - Calcopirita (Anfibolito)

Química Mineral - Calcopirita

Química Mineral - Calcopirita (Xistos)

Amostra							(Fe-antofilita cordieritito)											
	RN4-175A-1	RN4-175A-6	RN4-175B-2	RN4-175B-4	RN4-175B-5	RN4-175B-6	RN4-83A-1	RN4-83B-1	RN4-83B-2	RN8-107,64-7	RN8-218,75-1	RN8-218,75-3	RN8-218,75-4	RN8-218,75-5	RN8-218,75-7	RN8-218,75-8	RN8-218,75-9	RN9-47,67-1
As	0,01	0,00	0,11	0,06	0,06	0,13	0,12	0,00	0,09	0,08	0,00	0,00	0,11	0,00	0,09	0,11	0,00	0,08
S	34,71	33,94	35,02	34,17	34,78	35,01	34,60	34,71	34,68	34,82	34,90	35,13	34,76	34,61	34,46	36,66	35,05	35,16
Fe	27,17	27,29	29,31	27,82	29,68	29,91	29,97	29,78	29,70	25,94	27,17	28,88	27,81	27,44	27,26	28,07	27,37	27,97
Zn	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,04	0,06	0,00
Cu	33,87	34,00	33,82	36,92	34,09	34,85	33,91	33,72	34,07	30,86	31,90	31,56	31,91	32,84	32,16	30,78	32,91	33,63
Co	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,06	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,06	0,06	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,08	0,00
Pt	0,00	1,06	0,20	0,34	0,19	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
Total%	95,85	96,31	98,49	99,36	98,80	99,92	98,98	98,24	98,59	91,76	94,17	95,60	94,61	94,94	94,01	95,67	95,45	97,06
As	0,01	0,00	0,07	0,04	0,04	0,08	0,08	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00	0,07	0,00	0,06	0,07	0,00	0,05
S	51,45	50,69	50,74	49,61	50,34	50,12	50,12	50,42	50,26	53,28	52,30	51,93	51,97	51,68	51,89	53,61	51,96	51,51
Fe	23,12	23,40	24,38	23,19	24,66	24,58	24,92	24,84	24,71	22,79	23,38	24,51	23,87	23,52	23,56	23,57	23,30	23,52
Zn	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,04	0,00
Cu	25,33	25,63	24,72	27,05	24,90	25,17	24,79	24,71	24,91	23,83	24,12	23,54	24,07	24,75	24,44	22,71	24,62	24,86
Co	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,05	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00
Pt	0,00	0,26	0,05	0,08	0,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Norm,At	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00	99,96	100,00	100,00	99,99	100,00	99,96	99,99	100,00	99,99	99,98	99,98	99,99	100,00

Amostra	Química Mineral - Calcopirita (Xistos)														Química Mineral - Calcopirita (Diques graníticos)			
	RN9-47,67-3	RN9-47,67-4	RN9-47,67-7	RN9-100,17-2	RN9-133,53-1	RN9-133,53-7	RN9-155,00-6	RN9-172,82-6	RN9-243,81-1	RN9-245,32-1	RN9-35,68-1	RN9-35,68-2	RN9-35,68-3	RN9-145,87-2	RN9-158,40-2	RN9-158,40-3	RN9-246,60A-1	RN9-246,60A-2
As	0,00	0,02	0,00	0,08	0,01	0,07	0,00	0,12	0,15	0,06	0,08	0,00	0,12	0,00	0,12	0,14	0,06	0,02
S	34,69	34,76	34,35	35,10	35,31	34,77	34,51	34,41	34,64	34,92	34,89	33,97	34,95	35,06	34,95	34,60	34,58	34,90
Fe	27,29	27,51	27,14	29,60	30,08	29,77	30,29	28,58	29,40	27,90	30,27	29,54	30,78	30,55	27,31	27,37	29,60	29,99
Zn	0,00	0,10	0,01	0,00	0,07	0,04	0,11	0,00	0,05	0,00	0,00	0,15	0,11	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00
Cu	33,12	33,49	32,49	30,94	33,78	34,29	34,62	33,56	33,96	33,22	33,49	31,43	34,29	33,64	32,44	32,32	33,65	34,00
Co	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,24	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	2,60	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Pt	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,11	0,37	0,00	0,17	0,00	0,11	0,00	0,50	0,29	0,00
Total%	95,38	95,87	94,02	95,78	99,24	98,97	99,53	96,78	98,30	96,47	98,78	98,09	100,25	99,43	94,82	94,93	98,20	98,90
As	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,08	0,09	0,04	0,05	0,00	0,07	0,00	0,08	0,09	0,04	0,01
S	51,67	51,48	51,77	51,78	50,47	50,15	49,63	50,72	50,38	51,51	50,39	49,63	49,89	50,35	52,12	51,82	50,37	50,37
Fe	23,34	23,39	23,48	25,07	24,68	24,64	25,02	24,19	24,55	23,63	25,11	24,78	25,23	25,19	23,38	23,54	24,76	24,85
Zn	0,00	0,07	0,01	0,00	0,05	0,03	0,08	0,00	0,04	0,00	0,00	0,11	0,08	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
Cu	24,90	25,03	24,71	23,03	24,36	24,95	25,13	24,97	24,92	24,73	24,41	23,17	24,70	24,38	24,41	24,43	24,74	24,76
Co	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pt	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,09	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,12	0,07	0,00
Norm,At	99,99	99,98	99,98	99,98	99,56	99,84	99,85	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	99,97	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Amostra	Química Mineral - Calcocita (Anfibolito)					Química Mineral - Idaíta (Xistos)		
	RN4-175A-4	RN4-175A-5	RN4-175B-1	RN4-175B-3	RN4-175B-8	RN9-47,67-2	RN9-47,67-5	RN9-47,67-6
As	0,11	0,10	0,01	0,00	0,00	0,04	0,09	0,00
S	20,38	22,36	22,48	21,72	23,86	31,88	29,69	30,96
Fe	0,70	1,28	2,23	0,86	1,34	12,83	4,32	8,74
Zn	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Cu	75,15	74,31	76,13	76,04	74,49	49,61	57,31	54,32
Co	0,05	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07	0,06
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Pt	0,21	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,20
Total%	96,66	98,34	100,86	98,63	99,70	94,37	91,72	94,31
As	0,08	0,07	0,01	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00
S	34,63	36,83	36,14	35,84	38,35	49,58	48,49	48,77
Fe	0,68	1,21	2,06	0,82	1,24	11,46	4,05	7,91
Zn	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Cu	64,45	61,76	61,76	63,33	60,40	38,93	47,24	43,19
Co	0,05	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06	0,05
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Pt	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05
Norm,At	100,00	99,98	99,97	99,99	99,99	99,99	99,98	99,98

Amostra	Química Mineral - Glaucodoto (Xistos)					Clinossaflorita	Química Mineral - Pentlandita (Fe-antofilita cordierito)	Química Mineral - Pentlandita (Diques graníticos)	
	RN8-107,64-1	RN8-107,64-2	RN9-245,32-1	RN9-245,32-2	RN9-245,32-3	RN9-172,82-1	RN4-83A	RN9-158,58	RN9-246,60A
As	46,73	46,31	48,36	48,83	48,40	77,77	0,08	0,06	0,17
S	19,41	18,79	19,45	19,20	19,44	0,49	38,84	33,09	33,99
Fe	2,64	1,59	2,72	5,07	2,41	9,64	18,06	40,03	28,61
Zn	0,00	0,00	0,01	0,02	0,09	0,03	0,23	0,00	0,00
Cu	0,01	0,04	0,12	0,07	0,28	0,00	0,71	0,12	9,16
Co	29,43	28,45	26,71	16,48	27,70	11,11	27,93	4,80	2,75
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
Ni	1,92	2,68	4,33	12,39	3,92	3,94	14,03	17,77	22,48
Pt	0,00	0,15	0,80	0,30	0,17	0,00	0,24	0,03	0,00
Cd	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
In	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00
Mo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Total%	100,14	98,02	102,49	102,35	102,42	103,09	100,27	95,90	97,16
As	34,49	35,08	35,20	35,52	35,13	70,01	0,05	0,04	0,11
S	33,47	33,25	33,08	32,63	32,97	1,04	53,47	48,32	49,34
Fe	2,61	1,62	2,65	4,95	2,35	11,64	14,28	33,56	23,85
Zn	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,03	0,15	0,00	0,00
Cu	0,01	0,04	0,10	0,06	0,24	0,00	0,50	0,09	6,71
Co	27,61	27,39	24,71	15,24	25,55	12,72	20,92	3,81	2,17
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Ni	1,81	2,59	4,02	11,50	3,64	4,53	10,55	14,17	17,82
Pt	0,00	0,05	0,22	0,08	0,05	0,00	0,06	0,01	0,00
Cd	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
In	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Mo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Norm.At.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Química Mineral - Pentlandita (Xistos)										
Amostra	RN8-107,64-3	RN8-107,64-4	RN8-107,64-5	RN9-230,40-1	RN9-230,40-2	RN9-230,40-3	RN4-243,81	RN10-35,68-1	RN10-35,68-2	RN10-145,87
As	0,05	0,04	0,02	0,16	0,08	0,02	0,08	0,02	0,00	0,19
S	39,27	38,67	40,05	33,72	33,76	33,57	38,83	32,43	31,96	33,57
Fe	11,36	11,56	10,90	26,20	26,55	25,23	53,17	26,43	20,33	24,54
Zn	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,13	0,00	0,00	0,02	0,00
Cu	0,10	0,00	0,00	0,03	0,00	0,08	0,25	0,05	0,03	0,00
Co	23,31	24,69	21,66	7,55	6,12	7,61	3,50	7,13	16,99	15,93
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	21,74	22,14	21,51	30,67	26,31	32,92	11,71	31,61	25,44	26,65
Pt	0,25	0,00	0,00	0,30	0,56	0,35	0,00	0,00	0,51	0,00
Cd	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
In	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Mo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total%	96,16	97,10	94,18	98,71	93,37	99,90	107,59	97,65	95,28	100,88
As	0,03	0,03	0,01	0,10	0,05	0,01	0,04	0,01	0,00	0,12
S	55,72	54,58	57,33	48,31	50,52	47,72	49,89	47,15	47,79	47,30
Fe	9,26	9,37	8,96	21,56	22,81	20,59	39,23	22,06	17,45	19,86
Zn	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,09	0,00	0,00	0,01	0,00
Cu	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,16	0,03	0,03	0,00
Co	17,99	18,96	16,87	5,89	4,98	5,88	2,45	5,64	13,82	12,22
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	16,85	17,06	16,82	24,00	21,50	25,56	8,22	25,10	20,78	20,51
Pt	0,06	0,00	0,00	0,07	0,14	0,08	0,00	0,00	0,12	0,00
Cd	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
In	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Mo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Norm,At,	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

ANEXO II - LITOGEOQUÍMICA

Amostra	Litogeoquímica											
	Anfibolito											
	RN4-64A	RN4-65	RN4-71	RN4-120	RN4-141	RN4-142	RN4-151B	RN4-174	RN4-175A	RN4-175B	RN4-177	RN4-206
SiO ₂	80,77	82,43	82,87	49,97	55,14	52,58	62,00	56,97	51,44	54,88	51,72	51,39
Al ₂ O ₃	4,81	7,88	4,17	14,20	13,72	14,10	14,43	12,89	15,57	14,16	12,96	14,04
Fe ₂ O ₃	9,13	2,77	7,08	14,50	11,73	13,10	7,12	12,94	10,16	12,96	17,02	13,61
MnO	0,07	0,02	0,05	0,30	0,34	0,47	0,06	0,06	0,05	0,05	0,11	0,10
MgO	2,62	0,37	1,39	6,11	4,68	5,96	3,44	3,67	7,06	5,11	3,40	3,62
TiO ₂	0,09	0,53	0,17	1,41	1,05	0,70	0,48	1,09	0,54	0,61	1,69	1,08
CaO	0,07	0,27	1,76	8,86	8,55	8,81	4,09	6,86	8,15	6,57	6,82	6,34
Na ₂ O	0,01	1,85	0,56	2,04	2,30	2,34	8,02	2,21	3,85	2,74	0,64	0,90
K ₂ O	0,03	1,96	1,15	1,14	1,52	0,88	0,07	1,78	0,77	1,26	3,35	6,83
P ₂ O ₅	0,02	0,06	0,03	0,14	0,12	0,08	0,01	0,10	0,06	0,10	0,29	0,10
P ₂ F ₅	2,20	1,80	0,70	1,10	0,60	0,80	0,20	1,20	2,10	1,40	1,80	1,70
C	0,03	0,03	0,03	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	0,10	0,23	0,14	0,08	<0,02
S	<0,02	<0,02	<0,02	0,06	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	0,04	<0,02
Total	99,88	99,95	99,94	99,78	99,75	99,81	99,92	99,76	99,74	99,84	99,77	99,68
Rb	13,10	123,60	79,90	51,00	59,60	36,60	1,40	65,30	27,20	49,00	177,40	284,00
Ba	8,00	207,00	126,00	237,00	571,00	235,00	8,00	184,00	77,00	132,00	580,00	594,00
Sr	1,60	13,20	9,20	102,80	159,60	127,00	8,80	62,50	113,60	81,80	129,20	125,80
Ga	10,20	7,70	6,70	20,10	19,60	18,60	10,60	17,60	13,40	15,30	19,90	20,00
Ni	61,80	23,80	36,90	31,40	11,60	9,10	4,80	19,00	46,30	31,10	30,80	16,60
Cr	20,53	41,06	95,80	184,76	<20,00	88,96	20,53	61,59	75,27	<20,00	34,22	47,90
Co	11,10	7,40	18,20	47,70	35,30	36,80	27,40	38,40	42,80	48,50	49,30	44,50
Zn	37,00	8,00	14,00	22,00	61,00	27,00	2,00	12,00	5,00	7,00	35,00	21,00
Mo	0,30	0,20	<10	0,30	0,40	0,20	<10	0,40	<10	0,30	0,90	<10
Cu	141,20	105,60	143,60	160,10	103,10	38,40	78,50	572,70	417,80	268,10	224,80	15,80
Ag	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
As	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Au	0,70	23,10	2,40	2,30	<50	1,00	1,10	1,10	3,50	4,10	4,80	<50
Sn	2,00	4,00	3,00	2,00	1,00	1,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	3,00
W	1,40	3,20	0,90	1,10	0,90	0,60	2,90	0,80	<50	0,60	0,90	0,80
Ta	0,10	0,50	<10	0,30	0,40	0,30	0,20	0,50	0,20	0,20	0,50	0,50
Nb	2,50	7,60	1,30	5,50	5,90	3,70	2,10	6,00	2,70	3,30	9,20	6,40
Th	<0,2	5,60	2,50	1,80	6,50	4,30	1,20	9,30	2,60	3,40	7,80	7,70
U	0,10	1,50	0,60	0,60	2,10	0,90	0,70	2,50	0,80	0,80	1,90	2,00
Zr	0,30	85,70	32,60	99,50	118,30	78,10	43,50	112,50	59,30	69,70	193,90	123,80
Hf	<10	2,20	0,90	2,80	3,70	2,30	1,20	3,70	1,70	1,90	5,50	3,40
Y	3,10	13,40	10,90	28,40	31,10	24,70	11,30	25,00	13,70	13,60	52,10	158,00
Sc	15,00	8,00	9,00	44,00	38,00	38,00	32,00	34,00	34,00	35,00	36,00	39,00
Cs	0,30	<10	0,20	0,30	<10	<10	<10	0,10	0,20	0,80	0,30	0,30
Pb	2,60	1,60	1,40	0,80	2,40	1,10	1,40	5,00	1,30	0,80	15,70	3,50
V	48,00	38,00	52,00	309,00	250,00	233,00	164,00	366,00	195,00	247,00	291,00	406,00
La	7,30	46,10	17,80	9,90	21,80	13,20	4,90	13,60	7,20	3,30	40,60	197,20
Ce	3,20	61,30	25,30	21,20	39,00	25,00	9,50	24,40	7,40	4,20	72,90	76,80
Pr	0,95	6,88	3,14	2,91	4,85	3,14	1,09	3,13	1,37	0,82	9,77	57,94
Nd	2,70	23,30	11,50	13,60	18,90	13,00	5,20	11,50	5,50	3,30	38,30	210,40
Sm	0,54	3,77	2,43	3,31	4,20	2,93	1,65	2,55	1,32	1,18	8,00	42,80
Eu	0,14	0,82	0,59	0,99	1,57	0,98	0,89	1,14	0,60	0,66	2,26	14,59
Gd	0,52	3,20	2,13	4,02	4,59	3,28	1,86	3,14	1,66	1,70	8,84	40,50
Tb	0,10	0,47	0,36	0,82	0,85	0,63	0,37	0,58	0,35	0,35	1,50	6,70
Dy	0,65	2,44	2,10	4,75	5,21	3,86	2,25	3,61	2,29	2,06	8,84	37,20
Ho	0,14	0,47	0,40	1,03	1,08	0,84	0,41	0,82	0,49	0,51	1,87	6,70
Er	0,42	1,34	1,17	2,98	3,28	2,52	1,17	2,36	1,47	1,44	5,18	16,47
Tm	0,07	0,19	0,20	0,47	0,55	0,43	0,19	0,42	0,25	0,27	0,82	2,51
Yb	0,47	1,13	1,15	2,82	3,27	2,64	1,27	2,42	1,41	1,73	4,84	14,20
Lu	0,07	0,16	0,16	0,42	0,50	0,39	0,20	0,35	0,22	0,27	0,74	1,86

Amostra	Litogeoquímica											
	Anfibolito cloritizado				Ferro-antofilita cordierítico			Formação Ferrífera	Diques graníticos			
	RN4-202	RN9-202,80	RN9-204,94	RN9-216,50	RN4-26	RN4-80	RN4-83A	RN4-36D	RN4-1B	RN8-48,08	RN8-232,66	RN9-84,86
SiO2	78,31	36,05	41,67	86,44	49,97	47,42	50,87	42,27	71,75	75,42	73,55	75,19
Al2O3	6,97	16,11	17,08	2,12	15,65	15,41	14,23	0,11	12,94	13,06	13,81	13,29
Fe2O3	10,66	24,41	20,85	6,91	18,32	21,24	24,69	56,45	4,26	1,34	1,70	0,57
MnO	<0,01	0,11	0,08	0,04	0,18	0,33	0,19	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01
MgO	<0,01	7,58	6,18	1,27	12,62	11,16	7,05	<0,01	0,23	0,32	0,07	0,04
TiO2	0,41	0,90	1,14	0,06	1,23	0,67	0,63	<0,01	0,35	0,12	0,14	0,11
CaO	<0,01	3,88	3,42	0,93	0,20	0,43	0,20	0,07	1,44	0,25	1,04	0,98
Na2O	<0,01	0,07	0,40	0,16	0,15	0,41	0,33	<0,01	3,15	3,76	3,01	2,50
K2O	0,04	2,95	5,09	0,45	0,10	0,16	0,37	<0,01	4,53	4,38	5,65	6,56
P2O5	0,02	0,08	0,09	0,01	0,12	0,10	0,09	0,02	0,08	0,17	0,03	0,04
P,F	3,60	6,50	3,80	1,00	1,10	2,30	1,00	1,00	1,10	1,20	1,00	0,80
C	0,15	0,47	0,03	0,05	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
S	0,02	0,94	0,06	1,01	<0,02	0,18	0,15	<0,02	0,01	0,15	<0,01	0,01
Total	100,07	98,73	99,88	99,40	99,69	99,62	99,66	99,95	99,87	100,04	100,02	100,09
Rb	2,20	126,90	242,60	18,70	4,50	8,90	22,60	0,70	182,40	114,70	205,90	134,50
Ba	3,00	604,00	1378,20	129,00	2,00	31,00	189,00	2,00	1690,50	967,60	1230,00	1006,30
Sr	0,90	16,40	38,70	5,00	1,90	8,70	2,80	<0,5	146,90	16,70	92,10	86,30
Ga	9,30	20,40	21,70	3,80	20,60	16,00	15,00	1,70	24,10	14,10	22,20	16,10
Ni	3,30	187,40	157,40	53,20	12,60	12,30	21,90	1,50	2,70	5,10	0,70	1,70
Cr	61,59	218,98	307,94	20,53	184,76	109,49	205,29	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00	<20,00
Co	4,90	80,60	82,50	37,40	54,80	56,60	63,60	6,80	4,90	4,70	4,60	1,20
Zn	2,00	69,00	51,00	33,00	14,00	22,00	40,00	3,00	35,00	5,00	7,00	4,00
Mo	0,40	2,70	15,80	0,30	0,10	<,10	<,10	0,20	2,00	6,40	1,70	0,50
Cu	81,40	9384,10	28,20	5711,80	1,40	1188,20	1089,00	11,20	6,20	5,80	4,30	6,10
Ag	<,10	2,80	<,10	0,90	<,10	<,10	<,10	<,10	<,10	<,10	<,10	<,10
As	1,40	0,70	<,50	4,90	<,50	<,50	<,50	<,50	<,50	0,60	<,50	<,50
Au	<,50	12,40	0,80	103,80	<,50	1,90	2,90	<,50	<,50	1,20	3,50	0,80
Sn	<1,00	10,00	1,00	2,00	<1,00	<1,00	<1,00	3,00	2,00	1,00	2,00	1,00
W	1,30	1,20	0,50	4,00	2,00	1,20	1,10	2,10	0,70	0,70	0,90	0,80
Ta	0,20	0,20	0,20	<,10	0,50	0,30	0,30	<,10	3,00	2,20	2,70	3,00
Nb	4,70	5,20	3,30	0,20	8,60	4,40	4,80	0,20	45,10	20,20	32,50	23,70
Th	4,30	0,30	0,40	<0,2	9,30	2,70	3,90	0,20	44,30	39,90	47,00	36,00
U	1,00	0,30	1,40	<,10	2,00	0,70	0,90	0,20	11,00	25,60	20,10	33,70
Zr	75,20	48,40	67,80	2,60	102,20	85,60	86,00	1,10	492,70	158,60	234,20	132,70
Hf	1,90	1,50	2,10	<,10	3,50	2,20	2,20	<,10	13,80	6,90	8,70	6,50
Y	3,70	8,60	4,80	1,80	22,30	16,30	19,70	1,50	85,50	29,40	50,50	97,30
Sc	7,00	41,00	44,00	7,00	41,00	36,00	37,00	<1,00	8,00	2,00	2,00	1,00
Cs	<,10	1,00	1,60	0,10	0,30	0,50	0,60	0,10	1,10	0,20	1,20	0,70
Pb	2,10	1,50	0,50	1,90	1,30	0,40	0,40	1,30	10,80	14,20	9,70	6,60
V	80,00	264,00	342,00	32,00	335,00	221,00	232,00	18,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
La	1,20	2,50	5,40	1,20	9,80	10,60	26,50	1,30	152,90	22,10	58,10	55,00
Ce	2,40	3,80	8,30	0,90	19,20	21,40	51,20	1,80	353,50	43,90	124,00	113,20
Pr	0,14	0,52	0,89	0,13	2,57	2,55	5,80	0,33	34,34	4,60	12,82	12,00
Nd	0,50	2,40	3,20	0,40	11,60	10,50	21,30	0,90	118,50	16,70	41,90	41,80
Sm	0,21	0,78	0,70	0,14	3,23	2,26	4,46	0,27	17,90	3,50	7,00	7,60
Eu	0,08	0,25	0,58	0,09	0,39	0,53	1,01	0,09	2,40	1,02	1,64	2,24
Gd	0,22	1,19	0,97	0,18	3,74	2,52	4,13	0,22	14,93	3,84	6,24	8,57
Tb	0,08	0,25	0,16	0,03	0,70	0,45	0,69	0,08	2,72	0,78	1,21	2,03
Dy	0,51	1,47	0,94	0,19	4,08	2,98	3,83	0,21	15,70	4,91	7,08	13,54
Ho	0,14	0,32	0,14	0,06	0,79	0,61	0,72	0,09	2,89	1,03	1,46	2,98
Er	0,41	0,87	0,47	0,22	2,41	1,78	2,10	0,18	8,29	3,06	4,77	9,65
Tm	0,08	0,13	0,07	0,06	0,39	0,31	0,33	0,04	1,22	0,45	0,76	1,52
Yb	0,49	0,90	0,49	0,39	2,38	1,75	1,91	0,10	7,74	2,98	5,22	10,24
Lu	0,09	0,15	0,11	0,09	0,38	0,28	0,30	0,04	1,14	0,46	0,83	1,55

Litogeoquímica												
Amostra	Diques graníticos					Metanorito	Xistos					
	RN9-142,35	RN9-158,40	RN9-208,25	RN9-226,12	RN9-246,60	RN4-83B	RN4-1A	RN4-3A	RN4-4	RN4-16	RN4-216	RN8-161,75
SiO ₂	76,12	67,23	75,40	72,00	57,68	51,67	45,34	58,28	54,87	54,84	63,99	77,93
Al ₂ O ₃	12,42	16,58	13,12	16,21	17,73	16,87	15,74	18,84	17,84	27,16	19,55	11,74
Fe ₂ O ₃	1,54	2,58	1,08	0,78	9,22	11,37	15,15	7,22	12,29	2,82	4,11	1,22
MnO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,12	0,09	0,05	0,04	<0,01	0,03	0,01
MgO	0,11	0,34	0,06	0,23	3,02	6,12	12,22	0,51	2,15	0,25	1,61	0,24
TiO ₂	0,08	0,23	0,05	0,08	0,89	1,47	0,90	1,48	1,24	1,37	1,38	0,13
CaO	0,54	3,48	1,06	3,10	1,39	7,39	0,43	0,81	0,45	<0,01	0,12	0,27
Na ₂ O	2,18	4,54	1,89	5,11	5,12	1,34	1,68	0,76	0,26	0,17	0,11	1,52
K ₂ O	6,49	1,48	6,71	1,04	0,55	1,70	7,49	9,81	8,30	6,19	5,92	5,99
P ₂ O ₅	0,06	0,21	0,05	0,04	0,61	0,33	0,07	0,55	0,47	0,07	0,09	0,03
P,F	0,60	3,00	0,60	1,30	2,60	1,40	1,10	1,60	2,10	6,90	2,80	0,80
C	0,03	0,09	0,02	0,07	0,03	0,02	0,01	0,04	0,02	1,13	0,07	<0,02
S	0,02	1,55	<0,01	<0,01	1,09	<0,02	0,02	0,10	<0,01	<0,02	<0,02	<0,02
Total	100,16	99,70	100,03	99,90	98,89	99,80	100,27	99,92	100,03	99,76	99,78	99,89
Rb	169,50	73,40	133,00	39,40	21,20	116,20	412,90	133,40	136,20	146,40	155,30	158,00
Ba	543,70	208,30	481,10	197,30	122,20	239,00	109,00	1059,60	740,00	477,00	459,00	575,00
Sr	42,30	176,50	82,60	180,90	60,10	151,80	11,30	21,40	8,90	16,30	12,70	58,90
Ga	17,50	22,70	18,20	17,70	20,70	18,30	17,20	33,40	29,60	33,30	33,90	16,30
Ni	1,30	16,00	0,50	6,20	95,60	26,40	144,80	34,70	39,60	3,70	24,20	2,10
Cr	<20,00	41,06	<20,00	20,53	157,39	171,08	239,51	41,06	34,22	171,08	198,45	<20,00
Co	2,60	12,60	3,20	3,90	25,20	39,30	52,90	19,50	29,00	6,50	20,80	4,30
Zn	7,00	33,00	4,00	6,00	20,00	8,00	64,00	15,00	8,00	<1,00	6,00	7,00
Mo	1,00	>2000,00	1,60	0,90	7,70	0,30	0,10	2,20	10,90	3,40	1,90	1,00
Cu	5,10	1383,50	34,60	5,00	9734,40	42,80	6,20	800,30	271,20	36,60	112,90	15,40
Ag	<,10	1,00	<,10	<,10	1,80	<,10	<,10	0,10	<,10	<,10	0,10	<,10
As	0,90	<,50	4,70	<,50	<,50	<,50	<,50	<,50	<,50	<,50	8,20	0,90
Au	1,60	35,60	0,60	2,00	19,90	1,00	0,90	7,30	1,40	6,00	1,30	2,50
Sn	4,00	1,00	3,00	<1,00	16,00	<1,00	3,00	5,00	2,00	4,00	3,00	3,00
W	1,60	27,40	2,50	0,60	7,10	0,80	1,10	3,40	2,10	3,60	5,70	1,40
Ta	1,50	1,50	1,70	0,70	1,00	0,60	0,20	3,10	2,70	1,90	1,90	1,90
Nb	20,20	12,30	13,60	4,60	12,80	9,00	3,10	51,90	44,00	26,50	32,30	21,60
Th	27,30	82,90	25,70	12,90	18,00	2,50	1,50	48,80	41,10	32,70	34,10	42,10
U	18,30	1072,70	21,70	16,80	6,20	1,10	1,40	12,10	11,30	5,80	8,80	24,30
Zr	88,10	81,30	56,50	53,80	284,10	153,00	53,40	1053,60	808,30	469,90	554,30	126,60
Hf	4,20	3,10	2,80	3,50	7,50	4,00	1,80	23,80	19,30	11,90	14,30	4,90
Y	79,40	55,50	94,50	21,80	31,20	22,80	25,10	111,40	157,20	46,40	53,30	43,20
Sc	3,00	4,00	2,00	3,00	20,00	26,00	33,00	14,00	12,00	43,00	22,00	5,00
Cs	0,70	0,40	0,40	0,50	0,10	0,70	3,90	0,70	1,20	0,50	0,80	0,60
Pb	6,50	375,90	4,60	5,70	3,20	0,80	1,20	7,20	2,90	1,60	4,80	11,30
V	<5,00	19,00	<5,00	15,00	129,00	202,00	253,00	71,00	69,00	250,00	171,00	14,00
La	38,10	38,20	29,20	15,40	46,00	19,40	9,10	69,70	55,50	93,10	67,70	72,20
Ce	80,50	63,40	57,10	26,80	90,10	40,90	17,70	165,20	104,80	168,20	129,20	138,00
Pr	8,78	6,51	6,16	2,76	9,58	5,20	2,40	17,44	11,10	18,19	13,99	15,12
Nd	31,20	22,50	21,30	9,10	33,70	20,20	10,70	64,20	43,10	59,20	48,50	52,40
Sm	6,20	4,80	4,70	1,80	5,20	4,47	2,90	11,20	10,10	9,89	8,29	9,10
Eu	1,74	1,89	3,14	2,15	1,58	1,26	0,51	2,48	2,23	2,09	1,63	4,20
Gd	7,29	5,43	6,71	1,99	4,77	4,43	3,38	13,64	14,94	8,65	7,85	8,07
Tb	1,72	1,23	1,72	0,43	0,89	0,76	0,69	2,96	2,76	1,40	1,33	1,30
Dy	11,41	8,67	12,48	2,94	5,46	4,20	4,24	17,42	16,60	8,22	8,15	6,95
Ho	2,45	1,84	2,84	0,59	0,99	0,79	0,84	3,58	3,60	1,60	1,80	1,47
Er	7,92	5,72	9,21	1,99	3,05	2,20	2,46	10,42	11,35	4,85	5,03	4,19
Tm	1,21	0,79	1,25	0,29	0,41	0,38	0,35	1,45	1,58	0,75	0,84	0,76
Yb	8,07	4,92	8,50	2,18	2,93	2,16	2,29	9,55	9,42	4,77	5,03	4,40
Lu	1,24	0,70	1,28	0,36	0,48	0,31	0,34	1,44	1,51	0,71	0,82	0,67

Amostra	Litogeoquímica										Xistos fortemente mineralizados		
	Xistos										RN8- 107,67	RN8- 206,24	RN8- 218,66
	RN8- 241,40	RN9- 59,10	RN9- 133,47	RN9- 248,00	RN10- 33,95	RN10- 50,38	RN10- 136,46	RN10- 137,53	RN10- 189,94				
SiO₂	41,91	53,94	59,01	60,01	51,74	53,85	53,75	41,84	57,62	52,86	53,98	54,51	
Al₂O₃	27,46	12,65	20,27	18,49	14,21	15,06	20,60	17,68	16,64	8,35	17,94	14,63	
Fe₂O₃	15,56	23,19	7,98	8,32	17,14	18,97	11,31	30,35	13,42	27,56	9,25	17,87	
MnO	0,09	0,16	0,04	0,05	0,14	0,03	0,08	3,64	0,05	0,03	0,07	0,13	
MgO	2,89	1,69	1,58	2,65	5,15	2,77	1,10	1,44	2,75	1,23	2,12	2,49	
TiO₂	1,52	0,74	1,01	1,18	1,20	0,62	1,39	0,87	0,94	0,38	1,06	0,86	
CaO	0,73	0,43	0,23	0,21	4,40	0,20	1,43	2,05	0,32	0,11	1,03	0,49	
Na₂O	0,48	0,09	0,28	0,52	0,94	0,17	1,33	0,03	0,17	0,04	0,20	0,05	
K₂O	6,67	5,19	6,60	4,55	3,96	3,79	6,08	2,74	5,69	2,52	11,53	3,02	
P₂O₅	0,24	0,23	0,16	0,14	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,50	0,06	
P,F	2,40	1,60	2,90	3,80	1,10	4,10	2,70	<,10	2,10	5,90	1,90	4,50	
C	0,05	0,17	0,23	0,05	0,03	0,10	0,07	0,08	0,05	0,20	<0,02	0,04	
S	0,13	0,02	0,15	0,11	<,01	3,70	0,04	0,13	0,03	10,33	0,04	1,80	
Total	99,98	99,94	100,09	99,96	100,12	99,76	99,91	100,02	99,82	99,24	99,56	98,57	
Rb	193,20	130,80	136,80	109,90	220,90	129,80	164,30	103,40	167,40	75,50	321,00	159,80	
Ba	596,90	412,90	476,70	593,30	228,40	268,00	849,00	280,10	634,00	144,00	2120,00	570,00	
Sr	31,50	17,30	17,30	11,10	32,40	7,90	68,10	1,20	10,60	6,50	12,40	18,40	
Ga	43,80	18,30	27,30	28,50	19,40	19,70	22,90	16,30	21,50	12,60	23,90	29,60	
Ni	47,50	89,20	41,80	48,10	54,10	632,30	73,70	105,70	58,80	1098,50	55,40	82,60	
Cr	191,60	171,08	191,60	184,76	136,86	218,98	143,70	355,84	109,49	61,59	20,53	116,33	
Co	76,10	72,90	37,50	28,40	49,90	236,30	29,00	60,10	43,70	878,20	9,10	64,20	
Zn	75,00	39,00	10,00	9,00	40,00	17,00	19,00	35,00	24,00	39,00	76,00	4475,00	
Mo	5,70	2,60	6,00	4,20	0,90	1,80	1,80	4,10	2,00	1,40	6,00	130,30	
Cu	151,60	193,10	205,50	640,70	1,80	729,20	188,50	245,00	63,70	6186,70	104,60	6250,80	
Ag	<,10	<,10	<,10	0,20	<,10	<,10	<,10	<,10	<,10	2,10	<,10	1,40	
As	0,80	<,50	1,10	2,20	<,50	0,90	0,60	<,50	0,50	33,90	<,50	6,20	
Au	1,10	4,20	0,60	9,60	2,40	8,60	3,40	5,70	5,00	196,60	5,00	24,10	
Sn	3,00	21,00	7,00	3,00	4,00	8,00	5,00	5,00	7,00	13,00	9,00	5,00	
W	7,80	10,60	10,10	8,60	0,70	3,80	4,20	1,30	4,80	3,30	5,30	3,60	
Ta	2,70	1,00	1,40	1,70	0,40	0,60	0,80	0,50	1,30	0,50	2,40	1,20	
Nb	40,70	14,70	17,90	27,00	6,50	9,80	15,50	8,00	17,60	10,50	44,80	18,70	
Th	51,80	24,60	29,30	36,90	8,00	12,70	11,20	16,10	34,10	11,60	35,00	23,80	
U	12,00	5,70	7,50	7,50	1,70	2,80	3,20	4,40	7,40	3,10	14,20	6,40	
Zr	736,70	294,30	364,20	488,30	90,10	162,80	280,60	179,90	339,60	145,20	709,30	297,40	
Hf	17,70	7,10	9,80	12,30	3,00	4,20	7,30	4,70	8,90	3,70	17,00	8,10	
Y	100,00	31,80	42,30	41,60	32,90	26,70	17,40	110,30	28,70	22,10	79,50	34,70	
Sc	39,00	16,00	27,00	26,00	39,00	26,00	29,00	41,00	26,00	10,00	8,00	17,00	
Cs	2,40	2,70	1,80	1,10	3,50	1,10	0,70	1,50	1,40	0,90	0,30	0,90	
Pb	3,20	3,10	2,20	3,30	1,60	2,30	2,90	0,90	4,10	3,00	53,20	476,90	
V	250,00	104,00	177,00	170,00	321,00	188,00	201,00	242,00	165,00	78,00	63,00	129,00	
La	210,60	51,50	96,20	37,90	12,60	47,90	44,00	82,40	7,70	95,40	7,70	74,20	
Ce	453,10	105,20	201,10	77,40	29,00	87,90	80,30	159,30	12,00	171,50	15,10	132,40	
Pr	44,89	10,84	19,87	8,20	3,74	9,73	9,01	16,64	1,29	18,34	1,92	13,67	
Nd	159,90	37,40	67,70	27,00	15,40	36,40	33,70	58,20	5,00	64,70	8,00	46,80	
Sm	25,10	6,00	10,70	4,50	4,20	6,43	5,81	10,80	1,17	10,29	2,81	7,69	
Eu	8,82	3,56	4,35	1,35	1,14	1,68	1,77	4,02	0,62	2,68	1,36	1,62	
Gd	19,77	5,45	8,33	4,71	5,18	5,93	4,39	11,90	2,18	8,12	5,31	6,82	
Tb	3,51	0,98	1,45	0,99	1,03	0,93	0,68	2,71	0,57	1,02	1,37	1,09	
Dy	17,99	5,39	7,98	6,41	6,08	5,12	3,46	17,64	4,02	4,68	10,69	6,07	
Ho	3,17	1,02	1,40	1,29	1,10	1,00	0,65	3,52	0,95	0,82	2,76	1,25	
Er	8,84	3,14	3,96	4,14	3,13	2,60	1,57	9,68	3,09	1,95	8,88	3,47	
Tm	1,20	0,42	0,54	0,59	0,40	0,41	0,25	1,19	0,57	0,31	1,63	0,58	
Yb	8,13	2,83	3,59	4,05	2,79	2,44	1,47	7,31	3,66	1,90	10,13	3,57	
Lu	1,27	0,43	0,55	0,65	0,43	0,35	0,23	1,05	0,62	0,28	1,51	0,53	

Litogeoquímica												
Xistos fortemente mineralizados												
Amostra	RN9-47,64	RN9-91,09	RN9-99,80	RN9-127,30	RN9-172,70	RN9-230,25	RN9-243,82	RN9-245,05	RN10-104,25	RN10-145,87	RN10-189,94	RN10-225,20
SiO ₂	54,99	66,49	55,87	36,69	59,44	68,01	60,67	65,92	62,28	74,21	57,62	57,61
Al ₂ O ₃	13,43	11,90	24,06	19,09	3,97	8,06	19,50	16,07	14,70	6,35	16,64	16,87
Fe ₂ O ₃	21,96	8,23	6,82	25,51	27,69	13,21	5,16	7,53	8,33	12,43	13,42	12,31
MnO	0,14	0,04	0,05	0,09	0,01	0,08	0,05	0,03	0,04	0,03	0,05	0,07
MgO	1,20	0,76	0,84	6,46	0,35	4,77	1,41	2,16	2,20	0,52	2,75	2,10
TiO ₂	0,75	0,71	1,02	1,13	0,13	0,17	0,85	0,73	0,71	0,36	0,94	1,13
CaO	0,21	0,30	0,41	0,20	0,18	0,46	0,82	0,25	0,34	0,17	0,32	0,92
Na ₂ O	0,11	2,56	0,78	0,13	0,27	0,14	1,67	0,64	2,12	0,09	0,17	0,17
K ₂ O	4,70	3,22	7,81	5,18	0,85	2,09	7,13	4,30	3,41	1,88	5,69	5,01
P ₂ O ₅	0,13	0,13	0,15	0,16	0,05	0,09	0,14	0,07	0,11	0,11	0,11	0,09
P,F	2,00	2,70	2,00	4,60	6,10	2,40	2,00	2,00	3,40	2,50	2,10	3,20
C	0,16	0,19	0,72	0,07	0,03	<0,02	0,03	<0,02	0,30	0,03	0,05	0,10
S	0,10	3,35	0,17	2,45	13,05	1,07	0,26	0,38	2,41	3,98	0,03	0,46
Total	99,61	97,11	99,85	99,29	99,32	99,54	99,46	99,69	97,70	98,72	99,82	99,56
Rb	122,90	85,30	150,30	117,30	36,80	91,10	135,60	96,60	138,80	59,40	167,40	141,30
Ba	671,00	568,00	704,50	176,50	56,00	203,00	1209,00	602,00	505,00	210,00	634,00	403,00
Sr	20,10	30,80	22,80	4,10	4,00	5,70	45,10	11,60	43,10	4,40	10,60	11,50
Ga	17,50	17,10	34,40	32,30	6,50	13,00	24,00	20,80	18,90	9,00	21,50	20,40
Ni	95,60	166,50	48,20	199,20	1576,80	171,40	81,50	75,10	103,80	818,50	58,80	77,40
Cr	191,60	109,49	205,29	205,29	34,22	61,59	164,23	150,55	157,39	47,90	109,49	232,66
Co	65,20	30,20	45,10	158,10	1407,70	99,40	223,80	43,80	25,40	367,10	43,70	107,00
Zn	41,00	73,00	13,00	280,00	46,00	65,00	23,00	13,00	93,00	53,00	24,00	32,00
Mo	4,00	19,10	7,70	3,60	1,30	1,90	11,70	3,50	2,20	1,30	2,00	5,90
Cu	1696,60	>10000,0	1080,10	5632,90	5295,20	2808,10	2390,40	1662,60	>10000,0	>10000,0	63,70	2824,00
Ag	0,90	5,10	0,20	1,30	1,40	0,50	0,40	0,40	6,50	2,40	<,10	0,50
As	0,80	7,40	38,00	6,60	378,60	0,90	304,40	3,90	<,50	7,00	0,50	78,90
Au	20,30	558,30	3,20	5,40	311,90	50,20	24,40	311,40	10,40	145,30	5,00	10,10
Sn	22,00	28,00	4,00	7,00	3,00	1,00	4,00	5,00	9,00	13,00	7,00	10,00
W	7,60	7,30	13,70	3,80	1,30	0,90	5,90	4,30	6,20	1,90	4,80	4,70
Ta	0,90	1,10	1,60	1,40	0,20	0,20	1,10	0,90	1,00	0,50	1,30	1,00
Nb	13,80	18,10	20,40	16,90	3,10	4,20	15,00	12,00	16,20	8,50	17,60	19,40
Th	22,90	22,50	35,70	16,80	4,50	6,90	21,50	16,70	18,40	10,60	34,10	18,80
U	5,50	7,30	10,80	5,50	1,90	2,00	6,20	4,50	5,60	2,50	7,40	6,40
Zr	259,50	300,40	415,80	318,50	52,20	72,70	239,80	198,80	257,70	159,20	339,60	308,40
Hf	6,50	7,90	10,30	8,50	1,20	1,70	6,70	5,50	6,60	3,40	8,90	8,00
Y	33,00	46,10	53,40	38,30	21,20	72,60	33,00	14,30	35,00	21,20	28,70	22,00
Sc	20,00	16,00	30,00	18,00	3,00	10,00	19,00	15,00	24,00	8,00	26,00	28,00
Cs	2,20	0,20	1,20	2,10	0,20	1,70	0,60	0,80	0,60	0,70	1,40	1,60
Pb	1,40	3,40	5,10	2,20	4,10	14,00	4,70	2,40	5,50	2,90	4,10	3,10
V	133,00	101,00	188,00	162,00	31,00	71,00	163,00	141,00	161,00	41,00	165,00	176,00
La	58,60	111,10	79,50	80,50	7,30	39,60	90,50	33,30	47,80	31,40	7,70	20,10
Ce	112,50	190,50	159,60	161,00	12,90	69,10	161,30	58,90	83,70	65,80	12,00	31,30
Pr	11,93	20,11	15,96	16,04	1,38	7,19	17,35	6,38	9,24	8,01	1,29	3,45
Nd	42,20	66,80	55,50	54,60	4,70	26,10	62,90	24,30	34,00	30,60	5,00	12,50
Sm	7,18	10,41	8,80	8,50	0,99	4,69	10,04	3,61	5,76	5,21	1,17	2,20
Eu	3,34	3,92	5,32	2,50	0,42	1,18	2,71	1,05	1,37	1,57	0,62	0,81
Gd	6,35	8,70	8,08	7,97	1,73	5,53	7,67	3,05	5,68	5,19	2,18	2,42
Tb	0,99	1,37	1,47	1,28	0,44	1,21	1,07	0,48	1,03	0,84	0,57	0,51
Dy	5,59	7,31	8,84	6,81	3,09	8,48	5,65	2,48	5,83	4,58	4,02	3,26
Ho	1,16	1,53	1,67	1,19	0,74	2,10	1,15	0,51	1,22	0,88	0,95	0,77
Er	3,20	4,28	5,04	3,19	2,12	6,40	3,21	1,36	3,42	2,36	3,09	2,31
Tm	0,51	0,70	0,68	0,40	0,31	0,97	0,54	0,21	0,57	0,35	0,57	0,41
Yb	3,19	4,17	4,68	2,45	1,58	5,41	3,12	1,48	3,53	2,19	3,66	2,58
Lu	0,47	0,65	0,71	0,36	0,21	0,71	0,46	0,23	0,57	0,22	0,62	0,43

ANEXO III QUÍMICA ISOTÓPICA

Dados de análises Sm-Nd						
Amostras	Sm(ppm)	Nd(ppm)	¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd	¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd(± 2SE)	T_{DM} (Ga)	
Anfibolito						
RN4-141	4,166	18,766	0,1342	0,511409	+/-15	3,16
RN9-202,80	4,777	19,355	0,1492	0,511577	+/-5	3,54
RN4-177	7,844	37,262	0,1272	0,511304	+/-8	3,08
RN4-175B	1,153	3,257	0,2141	0,51267	+/-14	-
Meta-Norito						
RN4-83B	4,577	21,123	0,131	0,511149	+/-19	3,54
Fe-antofilita cordierito						
RN4-82A	4,402	35,719	0,0745	0,511259	+/-9	1,94
Biotita xisto						
RN4-4	10,457	41,401	0,1527	0,511567	+/-19	3,79
RN4-16	9,692	58,478	0,1002	0,51097	+/-5	2,78
RN10-136,46	6,477	36,224	0,1081	0,51099	+/-15	2,97
RN4-3A	10,532	56,026	0,1136	0,511051	+/-16	3,04
Grafita-Ms xisto						
RN4-16	9,692	58,478	0,1002	0,51097	+/-5	2,78
Formação Ferrífera						
RN4-36D	0,176	0,642	0,1653	0,511750	+/-10	4,31
R. Mineralizadas						
RN8-218,75	8,056	46,242	0,1053	0,510891	+/-6	3,04
RN10-189,94	1,465	6,294	0,1407	0,511254	+/-17	3,82
RN9-47,67	7,111	40,556	0,106	0,510956	+/-15	2,96
RN9-172,82	0,946	4,482	0,1276	0,511248	+/-10	3,2
Diques Graníticos						
RN4-1B	19,256	119,667	0,0973	0,510956	+/-13	2,73
RN8-232,71	7,453	43,173	0,1044	0,511054	+/-16	2,77
RN9-158,40	4,257	19,157	0,1343	0,511305	+/-13	3,38
RN9-246,60	5,604	33,257	0,1019	0,510925	+/-5	2,89

ANEXO IV - MAPA GEOLÓGICO E PERFIL
LITOESTRATIGRÁFICO

“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais volta ao seu tamanho original.”

Albert Einstein