UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PESQUISA DOS JAZIMENTOS DE NÍQUEL
E GEOLOGIA DA FOLHA DE IPANEMA -
MINAS GERAIS

NÉLSON ANGELI

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos
Minerais e Hidrogeologia.

Orientador: *Prof. Dr. Evaristo Ribeiro Filho.*

SÃO PAULO
1988

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004518

PESQUISA DOS JAZIMENTOS DE NÍQUEL E GEOLO-
GIA DA FOLHA IPANEMA — MINAS GERAIS

Nélson Angeli

Orientador: Prof. Dr. Evaristo Ribeiro Filho

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	<u>Dr. E. Ribeiro Filho</u>	<u>[Signature]</u>
Examinadores:	<u>Dr. M.A.F. de Oliveira</u>	<u>[Signature]</u>
	<u>Dr. A.P. Barbour</u>	<u>[Signature]</u>
	<u>Dra M.A.F. Candia</u>	<u>[Signature]</u>
	<u>Dra S.M.B. de Oliveira</u>	<u>[Signature]</u>

São Paulo

1988

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PESQUISA DOS JAZIMENTOS DE NÍQUEL E GEOLOGIA DA FOLHA IPANEMA – MINAS GERAIS

Nélson Angeli

Orientador: Prof. Dr. Evaristo Ribeiro Filho

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e
Hidrogeologia

São Paulo
1988

Aos meus pais, ALBERTO E ODETE,
pela luta e sacrifício que empreen-
deram, e pelo papel importante em
minha formação.

Aos meus filhos, GLAUCO E GLENDA,
sangue de meu sangue, minhas estre-
las maiores, pedaços de minh'alma.

À memória de
ALEXANDRE VANUCCI LEME,
inesquecível colega da Geologia
da USP e exemplo de ser humano;
LEÓN ALEJANDRO FIGUEROA,
amigo e profissional de elevado
gabarito e solidariedade
ALBERTINO JOSÉ AMARANTE,
meu sobrinho, que adorava a geo-
logia, a natureza e a vida.

PESQUISA DOS JAZIMENTOS DE NÍQUEL E GEOLOGIA DA FOLHA DE IPANEMA
- MINAS GERAIS.

I N D I C E

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO.....	01
I.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	02
I.2. CLIMA, VEGETAÇÃO E HIDROGRAFIA.....	04
I.3. GEOMORFOLOGIA E SOLOS.....	05
I.4. BREVE HISTÓRICO.....	08
I.5. OBJETIVOS.....	10
I.6. METODOLOGIA.....	10

CAPÍTULO II

GEOLOGIA REGIONAL.....	16
II.1. ARCABOUÇO TECTÔNICO.....	16
II.2. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS.....	23

CAPÍTULO III

UNIDADES LITOLÓGICAS DA ÁREA MAPEADA.....	27
III.1. ASSOCIAÇÃO BARBACENA-PARAÍBA DO SUL.....	27
III.1.1. Gnaisses.....	27
III.1.1.1. Biotita e/ou Hornblenda Gnaisses.....	28
III.1.1.2. Gnaisses Kinzigíticos.....	35
III.1.2. Quartzitos.....	38
III.1.3. Cálcio-Silicáticas.....	41
III.1.4. Anfibolitos.....	42

III.1.5. Metamáfico-Ultramáficas Serpentinizadas...	45
III.1.6. Gnaisses Migmatíticos e Migmatitos.....	47
III.2. INTRUSÕES GRANODIORÍTICAS, TONALÍTICAS E DIORÍ-	
TICAS.....	51
III.3. SUÍTE INTRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM.....	54
III.3.1. Tonalitos.....	59
III.3.2. Granodioritos.....	60
III.3.3. Granitos.....	61
III.3.4. Os enclaves.....	62
III.3.5. Considerações sobre a suíte intrusiva.....	63
III.4. GRANITO INTRUSIVO TABAJARA.....	64
III.5. PEGMATITOS.....	66
III.6. ROCHAS CATACLÁSTICAS.....	66
III.7. DIABÁSIO.....	68
III.8. COBERTURAS ALUVIONARES.....	69

CAPÍTULO IV

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS COMPLEXOS METAMÁFICO-ULTRAMÁFI-	
COS SERPENTINIZADOS.....	71
IV.1. O PROCESSO DE SERPENTINIZAÇÃO.....	71
IV.2. OS MACIÇOS METAMÁFICO-ULTRAMÁFICOS SERPENTINIZADOS...	75
IV.2.1. Maciço de Santa Cruz.....	75
IV.2.1.1. Os metadunitos e metaperidotitos ser-	
pentinizados.....	76
IV.2.1.2. Os metapiroxenitos serpentinizados.....	87
IV.2.1.3. Os metagabros.....	89
IV.2.1.4. Os metanortositos.....	90
IV.2.1.5. Os xistos.....	93
IV.2.2. Maciço de Santa Maria.....	95

IV.2.2.1. Os metadunitos e metaperidotitos serpentinizados.....	96
IV.2.2.2. Os metapiroxenitos serpentinizados.....	100
IV.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O METAMORFISMO DOS COMPLEXOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS.....	102
IV.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O QUIMISMO E A ORIGEM DOS MA CIÇOS.....	108
IV.4.1. Nomenclatura.....	108
IV.4.2. Quimismo dos Maciços Estudados.....	110
IV.4.3. Origem dos Maciços.....	124

CAPÍTULO V

EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA MAPEADA.....	130
V.1. GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	130
V.2. GEOLOGIA ECONÔMICA.....	138
V.3. ESTUDO DE TIPOLOGIA DO ZIRCÃO PARA AS ROCHAS GRANI- TÓIDES.....	143
V.4. METAMORFISMO.....	147
V.5. GEOCRONOLOGIA.....	153
V.6. CONSIDERAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO GEOLÓGICA.....	157
V.6.1. Considerações a nível regional.....	157
V.6.2. Considerações sobre a Folha Ipanema.....	160

CAPÍTULO VI

GÊNESE DOS DEPÓSITOS DE NÍQUEL.....	165
VI.1. O PROCESSO DE LATERITIZAÇÃO.....	165
VI.2. O PERFIL DE ALTERAÇÃO DOS DEPÓSITOS ESTUDADOS.....	170
VI.2.1. Rocha Alterada.....	171
VI.2.2. Saprolito Verde.....	175
VI.2.3. Saprolito Alaranjado.....	177

VI.2.4. Laterita Vermelha e Concreção Ferralítica (Couraça Ferruginosa).....	181
VI.3. EVOLUÇÃO MINERALÓGICA.....	182
VI.4. EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA.....	188
VI.5. ESTUDO DE TOPOSSEQUÊNCIA.....	192
VI.6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MINÉRIO.....	195

CAPÍTULO VII

PESQUISA DOS DEPÓSITOS DE NÍQUEL.....	208
VII.1. CONTROLES DA MINERALIZAÇÃO.....	210
VII.2. CÁLCULO DAS RESERVAS.....	213
VII.2.1. Considerações sobre as campanhas de pesquisa.....	214
VII.2.2. O grau de variabilidade dos depósitos niquelíferos.....	220
VII.2.3. Apresentação dos resultados.....	222
VII.2.4. Considerações sobre as reservas.....	257

CAPÍTULO VIII

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	269
---------------------------	-----

CAPÍTULO IX

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	272
---------------------------------------	-----

CAPÍTULO X

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

X.1. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	275
X.2. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	284

CAPÍTULO XI

AGRADECIMENTOS.....	289
---------------------	-----

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Nº 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO.....	03
Nº 2 - COMPLEXOS MÁFICOS-ULTRAMÁFICOS DO BRASIL ORIENTAL.....	18
Nº 3 - ISÓCRONA SOBRE ROCHA TOTAL DOS GNAISSES PARAÍBA DO SUL (PONTOS TRIANGULARES) E ISÓCRONAS SOBRE ROCHA TOTAL DOS GNAISSES SINTECTÔNICOS DO CICLO BRASÍLIA NO DO TIPO ÓRGÃOS (PONTOS CIRCULARES). CORDANI ET ALII (1973).....	20
Nº 4 - PROVÍNCIA ESTRUTURAL MANTIQUEIRA.....	20
Nº 5 - OS CRÁTONS DO SÃO FRANCISCO E DO PARAMIRIM E SUAS ESTRUTURAS ENVOLVENTES (ALMEIDA, 1981).....	22
Nº 6 - TERRENOS ARQUEANOS A LESTE DO BRASIL (HARALYI & HASUI, 1982).....	22
Nº 7 - CLASSIFICAÇÃO DAS DEMAIS ROCHAS GRANITÓIDES INTRU- SIVAS NOS GNAISSES, SEGUNDO O DIAGRAMA TRIANGULAR QUARTZO (Q) - FELDSPATO ALCALINO (F.A.) - PLAGIOCLÁ- SIO (P).....	52
Nº 8 - CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS GRANITÓIDES DA SUÍTE IN- TRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM, SEGUNDO O DIAGRAMA TRIANGULAR QUARTZO (Q) - FELDSPATO ALCALINO (F.A.) - PLAGIOCLÁSIO (P).....	58
Nº 9 - DIAGRAMA DE FASES PARA REAÇÕES NO SISTEMA $\text{CaO} -$ $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ENVOLVENDO A COMPOSIÇÃO Mg_2SiO_4 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E PRESSÃO TOTAL ($P_t = P_{\text{H}_2\text{O}}$); (EVANS, 1977).....	73
Nº 10- PERFIL ESQUEMÁTICO E MINERALOGIA DA PORÇÃO SUDESTE DO CORPO PRINCIPAL DE SANTA CRUZ.....	78
Nº 11- PERFIL DO POÇO PSC-04 - BORDA SUL DO MACIÇO DE SAN- TA CRUZ (EXTENSÃO SUL).....	94

- Nº 12 - DIAGRAMA $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$, PARA ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA CRUZ MOSTRANDO O TREND DE DIFERENCIAÇÃO.....114
- Nº 13 - DIAGRAMA $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fetotal} - \text{MgO}$ PARA AS ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA CRUZ MOSTRANDO O TREND DE DIFERENCIAÇÃO..115
- Nº 14 - DIAGRAMA $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ PARA ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA MARIA MOSTRANDO O TREND DE DIFERENCIAÇÃO.....116
- Nº 15 - DIAGRAMA $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fetotal} - \text{MgO}$ PARA ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA MARIA MOSTRANDO O TREND DE DIFERENCIAÇÃO..117
- Nº 16 - CAMPO DE VARIAÇÃO QUÍMICA EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM CATIONICA $\text{Mg}-\text{Ca}-\text{Fe}$ PARA AMOSTRAS DO MACIÇO DE SANTA CRUZ COMPARADO COM O CAMPO DE COMPOSIÇÃO DAS ROCHAS DO COMPLEXO DE BUSHVELD (—) E SKAERGAARD (---).....119
- Nº 17 - CAMPO DE VARIAÇÃO QUÍMICA EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM CATIONICA $\text{Mg}-\text{Ca}-\text{Fe}$ PARA AMOSTRAS DO MACIÇO DE SANTA MARIA COMPARADO COM O CAMPO DE COMPOSIÇÃO DAS ROCHAS DO COMPLEXO DE BUSHVELD (—) E SKAERGAARD (---).....120
- Nº 18 - CAMPO DE VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DAS ROCHAS DOS MACIÇOS DE SANTA CRUZ COMPARADO COM AQUELE APRESENTADO POR CUMULATOS MÁFICOS E ULTRAMÁFICOS DE COMPLEXOS OFIOLÍTICOS.....121
- Nº 19 - CAMPO DE VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DAS ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA MARIA COMPARADO COM AQUELE APRESENTADO POR CUMULATOS MÁFICOS E ULTRAMÁFICOS DE COMPLEXOS OFIOLÍTICOS.....122
- Nº 20 - GRÁFICO $\text{Cr}_2\text{O}_3 \times \text{NiO}$ PARA AS ROCHAS QUE COMPÕEM OS MACIÇOS DE SANTA CRUZ E SANTA MARIA PLOTADAS NOS CAMPOS DOS COMPLEXOS TIPO ALPINO E DOS COMPLEXOS ESTRATIFORMES.....123
- Nº 21 - DOBRA ISOCLINAL CERRADA ENCONTRADA EM BIOTITA-HORNBLENDA GNAISSE NA LOCALIDADE DE SANTA CRUZ, QUE FOI SUBMETIDA A TRATAMENTO PELO MÉTODO DAS ISÓGONAS.....132
- Nº 22 a e b - METAPERIDOTITOS SERPENTINIZADOS EXIBINDO

DOBRAMENTOS ISOCLINAIS CERRADOS. MACIÇO DE SANTA CRUZ (REPRODUÇÃO A PARTIR DE FOTOGRAFIAS DO AFLORAMENTO IPN-135)	133
Nº 23 - BIOTITA GNAISSE EXIBINDO DOBRAS INTRAFOLIAIS INDICANDO TRANSPOSIÇÃO DA ANTIGA FOLIAÇÃO. REPRODUÇÃO A PARTIR DE FOTOGRAFIA DO AFLORAMENTO IPN-51.....	135
Nº 24 - AFLORAMENTO DA UNIDADE QUARTZÍTICA EXIBINDO DOBRAS HARMÔNICAS SUAVES (IPN-63, PROXIMIDADES DE ALEGRIA)	135
Nº 25 - DIAGRAMA SCHMIDT LAMBERT MOSTRANDO AS CONCENTRAÇÕES DOS PÓLOS DE FOLIAÇÃO (CURVAS DE FREQUÊNCIA) DA UNIDADE BIOTITA E/OU HORNBLENDA GNAISSES.....	137
Nº 26 - DIAGRAMA SCHMIDT LAMBERT MOSTRANDO AS CONCENTRAÇÕES DOS PÓLOS DE FOLIAÇÃO (CURVAS DE FREQUÊNCIA) DA UNIDADE METASSEDIMENTAR (GNAISSES KINZIGÍTICOS E QUARTZITOS)	137
Nº 27 - CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS GRANITÓIDES UTILIZADAS NO ESTUDO DE TIPOLOGIA DO ZIRCÃO, SEGUNDO O DIAGRAMA TRIANGULAR Q-FA-P.....	144
Nº 28a - DIAGRAMA P-T DE Crd + Alm + Sil + Qz COEXISTENTES PARA VÁRIAS RAZÕES FeO (MgO + FeO) DA COMPOSIÇÃO BRUTA. TAMBÉM ESTÃO REPRESENTADAS AS REAÇÕES QUE DEFINEM O LIMITE ENTRE METAMORFISMO DE GRAU MÉDIO E FORTE, E APROXIMADAMENTE OS LIMITES DE FASE CIANITA/SILLIMANITA A ANDALUZITA/SILLIMANITA. FAIXAS DE COEXISTÊNCIA SÓ SÃO VÁLIDAS QUANDO SÃO DESPREZÍVEIS OS TEORES DE Mn e Ca (WINKLER, 1977)	149
Nº 28b - CLASSIFICAÇÃO DAS SÉRIES DE METAMORFISMO EM RELAÇÃO AOS CAMPOS DE ESTABILIDADE DOS MINERAIS Al_2SiO_5 E JADEITA (MIYASHIRO, 1979)	149
Nº 29 - RELAÇÕES DE ESTABILIDADE DAS FASES MINERAIS NO SISTEMA $MgO-SiO_2-H_2O$ EM FUNÇÃO DE $\log m SiO_2$ E $1/T^{\circ}K$ A 1 Kbar DE PH_2O (HEMLEY ET ALII, 1977)	151

Nº 30 - ISÓCRONA SOBRE ROCHA TOTAL DE GNAISSES PERTENCENTES A UNIDADE BIOTITA E/OU HORNBLENDAS GNAISSES (PARCIALMENTE MIGMATIZADOS)	156
Nº 31 - ISÓCRONA SOBRE ROCHA TOTAL DE GRANITÓIDES PERTENCENTES À SUÍTE INTRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM	156
Nº 32 - COMPARAÇÃO DA SOLUBILIDADE DO ÓXIDO FÉRRICO, DA SÍLICA E DA ALUMINA NA ZONA DE ALTERAÇÃO, EM FUNÇÃO DO pH DA SOLUÇÃO (SMIRNOV, 1982)	167
Nº 33 - REGIÃO TROPICAL E EQUATORIAL COM DISTRIBUIÇÃO DOS LATOSSOLOS, ONDE SÃO ENCONTRADOS OS PRINCIPAIS DEPÓSITOS DE NÍQUEL LATERÍTICO NO MUNDO (GOLIGHTLY, 1981)	167
Nº 34 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DO CICLO SUPÉRGENO DOS ELEMENTOS DOS PERIDOTITOS DO GRANDE MACIÇO DO SUL - NOVA CALEDÔNIA (TRESCASES, 1975)	169
Nº 35 - PERFIL DE ALTERAÇÃO DA EXTENSÃO SUL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ (PE S) COM COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DOS ELEMENTOS (PARA LOCALIZAÇÃO VER ANEXO 2)	172
Nº 36a - COMPOSIÇÃO E EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DO PERFIL - PES -, ATRAVÉS DE ESTUDO POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X. À ESQUERDA APARECE O NÚMERO DA AMOSTRA CORRESPONDENTE, O QUAL INDICA SUA RESPECTIVA PROFUNDIDADE	173
Nº 36b - COMPOSIÇÃO E EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DO PERFIL - PES -, ATRAVÉS DE ESTUDO POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X. À DIREITA APARECE O NÚMERO DA AMOSTRA CORRESPONDENTE, O QUAL INDICA SUA RESPECTIVA PROFUNDIDADE	174
Nº 37 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS GARNIERITAS (MINÉRIO DE NÍQUEL) ATRAVÉS DE DIFRATOMETRIA DE RAIOS X	178
Nº 38 - DIFRATOGRAMAS PARA AMOSTRAS (SC-01 e SC-14), SUBMETIDAS A AQUECIMENTO A 550°C E GLICOLAGEM	179
Nº 39 - TOPOSSEQUÊNCIA EFETUADA AO LONGO DA LINHA J DO MACIÇO DE SANTA MARIA, COM BASE EM 5 SONDAJENS ROTATIVAS (JO A J8)	193

Nº 40 - PERFIL DA SONDAGEM D-10 CORPO DE SANTA MARIA.....	198
Nº 41 - PERFIL DA SONDAGEM F-8 CORPO DE SANTA MARIA.....	199
Nº 42 - PERFIL DA SONDAGEM H-6 CORPO DE SANTA MARIA.....	200
Nº 43 - PERFIL DA SONDAGEM H-12 CORPO DE SANTA MARIA.....	201
Nº 44 - PERFIL DA SONDAGEM 5-4 CORPO DE SANTA MARIA.....	202
Nº 45 - PERFIL DA SONDAGEM 5-6 CORPO DE SANTA MARIA.....	203
Nº 46 - PERFIL DA SONDAGEM L-0 CORPO DE SANTA MARIA.....	204
Nº 47 - PERFIL DA SONDAGEM L-6 CORPO DE SANTA MARIA.....	205
Nº 48 - DIAGRAMA Fetotal - MgO - SiO ₂ MOSTRANDO A COMPOSIÇÃO DO MINÉRIO DE NÍQUEL - MACIÇO DE SANTA CRUZ.....	206
Nº 49 - DIAGRAMA Fetotal - MgO - SiO ₂ MOSTRANDO A COMPOSIÇÃO DO MINÉRIO DE NÍQUEL - MACIÇO DE SANTA MARIA.....	207
Nº 50 - SISTEMÁTICA TRADICIONAL EMPREGADA EM CAMPANHAS DE PROSPECÇÃO E PESQUISA MINERAL (MARANHÃO, 1982).....	209
Nº 51 - BLOCO DIAGRAMA DO DEPÓSITO DE SANTA CRUZ - CORPO PRINCIPAL (VISADA 2 - PARA LOCALIZAÇÃO VER ANEXO 2).....	216
Nº 52 - BLOCO DIAGRAMA DO DEPÓSITO DE SANTA MARIA (VISADA 1 - PARA LOCALIZAÇÃO VER ANEXO 3).....	219
Nº 53 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ - MÉTODO DOS TRIÂNGULOS.....	223
Nº 54 - DEPÓSITO DE SANTA MARIA - MÉTODO DOS TRIÂNGULOS.....	226
Nº 55 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ - MÉTODO DOS POLÍGONOS.....	228
Nº 56 - DEPÓSITO DE SANTA MARIA - MÉTODO DOS POLÍGONOS.....	230
Nº 57 - SECÇÃO B - SECÇÕES PARALELAS - SANTA CRUZ.....	234
Nº 58 - SECÇÃO C - SECÇÕES PARALELAS - SANTA CRUZ.....	234
Nº 59 - SECÇÃO D - SECÇÕES PARALELAS - SANTA CRUZ.....	235
Nº 60 - SECÇÃO E - SECÇÕES PARALELAS - SANTA CRUZ.....	236
Nº 61 - SECÇÃO F - SECÇÕES PARALELAS - SANTA CRUZ.....	237
Nº 62 - SECÇÃO G - SECÇÕES PARALELAS - SANTA CRUZ.....	238
Nº 63 - SECÇÃO H - SECÇÕES PARALELAS - SANTA CRUZ.....	239
Nº 64 - SECÇÃO D - SECÇÕES PARALELAS - SANTA MARIA.....	242

Nº 65 - SECÇÃO F- SECÇÕES PARALELAS - SANTA MARIA.....	243
Nº 66 - SECÇÃO H- SECÇÕES PARALELAS - SANTA MARIA.....	244
Nº 67 - SECÇÃO J- SECÇÕES PARALELAS - SANTA MARIA.....	245
Nº 68 - SECÇÃO L- SECÇÕES PARALELAS - SANTA MARIA.....	246
Nº 69 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ - MÉTODO DAS ISOLINHAS - CURVAS DE ISOESPESURA.....	247
Nº 70 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ - MÉTODO DAS ISOLINHAS - CURVAS DE ISOTEOR.....	248
Nº 71 - DEPÓSITO DE SANTA MARIA - MÉTODO DAS ISOLINHAS - CURVAS DE ISOESPESURA.....	250
Nº 72 - DEPÓSITO DE SANTA MARIA - MÉTODO DAS ISOLINHAS - CURVAS DE ISOTEOR.....	251
Nº 73 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ - MÉTODO DOS BLOCOS DE LAVRA...	253
Nº 74 - DEPÓSITO DE SANTA MARIA - MÉTODO DOS BLOCOS DE LAVRA..	255
Nº 75 - HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A VA- RIÁVEL TEOR EM NÍQUEL - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ.....	258
Nº 76 - HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A VA- RIÁVEL ESPESURA DE MINÉRIO - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ.....	258
Nº 77 - HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A VA- RIÁVEL TEOR EM NÍQUEL - DEPÓSITO DE SANTA MARIA.....	259
Nº 78 - HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A VA- RIÁVEL ESPESURA DE MINÉRIO - DEPÓSITO DE SANTA MARIA.....	259
Nº 79 - CURVA TEOR DE CORTE x TONELAGEM DE MINÉRIO E DE METAL x TEOR MÉDIO - CORPO PRINCIPAL DE SANTA CRUZ....	264
Nº 80 - CURVA TEOR DE CORTE x TONELAGEM DE MINÉRIO E DE ME- TAL x TEOR MÉDIO - EXTENSÃO SUL DE SANTA CRUZ.....	265
Nº 81 - CURVA TEOR DE CORTE x TONELAGEM DE MINÉRIO E DE ME- TAL x TEOR MÉDIO - CORPO PRINCIPAL + EXTENSÃO SUL DE SANTA CRUZ.....	266
Nº 82 - CURVA TEOR DE CORTE x TONELAGEM DE MINÉRIO E DE METAL x TEOR MÉDIO - CORPO DE SANTA MARIA.....	267

TABELAS

Nº 1 - ANÁLISES QUÍMICAS EFETUADAS PARA ROCHAS CORRESPONDENTES ÀS UNIDADES LITOLÓGICAS QUE COMPÕEM O MACIÇO DE SANTA CRUZ.....	111
Nº 2 - ANÁLISES QUÍMICAS REALIZADAS PARA ROCHAS CORRESPONDENTES ÀS UNIDADES LITOLÓGICAS QUE COMPÕEM O MACIÇO DE SANTA MARIA.....	112
Nº 3 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DISTINTAS ENTRE OS MACIÇOS DE SANTA CRUZ E SANTA MARIA.....	125
Nº 4 - RESULTADOS ANALÍTICOS Rb/Sr PARA ROCHA TOTAL DE AMOSTRAS UTILIZADAS NAS ISÓCRONAS.....	155
Nº 5 - RESULTADOS ANALÍTICOS K/Ar DE AMOSTRAS DATADAS.....	158
Nº 6 - AVALIAÇÃO SEMI-QUANTITATIVA DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA ROCHA ALTERADA (RA), SAPROLITO VERDE (SV), SAPROLITO ALARANJADO (LA) E LATERITA VERMELHA (LV)....	183
Nº 7 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS FÁCIES DE ALTERAÇÃO (% EM PESO DOS ÓXIDOS E PPM DOS ELEMENTOS) - PERFIL VERTICAL NA EXTENSÃO SUL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ (PES).....	186
Nº 8 - BALANÇO GEOQUÍMICO - PERDAS E GANHOS ABSOLUTOS ENTRE OS FÁCIES DE ALTERAÇÃO NO PERFIL PES.....	187
Nº 9 - SONDAGENS ROTATIVAS EXECUTADAS NO DEPÓSITO DE SANTA CRUZ COM COTA DA BOCA DO FURO, ESPESSURA DA COBERTURA E DO MINÉRIO E TEOR MÉDIO RESPECTIVOS.....	215
Nº 10 - SONDAGENS ROTATIVAS EXECUTADAS NO DEPÓSITO DE SANTA MARIA COM COTA DA BOCA DO FURO, ESPESSURA DA COBERTURA E DO MINÉRIO E TEOR MÉDIO RESPECTIVOS.....	218
Nº 11a- MÉTODO DOS TRIÂNGULOS- SANTA CRUZ (CORPO PRINCIPAL)...	224
Nº 11b- MÉTODO DOS TRIÂNGULOS- SANTA CRUZ (EXTENSÃO SUL).....	225
Nº 12 - MÉTODO DOS TRIÂNGULOS- SANTA MARIA.....	227
Nº 13 - MÉTODO DOS POLÍGONOS - SANTA CRUZ.....	229
Nº 14 - MÉTODO DOS POLÍGONOS - SANTA MARIA.....	231
Nº 15 - MÉTODO DAS SECÇÕES PARALELAS - SANTA CRUZ.....	240
Nº 16 - MÉTODO DAS SECÇÕES PARALELAS - SANTA MARIA.....	240

Nº 17 - MÉTODO DAS ISOLINHAS - SANTA CRUZ.....	249
Nº 18 - MÉTODO DAS ISOLINHAS - SANTA MARIA.....	249
Nº 19 - BLOCOS DE LAVRA - SANTA CRUZ.....	254
Nº 20 - BLOCOS DE LAVRA - SANTA MARIA.....	256

QUADROS

Nº 1 - ETAPAS DE METAMORFISMO E PARAGÊNESE ENCONTRADA NOS MACIÇOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS DE SANTA CRUZ E SANTA MARIA.....	106
Nº 2 - TIPOS DE ZIRCÃO CARACTERÍSTICOS PARA AS DIFERENTES SÉRIES DE GRANITÓIDES. 1, 2 E 3 = GRANITOS CRUSTAIS; 4 = GRANITOS CALCO-ALCALINOS (a, b, c - SÉRIES DE BAIXA, MÉDIA E ALTA TEMPERATURA); 5 = GRANITOS SUBALCALINOS; 6 = GRANITOS ALCALINOS; 7 = GRANITOS TOLEÍ- TICOS; Ch = GRANITOS CHARNOCKÍTICOS. C - GRANITOS CRUSTAIS; H - GRANITOS HÍBRICOS, M - GRANITOS MANTÉ- LICOS (PUPIN, 1980).....	145
Nº 3 - ANFIBÓLIOS CÁLCICOS NO METAMORFISMO DE ROCHAS ULTRA- MÁFICAS: RELAÇÕES COM FÁCIAS METAMÓRFICO, PARAGÊNESE MINERAL CRÍTICA E FASE ALUMINOSA (EVANS, 1982).....	152
Nº 4 - FILIAÇÕES MINERALÓGICAS A PARTIR DA ROCHA PRIMÁRIA ATÉ A LATERITA VERMELHA.....	184
Nº 5 - QUADRO COMPARATIVO MOSTRANDO OS RESULTADOS OBTIDOS PELOS MÉTODOS DE CUBAGEM EMPREGADOS - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ.....	260
Nº 6 - QUADRO COMPARATIVO MOSTRANDO OS RESULTADOS OBTIDOS PELOS MÉTODOS DE CUBAGEM EMPREGADOS - DEPÓSITO DE SANTA MARIA.....	261

ANEXOS

Nº 1 - MAPA GEOLÓGICO.....	Encarte
Nº 2 - MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO DE SANTA CRUZ COM LOCALIZA- ÇÃO DOS TRABALHOS DE PESQUISA EXECUTADOS E AMOSTRAS ESTUDADAS.....	Encarte

- Nº 3 - MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO DE SANTA MARIA COM LOCALI-
ZAÇÃO DOS TRABALHOS DE PESQUISA EXECUTADOS E AMOS-
TRAS ESTUDADAS.....Encarte

FOTOS

- Nº 1 - BIOTITA E/OU HORNBLENDAS GNAISSE MIGMATIZADO - AFLO-
RAMENTO NAn 37 (PROXIMIDADES DE IPANEMA).....49
- Nº 2 - GNAISSE DO MESMO AFLORAMENTO ANTERIOR JÁ EXIBINDO
BANDAMENTO PRONUNCIADO COM INÍCIO DO PROCESSO DE
TRANSPOSIÇÃO. OBSERVAM-SE DOBRAS INTRAFOLIAIS COM
FLANCOS ROMPIDOS.....49
- Nº 3 - BIOTITA E/OU HORNBLENDAS GNAISSE BANDADO, ONDE PO-
DEM SER OBSERVADAS BANDAS LEUCOCRÁTICAS E MELANO-
CRÁTICAS PLANO-PARALELAS (AFLORAMENTO NAn 37).....50
- Nº 4 - MESMO AFLORAMENTO ANTERIOR, ONDE SE TEM A EVOLU-
ÇÃO FINAL DOS GNAISSES BANDADOS A PARTIR DOS ANTI-
GOS MIGMATITOS E/OU GNAISSES MIGMATÍTICOS. OBSER-
VA-SE QUE O BANDAMENTO É RESULTANTE DA TRANSPOSI-
ÇÃO DA FOLIAÇÃO DE ROCHAS MAIS ANTIGAS.....50
- Nº 5 - VISTA PANORÂMICA DA PORÇÃO SUDESTE DA ÁREA MAPEA-
DA, ONDE OCORREM ROCHAS PERTENCENTES À SUÍTE IN-
TRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM. FOTO TIRADA PRÓXIMO
DA CABECEIRA DO CÓRREGO SANTA RITA DO MUTUM.....56
- Nº 6 - DETALHE DE UM PÃO DE AÇÚCAR, FEIÇÃO TÍPICA DA UNI-
DADE SUÍTE INTRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM (PORÇÃO
NORTE DA ÁREA PESQUISADA - PROXIMIDADES DE PO CRA-
NE).....56
- Nº 7 - VISTA GERAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ, TOMADA AO
LONGO DA RODOVIA MG-111 (SENTIDO IPANEMA-MANHUAÇU).
O CORPO METAMÁFICO-ULTRAMÁFICO SERPENTINIZADO EN-
CONTRA-SE ENCAIXADO NA SUBUNIDADE GNAISSES KINZI-
GÍTICOS.....77
- Nº 8 - METAPERIDOTITO SERPENTINIZADO EXIBINDO BANDAMEN-
TO, COM LEITOS ESVERDEADOS COMPOSTOS ESSENCIAL-
MENTE POR OLIVINA E SERPENTINA E LEITOS MAIS CLA-
ROS COM MINERALOGIA À BASE DE ORTOPIROXÊNIO, CLO-

RITA E TALCO, VISÍVEIS AO MICROSCÓPIO. NOTAR QUE ES
TE BANDAMENTO RELIQUIAR É SECCIONADO PELA FOLIAÇÃO
METAMÓRFICA. CORPO PRINCIPAL DE SANTA CRUZ (AFL.NAn 06). 77

- Nº 9 - METAPERIDOTITO SERPENTINIZADO EXIBINDO CRISTAIS
PRISMÁTICOS COM HÁBITO RADIAL DE TREMOLITA-ACTINO-
LITA. MACIÇO DE SANTA CRUZ (EXTENSÃO SUL) - AFLORA-
MENTO NAn 10..... 83
- Nº 10- CAMADA DE CROMITITO SITUADA NO TOPO DA UNIDADE ME-
TAPERIDOTÍTICA SERPENTINIZADA. MACIÇO DE SANTA
CRUZ (CORPO PRINCIPAL) - AFLORAMENTO IPN 01/b..... 85
- Nº 11- DETALHE DA FOTO ACIMA ONDE SE OBSERVA CROMITA
MACIÇA ENVOLVIDA PARCIALMENTE POR UMA MASSA SERPEN-
TINÍTICA. MACIÇO DE SANTA CRUZ (CORPO PRINCIPAL)..... 85
- Nº 12- VEIO DE COMPOSIÇÃO PIROXENÍTICA SECCIONANDO ROCHAS
DA UNIDADE METAPERIDOTÍTICA SERPENTINIZADA. CORPO
PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ (AFLORAMENTO IPN
39)..... 86
- Nº 13- VISTA PANORÂMICA DO MACIÇO DE SANTA MARIA (DIREÇÃO
SW-NE) ONDE PODE SER OBSERVADO O CONTRASTE DO RELE-
VO E DA VEGETAÇÃO COM OS GNAISSES ENCAIXANTES. AO
FUNDO APARECE O RIO MANHUAÇU..... 97
- Nº 14- OPALA NIQUELÍFERA SITUADA NO TOPO DO PERFIL DE AL-
TERAÇÃO, NO INTERFÁCIES LATERITA VERMELHA - SAPRO-
LITO ALARANJADO. PORÇÃO NORDESTE DO MACIÇO DE SAN-
TA MARIA..... 191

FOTOMICROGRAFIAS

- Nº 1 - METAPERIDOTITOS EXIBINDO BANDA OLIVÍNICA ASSOCIADA
ESSENCIALMENTE À SERPENTINA (PORÇÃO CENTRAL DIAGO-
NAL DA FOTO) INTERCALADA A BANDAS RICAS EM ORTOPI-
ROXÊNIO (PARCIALMENTE ALTERADOS PARA TALCO E CLORI-
TA). CORPO PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ. AFLO-
RAMENTO NAn 07 (AUMENTO DE 35 VEZES - NICÓIS CRUZA-
DOS)..... 80
- Nº 2 - METADUNITO SERPENTINIZADO EXIBINDO TEXTURA EM REDE

- ("MESH TEXTURE") - CORPO PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ - AFLORAMENTO NAn 09 (AUMENTO DE 35 VEZES - NICÓIS PARALELOS)..... 80
- Nº 3 - METADUNITOS SERPENTINIZADOS ONDE SE OBSERVA UM PRISMA ALONGADO DE TREMOLITA-ACTINOLITA FRATURADO E PARCIALMENTE SUBSTITUÍDO POR SERPENTINA. NA BORDA ESQUERDA DA FOTO OBSERVA-SE UM CRISTAL DE OLIVINA EXIBINDO O DESENVOLVIMENTO DE CORONAS. CORPO PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ - AFLORAMENTO NAn 09a (AUMENTO DE 35 VEZES - NICÓIS CRUZADOS)..... 83
- Nº 4 - CRISTAIS DE CROMITA FRATURADOS E SECCIONADOS POR CLO₂RITA (AFLORAMENTO IPN 01b). CORPO PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ (AUMENTO DE 50 VEZES - NICÓIS PARALELOS)..... 86
- Nº 5 - SECÇÃO DELGADA DA AMOSTRA IPN 01/1, EXIBINDO CRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIO GEMINADOS POLISSINTÉTICAMENTE (ANDESINA CÁLCICA A BYTONITA). CORPO PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ. (AUMENTO DE 10 VEZES - NICÓIS CRUZADOS)..... 92
- Nº 6 - SECÇÃO POLIDA DA AMOSTRA IPN-01/1, ONDE PODEM SER OBSERVADOS CRISTAIS DE TITANO-MAGNETITA COM EXSOLUÇÃO DE HEMATITA. CORPO PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ (AUMENTO DE 100 VEZES - NICÓIS PARALELOS)..... 92
- Nº 7 - METAPIROXENITO (METAWEBSTERITO) APRESENTANDO CONCENTRAÇÕES DE ESPINÉLIO ALUMINOSO COM COLORAÇÃO ESVERDEADA ASSOCIADO AOS PIROXÊNIOS. AMOSTRA F-8 (TESTEMUNHO DE SONDAGEM A PROFUNDIDADE DE 33m) - MACIÇO DE SANTA MARIA (AUMENTO 10 VEZES - NICÓIS PARALELOS).....103
- Nº 8 - METAPERIDOTITO SERPENTINIZADO SECCIONADO POR SERPENTINA DE GERAÇÃO TARDIA (SERPENTINA II). CORPO PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ - AFLORAMENTO NAn 07 (AUMENTO DE 35 VEZES - NICÓIS PARALELOS).....103
- Nº 9 - METAPERIDOTITO SERPENTINIZADO EXIBINDO UMA MASSA SERPENTINÍTICA COM CLORITA ASSOCIADA, SECCIONADA POR CRISTAIS MAIORES DE CLORITA DA 2ª GERAÇÃO. CORPO PRINCIPAL DE SANTA CRUZ (AFLORAMENTO SC 04 - AUMENTO DE 10 VEZES - NICÓIS CRUZADOS).....105

- Nº 10 - METAPERIDOTITO SERPENTINIZADO E ALTERADO ONDE SÃO OBSERVADOS CRISTAIS DE OLIVINA E PRISMAS DE TREMOLITA-ACTINOLITA DISPERSOS EM MATRIZ SERPENTINÍTICA. AS OLIVINAS APRESENTAM SUAS BORDAS ALTERADAS PARA GOETHITA E/OU ESMECTITA. CORPO PRINCIPAL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ - AFLORAMENTO NAn 05 (AUMENTO 35 VEZES - NICÓIS CRUZADOS) 105
- Nº 11 - CRISTAIS DE MAGNETITA EXIBINDO PROCESSO DE MARTITIZAÇÃO EM SUAS BORDAS. AMOSTRA SC-00 (CONCREÇÃO FERUGINOSA) - EXTENSÃO SUL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ. (AUMENTO 200 vezes - NICÓIS PARALELOS) 191

RESUMO

A porção oriental do Estado de Minas Gerais apresenta uma série de pequenos corpos metamáfico-ultramáficos serpentinizados, que se encontram mineralizados, notadamente em níquel, amianto (antofilita) e talco. Neste contexto, a área mais importante em termos de potencialidade localiza-se na região de Ipanema, onde dois destes maciços (Santa Cruz e Santa Maria) foram estudados com detalhe e encontram-se mineralizados em níquel, com minério do tipo silicatado.

A unidade litológica predominante na área mapeada que abrange praticamente toda a Folha Ipanema, corresponde a gnaisses que apresentam intensa variação na sua composição mineralógica e na granulação. Ocorrem ortognaisses de composição tonalítica e granodiorítica e paragnaisses com composição aluminosa (гнаisses kinzigíticos), sendo que a estes últimos se associam lentes e intercalações de quartzitos. Principalmente relacionados a esta unidade metassedimentar é que se encontram alojados os principais complexos metamáfico-ultramáficos existentes na área mapeada. Em discordância com a unidade gnáissica ocorre uma associação de rochas plutônicas granitóides com composição variando desde tonalito até granito, que foi denominada de Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum. Estas rochas representam granitos híbridos, calco-alcalinos de baixa a média profundidade. Datações geocronológicas conferem a esta unidade idade brasileira (Proterozóico Superior), e desta forma suas encaixantes foram afetadas também por eventos tectono-metamórficos mais antigos (Proterozóico Inferior - Arqueano?).

O Maciço de Santa Cruz apresenta composição variando desde dunito até anortosito, e nestas rochas são encontradas feições reliquias ígneas, o que indica serem produto de cristalização fracionada de processo de diferenciação magmática. Os estudos realizados sugerem que este complexo corresponde a uma pequena intrusão do tipo estratiforme. Além do minério de níquel, que ocorre sob forma de garnierita, tem-se ainda concentrações elevadas de cobalto na porção média do perfil laterítico (fácies Saprolito Alaranjado), ambas associadas a alteração de metadunitos e metaperidotitos serpentinizados. Ainda ocorrem níveis de cromita, que se

localizam no topo da unidade peridotítica, já próximo dos metapiroxenitos. Associadas aos metanortositos ocorrem concentrações de titano-magnetita.

O maciço de Santa Maria apresenta-se menos diferenciado, com composição peridotito-piroxenítica, onde os metapiroxenitos ocorrem em maior quantidade que em Santa Cruz. Este corpo apresenta apenas concentrações em níquel também do tipo silicata-do. Embora esteja localizado próximo de Santa Cruz, o maciço de Santa Maria parece corresponder a uma intrusão distinta, apresentando características petrográficas e químicas particulares.

Tanto as encaixantes quanto as rochas que compõem os complexos máfico-ultramáficos apresentam-se afetadas pelo mesmo número de fases e/ou etapas de deformação e metamorfismo. Foi dado maior destaque ao metamorfismo, onde se distinguiram três etapas, sendo a primeira de grau médio a forte e as duas outras subsequentes de baixo grau. À estas últimas etapas de metamorfismo tem-se associada a serpentinização dos maciços estudados.

A gênese dos depósitos de níquel é discutida com detalhe por meio do estudo de perfis de alteração, onde são apresentadas e analisadas as evoluções mineralógica e geoquímica dos diversos fácies de alteração. Os principais depósitos de níquel desenvolveram-se em platôs, sendo que o metal se encontra acumulado no fácies Saprolito Verde. O processo de concentração do níquel, ou seja a lateritização, que envolve principalmente a alteração das olivinas e a consequente lixiviação do metal mostra enriquecimento absoluto de mais de 400% em Ni. Os principais minerais de minério encontrados foram predominantemente serpentina, além de clorita e talco niquelíferos. Secundariamente ocorrem esmectitas niquelíferas, que normalmente se localizam na base do Saprolito Verde.

Vários corpos mineralizados foram pesquisados, entretanto Santa Cruz e Santa Maria mereceram maior destaque e detalhamento em função do potencial que apresentavam. Estes dois depósitos foram pesquisados principalmente por meio de sondagens rotativas a pequena profundidade e por poços e trincheiras. Foram calculadas as reservas por vários métodos convencionais e pelo método estatístico, e as mesmas totalizam mais de 8 milhões de toneladas a um teor médio de 1,2% em níquel. Com uma pesquisa mais acurada no depósito de Santa Cruz, e com a avaliação das reservas de outros corpos menores, este valor deve ser ampliado para cerca de 13 milhões de toneladas de minério.

ABSTRACT

The eastern portion of Minas Gerais State presents several small serpentinitized metamafic-ultramafic bodies chiefly mineralized in nickel, asbestos (anthophyllite) and talc. In this context, the more important area in terms of potentiality is located in the Ipanema region where two massifs (Santa Cruz and Santa Maria) with nickel mineralization (silicate ore) were studied.

The principal lithological unit in the mapped area, comprising almost the complete Ipanema Map Sheet, are gneisses with considerable variation in its mineralogical composition and grain size. Orthogneisses present tonalitic and granodioritic composition and paragneisses have aluminous composition (Kinzigitic gneisses), and show lenses and intercalations of quartzites. Principally related to this metasedimentary unit are the major metamafic-ultramafic complexes. Associations of granitoid plutonic rocks with composition varying from tonalite to granite representing the Santa Rita do Mutum Intrusive Suite occur as discordant bodies in the gneiss unit. These rocks are hybrid granites, calc-alkalines of low to medium depth. Geochronological data confirm a Brazilian age for this lithological unit, and it is therefore suggested that its country rocks must have been affected by older tectonic-metamorphic events, possibly of Lower Proterozoic or Archean age.

The Santa Cruz massif presents composition varying from dunite to anorthosite, showing original igneous features, indicating that they are products of fractional crystallization of a magmatic differentiation process. The studies suggest that this complex corresponds to a small intrusion of stratiform type. Besides nickel ore, that occurs as garnierite, high concentrations of cobalt are also common in the middle of lateritic profile (Orange Saprolite facies), both associated with weathering of serpentinitized metadunites and metaperidotites. Chromite layers located on top of peridotitic unit immediately near metapyroxenites are also present. Associated to metanorthosites occur titaniferous magnetite concentrations.

The Santa Maria massif presents minor differentiation with peridotite-pyroxenitic composition. The metapyroxenites occur

in greater amount than in Santa Cruz. This body contains nickel concentrations only similar to the silicate type found in other bodies. Although located near Santa Cruz, the Santa Maria massif seems to correspond to a distinct intrusion with typical petrographic and chemical characteristics.

The same number of phases and or stages of deformation and metamorphism affect the mafic-ultramafic complexes and the country rocks. With the study of metamorphism it was possible to distinguish three stages: the first was medium to high grade and the subsequent of low grade. The last metamorphic stage was associated with serpentization of the studied massifs.

The genesis of nickel deposits is discussed in detail by studying the weathering profiles, and with analysis of the mineralogical and geochemical evolutions of the various alteration facies. The principal nickel deposits were developed on plateaus and the metal was accumulated in Green Saprolite facies. The process of nickel concentration, that is the lateritization that involves principally the weathering of olivines and the consequent metal leaching shows absolute enrichment of over 400% in Ni. The principal ore minerals encountered were chlorite, talc and predominantly nickeliferous serpentine. Secondary nickeliferous smectites also occur and are normally located in the bottom of Green Saprolite.

The Santa Cruz and Santa Maria deposits were investigated with greater detail principally by means of rotary drills in low depth and by shafts and trenches. The reserves calculated by many conventional and statistical methods totalize more than 8 million tonnes at an average nickel content of 1.2%. With a more accurate research in Santa Cruz deposit and with reserve evaluations of the others small bodies, these values should be increased to nearly 13 millions tonnes of ore.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A presente realização resulta de trabalho que se iniciou há quase quinze anos, e que teve inicialmente como objetivo principal a prospecção de depósitos de níquel, bem como a descoberta de novas ocorrências de minério. Após esta etapa dos trabalhos, tudo que se realizou foi calcado em interesse individual, com ação e iniciativa pessoal e recursos próprios, o que consequentemente trouxe uma maior demanda de tempo. A recompensa foi muito valiosa, visto que pequenos corpos metaultramáficos, até então desconhecidos, foram encontrados. No corpo de Santa Cruz, o maior existente na área, foi evidenciada diferenciação magmática, como também foram descobertas concentrações de cobalto e cromo. Em termos geológicos uma região que era tida como monótona, passou a apresentar na realidade uma série de unidades litológicas orto e paraderivadas caracterizadas por este trabalho. Desta forma uma série de dados inéditos e interessantes cientificamente foram obtidos e muitos outros aspectos geológicos ainda ficarão por fazer. De qualquer maneira os resultados vão contribuir para o melhor entendimento da geologia do leste do Estado de Minas Gerais e do oeste do Espírito Santo.

Se por um lado houveram dificuldades em se trabalhar na região, decorrentes do baixo grau de conhecimento geológico, por outro lado esse desafio trouxe estímulo e tornou a área atraente. Assim, procurou-se apresentar o mapa geológico da área e na medida do possível discutir as principais características das unidades geológicas cartografadas. Os depósitos de níquel foram pesquisados, e da mesma forma tentou-se ir além, ou seja, vários dos dados obtidos foram aproveitados com o intuito de se caracterizar petrológica e quimicamente os complexos metamáfico-ultramáficos estudados. Após estas considerações é apresentado o Capítulo que versa sobre a evolução geológica da área estudada, calcada também em estudos petrológicos e em dados geocronológicos. Finalmente, os últimos Capítulos apresentados versam sobre

gênese e pesquisa dos depósitos de níquel laterítico, onde se chega até o cálculo das reservas e do conteúdo metálico para os dois principais depósitos encontrados na área.

I.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área pesquisada localiza-se na porção centro-leste do Estado de Minas Gerais, próximo da divisa deste com o Estado do Espírito Santo. Abrange os municípios de Ipanema e Conceição do Ipanema, além de parte dos municípios de Pocrane, Caratinga, Mutum, Simonésia, Inhapim, Santana do Manhuaçu e Chalé. A área investigada compreende uma superfície retangular com aproximadamente 2400 km², sendo limitada pelas coordenadas 19°30' e 20°00' de Latitude Sul e 41°30' e 41°55' de Longitude Oeste, tendo a cidade de Ipanema como seu centro geográfico (Figura 1). Abrange cerca de 85% da Folha IPANEMA, editada pelo IBGE em 1979 (Folha SE-24-Y-C-IV).

O principal acesso à área é feito pela rodovia BR-116 (Rio-Bahia), quando se vem do sul do país para o nordeste, até o entroncamento com a BR-262 (Realeza-MG). Dai se toma a BR-262 (Belo Horizonte-Vitória) até a cidade de Manhuaçu, e a partir daí por estrada parcialmente pavimentada, a MG-111 (Manhuaçu-Aimorês), a qual atravessa a cidade de Ipanema. Quando se parte de Belo Horizonte o acesso pode ser feito pela BR-262 até Manhuaçu, e a partir daí o percurso é idêntico ao último trecho citado anteriormente. Outro acesso a partir de Belo Horizonte até a área estudada pode ser feito pela BR-040 (Belo Horizonte - Rio de Janeiro) até o trevo para Ouro-Preto, onde se toma a rodovia BR-356 até Rio Casca. Nesta cidade se atinge a BR-262, onde se segue até Manhuaçu, e a partir daí o percurso é idêntico ao último segmento visto anteriormente.

Várias estradas secundárias seccionam a área pesquisada, entretanto cerca de 20% da superfície, notadamente nas regiões serranas, o acesso é dificultado, e muitas vezes só pode ser feito em animais ou a pé.

LEGENDA

0 50 100 Km

CAPITAL

CIDADE

LIMITE INTERESTADUAL

Estradas de rodagens

FEDERAL PAVIMENTADA

ESTADUAL NÃO PAVIMENTADA

ESTADUAL PAVIMENTADA

Prefixos FEDERAL ESTADUAL

DRENAGENS

ÁREA PESQUISADA

FIGURA 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO

I.2. CLIMA, VEGETAÇÃO E HIDROGRAFIA

O clima predominante na região estudada, segundo o sistema Köppen é do tipo Aw, que é similar para toda a região atingida pela bacia do médio Rio Doce. O clima Aw corresponde àquele em que no período de um ano, no mínimo durante um mês, ocorre precipitação menor que 60mm, refletindo assim uma distribuição sazonal (Tricart & Cailleux, 1972). O elemento importante na variação do clima é o regime pluviométrico. Desta forma, o clima da região apresenta estação seca bem acentuada que coincide com o inverno, e pode ser classificado como tropical quente e semi-úmido (IBGE, 1977). Os meses de novembro (2^a quinzena), dezembro e janeiro são caracterizados por intensa precipitação pluviométrica. Entretanto tem-se um prolongado período de seca durante três a cinco meses, notadamente nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro. A precipitação média anual varia entre 1000 e 1250mm, sendo que a temperatura média anual situa-se entre 18 e 24°C.

O tipo de vegetação com distribuição mais ampla na região é denominado de "mata mesófila" ou floresta estacional subcaducifolia tropical pluvial (Lima, 1966). Na realidade se constitui de uma vegetação intermediária entre as formações florestais perenes de encosta e as formações não florestais do interior.

O clima semi-úmido com estação seca bem marcada condiciona a periodicidade de sua vida vegetativa, que se caracteriza pela perda das folhas durante a estação seca.

A bacia hidrográfica do Rio Doce está representada na área por um grande afluente de sua margem direita, o Rio Manhuaçu. Este rio nasce nas proximidades da cidade de mesmo nome, localizada a sudeste da área estudada, penetrando na Folha Ipanema na altura de Santa Filomena. Corta a área de sul para norte, onde a partir daí toma o sentido oeste-leste, no limite setentrional da Folha. O outro rio importante da região é o José Pedro, que nasce na Serra do Caparaó, a sul da área pesquisada, nas proximidades de Manhumirim, se constituindo no principal afluente

do Manhuaçu. O Rio José Pedro corta a área de sul para nordeste onde atinge a Folha Ipanema em Prof. Sperber (Município de Chale), banhando várias cidades e povoados, onde se destaca Ipanema, na porção central da Folha, e que se acha instalada nas aluviões deste rio. Um pequeno tributário deste rio, que drena boa parte da porção sudeste e leste da Folha pesquisada é o Córrego do Cobrador.

Ambas as bacias dos rios Manhuaçu e José Pedro drenam terrenos pré-cambrianos e desta forma é comum a ocorrência de corredeiras e cachoeiras, que acabam por impedir a navegação fluvial. O padrão de drenagem destes rios é subdendrítico e se encontra intensamente controlado pelas estruturas das unidades litológicas precambrianas. Desta forma são observados trechos retilíneos profundamente entalhados, que produzem em muitos casos o encachoeiramento do leito dos rios, fato observado notadamente no Rio Manhuaçu. Devido à atuação de tectônica rúptil, a drenagem adquire muitas vezes o padrão subparalelo, o qual também é evidenciado por saltos e corredeiras, que na realidade indicam o desnivelamento brusco do curso fluvial.

I.3. GEOMORFOLOGIA E SOLOS

Na concepção do IGA (1977), a área pesquisada se insere na unidade "planaltos dissecados do leste de Minas Gerais", que corresponde a uma superfície irregular de morros e cristas com saliências de pontões rochosos, que dá continuidade à Serra da Mantiqueira. É um relevo fortemente influenciado pela erosão diferencial das rochas precambrianas. Da mesma forma o trabalho elaborado pelo IBGE (1977) posiciona a região na unidade "planaltos cristalinos rebaixados", onde o modelado é essencialmente marcado pela dissecação fluvial, comandado por efeitos estruturais sobre a rede de drenagem.

O relevo é marcado muitas vezes por encostas íngremes, como no caso do vale do Rio Manhuaçu, onde também se destacam pontões margeando o rio, o que torna o vale estreito, profundo e encachoeirado. No caso do Rio José Pedro, por exemplo na região

de Conceição do Ipanema, o relevo apresenta maior variabilidade, exibindo feições convexas e aguçadas. Isso é reflexo da própria variação litológica ali existente, onde se têm maciços residuais e pontões que se relacionam à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum.

O modelado do relevo na área originou-se pela atuação do processo morfogenético predominantemente químico e desta forma se restringe a colinas de vertentes convexas e convexo-concavas exibindo meias laranjas, escarpas e pães de açúcar. Encontra-se intensamente dissecado, com altitudes médias em torno de 600 metros, entretanto se destacam na paisagem grandes elevações maciças com cotas superiores a 900 metros. Neste caso se ressaltam principalmente os núcleos plutônicos, porção leste da área mapeada, onde normalmente as cotas atingem mais de 1000 metros nas elevações serranas.

Nas cotas mais elevadas (800-900 metros) ainda se encontram restos de uma superfície de aplanamento que atuou desde o final do Cretáceo até o início do Mioceno, sendo denominada de Superfície Sul-Americana (King, 1956). Após este período, no final do Oligoceno e início do Mioceno, esta superfície de aplanamento foi exposta à erosão, em decorrência do soerguimento das Serras do Mar e da Mantiqueira (Almeida, 1967). No Plioceno já existia uma diferença de altitude entre os compartimentos planálticos, que eram cortados transversalmente pelo vale do Rio Doce, o qual acompanhava estruturas concordantes com o levantamento ocorrido no período anterior. Isto trouxe como consequência uma sucessão de eventos morfogenéticos, que culminaram com a elaboração de uma nova superfície de aplanamento (Tricart & Silva, 1968), que se correlaciona com a Superfície Velhas (King, 1956).

Desta forma, com a formação da Superfície Velhas ocorreu o desmantelamento da Superfície Sul-Americana, com erosão dos planaltos e homogenização das irregularidades topográficas. Grande parte do produto deste processo de erosão foi transportado para a faixa costeira, onde passou a iniciar o ciclo deposicional do Grupo Barreiras, já no Estado do Espírito Santo. A Superfície Velhas é encontrada normalmente em altitudes mais baixas (400 - 500 metros) ao longo de toda a área pesquisada.

No Pleistoceno já existia uma superfície uniforme, aplanada. Entretanto períodos de instabilidade se sucederam após o Ciclo Velhas, que correspondem a locais onde o próprio Barreiras apresenta falhas com rejeitos decimétricos a métricos. Da mesma forma a rede hidrográfica se acha condicionada por falhas (principalmente de rejeito vertical), evidenciando um tectonismo pós-Barreiras. Em algumas porções da área pesquisada isto pode ser observado em fotografias aéreas, em locais onde algumas drenagens apresentam falhas, normalmente transversais ao trend regional das estruturas precambrianas, e que resultam na formação de corredeiras e cachoeiras. O Rio Doce no final do Pleistoceno apresentava toda sua bacia encaixada, e já possuía drenagem de grande porte desaguardo no Oceano Atlântico (Meis, 1977).

No Holoceno predominam as condições climáticas com elevado grau de umidade, que proporcionam o desenvolvimento e a manutenção de espesso manto de intemperismo. A formação de terraços fluviais é também característico do Holoceno, fato que atua na variação da capacidade de transporte da drenagem e no acúmulo de sedimentos aluvionares. O atual vale do Rio Doce se originou após a retomada de erosão neste período, onde ocorreu o reafeiçoamento de rampas pleistocênicas (Meis, 1977). Assim, o Ciclo Paraguaçu (King, 1956) trabalha nos vales encaixados pelos afluentes do Rio Doce.

Em síntese, no Quaternário ocorreu basicamente reafeiçoamento das formas, onde o relevo foi se modificando devido a atuação de processos de alteração, os quais foram agilizados pelo grande número de falhas e fraturas existentes.

Notadamente no Quaternário, o intemperismo atingiu níveis profundos, sendo que os principais processos atuantes neste período se resumem na alteração das rochas e intensa pedogênese. O tipo de solo predominante na área estudada é o latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa. Nos locais onde ocorre pequena declividade tem-se a presença de latossolo vermelho escuro com textura média, notadamente nos divisores de água. Neste último caso devem corresponder aos solos originados durante a atuação do Ciclo Sul-Americano, definido por King (1956). Por outro lado, o solo podzólico vermelho-amarelo se concentra ao longo das

principais linhas de dissecação do relevo, ou seja no entalhe dos vales.

Solos lateríticos vermelho escuros, por vezes concrecionários, são encontrados em locais onde ocorrem rochas básicas e ultrabásicas, e têm sua origem relacionada ao ciclo de aplanamento Sul-Americano, bem como ao desmantelamento efetuado pelo Ciclo Velhas (Angeli et alii, 1984).

Finalmente, litossolos ocorrem nas áreas de relevo montanhoso, nas cotas de 800 a 1300 metros, sendo sua maior área de concentração localizada na porção leste da área pesquisada, no domínio da Associação de Rochas Granitóides (Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum).

I.4. BREVE HISTÓRICO

O início deste trabalho teve sua origem quando o autor prestava serviços à Mineração Falcão Ltda., companhia subsidiária da Falconbridge Nickel Mines Ltd. (Canadá), como geólogo residente. Durante o 2º semestre do ano de 1974 e o 1º semestre do ano de 1975, foi realizada uma série de trabalhos correspondentes às fases de Levantamento Regional e Prospeção Mineral. A primeira etapa dos trabalhos constou de revisão bibliográfica, interpretação fotogeológica e reconhecimento de campo associado a um levantamento aeromagnetométrico. A partir de então se desenvolveu a segunda etapa, quando foi realizado mapeamento geológico em escala de 1:100.000, o qual essencialmente visou a reconhecer e individualizar os corpos ultramáficos existentes na área. Junto com o mapeamento geológico foi desenvolvido um programa de prospeção geoquímica de semi-detalle, de sedimentos de corrente (10 a 13 amostras por km²). Com o resultado deste trabalho, foram detectados três corpos que não haviam sido localizados pelo mapeamento geológico. A partir dos resultados obtidos foi realizado o "follow up" e programada uma campanha de prospeção geoquímica de solo nos alvos selecionados.

No 2º semestre de 1975 foram realizados os trabalhos

de pesquisa direta, que constou essencialmente da abertura de vários poços de pesquisa, bem como limpeza e amostragem dos poços e galerias já existentes. Com os resultados obtidos até então, ou seja até o início de 1976, a área estudada (Projeto Ipanema), que correspondia a cerca de 80% da Folha Ipanema (IBGE, 1979 - Escala 1:100.000), não apresentou interesse para a Falconbridge. O principal aspecto levantado na época fora o da pequena tonelagem das reservas, visto que a companhia pretendia produzir liga Fe-Ni e Ni eletrolítico em escala de produção que exigia reservas da ordem de 40 milhões de toneladas.

Mesmo com o abandono da área e a saída da Falconbridge do Brasil, o autor se interessou pela área e continuou o trabalho, que a partir daí passou a apresentar interesse científico. Essa retomada dos trabalhos teve seu início em 1977, quando o autor procurou estabelecer as relações entre os corpos ultramáficos conhecidos e suas encaixantes. Para tanto foi realizado um estudo petrográfico das várias litologias existentes na área.

Em 1980 os corpos ultramáficos foram estudados pormenorizadamente, visando principalmente a caracterização de suas unidades litológicas e das diferentes fases metamórficas a que estiveram sujeitos. No período de 1981 a 1984, quando o autor já havia ingressado no Curso de Pós-Graduação do IGUSP, os trabalhos tiveram continuidade, e procurou-se resolver problemas mais específicos, tais como: geoquímica da alteração dos ultramafitos; prospecção e pesquisa dos depósitos de níquel; caracterização petrográfica das rochas metaultramáficas e de suas encaixantes e avaliação das reservas e do conteúdo metálico dos depósitos estudados.

Nesta etapa dos trabalhos, uma série de dados foi obtida pelo autor, quer seja por ação pessoal, quer seja por contribuição, em especial da ACESITA, que cedeu os dados de pesquisa do corpo de Santa Maria e da GEOSERVICE, que forneceu os dados da pesquisa efetuada no corpo de Santa Cruz. Além disso foram feitas várias incursões ao campo, graças à Bolsa de Pesquisador concedida pelo CNPq, que possibilitou coleta de amostras e até mesmo realização de algumas análises químicas. Algumas das amos-

tras analisadas foram cedidas pela ACESITA (testemunhos de sondagem), as quais também foram submetidas a estudo petrográfico e difratométrico. Simultaneamente foi sendo executado um novo mapa geológico, no qual se procurou representar maior número de observações de campo.

Em 1985 foi realizada a última etapa de campo junto ao Professor Orientador desta Tese, e a partir daí iniciou-se a redação da mesma. Todos os dados obtidos pelo autor nos anos de 1974 e 1975 foram revisados e sofreram reinterpretação, principalmente em função do volume de dados obtidos a partir de 1986 até hoje.

I.5. OBJETIVOS

Em consequência do parco conhecimento da geologia e dos recursos minerais da área estudada, esta pesquisa teve os seguintes objetivos:

- a. caracterização mineralógica e quimismo dos corpos metamáfico-ultramáficos e suas relações com o arcabouço tectônico da região.
- b. gênese dos depósitos de níquel laterítico (evolução mineralógica e geoquímica do perfil de alteração).
- c. cálculo das reservas e do teor médio dos jazimentos niquelíferos.
- d. estudo das principais unidades litológicas presentes.
- e. considerações sobre a evolução geológica da área.

I.6. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho constou inicialmente de pesquisa bibliográfica e interpretação fotogeológica

associada a um reconhecimento de campo. Foram utilizadas fotografias aéreas do levantamento executado em 1965 pela USAF/FAB (Escala de 1:60.000), e fornecidas pelo Serviço Cartográfico do Ministério do Exército. Após esta etapa foi realizada uma reinterpretação do mapa fotolitológico preliminar e foi programada a fase seguinte, qual seja, mapeamento geológico em escala de 1:100.000, e prospecção dos depósitos de níquel. Nesta etapa foram descritos 469 afloramentos, sendo que o mapa base empregado para os trabalhos de campo, bem como o lançamento dos dados obtidos foi aquele resultante da reconstituição aerofotográfica. Assim afloramentos descritos e que aparecem com as siglas NIp e NAn antecedendo os números, correspondem a pontos de amostragem plotados neste mapa base.

No que concerne à prospecção, foi realizado inicialmente um levantamento aerogeofísico (magnetometria), sendo que apenas duas anomalias foram detectadas, as quais correspondem aos dois corpos ultramáficos bem conhecidos na área e são aqueles que apresentam as maiores dimensões. Com relação à prospecção geoquímica foi executada nesta fase uma campanha de semi-detálhe de sedimentos de corrente (em média uma amostra por 500 metros lineares de drenagem). As anomalias geoquímicas foram detalhadas com mapeamento geológico e prospecção geofísica terrestre (magnetometria). A partir daí, com a integração dos dados geoquímicos, geofísicos e geológicos foram selecionados os alvos para a prospecção geoquímica de detalhe (em solos). Para tanto foi realizada uma campanha de prospecção geoquímica orientativa no corpo de Santa Cruz, que é o melhor conhecido na área. Com este trabalho determinou-se que a profundidade de amostragem deveria ser de 75cm (horizonte iluvial dos solos) e o espaçamento de 50 metros. A fração granulométrica do material a ser analisado deveria ser menor que 80 mesh, sendo que os valores de background para níquel foram fixados em 50 ppm e de limiar geoquímico em 120 ppm. Foram feitas dosagens para Ni, Cu, Co e Cr.

Todos os dados relativos à prospecção geofísica e geoquímica foram levados para a sede da Falconbridge Nickel Mines Ltd. em Toronto (Canadá) e não foi possível reobtê-los. Alguns dados de pequenas porções da área pesquisada estão em posse do autor, entretanto não permitem um estudo completo da Folha mapea

da, e desta forma não são apresentados.

A partir de então, os alvos positivos foram submetidos a campanha de pesquisa direta através de poços de pesquisa, trincheiras e galerias. A malha empregada nestes trabalhos foi regular, quadrada, com 50 metros de espaçamento. Os poços de pesquisa apresentaram secção circular com cerca de 1 metro de diâmetro e profundidade média de 12 metros. As trincheiras por sua vez apresentaram largura de 1 metro, comprimento em torno de 40 metros e profundidade média de 2,50 metros. As galerias abertas apresentaram secção de 1,00 metro de largura, 1,80 metros de altura e comprimento médio de 60 metros. Finalmente foram realizadas trincheiras visando essencialmente a delimitar os limites da faixa mineralizada. A densidade de amostragem para estas análises foi metro a metro, realizada por meio de canais com dimensões de 7,5 x 2,5cm. Isso permitiu que as reservas contidas nos corpos estudados fossem estimadas.

Com o início do trabalho de Tese de Doutorado foram realizadas várias viagens de campo, visando a se reconhecer as unidades litológicas que compõem os maciços máfico-ultramáficos, bem como suas encaixantes. Desta maneira foram confeccionadas 178 secções delgadas para estudo petrográfico. As amostras, principalmente dos corpos ultramáficos, com elevada quantidade de opacos foram encaminhadas para a confecção de secções polidas e igualmente estudadas. Ainda objetivando principalmente a determinação da evolução mineralógica dos perfis de alteração, bem como a mineralogia dos serpentinitos, foram realizados estudos por difração de raios-X, num total de 165 difratogramas. Para o corpo de Santa Maria, além do estudo de afloramentos e de algumas trincheiras em condições de amostragem, foram estudadas amostras de testemunhos de sondagem, as quais foram cedidas pela ACESITA.

Foram coletadas e descritas nesta última etapa de trabalho de campo 185 amostras (IPN 01 a IPN 185), o que perfaz um total de 655 afloramentos estudados, com média de 4 afloramentos por km². Nesta etapa de campo foi utilizada a folha cartográfica Ipanema, preparada e impressa pelo IBGE (1979) na escala 1:100.000 (Folha SE-24-Y-C-IV). As amostras de minério mais rico, e também aquelas de horizontes superficiais mais alterados, foram impregnadas antes de passarem pelo processo de laminação. Es

ta impregnação foi feita por meio de uma mistura composta de 70% de resina (Peroxol G/10) e 30% de monômero de estireno, sob vácuo. Após a retirada de todo o ar contido nos recipientes onde estão colocadas as amostras, sucedeu-se um período de secagem, variável de 48 a 72 horas. A partir daí as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Laminação.

Nas análises mineralógicas por difração de raios-X foi utilizado o equipamento Rigaku Denki (Ano de fabricação - 1976), o qual pertence ao Depto. de Geologia Geral do IGUSP. Foi empregado tubo de cobalto e varredura de 3° a 60°. Foram estudados mais de 80 difratogramas, sendo que as amostras que apresentaram pico de 14 Å foram ainda tratadas por aquecimento (550°C) e glicolagem, visando a identificação dos minerais correspondentes a este pico. Desta forma, se pode com o aquecimento eliminar as esmectitas, e provar que as mesmas estavam presentes nas amostras pelo decréscimo do pico de 14 Å. Quando este pico se mantém, bem como o pico de 7 Å, tem-se registrada a presença de clorita. Com a glicolagem tem-se evidenciada a presença de esmectita, onde ocorre intensificação de seu pico de 16 Å, e sua individualização da clorita, a qual apresenta pico a 14 Å.

Foi ainda calculada a umidade das amostras por meio do peso de um recipiente de vidro contendo o material, e posteriormente o peso do vidro vazio. A seguir, o vidro e a amostra foram secados em estufa a temperatura de 100 a 110°C por um período de 6 horas, e depois pesados novamente. Desta forma foram obtidos os valores relativos à umidade de cada amostra, os quais foram posteriormente utilizados no cálculo da densidade.

O cálculo da densidade aparente foi executado com o parafinamento de pequenos fragmentos da amostra com umidade natural e posterior determinação de seu peso em balança analítica no ar e na água. Desta forma a estrutura e umidade originais das amostras são preservadas. A partir daí, utilizando-se o cálculo da umidade determinado anteriormente, é definida a densidade aparente para a amostra seca. Para amostras menos alteradas e de elevada coesão, calculou-se a densidade de dois fragmentos de rocha. Para o caso de amostras com baixa coesão e resistência foram igualmente calculadas densidades de dois fragmentos, entre-

tanto com três determinações para cada um deles. O valor empregado foi a média destas determinações. Após a laminação e estudo petrográfico, para a classificação das rochas, uma série de lâminas foi selecionada para contagem dos minerais constituintes. Isto foi mais importante para a classificação dos diferentes tipos litológicos encerrados na Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum. Além disso, foi empregado para estas rochas granitoides o método da tipologia do zircão, visando essencialmente caracterizar os tipos de rochas desta filiação, existentes na área mapeada, conforme sistematização elaborada por Pupin (1980). Para o caso de granitoides brasileiros, essencialmente na etapa de preparação das amostras e concentração do zircão, esta metodologia proposta inicialmente sofreu adaptações, conforme mostrado por Wernick & Galembeck (1985 e 1986).

No caso das ultramáficas, apesar de serpentinizadas, a contagem dos cristais foi igualmente importante para a definição dos diferentes tipos litológicos que compõem os complexos, notadamente o maciço de Santa Cruz.

Para a determinação da composição dos plagioclásios foram realizados estudos petrográficos através dos ângulos de extinção máximos dos minerais. Estes ângulos são medidos em cortes perpendiculares à secção (010) entre as lamelas de geminação segundo a lei da albita para uma série de cristais. Desta forma, pelo cálculo do valor médio desses ângulos foram determinados os teores em anortita nos plagioclásios (método Michel Levy).

Finalmente foram realizadas análises químicas, objetivando o estabelecimento da evolução geoquímica do perfil de alteração, bem como o quimismo das unidades que compõem os complexos máfico-ultramáficos. Para tanto foram realizadas cerca de 40 determinações. Mais de uma centena de resultados de análises químicas foram cedidos pela ACESITA e pela GEOSERVICE, entretanto são dados incompletos, que geralmente não apresentavam dosagem de alguns óxidos de elementos maiores. Entretanto estes dados foram utilizados posteriormente no cálculo das reservas. Foram executadas novas análises químicas completas para uma série de amostras, sendo que SiO_2 , Al_2O_3 , Fe total, TiO_2 , CaO, MgO, MnO e Cr_2O_3 foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Após

a abertura das amostras por fluorização e ácidos oxidantes, foram determinadas as concentrações de Na_2O e K_2O (fotometria de chama); P_2O_5 (colorimetria) e Cu, Ni, Co, Zn e V por absorção atômica. Os teores de urânio foram determinados por fluorescência de raios-X. O conteúdo em FeO foi calculado após dissolução da amostra com HF em meio anaeróbico, e posterior titulação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Com estas análises químicas tornou-se possível a confecção do balanço geoquímico e de diagramas triangulares que permitiram com que se estabelecesse o trend de diferenciação dos complexos máfico-ultramáficos.

Para a avaliação de ganhos e perdas absolutos fez-se o cálculo do balanço geoquímico, onde para a passagem Rocha Fresca - Saprolito Verde foi empregado o procedimento isovolume (Millot & Bonifas, 1955). Para a passagem Rocha Fresca - Saprolito Alaranjado foi realizado o balanço através da constância do ferro (isoferro).

Muito embora não houvesse preocupação inicial de se trabalhar com geocronologia e nem mesmo de se coletar amostras com tal finalidade, foram realizadas algumas determinações geocronológicas, que permitiram a apresentação de duas isôcronas nesta Tese. Assim, após determinação semi-quantitativa por fluorescência de raios-X, foram selecionadas amostras que apresentaram razões Rb/Sr adequadas para a datação radiométrica e realizadas as determinações isotópicas visando o estudo geocronológico. Todas as datações foram realizadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas do IGUSP. Para as rochas gnáissicas e para os granitoides as datações foram feitas pelo método Rb/Sr e para anfibolitos e diabásios pelo método K/Ar.

Para o cálculo de reservas foram utilizados os métodos convencionais, quais sejam triângulos, polígonos, secções paralelas, isolinhas e blocos de lavra, conforme mostrado por Popoff (1966). A partir daí realizou-se também cálculo estatístico.

CAPÍTULO II

GEOLOGIA REGIONAL

A geologia da porção leste e nordeste do Estado de Minas Gerais, bem como do oeste do Espírito Santo é pouco conhecida, e os trabalhos ali realizados são de escala regional. As pesquisas geológicas desenvolvidas nessa região em escalas maiores se resumem aos projetos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), tais como o Projeto Jequitinhonha e o Projeto Espírito Santo, nos quais empregou-se escala de 1:250.000. Os resultados destes projetos sofreram integração com outros dados, mapas e publicações disponíveis, pela Divisão de Geologia e Mineralogia do DNPM, culminando com a publicação das Folhas do Projeto Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. A porção setentrional da Faixa de Dobramentos Paraíba enquadra-se dessa forma principalmente, nas Folhas Rio Doce e Vitória, sendo que abrange uma pequena parte da Folha Belo Horizonte.

Toda esta faixa da porção leste de Minas Gerais e oeste do Espírito Santo, encontra-se contida no denominado Escudo Brasileiro, Plataforma Brasileira ou Plataforma Sul-Americana, e foi desde o Arqueano até o Proterozóico Superior submetida à atuação de uma série de ciclos tecto-orogênicos. As dificuldades existentes, causadas principalmente por insuficiência de dados, não permitem que se reconstitua adequadamente a história geológica do Precambriano Médio e Inferior, conforme apontado por Almeida et alii (1976). Dessa maneira o que se apresenta em função disso e do próprio contexto geológico, é uma evolução geológica complexa, que resulta na produção de distintos modelos interpretativos por vários pesquisadores, como será visto a seguir.

Basicamente a Faixa de Dobramentos Paraíba, corresponde a um cinturão metamórfico que apresenta rochas formadas em épocas distintas, bem como geradas em níveis crustais diferentes.

II.1. ARCABOUÇO TECTÔNICO

O limite entre as Faixas de Dobramento Ribeira e Paraíba

ba do Sul está aproximadamente na Zona de Transcorrência de São Paulo, conforme definido por Hasui et alii (1975). A faixa de Dobramentos (F.D.) Paraíba do Sul faz parte do antigo Escudo Atlântico, e foi com o decorrer dos anos recebendo várias designações, tais como: Faixa do Paraíba (Rosier, 1957), Paraibides (Ebert, 1956 - In: Ebert, 1968 e Ebert, 1984), Faixa de Dobramento Paraíba (Almeida, 1967), Cinturão Orogênico Atlântides (Grossi Sad & Ladeira, 1968), Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul (Almeida et alii, 1973), Cinturão de Dobramento Ribeira (Cordani et alii, 1973), Cinturão Atlântico (Fyfe & Leonardos Jr, 1974), Região de Dobramentos Sudeste (Almeida et alii, 1977 e Wernick et alii, 1978) e Cinturão Granulítico Atlântico (Wernick & Almeida, 1979).

O primeiro trabalho, em escala regional, que abrange praticamente toda a porção setentrional da Faixa de Dobramentos Paraíba foi realizado por Rosier (1965). Este autor designou a sequência litológica ali presente de Série Paraíba-Desengano, de idade algonquiana, que se equivalia à Série Juiz de Fora (definida mais para o sul). Toda esta sequência de rochas metamórficas que compõe a Série Paraíba-Desengano foi interpretada como sendo pertencente a uma zona submetida à orogênese Assíntica (Proterozóico Superior), correspondendo a uma faixa geossinclinal, em oposição ao material mais antigo ante-assíntico (Série Serra dos Órgãos), tido como Arqueano. O além-país dessa orogênese seria formado pela Faixa Saquarema-Macaé (gnaisses granitóides e migmatitos) e os migmatitos de Ponta Negra (RJ).

Almeida (1967) define a Faixa de Dobramentos Paraíba como sendo uma grande entidade estrutural, que sofreu evolução geossinclinal, apresentando polaridades voltadas para seu antepaís (Plataforma do São Francisco), sendo que o além-país corresponderia ao Cráton do Congo. Toda esta faixa de dobramento foi enquadrada pelo autor na orogênese Baikaliana (Proterozóico Superior).

No interior da F.D. Paraíba se tem registro de uma série de corpos ultramáficos serpentinizados, que foram interpretados como fazendo parte de corpos tipo alpino. Dessa forma Grossi Sad (1968) os interpreta como pertencentes a uma associação de

Figura 2 – COMPLEXOS MÁFICOS- ULTRAMÁFICOS DO BRASIL ORIENTAL

1-Natividade, 2- Cana Brava, 3-Niquelândia, 4- Barro Alto, 5-Americano do Brasil e Mangabal, 6-Cromínia e Hidrolândia, 7-Morro do Níquel, 8-Pium-hi, 9-Natércia, 10-Liberdade, 11-Areal, 12-Rio Pomba, Ubá e Cataguazes, 13-Bela Vista de Minas, 14-Córrego Novo, 15- Ipanema, 16 -Serro, 17-Divinolândia de Minas, 18-Virgolândia e Peçanha, 19-Salinas, 20-Poções, 21-Itaberaba, 22-Santa Luz e Queimadas, 23-Campo Formoso, 24- Uauá, 25-Barra de Santa Rosa, 26-Junco do Seridó, 27-Catingueira, 28-Aurora, 29-Pedra Branca, 30-Novo Oriente, 31-São João do Piauí.

- Cinturões Serpentiníticos do Brasil Oriental
 - Cinturão Cromífero de idade Precambriano Médio (Espinhaço)
 - Cinturão Niquelífero de idade Precambriano Superior (Mantiqueira)
- (adaptado de Grossi Sad, 1968)

natureza ofiolítica. A toda essa faixa, que se estende desde o sul do Estado de Minas Gerais até o norte do Estado da Bahia, este autor denominou de Cinturão Serpentinítico Mantiqueira, posicionando-o no Precambriano Superior (Figura 2).

Com base em dados geocronológicos, Cordani et alii (1973) mostram que a Série Serra dos Órgãos (definida por Rosier, 1965) apresentava idades brasileiras (assínticas) e não arqueanas. Por sua vez, para a Série Paraíba - Desengano obtiveram idades mais antigas (transamazônicas). Isócronas Rb-Sr em granulitos e gnaisses granulíticos com $RI = 0,709$, que forneceram idades de 2070 m.a. (idade do metamorfismo de alto grau) e 600 m.a. (idade do retrabalhamento crustal - granitização brasileira) são apresentadas pelos autores, conforme pode ser observado na Figura 3. Os dados U-Pb também evidenciam os mesmos eventos, e os de K-Ar já revelam total rejuvenescimento isotópico no brasileiro. As rochas de natureza gnáissica (paragnaisses) do Grupo Paraíba do Sul revelam idades de 1900 m.a. a 2100 m.a., com rejuvenescimento isotópico no Ciclo Brasileiro. Os granitóides e gnaisses granitóides (sintectônicos) do Grupo Serra dos Órgãos fornecem idades de 630 m.a. (método Rb-Sr, com $RI = 0,708$), que certamente estão relacionados à granitização brasileira. O Maciço de Aimorés (hiperstênio-granito intrusivo) assim como outros maciços graníticos fornecem idades Rb-Sr de 600 m.a. ($RI = 0,7082$), indicando grande relação com os granitóides da Serra dos Órgãos. Com os dados aqui apresentados observa-se que o Grupo Serra dos Órgãos é bem mais jovem que o Complexo Paraíba do Sul, não podendo desta forma compreender o ante-país da orogênese Assíntica.

A Região de Dobramentos Sudeste (Almeida et alii, 1976), que engloba as Faixas de Dobramento Paraíba (Norte) e Ribeira (Sul), foi uma denominação proposta exatamente para substituir o nome que vinha sendo usado até então, Cinturão de Dobramentos Ribeira. Isso se explica pelo fato da evolução diferencial que se tem entre a porção norte e a porção sul da Região de Dobramentos Sudeste. A porção norte da F.D. Paraíba do Sul parece ser a infraestrutura exposta da Região de Dobramento Sudeste.

Com o mapeamento geológico realizado em parte da porção leste do Estado de Minas Gerais e oeste do Espírito Santo ,

FIGURA 3 — ISÓCRONA SOBRE ROCHA TOTAL DOS GNAISSES PARAÍBA DO SUL (PONTOS TRIANGULARES) E ISÓCRONAS SOBRE ROCHA TOTAL DOS GNAISSES SINTECTÔNICOS DO CICLO BRASILEIRO DO TIPO ORGÃOS (PONTOS CIRCULARES). CORDANI ET ALII (1973).

FIGURA 4 — PROVÍNCIA ESTRUTURAL MANTIQUEIRA
 LEGENDA 1 — EMBASAMENTO ANTIGO RETRABALHADO DURANTE E PRECAMBRIANO SUPERIOR (a — MACIÇO DE PELOTAS, b — MACIÇO DE JOINVILE E c — PARTE DO MACIÇO DE GUAXUPÉ); 2 — CINTURÕES DE DOBRAMENTO BRASILEIRO (A — CINTURÃO TIJUCAS, B — CINTURÃO APIAÍ, C — CINTURÃO SÃO ROQUE E D — CINTURÃO ARAQUAÍ); 3 — ÁREA METASSEDIMENTAR RELACIONADA AO CINTURÃO ARAQUAÍ; 4 — DEPOSITO DE MOLASSA E 5 — COBERTURAS SEDIMENTARES FANEROZÓICAS. LINHAS GROSSAS REPRESENTAM AS PRINCIPAIS FALHAS. (ALMEIDA ET ALII, 1981).
 PROVÍNCIAS ESTRUTURAIS: 3 — SÃO FRANCISCO; 4 — TOCANTINS; 5 — MANTIQUEIRA E 9 — PARANÁ.

Silva & Ferrari (1976) concluem que esta porção corresponde a uma faixa geossinclinal que margeava áreas cratônicas de idade igual ou superior a 2,0 b.a. Assim definem as unidades litológicas ali presentes como metassedimentos e vinculam o magmatismo básico-ultrabásico nos primórdios da formação do geossinclinal, como de caráter ofiolítico.

Almeida et alii (1977) introduzem o conceito de Província Mantiqueira, o qual representa uma grande região com feições evolutivas próprias, quais sejam: estratigrafia, tectonismo, magmatismo e metamorfismo, que permitem uma delimitação com outras províncias. É limitada a norte e oeste pela Província São Francisco, a sudoeste pela Província Tocantins, a sul e sudoeste pela Província Paraná e a sudeste e leste pela Província Costeira e Margem Continental. (Figura 4). A Província Mantiqueira pode ser separada em duas faixas distintas, onde uma sofreu evolução geossinclinal no Proterozóico, sendo denominada de F.D. Ribeira, e a outra sofreu principalmente retrabalhamento na mesma era geológica, que corresponde a F.D. Paraíba do Sul. Esta segunda faixa corresponde ao segmento norte (ou setentrional) da Província Mantiqueira, e geograficamente abrange os Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, leste de Minas Gerais e extremo sul da Bahia.

Wernick (1979) agrupa os terrenos arqueanos em quatro categorias lito-estruturais: complexos básicos-ultrabásicos; cinturões granulíticos, greenstone belts e complexos gnaissico-graníticos. A R.D. Sudeste corresponde a terrenos gnaissico-graníticos antigos retrabalhados no Ciclo Brasileiro e apresenta núcleos arqueanos, que correspondem ao Cinturão Granulítico Atlântico, o qual é mais persistente e contínuo no interior do Cráton do São Francisco.

O Cráton do Paramirim, entidade geotectônica maior que envolve grande parte da porção meridional do Brasil, foi estável em período pré-Transamazônico. Desta forma foi afetado apenas pelo evento Jequiê, e se encontra limitado por cinturões móveis brasileiros (Almeida, 1981). O limite leste e sudeste do Cráton do Paramirim se dá com o então denominado Cinturão Móvel Costeiro (Figura 5). Interessante notar que os limites definidos para esta porção, ditos como bem definidos, são representados por zonas su-

Complexo granítico-gnáissicos de embasamento cratônico	Limites aproximados do cráton São Francisco
"Greenstone belts"	Foliação das faixas de dobramentos brasileiros marginais de cráton de São Francisco
Limites aproximados do cráton do Paramirim	Coberturas de cráton de São Francisco dobradas no ciclo Brasileiro
Cinturões móveis	Granitos Brasileiros
Proterozóico antigo	FALHAS
Proterozóico médio e cenozóico	Transcorrentes
	Indiferenciados
	Empurrões

FIGURA 5 — OS CRATONS DO SÃO FRANCISCO E DO PARAMIRIM E SUAS ESTRUTURAS ENVOLVENTES (ALMEIDA, 1981).

FIGURA 6 — TERRENOS ARQUEANOS A LESTE DO BRASIL (HARALYI & HASUI, 1982).

turais marginais profundas, pelas quais aportou magmatismo máfico-ultramáfico, como também são apontados os contatos entre Rochas de Associação Charnockítica com o Complexo Gnaissico-Migmatítico. Almeida (1981) ainda comenta que no decorrer do Proterozóico ocorreram sucessivos retrabalhamentos, bem como sedimentação em áreas de domínio cratônico.

Várias rochas com idade arqueana são também encontradas fora dos limites do denominado Cráton do Paramirim, conforme discutido e circunstanciado por Cordani (1981). Utilizando-se principalmente do padrão geocronológico, este autor mostrou que o mesmo pode ser obtido em rochas arqueanas situadas tanto no interior do cráton como também fora de seus domínios.

Com a análise dos resultados obtidos por Haralyi & Hasui (1982), onde apresentam dados de anomalias gravimétricas através de mapa Bouguer, pode-se observar que a estruturação da porção leste do Brasil sofreu profundas mudanças do Arqueano para o Proterozóico. Assim, ao se tomar os limites dos terrenos granito-gnaissicos com os terrenos de alto grau, observa-se que esses últimos foram intensamente retrabalhados no Proterozóico em praticamente toda a borda do Cráton do Paramirim. Desta forma os autores definem que a porção leste do cráton, que foi submetida a esta remobilização, como Cinturão Móvel Costeiro, de acordo com a concepção de Almeida (1981), entretanto avançando seu limite oeste para o interior da área estável (Figura 6).

Almeida & Litwinski (1984) afirmam que os conhecimentos até então obtidos sobre a estrutura, litologia e geocronologia do cinturão móvel no norte da Província Mantiqueira não são suficientes para se afirmar que ela recebeu pequena espessura de sedimentos brasileira, de onde se conclui que esta porção corresponde ao embasamento antigo retrabalhado no Ciclo Brasileiro.

II.2. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Assim como no caso da nomenclatura geotectônica, encontra-se na literatura uma série de denominações para as unida-

des geológicas presentes na Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul. Desta maneira, tem-se: Série Mantiqueira (Barbosa, 1943 - In: Si ga Jr et alii, 1982), Série Paraíba-Desengano (Rosier, 1965), Grupo Paraíba (Ebert, 1968), Formação Paraíba do Sul e Formação Juiz de Fora (Cordani et alii, 1973), Grupo Paraíba e Grupo Juiz de Fora (Costa & Romano, 1976), Associação Paraíba do Sul (Silva & Ferrari, 1976), Grupo Paraíba do Sul (Depto. de Rec. Min./RJ, 1977), Associação Barbacena-Paraíba do Sul (Fontes et alii, 1978), Rochas de Associação Charnockítica (Fonseca et alii, 1979), Complexo Juiz de Fora e Complexo Paraíba (Barbosa & Grossi Sad, 1983) e Complexo Juiz de Fora (Hasui & Oliveira, 1984).

Rosier (1965) dividiu a geologia da região leste de Minas Gerais e da porção ocidental do Estado do Rio de Janeiro em dois grandes conjuntos lito-estratigráficos, denominados de: Série Paraíba-Desengano e Série Serra dos Órgãos. A Série Paraíba-Desengano, composta por gnaisses, migmatitos, leptinitos, már mores, charnockitos e gnaisses granitóides e quartzo-dioritóides, foi interpretada como sendo de idade Algonquiana e comparável à Série Juiz de Fora, definida por Ebert na mesma época no sul de Minas Gerais. Já a Série Serra dos Órgãos, composta por granitos, gnaisses granitóides e migmatitos, corresponderia ao substrato da Série Paraíba-Desengano, sendo posicionada no Arquea no.

O mapa geológico da Folha Vitória, que abrange o sul do Estado do Espírito Santo, o norte do Rio de Janeiro e o leste de Minas Gerais é apresentado por Liandrat (1972). Este autor dividiu as rochas precambrianas em duas categorias: rochas regio nais e rochas de "fácies petrográficas especiais". Incluiu nas rochas regionais: biotita (granada) gnaisses, gnaisses semi-facoidais e granitóides, granitos, granodioritos e gnaisses migmatizados. No "fácies petrográficas especiais" foram agrupados: charnockitos, mármores, quartzitos e gonditos.

Com o mapa geológico do Estado de Minas Gerais elaborado por Costa & Romano (1976), a porção leste do Estado, que compreende a Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul ficou subdividida em três grandes unidades: Grupo Paraíba, Grupo Juiz de Fora, ambos posicionados no Proterozóico Inferior e Rochas

Ígneas Ácidas (granitóides), sem idade definida.

No mapeamento geológico executado pelo Projeto Espírito Santo (Escala 1:250.000), Silva & Ferrari (1976) individualizam duas unidades litológicas distintas no precambriano. Na primeira predominam migmatitos a biotita, quartzo, feldspato alcalino, granada, anfibólio, cordierita, sillimanita e andalusita, com intercalações de quartzitos e mármore. Na segunda, localizada mais para leste e separada através de uma falha de empurrão da unidade anterior, tem-se o denominado Complexo Charnockítico, com predomínio de charnockitos e hiperstênio gnaisses. Este contato se localiza no Estado de Minas Gerais, bem próximo da divisa entre este e o Estado do Espírito Santo.

O Projeto Jequitinhonha, que abrange grande parte da porção norte da F.D. Paraíba do Sul, foi executado por Fontes et alii (1978). Neste trabalho os autores definem para a região a existência de quatro complexos, que caracterizam a Associação Barbacena-Paraíba do Sul, quais sejam: Complexo Charnockítico, Complexo Granitóide, Complexo Gnaissico-Kinzigítico e Complexo Gnaissico-Migmatítico. Além disso uma série de rochas intrusivas, desde termos ácidos até ultrabásicos é individualizada. O Complexo Gnaissico-Migmatítico é o principal, em termos de distribuição geográfica, e aquele que apresenta maior variabilidade litológica. É composto essencialmente por gnaisses bandados, biotita gnaisses com intercalações de calcossilicáticas, anfibolitos e mármore, mica xistos, cianita xistos, quartzitos, sillimanita gnaisses e formação ferrífera. Outras unidades importantes que o compõe são: migmatitos heterogêneos, gnaisses com intercalações de charnockitos e granito-gnaisses.

Angeli (1979) como resultado de um mapeamento geológico realizado em parte da porção leste do Estado de Minas Gerais mais especificamente na Folha Ipanema (1:100.000) mostra que o Grupo Paraíba do Sul é composto basicamente por biotita gnaisses, hornblenda-biotita gnaisses, granada gnaisses e gnaisses quartzoso, que apresentam várias intercalações de quartzitos e anfibolitos. A foliação dessas rochas apresenta direções variando entre N-S e N30°E e mergulho entre 20° e 45°E e 15° e 60°SE. Além disso ocorrem granitóides, migmatitos e uma série de pequenos

corpos máfico-ultramáficos intrusivos.

Barbosa & Grossi Sad (1983) veem a necessidade de se individualizar as rochas de associação charnockítica daquela associação composta por gnaisses, migmatitos e granitos, que é mais nova que a anterior. Para tanto sugerem o termo Complexo Juiz de Fora para a primeira Associação, que foi submetida apenas ao metamorfismo de fácies granulito. Para a segunda Associação, que foi afetada também pelo metamorfismo de fácies anfibolito, é sugerido o nome de Complexo Paraíba.

O Setor setentrional da Província Mantiqueira compreende toda a região onde se tem exposição de rochas precambrianas, que se desenvolveram entre as bordas do Cráton do São Francisco. Podem ser agrupadas, através de sua estruturação em dois segmentos: Zona Oriental e Zona Ocidental (Almeida & Litwinski, 1984). A Zona Oriental faz parte de uma extensa faixa de evolução polícíclica que se desenvolveu ao longo da região costeira, compreendendo os Complexos Juiz de Fora e Jequitinhonha e rochas granitóides. A Zona Ocidental se desenvolveu igualmente em bloco crustal mais antigo, porém seu metamorfismo foi menos intenso, sendo definido pelo Complexo Gnáissico-Granítico, Super Grupo Rio das Velhas e greenstone belts e pelo Super Grupo Minas. A porção extremo-norte e noroeste da Província Mantiqueira comportou-se como Cinturão Móvel durante o Brasiliano, onde se estabeleceu a Faixa de Dobramento Araçuaí (Almeida, 1977), que inclusive marca o limite entre as Províncias Mantiqueira e São Francisco. A F.D. Araçuaí compreende os Super Grupos Espinhaço e São Francisco (Grupo Macaúbas).

CAPÍTULO III

UNIDADES LITOLÓGICAS DA ÁREA MAPEADA

Com o mapeamento geológico realizado na Folha Ipanema, na escala de 1:100.000, foram individualizados treze unidades litológicas (mapa geológico - Anexo 1). Estas unidades serão discutidas em detalhe neste Capítulo. A unidade correspondente às rochas metaultramáficas serpentinizadas serão por ora analisadas de forma sumarizada, posto que no capítulo subsequente terão tratamento pormenorizado, tendo-se em vista que a elas se associam as mineralizações de níquel.

III.1. ASSOCIAÇÃO BARBACENA-PARAÍBA DO SUL

III.1.1. Gnaisses

Apesar dos gnaisses presentes na área investigada constituírem tanto sequências ortoderivadas quanto metassedimentares, a sua individualização, na maioria das vezes não foi possível. Isto se deveu principalmente ao espesso manto de intemperismo que cobre praticamente toda a área, sendo necessário desta forma trabalhos de campo mais intensivos e com sistemática visando delimitar estes contatos, que não foi objeto da presente pesquisa. Entretanto procurou-se, na medida do possível delimitar as faixas de ocorrência da unidade metassedimentar, denominada de gnaisses kinzigíticos, conforme pode ser observado no mapa geológico (Anexo 1). Mesmo assim deve-se ressaltar que na unidade biotita e/ou hornblenda gnaisses, uma pequena parte de metassedimentos com baixo teor em Al_2O_3 não pode ser separada. Desta maneira tentou-se tratar no texto, de modo diferenciado algumas subunidades inclusas nesta unidade maior, por meio de suas associações mineralógicas.

Os gnaisses compreendem a unidade que predomina na área da Folha Ipanema, abrangendo cerca de 2/3 da mesma. Desta forma serão tratados e discutidos de forma mais detalhada, e para tanto foram subdivididos em três subunidades, a saber: bioti-

ta e/ou hornblenda gnaisses; gnaisses kinzigíticos e gnaisses migmatíticos e migmatitos.

De modo geral pode-se dizer que as rochas ortoderivadas são amplamente predominantes em relação às metassedimentares. Ambas unidades exibem intensa foliação cataclástica. A migmatização, embora só localmente atinja certa expressão, afeta tanto as sequências orto quanto as paraderivadas.

III.1.1.1. Biotita e/ou hornblenda gnaisses

Dentro da unidade gnáissica, esta subunidade foi dividida, embora não pode ser individualizada no mapa geológico, em quatro tipos petrográficos, interpretados como gnaisses tonalíticos, granodioríticos, graníticos e dioríticos.

Gnaisses tonalíticos

Este tipo petrográfico ocorre de forma generalizada e ampla, ao longo de toda a unidade gnáissica. Seu contato com as demais unidades, tal como com a Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum (porção leste da área mapeada) se dá tectonicamente ou através de migmatização. Com os quartzitos seu contato é brusco, assim como o é com a subunidade gnaisses kinzigíticos.

Em certas porções desta subunidade pode-se observar que existe muitas vezes uma passagem gradacional entre os biotita gnaisses e os hornblenda gnaisses, que se dá por meio de termos intermediários entre estas duas rochas, tais como hornblenda biotita gnaisses e biotita-hornblenda gnaisses. Isto foi bem observado no afloramento IPN-181, na porção norte da área mapeada. (Anexo 1 - mapa geológico).

Os gnaisses correspondentes a este tipo petrográfico apresentam coloração cinzenta (desde tons claros até mais escuros) e granulação média a grossa. São rochas leuco a mesocráticas, notadamente inequigranulares e exibem forte laminação.

A estrutura apresentada por estas rochas é homogênea, foliada, porém estrutura fitada e mais restritamente bandada são também encontradas. A foliação é dada principalmente pela orien-

tação das biotitas e dos prismas de hornblenda, quando este mineral está presente. Por vezes a estrutura fitada ocorre, onde se distinguem pequenos e delgados leitos alternados com variações em sua composição mineralógica apresentando espessura milimétrica. São leitos leucocráticos intercalados a leitos meso a melanocráticos, que apresentam continuidade extremamente irregular. Como se tem variação na composição mineralógica a textura também varia em função da mineralogia e da granulação do leito estudado. Desta forma os leitos leucocráticos apresentam textura granoblástica e os leitos meso a melanocráticos exibem textura lepidoblástica, e por vezes nematoblástica.

Na estrutura bandada pode-se individualizar bandas leucocráticas, geralmente mais espessas e com granulação mais grossa, de bandas melanocráticas, mais delgadas e com granulação mais fina. As bandas leucocráticas apresentam espessuras variando entre 2 e 10 mm e mineralogia simples, a base de quartzo, plagioclásio e menos frequentemente microclínio, muito embora também ocorra pequena porcentagem de biotita e/ou hornblenda. A textura apresentada por estas bandas é granoblástica. As bandas melanocráticas, por sua vez apresentam espessura entre 1 e 6mm, exibem foliação mais pronunciada e têm biotita como constituinte principal, sendo que hornblenda e quartzo ocorrem subordinadamente. Apresentam textura granolepidoblástica. O contato entre estas bandas normalmente é brusco. Em locais onde este bandamento é mais incipiente, a forte orientação destas rochas é dada principalmente pelo arranjo das biotitas e em zonas mais cisalhadas pelos feldspatos, que adquirem forma de grãos achatados e laminados. Em várias porções da área mapeada, os biotita gnaisses adquirem o hábito de "desagregação em placas", conseqüente da forte laminação que apresentam.

A textura apresentada pelas rochas pertencentes a este tipo petrotráfico é a granoblástica. Entretanto textura granocataclástica é também observada com grande frequência.

Os minerais primários que constituem estes gnaisses, em ordem decrescente de quantidade são plagioclásio, quartzo, biotita, microclínio e hornblenda, além de diopsídio. Os acessórios mais comuns que em média perfazem 1% da rocha são titanita, apatita, zircão e opacos. Como minerais secundários ocorrem epidoto,

muscovita e sericita.

Os plagioclásios apresentam-se sob forma de cristais euhedrais a subhedrais, com zoneamento normal e normalmente ocorrem exibindo geminação polissintética. O plagioclásio mais comum é o oligoclásio (An_{18-30}), muito embora em algumas amostras apresente composição andesínica (An_{35-45}). Mirmequita é uma feição que ocorre com certa frequência nos interfácies entre plagioclásio e microclínio. Em algumas amostras foi observada a presença de antipertita.

O quartzo aparece sob forma de cristais anedrais, apresenta-se geralmente microfraturado e exhibe extinção ondulante. Nos locais onde se apresentam mais recristalizados, os contornos dos grãos são retos e poligonizados. Às vezes é encontrado como inclusão nos plagioclásios.

Biotita ocorre sob forma de palhetas orientadas e exhibe uma coloração que varia de castanho amarelada a castanho avermelhada. Nas porções ricas em hornblenda observou-se que as palhetas de biotita se orientam paralelamente aos prismas de anfibólio.

Microclínio ocorre normalmente em pequenas porcentagens nesta unidade, e com certa frequência apresentam intercrescimentos pertíticos.

Hornblenda ocorre sob forma de cristais euhedrais a subhedrais, e apresenta pleocroísmo que varia de verde pálido a castanho. Deve-se frisar que em certos locais hornblenda ultrapassa a 30% da composição da rocha.

Diopsídio é um mineral que ocorre em pequenas quantidades notadamente nos locais onde se tem maior concentração de hornblenda, e mostra-se alterado para o anfibólio.

Localmente os opacos apresentam-se em maiores quantidades, atingindo em algumas amostras até 8%.

Muscovita primária de modo geral é ausente. Os cristais de muscovita mais abundantes ocorrem apresentando forma esquelética e tem sua origem relacionada à transformação dos plagioclásios e das biotitas.

Epidoto é o mineral secundário que ocorre em maior porcentagem, e está associado à saussuritização dos plagioclásios. Em menores quantidades ocorre também sericita, a qual foi originada por idêntico processo de alteração.

As rochas deste tipo petrográfico, principalmente nas porções mais ricas em hornblenda, evidenciam um grande equilíbrio entre as fases minerais envolvidas, onde os contornos dos grãos, na sua maior parte se dão segundo linhas retas.

Em função da textura reliquiar encontrada, do zoneamento dos plagioclásios e da composição mineralógica, estas rochas podem ser interpretadas como ortoderivadas e correspondem a gnaisses tonalíticos da infraestrutura. Da mesma forma as rochas mais ricas em hornblenda e mais pobres em quartzo devem corresponder a porções quartzo-dioríticas. Entretanto deve ser colocado que nesta unidade litológica existem pequenas porções que apesar de apresentarem composição mineralógica similar, não possuem características de rochas ortoderivadas. Em certos locais, os biotita gnaisses apresentam leitos com grande quantidade de quartzo, que passam gradualmente a apresentar conteúdos crescentes em biotita, tornando a rocha bastante escura. Desta forma estes locais, que representam aproximadamente 5% desta unidade, devem corresponder a metagrauvacas e metarcóseos.

Gnaisses granodioríticos

Este tipo petrográfico difere do anterior basicamente pelo seu maior conteúdo em microclínio. Ocorre em porções restritas da unidade gnáissica e normalmente se encontra associado ao tipo petrográfico descrito anteriormente. Relações de contato entre este tipo petrográfico e os demais não foram observadas.

As rochas deste tipo petrográfico são leucocráticas, apresentam coloração cinza clara e granulação média a grossa. Exibem estrutura homogênea, com foliação incipiente e localmente apresentam-se bandadas.

As texturas observadas neste tipo petrográfico foram granoblástica e granocataclástica. A foliação destas rochas é

evidenciada pelo hábito mais ou menos alongado exibido pelos grãos de quartzo e de feldspatos, dispostos de forma iso-orientada.

Os gnaisses deste tipo petrográfico são constituídos, em ordem decrescente de conteúdo, por plagioclásio, quartzo, microclínio, biotita e hornblenda. Como minerais acessórios ocorrem apatita, titanita, zircão, allanita e opacos. O mineral secundário comumente encontrado é o epidoto, além de quantidades subordinadas de muscovita, sericita e clorita.

O plagioclásio apresenta formas subhedrais a anedrais e aparece intercrescido com o quartzo, sendo que ambos normalmente exibem extinção ondulante. Vários cristais encontram-se com os núcleos parcialmente saussuritizados.

O quartzo ocorre sob forma de cristais anedrais que muitas vezes apresentam contatos poligonizados. Um dos efeitos do metamorfismo foi a pronunciada recristalização evidente nos grãos de quartzo, que ocorrem entre os grãos de plagioclásio.

Microclínio ocorre sob forma de cristais xenomorfos, com dimensões reduzidas e muito raramente formando megacristais. Microclínio pertítico é frequentemente encontrado, sendo que às vezes apresenta-se corroendo ou mesmo engolfando grãos de plagioclásio. Normalmente apresenta inclusões de quartzo, biotita e hornblenda.

Biotita apresenta pleocroísmo pardo a castanho avermelhado, e em algumas amostras apresenta-se associada à hornblenda. Foi observado em algumas lâminas delgadas que ocorrem cristais de biotita recristalizados desprovidos de deformação, o que indica que o processo de recristalização ocorreu após o evento deformacional.

Hornblenda ocorre sob forma de cristais subhedrais, às vezes poiquiloblásticos, e apresenta coloração que varia de castanho esverdeado à castanho escuro.

A espécie mineral secundária mais comum neste tipo petrográfico é o epidoto. Este mineral tem sua origem relacionada à alteração de plagioclásio e mais raramente de hornblenda. Por meio de determinações ópticas verificou-se que pertencem à variedade zoisita.

Muscovita e sericita são outros minerais secundários que resultam principalmente da transformação dos plagioclásios e mais raramente do microclínio.

Clorita ocorre em pequenas porcentagens e sempre se encontra associada às hornblendas e menos comumente às biotitas.

Este tipo petrográfico representa porções de composição granodiorítica da infraestrutura.

Gnaisses graníticos

Apesar deste tipo petrográfico não apresentar grande expressão em termos de distribuição geográfica, ele ocupa localmente áreas destacáveis. Ocorre principalmente na porção norte da Folha, nas proximidades de Santo Antônio do Manhuaçu; na porção leste, na parte ocidental da Serra da Coluna e na porção central, nas proximidades do Patrimônio dos Anjos e Usina Hidrelétrica da Neblina.

Seu contato com os demais tipos petrográficos não pode ser precisado. Próximo do Patrimônio do Suiço verificou-se que apresenta contato brusco com os quartzitos.

As rochas pertencentes a este tipo petrográfico apresentam coloração branco acinzentada a cinza clara, granulação média e localmente exibem megacristais de microclínio. Há locais onde o conteúdo de megacristais de microclínio é mais elevado, a rocha adquire uma granulação grossa, e apresenta composição essencialmente granítica, podendo ser chamada de ortognaisse granítico porfiróide ou gnaisse granítico. Estes gnaisses, definidos na Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul como granito gnaisses por vários autores (Rosier, 1965; Barbosa, 1934, dentre outros) ocorrem muito localmente, e via de regra encontram-se dificuldades em separá-los dos corpos graníticos sintectônicos. Tal fato se deve tanto pelo objetivo e escala do trabalho executado, quanto pela grande semelhança entre estas litologias.

De modo geral estas rochas apresentam estrutura homogênea e exibem foliação incipiente, que localmente pode ser mais intensa.

A textura apresentada pelas rochas desta subunidade é predominantemente porfiróide, onde são destacados os megacristais de microclínio. Em algumas amostras registrou-se a presença de textura hipidiomórfica granular preservada.

A composição mineralógica destas rochas consiste basicamente de microclínio, plagioclásio, quartzo e biotita. Como acessórios ocorrem apatita, zircão, titanita e opacos. Como mineral secundário tem-se a presença de muscovita e sericita.

Microclínio ocorre tanto constituindo megacristais como disperso na matriz. No primeiro caso apresentam formas retangulares, quadradas e ovaladas com dimensões que atingem até 1,5 cm. Muitos destes cristais encontram-se dispostos caoticamente, sem orientação definida. Na matriz, apresenta-se sob forma de cristais subhedrais a anedrais e normalmente exhibe geminação em grade.

O plagioclásio apresenta-se sob forma de cristais subhedrais, geminados segundo a Lei da Albita, e encontram-se parcialmente sericitizados e epidotizados.

Quartzo ocorre em grãos anedrais, inequidimensionais e com extinção ondulante.

Biotita ocorre sob forma de palhetas bem desenvolvidas e apresenta coloração castanha.

Muscovita ocorre em pequenas porcentagens, e na maior parte das amostras estudadas encontra-se associada à alteração da biotita.

Pode-se verificar que este tipo petrográfico difere dos demais pelo fato de apresentar composição mineralógica distinta, principalmente dada pela maior quantidade de microclínio. Desta forma deve corresponder a porção do embasamento antigo com composição mais granítica.

Gnaisses dioríticos

As rochas deste tipo petrográfico ocorrem em porções muito localizadas da área pesquisada. Em certos locais pode ser observada a passagem gradual deste tipo petrográfico para aquele

definido como gnaisses tonalíticos.

Apresentam estrutura foliada, granulação média e coloração variável, com vários tons de cinza (branco acinzentado a cinza escuro). A textura apresentada por estas rochas é granoblástica.

A composição mineralógica essencial deste tipo petrográfico é baseada em plagioclásio, biotita e quartzo. Os acessórios mais comuns são titanita, opacos e apatita.

Os plagioclásios ocorrem sob forma de cristais euédrais a subédrais e normalmente exibem geminação polissintética. Foi observado que alguns cristais apresentam bordas de mirmeciza.

Biotita ocorre sob forma de palhetas orientadas e apresentam em geral uma coloração castanho avermelhada. Alguns cristais de biotita indicam que tiveram sua origem em detrimento de hornblenda.

Quartzo ocorre sob forma de cristais anédrais e geralmente exibe extinção ondulante.

A maior diferença entre este tipo petrográfico e os demais se baseia em seu maior conteúdo em biotita. Pela mineralogia apresentada, as rochas que compõem este tipo petrográfico devem corresponder a porções quartzo-dioríticas da infraestrutura.

III.1.1.2. Gnaisses Kinzigíticos

É uma unidade que ocorre dispersa por toda área mapeada, entretanto apresenta maior persistência (expressão areal) na porção norte da Folha Ipanema, notadamente nas regiões de Santa Maria, Santa Constância e Rio Preto (mapa geológico - Anexo 1).

Seu contato com as demais unidades é normalmente brusco, exceto com as rochas quartzíticas. Em vários locais foi registrada a passagem gradual desta unidade para os grandes corpos quartzíticos, que ocorrem dispersos por toda a Folha Ipanema. Este tipo de contato gradacional se dá com o aumento crescente do quartzo e o decréscimo, principalmente na quantidade dos feldspatos. Os afloramentos IPN 45 (proximidades de Santa Cruz, porção central da Folha) e IPN 61 (proximidades de Alegria) evidenciam

este tipo de contato.

Localmente são encontrados nestes gnaisses aluminosos pequenos sinais de fusão parcial, onde se tem a formação de mobilizados quartzo-feldspáticos, pouco expressivos e com baixa distribuição na área mapeada.

A estrutura apresentada pelas rochas que compõem esta unidade é geralmente bandada, onde se verifica a alternância entre leitos leucocráticos e leitos mesocráticos. Os leitos leucocráticos apresentam granulação média e mineralogia composta por quartzo, plagioclásio, granada e biotita. Os cristais de granada normalmente apresentam maiores concentrações nestes leitos. A esgrossura destas bandas varia entre 4 e 20mm. Os leitos mesocráticos apresentam granulação média a fina e mineralogia composta por plagioclásio, biotita, sillimanita, granada e quartzo em ordem decrescente de conteúdo. A espessura destes leitos varia entre 1 e 6mm. As duas bandas apresentam entre si passagem gradacional, de forma que o bandamento observado deve refletir o antigo acamamento das rochas.

Em algumas porções desta unidade encontram-se quartzo e plagioclásio formando um aglomerado cristalino, ao passo que biotita, granada, sillimanita e cordierita se concentram nas bandas mais orientadas e com granulação mais fina. Esta função pode ser observada no Córrego Bananal de Cima (a sul de Professor Sperber) e na região do Médio Santa Maria (porção centro-norte da Folha).

Em muitos casos a estrutura bandada não é verificada, em função da deformação sofrida pelas rochas desta unidade que passam a adquirir uma estrutura homogênea, com foliação variável, desde muito intensa até incipiente.

A textura apresentada por estas rochas em geral é granoblástica com forte orientação. Entretanto, localmente é encontrada com certa frequência textura nematoblástica especialmente nos níveis ou mesmo locais onde a rocha apresenta enriquecendo em sillimanita. Por outro lado, nas porções e nos níveis com concentração em granadas, registra-se a textura porfiroblástica.

As rochas presentes nesta unidade apresentam grande

variação na composição mineralógica, notadamente na porcentagem dos minerais presentes, e em função disso pode-se reuni-las em cinco associações mineralógicas frequentemente encontradas (em ordem de importância percentual):

- a. quartzo, plagioclásio, biotita e granada
- b. plagioclásio, quartzo, granada, biotita, sillimanita e cordierita.
- c. quartzo, biotita, plagioclásio e sillimanita.
- d. plagioclásio, microclínio, quartzo, sillimanita e biotita.

Esta variação deve refletir mudanças na composição original dos antigos sedimentos.

Como minerais acessórios foram encontrados zircão, apatita e opacos.

O mineral secundário que se apresenta em maiores quantidades é a muscovita, e subordinadamente ocorre sericita.

Quartzo apresenta-se sob forma de agregados poligonizados, exibindo contatos retos. Em algumas amostras apresenta-se em grãos xenoblásticos, geralmente microfraturados e exibindo forte extinção ondulante.

Plagioclásio apresenta geralmente composição oligoclásio, geminação segundo a lei da Albita e se encontra intensamente recristalizado.

Biotita apresenta-se em palhetas fortemente orientadas e exibe pleocroísmo castanho avermelhado.

Granada ocorre geralmente sob forma de porfiroblastos que atingem dimensões de até 1cm. Estes porfiroblastos normalmente se encontram estirados e rotacionados, muito fraturados e comumente apresentam inclusões de quartzo, plagioclásio e biotita.

Sillimanita ocorre sob a forma de prismas alongados e geralmente se encontra associada à biotita. Localmente apresenta-se em concentrações elevadas formando faixas e/ou lentes de fibrolita. Os cristais de sillimanita, bem como fibrolita, apre-

sentam sua maior dimensão paralela à foliação da rocha. No afloramento IPN 30/b, situado na localidade de Santa Cruz, observou-se ao microscópio que sillimanita surge em detrimento da biotita.

Cordierita ocorre muito raramente sob a forma de cristais xenoblásticos, pequenos e irregulares, que aparecem ocupando espaços intergranulares.

Microclínio ocorre em pequenas quantidades e geralmente apresenta intercrescimento pertítico.

A muscovita ocorre invariavelmente associada ao cisalhamento sofrido pelas rochas desta unidade, onde apresenta-se cortando as biotitas e normalmente exibindo fragmentação.

Sericita aparece em pequena porcentagem e se encontra associada à sericitização dos plagioclásios.

Estes gnaisses kinzigíticos, ao contrário dos biotita e/ou hornblenda gnaisses apresentam características de unidade metassedimentar, quer pelas observações de campo, quer pela sua composição mineralógica. Nos trabalhos de campo são observados contatos transicionais entre as bandas que compõem as rochas desta unidade. Esta passagem transicional deve refletir o antigo acamamento sedimentar, que composicionalmente representam leitos pelíticos intercalados a leitos arenosos e arcoseanos. Sua composição mineralógica com elevado conteúdo de minerais aluminosos reforçam tal afirmativa, posto que rochas com esta composição só podem ser resultantes de metamorfismo de sedimentos pelíticos aluminosos.

III.1.2. Quartzitos

Esta unidade apresenta-se distribuída em faixas estreitas e descontínuas, ao longo de toda unidade gnáissica. Em termos morfológicos apresenta geralmente sua maior dimensão acompanhando a foliação das encaixantes, muito embora em alguns casos ocorra apresentando redobramentos. Normalmente ocorrem em áreas com cotas topográficas mais elevadas, onde aparecem sustentando o relevo.

Os quartzitos ocorrem em faixas e bancos intercalados aos biotita e/ou hornblenda gnaisses e gnaisses kinzigíticos, nor

malmente concordante com a foliação dos mesmos. Apresentam muitas vezes espessuras consideráveis, como por exemplo na região de Alegria, Ipanema e Santo Antônio do Manhuaçu (porções sudoeste, central e noroeste da área mapeada, respectivamente), onde atingem espessuras superiores a 400 metros.

O contato desta unidade com a subunidade biotita e/ou hornblenda gnaisses é brusco, e algumas vezes tectônico. De modo geral é observada com maior frequência associada aos gnaisses kinzigíticos com os quais apresenta um contato gradacional. Esta passagem gradacional é observada com o crescimento gradativo em quartzo, e a perda sensível em feldspatos e biotita, quando se parte dos gnaisses para os quartzitos. A granulação também varia, sendo que vai se tornando mais grossa neste mesmo sentido. A coloração cinzenta dos gnaisses vai adquirindo tons mais castanhos e amarelados, passando para creme e em algumas situações termos bastante alvos podem ser observados junto ao contato com os quartzitos.

As rochas pertencentes a esta unidade apresentam estrutura homogênea, foliada, granulação média a grossa e coloração variável, onde são encontrados termos bastante claros (brancos) até rochas com tonalidade branco amarelada e branco acastanhada. São observadas com grande frequência impurezas, representadas pela presença de sillimanita, biotita, muscovita, feldspatos e granada. Desta forma as rochas encontradas são, principalmente sillimanita-biotita quartzitos, muscovita quartzitos, sillimanita quartzitos e granada-sillimanita quartzitos.

Esta unidade apresenta-se fortemente cisalhada e recristalizada, sendo que as texturas mais comumente encontradas são a granoblástica e a granocataclástica. Localmente, em especial nas porções ricas em sillimanita, se tem textura granonematoblástica.

Estudo de seções delgadas permitiu que se estabelecesse seis associações mineralógicas distintas, presentes nesta unidade, as quais seguem discriminadas abaixo em ordem decrescente de importância:

- a. quartzo, sillimanita e biotita
- b. quartzo e muscovita

- c. quartzo e sillimanita
- d. quartzo, sillimanita e granada
- e. quartzo, sillimanita, biotita, plagioclásio e granada
- f. quartzo, muscovita e microclínio

Os acessórios mais comumente encontrados são zircão, titanita e opacos.

Como mineral secundário ocorre muscovita e em menor proporção sericita.

Algumas porções desta unidade quartzítica chegam a apresentar quase que 100% de quartzo. Este mineral aparece sob forma de grandes cristais irregulares, que apresentam suas bordas trituradas. Em algumas amostras estudadas observou-se que o quartzo sofreu deformação seguida de recristalização.

Como no caso dos gnaisses kinzigíticos, os quartzitos apresentam localmente porções ricas em sillimanita, que se apresenta sob a forma de fibrolita. Em algumas seções delgadas observou-se que sillimanitas se desenvolvem nas bordas das granadas.

Localmente os quartzitos apresentam níveis enriquecidos em granada. Estes níveis apresentam espessura que varia entre 2 e 20cm, e seu conteúdo em granada atinge muitas vezes mais de 50% de sua constituição mineralógica.

Biotita não ocorre com abundância e se apresenta geralmente em concentrações sob forma de palhetas curtas, e com coloração esverdeada e pardacenta.

Muscovita geralmente ocorre substituindo a biotita e os feldspatos. Apresenta-se sob forma de palhetas bem desenvolvidas, que inclusive conferem uma foliação conspícua à rocha.

Pelas texturas observadas, pela sua composição mineralógica e principalmente pela passagem transicional que apresenta com os gnaisses kinzigíticos, esta unidade quartzítica deve corresponder a antigos sedimentos arenosos com pequenos e delgados níveis pelíticos. Raros corpos menores, em termos areais, com espessuras que alcançam pouco mais de um metro, foram também registrados na área estudada. São quartzitos com granulação grossa, que apresentam contatos bruscos com os gnaisses encaixantes,

e que em função da limitação de escala não foram passíveis de mapeamento. Entretanto, cabe ressaltar que são corpos distintos dos anteriormente descritos que não apresentam origem sedimentar, mas sim uma gênese relacionada ao metamorfismo de veios quartzosos.

III.1.3. Calcio-silicáticas

Raras são as lentes compostas por rochas calcio-silicáticas encontradas na área mapeada, entretanto procurou-se destacar duas delas, as quais apresentam maior distribuição em termos de área. A primeira se localiza nas proximidades de Pocrane (porção norte da área), e a outra a oeste de Ipanema (porção central da área).

Essas lentes ocorrem sob forma de intercalações nos biotita e/ou hornblenda gnaisses e nos gnaisses kinzigíticos. Apresentam pequenas dimensões, com comprimento variando entre 3 e 5 metros e espessura entre 20 e 50cm. O tipo de contato com as rochas da unidade gnáissica não pode ser precisado, em vista de que ocorrem em áreas com elevado grau de alteração.

As rochas calcio-silicáticas apresentam coloração cinza clara e branco acinzentada e granulação média a fina. A estrutura frequentemente encontrada é foliada, algumas vezes bandada e mais raramente homogênea. A foliação encontrada é concordante com a foliação dos gnaisses encaixantes. Apresentam textura granoblástica e por vezes cataclástica.

A mineralogia apresentada por estas rochas é bastante variável, sendo que no corpo situado nas proximidades de Pocrane é constituída por diopsídio, epidoto e plagioclásio. Subordinadamente ocorrem quartzo, tremolita-actinolita, biotita e carbonatos. Os acessórios mais comuns são apatita e opacos, além de ocorrerem titanita e zircão.

Diopsídio é na maior parte das vezes o mineral predominante. Apresenta-se sob forma de cristais xenomorfos e geralmente inequigranulares.

Epidoto ocorre sob forma de grandes cristais euhedrais

a subhedrais e em parte ocorrem associados ao plagioclásio.

Plagioclásio apresenta-se sob forma de cristais subhedrais, geminados polissinteticamente e com composição variando de Andesina a Labradorita.

Normalmente, diopsídio, epidoto e plagioclásio perfazem cerca de 85% da rocha.

Quartzo ocorre frequentemente recristalizado e microfraturado. Às vezes apresenta-se formando agregados policristalinos, onde aparecem unidos vários cristais com diferentes granulações e propriedades ópticas.

Biotita ocorre em pequenas porcentagens, estando ausente em algumas das amostras estudadas. Apresenta-se sob forma de pequenas palhetas com pleocroísmo de coloração castanho avermelhada.

Carbonato aparece em pequenas quantidades e normalmente é intersticial.

Já no corpo situado a sudoeste da cidade de Ipanema, a textura observada é poiquiloblástica e a composição mineralógica é distinta daquela observada acima. As rochas calcio-silicáticas apresentam aqui uma mineralogia baseada essencialmente em hornblenda e epidoto, que perfazem cerca de 80% da rocha, divididos em quantidades aproximadamente iguais. Os cristais de hornblenda apresentam pleocroísmo fraco, pálido e devem apresentar uma composição bastante cálcica. Quartzo perfaz 10% da rocha. Os demais 10% são compostos essencialmente por plagioclásio e titanita em partes iguais. Como acessório, além daqueles descritos acima, ocorre em pequenas porcentagens, granada.

III.1.4. Anfibolitos

Vários corpos anfibolíticos, com dimensões variadas, ocorrem intercalados aos gnaisses regionais. Apresentam formas lenticulares e sua dimensão maior é concordante com a foliação das encaixantes. Os principais corpos se situam na porção central da Folha, nas proximidades do Patrimônio dos Anjos e na porção leste, na Serra da Coluna. Estes corpos apresentam contatos

bruscos com os biotita e/ou hornblenda gnaisses, sendo que o corpo de Anjos apresenta uma superfície de cerca de 1 km^2 , ao passo que na Serra da Coluna a lente anfibolítica atinge aproximadamente $0,6 \text{ km}^2$ de área (mapa geológico - Anexo 1).

As rochas pertencentes a estes corpos anfibolíticos apresentam coloração cinza esverdeada a verde escura e granulação média. A estrutura destes anfibolitos é homogênea com foliação discreta, muito embora apresentem em certos locais foliação bem pronunciada, fato que se sucede principalmente no corpo da Serra da Coluna. Apresentam textura granoblástica e em certos locais granonematoblástica.

A composição destas rochas é baseada essencialmente em hornblenda e plagioclásio. Em quantidades subordinadas ocorrem quartzo e clinopiroxênio (diopsídio). Como acessórios se tem opacos, rutilo, apatita e titanita. Os minerais secundários mais comumente encontrados são biotita, epidoto, clorita e carbonatos.

A hornblenda, em algumas das amostras estudadas apresenta concentrações que atingem 70% da rocha. Sua coloração varia de parda a verde clara, chegando até tons azulados. Ocorre normalmente sob forma de cristais poiquiloblásticos, e às vezes se encontra alterada para biotita e/ou clorita. A dimensão maior dos cristais é normalmente concordante com a foliação da rocha.

Os plagioclásios representam cerca de 20 a 25% da composição destas rochas, e ocorrem sob forma de cristais subhedralis, geminados segundo a lei da Albita. Apresentam composição bastante cálcica, que varia de Andesina a Labradorita, e se encontram em sua maioria, parcialmente saussuritizados, de forma que são originados epidoto e carbonatos.

Biotita ocorre em pequenas lamelas, em quantidades que não excede a 5% da composição mineralógica da rocha. Apresenta tonalidade vermelho acastanhada (titanífera), e comumente se encontra associada à hornblenda.

Quartzo ocorre em pequenas porcentagens, sob forma de cristais xenomorfos, e às vezes se apresenta como inclusões na

hornblenda.

Diopsídio apresenta-se sob forma de cristais xenomorfos, de modo geral em pequenas concentrações e normalmente aparece alterado por processo de uralitização, onde passa a dar lugar à hornblenda.

Dos acessórios, os opacos apresentam-se muitas vezes em grandes concentrações nestas rochas, onde chegam a ultrapassar 10%. Nesta fase mineral predominam magnetita e goethita.

A composição destes corpos maiores são similares e pelo arranjo textural apresentado por estas rochas, bem como pelas características das hornblendas, devem corresponder a metagabros. Algumas lentes anfibolíticas similares a estas duas maiores ocorrem apresentando uma distribuição extremamente irregular. Apresentam composição diorítica, e devem representar frações de um corpo maior, o qual foi rompido por processo de boudinage. É o caso por exemplo dos corpos encontrados na localidade de Ponte de Pedra (porção central da área).

Várias outras lentes de pequenas dimensões, intercaladas aos gnaisses regionais, ocorrem dispersas por toda área pesquisada. Apresentam espessuras que variam de 10cm até no máximo 2 metros. O contato com os gnaisses encaixantes é brusco, muito embora vários corpos apresente contato transicional. Em alguns locais, como por exemplo no corpo situado na porção oriental da Serra de Santo Apolinário, verificou-se que estes anfibolitos transicionam para os biotita e/ou hornblenda gnaisses. Neste tipo de contato o gnaiss vai apresentando um maior conteúdo em hornblenda, e ao mesmo tempo um decréscimo das porcentagens de plagioclásio, quartzo e biotita. Em outros casos os gnaisses passam para os anfibolitos com um decréscimo no conteúdo de plagioclásio e biotita e um aumento nas porcentagens de hornblenda e quartzo. Tal fato ocorre no contato da lente situada à sudeste da cidade de Pocrane, na porção norte da área pesquisada.

Estes anfibolitos apresentam coloração mais escura que aqueles descritos anteriormente, onde se destacam tons que variam do cinza escuro ao negro. Estas rochas apresentam granulação média a fina e se encontram fortemente orientadas. A estrutura frequentemente observada é foliada, e muito localmente se registrou

estrutura bandada. Em termos texturais predominam as texturas granomatoblástica e nematoblástica.

A composição mineralógica destes anfibolitos constitui-se essencialmente de hornblenda (60%), plagioclásio (25%), biotita (10%) e quartzo (5%). Como acessórios ocorrem: titanita, apatita, zircão e opacos.

Hornblenda ocorre sob forma de cristais xenomorfos, porém grãos idiomorfos também foram encontrados, sendo que apresentam sua maior dimensão paralelizada segundo a foliação da rocha.

O plagioclásio é menos cálcico que no caso dos corpos descritos anteriormente, situando-se no campo da andesina.

Biotita ocorre normalmente associada à hornblenda.

O quartzo ocorre em pequenas porcentagens, porém em algumas amostras chegou a ultrapassar os 15% do conteúdo mineralógico da rocha.

Estas lentes anfibolíticas, ao contrário daquelas primeiras, já apresentam origem duvidosa, muito embora pelo tipo de contato com suas encaixantes e pelas características das hornblendas, devem se tratar na sua maior parte de paranfibolitos.

III.1.5. Metaultramáficas serpentinizadas

Esta unidade ocorre associada aos maciços máfico-ultra máficos metamorfizados, que se encontram principalmente encaixados na subunidade gnaisses kinzigíticos. Os dois corpos maiores são: Santa Cruz situado na porção centro-sul da área (sudoeste da cidade de Ipanema) e Santa Maria, que se situa na porção norte da área mapeada, na divisa entre os municípios de Ipanema e Pocrane (localidade do baixo Santa Maria). Outros corpos menos expressivos ocorrem nas proximidades de Professor Sperber; a leste de Conceição do Ipanema e nas proximidades de São Barnabé, todos eles situados na porção sul da Folha mapeada. Ainda mais dois pequenos corpos se localizam na porção norte e nordeste da área pesquisada, respectivamente nas localidades de Santa Rita e Paraíso (mapa geológico - Anexo 1).

O contato entre as metaultramáficas e os gnaisses en-

caixantes é brusco e na maior parte das vezes é tectônico. As rochas pertencentes a estes corpos apresentam-se sob forma de unidades diferenciadas de complexos máfico-ultramáficos, encaixados nos gnaisses regionais. Normalmente se sobressaem no relevo, apresentando formas elípticas, abauladas e superfícies que variam em média de 0,1 a 0,5 km². São encontrados desde dunitos até anortositos.

Nos corpos estudados há um predomínio dos termos ultramáficos, ou seja de dunitos e harzburgitos, que se apresentam total ou parcialmente serpentinizados. Estas rochas apresentam granulação média a fina e coloração esverdeada a amarelo esverdeada. A estrutura é geralmente homogênea, com foliação variando de forte a incipiente, e sempre concordante com a foliação das encaixantes. Nestas litologias predominantes, a textura mais comumente encontrada é a "mesh texture" (textura em rede), formada pelo arranjo caótico e entrelaçado das serpentinas. Quando se tem relictos de olivina, a textura observada é a grano-lepidoblástica, com os cristais de olivina dispostos irregularmente na massa serpentínica.

Outro mineral frequentemente encontrado nestes serpentinitos é a tremolita-actinolita, que ocorre sob forma de cristais prismáticos, alongados, e que normalmente conferem a foliação apresentada pela rocha.

Talco ocorre localmente em grandes concentrações, ora formando leitões e aglomerados com grandes placas, ora dispersos irregularmente na rocha. Clorita também se apresenta sob forma de palhetas orientadas segundo a foliação da rocha. Em função das propriedades ópticas observadas através de estudos petrográficos onde o pleocroísmo varia de incolor a verde pálido e da paragenese mineral, tudo indica que se trata da variedade clinocloro.

Além dos dunitos e harzburgitos, são também encontrados piroxenitos, em menores quantidades que as litologias anteriores, os quais apresentam maior expressão no corpo de Santa Maria. Apresentam coloração esverdeada a verde acinzentada, estrutura geralmente homogênea e granulação grossa. O mineral predominante nestas rochas é o ortopiroxênio. O processo de alteração desta

litologia mais comumente encontrado é a esteatização, muito embora serpentina também seja encontrada como produto de transformação dos ortopiroxênios.

Os termos mais básicos normalmente apresentam tonalidades mais claras, granulação média a grossa, e são representados principalmente por anfibólio-xistos e anfibolitos. Com o estudo microscópico verificou-se que estas rochas são resultantes do metamorfismo de gabros e anortositos. Ambas as litologias apresentam-se pouco representadas na área, e praticamente seu local de ocorrência se restringe ao corpo de Santa Cruz. Relictos da rocha original, exibindo textura hipidiomórfica granular, são encontrados, apesar da grande alteração sofrida pelas mesmas. . . São rochas ricas em anfibólios, os quais normalmente surgem da alteração dos piroxênios. Cloritas ocorrem com frequência nestas rochas, originadas pela alteração dos anfibólios, e em menor proporção epidoto, que se relaciona com a transformação dos plagioclásios.

Pelos tipos petrográficos encontrados, pela paragênese e texturas observadas e pelo quimismo destas rochas, tudo indica que esta unidade corresponde a intrusivas ultramáficas serpentizadas. Estas evidências serão discutidas com detalhe nos capítulos posteriores.

III.1.6. Gnaisses migmatíticos e migmatitos

Algumas porções da unidade gnáissica, quer dos biotita e/ou hornblenda gnaisses, quer dos gnaisses kinzigíticos, apresentam sinais de fusão parcial, onde se tem o aparecimento de mobilizados, na maior parte das vezes irregulares, de material quartzo-feldspático. Este fenômeno pode ser observado em várias porções da área pesquisada, entretanto em faixas muito localizadas, que ocupam pequena área geográfica. A migmatização parece ter sido mais intensa na porção norte da área mapeada, notadamente na região de Nova Floresta, já no limite entre as Folhas Ipanema e Itanhomi. Outra porção da área que apresenta migmatização pronunciada se localiza ao longo do contato entre a unidade gnáissica e as rochas da Suíte Intrusiva de Santa Rita do Mutum. Nestes casos observa-se principalmente que a intrusão de rochas gra-

nitóides é a principal responsável pelo processo de migmatização. Registram-se com frequência injeções de material granitóide na unidade gnáissica, que diminuem de intensidade à medida em que se afasta da zona de contato.

Em outros locais, tal como na porção central da área, ao norte da cidade de Ipanema, e nas localidades de Ponte de Pedra e Cobrador, são encontrados migmatitos e gnaisses migmatíticos que exibem maior ou menor taxa de fusão, refletida pela presença de mobilizados quartzo-feldspáticos. A uma determinada distância os gnaisses não apresentam mais mobilizados. Estas duas situações caracterizam um contato do tipo gradual entre os gnaisses e os gnaisses migmatíticos e migmatitos. Por sua vez o contato com a unidade quartzítica é brusco.

As estruturas predominantes destes migmatitos são estromática, dobrada, agmática e ptigmática, em ordem decrescente de predominância. Em várias destas porções migmatizadas é comum se encontrar gnaisses porfiróides ou augen gnaisses, onde se destacam os megacristais de microclínio. Uma das estruturas frequentemente encontrada nos migmatitos, a estrutura estromática, em muitos casos não deve ser confundida com o bandamento gnáissico. A série de fotos (números 1, 2, 3 e 4) apresentadas a seguir mostram a geração de gnaisses bandados através de processos deformacionais, por meio de dobramento e transposição de antigos migmatitos com estrutura dobrada. Aliás uma situação bastante similar àquela encontrada por Myers (1978) nos ortognaisses da porção sul da Groenlândia (Dinamarca).

Estas rochas apresentam um paleossoma gnáissico, representado por biotita e/ou hornblenda gnaisses e gnaisses kinzigíticos, e um neossoma geralmente apresentando composição granítica. Neste neossoma pode-se individualizar um leucossoma constituído predominantemente por microclínio e em menor proporção quartzo, além de quantidades subordinadas de biotita. O melanossoma por sua vez é composto essencialmente por biotita e subordinadamente hornblenda, quartzo e microclínio. Normalmente a passagem entre estes leitos é brusca.

FOTO 1 - Biotita e/ou hornblenda gnaiss migmatizado - Afloramento NAn 37 (proximidades de Ipanema).

FOTO 2 - Gnaiss do mesmo afloramento anterior já exibindo bandamento pronunciado com início do processo de transposição. Observam-se dobras intrafoliares com flancos rompidos.

FOTO 3 - Biotita e/ou hornblenda gnaiss bandado, onde podem ser observadas bandas leucocráticas e melanocráticas plano-paralelas (Afloramento NAn 37).

FOTO 4 - Mesmo afloramento anterior, onde se tem a evolução final dos gnaisses bandados a partir dos antigos migmatitos e/ou gnaisses migmatíticos. Observa-se que o bandamento é resultante da transposição da foliação de rochas mais antigas.

III.2. INTRUSÕES GRANODIORÍTICAS, TONALÍTICAS E DIORÍTICAS

Pequenos corpos granitóides são encontrados com distribuição irregular pela área pesquisada, onde podem ser destacados pela sua maior expressão superficial, três corpos. O primeiro deles ocorre a sudeste de Pocrane (Santa Luzia), o outro nas proximidades de Barra da Figueira e o último a sul de Santo Antônio do Manhuaçu. Praticamente todos os corpos ocorrem encaixados nos biotita e/ou hornblenda gnaisses, com os quais apresentam contatos bruscos. Na Figura 7 é apresentado o resultado da contagem dos minerais de seis amostras correspondentes a estes corpos, os quais foram plotados no diagrama QAP. Desta forma em Santo Antônio do Manhuaçu ocorrem quartzo dioritos e tonalitos e em Barra da Figueira e Santa Luzia já se apresentam os granodioritos.

Estas rochas são leucocráticas tendendo a mesocráticas, apresentam granulação média a grossa e coloração cinzenta. Localmente exibem sinais de deformação, onde se observa orientação dos minerais máficos variando de forte a incipiente, bem como são frequentes os sinais de recristalização. A estrutura apresentada por estas rochas é isotrópica e a textura mais frequente é a hipidiomórfica granular.

A mineralogia destes corpos granitóides, caso dos granodioritos de Santa Luzia e Barra da Figueira e os tonalitos de Santo Antônio do Manhuaçu é similar àquela encontrada na unidade da Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum. Desta forma estas rochas são compostas por plagioclásio (22 a 39%), quartzo (23 a 41%), biotita (7 a 23%), hornblenda (5 a 25%) e microclínio (ausente a 10%). Epidoto ocorre às vezes em grandes porcentagens, que em média varia de 5 a 10%. Grande parte deste mineral

LEGENDA

- — QUARTZO DIORITO DE SANTO ANTONIO DO MANHUAÇU
- — GRANODIORITO SANTA LUZIA
- Δ — GRANODIORITO DA BARRA DA FIGUEIRA
- ▲ — AUTÓLITO DO GRANODIORITO DA BARRA DA FIGUEIRA
- — TONALITO DE SANTO ANTONIO DO MANHUAÇU (2 AMOSTRAS)

TOTAL : 6 AMOSTRAS

FIGURA 7 — CLASSIFICAÇÃO DAS DEMAIS ROCHAS GRANITÓIDES INTRUSIVAS NOS GNAISSES, SEGUNDO O DIAGRAMA TRIANGULAR QUARTZO (Q)—FELDSPATO ALCALINO (F.A.)—PLAGIOCLÁSIO (P) (SEGUNDO STRECKEISEN, 1976).

se origina através da transformação dos plagioclásios. Como acessórios ocorrem titanita, apatita, zircão, carbonatos e opacos. Em algumas amostras os opacos atingem a 4% da composição da rocha.

O que se observa nestas rochas, quando se compara com aquelas pertencentes à unidade composta pela Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum, é que os plagioclásios apresentam-se frequentemente saussuritizados, dando origem a carbonatos, epidoto e sericita. A composição destes plagioclásios situa-se no campo da andesina. Em alguns locais também são encontrados termos mais quartzosos, como no caso do corpo granodiorítico de Barra da Figueira.

O quartzo diorito de Santo Antônio do Manhuaçu por sua vez, apresenta mineralogia pouco diferente daquela descrita acima, e desta forma será detalhado a seguir.

Os principais constituintes deste corpo são plagioclásio (52%), anfibólios (34%), quartzo (6%) e biotita (5%). Como mineral secundário ocorre epidoto. Os acessórios mais frequentes são titanita, apatita e opacos.

Plagioclásio apresenta-se sob forma de cristais euédricos, com zoneamento normal e geminação polissintética. Localmente são observadas inclusões de epidoto, bem como recristalização.

Ocorrem nesta litologia dois tipos de anfibólio, com porcentagens mais ou menos equivalentes. Um deles é incolor, a cummingtonita, ao passo que o outro apresenta pleocroísmo variando de verde acastanhado a verde oliva, e corresponde a hornblenda. As hornblendas apresentam-se sob forma de minerais prismáticos, por vezes irregulares, caso em que normalmente apresentam suas bordas transformadas em biotita.

Quartzo, assim como o plagioclásio apresenta-se localmente recristalizado.

Biotita geralmente se encontra associada às hornblendas.

Epidoto ocorre localmente, em pequenas quantidades e parece se associar em grande parte à alteração dos plagioclásios, e em menor proporção das hornblendas.

Foi estudado um dos enclaves das rochas pertencentes a esta unidade, especificamente no afloramento IPN 141, que corresponde ao corpo granodiorítico de Barra da Figueira. Este enclave (autólito) apresenta forma arredondada, com dimensão maior em torno de 40cm e largura igual a 15cm. Sua coloração é cinza escura e a granulação varia de média a fina. Seus contatos com a rocha granodiorítica é brusco. Exibe estrutura isotrópica, a qual às vezes se apresenta ligeiramente orientada, e textura hipidiomórfica granular. Em termos mineralógicos, este autólito é de natureza mais básica que o corpo plutônico, apresentando composição tonalítica. Assim é mais rico em biotita e epidoto, quando comparado com a rocha que o engloba.

Tanto estas rochas quanto àquelas pertencentes à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum não foram afetadas pelo metamorfismo de fácies anfibolito superior a granulito, e tampouco pelo cisalhamento dúctil ao qual foram impostos os gnaisses encaixantes.

III.3. SUÍTE INTRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM

Esta suíte intrusiva ocupa uma superfície considerável, apresentando-se em praticamente toda a porção oriental da área pesquisada, conforme observado no mapa geológico (Anexo 1). Sua área de exposição mais destacada, com abundância de afloramentos e tipos petrográficos se localiza na localidade do Patrimônio de Santa Rita do Mutum (porção sudeste da Folha mapeada),

conforme ilustrado na Foto 5.

Normalmente dentro dos limites desta unidade se encontra pequeno ou nenhum capeamento de solo, ao contrário de suas encaixantes, bem como esta suíte de rochas granitoides imprime ao relevo elevações acentuadas, notadamente nas porções norte e leste da área mapeada. Além disso apresentam feição fisiográfica típica representada pelos "pães de açúcar", conforme pode ser observado na Foto 6.

As rochas pertencentes a esta unidade chegam a perfazer mais de 1/3 da área mapeada, e normalmente seu contato com os gnaisses encaixantes encontra-se ressaltado por um contraste no relevo, o qual realça os corpos granitoides. O tipo de contato mais frequente é tectônico, que se dá por meio de expressivos falhamentos. Nestes locais uma foliação incipiente pode ser observada com certa frequência, a qual é dada pela orientação dos minerais máficos, notadamente a biotita, e por vezes também a hornblenda. Sinais de fraca recristalização também são verificados nesta faixa, que varia desde alguns metros a dezenas de metros. Em certos locais este contato se dá por uma passagem gradacional, onde os gnaisses vão apresentando injeções de material granitóide, as quais aumentam de frequência quanto mais próximo se está do corpo plutônico. À medida em que se distancia do contato os gnaisses encaixantes passam a não exibir estas feições. Desta forma encontram-se nesta faixa, que varia em média de uma centena a várias centenas de metros de largura, rochas da infraestrutura migmatizadas. Isto pode ser bem observado no contato entre estas unidades nas proximidades de São Barnabé. Nesta região os gnaisses vão apresentando tonalidades mais claras (branco acinzentadas), granulação mais grossa e foliação incipiente. Normalmente exibem megacristais de microclínio, menor porcentagem de quartzo e baixo conteúdo de máficos. Excetuando-se as zonas de contato, as rochas granitoides não se apresentam cisalhadas e tampouco recristalizadas. As porções que exibem deformação apresentam alguns cristais de plagioclásio com encurvamento de suas lamelas de geminação, bem como se tem uma orientação dos minerais máficos, especialmente de agregados de biotita. Esta orientação é observada macroscopicamente pela foliação incipiente que é imprimida à rocha.

FOTO 5 - Vista panorâmica da porção sudeste da área mapeada, onde ocorrem rochas pertencentes à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum. Foto tirada próximo da cabeceira do Córrego Santa Rita do Mutum.

FOTO 6 - Detalhe de um Pão de Açúcar, feição típica da unidade Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum (porção norte da área pesquisada - proximidades de Pocrane).

Nesta unidade são encontradas grandes variações na composição mineralógica das rochas granitóides, onde se destacam os tonalitos, granodioritos e granitos. O contato entre estas litologias não pode ser precisado, fato que se deve aos objetivos do trabalho executado, e em segundo lugar às dificuldades de acesso à área de ocorrência destas rochas. Deve-se ressaltar que mesmo em termos de observação no campo, é extremamente difícil na maior parte das vezes, a individualização destes três tipos petrográficos. Na região de São Barnabé (porção leste da área mapeada) pode-se verificar a passagem de tonalitos para granodioritos. Neste local são encontradas porções onde se tem rochas com conteúdo elevado em hornblenda e com ausência ou pequenas quantidades de microclínio. Esta mineralogia muda repentinamente para termos onde hornblenda está praticamente ausente, biotita é acompanhada por quantidades subordinadas de muscovita e microclínio apresenta conteúdo elevado.

De modo geral são rochas leucocráticas, com coloração variando de branca a branco acinzentada, que apresentam estrutura isotrópica. A granulação varia de média a grossa, são rochas geralmente inequigranulares e localmente exibem megacristais de feldspato, que chegam a atingir 2cm de tamanho. A textura frequentemente encontrada é hipidiomórfica granular, sendo que localmente foi registrada a textura alotriomórfica. Nas zonas de contato tectônico foi caracterizada a textura cataclástica.

Foi realizada contagem de minerais em lâminas delgadas de 22 amostras de rocha pertencentes à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum. A partir daí, com base no diagrama QAP (Quartzo-Feldspato Alcalino-Plagioclásio) estas rochas foram classificadas (Streckeisen, 1974). Na Figura 8 pode-se observar que os principais tipos petrográficos encontrados pertencem aos campos do granito 3b (monzo-granito), granodiorito e tonalito. Uma das amostras atingiu o campo 3a (sieno-granito) e outra o campo do quartzo-monzonito.

Com relação aos autólitos (afloramentos IPN 150/A e 171/A) pode-se observar que apresentam composição mineralógica similar à das rochas que os englobam.

A seguir serão discutidas as principais característi-

LEGENDA

+ — GRANITÓIDES

O — AUTÓLITOS

TOTAL = 22 AMOSTRAS

FIGURA 8 — CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS GRANITÓIDES DA SUITE INTRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM, SEGUNDO O DIAGRAMA TRIANGULAR QUARTZO (Q) — FELDSPATO ALCALINO (F.A.) — PLAGIOCLÁSIO (P) (SEGUNDO STRECKEISEN, 1976).

cas petrográficas dos tipos litológicos encontrados, bem como de seus enclaves.

III.3.1. Tonalitos

Os tonalitos, de modo geral apresentam granulação média, entretanto em certas porções exhibe granulação grossa. Essa granulação grossa imprimida à rocha se deve à presença de grandes cristais de plagioclásio, que apresentam dimensões médias ao redor de 10mm. Estas rochas possuem normalmente matriz mais fina com quartzo e plagioclásio, sendo que microclínio quando presente, ocorre intersticialmente. A textura apresentada pelos tonalitos é hipidiomórfica inequigranular.

Nestas rochas a composição mineralógica encontrada consiste basicamente de plagioclásio (38 a 60%), quartzo (19 a 32%) e biotita (10 a 26%). Subordinadamente ocorrem hornblenda (1 a 5%), microclínio (ausente a 3%) e muscovita (1%). Epidoto em algumas amostras ocorre em grandes quantidades, onde chega a atingir 10% da composição da rocha. Os acessórios mais frequentes são titanita, allanita, apatita, zircão e opacos.

O plagioclásio ocorre sob forma de cristais euhedrais, com zoneamento normal e apresenta geminação polissintética. Sua composição varia de oligoclásio para andesina. Com frequência são encontrados intercrescimentos mirmequíticos, que ocorrem principalmente nas bordas dos cristais.

O quartzo ocorre sob forma de cristais subhedrais a anedrais, com extinção ondulante e em certos locais apresenta-se microfraturado.

Biotita apresenta-se em palhetas com pleocroísmo variando de castanho amarelado a castanho avermelhado.

Hornblenda ocorre em pequenas quantidades, sob forma de cristais prismáticos, subhedrais, com pleocroísmo variando de castanho a verde. Apresenta distribuição muito irregular, e em algumas amostras pode ser observada sua transformação para biotita, onde normalmente ocorre como relictos junto a agregados biotíticos.

Microclínio apresenta-se em cristais anedrais, e menos frequentemente sob forma de megacristais. Em certas porções desta litologia tonalítica, a quantidade de microclínio se eleva, conferindo à rocha uma composição granodiorítica e até mesmo granítica.

Muscovita e sericita aparecem quase sempre em pequenas porcentagens, como minerais de alteração a partir dos plagioclásios.

Epidoto é um mineral que ocorre às vezes em grandes quantidades, apresentando cristais com tamanhos normalmente grandes (até 4mm). Estes cristais são zonados e na sua maior parte parecem ser de origem primária. Por outro lado, em algumas amostras foi observado que epidoto se originou a partir do plagioclásio.

III.3.2. Granodioritos

São rochas de granulação média, predominantemente equigranulares, que localmente gradam para termos inequigranulares, devido ao surgimento de megacristais de microclínio. A textura comumente encontrada é a hipidiomórfica, tanto nos termos equigranulares quanto na matriz dos tipos porfiróides.

A mineralogia dos granodioritos consiste basicamente de plagioclásio (34 a 45%) e quartzo (26 a 35%), que formam a matriz da rocha, com microclínio intersticial (4 a 18%), sendo que sua faixa predominante corresponde entre 10 e 13% da composição da rocha. Além destes minerais ocorrem biotita (9 a 12%), hornblenda (ausente a 10%), muscovita (1 a 4%) e epidoto (1 a 3%). Como acessórios ocorrem allanita, apatita, titanita e zircão.

O plagioclásio (oligoclásio) ocorre sob forma de grandes cristais subhedrais e exibem geminação polissintética e da periclina. Apresentam zoneamento normal e intercrescimento mirmecítico. Observou-se que a composição dos plagioclásios nestas rochas é mais sódica (An_{20-30}), quando comparados com sua composição nos tonalitos.

Quartzo ocorre como grãos irregulares e às vezes de-

cresce em quantidade, fazendo com que a rocha adquira composição quartzo monzonítica (caso do afloramento IPN 76).

Microclínio apresenta-se sob forma de cristais euédricos, no caso dos megacristais, que chegam a atingir dimensões de até 16mm, sendo que em média o tamanho é de 10mm. Nos demais casos aparece como cristais subédricos a anédricos. Geralmente o microclínio exibe geminação em grade.

Biotita ocorre sob forma de palhetas, formando em algumas ocasiões aglomerado mineral.

Muscovita aparece em baixas porcentagens, e na maior parte das vezes resulta da alteração dos plagioclásios.

Epidoto ocorre sob forma de cristais euédricos, zonados e localmente apresentam-se em grandes concentrações.

Hornblenda é um mineral pouco comum nestas rochas e normalmente se encontra associada à biotita. Localmente apresenta-se em grandes concentrações.

Com relação aos acessórios cabe grande destaque nesta litologia às allanitas. Este mineral apresenta-se de modo geral em grandes quantidades, onde chega a atingir 4% da composição mineralógica da rocha. Seus cristais são grandes, atingindo até 9mm e normalmente se apresenta autodestruída, devido à sua radiatividade, dando lugar à clinozoisita.

III.3.3. Granitos

São as rochas mais leucocráticas da unidade (hololeucocráticas), e são as que apresentam granulação mais grossa. É comum exibirem megacristais de microclínio, com formas retangulares e tamanhos variando entre 1,5 e 4cm. Microscopicamente a textura encontrada é basicamente do tipo hipidiomórfica, o mesmo ocorrendo na matriz dos termos porfiróides.

A composição mineralógica destas litologias consiste de quartzo (21 a 39%), microclínio (22 a 39%), plagioclásio (22 a 33%) e biotita (2 a 14%). Subordinadamente ocorrem muscovita (1 a 5%) e epidoto (ausente a 4%). Os acessórios mais comuns são zircão, allanita, apatita e titanita.

Quartzo ocorre sob forma de cristais anedrais, com formas bastante irregulares, com extinção ondulante e por vezes microfraturados.

Microclínio ocorre frequentemente como megacristais, apresentando coloração branca e geminação em grade. Ocorre também disperso na matriz sob forma de cristais subhedrais. Como megacristais chega a atingir localmente cerca de 20% da composição mineralógica da rocha.

O plagioclásio (oligoclásio) apresenta-se sob forma de cristais subhedrais a anedrais, e às vezes aparece em contato com o microclínio.

Biotita nestas rochas apresenta palhetas mais desenvolvidas e em vários locais pode-se observar sua passagem para muscovita.

Epidoto ocorre em menores porcentagens nesta litologia, quando comparada com os tonalitos e granodioritos.

Apenas uma amostra (IPN 155), correspondente a sieno granito, e apresenta uma quantidade pouco maior de microclínio, que a composição média dos granitos estudados.

III.3.4. Os enclaves

Grande quantidade de enclaves é encontrada nesta suíte de rochas granitóides e procurou-se analisar dois deles, por meio de estudos microscópicos com contagem de minerais. Um deles corresponde ao afloramento IPN 150, que se relaciona aos granodioritos, e o outro ao afloramento IPN 171, que se relaciona aos tonalitos. Ambos apresentam características similares e normalmente se concentram em certas porções do corpo granitóide.

Estes enclaves apresentam formas arredondadas, ovaladas e elípticas, e estão sempre em contato brusco com a rocha que os engloba. Suas dimensões, em média, variam de 20 a 50cm. Apresentam coloração cinza escura, são rochas equigranulares com granulação fina. A estrutura frequentemente encontrada é isotrópica e a textura é hipidiomórfica granular.

Os estudos petrográficos realizados indicam que estes

enclaves apresentam composição similar à das rochas que os englobam. Assim tem-se enclaves de composição tonalítica nos tonalitos e enclaves granodioríticos nos granodioritos. Pode-se observar que a porcentagem em biotita e hornblenda apresenta pequenas variações, sendo geralmente mais elevadas nestes enclaves, quando comparados com as rochas hospedeiras.

Estes enclaves devem corresponder a autólitos, e desta forma se relacionam a fragmentos de porções diferenciadas no início do processo magmático. Estes fragmentos cristalizados no início do magmatismo foram posteriormente engolfados pelas frações finais e residuais do magma inicial. Isto evidencia que esta grande massa granitóide que ocorre em toda porção leste da área mapeada, representa um grande corpo diferenciado, o qual sofreu movimentação, ainda em seu estágio final de cristalização, o que corresponde a um maciço plutônico alóctone.

III.3.5. Considerações sobre a suíte intrusiva

Não há dúvidas com relação à colocação temporal desta suíte de rochas plutônicas, que são mais jovens que as unidades descritas anteriormente. Também pode ser constatado que estas rochas graníticas não surgiram em detrimento da fusão parcial dos gnaisses encaixantes (anatexia), conforme postulado por Fontes et alii (1978) e Lima et alii (1984). Pode-se observar que existe, conforme descrito, uma incompatibilidade mineralógica entre os gnaisses regionais e os granitóides, na área abrangida pela Folha Ipanema. Em resumo, estas rochas apresentam uma assembléia mineralógica tipicamente de sequência calco-alcalina.

O caráter intrusivo e tectônico evidenciados respectivamente pela presença de xenólitos de biotita gnaisses, nas proximidades do limite leste e norte da área mapeada (fora dos domínios da Folha Ipanema), e pelo contato por falhas, mostram claramente que esta unidade magmática é mais recente que os gnaisses regionais. No Capítulo 5 serão apresentados e discutidos os dados geocronológicos obtidos para as rochas desta unidade.

Aparentemente, em função dos dados petrográficos e das observações de campo, pode-se sugerir que esta suíte intrusi

va tem origem relacionada à cristalização de magma calco-alcali-
no diferenciado, fato que inclusive é atestado pelos autólitos
que apresentam.

III.4. GRANITO INTRUSIVO TABAJARA

Vários corpos graníticos intrusivos ocorrem na Folha mapeada, sendo que nas proximidades de Tabajara (porção norte da Folha) se encontram três destes corpos, próximos um do outro. Ou tros dois maciços similares a estes se localizam nas proximidades de Santo Antônio do Manhuaçu e a leste do Patrimônio de Imbé, si tuados na porção noroeste da área mapeada (Anexo 1). Estes maciços graníticos apresentam formas aproximadamente elípticas, com eixo maior atingindo no máximo 2,5 km. O contato com os gnaisses encaixantes é brusco e em parte se dá por falhamentos, o que imprime uma foliação incipiente à rocha junto aos referidos contatos. Até mesmo onde estes contatos são abruptos é observada a presença de xenólitos de biotita gnaisses no interior do corpo granítico. Esta última feição é verificada principalmente nos afloramentos descritos ao longo do Rio Manhuaçu, nas proximidades de Santo Antônio do Manhuaçu.

As rochas predominantes nesta unidade são granitos e biotita granitos, que apresentam coloração cinza clara e granulação média a fina. Exibem estrutura isotrópica e textura hipidiomórfica, que chega em vários casos a hipidiomórfica inequigranular.

Apenas uma lâmina petrográfica foi estudada para esta litologia, a qual foi submetida a contagem de cristais e plotada no diagrama QAP, sendo que a amostra deste maciço situa-se no campo do granito 3b (monzo-granito).

A mineralogia do Granito Tabajara é pouco variável, e consiste basicamente de quartzo, plagioclásio e microclínio, com quantidades aproximadamente iguais, cada um com cerca de 29 a 30% da composição da rocha. Subordinadamente ocorrem biotita que atinge 8% e muscovita (2%). Como minerais secundários ocorrem se

ricita e epidoto. Os acessórios frequentemente encontrados são apatita, titanita, zircão e allanita.

Quartzo apresenta-se sob forma de cristais anedrais, com extinção ondulante e normalmente ocorre envolvendo os demais minerais.

Plagioclásio (oligoclásio) apresenta cristais subhedrais a anedrais, com zoneamento normal e geminação segundo a lei da albita e da periclina. Geralmente apresenta-se corroído e microfraturado. É comum se encontrar cristais de plagioclásio saussuritizados, concentrados principalmente nas porções centrais dos grãos.

Microclínio aparece sob forma de cristais anedrais e apresenta geminação em grade e karlsbad. Em certos locais ocorre assimilando o plagioclásio. Mirmequita é encontrada muito raramente, localizadas na interfície microclínio/plagioclásio.

Biotita ocorre apresentando pequenas palhetas, que normalmente exibem sinais de corrosão em suas bordas, onde pode ser observada sua transformação para clorita.

Muscovita e sericita ocorrem em pequenas quantidades e em certas porções apresentam-se como inclusões no microclínio e no plagioclásio.

O Granito Tabajara apresenta características bem distintas das litologias pertencentes à Suite Intrusiva Santa Rita do Mutum, como também das intrusões menores de composição tonalítica, granodiorítica e diorítica. Desta forma assemelha-se bastante a um granito crustal, muito embora apresente titanita e allanita, que são minerais típicos de granitos calco-alcalinos.

Esta unidade certamente corresponde a corpos intrusivos, pós-tectônicos, que datam do final do ciclo Brasileiro (Proterozóico Superior). Esta idade relativa tem respaldo nas datações geocronológicas (Rb/Sr e K/Ar) efetuadas por Cordani et alii (1973), que determinaram valores em torno de 540 m.a. para corpos similares situados à leste da área mapeada. Da mesma forma, para o norte da área estudada, especificamente no Granito Urucum, que é similar aos granitos aqui descritos, Grossi Sad & Dutra (1966) chegaram à cifra de 586 m.a., através de determina-

ção pelo método U/Pb em zircões.

III.5. PEGMATITOS

Uma série de diques pegmatíticos ocorrem cortando as unidades gnáissicas e mais raramente os corpos graníticos individualizados na área pesquisada, conforme pode ser observado no mapa geológico (Anexo 1). Apresentam pequenas dimensões, com larguras variando entre 50cm e metro e meio e extensões que atingem em média 50 metros.

Predominam pegmatitos do tipo simples, os quais apresentam a seguinte associação mineralógica: quartzo, feldspatos, muscovita, biotita e turmalina (schorlita). Desta forma são corpos destituídos de zoneamento, apesar de que devido ao adelgaçamento dos pegmatitos, fica realmente difícil se delimitar esta feição.

Merecem destaque, pela maior expressão superficial e espessura, os corpos situados na região do Turvo e nas proximidades de Imbé e Prof. Sperber. Esses pegmatitos apresentam grandes cristais de microclínio, além de quartzo, plagioclásio (oligoclásio) e turmalina. Subordinadamente ocorrem muscovita e em menor proporção biotita.

III.6. ROCHAS CATACLÁSTICAS

Rochas cataclásticas ocorrem associadas às inúmeras falhas, que retalham praticamente toda a área estudada, conforme pode ser observado no mapa geológico (Anexo 1). Duas zonas cataclásticas, que apresentam maior extensão em termos de área foram delimitadas na área pesquisada. A primeira ocorre na região do baixo e médio Santa Maria (porção norte da área mapeada) e a outra na porção central da área, a sudeste da cidade de Ipanema. Ambas ocorrem em áreas onde se tem o domínio da unidade gnáissica.

As rochas mais comuns nestas faixas, que também ocorrem nas porções onde se tem falhamento verificado, são blastomilonitos e milonitos. De modo geral todas as rochas pertencentes à unidade gnáissica apresentam-se muito recristalizadas e exibem forte foliação cataclástica. Normalmente são encontrados termos com grande variação na composição mineralógica e na granulação.

Na região do baixo e médio Santa Maria, estas rochas apresentam coloração branco acinzentada a cinza amarelada, granulação média e estrutura foliada. Localmente pode-se observar que o plagioclásio adquire forma ocelar. Estas rochas apresentam textura cataclástica e mais raramente porfiroclástica. A composição mineralógica primária destes blastomilonitos é reflexo direto das rochas que tenham sido afetadas pela deformação cataclástica. Assim, na região do baixo e médio Santa Maria, onde predominam os gnaisses kinzigíticos, sua composição mineralógica é representada por quartzo, biotita e plagioclásio. Subordinadamente ocorrem sillimanita e granada. Como mineral secundário aparecem com frequência muscovita e epidoto.

Quartzo e plagioclásio apresentam-se em grãos bastante estirados, com tamanho variável e intensamente recristalizados. Biotita também se encontra fortemente recristalizada e em parte transformada em muscovita. Muscovita por sua vez, ocorre sob forma de filetes normalmente associada ao plagioclásio e apresenta distribuição extremamente irregular na rocha. Nas zonas mais cisalhadas, epidoto está sempre presente.

Na zona cataclástica localizada a sudeste de Ipanema, bem como nas porções verificadas das falhas que cortam os biotita e/ou hornblenda gnaisses, a situação é idêntica. Estas rochas de modo geral apresentam-se fortemente laminadas, fato que se deve à intensa cataclase a que foram submetidas, que é evidenciada pela recristalização sistemática das bordas dos cristais que compõem a rocha. Apenas a composição mineralógica dos blastomilonitos desta localidade é distinta, onde se tem como minerais primários: quartzo, microclínio, biotita e plagioclásio. Os acessórios mais frequentes são titanita, zircão e apatita.

Em algumas porções das falhas verificadas constatou-se também a presença de protomilonitos, como por exemplo na fa-

lha que limita a porção sul e sudeste do maciço ultramáfico de Santa Cruz, ou nas falhas que passam nas proximidades de Alegria e da Usina Hidrelétrica da Neblina (porção oeste da Folha Ipanema). Nestes locais são encontrados gnaisses miloníticos, que apresentam coloração cinza clara, granulação média a grossa e estrutura foliada. Localmente são encontrados porfiroclastos de microclínio, o que confere à rocha uma textura porfiroclástica. Em algumas das amostras estudadas registrou-se textura porfiroclástica recristalizada, onde são observados agregados poligonizados de quartzo e feldspato inersos em matriz com restos de quartzo, plagioclásio e às vezes microclínio.

Em outro trecho de falha verificada que passa a leste do maciço de Santa Cruz, na margem direita do Rio José Pedro, pode-se verificar que os gnaisses cataclásticos apresentam granulação grossa e estrutura laminada. Esta estrutura se deve basicamente ao estiramento do plagioclásio, microclínio e quartzo. Estes gnaisses cataclasados em secção delgada, normalmente exibem agregados sericíticos substituindo cristais deformados de sillimanita.

As rochas que compõem a Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum, quando em contato tectônico com os gnaisses, apresentam recristalização incipiente e discreta foliação. Estas feições são restritas à zona de contato e se estendem para o interior do corpo plutônico numa extensão que varia de poucos metros até algumas dezenas de metros.

III.7. DIABÁSIO

Seis diques de diabásio foram encontrados na área estudada, os quais se encontram encaixados nos gnaisses regionais. O maior deles se localiza na porção norte da área mapeada, a sudoeste do Patrimônio de Tabajara. Os demais corpos se distribuem na porção central da área, a noroeste e sudoeste de Ipanema. Apresentam pequenas dimensões, onde o comprimento atinge 15 ou 20 metros e a espessura não ultrapassa a 2 metros. A direção destes diques varia de N-S a N10E, e são subverticais, apresentando li-

geiro mergulho para W-NW.

A rocha apresenta coloração cinza escura e granulação fina a média. Exibe estrutura isotrópica e textura intersertal-porfirítica. Sua mineralogia é constituída por uma mesóstase que perfaz 40 a 50% da rocha, plagioclásio (labradorita), que ocorre em quantidades situadas em média de 30% e clinopiroxênio (augita) com 15%. Os opacos apresentam, em média uma porcentagem de 10%, sendo que magnetita é o mineral predominante.

A mesóstase é rica em argilo-minerais e vidro devitrificado, e acha-se envolvendo micrólitos (em geral $< 0,1\text{mm}$) e fenocristais de plagioclásio, piroxênio e opacos. Análise mineralógica por difratometria de raios-X da fração argilosa, mostrou a presença de argilo-minerais do grupo das micas (hidromica) e das esmectitas (montmorilonita).

Estes diques devem se relacionar ao episódio de reativação da plataforma sul-americana, quando antigos falhamentos foram reativados e desta forma serviram como condutos para o magmatismo básico do final do Jurássico e início do Cretáceo.

III.8. COBERTURAS ALUVIONARES

É a unidade que fornece o maior contraste fisiográfico com as descritas anteriormente. São sedimentos cenozóicos, que se apresentam sob forma de depósitos aluvionares, onde se pode destacar dois tipos distintos de cobertura. Uma primeira mais antiga corresponde a um terraço (Plioceno ou Pleistoceno), que apresenta materiais com coloração castanho avermelhada e textura argilo-arenosa e silto-arenosa. Já os depósitos mais recentes (holocênicos), apresentam materiais com coloração branco acinzentada, granulação grossa (areias e cascalhos), sendo que níveis com textura silto-arenosa são frequentemente registrados. Nestas últimas coberturas predomina a fração areia e normalmente se correlacionam a depósitos de várzea, que se encontram intimamente vinculados à rede de drenagem moderna.

Os materiais correspondentes às coberturas aluviona-

res mais antigas ocorrem principalmente nos depósitos encontrados no vale do Rio José Pedro e Córrego do Cobrador. Depósitos aluvionares recentes são encontrados nas várzeas dos rios José Pedro e Manhuaçu.

CAPÍTULO IV

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS COMPLEXOS METAMÁFICO-ULTRAMÁFICOS
SERPENTINIZADOS

Neste Capítulo serão tratados aspectos referentes às paragêneses encontradas nas rochas dos maciços pesquisados, objetivando estabelecer considerações sobre o metamorfismo atuante nestes corpos. A partir daí serão feitas correlações com o metamorfismo apresentado pelas rochas encaixantes. Como introdução deste Capítulo serão apresentados alguns aspectos importantes relacionados à serpentinização.

IV.1. O PROCESSO DE SERPENTINIZAÇÃO

O processo de serpentinização corresponde a reações químicas a baixa temperatura, que ocorrem sobre rochas ultrabásicas envolvendo grande aporte de água. Há vários tipos de serpentinização, que basicamente se encontram vinculados ao tipo de rocha que foi submetida ao processo.

As rochas mais susceptíveis ao processo de serpentinização são dunitos e peridotitos. Por meio de estudo textural de uma série de rochas ultrabásicas, Wicks (1979) mostra que a ordem de alteração dos minerais é a seguinte: olivina > ortopiroxênio > clinopiroxênio, provavelmente em consequência de suas próprias condições de formação (P e T). Dentre os piroxênios, os ortopiroxênios são mais susceptíveis à serpentinização que os clinopiroxênios. Os equivalentes hidratados comuns obedecem a seguinte ordem: lizardita > crisotila > brucita e magnetita, em termos de predominância. O autor não discute em detalhe a antigorita, que apresenta maior campo de estabilidade em termos de pressão e temperatura.

Evans & Trommsdorff (1970) apresentam uma sequência de reações em rochas ultrabásicas dos Alpes Centrais, em condições de metamorfismo progressivo, onde mostram que antigoritas se formam em temperaturas de até 580°C. Sua paragênese com o tal

co é explicada pela transformação de ortopiroxênio (enstatita) em antofilita e desta em talco à temperatura entre 500 e 650°C, segundo as reações abaixo:

Assim, as serpentinas se formam em detrimento de forsterita e talco, conforme a reação: 6 forsterita + talco + 9 H₂O —→ 5 serpentina.

Estudos experimentais realizados por Moody (1976) indicam que a pressão e temperatura necessárias para a serpentinição, em presença de água, influenciam sobremaneira no equilíbrio das fases sobre os minerais do grupo da serpentina. Lizardita e crisotila coexistem, sendo que o primeiro mineral predomina sobre o segundo na maior parte dos serpentinitos conhecidos. O campo de estabilidade desses minerais é amplo, sendo que a temperatura em torno de 400°C e pressão total de 0,5Kb, estes minerais predominam com relação a antigorita. Antigorita é estável a temperaturas iguais ou superiores a 500°C e pressão total entre 1,0 e 1,7 Kb, sendo que não se cristaliza a temperaturas inferiores a 420°C, conforme compilação realizada por Moody (1976).

A reação de quebra da antigorita é dada por Evans (1977), onde se observam temperaturas de 350 até 620°C e uma pressão de água crescente no mesmo sentido, variando de 0 a 10Kb (Figura 9). A reação é a seguinte: Antigorita = 18 Forsterita + 4Talco + 27H₂O. Como pode ser observado, antigorita se forma a partir da reação (7): crisotila + talco e vai até a reação (4): forsterita + talco + água. Por outro lado, crisotila só permanece estável a temperaturas mais baixas que 300°C, formando-se a partir da reação (8): antigorita + brucita.

As texturas de rochas serpentinizadas indicam que antigoritas ocorrem substituindo lizardita e crisotila pré-existent, durante o metamorfismo progressivo (fácies xisto verde superior até anfibolito), conforme observado por Wicks & Withaker (1977).

Com relação aos fluídos envolvidos na serpentinição,

FIGURA 9 - DIAGRAMA DE FASES PARA REAÇÕES NO SISTEMA $\text{CoO-MgO-Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ENVOLVENDO A COMPOSIÇÃO Mg_2SiO_4 EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E PRESSÃO TOTAL ($P_t = P_{\text{H}_2\text{O}}$); (EVANS, 1977).

ABREVIACOES DOS MINERAIS: C - CRISOTILA; A - ANTIGORITA; T - TALCO; B - BRUCITA; F - FORSTERITA; D - DIOPSÍDIO; Tr - TREMOLITA; E - ENSTATITA; Cl - CLORITA; Sp - ESPINÉLIO; Co - CORDIERITA E An - ANORTITA.

NOTA: LINHAS CHEIAS INDICAM REAÇÕES REVERTIDAS EXPERIMENTALMENTE.

LINHAS TRACEJADAS REPRESENTAM CURVAS CALCULADAS, INFERIDAS OU PROVISÓRIAS.

LINHA CHEIA FORTE INDICA A REAÇÃO DE QUEBRA DA ANTIGORITA

REAÇÃO ④: ANTIGORITA = 18 FORSTERITA + 4 TALCO + 27 H_2O

Faust et alii (1956) observaram que os serpentinitos originados de rochas ultrabásicas apresentavam teores em Boro mais elevados que aqueles encontrados na rocha mãe. Dessa forma houve introdução de Boro durante o processo de serpentinização, o que foi atribuído por esses autores à "fluídos formadores de pegmatitos", onde vários corpos pegmatíticos ocorrem nas vizinhanças dos corpos ultramáficos estudados. Bogolepov (1969) acredita que além da hidratação proporcionada por intrusões de granitóides, haja também possibilidade de autoserpentinização, através de soluções intersticiais do próprio magma ultramáfico. Este caso pode ser justificado pela presença de antigorita a altas profundidades no interior de minerais primários, indicando que o pH do fluído serpentinizante e das soluções contidas nos poros estão intimamente relacionados.

Sílica é outro componente que parece ser adicionado ao sistema durante a serpentinização. Condie & Madison (1969) acreditam que a sílica (quantias maiores que 3%) seja derivada dos gnaisses e xistos nos quais se encaixa o corpo ultramáfico de Webster Addie (Carolina do Norte, U.S.A.). Da mesma forma verificaram que houve introdução de Na durante a serpentinização, e para tal indicam como fonte as rochas supracrustais ricas em álcalis.

Com a introdução de água em uma rocha anidra, como as ultrabásicas, tem-se um decréscimo em sua densidade original e um aumento concomitante de seu volume. Por outro lado sabe-se que muito material é removido em solução. Muita dúvida persiste ainda hoje com relação às variações no volume e no quimismo do corpo ultramáfico serpentinizado. Assim observa-se que existem duas linhas científicas: uma que admite composição química constante com variação volumétrica, e outra que acredita na mudança da composição química a volume constante (com remoção de material para fora do corpo serpentinizado).

Moody (1976) observa que o aumento de volume durante a serpentinização pode auxiliar na intrusão da rocha ao longo de zonas de fraqueza estrutural. A mudança na composição química a volume constante implica na abertura do sistema com livre troca entre o fluído e a rocha ultramáfica, durante o processo de serpentinização. Assim discute que há casos individuais onde o pro-

cesso a volume e composição constantes passa a operar em diferentes estágios de alteração.

IV.2. OS MACIÇOS METAMÁFICO-ULTRAMÁFICOS SERPENTINIZADOS

Na área mapeada foram encontrados sete corpos metamáficos-ultramáficos serpentinizados, quais sejam, de norte para sul: Paraíso, Santa Rita, Santa Maria, Santa Cruz, São Barnabé, Conceição de Ipanema e Professor Sperber. Praticamente todos se apresentam mineralizados, o primeiro deles em talco e os demais em níquel (mapa geológico - Anexo 1).

Os dois complexos mais importantes da área, tanto em termos de expressão superficial como em tonelagem de minério, serão discutidos neste Capítulo e referem-se aos corpos de Santa Cruz situado na porção central da área, a sudoeste da cidade de Ipanema e Santa Maria localizado na porção norte da Folha mapeada, a sudeste do Patrimônio de Tabajara. A distância entre os dois maciços é da ordem de 30km, e ambos se encontram encaixados na mesma sequência de gnaisses, ou seja na subunidade gnaisses kinzigíticos.

Em função das dificuldades encontradas nos trabalhos de campo, onde grande parte dos corpos (cerca de 70%) encontra-se coberta por solo com espessura média em torno de 5 metros, e as porções aflorantes apresentam material saprolítico e/ou rocha alterada, não foi possível a execução de um estudo petrográfico e litoquímico sistemático. Entretanto, os perfis dos furos de sonda e dos poços de pesquisa são apresentados, bem como os afloramentos estudados são descritos e aqueles mais importantes aparecem localizados em mapas. Para o maciço de Santa Cruz pode ser observado o Anexo 2, e para o corpo de Santa Maria o Anexo 3.

IV.2.1. Maciço de Santa Cruz

Este maciço apresenta forma elíptica e ocupa uma superfície aproximada de $0,5 \text{ km}^2$. Sua dimensão maior atinge 1,1km de extensão, e sua largura gira em torno de 0,5 km. A dimensão maior do corpo de Santa Cruz é concordante com a foliação dos gnaisses encaixantes. Tanto em fotografias aéreas como no campo o maciço máfico-ultramáfico se destaca pelo grande contraste que apresenta com o relevo das encaixantes. Os gnaisses apresentam

um relevo acidentado, ao passo que as metaultramáficas já exibem um relevo mais suave com topo abaulado. Uma pequena fração deste corpo, que corresponde à sua porção superior, composta por metagabros, situa-se cerca de 2km à sudoeste do corpo principal. Encontra-se encaixado nos gnaisses kinzigíticos, com os quais apresenta contato brusco. Na porção sudeste do maciço este contato é tectônico, e se dá em grande parte com biotita e/ou hornblenda gnaisses. Grande parte da borda do corpo apresenta rochas cislhadas, notadamente na sua porção leste e sudeste, onde é comum se encontrar rochas com textura cataclástica. Uma vista geral do maciço é mostrada na Foto 7.

O maciço de Santa Cruz é composto por uma variedade de tipos litológicos, todos serpentinizados e/ou metamorfisados, a saber: dunitos e peridotitos serpentinizados, metapiroxenitos, metagabros e metanortositos. Estas rochas apresentam-se foliadas, com atitude concordante com a da foliação dos gnaisses regionais, e parecem representar produto de diferenciação magmática (Figura 10), conforme será discutido a seguir.

IV.2.1.1. Os metadunitos e metaperidotitos serpentinizados

Esta unidade litológica abrange cerca de 75% do maciço de Santa Cruz. São rochas que apresentam coloração verde escuro a verde amarelado, estrutura normalmente foliada, cuja intensidade varia de forte a incipiente e granulação média a fina. A orientação imprimida à rocha é dada principalmente pelo alinhamento dos cristais prismáticos de tremolita-actinolita e dos minerais opacos, notadamente a magnetita (Foto 8). Algumas porções do corpo apresentam estrutura bandada, que inclusive pode ser observada nas seções delgadas. Esta estrutura apresenta bandas, com espessura variando de 1 a 5mm, ricas ora em olivina, ora com maior concentração em ortopiroxênio, conforme observado em seções delgadas. Na Fotomicrografia 1 pode-se concluir também, o que aliás é comum para todo o maciço, que as bandas ricas em ortopiroxênios são menos susceptíveis ao processo de serpentinação quando comparados com aquelas que apresentam maior concentração em olivinas. Assim os produtos de alteração dos ortopiroxênios são: tal

FOTO 7 - Vista geral do Maciço de Santa Cruz, tomada ao longo da rodovia MG-111 (sentido Ipanema-Manhuaçu). O corpo metamáfico-ultramáfico serpentizado encontra-se encaixado na subunidade gnaisses kinzigíticos.

FOTO 8 - Metaperidotito serpentizado exibindo bandamento, com leitos esverdeados compostos essencialmente por olivina e serpentina e leitos mais claros com mineralogia à base de ortopiroxênio, clorita e talco, visíveis ao microscópio. Notar que este bandamento reliquiar é seccionado pela foliação metamórfica. Corpo principal do Maciço de Santa Cruz (Afloramento NAn 06).

LEGENDA

Secção Geológica

	METANORTOSITO
	METAGABRO
	METAPIROXENITO
	NÍVEL DE CROMO-ESPINÉLIO
	METAHARZBURGITO COM VEIOS DE PIROXENITOS
	METAHARZBURGITO COM VEIOS DE TALCO
	METADUNITO

SERPENTINITOS

Mineralogia

Pl - PLAGIOCLÁSIO	An - ANTOFÍLITA
Hb - HORNBLENDA	Mt - MAGNETITA
Tmt - TITANO-MAGNETITA	Cr-Esp - CROMO-ESPINÉLIO
Cl - CLORITA	Opx - ORTOPIROXÊNIO
Ep - EPIDOTO	Oliv - OLIVINA
Es - ESPINÉLIO	
Hp - HORNBLENDA-PARGASÍTICA	
Tr - TREMOLITA	
Sp - SERPENTINITA	
Ta - TALCO	

FIGURA 10 - PERFIL ESQUEMÁTICO E MINERALOGIA DA PORÇÃO SUDESTE DO CORPO PRINCIPAL DE SANTA CRUZ. ANGELI, N. (1988).

co, clorita e menos comumente serpentina. As olivinas por sua vez dão origem principalmente a serpentinas.

A textura apresentada por estas rochas é bastante variável, fato que se relaciona principalmente ao maior ou menor grau de serpentinição. A intensidade do processo deformacional também provoca variações no tipo de textura, já que se encontram rochas intensamente orientadas, próximas de porções com rochas praticamente desprovidas de foliação. Uma das texturas mais comumente encontrada é a textura em rede ("mesh texture"), conforme pode ser observado na Fotomicrografia 2. Neste caso ocorrem núcleos de olivina envolvidos por um entrelaçado composto por serpentina. Outro tipo textural predominante é a textura emaranhada laminada fina, conforme definida por Maltman (1978). Esta textura é encontrada nas porções mais serpentinizadas do maciço, e às vezes passa a exibir forte orientação nas zonas intensamente deformadas.

Localmente também se registrou textura blastoporfirítica na qual a rocha exibe grandes cristais de olivina circundados e seccionados por prismas de tremolita-actinolita acicular. Nas porções mais ricas em tremolita-actinolita é encontrada com frequência textura nematoblástica. Também foi observada nestas rochas resquícios de textura hipidiomórfica a alotriomórfica inequigranular, onde os cristais maiores são normalmente representados por olivinas e ortopiroxênios.

Fato importante que pode ser notado em algumas secções delgadas de amostras parcialmente serpentinizadas, é que os fragmentos de olivina indicam que faziam parte de antigos cristais maiores, os quais formavam uma textura de justaposição. Isto evidencia textura original cumulática, que se relaciona a processo de diferenciação magmática. Em síntese, pela análise textural observa-se que grande parte das olivinas correspondem a cristais primários de origem magmática, sendo que uma pequena parte do maciço apresenta rochas com olivinas metamórficas (porções do Complexo mais afetadas pela deformação e recristalização).

A composição mineralógica desta unidade consiste de serpentina (15 a 55%), olivina (5 a 40%) e tremolita-actinolita (10 a 20%). Subordinadamente ocorrem ortopiroxênio (5%), clorita (5 a 10%), talco (5%) e clinopiroxênio (ausente a 3%). Como aces-

FOTOMICROGRAFIA 1 - Metaperidotitos exibindo banda olivínica associada essencialmente à serpentina (porção central diagonal da foto) intercalada a bandas ricas em ortopiroxênio (parcialmente alterados para talco e clorita). Corpo principal do Maciço de Santa Cruz. Afloramento NAn 07 (Aumento de 35 vezes - nicóis cruzados).

FOTOMICROGRAFIA 2 - Metadunito serpentizado exibindo textura em rede ("mesh texture") - Corpo principal do Maciço de Santa Cruz - Afloramento NAn 09 (Aumento de 35 vezes - nicóis paralelos).

sórios tem-se opacos (5%) e cromo-espinélio (ausente a 1%).

Serpentina representa a grande massa mineral (matriz), que predomina em várias amostras pertencentes a esta unidade. Pode-se observar que existem duas gerações de serpentina. A primeira aparece normalmente envolvendo cristais reliquiais e fragmentos de olivina, ao passo que a segunda ocorre sob forma de veios que seccionam toda a fase mineral existente anteriormente. Assim é que estes veios de serpentina aparecem cortando serpentinas antigas (de primeira geração), olivinas, tremolita-actinolitas e ortopiroxênios. Algumas amostras mais alteradas chegam a apresentar cerca de 90% de sua mineralogia constituída por serpentina.

Olivina ocorre sob forma de cristais subhedrais a anedrais, incolores e às vezes branco amarelados. Apresenta-se bastante fraturada, e geralmente estas fraturas estão preenchidas por serpentina. Grande parte dos cristais de olivina apresentam suas bordas alteradas para serpentina.

De modo geral em quase todas as amostras estudadas são encontrados relictos de olivina (núcleos poliédricos) dispersos em matriz serpentinitica. Os cristais de olivina, ora frescos, ora alterados (tanto hipogenicamente quanto superficialmente) encontram-se separados por veios de serpentina. Em algumas amostras frescas, as olivinas foram identificadas como sendo da variedade crisólita, conforme determinação óptica feita de acordo com Rodrigues et alii (1980).

Os ortopiroxênios apresentam-se como grandes cristais subhedrais a anedrais, com coloração incolor a pardacenta e se encontram muito fraturados. Normalmente ocorrem transformados em bastita, onde se apresentam total ou parcialmente substituídos por talco, clorita e serpentina, que se encontram orientados segundo seus planos de clivagem.

As porções mais ricas em piroxênios desta unidade apresentam grandes quantidades de clorita e talco em nítida correlação com os piroxênios, notadamente os ortopiroxênios. O talco ocorre normalmente sob a forma de agregados fibrosos lamelares e se encontra frequentemente associado à clorita. A clorita por sua vez ocorre como agregados de escamas ou como cristais isola-

dos e apresenta duas formas de ocorrência: uma com granulação mais fina, com coloração parda e a outra com granulação grossa, coloração pardo-esverdeada e envolvendo núcleos de olivina. A maior parte das lâminas estudadas mostrou que clorita e talco apresentam-se fraca a fortemente orientados e que se encontram cortando outros minerais, principalmente olivina, serpentina e tremolita-actinolita.

Os clinoanfíbólios, representados pela série tremolita-actinolita ocorrem distribuídos por toda a unidade, e localmente se apresentam em elevadas quantidades. São cristais euhedrais, prismáticos, que exibem hábito radial, com dimensões que atingem 3 cm (Foto 9). São incolores, apresentam-se muito fraturados, e como no caso das olivinas, aparecem cortados e envolvidos por serpentina (Fotomicrografia 3). Nesta fotomicrografia pode ser observado também um grande cristal de olivina envolvido por serpentina, que apresenta coronas devidas ao metamorfismo. Provavelmente a porção central deste cristal tenha composição primária inalterada, fato que pode ser comprovado com a utilização de microsonda eletrônica. Pelos estudos petrográficos e pela paragénese encontrada, tudo indica que estes anfíbólios pertencem ao termo magnesiano da série tremolita-actinolita, e na maior parte dos casos foi interpretado como tremolita. Em várias amostras pode ser observada a alteração de tremolita-actinolita para clorita e talco. Algumas secções delgadas mostram que estes anfíbólios apresentam-se recristalizados, indicando que os mesmos foram submetidos a uma etapa de metamorfismo subsequente. Em alguns desses cristais maiores a antiga clivagem se encontra preservada.

Outro tipo de anfibólio, que ocorre com menor frequência que a tremolita é o ortoanfibólio fibroso, que normalmente aparece preenchendo fraturas e microfalhas. Pelas propriedades ópticas deste mineral (sinal óptico na maior parte dos casos positivo, extinção reta e birrefringência alta), e pelo índice de refração elevado, da ordem de 1,70 a 1,71, o mesmo deve representar uma fase mais pobre em cálcio, tratando-se de ortoanfibólio aluminoso (variedade gedrita).

Uma característica marcante e comum às olivinas, orto

FOTO 9 - Metaperidotito serpentizado exibindo cristais prismáticos com hábito radial de tremolita-actinolita. Maciço de Santa Cruz (Extensão Sul) - Afloramento NAn 10.

FOTOMICROGRAFIA 3 - Metadunitos serpentizados onde se observa um prisma alongado de tremolita-actinolita fraturado e parcialmente substituído por serpentina. Na borda esquerda da foto observa-se um cristal de olivina exibindo o desenvolvimento de coronas. Corpo principal do Maciço de Santa Cruz - Afloramento NAn 09a (Aumento de 35 vezes - nicóis cruzados).

piroxênios e tremolitas é que estes minerais se apresentam fragmentados, e as porções separadas ocorrem mostrando a mesma orientação óptica, indicando desta forma que correspondem a fragmentos de um mesmo cristal, que foram isolados pela serpentinização.

Os minerais opacos apresentam normalmente granulação fina e ocorrem disseminados por todo o serpentinito, sendo que às vezes são encontrados em concentrações bastante localizadas. A maior parte destes opacos corresponde a magnetita, que apresenta íntima associação com o processo de serpentinização.

Cromo-espinélio ocorre em quantidades muito reduzidas pela unidade, entretanto na porção superior dos metaharzburgitos são encontrados vários níveis com elevada concentração deste mineral. A camada mais possante de cromitito, com espessura que atinge 1,50 metros, apresenta em média 60 a 65% de cromo-espinélio (Fotos 10 e 11). Exibe nítido bandamento, onde se observam leitos ricos em cromo-espinélio intercalados a leitos serpentiniticos. Os cromo-espinélios apresentam-se sob forma de cristais subhedrais a anedrais, bastante fraturados e geralmente se mostram cortados por serpentina e clorita (Fotomicrografia 4). Apresentam coloração castanho-escura e se encontram dispersos em matriz essencialmente serpentinitica. Como no caso da amostra do afloramento SC 04 (para localização ver Anexo 2), aqui também se verifica um resquício da textura interpretada como cumulática, onde se tem cristais de cromo-espinélio cûmulus com serpentina intersticial (em grande parte olivinas, e em menor quantidade ortopiroxênios serpentinizados). Desta forma constitui-se também de outra evidência que sugere que estas rochas representem produto de diferenciação magmática. Com o estudo de secções polidas observa-se que os cristais de cromita apresentam-se muito fraturados e seccionados por clorita e serpentina (Fotomicrografia 4).

Algumas porções desta unidade apresentam-se cortadas por uma série de veios piroxeníticos, bastante serpentinizados e/ou esteatitizados, com espessuras variando entre 10 e 20 cm. Nestes veios registrou-se a presença de relictos de ortopiroxênio e olivina, além de cristais de tremolita-actinolita, hornblenda pargasítica, espinélio aluminoso e clorita, dispersos em matriz serpentinitica. Quanto à presença dos dois tipos de clinoanfíbó-

FOTO 10 - Camada de cromitito situada no topo da unidade metaperidotítica serpentizada. Maciço de Santa Cruz (Corpo Principal) - Afloramento IPN 01/b.

FOTO 11 - Detalhe da foto acima onde se observa cromita maciça envolvida parcialmente por uma massa serpentínica. Maciço de Santa Cruz (Corpo Principal).

FOTOMICROGRAFIA 4 - Cristais de cromita fraturados e seccionados por clorita (Afloramento IPN 01b). Corpo principal do Maciço de Santa Cruz (Aumento de 50 vezes - nicóis paralelos).

FOTO 12 - Veio de composição piroxenítica seccionando rochas da unidade metaperidotítica serpentini-
zada. Corpo Principal do Maciço de Santa Cruz
(Afloramento IPN 39).

lios: tremolita-actinolita e pargasita e/ou hornblenda pargasítica, a distinção é bastante difícil em termos petrográficos. Entretanto, em algumas amostras os dois tipos de anfibólios estão presentes, e tremolita-actinolita ocorre sob forma de grandes cristais, não apresenta pleocroísmo, exibe hábito acicular e geralmente se associa à olivina e ao ortopiroxênio. Já o outro clinofibólio apresenta-se sob forma de pequenos cristais reliquias, com ligeiro pleocroísmo e normalmente está associado à unidade piroxenítica, sendo assim interpretado como pargasita e/ou hornblenda pargasítica.

Pelos estudos petrográficos realizados e pela assembléia mineralógica observada, as rochas primárias que compõem esta unidade correspondem principalmente a dunitos e harzburgitos, e em menor porcentagem são encontrados lherzolitos. Os dunitos correspondem basicamente às rochas que apresentam grandes quantidades de olivina e serpentina, e os harzburgitos já possuem além destes minerais, relictos de ortopiroxênio. O estudo petrográfico revelou em algumas das amostras a presença de pequena quantidade de cristais reliquias de clinopiroxênio, associados à ortopiroxênio, serpentina, clorita e secundariamente talco, sendo desta maneira interpretadas como lherzolitos.

IV.2.1.2. Os metapiroxenitos serpentinizados

Esta unidade apresenta-se em pequenas quantidades no maciço de Santa Cruz, devendo representar não mais que 20% do complexo máfico-ultramáfico. Além de ocorrer sob forma de veios, que cortam a unidade anterior (Foto 12), ela aparece notadamente na borda nordeste e leste do corpo, junto ao contato com os gnaisses encaixantes (Anexo 2).

Os metapiroxenitos serpentinizados apresentam coloração esverdeada e exibem tons mais claros quando comparados com os metadunitos e metaperidotitos serpentinizados. A granulação destas rochas é média, e em geral mais grossa que aquelas da unidade anterior. Apresentam estrutura foliada, sendo esta foliação incipiente, excetuando-se as porções nordeste e leste do maciço, onde se tem foliação cataclástica, devido à intensa deformação à qual o corpo foi submetido. A textura predominante destas rochas é granoblástica orientada, que passa a granocataclástica nas zonas cisalhadas.

As rochas que compõem esta unidade apresentam mineralogia formada por ortopiroxênio (20 a 55%), clinopiroxênio (2 a 10%), clorita (15 a 20%), serpentina (10 a 25%), pargasita e/ou hornblenda pargasítica (5 a 15%) e olivina (ausente a 8%). Subordinadamente ocorrem espinélio aluminoso (7%), talco (5%) e tremolita-actinolita (3%). Como acessório tem-se opacos (3%), representados principalmente por magnetita.

O ortopiroxênio apresenta-se em grandes cristais, subhedrais, que se encontram fragmentados e em muitos casos poupados pelo metamorfismo. Pelas características ópticas deve-se tratar de bronzita.

O clinopiroxênio ocorre em menor quantidade, sob forma de cristais anedrais, pouco alterado pelo metamorfismo e possivelmente corresponda a augita.

Clorita e serpentina ocorrem principalmente nas porções mais alteradas desta unidade litológica. Clorita normalmente se associa à alteração dos piroxênios, e serpentina à alteração de olivina.

Associados aos piroxênios, ocorrem clinofibrolitos, que apresentam coloração variando de castanha clara a incolor. São cristais subhedrais, com ligeiro pleocroísmo variando de amarelo a castanho esverdeado, e pelas propriedades ópticas e paragenese observada devem ser do tipo pargasita ou hornblenda pargasítica.

Olivina ocorre sob forma de pequenos fragmentos reliquias, incolores, que aparecem envolvidos por serpentina.

Espinélios aluminosos apresentam-se distribuídos por toda unidade piroxenítica, e localmente exibem grandes cristais subhedrais, que geralmente se encontram envolvidos por clorita. Apresentam coloração verde e muitas vezes estão associados às pargasitas e/ou hornblendas pargasíticas.

Talco ocorre sob forma de placas grossas e comumente se encontram substituindo os ortopiroxênios. No estudo de seções delgadas registrou-se também que parte dos ortopiroxênios se alterou para serpentina.

Tremolita-actinolita ocorre em pequena quantidade nos metapiroxenitos serpentinizados, ao contrário das pargasitas descritas anteriormente. Apresenta-se sob forma de prismas alongados, muitas vezes alterados para clorita e talco.

Pela associação mineralógica observada, esta unidade parece corresponder a termos metamórficos de antigas litologias

que variam de olivina ortopiroxenito, olivina websterito, websterito e até mesmo ortopiroxenito.

IV.2.1.3. Os Metagabros

Esta unidade acha-se pouco representada na área, correspondendo a menos de 10% das rochas que compõem o maciço de Santa Cruz. Normalmente os metagabros são encontrados sob forma de blocos e fragmentos rolados, a excessão do corpo que ocorre a sudoeste da extensão sul do maciço de Santa Cruz. Este pequeno corpo é praticamente constituído por metagabros, e está em contato brusco com os gnaisses encaixantes, que em parte se dá por falhamento.

As rochas pertencentes a esta unidade apresentam coloração verde acinzentada a verde amarelada e granulação média a fina. Normalmente são rochas equigranulares e apresentam estrutura foliada. A foliação é incipiente e se deve à orientação dos cristais prismáticos de hornblenda, epidoto e mais raramente tremolita-actinolita. A textura frequentemente encontrada é a granoblástica. Localmente se observa textura grano-cataclástica, que ocorre em parte das bordas do pequeno corpo situado a sudoeste do maciço de Santa Cruz. Em algumas secções delgadas foi observado que esta rocha apresenta textura granular hipidiomórfica preservada.

A composição mineralógica destas rochas apresenta como minerais principais hornblenda (50 a 60%) e plagioclásio (10 a 15%). Como minerais secundários ocorrem epidoto (20 a 25%) e clorita (1 a 5%). O mineral acessório frequentemente presente é a magnetita (3%).

Hornblenda é o mineral predominante e se distribui em cristais inequigranulares, anedrais e apresenta contornos poligonizados. Sua coloração é castanho esverdeada e provavelmente apresenta composição cálcio-magnésiana.

O plagioclásio ocorre sob forma de cristais subhedrais, na sua maior parte recristalizados. São plagioclásios cálcicos, que apresentam índice de refração elevado e exibem relevo alto das lamelas de geminação, propriedades estas diretamente relacionadas ao seu conteúdo em anortita. Determinações ópticas realizadas mostraram que o tipo de plagioclásio situa-se entre os campos da andesina e da labradorita ($An_{45}-An_{69}$).

Epidoto ocorre como grandes cristais anedrais, às vezes prismáticos, onde aparecem sob forma de ripas. Este mineral

aparece ora isolado ora formando agregados, e sempre se relaciona à alteração dos plagioclásios.

Clorita se apresenta em pequenas quantidades nos metagabros, e ocorre preenchendo interstícios entre os cristais de hornblenda. Como o epidoto, também é um mineral secundário que se associa a uma etapa de retrometamorfismo que atingiu o maciço máfico-ultramáfico.

Pela composição mineralógica encontrada, estas rochas correspondem a antigos gabros metamorfisados.

IV.2.1.4. Metanortositos

Esta unidade apresenta-se numa porção muito reduzida do maciço de Santa Cruz, em sua parte central que se encontra em cotas mais elevadas. Normalmente ocorre em forma de blocos e rolados junto a outros fragmentos de material gabróide. Em termos percentuais representa cerca de 2 a 3% das rochas que compõe o complexo máfico-ultramáfico.

Estas rochas são equigranulares, apresentam coloração branco acinzentada, granulação média e estrutura variando de isotrópica a fracamente orientada. A textura frequentemente encontrada nestas rochas é granoblástica, muito embora localmente registrou-se textura granular hipidiomórfica preservada.

Sua composição mineralógica baseia-se em plagioclásio (90%) e hornblenda (8%). Os acessórios presentes são minerais opacos, com predomínio de magnetita. Localmente são encontrados termos de composição mais gabróica, onde a constituição mineralógica da rocha passa a apresentar menor porcentagem em plagioclásio (50 a 65%) e maior conteúdo em hornblenda (20 a 25%). Nestas amostras clorita é encontrada frequentemente como mineral secundário (3 a 5%) e em menores proporções também ocorre epidoto. Como acessórios ocorrem opacos, em porcentagens variando de 10 até 30%. Porções com esta composição foram interpretadas como gabros anortosíticos. A Fotomicrografia 5 mostra o aspecto comum das rochas desta unidade em secção delgada.

Plagioclásio ocorre sob forma de cristais subhedrais, geminados polissinteticamente. Estes cristais apresentam-se intensamente recristalizados e exibem contatos por justaposição. Sua composição é bastante variável, entretanto são plagioclásios

cálcicos, encontrando-se desde Andesina cálcica (An_{52}) até Labradorita (An_{73}). Em algumas amostras registrou-se que a composição destes plagioclásios chega a apresentar termos mais cálcicos, até a bytonita (An_{80}). A presença de andesina e outros termos de composição menos cálcica é esperada neste tipo de complexo máfico-ultramáfico, posto que com o metamorfismo os plagioclásios cedem CaO para a formação de minerais secundários, como por exemplo epidoto, conforme também observado por Girardi & Ulbrich (1980) e Schevciw (1980) para o Maciço de Piên, no Estado do Paraná.

Hornblenda ocorre sob forma de cristais anedrais, com coloração castanho esverdeada a verde clara que se mostram incipientemente orientados. Localmente aparecem formando aglomerados minerais e de modo geral ocorrem intersticialmente.

Clorita aparece como pequenas palhetas, apresentando coloração castanho esverdeada. Normalmente se associam às zonas de concentração e aos aglomerados de hornblenda. Exibem extinção ondulante e sinais de deformação, tais como kink bands e encurvamento dos planos de geminação. É um mineral secundário que resulta da alteração das hornblendas. Feições de cisalhamento também são observadas, onde se encontram cristais muito fraturados e geralmente seccionando a fase opaca.

Os opacos, em certas porções desta unidade anortositica, apresentam-se em elevadas quantidades, chegando a atingir cerca de 30% da composição mineralógica da rocha. Muitas vezes estes minerais aparecem preenchendo interstícios entre os cristais de plagioclásio e hornblenda. Grande parte desses opacos, dentre os quais predomina magnetita, apresenta inclusões de plagioclásio, hornblenda e clorita. Estudo de secções polidas mostrou que a magnetita presente nesta unidade se constitui em mineral homogêneo, fracamente anisótropo, com coloração rosa claro e intensamente magnético. Apresenta desta forma grande semelhança com a ilmenita, sendo interpretada como titano-magnetita. Este mineral encontra-se associado à hematita, onde se interrelacionam exibindo textura de exsolução (Fotomicrografia 6).

Ilmenita ocorre em pequenas quantidades, sob forma de agregados xenomorfos, com hábito lamelar e se encontra dispersa pela rocha. No estudo de secções polidas pode-se verificar também que como a titano-magnetita, ocorre apresentando exsolução de he

FOTOMICROGRAFIA 5 - Secção delgada da Amostra IPN 01/1, exibindo cristais de plagioclásio geminados polissinteticamente (Andesina cálcica a By tonita). Corpo principal do Maciço de Santa Cruz. (Aumento de 10 vezes-nicóis cruzados).

FOTOMICROGRAFIA 6 - Secção polida da amostra IPN-01/1, onde podem ser observados cristais de titanomagnetita com exsolução de hematita. Corpo Principal do Maciço de Santa Cruz (Aumento de 100 vezes - nicóis paralelos).

matita.

Pela associação mineralógica mostrada acima, as rochas desta unidade podem ser classificadas como leuco gabros e anortositos, e correspondem à litologia mais diferenciada do complexo máfico-ultramáfico de Santa Cruz.

IV.2.1.5. Os Xistos

Esta unidade é encontrada em pontos localizados no maciço. Sua área de maior ocorrência se localiza na porção sudeste da extensão sul do corpo de Santa Cruz. Normalmente estas rochas aparecem em locais próximos da borda do complexo máfico-ultramáfico e geralmente exibem feições de cisalhamento, com estiramento e intensa moagem dos minerais constituintes. O poço de pesquisa PSC-04 (para localização, ver Anexo 2) atravessou esta unidade xistosa, composta essencialmente por tremolita-actinolita xisto, conforme pode ser observado no perfil apresentado na Figura 11.

Com o estudo petrográfico realizado nas rochas pertencentes à esta unidade litológica observa-se que a mesma é constituída principalmente por tremolita xisto, clorita xisto, clorita-tremolita xisto, tremolita-clorita xisto e talco-tremolita-clorita xisto. Estas rochas exibem coloração verde a cinza esverdeado, granulação média a fina e estrutura xistosa. As texturas comumente encontradas são a nematoblástica e a lepidoblástica. Entretanto em certas porções ocorre textura porfiroblástica, onde estes xistos passam a apresentar porfiroblastos de anfibólio (tremolita-actinolita).

A composição mineralógica das rochas que compõem esta unidade é extremamente variável. Ora tem-se predomínio de cloritas, ora de tremolita-actinolitas, ora de ambos associados ao talco, etc. Cabe ressaltar que as porcentagens entre estes minerais também variam entre si de forma aleatória e irregular. Assim, a mineralogia encontrada nestas rochas baseia-se em tremolita-actinolita (5 a 85%), clorita (5 a 70%) e talco (ausente a 10%). Como acessório ocorrem opacos (1 a 5%), que em alguns locais atingem concentrações de até 25%.

NOTA - FOLIAÇÃO DAS ROCHAS : N-S 55° E

FIGURA 11 — PERFIL DO POÇO PSC - 04 - BORDA SUL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ
(EXTENSÃO SUL). ANGELI, N. (1988).

A tremolita ocorre sob a forma de prismas alongados, granulação fina, cristais inequigranulares, e localmente apresenta forte orientação. Às vezes aparece constituindo arranjos radiais.

A clorita ocorre sob forma de plaquetas subhedrais, que ao contrário do clinoanfíbólio, apresenta distribuição caótica. Normalmente as plaquetas de clorita se encontram encurvadas, exibindo kink bands. Algumas amostras indicam a existência de duas gerações de clorita:

- a primeira apresenta-se sob a forma de cristais menores, a granulação da rocha é fina e a clorita encontra-se associada à tremolita.
- a segunda por sua vez apresenta cristais mais desenvolvidos que ocorrem cortando as tremolitas.

Talco ocorre como produto de alteração da tremolita-actinolita, e como tal, quando presente, está sempre associado a esta fase mineral.

Os opacos ocorrem sob forma de pequenos grãos subarredondados, em parte euhedrais, que se encontram disseminados nas rochas que compõem esta unidade. Localmente, e muito raramente se apresentam em concentrações, onde chegam a atingir 25%. Através do estudo de secções polidas, identificou-se que estes opacos são constituídos principalmente por titano-magnetita. Este mineral apresenta coloração rosa clara e em alguns cristais pode-se observar que apresentam exsolução de hematita. Em pequenas porcentagens ocorrem ilmenita e magnetita. Uma característica muito comum é que estes minerais ocorrem sendo seccionados por clorita.

Em síntese, estes xistos devem representar produto de metamorfismo de rochas peridotíticas e piroxeníticas em zonas de falha.

IV.2.2. Maciço de Santa Maria

O maciço de Santa Maria apresenta forma elíptica e sua superfície aproximadamente igual a de Santa Cruz, ou seja $0,45\text{km}^2$.

Sua dimensão maior não ultrapassa a 1 km e a largura do corpo é em média igual a 450 metros. Todo o complexo máfico-ultramáfico encontra-se encaixado na subunidade gnaisses kinzigíticos, onde a maior parte do contato é tectônico. Na própria área de ocorrência do maciço tem-se instalada uma zona de deformação rúptil composta por rochas cataclásticas que se estende desde as margens do Rio Manhuaçu até alguns quilômetros a sul do maciço (Anexo 3). Praticamente todas as litologias presentes no complexo metamáfico-ultramáfico apresentam cristais fraturados e exibindo extinção ondulante, feições que se relacionam a este evento deformacional. A dimensão maior do corpo, bem como a foliação de suas rochas, é concordante com a xistosidade dos gnaisses encaixantes.

Como no caso de Santa Cruz, o relevo imprimido pelas rochas pertencentes ao maciço de Santa Maria é contrastante com aquele apresentado pelos gnaisses regionais. Desta forma se destaca por suas feições mais suaves em contraste com as formas acentuadas e abruptas do relevo das encaixantes (Foto 13). As bordas do maciço apresentam-se adelgaçadas, conforme pode ser observado na Figura 52 (página 219). A porção central apresenta maior espessura e confere ao corpo, embora sem muita segurança, uma forma lopolítica, que é comum aos complexos estratiformes, conforme será discutido no final deste Capítulo.

O maciço de Santa Maria apresenta uma variedade menor de tipos petrográficos, sendo representado essencialmente por rochas meta-ultramáficas, onde predominam metaperidotitos e metapiroxeenitos serpentinizados. Em certos locais pode-se observar a passagem gradual entre estas rochas, que se dá através de variações na sua composição mineralógica. Comparando-se com Santa Cruz, o maciço de Santa Maria exhibe menor grau de serpentinação e apresenta-se menos deformado (cisalhamento dúctil) onde os diferentes tipos litológicos são na sua maior parte destituídos de foliação.

IV.2.2.1. Os metadunitos e metaperidotitos serpentinizados

Estas rochas predominam em boa parte do maciço, entre tanto não na mesma porcentagem com que ocorrem no corpo de Santa

FOTO 13 - Vista panorâmica do Maciço de Santa Maria(direção SW-NE) onde pode ser observado o contraste do relevo e da vegetação com os gnaisses encaixantes. Ao fundo aparece o Rio Manhuaçu.

Cruz, equivalendo a aproximadamente 60 a 65% da composição do complexo ultramáfico. Apresentam coloração esverdeada e granulação variando de fina a grossa, com predomínio dos termos mais grossos. Estas rochas exibem estrutura isotrópica a incipientemente foliada. A textura mais comumente encontrada é a textura em rede ("mesh texture"), onde os cristais de olivina aparecem ilhados por uma trama de serpentina. Em algumas amostras registrou-se a presença de textura granular preservada.

A mineralogia apresentada por estas rochas é constituída por serpentina (40 a 70%), olivina (10 a 20%) e tremolita-actinolita (7 a 20%). Subordinadamente ocorrem ortopiroxênio (ausente a 6%), espinélio aluminoso (1 a 5%), clorita (2 a 4%), carbonato (1 a 5%), hornblenda pargasítica e/ou pargasita (1 a 3%) e talco (1 a 3%). Como acessórios se tem cromo-espinélio (1 a 2%) e opacos (1 a 2%).

Serpentina ocorre apresentando coloração cinza clara, granulação fina e se encontra disseminada por toda a unidade, sendo que em vários locais apresenta-se sob forma de veios. Em algumas das amostras estudadas foram encontradas microfraturas contendo serpentina que exhibe hábito fibroso e ondulado, que foi interpretada como crisotila.

Olivina ocorre geralmente apresentando grandes cristais subhedrais e incolores. Em algumas secções delgadas observou-se também que ocorre como poiquiloblasto, onde apresenta inclusões de espinélio aluminoso. Alguns cristais de olivina apresentam-se recristalizados, exibindo grãos com contornos retos.

Tremolita-actinolita ocorre sob forma de cristais incolores, prismáticos, euhedrais e normalmente muito fraturados. Estas fraturas geralmente se encontram preenchidas por serpentina. Como no caso de Santa Cruz, parecem predominar tremolitas. Numa das secções delgadas observou-se a existência de bandamento, onde a amostra apresenta leitos ricos em tremolita intercalado a leitos essencialmente olivínicos.

Ortopiroxênio apresenta-se em grandes cristais subhedrais, com coloração branco acinzentada e em algumas amostras se encontra ausente.

Espinélio aluminoso ocorre sob forma de cristais euhedrais, fraturados e apresentam coloração variando entre verde escuro e verde rosado, o que deve representar algum conteúdo em cromo.

Clorita apresenta-se em grandes placas com coloração pardo esverdeada e normalmente aparece envolvendo tremolita-actinolita. De modo geral aparece substituindo os anfibólios, e muitas vezes apresenta inclusões de espinélio aluminoso. Em várias secções delgadas observou-se que as cloritas exibem sinais de deformação caracterizados por deslocamentos verticais e laterais dos cristais e por kink bands.

Carbonatos ocorrem em várias amostras estudadas, e são de origem secundária, ocorrendo em alguns casos em substituição às tremolitas. Difractogramas de raios-X de amostras de veios carbonáticos associados aos metaperidotitos serpentinizados revelaram a presença de magnesita.

Uma pequena porcentagem dos clinoanfibólios apresenta-se sob forma de pequenos cristais anedrais, com ligeiro pleocroísmo e com associação mais intensa com os piroxênios, que foi interpretada como pargasita e/ou hornblenda paragasítica. Em algumas amostras este mineral ocorre apresentando inclusões de espinélio aluminoso.

Talco é um mineral secundário, que aparece substituindo a tremolita-actinolita, onde geralmente ocorre apresentando inclusões deste anfibólio. Em alguns casos conservam o hábito prismático e os traços de clivagem da tremolita-actinolita.

Outro tipo de espinélio, que aparece com frequência nesta unidade, é o cromo-espinélio. Apresenta cristais euhedrais a subhedrais, coloração castanho escura e normalmente encontram-se dispersos em uma matriz rica em serpentina e clorita.

A fase opaca é representada principalmente por magnetita, que ocorre notadamente associada às serpentinas.

Pela assembléia mineralógica observada, esta unidade é bastante homogênea e em sua maior parte é composta por meta-harzburgitos serpentinizados. Em menor proporção tem-se os meta-dunitos serpentinizados.

IV.2.2.2. Os metapiroxenitos serpentinizados

Esta unidade corresponde aos 35 ou 40% restantes do complexo máfico-ultramáfico de Santa Maria. Muitas vezes pode ser observada passagem transicional entre esta unidade a a anterior, que se dá através do aumento no conteúdo em piroxênios e tremolita-actinolita e do decréscimo da porcentagem de olivina e serpentina.

Estas rochas apresentam coloração esverdeada e granulação variando de média a grossa. São rochas mais maciças e compactas que aquelas da unidade anterior. A estrutura mais frequentemente encontrada é isotrópica, e localmente apresenta fraca foliação. Macroscopicamente estas rochas são bastante similares às aquelas da unidade anterior, ressaltando-se as porções onde se reconhecem concentrações elevadas de megacristais de ortopiroxênio. A textura predominante é granoblástica, contendo cristais inequigranulares de piroxênio e anfibólio recristalizados.

A mineralogia apresentada por estas rochas é composta por tremolita-actinolita (25 a 40%), clinopiroxênio (18 a 32%), ortopiroxênio (8 a 22%), olivina (5 a 13%), espinélio aluminoso (5 a 12%) e hornblenda pargasítica e/ou pargasita (5 a 10%). Subordinadamente ocorrem serpentina (2 a 5%), clorita (1 a 3%), carbonatos (1 a 3%) e talco (1 a 2%). Os minerais acessórios correspondem aos opacos, que ocorrem em pequenas porcentagens, embora atinjam rara e localmente 10%.

Tremolita-actinolita é um mineral predominante nesta unidade piroxenítica. No estudo de secções delgadas observou-se que esta fase mineral resulta da transformação, principalmente dos ortopiroxênios, e em menor proporção das olivinas. Alguns cristais ocorrem conservando a morfologia do ortopiroxênio, mas exibem clivagens internas e propriedades ópticas da tremolita-actinolita.

Clinopiroxênio é o mineral primário que se apresenta em maior porcentagem nesta litologia. Ocorre sob forma de grandes cristais subhedrais, muito fraturados, que muitas vezes exibem extinção ondulante. Mostra fraco pleocroísmo variando entre rosa claro e verde pálido e normalmente apresenta inclusões de

espinélio aluminoso.

Ortopiroxênio também apresenta-se em grandes cristais subhedrais, muito cisalhados e fraturados, sendo estas fraturas preenchidas por tremolita-actinolita e em menor proporção por talco e serpentina. Por vezes ocorrem exibindo extinção ondulante. Alguns cristais de ortopiroxênio apresentam exsolução de clinopiroxênio, onde se verifica um leve pleocroísmo com cores rosa das chegando até verde claro acinzentado.

Olivina ocorre sob forma de cristais subhedrais exibindo contornos retos e frequentemente apresentam inclusões de espinélio aluminoso. Normalmente ocorre intercrescida com os piroxênios. Na maior parte dos cristais observou-se que suas bordas apresentam-se transformadas em serpentina.

Espinélio aluminoso apresenta-se como cristais euhedrais com coloração esverdeada, às vezes amarelada e rosada. Como no caso do maciço de Santa Cruz, talvez se trate de hercinita ou pleonasto, tendo em vista suas cores e seu índice de refração (1,85 a 1,90). A Fotomicrografia 7 mostra a associação entre estes espinélios e os piroxênios com alguns cristais de clorita subordinados.

Hornblenda pargasítica e/ou pargasita ocorre sob forma de cristais reliquiais, anedrais, incolores a castanho claros, e geralmente associados aos piroxênios. Em algumas secções delgadas observou-se que se desenvolvem nas bordas do clinopiroxênio.

Serpentina ocorre em pequenas porcentagens associada às olivinas e em menor proporção aos ortopiroxênios. Também é encontrada com frequência seccionando prismas de tremolita-actinolita.

Clorita ocorre principalmente substituindo tremolita-actinolita, assim como o talco.

Carbonatos apresentam-se como produtos de alteração dos piroxênios, notadamente aos clinopiroxênios.

Opacos ocorrem dispersos pelas rochas desta unidade, apresentam granulação fina e na sua maior parte correspondem a magnetita.

As rochas pertencentes a esta unidade devem corresponder principalmente a antigos websteritos e olivina websteritos metamorfisados e posteriormente serpentinizados.

IV.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O METAMORFISMO DOS COMPLEXOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS

No Quadro 1 são apresentadas as associações mineralógicas presentes nos Complexos Máficos-Ultramáficos estudados. Es tão representadas pelas composições primárias (Ígneas) e pelas associações mineralógicas resultantes dos eventos metamórficos que atuaram na área.

As paragêneses minerais metamórficas revelam que as rochas máficas-ultramáficas exibem características polimetamórficas, assim representadas:

- a. a etapa de metamorfismo mais antiga enquadra-se no fácies granulito (aqui denominado de Metamorfismo 1), o que é atestado pela paragênese: olivina, ortopiroxênio, em grande parte recristalizados, além de hornblenda pargasítica e/ou pargasita e espinélio aluminoso, no caso das unidades metadunitos, metaperidotitos e metapiroxenitos serpentinizados. Da mesma forma isto é evidenciado para as demais unidades que compõem os complexos máfico-ultramáficos.
- b. Superpondo-se à esta fase teria ocorrido um novo evento metamórfico (Metamorfismo 2), de caráter retrógrado, caracterizado por duas etapas principais (Associações A e B), que foram responsáveis pela serpentinação dos complexos. A identificação e caracterização destas duas etapas de metamorfismo, correspondentes ao fácies xisto verde, baseia-se nos seguintes dados de observação:
 - serpentina (serpentina I) ocorre constituindo a grande massa das rochas que compõem os maciços,

FOTOMICROGRAFIA 7 - Metapiroxenito (metawebsterito) apresentando concentrações de espinélio aluminoso com coloração esverdeada associado aos piroxênios. Amostra F-8 (testemunho de sondagem a profundidade de 33m) - Maciço de Santa Maria (Aumento 10 vezes - nicóis paralelos).

FOTOMICROGRAFIA 8 - Metaperidotito serpentizado seccionado por serpentina de geração tardia (serpentina II). Corpo Principal do Maciço de Santa Cruz - Afloramento NAn 07 (Aumento de 35 vezes - nicóis paralelos).

como também preenchendo fraturas (serpentina II), que neste caso seccionam as rochas previamente serpentinizadas. Isto pode ser observado na Foto micrografia 8, em amostra proveniente do maciço de Santa Cruz.

- existência de duas gerações de clorita. A primeira apresenta disposição orientada, concordante com a foliação dos serpentinitos e com granulação fina, sendo denominada de clorita I. A outra constitui cristais maiores, dispostos em grande parte discordantemente da foliação da rocha e apresentando distribuição caótica, que foi denominada de clorita II. A Fotomicrografia 9 mostra esta feição para amostra de tremolita-actinolita clorita serpentinito pertencente ao maciço de Santa Cruz.
- presença de cristais de tremolita-actinolita fragmentados, seccionados e envolvidos por serpentina.
- alteração de tremolita-actinolita para talco, clorita e carbonatos, após a 1ª etapa de serpentinação (Metamorfismo 2 - Associação A), conforme ilustrado pelas Fotomicrografias 3 e 10.
- existência de inclusões de tremolita em clorita II e talco; de espinélio aluminoso em cloritas, e finalmente de plagioclásio, hornblenda e clorita I em opacos.

Como pode ser observado no Quadro 1 estas características são observadas para as várias unidades litológicas que compõem os maciços máfico-ultramáficos.

Estudo de amostras correspondentes aos maciços existentes na Folha Ipanema, demonstra que os mesmos sofreram intenso fraturamento, em decorrência do que os cristais se apresentam muito fragmentados. Obviamente, parte desta fragmentação se deve ao processo de serpentinação a que estes corpos estiveram sujeitos. Serpentinhas, muitas vezes apresentam orientação incipien

FOTOMICROGRAFIA 9 - Metaperidotito serpentinizado exibindo uma massa serpentinítica com clorita associada, seccionada por cristais maiores de clorita da 2ª geração. Corpo Principal de Santa Cruz (Afloramento SC 04 - Aumento de 10 vezes - nicóis cruzados).

FOTOMICROGRAFIA 10 - Metaperidotito serpentinizado e alterado onde são observados cristais de olivina e prismas de tremolita-actinolita dispersos em matriz serpentinítica. As olivinas apresentam suas bordas alteradas para goethita e/ou esmectita. Corpo Principal do Maciço de Santa Cruz - Afloramento NAn 05 (Aumento 35 vezes - nicóis cruzados).

UNIDADE LITOLÓGICA	PARAGÊNESE PRIMÁRIA	PARAGÊNESE METAMÓRFICA		
		METAMORFISMO 1	METAMORFISMO 2	
			Associação A	Associação B
metadunitos e metaperidotitos serpentinizados	olv opx cpx Cr-esp	olv recr. opx recr. cpx recr. hbl pag e/ou pag Cr-esp Al-esp Ti-mt	spn I clo I bast tre-act mt	spn II clo II ta cab tre-act recr. mt
metapiroxenitos serpentinizados	cpx cpx olv	cpx recr. cpx recr. hbl pag e/ou pag Al-esp	clo I spn I tre-act mt	clo II ta spn II tre-act recr. mt
metagabros e metanortositos	pla opx cpx ilm	cpx recr. cpx recr. pla recr. hbl Ti-mt e ilm.	epd clo I hbl recr. mt tre-act	clo II ta mt

QUADRO 1 - ETAPAS DE METAMORFISMO E PARAGÊNESE ENCONTRADA NOS MACIÇOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS DE SANTA CRUZ E SANTA MARIA

MINERALOGIA: olv-olivina
 opx-ortopiroxênio
 cpx-clinopiroxênio
 pla-plagioclásio
 tre-act-tremolita-actinolita
 ilm-ilmenita
 mt-magnetita
 Ti-mt-titano magnetita
 Cr-esp-cromo espinélio
 Al-esp-espinélio aluminoso
 hbl - hornblenda
 pag - pargasita
 clo-clorita
 spn - serpentina
 bast-bastita
 epd-epidoto
 ta-talco
 cab-carbonatos

OBS.: Os termos seguidos da abreviatura recr., encontram-se recristalizados.

te, entretanto na sua maior parte mostram que se desenvolveram acompanhando um plano preferencial, que se relaciona a fase de deformação que afetou as rochas regionais.

Cloritas (I e II) e tremolita-actinolita apresentam extinção ondulante, sendo que no caso das cloritas, em uma série de amostras, apresentam-se deformadas, exibindo kink bands. São normalmente os cristais maiores de clorita, gerados durante a 2ª etapa de metamorfismo (Metamorfismo 2 - Associação B), que se encontram orientados obliquamente à orientação dos prismas de tremolita-actinolita.

Tudo indica que os complexos máfico-ultramáficos sofreram após seu "emplacement" o metamorfismo 1, e posteriormente se seguiram duas etapas de metamorfismo retrógrado relacionadas ao metamorfismo 2 (Associações A e B), que foram responsáveis pela serpentização, cloritização e esteatização das unidades litológicas que as compõem. Estes processos de modo geral relacionam-se essencialmente às composições mineralógicas das rochas submetidas à alteração.

A intrusão de corpos graníticos, bem como o aporte de pegmatitos, que ocorrem dispersos por toda área estudada, provavelmente se relacionem à fase de retrometamorfismo ocorrida nos domínios da Folha mapeada (Metamorfismo 2), à qual se atribui a serpentização dos corpos máfico-ultramáficos. No corpo de Santa Maria são encontrados veios pegmatíticos, que ocorrem seccionando o maciço em sua porção noroeste. Já em Santa Cruz são encontrados blocos e rolados de anfibolitos turmalinizados. Estas rochas são compostas essencialmente por hornblenda magnesiana, turmalina e magnetita, associados a quantidades subordinadas de plagioclásio (andesina), apatita e titanita. Corresponde a um metagabro que sofreu alteração hidrotermal pelo aporte de soluções ricas em boro, que se relaciona a injeção de veio granítico. Próximo deste veio, que ocorre seccionando a porção sudoeste do maciço de Santa Cruz, foi registrada a presença de flogopita.

IV.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O QUIMISMO E A ORIGEM DOS MACIÇOS

Neste Capítulo serão discutidas as feições características dos maciços de Santa Cruz e Santa Maria, sendo inicialmente apresentadas as principais classificações existentes na literatura. Posteriormente serão abordadas considerações sobre o quimismo das rochas que compõem estes maciços e finalmente as características gerais dos mesmos. O objetivo principal é de se tecer considerações sobre a natureza destes complexos.

IV.4.1. Nomenclatura

Embora o termo básico-ultrabásico seja bastante empregado por diversos autores, preferiu-se aqui o termo máfico-ultramáfico, tendo em vista a caracterização dos complexos sob o ponto de vista litológico e mineralógico. Thayer (1960) classifica os complexos máfico-ultramáficos em duas categorias: Alpino e Estratiforme, sendo a primeira caracterizada por cristalização em grandes profundidades (manto superior) e a segunda formada já em níveis crustais. A partir dessa classificação, várias outras surgiram, como por exemplo a de Wyllie (1967) que reconheceu dez tipos de associações plutônicas ultramáfico-ultrabásicas, quais sejam: gabro-norito-peridotitos acamados em grandes intrusões; rochas ultrabásicas em sills diferenciados em intrusões menores; dunito-peridotíticas zonadas concêntricamente; peridotito-serpentiníticas tipo Alpino; associações menores de complexos batolíticos; rochas alcalino-ultrabásicas em complexos circulares; kimberlitos; lavas ultrabásicas; nódulos ultrabásicos e rochas ultrabásicas e ultramáficas metamórficas e metassomáticas.

Uma classificação tectônica para os complexos máfico-ultramáficos foi proposta por Den Tex (1969), o qual os reuniu em dois grandes grupos, quais sejam: complexos não orogênicos ou estratiformes e complexos orogênicos ou alpinos (reunindo complexos ofiolíticos e peridotíticos de zonas profundas).

Outra classificação que enfoca o modo de intrusão e a cristalização dos magmas, foi sugerida por Thayer & Jackson

(1972), na qual são definidos três conjuntos:

- a. Corpos autigênicos - cristalização "in situ"
- b. Corpos póligênicos - cristalização parcial "in situ", sendo afetados por cristalização e diferenciação em outros locais, em função da movimentação do magma e das épocas diferentes.
- c. Corpos alogênicos - cristalização do magma e posterior transporte já como agregados cristalinos ("mush").

Naldrett & Cabri (1976) classificaram os Complexos Máfico-Ultramáficos, em função de seu "emplacement" em dois tipos principais: complexos em áreas orogênicas ativas e complexos em áreas estáveis. No primeiro tipo são incluídos os corpos contemporâneos ao vulcanismo eugeossinclinal, os corpos alpinos e os complexos tipo Alaska. Para o segundo tipo acham-se agrupados os grandes complexos estratiformes, sills e lavas equivalentes a lavas basálticas, intrusões de tamanho médio a pequeno e intrusões ultramáfico-alcalinas e pipes kimberlíticos.

Baseado principalmente nesta última classificação, Berbert (1977) e Nilson (1984) fizeram duas propostas para os complexos máfico-ultramáficos brasileiros. Berbert definiu seis grupos: dunitos e peridotitos serpentinizados do tipo Alpino - Morro Feio; associação gabro-piroxenito-peridotito em grandes maciços do tipo Niquelândia; associação piroxenito-gnaisses gábricos do tipo Goianira-Trindade; complexos estratiformes; associação dunito-piroxenito-sienito alcalino, diques de lamprófiros e pipes kimberlíticos e complexos de classificação incerta. A classificação proposta por Nilson (1984), baseado em Naldrett (1981), já apresenta uma relação entre as ultramáficas e a evolução geológica da região. Assim, sua classificação abrange quatro tipos principais de complexos:

- a. Corpos máfico-ultramáficos sinvulcânicos em greenstone belts e em sequências vulcano-sedimentares de formadas: tipo komatiítico e tipo toleítico
- b. Complexos máfico-ultramáficos em terrenos granito-gnáissicos: pequenos corpos acamadados e metamorfi

sados e corpos acamadados metamorfisados em terrenos granulíticos

- c. Corpos máfico-ultramáficos em sequências dominante mente metassedimentares de faixas dobradas: sills e pequenas intrusões acamadadas e corpos de serpentin ito alojados tectonicamente
- d. Intrusões acamadadas em áreas cratônicas: intrusões de grandes dimensões associadas ou não a basaltos toleíticos continentais e intrusões de dimensão média a pequena.

Utilizando-se estas classificações, os corpos ultramáficos existentes na área pesquisada não se enquadram perfeitamente em nenhuma das classes, fato que será abordado neste Capítulo.

IV.4.2. Quimismo dos maciços estudados

Apesar das dificuldades, devido ao grau de alteração das rochas, tentou-se avaliar o quimismo dos principais tipos petrográficos constituintes dos maciços estudados. Desta forma foi possível selecionar e analisar um total de 22 amostras, das quais 13 correspondem ao corpo de Santa Cruz (Tabela 1) e 9 se relacionam ao corpo de Santa Maria (Tabela 2). Convém lembrar também que no caso do corpo de Santa Maria, o qual foi pesquisado através de sondagens rotativas verticais, dispostas em malha quadrada com 100 metros de espaçamento, não se pode assegurar que todos os tipos petrográficos tenham sido estudados. O grande problema é que praticamente não existem afloramentos entre as sondagens realizadas, ou quando existem estão em elevado estado de alteração. Deve-se reconhecer que alguma unidade menos representativa, em termos areais, pode aparecer com trabalhos de maior detalhe, haja vista o caso dos metanortositos de Santa Cruz.

De modo geral, os metadunitos e metaperidotitos serpentizados apresentam teores em SiO_2 , Al_2O_3 e CaO mais baixos que os termos mais básicos. O MgO tem comportamento inverso, sendo que decresce em direção aos termos mais diferenciados.

Amostra	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fet	MgO	CaO	NiO	Cr ₂ O ₃	TOTAL	Unidade Li tológica
IPN 135	10,60	40,30	1,54	6,19	36,93	0,12	1,85	0,32	97,85	metadunito
C 2(16)	12,25	41,12	0,83	9,51	32,62	0,30	0,34	0,92	97,89	metadunito
E 4(15)	11,91	44,68	0,85	7,43	33,36	0,31	0,26	0,63	99,43	metadunito
F 3(14)	10,83	42,31	0,64	7,91	36,21	0,59	0,30	1,20	99,99	metaperidotito
F 4(15)	11,12	39,90	2,00	8,95	35,79	0,96	0,37	0,87	99,96	metaperidotito
SC 03a	13,02	41,70	1,10	6,72	31,00	0,85	1,28	0,64	96,31	metaperidotito
G5/H6(10)	10,36	46,28	1,00	6,27	30,01	0,70	1,10	0,44	96,16	metaperidotito
J7J8/J7(9)	9,65	49,08	1,11	8,32	27,64	1,73	0,52	0,41	98,51	metaperidotito
IPN 01/b	6,63	18,30	17,55	10,48	21,70	0,56	1,00	19,85	96,07	cromitito
G 5(13)	11,36	50,60	4,20	7,08	22,65	3,32	0,43	0,20	99,84	metapiroxenito
NAn 01	5,15	52,90	3,82	6,48	25,13	3,35	0,28	0,25	97,36	metapiroxenito
IPN 21/1	4,38	51,60	3,40	3,86	26,82	7,12	0,03	0,01	97,22	metagabro
IPN 01/1	1,83	47,07	15,72	7,65	10,57	13,96	0,02	0,01	98,66	metanortosito

TABELA 1 - Análises químicas efetuadas para rochas correspondentes às unidades litológicas que compõem o maciço de Santa Cruz

NOTAS: -As amostras IPN 135, SC 03a, IPN 01/b, NAn 01, IPN 21/1 e IPN 01/1 são relativas a frações de afloramentos. As demais amostras correspondem a meta-des de testemunhos de sondagem, sendo que entre parênteses aparece representada sua profundidade em metros

-Para localização das mesmas, observar Anexo 2.

Amostra	P.F.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fet	MgO	CaO	NiO	Cr ₂ O ₃	TOTAL	Unidade <u>li</u> tológica
IPN 16/1	13,56	41,75	4,97	4,97	30,42	4,46	0,28	0,38	97,95	metaperidotito
IPN 16/4	12,68	43,60	3,20	6,05	26,25	3,15	0,83	0,35	96,11	metaperidotito
H 2(10)	12,99	43,90	2,07	5,93	30,00	1,63	0,70	0,32	97,54	metaperidotito
F 8(13)	11,34	44,70	6,22	8,60	23,75	4,04	0,53	0,18	99,36	metaolivinapiroxenito
IPN 16/2	9,15	48,17	3,39	5,38	38,37	4,88	0,24	0,25	99,73	metapiroxenito
H 6(37)	6,78	49,90	3,11	4,26	32,30	0,87	0,15	0,10	97,47	metapiroxenito
F 4(15)	12,74	49,95	4,76	7,00	20,00	4,14	0,98	0,27	99,84	metapiroxenito
H 8(9)	12,84	50,13	3,74	7,73	20,23	3,88	0,70	0,23	99,48	metapiroxenito
IPN 16/3	10,50	50,26	5,00	5,66	20,05	5,00	1,00	0,40	97,87	metapiroxenito

TABELA 2 - Análises químicas realizadas para rochas corresponden
tes às unidades litológicas que compõem o Maciço de
Santa Maria

NOTAS: - As amostras IPN 16/1, IPN 16/2, IPN 16/3 e IPN 16/4 são
relativas a frações de afloramentos. As demais amostras
correspondem a testemunhos de sondagem, sendo que entre
parênteses aparece representada sua profundidade em me
tros

- Para localização destas amostras ver Anexo 3

O ferro já apresenta grande variabilidade em termos da distribuição nos diferentes tipos petrográficos encontrados, sendo que se registrou uma queda de Fe total nos metagabros, mas que no entanto se elevou, atingindo os níveis encontrados nos dunitos e peridotitos serpentinizados, na unidade anortosítica. Isto pode ser explicado pela concentração elevada em titano-magnetita nesta última litologia.

A relação $\text{FeO}/\text{FeO} + \text{MgO}$ nos metadunitos e metaperidotitos serpentinizados é de 0,06, ao passo que nos metapiroxenitos serpentinizados passa para 0,08, nos metagabros para 0,10 e atinge valores mais elevados nos metanortositos, onde alcança 0,34.

As Figuras 12 e 13 para o maciço de Santa Cruz e as Figuras 14 e 15 para o maciço de Santa Maria, com base no quimismo das rochas estudadas e analisadas, mostram que os corpos apresentam diferenciação e que são bastante magnesianos.

Dos elementos menores, o níquel apresenta distribuição muito irregular, entretanto se concentra mais na unidade dunito-peridotítica, que se justifica pela sua associação às olivinas e aos ortopiroxênios, como também aos minerais neoformados pelo metamorfismo, notadamente as serpentinas. Devem ser registrados os elevados teores encontrados na unidade piroxenítica (corpo de Santa Maria), que inclusive apresenta valores acima da média para os metawebsteritos ricos em clinopiroxênios (Amostra IPN 16/3). Nas unidades mais diferenciadas, os teores são mais baixos. O cromo apresenta os teores mais elevados nos metadunitos e metaperidotitos serpentinizados, culminando com concentrações elevadas no topo da unidade harzburgítica. Neste ponto (Afloramento IPN 01/b - Santa Cruz) já se encontra uma camada com cerca de 65% de cromo-espinélio, a qual apresenta teor de 19,85% em Cr_2O_3 . Nos metapiroxenitos o teor decresce novamente, ficando cada vez mais baixo nas unidades básicas.

A Figura 16 mostra o diagrama onde estão representados os campos de variação química apresentados pelas rochas do Maciço de Santa Cruz, em função da porcentagem catiônica de Mg-Ca-Fe. É feita aí uma comparação com o mesmo campo de variação apresentado pelas litologias que compõem os Complexos Estratifor

LEGENDA

- — PERIDOTITO SERPENTINIZADO
- ▲ — METAPIROXENITO
- — METAGABRO
- ◆ — METANORTOSITO

NÚMERO TOTAL DE AMOSTRAS: 12

FIGURA 12 — DIAGRAMA $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$, PARA ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA CRUZ MOSTRANDO TREND DE DIFERENCIAÇÃO MAGMÁTICA (----).

LEGENDA

- — PERIDOTITO SERPENTINIZADO
- ▲ — METAPIROXENITO
- — METAGABRO
- ◆ — METANORTOSITO

NÚMERO TOTAL DE AMOSTRAS = 12

FIGURA 13 — DIAGRAMA Al_2O_3 — $\text{Fet}_{\text{total}}$ — MgO PARA AS ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA CRUZ MOSTRANDO TREND DE DIFERENCIAÇÃO MAGMÁTICA (----)

LEGENDA

- — PERIDOTITO SERPENTINIZADO
 ▲ — METAPIROXENITO

NÚMERO TOTAL DE AMOSTRAS : 9

FIGURA 14 — DIAGRAMA $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ PARA ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA MARIA MOSTRANDO TREND DE DIFFERENCIAÇÃO MAGMÁTICA (----).

LEGENDA

- — PERIDOTITO SERPENTINIZADO
 ▲ — METAPIROXENITO

NUMERO TOTAL DE AMOSTRAS : 9

FIGURA 15 — DIAGRAMA Al_2O_3 — Fetotal — MgO PARA ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA MARIA MOSTRANDO TREND DE DIFERENCIAÇÃO MAGMÁTICA (---)

mes de Bushveld (África do Sul) e Skaergaard (Groenlândia), através de dados extraídos de Bowes et alii (1970). Pode-se observar que o campo composicional apresentado pelas amostras de Santa Cruz mostra uma variação distinta, quando confrontado com os Complexos de Bushveld e Skaergaard.

Para o caso de Santa Maria já se tem uma pequena compatibilidade entre o campo de variação destas rochas com aquele apresentado pelo Complexo de Bushveld. Entretanto deve-se ressaltar que foram analisadas apenas 9 amostras deste maciço (Figura 17).

Desta forma tentou-se complementar a análise do quimismo destes complexos através de comparações com os complexos máfico-ultramáficos tipo alpino. Na Figura 18 é feita uma comparação entre o quimismo das rochas que compõem o Maciço de Santa Cruz com aqueles apresentados por litologias constituintes de sequências cumuláticas de complexos ofiolíticos, onde se utilizaram dados apresentados por Coleman (1977). Pode-se observar que as amostras analisadas de Santa Cruz apresentam campo de variação similar ao apresentado por complexos ofiolíticos, onde a maior parte das amostras se concentram no polo magnesiano. As unidades litológicas pertencentes a este complexo ficam desta forma situadas no campo dos peridotitos metamórficos, e apresentam ligeira penetração no campo dos cumulos ultramáficos de ofiolitos.

Para o Maciço de Santa Maria, onde era de se esperar um comportamento similar, todas as amostras analisadas situam-se no campo dos cumulos ultramáficos de sequências ofiolíticas (Figura 19).

Foi também utilizado o gráfico Conteúdo em Cr_2O_3 x Conteúdo em NiO (Figura 20), objetivando da mesma forma estabelecer considerações sobre o quimismo e a origem dos complexos máfico-ultramáficos estudados. Este gráfico permite com que seja feita distinção entre suítes correspondentes a complexos tipo alpino e tipo estratiforme, conforme mostrado por Malpas & Stevens (1979).

Pode-se observar que praticamente todas as amostras

LEGENDA

- — PERIDOTITO SERPENTINIZADO
- ▲ — METAPIROXENITO
- — METAGABRO
- ◆ — METANORTOSITO

FIGURA 16 — CAMPO DE VARIAÇÃO QUÍMICA EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM CATIONICA Mg—Ca—Fe PARA AMOSTRAS DO MACIÇO DE SANTA CRUZ COM PARADO COM O CAMPO DE COMPOSIÇÃO DAS ROCHAS DO COMPLEXO DE BUSHVELD (—) E SKAERGAARD (---).

(EXTRAÍDO DE BOWES ET ALII, 1970).

LEGENDA

- — PERIDOTITO SERPENTINIZADO
 Δ — METAPIROXENITO

FIGURA 17 — CAMPO DE VARIAÇÃO QUÍMICA EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM CATIÔNICA Mg—Ca—Fe PARA AMOSTRAS DO MACIÇO DE SANTA MARIA COMPARADO COM O CAMPO DE COMPOSIÇÃO DAS ROCHAS DO COMPLEXO DE BUSHVELD(—) E SKAERGAARD(— —) (EXTRAÍDO DE BOWES ET ALII, 1970).

LEGENDA

- — PERIDOTITOS SERPENTINIZADOS
- ▲ — METAPIROXENITO
- — METAGABRO
- ◆ — METANORTOSITO
- A — PERIDOTITOS METAMÓRFICOS DE OFIOLITOS
- B — CUMULATOS ULTRAMÁFICOS DE OFIOLITOS
- C — CUMULATOS MÁFICOS DE OFIOLITOS

FIGURA 18 — CAMPO DE VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DAS ROCHAS DOS MACIÇOS DE SANTA CRUZ COMPARADO COM AQUELE APRESENTADO POR CUMULATOS MÁFICOS E ULTRAMÁFICOS DE COMPLEXOS OFIOLÍTICOS (COLEMAN, 1977).

LEGENDA

- — PERIDOTITO SERPENTINIZADO
- — METAPIROXENITO
- A — PERIDOTITOS METAMÓRFICOS DE OFIOLITOS
- B — CUMULATOS ULTRAMÁFICOS DE OFIOLITOS
- C — CUMULATOS MÁFICOS DE OFIOLITOS

FIGURA 19 — CAMPO DE VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DAS ROCHAS DO MACIÇO DE SANTA MARIA COMPARADO COM AQUELE APRESENTADO POR CUMULATOS MÁFICOS E ULTRAMÁFICOS DE COMPLEXOS OFIOLÍTICOS (COLEMAN, 1977).

MACIÇO DE
STA CRUZ

MACIÇO DE
STA MARIA

ROCHAS

METADUNITO E METAPERIDOTITO SERPENTINIZADOS

METAPIROXENITO SERPENTINIZADO

METAGABRO

METANORTOSITO

FIGURA 20 — GRÁFICO Cr₂O₃ x NiO PARA AS ROCHAS QUE COMPÕEM OS MACIÇOS DE SANTA CRUZ E SANTA MARIA PLOTADAS NOS CAMPOS DOS COMPLEXOS TIPO ALPINO E DOS COMPLEXOS ESTRATIFORMES. (SEGUNDO MALPAS & STEVENS, 1979).

do maciço de Santa Maria ficam localizadas no campo dos peridotitos tipo alpino. Já, Santa Cruz apresenta um comportamento diferente, onde parte das amostras correspondentes aos metadunitos e metaperidotitos serpentinizados, bem como os termos mais diferenciados (metagabros e metanortositos) ficam localizados no campo dos complexos estratiformes. As amostras de metapiroxenitos, bem como alguns metaperidotitos já ficam totalmente contidas no campo correspondente aos peridotitos tipo alpino.

Sumarizando, a análise das litologias e do quimismo das rochas que compõem os dois maciços indica, apesar de algumas semelhanças, que os mesmos se constituíram de duas intrusões distintas, com evoluções ígneas próprias, mas que sofreram processos metamórficos similares. Inclusive alguns equivalentes metamórficos são comuns a ambos os maciços e apresentam estrutura e textura semelhantes, caso principalmente dos metaperidotitos e metaortopiroxenitos serpentinizados.

IV.4.3. Origem dos Maciços

Apesar da grande similaridade entre os maciços de Santa Cruz e Santa Maria, há uma série de características marcantes e distintas, as quais aparecem ilustradas na Tabela 3.

As relações de contato entre os corpos metaultramáficos serpentinizados e os gnaisses encaixantes não puderam ser verificadas, entretanto tudo indica que a maior parte dos contatos é de natureza tectônica. Na extensão sul do corpo de Santa Cruz, tentou-se estudar a relação de contato entre os serpentinitos e os biotita e/ou hornblenda gnaisses, mas não foi possível, em virtude da espessa cobertura de solo. Através dos dados de sub-superfície, verificou-se que próximo deste contato (borda sul do corpo) são encontrados xistos básicos, tais como: clorita-tremolita xistos e clorita xistos. Normalmente estas rochas foliadas são encontradas em zonas de falhas e/ou fraturas, apresentam muitas vezes formas filonares e ocupam áreas limitadas nos maciços. Estas rochas foram melhor caracterizadas nas amostras coletadas nos poços de pesquisa, conforme apresentado na Figura 11, onde é mostrado o perfil do poço PSC-04 do Maciço de Santa Cruz (exten-

CARACTERÍSTICAS	SANTA CRUZ	SANTA MARIA
Variação litológica	dunitos a anortositos	dunitos a pirox <u>e</u> nitos
rochas predominantes	metadunitos e metape- ridotitos serpentini- zados	metaperidotitos e metapiroxe <u>ni</u> - tos serpentiniz.
granulação predomi <u>na</u> te	média a fina	grossa
cisalhamento	pequeno, com maior in <u>te</u> nsidade nas bordas	intenso por todo corpo
conteúdo em opacos	localmente elevado	baixo
conteúdo em espinélio aluminosos	baixo	elevado
conteúdo em cromo-es- pinélio	elevado	praticamente au- sente
teor em CaO e MgO	mais magnesiano e me <u>n</u> os cálcico	mais cálcico e menos magnesiano
teor em Al_2O_3	baixo a médio	médio a elevado
teor em TiO_2	médio a elevado	baixo

TABELA 3 - Principais características distintas entre os maciços de Santa Cruz e Santa Maria.

são sul).

De modo geral, onde foi possível verificar, notou-se uma ligeira variação na granulação dos serpentinitos, os quais tem tendência a apresentar granulação mais fina nas proximidades da zona de contato. Grande parte desta variação na granulação se relaciona ao cisalhamento, ao qual os corpos foram submetidos, que desta forma exibem a intensidade variável do grau de deformação. Notadamente, as bordas nordeste e leste do corpo de Santa Cruz exibem feições cataclásticas, onde as rochas apresentam forte orientação, dada principalmente pelo alinhamento dos cristais e fragmentos de ortopiroxênios e hornblendas pargasíticas e/ou pargasitas.

Thayer (1960) apresenta a comparação entre uma série de características de complexos tipo estratiforme e alpino. Dentre estas características discutidas, pode-se perceber que os Maciços de Santa Cruz e Santa Maria apresentam similaridade com os dois tipos de complexos.

No caso do Complexo tipo estratiforme deveriam ser encontradas rochas de bordas de resfriamento ("chilled margins"), que parecem estar ausentes, provavelmente em função das transformações metamórficas pelas quais os corpos passaram. Entretanto, nos complexos tipo alpino este contato normalmente é brusco. Apesar de não se ter dados que permitam afirmar com segurança absoluta, o corpo de Santa Maria parece apresentar forma lopolítica, típica de complexos estratiformes. Por outro lado, em Santa Cruz, a forma do corpo não pode ser bem conhecida, contudo o maciço apresenta uma progressão regular de suas unidades, partindo dos dunitos em sua base em direção aos gabros e anortositos no topo.

Ambos os maciços, Santa Cruz e Santa Maria, embora tectonicamente deformados e serpentinizados, preservam algumas feições reliquias que permitem atribuir-lhes um caráter intrusivo. Entretanto, observações de campo que mostram este caráter intrusivo, não foram registradas, haja vista a escassa quantidade de afloramentos, à exceção da área que foi minerada, além do que as rochas geralmente apresentam elevado estado de alteração. Mesmo assim, algumas amostras estudadas apresentam porções que exibem textura reliquiar ígnea, que é sugerida pelo fato de se

encontrar cumulos de olivina com ortopiroxênio intercúmulus. Esta interpretação incide na preservação de textura cumulática. Tal hipótese fica reforçada também pelo fato de se encontrar em várias amostras, bandamento rítmico preservado. Desta forma é bastante sugestiva a origem ígnea para os maciços estudados, onde este acamamento reliquiar representa diferenciação magmática de corpos intrusivos.

Com relação à estrutura, ambos os corpos apresentam-se bastante foliados, e existe um contraste limitado entre as unidades que compõem o maciço, onde às vezes se observam interdigitações ou mesmo contatos abruptos. Esta é uma feição mais comumente encontrada em complexos tipo alpino, muito embora o tectonismo imposto aos maciços estudados possa ter contribuído para o aparecimento desta feição.

Em termos composicionais, ambos os corpos pesquisados, apresentam mineralogia distinta entre si, porém os dois possuem características de complexos estratiformes e alpinos. Santa Cruz apresenta os peridotitos passando para gabros, através de rochas piroxeníticas, mas entretanto na porção ultramáfica olivina é sempre predominante. Santa Maria por sua vez apresenta apenas peridotitos passando para piroxenitos, estes últimos em grande quantidade no maciço, onde piroxênio sempre ocorre predominando sobre olivina. Apesar do pequeno número de análises químicas realizadas, em ambos os maciços, pode se observar que existe um trend de enriquecimento em ferro, compatível com a evolução de processo de cristalização fracionada (Tabelas 1 e 2). Por outro lado, a relação MgO/FeO para os dois maciços é relativamente alta, e desta forma apresentam semelhança com Complexos Tipo Alpino.

Com relação à presença de diques básicos, que são comuns e numerosos em complexos tipo alpino, não são verificados com frequência nos corpos estudados. Apenas em Santa Cruz, raros diques de composição piroxenítica e gábrica são observados cortando a porção peridotítica. Algumas frações da porção piroxenítica do maciço de Santa Maria, apresentam veios de material com elevado conteúdo em serpentina, que devem representar antigos diques de composição dunito-peridotítica, que cortam esta unidade.

Isso aparece ilustrado nas Figuras 41, 46 e 47, relativas às sondagens F-8, L-0 e L-6. Adicione-se a isso ainda a ausência de termos mais básicos, tais como doleritos, dioritos e a inexistência de derrames basálticos e também de cobertura sedimentar (Angeli & Choudhuri, 1985). Como a área estudada apresenta evolução policíclica/polifásica, além da atuação de processos erosivos, torna-se difícil que estas características estejam preservadas.

Finalmente com relação aos depósitos de cromita associados aos complexos estratiformes e alpinos, apenas Santa Cruz apresenta leitos maciços de cromita. São três camadas bastante regulares, que apresentam concentração de espinélio cromífero, o qual possui granulação oscilando em torno de 1mm. Os cristais de cromo-espinélio são subhedrais, entretanto encontram-se fraturados e cortados por serpentina e dispersos em matriz rica em serpentina e clorita. As camadas de cromita acham-se posicionadas na unidade peridotítica (metaharzburgitos serpentinizados), apresentam espessuras que variam de 10cm a 1,5 metros (conforme observado na Foto 10), e desta forma possuem grande similaridade com os depósitos de cromita de complexos estratiformes.

Vale registrar também que magnetita titanífera e ilmenita são frequentemente encontradas em depósitos estratiformes, fato que ocorre, apesar de localizadamente, no Maciço de Santa Cruz.

Em vista de todos os dados até aqui apresentados e discutidos, uma classificação para estes maciços pode ser proposta. Apesar do pequeno volume de dados disponíveis, Santa Cruz possui uma tendência maior convergindo para Complexo do Tipo Estratiforme. Deve-se admitir que existem algumas características de tipo alpino, que entretanto devem em grande parte serem devidas à evolução geológica da região como um todo. Assim, este maciço deve corresponder a um complexo estratiforme pré-brasiliano, que foi submetido a processos de deformação e metamorfismo, o que consequentemente resultou na obliteração e no desaparecimento de uma série de feições primárias relacionadas a este tipo de complexo.

Santa Maria, principalmente em função dos dados disponíveis e por apresentarem apenas unidades litológicas relaciona-

das a metaperidotitos e metapiroxenitos, torna difícil a opção por um tipo de complexo. Entretanto, devido ao tectonismo sofrido pelo maciço, sua distância com relação ao corpo de Santa Cruz, sua forma lopolítica e o contexto geológico regional, Santa Maria deve corresponder igualmente a um complexo do tipo estratiforme.

CAPÍTULO V

EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA MAPEADA

Com base nas unidades litológicas descritas no Capítulo III, e nos tipos de complexos metamáfico-ultramáficos existentes na Folha mapeada, aliados ao conhecimento geológico já existente, será iniciada a discussão do presente Capítulo. Aqui se pretende apresentar e analisar os dados estruturais, as demais ocorrências minerais encontradas e os resultados geocronológicos obtidos nesta pesquisa.

Para que a evolução geológica da Folha Ipanema possa ser estabelecida será feita uma apresentação mais abrangente, com o sentido de se entender a área dentro de uma evolução geológica regional.

V.1. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Em função dos objetivos deste trabalho, não foi realizada uma pesquisa sistemática das estruturas presentes na área. Entretanto, devido ao volume de dados obtidos, que são apresentados no mapa geológico (Anexo 1), pode-se tecer uma série de considerações sobre a estruturação da área estudada.

As linhas de forma estrutural, que delineam o trend das estruturas, exibem uma configuração ondulada, adaptada a lentes regulares e uniformes, as quais apresentaram um comportamento mais competente, quando da deformação. Encontram-se ondulações também na própria foliação milonítica (NNE), conformadas às lentes, que representam porções rochosas mais homogêneas e menos cisalhadas poupadas do cisalhamento mais efetivo. Na realidade estas porções se encontram boudinadas e estiradas e apresentam composição mineralógica similar às porções mais deformadas. Este aspecto de lenticularização é semelhante ao exibido em trabalhos de Sibson (1977) e de Coward (1980), que mostram que as zonas de cisalhamento se alargam com o aumento da profundidade. Isto origina o desenvolvimento de zonas conjugadas, as quais aparecem contornando áreas menos deformadas. Outro fato comumente encon-

trado nas zonas mais cisalhadas, é o aparecimento de porções com aspecto xistoso, onde se tem alternância de leitos micáceos e bandas quartzosas. Este aspecto ocorre principalmente devido ao estiramento progressivo dos cristais em regiões de cisalhamento dúctil, conforme mostrado por vários autores (Myers, 1978; Berthé et alii, 1979; Simpson, 1983 e Vernon et alii, 1983).

A nível local, este cisalhamento é evidenciado pelo aparecimento de uma série de estruturas distintas, que se relacionam às características do material deformado. Desta maneira, pode-se encontrar por exemplo: dobras isoclinais cerradas nos hornblenda gnaisses, bem como dobras desarmônicas nos biotita gnaisses e gnaisses kinzigíticos. Estas dobras geralmente ocorrem em escala de afloramento e não apresentam expressão lateral e tampouco areal. Isto confirma a hipótese de que foram gerados pelo mesmo processo, e que apresentam íntima relação com a litologia que foi deformada. Ainda, relacionado a este fato, algumas dobras foram estudadas com detalhe, especialmente as dobras isoclinais cerradas, que foram tratadas pelo método das isôgonas (Ramsay, 1967). A dobra apresentada na Figura 21 como as demais estudadas, pertence à classe 3, o que indica grande intensidade de deformação e alto estado de plasticidade da rocha, relacionando-se ao nível estrutural inferior (Allegre & Mattauer, 1972) em condições de metamorfismo de médio a alto grau (fácies do anfibolito superior até granulito). Na descrição das unidades litológicas (Capítulo III) pode-se observar que é frequente a existência de porções gnáissicas migmatizadas, o que vem mostrar que o cisalhamento dúctil ocorreu sob elevadas condições de temperatura. Muitas das grandes linhas de descontinuidade observadas no mapa geológico apresentam-se arqueadas, o que também é aspecto indicativo do processo de deformação dúctil.

As rochas ultramáficas, da mesma forma que os gnaisses, apresentam dobras fechadas a isoclinais (Figura 22 a e b), que também pertencem à Classe 3. Assim a interpretação que pode ser dada é a de magmatismo pré-cisalhamento, indicando que a deformação e a recristalização atingiram praticamente todo o complexo máfico-ultramáfico. A associação mineralógica apresentada no Capítulo IV apoia esta hipótese, onde se tem: intensa recrís-

PONTO	α	$T\alpha(\text{cm})$	$T'\alpha(\text{cm})$	$t'\alpha$
1	20°	2,43	1,02	0,96
2	$73^\circ 30'$	1,90	0,80	0,23
3	69°	2,12	0,89	0,32
4	55°	2,40	1,01	0,58

$$T'\alpha = \frac{T\alpha}{T_0}$$

$$T_0 = 2,38 \text{ cm}$$

FIGURA 21—DOBRA ISOCLINAL CERRADA ENCONTRADA EM BIOTITA-HORNBLENDA GNAISSE NA LOCALIDADE DE SANTA CRUZ, QUE FOI SUBMETIDA A TRATAMENTO PELO MÉTODO DAS ISÓGONAS.

FIGURA 22 a e b — METAPERIDOTITOS SERPENTINIZADOS EXIBINDO DOBRAMENTOS ISOCLINAIS CERRADOS. MACIÇO DE SANTA CRUZ. (REPRODUÇÃO A PARTIR DE FOTOGRAFIAS DO AFLORAMENTO IPN — 135).

talização das rochas ultramáficas; aparecimento de espinélios aluminosos; presença de titano-magnetitas; cromita bastante aluminosa; recristalização das clivinas e piroxênios e foliação dos serpentinitos concordante com a dos gnaisses encaixantes. A própria forma dos corpos estudados, elíptica, mostra que os mesmos se apresentam lenticularizados, tanto em superfície quanto em profundidade, conforme pode ser observado na Figura 52 para o corpo de Santa Maria.

O trend regional da foliação das rochas, mais especificamente dos gnaisses, apresenta atitudes bastante variáveis, o que é comumente encontrado em cinturões de cisalhamento dúctil. Apresentam direções variando entre N-S e N30E, faixa esta correspondente à intervalo encontrado com maior frequência, entretanto direções com valores mais elevados, bem como medidas no quadrante noroeste são também encontradas. O mergulho varia em média de 20 a 50° para E ou SE. Da mesma forma se tem porções com baixo mergulho (10 a 20°), como também com elevado mergulho (70° a vertical) mas que invariavelmente apresentam orientações voltadas para o quadrante oeste. Assim, com a análise da forma estrutural observa-se que o conjunto de estruturas se ajusta a uma sucessão de ondulações, as quais se relacionam à conformação da foliação milonítica às lentes. Cabe ressaltar, que grande parte dos elevados ângulos de mergulho situam-se na porção leste da área mapeada, nas proximidades do contato entre a unidade gnáissica e as rochas pertencentes à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum, as quais parecem assim terem afetado a atitude original da foliação metamórfica na região.

Em resumo, a distribuição das atitudes da foliação mostra que existem ondulações, conforme demonstrado no mapa geológico (Anexo 1). Nas lentes menos deformadas ocorrem dobras intrafoliais (Figura 23), que são comumente encontradas na área pesquisada. Por outro lado, nas faixas mais cisalhadas ocorrem porções que apresentam transposição e em algumas situações boudinage. Pequenas dobras exibindo transposição são mostradas na Figura 23, em rochas da unidade biotita e/ou hornblenda gnaisses.

Outra feição estrutural observada na área estudada, e que geralmente se associa a unidade quartzítica, corresponde a

FIGURA 23 — BIOTITA GNAISSE EXIBINDO DOBRAS IN-
TRAFOLIAIS INDICANDO TRANSPOSIÇÃO DA
ANTIGA FOLIAÇÃO.
REPRODUÇÃO A PARTIR DE FOTOGRAFIA
DO AFLORAMENTO IPN-51.

FIGURA 24 — AFLORAMENTO DA UNIDADE QUARTZÍTICA EXIBINDO DOBRAS
HARMÔNICAS SUAVES (IPN-63, PROXIMIDADES DE ALEGRIA).

dobras harmônicas suaves. Os eixos destas dobras são bastante variáveis e em média apresentam direção N-S com caimento de até 30° S. Como no caso dos gnaisses, não se observa aqui uma continuidade e persistência destas dobras, as quais provavelmente devem se associar ao mesmo evento cisalhante (Figura 24).

No mapa geológico (Anexo 1) pode-se observar que a foliação mais conspícua exibida pelas rochas gnaissicas é concordante com a foliação existente nas demais unidades metamórficas. Desta forma apresentam atitude média situada em torno de $N10^{\circ}E\ 40^{\circ}SE$. Entretanto, notadamente nos quartzitos, fica evidente a atuação de uma nova fase deformacional, que causa redobramento daquela foliação pré-existente, de onde surgem ondulações voltadas para WNW. Esta nova fase de deformação causou arqueamentos na estruturação antiga e provocou o surgimento de padrões de interferência tipo domo e bacia (Ramsay, 1967). Estas feições são observáveis principalmente na unidade quartzítica, em escala de afloramento, como por exemplo na região de Alegria (porção oeste da área estudada). Na Figura 25 é apresentado o diagrama Schmidt Lambert, onde foi realizada contagem de 326 medidas de foliação na unidade gnáissica (biotita e/ou hornblenda gnaisses), podendo-se observar que a orientação preferencial da foliação encontra-se dobrada. A distribuição dos polos de foliação reflete um suave redobramento com eixo apresentando direção aproximada E-W com mergulho de 45° para leste. Da mesma maneira foi realizado um tratamento individualizado para as rochas metassedimentares (gnaisses kinzigíticos e quartzitos), e o resultado obtido foi praticamente similar, ou seja o eixo desta fase de dobramento apresenta direção $N70^{\circ}W$ com caimento de $42^{\circ}SE$ (Figura 26). Possivelmente este evento deformacional se relacione à colocação da associação de rochas pertencentes à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum, como também ao metamorfismo de baixo grau (fácies do xisto verde), que afetou as rochas pré-brasilianas.

Falhamentos realmente verificados, com ocorrência de protomilonitos e milonitos são restritos, bem como zonas de falha deslocando unidades litológicas são raríssimas, senão ausentes. Desta forma, para a maior parte dos lineamentos estruturais observados em fotografias aéreas, optou-se pela denominação de linea-

FIGURA 25 — DIAGRAMA SCHMIDT LAMBERT MOSTRANDO AS CONCENTRAÇÕES DOS PÓLOS DE FOLIAÇÃO (CURVAS DE FREQUÊNCIA) DA UNIDADE BIOTITA E/OU HORNBLENDA GNAISSES.

FIGURA 26 — DIAGRAMA SCHMIDT LAMBERT MOSTRANDO AS CONCENTRAÇÕES DOS PÓLOS DE FOLIAÇÃO (CURVAS DE FREQUÊNCIA) DA UNIDADE METASSEDIMENTAR (GNAISSES KINZIGÍTICOS E QUARTZITOS).

mentos fotogeológicos. A grande maioria destes lineamentos parece se relacionar a falhas, e ocorre em muitos casos, em parte dos limites entre rochas granitóides pertencentes à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum e os gnaisses, bem como várias porções dos contatos das lentes quartzíticas. Estas falhas verificadas, bem como os lineamentos fotogeológicos apresentam duas direções preferenciais de orientação, uma delas variando entre N50W e N70W e a outra ortogonal a esta, de direção N50E a N70E. Mais raramente são encontradas falhas e lineamentos estruturais com direção variando entre N20W e E-W. Também relacionadas à tectônica rúptil ocorrem faixas cataclásticas, representadas por gnaisses cataclasados e gnaisses porfiroblásticos cataclásticos, que se encontram associados a uma etapa de metamorfismo de baixo grau. Esta fase deformacional representa com certeza um evento mais recente que o cisalhamento dúctil descrito anteriormente.

V.2. GEOLOGIA ECONÔMICA

Serão abordados de forma sumária os principais recursos minerais existentes na área pesquisada. Alguns deles são apenas indícios ou ocorrências, ao passo que pequenos depósitos e até mesmo jazidas, caso específico do níquel, são encontrados (para localização, ver Anexo 1). Como o enfoque principal deste trabalho se relaciona às concentrações de níquel laterítico, uma discussão detalhada destes depósitos será mostrada nos capítulos seguintes.

Argila

Há poucos depósitos de argila expressivos na área, sendo que a maior parte dos mesmos situa-se nos aluviões do Rio José Pedro. A espessura média destes depósitos situa-se em torno de 2 metros, ocorrendo em certas áreas espessuras que ultrapassam os 5 metros. Um destes depósitos vem sendo explorado há mais de uma década e situa-se nas proximidades da zona urbana de Ipanema, próximo da saída para Mutum, onde explora-se argila para a fabricação de tijolos, com produção de 6000 peças por dia.

Areia

Os depósitos de areia lavrados na área pesquisada, assim como as argilas, se restringem às aluviões. Os dois maiores rios que atravessam praticamente toda a Folha Ipanema, quais sejam os rios Manhuaçu e José Pedro apresentam potencial para areia. A espessura dos depósitos varia entre 2 e 7 metros, e normalmente são explotados intermitentemente. A principal utilização deste bem mineral se destina à construção civil.

Água Marinha

Água marinha ocorre em alguns corpos pegmatíticos, e já foi lavrada por garimpagem na região do Turvo (porção central da área). Trata-se de um pequeno corpo, que apresenta cerca 1,50 metros de largura e extensão girando em torno de 50 metros. É um corpo bastante descontínuo e normalmente fornece baixa porcentagem de minerais úteis para lapidação.

Ouro

Várias ocorrências de ouro são registradas nas aluviões do Rio Manhuaçu. Além disso outras duas ocorrências foram registradas próximo da foz do Córrego do Cobrador (afluente do Rio José Pedro) e na barra do Córrego do Triunfo (afluente do Rio Manhuaçu), ambas situadas na porção central da área.

As aluviões do Rio Manhuaçu são as mais importantes, e apesar de apresentarem pequeno volume, detem elevados teores em ouro e apresentam-se mineralizadas em praticamente todo o trecho onde este rio percorre a área mapeada. Foi coletada uma amostra no leito do rio, na localidade Ponte de Pedra, onde se fez concentrações por bateamento manual, em volume de 3 dm³ de material. A partir daí procedeu-se a contagem de pintas, onde se obteve um total de 58 pintas de ouro, que indicam um valor aproximado de 0,45 g/m³. Deve-se ressaltar que existem porções da aluvião deste rio, que apresentam teores que atingem a 14 ou 15 g/m³, fato que inclusive provocou uma corrida para a exploração do metal com o emprego de lavra mais criteriosa e parcialmente mecanizada.

Desta forma a extração vem sendo feita por meio de dragas dispostas ao longo do leito do rio.

A garimpagem foi uma atividade muito intensa na déca-da de 60, em toda a região, e nos anos 70 foi abandonada. Atualmente, há cerca de quatro anos, vem ganhando novo impulso em função do potencial aurífero do Rio Manhuaçu e principalmente da cotação do ouro no mercado internacional.

Berilo

É um bem mineral que ocorre associado aos pegmatitos. Como discutido para o caso da água marinha, os corpos encontrados na área apresentam dimensões muito reduzidas. Berilo ocorre na porção central da área (região do Turvo), e nas proximidades de Professor Sperber (porção sul da área), locais onde já existiu sua exploração a nível de garimpagem. Outra ocorrência foi encontrada na porção noroeste da área mapeada, nas proximidades do Patrimônio de Imbé.

Brita

A unidade biotita e/ou hornblenda gnaiss é a que fornece material utilizado na fabricação de pedra britada. Existem na área pesquisada apenas duas pedreiras, ambas situadas próximo do perímetro urbano de Ipanema. A primeira delas localiza-se na saída para Conceição do Ipanema, e a outra próximo da saída para Mutum.

Caulim

Nos corpos pegmatíticos, onde ocorre intensa alteração intempérica dos feldspatos, há concentrações de caulim. Na área estudada, apenas o jazimento que se localiza nas proximidades de Triunfo (porção central da área), hoje com lavra paralizada, foi explorado comercialmente.

Manganês

Dois pequenos indícios de manganês foram encontrados, porém são concentrações pequenas e desprovidas de qualquer valor econômico. A primeira delas se localiza nas proximidades de Ipanema (Afloramento NIp 10) e a outra nas proximidades do Patrimônio de Formiga (Afloramento NIp 140). Ambas se encontram associadas a quartzitos, os quais localmente apresentam níveis enriquecidos em granada. A granada é do tipo espessartita, e ocorre em porcentagens variáveis, entre 25 e 75%. Quando alteradas, estas porções compostas por espessartita quartzitos, originam pequenas concentrações manganíferas, presentes sob forma de óxidos e hidróxidos secundários de manganês. Os minerais de manganês comumente encontrados são pirolusita e criptomelana, e perfazem entre 10 e 45% da rocha. Os acessórios frequentemente encontrados são biotita, sillimanita e muscovita.

Níquel

Na área pesquisada ocorrem duas concentrações de níquel de médio porte, que juntas alcançam cerca de 8 milhões de toneladas de minério garnierítico. Estes corpos se localizam em Santa Cruz (porção central da área) e Santa Maria (porção norte da área). Ambos apresentam uma superfície mais ou menos similar, que não ultrapassa a $0,5\text{km}^2$, sendo que a espessura da zona mineralizada varia em média de 6 a 30 metros.

O minério é do tipo silicatado com teor médio situando-se em torno de 1,5% em níquel. Vários outros corpos menores também apresentam concentrações níquelíferas, entre os quais podem ser citados os corpos que ocorrem nas proximidades de Conceição do Ipanema, Professor Sperber e São Barnabé (todos na porção sul da área estudada) e o corpo localizado no córrego Santa Rita (porção norte da área).

Destas ocorrências, Santa Maria foi alvo de pesquisa e Santa Cruz já foi lavrada por vários anos, encontrando-se atualmente paralizada. Todos estes corpos estão associados à alteração superficial imposta às intrusivas ultramáficas, notadamente

peridotitos serpentinizados.

Quartzito

Como pode ser observado no mapa geológico (Anexo 1) a área pesquisada apresenta grandes bancos e lentes quartzíticas, que se encontram intercaladas aos gnaisses regionais. Os corpos quartzíticos muitas vezes alcançam espessuras de 400 metros, bem como apresentam comprimento que ultrapassa a 11 km.

A litologia quartzítica de modo geral apresenta-se im pura, onde frequentemente aparecem associados ao quartzo, biotita, sillimanita, plagioclásio, muscovita e granada. A granulação apresentada por estas rochas normalmente varia de média a grossa.

Duas lavras deste tipo de minério já foram executadas na área, e encontram-se há vários anos paralisadas. A primeira delas situa-se a norte da cidade de Ipanema (porção central da área), onde o quartzito apresenta granulação grossa e elevada porcentagem de impurezas. Foi empregado como areia na construção civil e em menor escala na pavimentação de estradas. A outra lavra inativa se localiza nas proximidades de Alegria (porção sudoeste da área), onde o quartzito apresenta maior pureza e granulação fina. Este minério chegou a ser comercializado para a produção de vidro.

Estanho

Apenas como registro deve ser comentado que principal mente na região compreendida entre Santa Maria e Santa Rita do Mutum, foi encontrada com frequência cassiterita nos concentrados de batéia. Este local situa-se na porção sudeste da área mapeada, dentro do domínio da Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum. Como esta suíte de rochas granitóides apresenta também intrusões originadas em níveis crustais, conforme será discutido no Capítulo V.3, e em função da presença constante de cassiterita nos concentrados de batéia, esta região pode representar um importan te prospecto para estanho.

Talco

É um tipo de minério que também ocorre associado a intrusivas máfico-ultramáficas. A principal concentração de talco se localiza na região de Paraíso, no extremo nordeste da área pesquisada.

O tipo de minério pertence à classe dos esteatitos, sendo resultado do metamorfismo de piroxenitos. É composto basicamente por talco, clorita, tremolita e cummingtonita, além de quantidades subordinadas de carbonatos. Este depósito vem sendo lavrado há cerca de seis anos, com produção de 300 ton/mês de minério, o qual vem sendo empregado na indústria cerâmica.

V.3. ESTUDO DE TIPOLOGIA DO ZIRCÃO PARA AS ROCHAS GRANITÓIDES

Seis amostras foram submetidas ao estudo de tipologia do zircão, das quais três pertencem à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum, duas ao Granito Intrusivo Tabajara e uma à Intrusiva Granodiorítica de Barra da Figueira (Figura 27). O Quadro 2 exprime na horizontal a quantificação da presença e desenvolvimento das faces piramidais (211) e (101), além da (301) do zircão nestas rochas, denominado de Índice A (IA), função da relação $Al_2O_3/K_2O + Na_2O$. Na vertical fica expressa a presença e o desenvolvimento das faces prismáticas (100) e (110), quantificadas pelo índice T (IT), que é função da temperatura.

A tipologia do zircão nas rochas granitóides é influenciada por diversos fatores, dentre os quais temperatura, ambiente químico da cristalização, bem como profundidade e grau de diferenciação. Desta forma as amostras foram estudadas petrograficamente e a seguir submetidas ao estudo tipológico do zircão. Para cada amostra foram estudados no mínimo um número de 100 cristais. O resultado deste estudo é apresentado no quadro tipológico do zircão (Quadro 2), onde podem ser observadas duas populações distintas. Assim, as amostras pertencentes à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum correspondem a granitos híbridos, e fi-

LEGENDA

- — SUITE INTRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM (NAn 75, IPN 179 e IPN 181 A)
- + — GRANITO INTRUSIVO TABAJARA (IPN 143 e IPN 111)
- ⊕ — INTRUSIVA GRANODIORÍTICA DE BARRA DA FIGUEIRA (IPN 176)

NÚMERO TOTAL DE AMOSTRAS : 6

FIGURA 27 — CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS GRANITÓIDES UTILIZADAS NO ESTUDO DE TIPOLOGIA DO ZIRCÃO, SEGUNDO O DIAGRAMA TRIANGULAR Q - FA - P (STRECKEISEN, 1976).

QUADRO 2 — TIPOS DE ZIRCÃO CARACTERÍSTICOS PARA AS DIFERENTES SÉRIES DE GRANITÓIDES. 1, 2 E 3 = GRANITOS CRUSTAIS; 4 = GRANITOS CALCO-ALCALINOS (a, b, c — SÉRIES DE BAIXA, MÉDIA E ALTA TEMPERATURA); 5 = GRANITOS SUBALCALINOS; 6 = GRANITOS ALCALINOS; 7 = GRANITOS TOLEÍTICOS; Ch = GRANITOS CHARNOCKÍTICOS. C — GRANITOS CRUSTAIS; H — GRANITOS HÍBRICOS; M — GRANITOS MANTÉLICOS (PUPIN, 1980).

● TONALITOS E GRANODIORITOS DA SUÍTE INTRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM

⊕ GRANITO INTRUSIVO TABAJARA

○ INTRUSIVA GRANODIORÍTICA DE BARRA DA FIGUEIRA

cam situadas no campo da série calco-alcalina de baixa a média profundidade. Isto também se sucede com a Intrusiva Granodiorítica de Barra da Figueira. A temperatura média de cristalização destas rochas situa-se entre 700 e 750°C. Por sua vez, a amostra pertencente ao Granito Intrusivo Tabajara já se localiza no campo dos granitos crustais, sendo que a faixa de temperatura média de cristalização situa-se entre 670 e 720°C (Quadro 2).

Outra consideração importante que pode ser feita com este estudo é que o Granito Intrusivo Tabajara apresenta evolução genética distinta das intrusivas que compõem a Suíte Santa Rita do Mutum. Por outro lado, a amostra IPN 111, proveniente de um corpo granítico situado na porção sul nos domínios da unidade Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum deve corresponder a uma intrusão temporal e geneticamente associada ao Granito Tabajara. Os estudos petrográficos realizados nesta amostra revelam uma mineralogia que indica carácter crustal, o que vem reforçar os dados obtidos pela tipologia do zircão.

Também pode-se concluir que os diferentes tipos petrográficos encontrados na Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum, correspondem ao próprio trend de diferenciação do magma original, o qual chegou até termos graníticos, conforme mostrado no Capítulo III. Isto é atestado não só pela sua mineralogia, mas também pela quantidade e tipos de autólitos que apresentam, bem como pela tipologia do zircão.

Em termos metalogenéticos, a série calco-alcalina de baixa a média temperatura pode apresentar mineralizações em Fe e Au. Isto pode explicar a presença de ouro que se encontra associado aos granodioritos da região de Cataca (Município de Alvarenga), situada cerca de 17 km do limite norte da Folha mapeada. Já os granitos crustais apresentam importância econômica para Sn, W e U, e cabem também algumas observações com relação ao potencial da área pesquisada. Próximo do limite noroeste da Folha Ipanema, foram encontradas anomalias geofísicas em urânio nos granitos do tipo Tabajara. Com relação ao estanho, foi encontrada cassiterita em concentrados de batéia, próximo da região de Santa Rita do Mutum, e ao longo da porção sudeste da área pesquisada. Possivelmente estas ocorrências se relacionem a granitos crustais in-

trusivos na unidade Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum, tal como observado no caso da amostra IPN 111.

V.4. METAMORFISMO

Em virtude da área pesquisada pertencer a um cinturão de dobramentos, que apresenta evolução policíclica e/ou polifásica, fica difícil a reconstituição de todos os eventos metamórficos ali atuantes. Mesmo assim, serão feitas algumas considerações importantes com relação à sucessão desses eventos, que inclusive apresentam grande relação com a evolução mineralógica dos maciços máfico-ultramáficos.

As paragêneses minerais observadas nas amostras estudadas, principalmente na unidade gnáissica, bem como algumas observações mineralógicas, onde se pode citar a presença quase que constante de biotita titanífera e plagioclásio antipertítico, permitem situar as condições de recristalização ocorridas no grau forte de metamorfismo, em intervalo de temperatura relativamente alto (Rodrigues et alii, 1980).

A desestabilização (desaparecimento) da muscovita em presença de quartzo e plagioclásio nos gnaisses é um critério empregado para se definir petrologicamente a transição do grau metamórfico médio para forte (Winkler, 1977). A evidência deste grau forte (fácies anfibolito alto a granulito) é também marcada pelo aparecimento de rochas migmatíticas, que correspondem a litologias originadas à temperaturas de metamorfismo regional mais elevadas. Winkler ainda aponta que migmatitos que não apresentam muscovita primária em contato com plagioclásio e quartzo foram gerados no grau metamórfico forte. Isto acontece com parte dos migmatitos existentes na área, principalmente com aqueles distantes do contato entre os gnaisses e as rochas pertencentes à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum. Tal fato pode ser interpretado como indicador, no mínimo, do início do metamorfismo de fácies granulito.

A associação sillimanita - feldspato potássico de baixa triclinicidade, em presença de quartzo e plagioclásio e ausên-

cia de muscovita, também caracteriza as condições de metamorfismo de grau alto (Rodrigues et alii, 1980). Winkler (1977) indica que com o desaparecimento da muscovita, novas paragéneses minerais as quais são típicas deste processo, tem origem, conforme pode ser observado na Figura 28 a, quais sejam:

- . feldspato K - silicato aluminoso (sillimanita)
- . feldspato K - cordierita
- . feldspato K - granada (almandina)

A fase aluminosa presente nas rochas estudadas é caracterizada essencialmente por dois minerais, sillimanita e granada (predomínio da molécula almandina). Cordierita é um mineral que não aparece com frequência, e geralmente se encontra associado à sillimanita. Isto caracteriza uma zona de média pressão e alta temperatura. Desta forma tudo indica que o campo de estabilidade dos aluminossilicatos se situava no mínimo em torno de 650 a 700°C, e a pressão era maior que 5 kb. Com isso pode-se concluir que o metamorfismo destas rochas chegou até uma profundidade igual ou maior que 20 km (Figura 28 b). Nesta situação ocorre um mínimo de anatexia, a qual também é verificada na área mapeada (Figura 28 a).

Durante a formação destes metamorfitos ocorreu a atuação de esforços tectônicos relacionados provavelmente ao cisalhamento dúctil. Estes esforços são refletidos por: dobramento da sillimanita, encurvamento da biotita e dos planos de geminação do plagioclásio, fraturamento de feldspatos e de quartzo e aparecimento de forte extinção ondulante no quartzo.

As rochas ultramáficas também registram este evento metamórfico de alto grau, que é caracterizado pela paragénese encontrada em várias unidades litológicas, especialmente nos metaperidotitos, metapiro Xenitos e metanortositos. Os metaperidotitos apresentam antofilitas, com predomínio de termos com composição aluminosa, onde a variedade gedrita foi identificada pela análise química de uma amostra. Este ortoanfibólio aparece muito raramente compondo a associação de rochas xistosas, sendo mais comumente encontrado em zonas de falha e/ou fraturas. Nestas zonas, pela paragénese encontrada observa-se que deve ter ocorrido introdução de SiO₂ no sistema, conforme mostram Hemley et alii

FIGURA 28a — DIAGRAMA P-T DE Crd + Alm + Sil + Qz COEXISTENTES PARA VÁRIAS RAZÕES $\text{FeO}(\text{MgO} + \text{FeO})$ DA COMPOSIÇÃO BRUTA. TAMBÉM ESTÃO REPRESENTADAS AS REAÇÕES QUE DEFINEM O LIMITE ENTRE METAMORFISMO DE GRAU MÉDIO E FORTE, E APROXIMADAMENTE OS LIMITES DE FASE CIANITA/SILLIMANITA E ANDALUZITA/SILLIMANITA. FAIXAS DE COEXISTÊNCIA SÓ SÃO VÁLIDAS QUANDO SÃO DESPREZÍVEIS OS TEORES DE Mn e Ca (WINKLER, 1977). Alm — ALMANDINA; Crd — CORDIERITA; Sil — SILLIMANITA e Qz — QUARTZO.

FIGURA 28b — CLASSIFICAÇÃO DAS SÉRIES DE METAMORFISMO EM RELAÇÃO AOS CAMPOS DE ESTABILIDADE DOS MINERAIS Al_2SiO_5 E JADEITA (MIYASHIRO, 1979).

(1977). Desta forma estes autores demonstram que antofilita se forma através da transformação de enstatita com aumento da atividade de sílica a temperatura e pressão constantes, em presença de fase fluída constituída por água (Figura 29). Como pode ser observado, isto ocorre a uma temperatura relativamente elevada (600 - 700°C).

Nos metapiroxenitos por sua vez ocorre o aparecimen-
to de grandes quantidades de espinélio verde. Este mineral asso-
ciado à paragênese crítica, composta por olivina, ortopiroxênio
e clinopiroxênio caracteriza o fácies metamórfico granulítico
(Evans, 1982), conforme aparece ilustrado no Quadro 3. Finalmen-
te nos metanortositos ocorrem titano-magnetitas, onde Edwards
(1954) mostra que o Ti pode substituir o Fe^{2+} na rede cristalina
da magnetita, fenômeno que provoca distorção em sua rede crista-
lina, envolvendo altas temperaturas, as quais são maiores que
600°C. Ainda nesta litologia ocorre exsolução de hematita em ti-
tano-magnetita e ilmenita (Fotomicrografia 6). O intercrescimen-
to entre estas fases se dá a temperaturas maiores que 700°C
(Edwards, 1954), o que é compatível com o metamorfismo sofrido
pelas encaixantes.

O problema do contato entre rochas de médio a alto
grau com unidades litológicas de baixo grau, no caso gnaisses e
serpentinitos respectivamente, pode ser explicado pelas etapas
de metamorfismo subsequentes. Nos gnaisses verificou-se que seri
cita se forma principalmente pela alteração de biotita e sillima-
nita, sendo que neste último caso a sericita conserva o hábito
acicular e localmente fibroso da sillimanita. Biotitas ocorrem
transformadas em clorita. Os plagioclásios normalmente se encon-
tram saussuritizados e dão origem a sericita e epidoto, sendo
que os termos mais cálcicos chegam a se alterar para carbonatos.
Da mesma forma a transformação de plagioclásio e de biotita em
muscovita é uma feição comumente encontrada nas rochas regionais.

No caso das metaultramáficas ocorreram reações retro-
metamórficas, as quais foram responsáveis pela serpentinação
das mesmas, e que são compatíveis com o fácies xisto verde. Pos-
teriormente outra etapa de metamorfismo atuou sobre estas rochas
gerando principalmente veios de serpentina.

NOTA: $m \text{SiO}_2$ = CONCENTRAÇÃO MOLAR DE SÍLICA

FIGURA 29 — RELAÇÕES DE ESTABILIDADE DAS FASES MINERAIS NO SISTEMA $\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ EM FUNÇÃO DE $\log m \text{SiO}_2$ E $1/T^\circ\text{K}$ A 1 Kbar DE PH_2O (HEMLEY ET ALII, 1977).

REAÇÕES: $\text{ANTOFILITA} = 7 \text{ ENSTATITA} + \text{QUARTZO} + \text{H}_2\text{O}$
 $\text{ANTOFILITA} + \text{FORSTERITA} = 9 \text{ ENSTATITA} + \text{H}_2\text{O}$
 (AUMENTO NA ATIVIDADE DE SiO_2 COM P E T CONSTANTES).

NOTA: À $P_f = 1 \text{ Kbar}$ AS TEMPERATURAS SÃO ELE-
 VADAS ($\pm 700^\circ\text{C}$).

FÁCIES METAMÓRFICO	PARAGÊNESE CRÍTICA	FASE A1
prenita-pumpelleita	cris+tal+trem	clorita
pumpelleita-actinolita	cris+ant+trem cris+ant+diop	clorita clorita
xisto verde e xisto azul	bru+ant+diop olv+ant+diop	clorita clorita
anfibolito e hornblenda hornfels	olv+ant+trem olv+tal+trem olv+anf-Mg+trem olv+opx+trem olv+opx+ hbl tremolítica hbl magnesiana	clorita clorita clorita/cromita clorita/cromita } espinélio
granulito piroxênio hornfels eclogito	olv+opx+cpx olv+opx+cpx { hbl edenítica hbl pargasita ou pargasita olv+opx+cpx	espinélio } plagioclásio granada

QUADRO 3 - Anfibólitos cálcicos no metamorfismo de rochas ultramáficas: Relações com fácies metamórfico, paragênese mineral crítica e fase aluminosa (EVANS, 1982)

ABREVIações DOS MINERAIS:

Cris - crisotila

tal - talco

trem - tremolita

ant - antigorita

diop - diopsídio

bru - brucita

olv - olivina

anf-Mg - anfibólio-magnesiano

opx - ortopiroxênio

hbl - hornblenda

cpx - clinopiroxênio

Associado a esta última etapa de metamorfismo ocorreu uma fase de deformação rúptil, onde inclusive através dos falhamentos originados se teve a percolação de soluções graníticas (pegmatitos). Fraturamento de sillimanita e extinção ondulante em quartzo e plagioclásio relaciona-se a esta fase, e ocorrem de forma generalizada pela área pesquisada.

V. 5. GEOCRONOLOGIA

Em função dos objetivos do presente trabalho, que visou basicamente a pesquisa dos depósitos niquelíferos, durante os trabalhos de campo, não foi realizada amostragem especificamente voltada para determinações geocronológicas. Desta forma só puderam ser aproveitadas amostras com dimensões adequadas (aproximadamente 20 x 20 cm), sem alteração intempérica, e em número de pelo menos cinco exemplares por afloramento. Assim foram elaboradas apenas duas isócronas através do método Rb/Sr respectivamente para as unidades biotita e/ou hornblenda gnaiss e Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum, que são aquelas que apresentam maior representatividade na área estudada.

Para a unidade biotita e/ou hornblenda gnaiss foi elaborada uma isócrona de referência a partir de 5 amostras coletadas em dois afloramentos distintos, e próximos entre si. Desta forma todas as amostras foram coletadas nas proximidades do limite sudoeste da Folha mapeada, onde duas delas correspondem aos afloramentos IPN 132 e IPN 153 e se situam na localidade de Angelim. As outras três amostras, relativas aos afloramentos IPN 112, IPN 113/b e IPN 131/b estão situadas nas proximidades do Morro da Rapadura, junto à rodovia MG-111. A localização destes afloramentos aparece no mapa geológico (Anexo 1), e conforme pode ser observado, está próxima do contato entre a unidade gnáissica e a Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum.

Todas as amostras utilizadas correspondem ao tipo petrográfico biotita e/ou hornblenda gnaiss e normalmente exibem sinais de migmatização. Desta forma são encontrados mobilizados

leucocráticos de material quartzo-feldspático, que apresentam espessuras centimétricas a milimétricas. As rochas em geral apresentam estrutura foliada, coloração cinza clara e granulação média a fina. Para a determinação geocronológica foi empregado rocha total.

A idade isocrônica Rb/Sr obtida para estas rochas foi de 775 ± 19 m.a., com razão inicial de 0,707, conforme pode ser observado na Figura 30 e na Tabela 4. Como pode ser notado, a razão inicial é relativamente elevada, sugerindo tratarem-se de rochas originadas por retrabalhamento de materiais com vida crustal anterior. A idade obtida mostra-se um tanto elevada, não sendo interpretável facilmente do ponto de vista geotectônico, podendo se relacionar ao início do Ciclo Brasileiro, ou a um rejuvenescimento parcial de rochas mais antigas. De qualquer maneira, estudos adicionais em amostras provenientes do mesmo afloramento, deverão ser realizados para uma melhor compreensão do valor obtido.

A unidade correspondente à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum apresenta uma associação de rochas plutônicas de diferentes composições. Desta forma procurou-se reunir rochas que apresentassem composição mineralógica bastante próxima, obtendo-se um total de cinco amostras. Estas amostras pertencem a três afloramentos distintos, dos quais IPN 70/b, IPN 74 e IPN 75 situam-se na Serra de Santa Maria (porção sudeste da área) e correspondem a granitos. Os afloramentos IPN 105 corresponde a tonalitos e IPN 150 se relaciona a granodioritos, ambos se situando na região do córrego Santa Marta (porção norte da área pesquisada). A localização destas amostras aparece representada no mapa geológico (Anexo 1). Estas rochas apresentam coloração branco acinzentada, granulação em geral média, sendo que o material empregado para determinação geocronológica foi rocha total.

Obteve-se com este procedimento uma isócrona Rb-Sr de referência, com idade de 550 ± 20 m.a. e razão inicial de 0,713 (Tabela 4 e Figura 31). Como no caso dos gnaisses, estes granitóides apresentam razão inicial elevada, o que indica uma provável refusão de rochas com vida crustal anterior.

Pelo método K/Ar foram realizadas duas determinações em

Nº	Nº LABO RATÓRIO (SPR)	Nº DE CAMPO	ROCHA	Rb (to tal) (ppm)	Sr (to tal) (ppm)	Sr^{87}/Sr^{86}	Rb^{87}/Sr^{86}	$(Sr^{87}/Sr^{86})_0$	IDADE ISOCRÔ NICA(ma)
1	8397	IPN 112*	gnaisse	205,5	183,6	$0,74011 \pm 0,00027$	$3,250 \pm 0,092$	0,70705	775 ± 20
2	8398	IPN 131/b*	gnaisse	76,7	730,2	$0,70991 \pm 0,00030$	$0,304 \pm 0,009$	0,70705	775 ± 20
5	8399	IPN 132*	gnaisse	247,5	133,7	$0,77017 \pm 0,00047$	$5,391 \pm 0,151$	0,70705	775 ± 20
3	8400	IPN 153*	gnaisse	74,2	406,5	$0,71484 \pm 0,00030$	$0,529 \pm 0,015$	0,70705	775 ± 20
4	8402	IPN 113/b*	gnaisse	95,9	388,3	$0,71402 \pm 0,00021$	$0,715 \pm 0,020$	0,70705	775 ± 20
1	8407	IPN 70/B**	granodio rito	62,5	342,1	$0,71746 \pm 0,00033$	$0,529 \pm 0,015$	0,71320	550 ± 20
2	8408	IPN 74**	granito	192,5	246,0	$0,73083 \pm 0,00020$	$2,270 \pm 0,064$	0,71320	550 ± 20
3	8409	IPN 75**	granito	145,8	198,4	$0,73005 \pm 0,00018$	$2,132 \pm 0,060$	0,71320	550 ± 20
4	8413	IPN 105**	tonalito	78,1	289,6	$0,71979 \pm 0,00025$	$0,781 \pm 0,022$	0,71320	550 ± 20
5	8415	IPN 150**	granodio rito	97,7	347,8	$0,71916 \pm 0,00018$	$0,814 \pm 0,023$	0,71320	550 ± 20

* Unidade Biotita e/ou hornblenda gnaisses

** Unidade Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum

TABELA 4 - Resultados analíticos Rb/Sr para rocha total de amostras uti
lizadas nas isôcronas.

FIGURA 30 — ISÓCRONA SOBRE ROCHA TOTAL DE GNAISSES PERTENCENTES A UNIDADE BIOTITA E/OU HORNBLENDA GNAISSES (PARCIALMENTE MIGMATIZADOS).

FIGURA 31 — ISÓCRONA SOBRE ROCHA TOTAL DE GRANITÓIDES PERTENCENTES À SUÍTE INTRUSIVA SANTA RITA DO MUTUM.

anfibólitos para rochas anfibolíticas, as quais se relacionam aos afloramentos NAn 35 e IPN 87/A, localizadas respectivamente na região do Taboleiro (porção central da área) e à leste da cidade de Pocrane (porção nordeste da área). Estes anfibolitos são pequenos corpos lenticulares que ocorrem intercalados aos gnaisses regionais. As idades obtidas para estas amostras foram: para o afloramento NAn 35, 570 ± 17 m.a. e para o afloramento IPN 87/A, 530 ± 10 m.a. (Tabela 5). Estas idades devem ser interpretadas como mínimas, e desta maneira os resultados obtidos refletem o aquecimento sofrido por esta unidade litológica no ciclo Brasileiro.

Outra determinação empregando o método K/Ar, neste caso para rocha total, foi realizada para diabásio. A amostra utilizada para datação geocronológica é proveniente do afloramento NAn 34, localizado na região do Taboleiro (porção central da área). A idade obtida foi de 124 ± 4 m.a., que desta forma se relaciona ao evento magmático ocorrido no final do Mesozóico ao longo da plataforma sulamericana (Tabela 5).

V.6. CONSIDERAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

V.6.1. Considerações a nível regional

Em termos regionais, a área pesquisada se encontra numa faixa de transição entre a borda do cráton de São Francisco e a faixa costeira tipicamente brasileira. No setor ocidental, domínio dos Complexos Barbacena, Piedade e Juiz de Fora, os dados radiométricos (K/Ar) indicam tratarem-se de unidades mais antigas (pré-transamazônicas e transamazônicas), e que foram afetadas termicamente pelo ciclo Brasileiro (Fonseca et alii, 1979). No setor oriental os kinzigitos mostram claramente que são rochas formadas durante o Ciclo Brasileiro. Inúmeros dados isocrônicos Rb/Sr (rocha total) e U/Pb (em zircões) caracterizam uma idade próxima de 600 m.a.

Da mesma forma, uma série de batólitos e stocks graní

Nº LABORATÓRIO	Nº CAMPO	ROCHA/MATERIAL	K(%)	Ar ⁴⁰ (x10 ⁻⁶) (ccSTP/g)	Ar ⁴⁰ ATM (%)	IDADE (m.a.)
5916	NAn 35	anfibolito/anfibólito	0,3817	9,99	10,25	573 ± 27
5895	IPN 87-A	anfibolito/anfibólito	0,4754	11,39	8,45	531 ± 19
5898	NAn 34	diabásio/ r. total	2,1009	10,47	35,25	124 ± 09

TABELA 5 - Resultados analíticos K/Ar de amostras datadas

ticos com características sin-, tardi- ou pós-tectônicos em relação às principais deformações brasileiras foram datados. Três intervalos de idade são sugeridos para a formação destes granitoides (dados Rb/Sr, U/Pb e K/Ar), caracterizando episódios brasileiros de carácter sin-a tardi-tectônico (650-550 m.a.); tardi-a pós-tectônico (550 - 500 m.a.) e pós-tectônico a anorogênico (500 - 450 m.a.), conforme pode ser observado em Siga Jr. (1982a e 1982b) e Machado Filho et alii (1983). O primeiro intervalo é representado principalmente pelos granitoides porfiróides e granadíferos da Suíte Galiléia; o segundo pelos corpos intrusivos de Coronel Murta e Itinga e as idades mais jovens se relacionam aos granitoides de Umburatiba e Jequitinhonha. As razões iniciais $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ obtidas para os kinzigitos, bem como para os maciços graníticos distribuem-se entre 0,705 e 0,720, com concentração próxima de 0,710, sugerindo que a formação destas rochas ocorreu a partir da fusão parcial de materiais derivados da crosta continental durante o Ciclo Brasileiro.

Nas proximidades da Folha Ipanema, cerca de 100km em direção noroeste, observa-se uma maior intensidade da dinâmica brasileira, onde já se encontram intrusões graníticas, como é o caso de Coronel Fabriciano (583 m.a., com razão inicial de 0,7271). Por outro lado, para sudoeste da área mapeada com distância similar a anterior, na região de Ponte Nova, já são encontrados dados isocrônicos Rb/Sr que apontam formação de rochas graníticas no Ciclo Transamazônico (2200 m.a., com razão inicial de 0,7150), conforme observado por Teixeira (1985).

Para o norte da Folha Ipanema, como na região de Governador Valadares, são encontrados gnaisses com idades brasileiras (560 m.a. com razão inicial de 0,7113). Os próprios granulitos da região de Caratinga, situada aproximadamente 20 km a oeste da área mapeada, que pertencem ao Complexo Juiz de Fora, mostram-se brasileiros (Siga Jr, 1982). Segundo este autor, o mesmo ocorre com os granulitos da cidade de Tarumirim, situada cerca de 50 km a noroeste de Pocrane, onde a idade alcançada foi de 560 m.a. com razão inicial de 0,708. Os gnaisses da região de Alvarenga, situada 20 km a norte de Pocrane, também apresentam esta idade. Entretanto, Hasui et alii (1976) obtiveram para

os migmatitos de Tarumirim idade de 2000 m.a. (razão inicial de 0,717), além de uma série de resultados com idades brasileiras (700 m.a.). Assim, caracterizam a evolução polifásica da área, onde o paleossoma dos migmatitos apresenta idade transamazônica, e o neossoma por sua vez corresponde à migmatização brasileira. Tal fato não ocorre mais para sul, como por exemplo na região de Juiz de Fora, onde idades arqueanas já foram obtidas.

Isto mostra que na porção setentrional da Província Mantiqueira o Ciclo Brasileiro participou intensamente de sua evolução geológica. Possivelmente a esta faixa transicional entre o cráton e o cinturão brasileiro represente uma zona de borda ativa da e regenerada no Ciclo Brasileiro.

V.6.2. Considerações sobre a Folha Ipanema.

A área pesquisada, em decorrência da insuficiência de dados disponíveis na região, fato que pode ser extrapolado para todo o segmento norte da Província Mantiqueira, e em função do elevado grau de complexidade geológica, não permite uma reconstituição precisa de sua história geológica. É uma área que sofreu a atuação de eventos deformacionais, metamórficos e magmáticos, que datam desde o Arqueano até o Proterozóico Superior. Tudo indica que as rochas ortoderivadas existentes na Folha Ipanema foram geradas em épocas pré-brasileiras. Assim, a tentativa de se individualizar as rochas metassedimentares, que não foi objetivo no presente trabalho, se faz necessária, posto que estas rochas também apresentam idades antigas. Cordani et alii (1973) admitem que o "metamorfismo Paraíba" tenha idade de 2090 m.a. (orogênese transamazônica), e que o retrabalhamento crustal desta unidade tenha ocorrido a 600 m.a. (orogênese brasileira). Estas datações geocronológicas indicam que os gnaisses granulíticos existentes na região apresentam Razão Inicial elevada, o que sugere um retrabalhamento de rochas mais antigas. Assim é que se tem rochas que parecem corresponder ao embasamento granito-gnáissico semelhante às encontradas no interior do cráton do São Francisco (Grupo Barbacena). A composição tonalítica-granodiorítica de natureza trondhjemitica, bem como núcleos menos deformados, com feições reliquias preservadas, encontrados nos centros das lentes mais re

fratárias ao cisalhamento, reforçam tal idéia. Estas rochas podem ser agrupadas na unidade estratigráfica definida por Complexo Juiz de Fora (Barbosa & Grossi Sad, 1983).

Neste embasamento mais antigo, quer seja em suas irregularidades, quer em sulcos instalados e/ou gerados por processos deformacionais proterozóicos, se teve a deposição de sequências sedimentares, as quais foram posteriormente submetidas ao metamorfismo. Desta forma a idade destas sequências deve corresponder no mínimo ao Arqueano Superior ou Proterozóico Inferior. Estas rochas metassedimentares ocorrem com distribuição irregular, porém com certa continuidade e apresentando alinhamento preferencial, que acompanha a foliação regional. Ocorrem em faixas alongadas e estreitas, sendo que a dimensão maior é concordante com a foliação do próprio embasamento granito-gnáissico, e o contato entre estas unidades é brusco, mas nem sempre é tectônico.

Assim, os gnaisses de composição tonalítica a granodiorítica encontrados correspondem na sua maior parte a ortognaisses, pois localmente são observadas porções poupadas pela deformação e as rochas apresentam-se pouco recrystalizadas e sem sinais de fusão parcial. Em função do exposto no início deste Capítulo (V.1), observa-se que os dados apontam para uma estrutura do tipo zona de cisalhamento de baixo ângulo, que provocou deslocamentos tangenciais da supra-crosta em direção ao ante-país (cráton do Paramirim). A existência de foliação com mergulhos médios a elevados pode ser explicada pelo fato de que o embasamento no qual se deu o deslocamento do material não apresentava uma superfície regular. Sua localização dentro do contexto geotectônico também é outro fator a ser considerado para tal fato, posto que se situa nas proximidades da borda cratônica. Localmente, próximo das porções onde se tem os biotita e/ou hornblenda gnaisses da infraestrutura aflorando, estes ângulos mais elevados são encontrados, indicando que se associam à maior resistência ao transporte imprimida por estas rochas, as quais estavam associadas a elevações do relevo do embasamento.

Desta forma se encontram expostas lado a lado rochas correspondentes à infraestrutura com rochas pertencentes à unidade metassedimentar. Os paragneisses por sua vez apresentam compo

sição mais aluminosa e menos básica que os ortognaisses e devem se relacionar à sedimentação pelítica em bacias restritas, as quais foram entalhadas na infraestrutura. Isto caracteriza no meu entender a unidade correspondente ao Grupo Paraíba do Sul. Em função, de que até o presente estas unidades não puderam ser individualizadas na região em apreço, a terminologia utilizada por Fontes et alii (1978) e Fonseca et alii (1979) parece correta, qual seja: Associação Barbacena - Paraíba do Sul. Tanto nesta unidade metassedimentar (gnaisses kinzigíticos), bem como na quartzítica, observa-se que frequentemente parecem estar relacionadas ao preenchimento de antigas calhas sinformais, ao passo que tonalitos, granodioritos, granitos e dioritos (magmatismo brasileiro), que ocorrem dispersos no interior da unidade gnáissica, já aparecem muitas vezes ocupando porções apicais de estruturas antiformais. Uma estrutura notável que exhibe tal evidência pode ser observada no mapa geológico (Anexo 1), a leste do Patrimônio de Taparuba. O próprio mapa geológico exhibe linhas de forma estrutural que delineam este arranjo geométrico, onde normalmente estas calhas sinformais situam-se entre lentes com comportamento mais competente, que devem se relacionar a porções elevadas do relevo do embasamento.

As rochas metaultramáficas estudadas na área estão preferencialmente encaixadas na unidade metassedimentar, e tal como elas, passaram por metamorfismo de médio a alto grau (fácies do anfibolito superior até granulito), ao qual se associou o cisalhamento dúctil, conforme discutido no Capítulo IV. Encontram-se evidências de migmatização relacionadas a este evento, embora sejam bastante localizadas.

A partir daí se tem a superposição de eventos relacionados ao Ciclo Brasileiro, onde ocorreu uma etapa de metamorfismo regional de médio a baixo grau (fácies do xisto verde a anfibolito), a qual é registrada em praticamente todas as rochas da infraestrutura. A primeira fase de serpentinização das rochas que compõem os maciços máfico-ultramáficos provavelmente esteja relacionada a esta etapa de metamorfismo. A reativação de antigos falhamentos ficou caracterizada nesta etapa, posto que em algumas zonas de falha normalmente se observa a atuação de intenso

processo de recristalização dos antigos milonitos, gerando assim blastomilonitos, que apresentam distribuição generalizada pela área mapeada.

Para a unidade gnáissica, especificamente para os biotita e/ou hornblenda gnaisses foi confeccionada uma isócrona de referência, onde foi obtida idade de 775 ± 19 m.a., com razão inicial de 0,707 (Figura 30), pelo método Rb/Sr. Isto indica que se tratam de rochas antigas que foram submetidas a retrabalhamento crustal no Ciclo Brasileiro, conforme discutido anteriormente, quando da análise dos dados geocronológicos.

A unidade correspondente à Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum está relacionada a este ciclo geotectônico. As rochas pertencentes a esta associação de rochas plutônicas apresentam recristalização localizada e não exibem sinais de deformação, excetuando-se as porções que estão em contato tectônico com a unidade gnáissica. Para esta unidade foi obtida idade de 550 ± 20 m.a., com razão inicial de 0,713 (Figura 31), pelo método Rb/Sr. Desta forma a intrusão desta massa plutônica foi efetivada no Proterozóico Superior e pode ser correlacionada ao Tonalito Galiléia (Barbosa et alii, 1964) ou Suíte Intrusiva Galiléia (Machado Filho et alii, 1983). Em função deste magmatismo ocorreu uma nova fase de migmatização, verificada nas rochas encaixantes, a qual é extensiva à zona de contato, entretanto pode ser encontrada isoladamente em várias porções da área mapeada.

Desta forma, ao ciclo Brasileiro cabe o generalizado aquecimento geotérmico, relacionado à intensa granitização, que provocou o rejuvenescimento isotópico, bem como o aparecimento de reações retrometamórficas nas rochas regionais. Associado ainda a este ciclo tectono-metamórfico ocorreu a intrusão de alguns corpos graníticos, que apresentam características de stocks pós-tectônicos, e não exibem sinais de deformação. Estes corpos acham-se pouco representados na área pesquisada, e correspondem à unidade Granito Intrusivo Tabajara. A este evento magmático associa-se uma tectônica rúptil, com a qual estão relacionados os diques e veios pegmatíticos, que ocorrem dispersos por toda área abrangida pela Folha Ipanema. Estes diques ocorrem principalmente seccionando a unidade gnáissica. A segunda etapa de serpenti-

nização registrada nas rochas metaultramáficas serpentinizadas, bem como nas rochas gnáissicas, em que foram observadas feições retrometamórficas, deve se relacionar a este magmatismo.

Durante o Mesozóico ocorreu nova reativação de falhamentos proterozóicos, que é verificada principalmente nas antigas falhas transcorrentes e outros lineamentos estruturais mais velhos, que ocorrem apresentando movimentação vertical. A este evento estão associados os diques de diabásio, que aparecem pouco representados na área mapeada. Nesta unidade litológica foi realizada uma determinação geocronológica utilizando-se o método K/Ar, que resultou na idade de 124 ± 4 m.a. (Tabela 5). Pode-se então admitir que os diques datam do Cretácio Inferior, o que corresponde ao pico de máximo vulcanismo basáltico na Bacia do Paraná.

Finalmente os depósitos aluvionares que se relacionam às redes de drenagem atuais e datam do Quaternário. Estes depósitos não são abundantes, em termos de distribuição areal, tanto em consequência da drenagem, que se estabeleceu em estruturas do embasamento, quanto em decorrência das elevadas altitudes da área estudada.

CAPÍTULO VI

GÊNESE DOS DEPÓSITOS DE NÍQUEL LATERÍTICO

Neste capítulo será discutida a gênese dos depósitos de níquel estudados, correspondentes aos maciços de Santa Cruz e Santa Maria. Inicialmente serão apresentados aspectos gerais que envolvem a formação de concentrações de níquel laterítico, e em seguida serão analisados os fácies de alteração presentes nos corpos de minério estudados. A partir daí serão apresentadas e discutidas as evoluções mineralógica e geoquímica dos perfis de alteração, inclusive com estudo de uma toposequência no corpo de Santa Maria. Finalmente serão feitas considerações sobre a composição química do minério.

VI.1. O PROCESSO DE LATERITIZAÇÃO

A definição de laterita, na qual se enquadram os principais tipos de depósitos de níquel do Brasil, contém uma distinção quantitativa entre rocha fortemente alterada (laterita propriamente dita) e saprolito (rocha pouco alterada). Desta forma há uma série de reações químico-mineralógicas que caracterizam a alteração das rochas e consequentemente o processo de lateritização. Baseado nisto Schellmann (1983) dá uma nova definição às lateritas classificando-as com base no grau de alteração, de modo que os parâmetros principais considerados se relacionam aos conteúdos em SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 dos produtos de alteração e à natureza da rocha matriz.

A composição mineralógica da rocha matriz (ultramáfica) deve apresentar essencialmente minerais que contenham níquel em seu retículo cristalino, e neste aspecto sabe-se que olivinas principalmente, e piroxênios (ortopiroxênios) são os constituintes minerais que detêm tal propriedade. Desta forma, as rochas primárias mais importantes são: dunitos e peridotitos. O processo de serpentinização também é um controle importante, na medida em que limita a formação de depósitos econômicos, em termos de distribuição dos teores, posto que provoca a neoformação de mine

rais (serpentinhas), que são mais estáveis nas condições superficiais.

No tectonismo atuante não pode ser muito intenso, pois o maciço ultramáfico seria exposto à ação intempérica sob condições de intenso intemperismo físico. Por outro lado, no caso de tectonismo fraco ou mesmo ausente, a paisagem aplainada vai prejudicar sensivelmente a lixiviação, remobilização e concentração do níquel (Smirnov, 1982). Isso resultará na formação de depósitos de baixo teor e com alta porcentagem em Mg, Fe, SiO_2 , etc.

Em termos geoquímicos, a sílica é normalmente encontrada sob forma de reticulado silicoso com estrutura típica de depósitos de concentração supérgena, denominada de "boxwork" na base do perfil de alteração. O magnésio segue caminho idêntico ao da sílica, e normalmente se precipita na forma de magnesita na base do perfil de alteração (junto à rocha sã), embora possa também ocorrer em porções mais superiores do perfil sob a forma de veios ou leitos, que se relacionam a mudanças nas condições físico-químicas do meio, principalmente pH, Eh e saturação (salinidade do meio).

Caso contrário ao da sílica e do magnésio os minerais remanentes (residuais) vão se concentrar principalmente junto à superfície. É o caso da cromita, em decorrência de sua elevada estabilidade nas condições superficiais, tal como ocorre com a formação das concreções ferruginosas, provocada pela baixa mobilidade do ferro, numa ampla faixa de pH (Figura 32).

O níquel e o cobalto ocorrem normalmente associados, possuem relativa mobilidade e vão sofrer lixiviação e concentração em direção ao interior do perfil. Por afinidade química com o ferro e o manganês, o cobalto sofre precipitação antes do níquel, no horizonte denominado de Laterita Amarela, formando um complexo de óxidos e hidróxidos de manganês e ferro, denominado asbolana. O níquel segue para porções mais inferiores, concentrando-se no horizonte do Saprolito Grosseiro, pouco abaixo do Cobalto; constituindo principalmente argilo-minerais (esmectitas).

Goligthly (1981) mostra que o desenvolvimento dos la-

FIGURA 32 — COMPARAÇÃO DA SOLUBILIDADE DO ÓXIDO FÉRRICO, DA SÍLICA E DA ALUMINA NA ZONA DE ALTERAÇÃO, EM FUNÇÃO DO pH DA SOLUÇÃO (SMIRNOV, 1982).

FIGURA 33 — REGIÃO TROPICAL E EQUATORIAL COM DISTRIBUIÇÃO DOS LATOSSOLOS, ONDE SÃO ENCONTRADOS OS PRINCIPAIS DEPÓSITOS DE NÍQUEL LATERÍTICO NO MUNDO (GOLIGHTLY, 1981).

tossolos e a formação de concentrações lateríticas cobrem vastas áreas situadas em regiões tropicais e equatoriais (Figura 33). O clima tropical contribui para o desenvolvimento de depósitos lateríticos, favorecendo a remoção de todos os elementos, exceto aqueles menos solúveis, como por exemplo o Fe, Al, Cr e Ti, que ficarão capeando o jazimento. Este clima com estações de cheia e estiagem contrastantes favorecem enormemente o intemperismo químico das rochas. Além disso vai haver uma alteração diferencial das rochas, com dissolução dos minerais no período de cheia, e em nosso caso uma solubilização do níquel. No período de estiagem ocorre a precipitação deste metal principalmente nos horizontes silicatados. Comparativamente, regiões com clima mais seco podem até formar jazimentos potencialmente econômicos, porém em intervalo de tempo bem maior que no caso de regiões de clima úmido. Os depósitos mais importantes do mundo, como por exemplo de Cuba e da Nova Caledônia, se formaram em intervalo de tempo relativamente curto, onde o início do processo de lateritização se deu no Terciário Superior (Plioceno), conforme observado por Vletter (1955) e Trescases (1975), respectivamente.

Em perfis de alteração bem desenvolvidos sobre dunitos e peridotitos, tem-se definido para o platô, cinco horizontes com características químicas e mineralógicas distintas, como mostrou Trescases (1975), para os depósitos estudados na Nova Caledônia. Assim verifica-se da base para o topo: Rocha Mãe; Saprolito Grosso (rocha alterada); Saprolito Fino ou Laterita Amarela; Laterita Vermelha e Couraça Ferruginosa ou Concreção Limonítica. O tipo de relevo se relaciona diretamente com a formação de jazimentos níquelíferos mais ou menos enriquecidos. Trescases (1975) mostra o comportamento geoquímico e a paragénese mineralógica diferencial dos horizontes que compõem o perfil laterítico nos peridotitos em função de sua distribuição dentro da paisagem: platô, vertente, baixa vertente (piemonte e glacis) e baixada (Figura 34).

A relação entre a evolução do perfil de lateritização e a atividade de drenagem em regiões de clima tropical é mostrada por Golightly (1979), e pode ser esquematizada conforme segue abaixo:

- locais bem drenados - formação de ferricretes na cou

raça ferruginosa e de laterita vermelha (zona da limonita). Ocorre nontronita substituindo serpentina primária no horizonte do saprolito. No limite superior da zona da nontronita ocorre a formação de hidróxidos de Fe, Mn e Co.

- locais mal drenados - há uma similaridade com o perfil anterior, entretanto o enriquecimento em níquel é menor, desenvolvendo-se no lugar da nontronita (armadilha para o Ni) "boxwork" e jaspilito maciço. Abaixo desta zona podem aparecer fraturas preenchidas por magnesita.
- locais onde se tem reação indiferente ao clima - deseenvolvimento de "boxwork" e sílica maciça (silicificação). A silicificação parece ser seletiva e se relaciona à rocha mãe, onde um dunito serpentinizado pode gerar jaspilito, e um peridotito fortemente serpentinizado pode se alterar para esmectitas.

VI.2. O PERFIL DE ALTERAÇÃO DOS DEPÓSITOS ESTUDADOS

Para a caracterização do perfil de alteração foram descritos e amostrados 38 furos por sonda rotativa, e 30 poços de pesquisa na jazida Santa Cruz; 24 sondagens rotativas, uma trincheira e uma galeria na jazida de Santa Maria e dois poços nos depósitos de Conceição do Ipanema e Bananal.

Da jazida de Santa Cruz foram feitas várias análises químicas completas para dez elementos de materiais correspondentes aos diferentes fácies de alteração, apesar de não se contar com estudo de secções delgadas e tampouco de difração de raios-X.

Ao contrário, em Santa Maria todos os perfis de sonda puderam ser redescritos e foi realizado um trabalho sistemático, com estudo petrográfico e difratométrico. As análises químicas desta jazida, das quais se pode dispor, são completas (para 13 elementos), entretanto as mesmas foram realizadas em amostras coletadas em intervalos irregulares. Desta forma se tem amostras

analisadas que chegam a corresponder a intervalos desde 1 até 14,5 metros, o que impossibilitou a realização de estudo detalha do da evolução geoquímica dos perfis de alteração. Adiciona-se a isto ainda que vários elementos não foram dosados em todas as amostras analisadas, e dentre eles cita-se: SiO_2 , Al_2O_3 e Cr_2O_3 , além da Perda ao Fogo.

Para se tentar resolver o problema, foi realizado um estudo do perfil de alteração da jazida de Santa Cruz, através de uma seção vertical (PES) na Extensão Sul do corpo mineralizado. Sua localização aparece representada no Anexo 2. É um perfil de platô com 16 metros de profundidade (amostras SC-00 a SC-16 e IPN-135) onde se pode distinguir os seguintes horizontes (fácies de alteração), da base para o topo: Saproilito Verde (SV); Saproilito Alaranjado (SA); Laterita Vermelha e Concreção Ferralítica (LV). Dados relativos à Rocha Alterada (RA) foram obtidos em cota inferior à base deste perfil, ou seja junto ao leito do Córrego Ariranha (Afloramento IPN 135), que também será descrito a seguir, visando completar o estudo evolutivo (Figura 35).

As amostras SC-00 e SC-01 correspondentes à concreção ferralítica e silcrete ferruginoso não estão situadas exatamente no topo do perfil estudado. Com a finalidade de se estudar o perfil de alteração completo, estas amostras foram coletadas no corpo principal da jazida de Santa Cruz, mas também ocorrem distribuídas de forma mais irregular e aleatória na extensão sul do maciço.

A composição mineralógica observada para estes diferentes fácies de alteração é apresentada nas Figuras 36a e b.

VI.2.1. Rocha Alterada

Este horizonte corresponde a um material de elevada coesão, com coloração esverdeada e apresenta a estrutura da rocha primária conservada. A granulação varia de média a grossa, onde podem ser individualizados cristais de até 3cm de tremolita e ortopiroxênio, além de cristais com dimensões em torno de 5mm de magnetita. Normalmente são rochas que exibem alteração incipi

NOTA: A BASE DO PERFIL CORRESPONDE AO AFLORAMENTO IPN-135

FIGURA 35 — PERFIL DE ALTERAÇÃO DA EXTENSÃO SUL DO MACIÇO DE SANTA CRUZ (PE S) COM COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DOS ELEMENTOS (PARA LOCALIZAÇÃO VER ANEXO 2). ANGELI, N. (1988).

FIGURA 36 a — COMPOSIÇÃO E EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DO PERFIL — PES —, ATRAVÉS DE ESTUDO POR DIFRAÇÃO DO RAIOS-X. À ESQUERDA APARECE O NÚMERO DA AMOSTRA CORRESPONDENTE, O QUAL INDICA SUA RESPECTIVA PROFUNDIDADE.

FIGURA 36 b — COMPOSIÇÃO E EVOLUÇÃO MINERALÓGICA DO PERFIL — PES —, ATRAVÉS DE ESTUDO POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X. À DIREITA APARECE O NÚMERO DA AMOSTRA CORRESPONDENTE, O QUAL INDICA SUA RESPECTIVA PROFUNDIDADE.

ente e de modo geral densidade elevada.

Com grande frequência são encontrados veios de garnierita, quartzo, talco e antofilita cortando este horizonte. Localmente também são encontrados veios de crisoprásio e calcedônia, os quais apresentam espessura variando desde alguns milímetros até 30 cm (faixa de valores mais frequentes). Crisotila também ocorre seccionando este fácies, entretanto em menores quantidades e apresentando baixas espessuras.

Ao microscópio, este fácies representa um serpentinito alterado (metaperidotito serpentinizado), onde mais de 70% de sua composição mineralógica é integrada por serpentina. Observam-se relictos de olivina, que se encontra parcialmente serpentinizada, e que apresentam suas bordas alteradas para esmectita e/ou goethita. Ocorrem também: tremolita-actinolita, ortopiroxênio, clorita, talco e opacos.

VI.2.2. Sapolito Verde

O material deste fácies apresenta coloração verde clara, textura areno argilosa e comumente tem preservada a estrutura da rocha original. É um material poroso, com densidade situada entre 1.5 e 2.1, onde o valor médio obtido por várias determinações, situa-se em torno de 1.64. O contato entre este fácies e o Sapolito Alaranjado é brusco, ao passo que é gradual sua passagem para o fácies Rocha Alterada. Trata-se do horizonte de maior possança nos corpos estudados, que chega atingir em algumas porções dos depósitos, mais de 20 metros de espessura. Os teores em níquel variam de 0,6% até 2.6%.

Este horizonte encontra-se intensamente fraturado e cisalhado, sendo que a maior parte destas fendas acham-se preenchidas por precipitados quartzo níquelíferos, gerando assim opalas níquelíferas, nas quais os teores em níquel atingem 14%. Estes veios mineralizados são descontínuos, apresentam uma distribuição extremamente irregular e suas espessuras variam desde milímetros até pouco mais de 1 cm.

Comumente são encontrados no interior deste fácies,

"boulders" da Rocha Alterada e/ou Saprolito Verde com densidade elevada (maior que 2,5), que apresentam baixa concentração em níquel. Em certos locais este fácies se encontra silicificado, onde sua resistência à fragmentação se eleva.

Ao microscópio observou-se que o fácies Saprolito Verde é composto essencialmente por serpentinas, clorita e talco. Além disso ocorrem em menor quantidade e em ordem decrescente de concentração: tremolita-actinolita, antofilita e esmectita. Relictos de olivina também podem estar presentes, sendo que os cristais encontrados apresentam substituição por goethita e/ou esmectita em suas bordas, conforme pode ser observado na Fotomicrografia 10. Os opacos apresentam uma distribuição irregular neste fácies e foram encontrados com certa frequência: magnetita e cromita.

Basicamente este fácies apresenta um reticulado de serpentina (serpentina I), cujos núcleos apresentam cavidades ora vazias ora preenchidas por minerais alterados e/ou neoformados. Estas cavidades encontram-se preenchidas principalmente por relictos de olivina, que normalmente apresentam suas bordas substituídas por esmectita e por serpentina mal cristalizada (serpentina II). Esta serpentina II deve apresentar composição química diferente da serpentina I, posto que apresenta birrefringência mais intensa e estrutura distinta da outra. Tudo indica que a serpentina II representa uma transição de serpentina I para clorita.

Faust (1966) estudando o grupo da garnierita (entendida e empregada por muitos como serpentina), onde seu principal membro é a pimelita (argilo-mineral do grupo da montmorilonita), reconheceu lizardita, crisotila e antigorita, como polimorfos desse grupo e que ocorrem com maior frequência. O sistema quaternário $H_2O-NiO-MgO-SiO_2$ contém no mínimo 5 fases naturais: pimelita, serpentinas níquelíferas, clorita níquelífera, talco níquelífero e sepiolita níquelífera.

Desta forma garnierita, termo genericamente atribuído ao minério silicatado de níquel, foi analisada e estudada no que concerne à sua mineralogia. Algumas amostras de minério com teo-

res entre 1,5 e 2,6% em Ni foram selecionadas e submetidas à difração de raios-X. Dentre elas, aquelas que apresentavam mineralogia mais complexa, foram submetidas a processo de separação das fases mineralógicas presentes, as quais foram analisadas isoladamente. A Figura 37 mostra a composição das garnieritas encontradas nos corpos estudados. O minério coeso, resistente e de coloração mais esverdeada, o qual nem sempre apresenta os teores mais elevados em Ni apresenta em sua constituição serpentina como mineral predominante e subordinadamente talco. Já o minério mais friável, que apresenta coloração verde amarelada, normalmente com teores elevados em Ni apresenta uma composição mineralógica distinta. Aqui se tem um ligeiro predomínio de serpentina, porém clorita ocorre em quantidades elevadas e o talco aparece em quantidades subordinadas. O minério que ocorre sob a forma de veios e filetes e que apresenta teores elevadíssimos é composto por serpentina e em menor porcentagem por talco. Estes veios apresentam espessura em média menor que 1 cm, e ocorrem principalmente na base do fácies SV e na RA, sendo que os teores ultrapassam a 14% em Ni. Algumas amostras apresentam esmectitas, que embora em quantidades pequenas ocorrem nos corpos estudados compondo o minério.

Finalmente foi observado nos difratogramas, que o pico de 9,3 Å do talco apresenta uma redução com a glicolagem, e uma redução maior ainda com o aquecimento a 550°C. Isto sugere que pirofilita possa estar presente em algumas amostras estudadas, associada ao talco. A Figura 38 mostra os resultados obtidos para as amostras analisadas (SC-01 e SC-14).

VI.2.3. Saproilito Alaranjado

Em vários locais este horizonte ocorre aflorando atualmente, sendo que apresenta uma espessura muito irregular, podendo se admitir como valor médio 3 metros. Este fácies é representado por material de granulação fina e coloração castanho alaranjado, sendo constituído essencialmente por óxidos de ferro (goethita e magnetita), calcedônia e relictos de minerais primários, onde se destacam talco e clorita. Tremolita também ocorre em pequenas quantidades. Apresenta-se em certos locais com eleva

LEGENDA

Sp — SERPENTINA
 Ta — TALCO
 Cl — CLORITA

FIGURA 37 — COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS GARNIERITAS (MINÉRIO DE NÍQUEL) ATRAVÉS DE DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.

LEGENDA

Cl — CLORITA	Sp — SERPENTINA
Tr — TREMOLITA	Em — ESMECTITA
Ta — TALCO	Es — ESPINÉLIO

FIGURA 38 — DIFRATOGRAMAS PARA AMOSTRAS (SC-01 e SC-14), SUBMETIDAS A AQUECIMENTO A 550°C E GLICOLAGEM.

da tixotropia, que se deve à presença de concentrações de sílica amorfa (alofana).

Em algumas porções deste fácies pode-se verificar que ocorrem vários fragmentos de saprolito verde e mesmo de rocha alterada, os quais se encontram englobados por uma matriz silto argilosa, onde inclusive são observados vestígios da estrutura original da rocha.

A transição entre este fácies de alteração e o horizonte sobrejacente é gradual, entretanto o contato entre ambos é irregular e descontínuo. Com relação ao fácies Saprolito Verde a passagem é brusca. Os teores em níquel atingem até 1% no metal, entretanto os valores mais frequentes se encontram na faixa entre 0,6 e 0,9%.

A composição mineralógica essencial deste fácies é integrada pelos óxidos de ferro: goethita e magnetita. Quando vai se atingindo a porção superior deste horizonte, chegando na base do fácies Laterita Vermelha, os cristais de magnetita vão exibindo sinais de oxidação, os quais crescem à medida em que se penetra neste fácies sobrejacente. No estudo de secções delgadas são evidenciadas faixas avermelhadas ao redor dos cristais de magnetita.

Nos vários fragmentos de rocha alterada encontrados neste fácies, verificou-se que o reticulado de serpentina é substituído por goethita, sendo que quartzo se cristaliza preferencialmente nos interstícios.

Caolinita é outro argilo-mineral presente e se associa à própria evolução do perfil de alteração. Desta forma começa a surgir na zona de transição entre o Saprolito Verde e o Saprolito Alaranjado e permanece até mesmo nas concreções ferralíticas, onde se tem muitas vezes pequenas concentrações de caolinita dispersas em matriz essencialmente goethítica. Tal fato pode ser observado nos difratogramas apresentados nas Figuras 36 a e b. Na amostra SC-03, que representa o fácies Saprolito Alaranjado, pode-se observar que o pico secundário da clorita com 3,53 Å é bem mais elevado que seu pico primário (7,02 Å). Isto sugere a existência de uma associação entre este mineral e a caolinita, o que vem a confirmar os resultados obtidos por Rodrigues et

alii (1980).

VI.2.4. Laterita Vermelha e Concreção Ferralítica (Couraça Ferruginosa)

Este horizonte, na área pesquisada apresenta coloração castanho avermelhada escura, textura areno argilosa e espessuras que atingem no máximo 1,20 metros. Os teores em níquel são baixos, oscilando entre 0,2 e 0,4%. Apresenta elevada concentração de magnetita.

Este fácies corresponde ao estágio final da alteração, sendo que apresenta granulação variável, que em geral varia de fina a grossa. É um horizonte rico em óxidos e hidróxidos de ferro e parece representar uma transição entre as couraças ferruginosas que encerram e o saprolito alaranjado. De modo geral é um horizonte bastante descontínuo, e em certos locais dá lugar a níveis de silcretos, que também ocorrem com distribuição muito irregular. Estes níveis de silcretos são pouco espessos e nunca ultrapassam 30 cm. Comumente exibem estrutura do tipo "box-work", na qual há um reticulado silicoso com os vacuolos vazios ou às vezes preenchidos por goethita e/ou pimelita. Apresentam elevado teor em SiO_2 (aproximadamente de 80%) e baixa concentração de MgO , além de intenso pico para quartzo nos difratogramas.

As couraças ferralíticas ocorrem capeando os depósitos de platô, e compõem um horizonte delgado (com média de 25 cm de espessura) e descontínuo. Praticamente só se encontram nos corpos pesquisados, fragmentos esparsos deste horizonte. A estrutura apresentada por estas concreções é frequentemente alveolar, sendo também encontrada a estrutura maciça, e em ambos os casos se tem nas porções mais duras e resistentes, uma massa escura que ostenta brilho metálico. A coloração destas couraças varia desde castanho escuro, passando por tons mais avermelhados e chegando localmente a apresentar coloração amarelada (puntual). Na porção metálica a coloração é cinzenta. Muitas vezes pode-se observar inclusões de magnetita em goethita, o que na realidade representa fragmentos e grãos de magnetita envolvidos

por matriz goethítica.

Minerais primários são totalmente ausentes neste fácies, sendo que predomina goethita. Magnetita ocorre em grandes concentrações, o que em parte se deve à sua resistência ao intemperismo, e por outro lado à cimentação provocada pela formação de goethita, que envolve os cristais de magnetita, protegendo-os da alteração.

As couraças ferruginosas apresentam mineralogia similar, onde os resultados difratométricos revelam a presença de gibbsita, magnetita e goethita (Figuras 36 a e b). Com o estudo de secções polidas, pode-se observar que as magnetitas apresentam textura triangular, a qual ocorre notadamente na borda dos cristais e em suas descontinuidades, ou seja planos de clivagem e fraturas. Isso indica que o processo de alteração da magnetita (martitização) resulta de oxidação supérgena. Cabe ressaltar que gibbsita ocorre localmente, sendo um mineral mais raro no manto de alteração dos peridotitos, e as concentrações mais elevadas são registradas no perfil de alteração sobrejacente aos gabros, gabros-anortosíticos e anortositos.

VI.3. EVOLUÇÃO MINERALÓGICA

A Tabela 6 mostra a avaliação semi-quantitativa dos minerais presentes em cada fácies, ao passo que no Quadro 4 pode-se observar as filiações mineralógicas encontradas em função da posição no perfil de alteração.

Com a serpentinização, olivina, que é o principal mineral alterado, se transforma em serpentina, ocorrendo desta forma a produção de magnetita e magnesita. A magnetita é o mineral neoformado que tem maior estabilidade e permanece até nos estádios mais evoluídos da alteração superficial. Magnesita, ao contrário apesar de pouco frequente, pode ser encontrada preenchendo veios e fraturas nas porções menos alteradas do Saproilito Verde. Conforme observado no Capítulo IV, em função das duas fases de serpentinização, se teve a geração de dois tipos dife-

MINERALOGIA AMOSTRAS	SERPENTINA + (OLIVINA)	TALCO	CROMITA	TREMOLITA- ACTINOLITA	OPACOS	ESMECTITA	GOETHITA	CALCEDÔNIA
SC-00(LV)	-	-	-	-	+++	-	+++	+
SC-01(LV)	-	+	+	-	+	-	++	+++
SC-01A(LV)	-	++	++	+	+	-	++	++
SC-03(SA)	-	++	++	+	+	-	++	++
SC-04(SA)	-	++	++	++	+	-	+	++
SC-05(SV)	++	++	+	++	+	(+)	(+)	-
SC-07(SV)	+++	++	++	(+)	+	++	(+)	-
SC-08(SV)	+++	++	+	(+)	+	++	-	-
SC-10(SV)	+++	++	+	(+)	+	++	-	-
SC-12(SV)	+++	++	+	++	+	++	-	-
SC-14(SV)	+++	++	+	+	+	++	-	-
SC-15(SV)	+++	++	+	(+)	+	+	-	-
SC-16(SV)	+++	++	+	(+)	+	++	-	-
IPN-135(RA)	+++	++	++	++	++	+	-	+

+++ Abundante ++ Frequente + Escasso (+) Traços - Ausente

TABELA 6 - Avaliação semi-quantitativa da composição mineralógica da Rocha Alterada (RA), Saprolito verde(SV), Saprolito Alaranjado (LA) e Laterita Vermelha (LV).

ROCHA PRIMÁRIA <u>PERIDOTITO</u>	ROCHA METAMOR <u>FISADA</u> (SERPEN <u>TINIZAÇÃO</u>)	ROCHA ALTE <u>RADA</u>	SAPROLITO VERDE	SAPROLITO ALA <u>RANJADO</u>	LATERITA VERMELHA
Olivina	olivina residual Serpentinas Tremolita-actino <u>lita</u> Cloritas Magnetita	olivina residual esmectita serpentinhas trem-actinolita cloritas magnetita	olivina(relic <u>tos</u>) esmectita serpentinhas cloritas magnetita	goethita goethita calcedônia(mais amorfos de sílica hidratados) cloritas (relictos) magnetita	goethita goethita calcedônia(mais amorfos de sílica hidratados) magnetita(relictos)
Piroxênios	Piroxênios resi- duais Tremolita-actino- lita talco cloritas	Piroxênios Resi- duais Tremolita-Actino- lita talco cloritas	Piroxênios (Relictos) talco cloritas	talco(relictos) cloritas(relictos) calcedônia(mais amorfos de sílica hidratados)	calcedônia(mais amorfos de síli- ca hidratados)
Cromo-Espiné- lio	cromo-espinélio	cromo-espinélio	cromo-espiné- lio	cromo-espinélio	cromo-espinélio

QUADRO 4 - Filiações mineralógicas a partir da rocha primária até a laterita vermelha.

rentes de serpentina. O primeiro, corresponde à serpentina bem cristalizada (serpentina I), e o segundo não tão bem cristalizada (serpentina II), a qual deve apresentar estrutura e composição química distinta da serpentina I.

Quando a rocha é submetida à alteração intempérica, um dos primeiros minerais que se desestabiliza é a olivina, que com a evacuação do magnésio dá origem à neoformação de esmectita. Em várias amostras este argilo-mineral aparece corroendo as bordas da olivina, chegando em alguns casos a ocupar todo o cristal. Assim tem-se em certas porções do fácies Rocha Alterada, bem como no Saprolito Verde, todo o centro do reticulado de serpentina ocupado por esmectitas. Este processo de neoformação se dá com perda de matéria, fato que pode ser comprovado com o exame das Tabelas 7 e 8. Esta perda também é visível tanto macroscopicamente através da maior porosidade do material saprolítico, bem como microscopicamente, onde se pode observar vazios, localizados principalmente em volta das olivinas em via de alteração.

Neste primeiro estágio de alteração, a serpentina I permanece sã, ao passo que serpentina II já apresenta ligeira instabilidade, onde começa a apresentar uma coloração amarelada. Os demais minerais que compõem o fácies Saprolito Verde permanecem inalterados. Desta forma tem-se neste horizonte um maior acúmulo de argilas nas porções que apresentam menor grau de serpentinização, visto a íntima associação entre olivina e esmectita.

Com o crescente aumento da porosidade no SV, a drenagem se torna mais ativa e como consequência se tem a dissolução das serpentinas. Desta forma ocorre lixiviação intensa do magnésio, onde os dados químicos apresentados nas Tabelas 7 e 8 evidenciam este fenômeno. O ferro liberado rapidamente se precipita sob forma de goethita. Resta assim a sílica, que em parte é lixiviada, sendo que outra parte precipita sob forma criptocristalina, preenchendo vazios e descontinuidades no SV. Mesmo neste estágio avançado de alteração, os demais minerais presentes ficam livres de quaisquer transformações. A maior consequência disso é a grande concentração de opacos, que cresce da base para o topo do perfil de alteração.

	(1) RF	(2) IPN-135	(3) SC-16	(3) SC-15	(3) SC-12	(3) SC-08	(3) SC-05	(4) SC-03	(5) SC-01	(5) SC-00
P.F.	11,72	10,81	12,22	14,25	12,65	16,27	14,12	6,40	4,44	10,27
SiO ₂	36,62	41,18	45,54	42,68	45,97	40,54	41,28	46,71	79,88	2,85
Al ₂ O ₃	0,93	1,53	0,94	0,95	0,59	0,65	0,59	1,85	0,39	20,75
Fet	8,79	6,32	10,28	11,76	8,36	9,78	11,53	26,40	12,94	56,21
MgO	39,06	37,75	25,71	27,14	27,05	30,57	27,64	14,14	1,28	1,10
CaO	1,76	0,12	2,09	0,46	1,61	0,46	2,81	1,90	0,06	0,04
Na ₂ O	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,06	0,01	0,10
K ₂ O	0,39	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
TiO ₂	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,07	7,78
MnO	0,16	0,11	0,17	0,14	0,13	0,14	0,17	0,38	0,16	0,52
Cr ₂ O ₃	0,24	0,22	0,35	0,28	0,16	0,23	0,29	0,79	0,25	0,13
NiO	0,24	1,85	2,61	2,24	3,39	1,29	1,30	0,87	0,48	0,18
CoO	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,19	0,45	0,02	0,04
Outros	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01

- (1) Dados da literatura sobre intervalos de variação dos teores em rochas ultramáficas serpentinizadas(RF)
(2) Amostra de rocha alterada (RA) afloramento situado no leito do Córrego Ariranha
(3) Amostras de saprolito (SV) a profundidades de 16, 15, 12, 8 e 5 metros (Saprolito Verde).
(4) Amostra de saprolito alaranjado (SA) a profundidade de 3 metros
(5) Amostras de laterita vermelha e Concreção ferralítica (LV) a profundidade de 1 metro e na superfície

TABELA 7 - Composição química dos fácies de alteração (% em peso dos óxidos e PPM dos elementos) - Perfil vertical na extensão sul do maciço de Santa Cruz(PES).

PASSAGEM Óxidos	RF - SV (Isovolume)	RF-SA (iso Fe)
SiO ₂	- 30%	- 57%
MgO	- 48%	- 88%
NiO	+427%	+ 19%
Exportação de Matéria	- 29%	- 67%

TABELA 8 - Balanço Geoquímico - Perdas e ganhos absolutos entre as fácies de alteração no perfil PES.

OBSERVAÇÕES: Densidade da Rocha Fresca = 2,70
 Densidade do Saprolito Verde = 1,64
 Enriquecimento em níquel elevado na passagem RF-SV

A esmectita tem iniciado seu processo de desestabilização, quando a serpentina II está totalmente alterada, e a comprovação disso está no seu completo desaparecimento no fácies SA. A partir da hidrólise da esmectita se tem o aparecimento de goethita, que também se forma através da liberação do ferro que tem lugar durante o desaparecimento da serpentina II (Angeli et alii, 1984).

O fácies Saprolito Alaranjado já se constitui de uma matriz goethítica rica em sílica e em menor quantidade em minerais herdados do serpentinito. Localmente são observados vestígios da rocha original, entretanto a rede das serpentinas achase normalmente substituída por goethita, sendo que quartzo se cristaliza nos interstícios.

Na Laterita Vermelha e Concreção Ferralítica, onde se tem predomínio de goethita, normalmente se observa a passagem de magnetita para uma forma pseudomorfa, a martita. Este fenômeno é observado apenas nas bordas e em fraturas dos cristais de magnetita, indicando ser de alteração supérgena, como também uma fase mais hidratada de magnetita (Fotomicrografia 11).

VI.4. EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA

A Tabela 7 apresenta os resultados químicos relativos a todas as amostras que compõe o perfil de alteração estudado. O fácies Rocha Alterada apresenta teores em SiO_2 (40%), MgO (36,72%) e Fe total (8,55%), os quais estão bem próximos dos valores encontrados para a rocha fresca. Entretanto o níquel apresenta enriquecimento, que atinge teores da ordem de 1,85%, fato que se deve principalmente aos veios de garnierita presentes no local onde foi amostrado material representativo deste fácies. Geralmente os teores neste horizonte situam-se na faixa de 0,28 a 0,40% em NiO.

No Saprolito Verde observa-se que os teores em SiO_2 são pouco mais elevados que no caso do fácies Rocha Alterada, ao passo que MgO apresenta teores da ordem de 27% e o níquel apre-

senta-se em elevadas concentrações, onde o teor em NiO varia de 1.29% a 3.39%. Em média, neste horizonte se tem uma perda em massa equivalente a 15% ou 20% com relação à Rocha Fresca. Invariavelmente neste fácies, o níquel tem um comportamento imóvel, e normalmente acompanhando o níquel se tem a SiO_2 . Isto explica a composição essencialmente silicatada do minério. Os elementos de maior mobilidade neste fácies são, pela ordem: K, Ca, Mg e Na.

No caso do Saproilito Alaranjado, a perda em massa com relação à rocha fresca é mais elevada, ou seja de 66,71%. Os elementos mais móveis neste fácies são, pela ordem: K, Ti, Mg, Ca e Si, ao passo que aqueles que apresentam comportamento praticamente imóvel são: Al, Mn, Cr, Ni, Co, além do Fe. Tal análise resultou do estudo das dosagens químicas realizadas, que indicam concentrações elevadas para Mn e Co neste horizonte. O Co chega a atingir 0,35% neste fácies, formando um complexo hidratado junto com o Mn, que é conhecido por asbolana. Parte da sílica, a qual é elevada para este fácies de alteração, pode ser explicada pela sua neoformação a partir de soluções descendentes, as quais percolam os níveis de silcretes reliquiais existentes no fácies Laterita Vermelha. Da mesma forma sugere que em certas porções deste fácies, ocorre uma transformação dos silicatos magnesianos em ferríferos, onde o magnésio é fortemente lixiviado e sílica iluvial apresenta acúmulo parcial. Esta sílica deve corresponder a hisingerita, que é muito similar às alofanas e corresponde basicamente a sílica amorfa hidratada com quantidades variáveis de ferro (Walda & Harward, 1974).

A Tabela 8 mostra a avaliação de perdas e ganhos absolutos, em função da alteração dos serpentinitos, a qual foi confeccionada com o cálculo do balanço geoquímico. Assumiu-se como densidade da rocha fresca, 2,7, que é o valor médio dos serpentinitos encontrados na literatura. Para o Saproilito Verde foi empregada uma média de 32 determinações, onde o valor encontrado foi de 1,64. Para a passagem Rocha Fresca-Saproilito Alaranjado não estruturado, não se determinou sua densidade aparente, assumindo-se a constância do ferro.

Com a análise do balanço geoquímico observou-se que a passagem Rocha Fresca-Saproilito Verde corresponde a uma perda de

29% em massa, que é consequência do processo de hidrólise incongruente da olivina. Desta forma ocorre evacuação parcial do MgO (48%) e da SiO_2 (30%), com retenção do Fe e formação de nontronita.

A passagem Rocha Fresca-Saprolito Alaranjado indica que se tem preservado apenas 33% da rocha original. Com a alteração é observado que ocorre evacuação parcial da SiO_2 (57%) e total do MgO (88%). A sílica retida neste fácies cristaliza-se como quartzo.

Com relação ao níquel, observa-se que ocorre lixiviação nas porções superiores do perfil de alteração, com acúmulo em sua base. No corpo de Santa Cruz pode-se observar que o enriquecimento absoluto em níquel no saprolito verde foi de 427%. Assim o níquel liberado pela alteração das olivinas se concentra relativamente neste fácies, associado às nontronitas e aos amorfos ferruginosos adsorvidos pelas serpentinas. Com o avanço do processo de alteração, este material sofre desestabilização, ocorrendo destruição dos hospedeiros do níquel, que em sua maior parte migra para o interior do perfil (concentração "per descensum"). Desta forma o nível do Saprolito Verde em vias de formação vai se enriquecendo em níquel de forma absoluta. Assim, à medida em que o perfil evolui e se aprofunda, o processo de enriquecimento absoluto em níquel se intensifica.

Foi observado que parte do níquel fica retida no Saprolito Alaranjado, associado às goethitas, onde pode-se observar pelo balanço geoquímico que neste fácies ocorre um ganho de 19% neste metal. Com este enriquecimento, parte do Saprolito Alaranjado também apresenta importância econômica para o níquel, visto que os teores atingem até 1%.

A Laterita Vermelha, e principalmente a Couraça Ferralítica compõem o horizonte que apresenta maior perda em massa, a qual atinge valores superiores a 70% da porcentagem em peso original. Os elementos que apresentam maior mobilidade são, pela ordem: Mn, K, Mg, e Ca, e daí seguem: Si, Cr, Ni e Co. Os elementos Al, Ti e Fe são praticamente imóveis e se concentram na couraça ferralítica. As maiores perdas em massa neste fácies foram

FOTOMICROGRAFIA 11 - Cristais de magnetita exibindo processo de martitização em suas bordas. Amostra SC-00 (Concreção ferrugínea) - Extensão Sul do Maciço de Santa Cruz. (Aumento 200 vezes - nicóis para lelos).

FOTO 14 - Opala niquelífera situada no topo do perfil de alteração, no interfâcies Laterita Vermelha - Saprolito Alaranjado. Porção nordeste do Maciço de Santa Maria.

registradas à SiO_2 e ao MgO , sendo que as maiores concentrações obtidas foram para Fe total (56,21%), Al_2O_3 (20,75%) e TiO_2 (7,78%). Várias porções da Laterita Vermelha apresenta teores elevados de SiO_2 em torno de 80%, indicando ganhos absolutos deste óxido (importação de matéria).

VI.5. ESTUDO DE TOPOSSEQUÊNCIA

A topossequência da Linha J, compreendendo seis furos de sonda (J-0, J-2, J-4, J-6, J-8 e J-10) mostra que a mineralização se desenvolveu exclusivamente no platô, bem como na zona de transição entre platô e vertente. Na vertente a alteração é bastante incipiente e na baixada já ocorre aflorando a encaixante (Figura 39). Em qualquer porção do corpo não se tem acúmulo de minério quer na vertente, quer na baixada.

Na topossequência estudada das sondagens que atravessaram o corpo máfico-ultramáfico, apenas uma delas (J-8) cortou os metapiroxitos serpentinizados, já que as demais cortaram metaperidotitos serpentinizados. E, justamente esta sondagem (J-8) está posicionada na vertente, sendo que não apresenta um perfil de alteração muito evoluído, e não ocorre a formação do fácies Sapolito Verde (horizonte mineralizado).

Os fácies de alteração mostram a evolução do perfil exclusivamente no platô, onde ocorre pequena formação de esmectitas, principalmente na base do Sapolito Verde. Possivelmente o processo de bissialitização não tenha sido tão pronunciado porque o lençol freático deve ter sofrido uma queda contínua relacionada à tectônica cenozóica da área, impedindo assim a neoformação de grande quantidade de esmectitas. Tal fato pode ser observado também pela pequena espessura do fácies LV na sondagem J-8 e inclusive ausência dos horizontes saprolíticos. Fica claro desta forma que a formação de esmectitas se dá na base do perfil, notadamente na porção inferior do fácies SV e no topo da fácies RA, onde a drenagem é ineficiente.

A existência de goethita em grandes proporções no fá

cies LV indica que a permeabilidade do platô era moderada, o que permitiu a completa lixiviação dos elementos de maior mobilidade e concentração do ferro na forma hidratada. No caso de alta permeabilidade normalmente deveria ser observado predomínio de hematita (Fontes et alii, 1985).

Para o caso da sondagem J-O, onde não aparecem os fácies SA e LV, provavelmente tenha ocorrido uma erosão destes dois fácies fato que se relaciona à evolução neocenozóica do relevo.

A presença de silcretes no horizonte SA e mesmo no interfácies LV-SA (Foto 14), bem como a ocorrência de preenchimento dos alvéolos destas concreções por esmectitas níquelíferas, sugerem que esta porção superior do atual perfil tenha sido a base de um antigo perfil de alteração, o qual foi erodido. Inclusive devido à conservação destes silcretes é que se teve a sustentação da topografia, o que permitiu a formação do novo perfil de alteração.

À medida em que a alteração avança o níquel sofre concentração contínua em direção à base do perfil, conforme pode ser observado, tanto no perfil estudado no corpo de Santa Cruz (Tabela 7), como também nos perfis dos furos de sonda realizados no corpo de Santa Maria (Figuras de 40 a 47).

Com relação ao grau de hidratação verifica-se que os teores mais elevados em H_2O (representados em algumas amostras pela Perda ao Fogo) são encontrados no fácies SV, o que se prende ao fato de que os próprios minerais primários aqui presentes são hidratados, ao qual ainda se somam os conteúdos em H_2O^+ dos minerais neoformados. Uma queda no teor em H_2O^+ ocorre no horizonte LV e CF, fato que pode ser explicado em parte pela passagem de goethita para uma fase mais estável, no caso a hematita, e que foi confirmado pelo estudo microscópico sob luz refletida. Por outro lado, o elevado conteúdo em SiO_2 também traz como consequência tal fato, visto que quedas mais acentuadas dos teores em água ocorrem nos níveis de silcretes, bem como nas porções mais silicificadas do perfil de alteração. A Tabela 7 mostra a composição química média dos fácies de alteração e objetiva ilustrar as considerações acima, ficando claro que a presença de

minerais hidratados não acompanha a progressão da alteração. Isto pode ser justificado pela drenagem irregular do maciço, e possivelmente pela rápida descida do nível freático.

As fases de evolução relacionadas ao jazimento e à formação dos diversos fácies de alteração apresentam íntima associação com a evolução fisiográfica da área. Assim, Melfi et alii (1979) mostram que a silicificação na base dos perfis pouco evoluídos ocorreu durante a instalação da Superfície Sul-Americana (King, 1956). O clima, do Terciário Inferior ao Médio, foi se tornando mais úmido, o que provocou a lateritização dos perfis de alteração e a consequente concentração de níquel em suas porções médias. Nova frente de alteração surge com a instalação da Superfície Velhas, onde o relevo sofreu movimentos relativos, cuja resultante é ascensional, que se iniciaram no Terciário Superior e atingiram os primórdios do Pleistoceno. Desta maneira foi ocorrendo exposição progressiva dos antigos silcretes, bem como de fácies de alteração relativamente profundos. A partir deste período é que se tem o modelado atual do relevo, e o maior avanço no estágio de alteração. Este modelo evolutivo se enquadra perfeitamente no desenvolvimento das concentrações niquelíferas para os dois depósitos pesquisados.

VI.6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MINÉRIO

Nas jazidas de concentração e enriquecimento supérgeo de níquel são distinguidos dois tipos de minério: oxidado e silicatado. O minério oxidado é caracterizado pelo elevado teor em ferro e baixo teor em sílica e magnésio, sendo também chamado de minério ferruginoso. É o minério encontrado no fácies Saprolito Alaranjado, onde o níquel aparece acompanhando o ferro.

O minério silicatado, que é o predominante na área pesquisada, por sua vez apresenta alto conteúdo em sílica e magnésio e baixas quantidades de ferro. Esta situação é comumente encontrada no fácies Saprolito Verde, onde inclusive os teores em níquel são elevados. Nesta porção do perfil de alteração, o

níquel avança até a zona de decomposição dos silicatos, concentrando-se juntamente com a sílica.

A composição das amostras com teores maiores que 0,8% em níquel, em termos dos principais constituintes do minério (Fe total, MgO e SiO₂) é apresentada nas Figuras 48 e 49. Pode-se observar que o minério se localiza no polo silicatado, no fácies Saprolito Verde. No Saprolito Alaranjado o minério apresenta teores em ferro mais elevados e o conteúdo em sílica e magnésio é mais baixo, quando comparado com o fácies Saprolito Verde. Outro fato interessante que se observa com o exame das Figuras 48 e 49 é a diferença composicional do minério para os corpos estudados. Para o maciço de Santa Cruz, o minério apresenta de modo geral, teores mais elevados em magnésio e conteúdo relativamente menor em sílica, quando comparado com amostras de Santa Maria. Isso deve refletir a diferença composicional entre esses corpos, visto que Santa Cruz é um corpo essencialmente dunito-peridotítico e Santa Maria já apresenta composição peridotito-piroxenítica.

As Figuras de 40 a 47 apresenta os perfis onde foram realizados estudos petrográficos e químicos para o corpo de Santa Maria. De início uma primeira colocação que se tira imediatamente é com referência à grande relação entre os níveis de concentração em níquel e as zonas de acúmulo de SiO₂. No diagrama Fe total - MgO - SiO₂ (Figura 49), que mostra a composição química do minério, isto fica evidenciado pela concentração do minério (fácies Saprolito Verde) no polo silicatado. Outro fato importante é que a zona mineralizada se localiza tanto nos perfis de alteração de metaperidotitos serpentinizados (sondagens J-4 e J-6), como também de metapiroxenitos serpentinizados (sondagens D-10, F-8, H-6, H-12, L-0 e L-6).

LEGENDA DAS FIGURAS DE 40 A 47

Secção Geológica

	SOLO FERRALÍTICO
	PIROXENITO SERPENTINIZADO ALTERADO
	PIROXENITO SERPENTINIZADO SÃO
	PERIDOTITO SERPENTINIZADO ALTERADO
	PERIDOTITO SERPENTINIZADO SÃO
	CALCEDONITO
	MAGNESITA
	NÍVEL DE ELEVADO ENRIQUECIMENTO EM NÍQUEL
	NÍVEL DE ENRIQUECIMENTO EM COBALTO (ASBOLANA)
	GNAISSE KINZIGÍTICO

MINERALOGIA

Metaultramáficas

Go	GOETHITA
Qc	QUARTZO (CALCEDÔNIA E/OU OPALA)
Em	ESMECTITA
Sp	SERPENTINA
Tr	TREMOLITA
Cl	CLORITA
Ta	TALCO
Es	ESPINÉLIO ALUMINOSO
Hp	HORNBLENDA PARGASÍTICA
Cr-Esp	CROMO-ESPINÉLIO
Olv	OLIVINA
Opx	ORTOPIROXÊNIO
Cpx	CLINOPIROXÊNIO

Gnaiss Kinzigítico

Pl	PLAGIOCLÁSIO
Qz	QUARTZO
Bi	BIOTITA
Gr	GRANADA
Si	SILLIMANITA

Quimismo (Teores)

————	Ni
————	SiO ₂
.....	MgO
———	Fe TOTAL

FIGURA 40 — PERFIL DA SONDAGEM D-10

CORPO DE SANTA MARIA

FIGURA 41 — PERFIL DA SONDAGEM F-8
CORPO DE SANTA MARIA

FIGURA 43 - PERFIL DA SONDAGEM H-12
CORPO DE SANTA MARIA

FIGURA 44 — PERFIL DA SONDAGEM J - 4
CORPO DE SANTA MARIA

FIGURA 45 — PERFIL DA SONDAGEM J-6
CORPO DE SANTA MARIA

FIGURA 47 — PERFIL DA SONDAGEM L-6
CORPO DE SANTA MARIA

LEGENDA

- — ROCHA FRESCA (COMPOSIÇÃO MÉDIA — NÃO MINERALIZADA)
- — ROCHA ALTERADA
- △ — SAPROLITO VERDE
- ▲ — SAPROLITO ALARANJADO
- — CONCREÇÃO FERRALÍTICA (NÃO MINERALIZADA)
- — SILCRETE

FIGURA 48 — DIAGRAMA Fe total — MgO — SiO₂ MOSTRANDO A COMPOSIÇÃO DO MINÉRIO DE NÍQUEL — MACIÇO DE SANTA CRUZ

LEGENDA

- — ROCHA FRESCA (COMPOSIÇÃO MÉDIA — NÃO MINERALIZADA)
- — ROCHA ALTERADA
- △ — SAPROLITO VERDE
- ▲ — SAPROLITO ALARANJADO

FIGURA 49 — DIAGRAMA Fe total — MgO — SiO₂ MOSTRANDO A COMPOSIÇÃO DO MINÉRIO DE NIQUEL — MACIÇO DE SANTA MARIA

CAPÍTULO VII

PESQUISA DOS DEPÓSITOS DE NÍQUEL

A sistemática empregada nas campanhas de pesquisa para depósitos minerais pode ser observada na Figura 50, a qual é normalmente subdividida em três grandes fases:

- a. Exploração geológica ou levantamento regional
- b. Prospeção em superfície ou prospecção
- c. Prospeção em profundidade ou pesquisa direta.

Na primeira fase são realizadas basicamente interpretações de imagens de satélite e/ou de fotografias aéreas, prospecção aerogeofísica e prospecção geoquímica regional (sedimentos de corrente). Na segunda fase já se executa mapeamento geológico, prospecção geoquímica de detalhe (concentrado de batéia e/ou solos) e geofísica terrestre. Alguns trabalhos de pesquisa pioneiros podem ser realizados ainda nesta fase denominada de prospecção em superfície. Na terceira e última fase é realizado um mapeamento geológico de detalhe (escala 1:2000 até 1:200) e pesquisa direta, com amostragem sistemática e detalhada. Nesta fase são calculadas as reservas de minério e de conteúdo metálico. Esta foi aproximadamente a linha adotada na pesquisa dos jazimentos niquelíferos, que apresenta algumas particularidades, em função da gênese dos depósitos, conforme discutido anteriormente, e dos controles geológicos condicionantes, conforme será abordado a seguir.

Desta forma foram empregados para a pesquisa direta destes corpos os seguintes métodos: poços, sondagens rotativas, trincheiras e galerias, e praticamente 96% dos trabalhos de pesquisa foram abertos sobre as concentrações niquelíferas, o que indica a grande eficiência da metodologia empregada na fase de prospecção. Parte de algumas das fases envolvidas no programa básico de pesquisa destes depósitos já foi alvo de publicação, e pode ser observada em Angeli & Rodrigues (1980) e Angeli et alii (1983). O primeiro trabalho versa sobre a avaliação preliminar das reservas (estimativa) de níquel dos depósitos de Santa Cruz e Santa Maria, e o segundo sobre a campanha de prospecção geoquímica de semi-detalle em sedimentos de corrente na região do

FIGURA 50 - SISTEMÁTICA TRADICIONAL EMPREGADA EM CAMPANHAS DE PROSPECÇÃO E PESQUISA MINERAL (MARANHÃO, 1982).

baixo Santa Maria.

VII.1. CONTROLES DE MINERALIZAÇÃO

Os controles mais importantes na mineralização em níquel nos corpos estudados, alguns dos quais empregados sistematicamente e com sucesso, em sua prospecção, são: litológico, geotectônico, estrutural, geomorfológico e mineralógico.

Litológico

No caso do corpo de Santa Maria, não se tem problemas com relação às unidades litológicas, posto que praticamente todo o corpo se encontra mineralizado. Basicamente este corpo é constituído por metaperidotitos e metapiroxenitos serpentinizados, sendo que estas duas unidades representam o protominério da jazida.

No corpo de Santa Cruz, onde se tem um maciço diferenciado desde dunitos até anortositos, o controle litológico é mais importante. Apesar de que não se pode, devido à deformação e ao metamorfismo imposto às rochas, acompanhar as porções mais ultrabásicas do corpo, é possível se delimitar os locais compostos por metadunitos e metaperidotitos serpentinizados. Neste corpo a porção representada por piroxenitos apresenta pequena extensão areal. As porções gábricas e anortosíticas encontram-se localizadas em uma porção definida e restrita do corpo principal (porção sudoeste), bem como ocorrem em um fragmento do mesmo, situado 2 km para sudoeste do corpo principal.

Geotectônico

Os corpos metamáfico-ultramáficos encontram-se lenticularizados devido ao cisalhamento, a que esteve submetida a área estudada. Desta forma apresentam sua maior dimensão concordante com a foliação milonítica apresentada por suas encaixantes.

Assim se reveste de um importante controle, no sentido de que orienta e auxilia na descoberta de outros corpos menores, especialmente aqueles não aflorantes, quando se tenha qualquer evidência favorável em superfície.

Como mostrado para o caso de Santa Cruz, os corpos meta ultramáficos existentes na área, correspondem a fragmentos de corpos maiores, que foram submetidos ao cisalhamento dúctil.

Estrutural

Em termos estruturais, as porções mais fraturadas dos corpos ultramáficos apresentam os níveis mais elevados de concentração em níquel. Isto se explica pelo fato de que a alteração intempérica é mais elevada e conseqüentemente ocorre lixiviação dos elementos de maior mobilidade, caso principalmente da SiO_2 e do MgO . Nas porções menos fraturadas dos corpos, onde a drenagem do maciço é baixa, não se tem concentrações econômicas de níquel. Como exemplo pode-se citar o caso da sondagem H-6 do corpo de Santa Maria, cujo perfil aparece ilustrado na Figura 42.

Outro fato também relevante reside na importância deste fraturamento, que em muitos casos incide no aparecimento de concentrações de outros bens minerais, tais como: crisotila, antofilita, talco e magnesita. Destes, antofilita e talco apresentam localmente grandes concentrações, de modo geral associadas ao sistema de fraturamento dos maciços, notadamente na porção peridotítica do corpo de Santa Cruz.

Geomorfológico

A posição das rochas metaultramáficas serpentinizadas sujeitas à alteração superficial no relevo, tem importância enorme na concentração supérgena de níquel. De acordo com a posição das concentrações na paisagem tem-se uma série de fatores que caracterizam os depósitos minerais resultantes, quais sejam:

- . espessura - normalmente maior nos platôs

- . assembléia mineralógica - predomínio de serpentinas níquelíferas nos platôs e nas vertentes e de esmectitas níquelíferas nas baixadas.
- . teor - comumente mais elevado nos platôs.

Obviamente, em função do clima, esta situação pode se modificar, conforme mostrado por Dino (1984) no estudo dos depósitos de níquel de São João do Piauí, onde se tem concentrações economicamente explotáveis nas baixadas. Neste caso, ao invés de clima tropical úmido, tem-se clima semi-árido. Com este mesmo raciocínio, em áreas sujeitas à ação de clima tropical, tem-se favorecido o intemperismo químico, e a consequência direta disso é a formação de depósitos com menor conteúdo em impurezas (principalmente em SiO_2 , MgO e Fe), além de teores mais elevados em níquel. Da mesma maneira, relevos muito acidentados vão provocar a formação de depósitos de menor espessura e de baixo teor, posto que o intemperismo físico predomina sobre o químico. Em função do que foi discutido, a composição mineralógica do minério varia conforme sua posição no relevo (Capítulo VI).

De modo geral, o relevo das zonas mineralizadas apresentam forma abaulada e topografia relativamente suave, contrastando com o relevo acidentado imposto pelas encaixantes, conforme pode ser observado nas Fotos 7 e 13 (respectivamente) para os maciços de Santa Cruz e Santa Maria. A vegetação é rarefeita, e composta por gramíneas (*Imperata brasiliensis*), leguminosas e pequenos arbustos, que também contrasta com a vegetação exuberante, que se desenvolve sobre solos das encaixantes. Normalmente a vegetação que cresce sobre os perfis de alteração das ultramáficas, apresenta raízes curtas e ramificadas. Além disso o níquel em concentrações elevadas interfere na assimilação de ferro pela planta e consequentemente na formação de clorofila. O resultado é o aparecimento da clorose, caracterizado pelo amarelamento das folhas, fato comumente encontrado nas áreas mineralizadas.

Mineralógico

Capeando os depósitos de níquel, tem-se um horizon-

te de solo ferralítico, com coloração castanho escura (chocolate), bem contrastante com os solos de alteração das rochas regionais. Às vezes, nesta cobertura superficial são encontradas concreções ferruginosas e fragmentos de calcedônia. Igualmente, fragmentos de sílica com estrutura "box-work" são frequentemente encontrados na superfície dos jazimentos.

Em termos mineralógicos os solos lateríticos que cobrem os depósitos, apresentam elevada porcentagem de magnetita, bem como localmente ocorrem relictos de serpentina, clorita e tremolita. A presença de magnetita, que não é a fase mineral predominante, se deve ao fato de que cristais reliquiais se encontram envolvidos e cimentados por goethita. Nas baixadas adjacentes aos corpos, ao longo das drenagens, são encontrados rolados de magnesita e/ou talco, que tem suas origens relacionadas ao processo de alteração hipógena dos maciços ultramáficos.

VII.2. CÁLCULO DAS RESERVAS

Como discutido nos Capítulos anteriores, os dois principais corpos mineralizados foram, basicamente em função do seu porte, submetidos à pesquisa direta, objetivando-se o cálculo das reservas. Como a pesquisa em cada um deles foi realizada em épocas distintas e por diferentes empresas, este Capítulo será iniciado com um rápido comentário sobre as campanhas realizadas. A partir daí serão apresentados os dados e discutidos os resultados. Cabe ressaltar que no presente trabalho as reservas apresentam valores mais seguros em consequência de que vários poços de pesquisa e trincheiras foram abertos, bem como algumas frentes de lavra inativa (caso do corpo de Santa Cruz) foram estudadas.

VII.2.1. Considerações sobre as campanhas de pesquisa

Santa Cruz

O maciço de Santa Cruz foi pesquisado com o emprego de 40 sondagens rotativas, que obedeceram uma malha quadrada com espaçamento de 100 metros. Destas sondagens, 31 estão no corpo principal e 9 se localizam em sua extensão sul, o que perfaz um total de 383,60 metros perfurados (Tabela 9). A Figura 51 mostra um blocodiagrama do corpo principal de Santa Cruz, onde o depósito é observado em perspectiva, com ponto de visada localizado próximo do Córrego do Ariranha (Anexo 2). Abaixo da zona delimitada pelo minério (zona mineralizada), a maior parte das sondagens não a ultrapassaram, ou seja o fácies rocha alterada não foi atingido.

Em locais onde a recuperação de testemunhos foi baixa, e nas porções onde não se tinha precisão na espessura do material de cobertura, foram abertos poços de pesquisa, ao lado das sondagens e em alguns locais entre as mesmas. No total foram 23 poços, sendo que 14 se localizam no corpo principal e 9 na extensão sul do maciço (Anexo 2). Foi realizada amostragem metro a metro, sendo que as amostras foram encaminhadas para análises químicas, nas quais foram dosados: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe total, MgO, CaO, Ni, Co, Cu e Cr.

As reservas calculadas no presente trabalho são medidas, visto que o corpo mineralizado foi bem delimitado em superfície, e a malha empregada para os trabalhos de pesquisa permitiu com que se determinasse a distribuição dos teores em sub-superfície. Praticamente a maior parte das perfurações não ultrapassou a zona mineralizada, ou seja o topo do serpentinito fresco não foi atingido. Assim as espessuras empregadas no cálculo das reservas estão subestimadas e consequentemente o mesmo ocorre com a tonelagem. A densidade média do minério foi baseada na média obtida em cada sondagem ou poço de pesquisa, em que foram feitas determinações metro a metro. O valor médio obtido para o corpo principal foi de 1,64, ao passo que na extensão

MACIÇO DE SANTA CRUZ (CORPO PRINCIPAL)

SONDAGEM	COTA	ESPESSURA DA COBERTURA(m)	ESPESSURA DE MINÉRIO(m)	TEOR MÉDIO em Ni (%)
B1/B2	308	0	6,5	1,20
B2	300	0	5,7	1,03
C1/C2	318	1,6	5,5	1,90
C2	325	3,5	3,5	1,25
D2	340	7,6	2,0	0,73
D3	319	2,7	5,5	1,82
D4	300	3,3	3,0	1,24
D2/E2	335	4,7	2,0	1,89
D2-D3/E2-E3	348	4,7	2,6	1,51
E3	363	0	8,0	1,54
E4	359	3,0	11,0	1,16
F3	384	1,5	10,0	1,09
F4	381	12,0	4,0	0,97
E4-E5/F4-F5	362	6,0	1,4	1,85
F4/F5	367	3,9	3,0	1,30
F5	349	4,0	1,5	1,15
F4-F5/G4-G5	380	3,0	15,9	0,91
G3	404	2,6	2,9	1,00
G3/G4	413	4,2	14,0	1,47
G4	404	3,7	17,7	1,62
G5	368	10,8	9,2	1,79
G6	332	5,7	1,1	1,29
G6/G7	322	3,6	3,5	2,10
G4/H4	415	4,5	3,4	1,40
G5-G6/H5-H6	360	3,0	6,8	1,06
G6/H6	340	6,0	4,3	1,29
H3/H4	420	5,5	6,0	0,95
H5	381	3,0	2,0	1,14
H5/H6	364	5,1	1,9	1,06
H6	349	5,9	1,7	0,95
H3	405	2,0	4,8	1,22
A.M. (C)	295	0	2,5	1,00
A.M. (F)	300	0	2,5	1,00

MACIÇO DE SANTA CRUZ (EXTENSÃO SUL)

I8/J8	375	2,2	3,5	1,06
I8-I9/J8-J9	361	6,8	4,0	1,01
J7-J8/J7	352	2,8	6,3	1,13
J8	388	2,0	1,5	0,71
J7-J8/K7-K8	372	5,4	3,1	0,96
H7-H8/I7-I8	350	3,5	14,5	1,35
H7/H8	328	5,0	2,0	0,90
K8	363	6,2	1,8	0,98
K8/K9	383	7,0	3,6	1,01

TABELA 9 - Sondagens rotativas executadas no depósito de Santa Cruz com cota da Boca do Furo, espessura da cobertura e do minério e teor médio respectivos.

LEGENDA

- COBERTURA ESTÉRIL
ZONA MINERALIZADA
 (ATINGIDA PELAS PERFURAÇÕES)
 C1/C2 SONDAGEM ROTATIVA EXECUTADA
 AM(F) ÁREA MINERADA DA LINHA F

FIGURA 51 — BLOCO DIAGRAMA DO DEPÓSITO DE SANTA CRUZ — CORPO PRINCIPAL (VISADA 2 — PARA LOCALIZAÇÃO VER ANEXO 2).

sul do maciço a densidade média foi calculada em 1,73.

Em função da geometria e das características distintas entre o corpo principal e a extensão sul do maciço de Santa Cruz, que foram devido a isso pesquisados de forma diversa, estas duas porções foram tratadas separadamente por todos os métodos convencionais.

Santa Maria

A área mineralizada deste maciço foi pesquisada utilizando-se sondagens rotativas, em número de 28, dispostas em malha quadrada com 100 metros de lado, perfazendo um total de 489,60 metros perfurados (Tabela 10). A Figura 52 mostra o bloco diagrama do depósito de Santa Maria, onde pode ser observado o comportamento do maciço em perspectiva. Foi utilizado um ponto de observação transversal à maior dimensão do corpo (visada 1), que aparece localizado no Anexo 3. Pode ser observado que o corpo metamáfico-ultramáfico, e conseqüentemente a zona mineralizada, apresenta adelgaçamento nas bordas do maciço, notadamente nas porções WNW e ENE.

Além disso foram abertos nove (9) cachimbos, objetivando definir com precisão o contato entre o minério e a encaixante, bem como determinar a espessura da cobertura. Cinco galerias foram abertas como meio de se definir o comportamento de porções do maciço, que apresentavam concentrações mais elevadas em níquel. Todos estes trabalhos realizados para a pesquisa do depósito estão representados no Anexo 3. Para todos eles foi realizada amostragem metro a metro, sendo que os testemunhos de sondagem foram encaminhados para análise química, onde se dosou: MgO, Fe total e Ni. A partir destes resultados, tendo por base a distribuição do níquel nas perfurações executadas, foram realizadas novas análises químicas do minério, por intervalos que apresentavam teores similares ou próximos. Assim, foram dosados: SiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO, Fe total, MnO, P₂O₅, Ni, Cu, Cr e S. Finalmente numa terceira fase, os intervalos de minério que apresentaram teores em Ni maiores que 1% foram submetidos a nova dosagem, metro a metro, para os seguintes elementos: SiO₂, Al₂O₃,

CORPO DE SANTA MARIA

SONDAGEM	COTA(m)	ESPESSURA DA COBERTURA(m)	ESPESSURA DO MINÉRIO(m)	PROFUNDIDADE DO TOPO GNAISSE(m)	TEOR MÉDIO EM Ni (%)
D-6	547	10,0	6,0	23,0	0,89
D-8	528	13,0	18,5	0	0,91
D-10	513	3,0	22,0	0	1,01
D-12	495	0	0	0	-
E-6	553	11,0	29,0	0	1,11
E-12	481	0	0	8,0	-
F-2	519	1,0	2,0	5,0	0,97
F-4	564	5,0	10,0	0	1,36
F-6	558	11,0	20,4	0	2,16
F-8	537	0	13,0	0	1,32
F-10	497	10,0	15,0	30,0	1,16
F-11	486	0	0	3,5	-
H-2	530	3,0	7,5	0	1,28
H-4	572	9,9	18,1	35,0	1,06
H-6	561	8,4	0	0	0,30
H-8	525	0	16,0	0	1,00
H-10	487	2,4	7,1	0	1,50
H-12	475	1,9	12,2	14,0	1,61
J-0	563	0	5,0	0	1,23
J-2	576	6,0	17,0	0	1,01
J-4	571	12,0	16,0	0	0,86
J-6	556	3,0	17,0	0	1,02
J-8	512	0	2,0	20,1	0,84
J-10	480	0	0	4,0	-
L-0	572	2,2	18,8	24,5	0,98
L-2	563	11,0	10,1	0	1,44
L-4	545	3,0	5,0	0	1,15
L-6	537	3,1	14,0	0	1,24

TABELA 10 - Sondagens rotativas executadas no depósito de Santa Maria com cota da Boca do Furo, espessura da Cobertura e do Minério e Teor Médio respectivos.

FIGURA 52 — BLOCO DIAGRAMA DO DÉPOSITO DE SANTA MARIA (VISADA 1 — PARA LOCALIZAÇÃO VER ANEXO 3).

CaO, MnO, P₂O₅, Cu, Cr e S.

Toda a reserva calculada para o maciço de Santa Maria foi considerada como medida, visto que a área mineralizada pode ser bem delimitada, e os trabalhos de pesquisa apresentam uma densidade satisfatória com relação à geometria e espessura do corpo mineralizado. Em termos de profundidade, todas as sondagens, ao contrário do depósito de Santa Cruz, ultrapassaram a zona mineralizada. Desta maneira estas perfurações atingiram profundidades de até 60 metros, ao passo que os poços de pesquisa abertos na maior parte das vezes não alcançaram a rocha fresca, terminando com 12 ou até mesmo no máximo 17 metros sobre o minério de níquel. A densidade do minério foi baseada na média obtida por meio de cinco determinações realizadas em amostras com teor igual ou maior que 1% em níquel. O valor obtido indica que o minério neste maciço apresenta densidade mais elevada que no caso de Santa Cruz, correspondendo a 2,0.

VII.2.2. O grau de variabilidade dos depósitos níquelíferos

As reservas para os dois depósitos pesquisados foram classificadas como medidas, e tonelagens inseridas nesta categoria devem apresentar erro que não exceda a 20%. Assim foi calculado o erro estatístico, que é função direta do tipo de malha adotada na pesquisa dos depósitos. Para tal foi empregada a fórmula: $e = CV \cdot z \cdot \frac{Ea}{p}$, (Kreiter, 1968, In: Grossi Sad, 1986):

onde: e = erro estatístico

CV = coeficiente de variação

z = constante estatística (para nível de confiança de 95% é igual a 1,96)

Ea = espaçamento da malha de sondagens

p = perímetro da área pesquisada.

Os dois jazimentos foram pesquisados com a utilização de malha quadrada com 100 metros de espaçamento. Os valores do coeficiente de variação do depósito de Santa Cruz, com relação ao teor em níquel é da ordem de 27% e de Santa Maria é de

34%. Desta forma estes depósitos apresentam um grau de variabilidade regular com relação ao teor em níquel. O mesmo não se sucede com relação à espessura de minério, onde este coeficiente é mais elevado para os dois depósitos, sendo que Santa Cruz apresenta valor de 81% e Santa Maria de 58%. Assim ambos são classificados como depósitos irregulares com relação à espessura de minério. Os perímetros correspondentes às áreas pesquisadas correspondem a 2720 metros e 2030 metros, respectivamente para Santa Cruz e Santa Maria.

Desta maneira foram calculados os erros cometidos com relação à variável teor em níquel para os depósitos de Santa Cruz e Santa Maria, onde os valores encontrados foram respectivamente de 10% e de 15%. Em termos práticos isto indica que a malha empregada na pesquisa foi adequada à distribuição apresentada pelos teores em níquel nos dois jazimentos. Para o caso da variável espessura já se encontraram valores superiores a 20% de erro, ou seja 30% para Santa Cruz e 25% para Santa Maria. Isto mostra que o parâmetro espessura se revela muito variável (coeficiente de variação irregular), e conseqüentemente a malha adotada na pesquisa dos jazimentos deveria apresentar maior densidade em função desta variação. Desta forma, em termos estatísticos, o erro efetuado por meio de interpolações entre os dados de espessura entre as sondagens realizadas pode ser elevado. Entretanto, sabe-se que este erro é diluído, quando se utiliza da área de influência das sondagens, bem como da espessura média entre perfurações adjacentes. De qualquer maneira, para erros em torno de 20% com relação a este atributo, os depósitos deveriam ser pesquisados por meio de malha de perfuração apresentando 43 metros de espaçamento para Santa Cruz e 63 metros para Santa Maria. Portanto, para diminuir o erro estatístico em relação à espessura a malha dos trabalhos de pesquisa deveria ser mais densa, e em termos práticos pode ser sugerido o espaçamento de 50 ou 60 metros.

VII.2.3. Apresentação dos Resultados

Método dos Triângulos

No maciço de Santa Cruz, o corpo principal foi dividido em 50 triângulos e sua extensão sul em 10 triângulos. Estes triângulos foram definidos por vértices representados por furos de sonda e/ou poços de pesquisa (Figura 53).

O depósito de Santa Maria foi tratado da mesma forma, onde foram estabelecidos 33 triângulos, conforme pode ser observado na Figura 54. Assim foram calculadas a área, volume, reserva de minério e conteúdo em níquel para cada triângulo (Tabelas 11a e 11b para o depósito de Santa Cruz e Tabela 12 para o jazimento de Santa Maria).

Na porção da área mineralizada que não foi atingida pelos triângulos também foi calculada a reserva, sendo que a espessura média e o teor médio empregados correspondem às médias obtidas pelas sondagens e/ou poços de pesquisa externos, ou seja aqueles trabalhos mais próximos do limite da área mineralizada. A área empregada neste cálculo foi aquela compreendida entre o limite do corpo mineralizado e a superfície delimitada pelos triângulos.

Método dos polígonos

Para o depósito de Santa Cruz foram calculadas as tonelagens para toda sua área mineralizada, correspondendo a um total de 42 polígonos, onde 33 correspondem ao corpo principal e 9 à sua extensão sul. Todo polígono apresenta em seu centro uma sondagem rotativa e/ou poço de pesquisa, sendo que para dois deles foram utilizados dados relativos a duas áreas minerais (AM/C e AM/F), conforme pode ser observado na Figura 55. O depósito de Santa Maria foi dividido em 24 polígonos, que aparecem representados na Figura 56.

Os resultados obtidos para os depósitos de Santa Cruz e Santa Maria estão representados respectivamente nas Tabelas 13 e 14.

FIGURA 53- DEPÓSITO DE SANTA CRUZ
MÉTODO DOS TRIÂNGULOS

A. PORÇÃO MINERALIZADA INTERNA

TRIÂNGULO	ÁREA(m ²)	ESP.MÉDIA(m)	VOLUME(m ³)	RESERVA DE MINÉRIO (ton)	TEOR MÉDIO(%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
1	2.352	5,90	13.877	22.758	1,38	313
2	2.352	4,90	11.525	18.901	1,39	263
3	4.889	4,90	23.956	39.288	1,36	537
4	5.184	6,33	32.832	53.844	1,33	714
5	2.240	2,70	6.048	9.919	1,16	115
6	912	2,50	2.280	3.739	1,29	48
7	3.780	3,67	13.860	22.730	1,68	382
8	5.994	4,56	27.373	44.892	1,28	576
9	3.456	5,50	19.008	31.173	1,13	353
10	3.920	6,47	25.349	41.573	1,50	622
11	2.240	7,20	16.128	26.450	1,40	371
12	1.728	2,20	3.802	6.235	1,37	85
13	1.872	6,87	12.854	21.081	1,38	291
14	5.040	4,87	24.528	40.226	1,50	602
15	1.776	8,67	15.392	25.243	1,48	374
16	4.896	8,33	40.800	66.912	1,07	718
17	4.760	9,67	46.013	75.462	1,26	953
18	2.420	6,00	14.520	23.813	1,14	272
19	1.840	4,97	9.139	14.987	1,34	200
20	9.928	5,50	54.604	89.550	1,13	1.015
21	2.754	1,80	4.957	8.130	1,33	108
22	1.376	1,97	2.707	4.439	1,43	64
23	1.430	5,13	7.341	12.039	1,44	173
24	1.008	12,20	12.298	20.168	1,28	257
25	1.568	9,37	14.687	24.087	1,33	321
26	5.040	4,40	22.176	36.369	1,31	478
27	5.040	4,27	21.504	35.267	1,36	480
28	2.464	4,57	11.252	18.454	1,41	261
29	3.604	9,50	34.238	56.150	1,37	767
30	2.464	8,23	20.287	33.271	1,29	431
31	3.168	13,90	44.035	72.218	1,39	1.006
32	4.896	10,60	51.734	84.844	1,23	1.040
33	4.144	6,30	26.107	42.815	1,45	622
34	2.283	7,20	16.438	26.958	1,23	332
35	2.800	8,30	23.240	38.114	1,21	461
36	2.688	12,57	33.779	55.398	1,35	746
37	6.612	5,73	37.909	62.170	1,29	804
38	896	9,03	8.094	13.274	1,32	176
39	1.040	12,30	12.827	21.036	1,31	275
40	1.456	6,77	9.857	16.166	1,38	223
41	924	3,47	3.203	5.253	1,02	54
42	1.518	4,27	6.477	10.622	1,10	117
43	864	3,16	2.736	4.487	1,45	65
44	2.484	3,43	8.528	13.987	1,46	205
45	414	2,63	1.090	1.788	1,19	21
46	1.904	4,87	9.266	15.196	1,46	221
47	2.088	6,20	12.946	21.231	1,38	293
48	2.200	4,37	9.607	15.755	1,42	224
49	1.080	5,97	6.444	10.568	1,30	138
50	3.840	3,80	14.848	24.351	1,53	372
SUB TOTAL	145.626	6,21	904.500	1.483.381	1,32	19.539
B. PORÇÃO MINERALIZADA EXTERNA AOS TRIÂNGULOS						
111.874	4,00	447.496	727.893	1,28	9.394	
C. TOTAL DO CORPO PRINCIPAL DE SANTA CRUZ						
257.500	5,25	1.351.996	2.217.274	1,31	28.933	

densidade do minério: 1,64

TABELA 11a - MÉTODO DOS TRIÂNGULOS

A. PORÇÃO MINERALIZADA INTERNA

TRIÂNGULO	ÁREA (m ²)	ESP. MÉDIA (m)	VOLUME (m ³)	RESERVA DE MINÉRIO (ton)	TEOR MÉDIO (%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
51	1.640	2,86	4.701	8.133	0,92	75
52	3.772	3,70	13.956	24.145	1,20	291
53	2.000	4,30	8.600	14.878	1,05	156
54	900	2,70	2.430	4.204	0,91	38
55	1.900	2,13	4.047	7.001	0,88	62
56	2.052	2,30	4.720	8.165	0,90	73
57	480	3,73	1.792	3.100	1,02	32
58	5.760	3,93	22.656	39.195	1,03	404
59	1.728	7,60	13.133	22.719	1,13	256
60	3.132	3,17	9.918	17.158	0,99	170
SUB TOTAL	23.364	3,68	85.953	148.699	1,05	1.557

B. PORÇÃO MINERALIZADA EXTERNA AOS TRIÂNGULOS

	45.169	5,00	225.845	390.712	1,05	4.103
--	--------	------	---------	---------	------	-------

C. RESERVA TOTAL DA EXTENSÃO SUL DE SANTA CRUZ

	68.533	4,55	311.798	539.411	1,05	5.660
--	--------	------	---------	---------	------	-------

OBS.: densidade do minério: 1,73

RESERVA TOTAL DE SANTA CRUZ (CORPO PRINCIPAL MAIS EXTENSÃO SUL)

326.033	5,10	1.663.794	2.756.685	1,26	34.593
---------	------	-----------	-----------	------	--------

TABELA 11 b - MÉTODO DOS TRIÂNGULOS

FIGURA 54 — DEPÓSITO DE SANTA MARIA
MÉTODO DOS TRIÂNGULOS

SANTA MARIA

TRIÂNGULO	ÁREA(m ²)	ESP.MÉDIA(m)	VOLUME(m ³)	RESERVA DE MINÉRIO (ton)	TEOR MÉDIO(%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
1	5.436	11,4	61.988	123.975	1,42	1.760
2	5.221	11,7	61.080	122.160	1,33	1.625
3	5.358	15,5	83.049	166.098	1,13	1.877
4	5.006	18,5	92.602	185.204	1,03	1.901
5	5.293	12,0	63.686	127.373	1,27	1.618
6	5.076	8,4	42.473	84.947	1,11	943
7	5.409	9,7	52.282	104.564	0,72	753
8	5.183	6,0	31.098	62.196	0,61	382
9	5.256	6,3	33.288	66.576	0,62	413
10	4.757	11,0	52.327	104.654	1,03	1.086
11	5.583	11,1	62.152	124.304	1,16	1.442
12	2.790	20,8	58.032	116.064	1,53	1.776
13	6.545	12,5	81.813	163.625	1,04	1.702
14	3.003	16,0	48.048	96.096	1,10	1.063
15	2.498	15,0	37.463	74.925	1,12	839
16	4.556	16,2	73.655	147.311	1,73	2.548
17	5.100	12,8	65.450	130.900	1,27	1.671
18	5.256	11,4	59.743	119.486	0,84	1.008
19	5.184	11,0	57.024	114.048	0,63	715
20	5.220	12,7	66.120	132.240	1,01	1.336
21	4.968	12,0	59.616	119.232	1,14	1.355
22	6.272	6,0	37.632	75.264	1,07	808
23	4.453	6,5	28.945	57.889	1,20	697
24	4.270	11,8	50.671	101.341	1,44	1.456
25	5.437	14,2	77.213	154.425	1,32	2.038
26	5.293	17,0	90.149	180.298	1,19	2.146
27	5.219	12,7	66.101	132.202	1,00	1.331
28	5.366	10,7	57.411	114.822	1,20	1.378
29	5.250	9,8	51.625	103.250	1,17	1.211
30	5.400	10,7	57.780	115.560	1,22	1.417
31	5.700	11,3	64.410	128.820	1,22	1.567
32	5.175	7,1	36.743	73.485	1,32	968
33	2.288	19,8	45.302	90.605	1,54	1.395
SUB TOTAL	162.821	11,71	1.906.971	3.813.939	1,16	44.225
PORÇÃO MINERALIZADA EXTERNA AOS TRIÂNGULOS						
	60.079	10,62	638.039	1.276.078	1,13	14.420
TOTAL	222.900	11,42	2.545.010	5.090.017	1,15	58.645

OBS.: Densidade do minério: 2,0

TABELA 12 - MÉTODO DOS TRIÂNGULOS

FIGURA 55 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ
MÉTODO DOS POLÍGONOS

SANTA CRUZ

A. CORPO PRINCIPAL

POLÍGO NO	ÁREA(m ²)	ESP. MÉDIA(m)	VOLUME(m ³)	RESERVA DE MI NÉRIO (ton)	TEOR ME DIO(%)	CONTEÚDO EM MI (ton)
1	7.500	6,5	48.750	79.950	1,20	959
2	7.500	5,7	42.750	70.110	1,03	722
3	7.500	5,5	41.250	67.650	1,90	1.285
4	7.500	3,5	26.250	43.050	1,25	538
5	9.375	5,5	51.563	84.563	1,82	1.539
6	10.000	3,0	30.000	49.200	1,24	610
7	7.500	2,0	15.000	24.600	0,73	180
8	6.864	2,0	13.728	22.514	1,89	426
9	2.592	2,6	6.739	11.052	1,51	167
10	9.040	8,0	72.320	118.605	1,54	1.827
11	9.672	11,0	106.392	174.483	1,16	2.024
12	10.000	10,0	100.000	164.000	1,09	1.788
13	7.500	4,0	30.000	49.200	0,97	477
14	2.980	1,4	4.172	6.842	1,85	127
15	2.500	3,0	7.500	12.300	1,30	160
16	7.500	1,5	11.250	18.450	1,15	212
17	2.500	15,9	39.750	65.190	0,91	593
18	9.264	2,9	26.866	44.060	1,00	441
19	5.224	14,0	73.136	119.943	1,47	1.763
20	6.484	17,7	114.767	188.218	1,62	3.049
21	9.048	9,2	83.242	136.517	1,79	2.444
22	5.472	1,1	6.019	9.872	1,29	127
23	6.716	3,5	23.716	38.894	2,10	817
24	5.625	3,4	19.125	31.365	1,40	439
25	2.600	6,8	17.680	28.995	1,06	307
26	3.700	4,3	15.910	26.092	1,29	337
27	6.000	6,0	36.000	59.040	0,95	561
28	7.500	2,0	15.000	24.600	1,14	280
29	3.750	1,9	7.125	11.685	1,06	124
30	6.400	1,7	10.880	17.843	0,95	170
31	10.984	4,8	52.723	86.466	1,22	1.055
32	9.760	2,5	24.400	40.016	1,00	400
33	8.900	2,5	22.250	36.490	1,00	365
Sub To tal	225.510	5,31	1.196.253	1.961.855	1,34	26.313
ÁREA MINERALIZADA EXTERNA AOS POLÍGONOS						
	31.990	4,59	146.834	240.808	1,17	2.818
TOTAL	257.500	5,21	1.341.575	2.200.183	1,32	29.042
Nota: densidade de minério: 1,64						
B. EXTENSÃO SUL						
1	8.000	2,0	16.000	27.680	0,90	249
2	8.736	14,5	126.672	219.143	1,34	2.937
3	4.320	3,5	15.120	26.158	1,06	277
4	8.928	4,0	35.712	61.782	1,01	624
5	6.336	6,3	39.917	69.056	1,13	700
6	6.048	3,1	18.749	32.436	0,96	311
7	5.816	1,8	10.469	18.111	0,98	178
8	10.260	3,6	36.936	63.899	1,01	645
9	4.800	1,5	7.200	12.456	0,71	88
Sub To tal	63.244	4,85	306.775	530.721	1,14	6.089
ÁREA MINERALIZADA EXTERNA AOS POLÍGONOS						
	5.289	3,47	37.198	64.353	1,00	644
TOTAL	68.533	4,65	318.679	551.313	1,13	6.230
NOTA: densidade do minério: 1,73						
TOTAL GERAL	326.033	5,09	1.660.254	2.751.496	1,28	35.272

TABELA 13 - MÉTODO DOS POLÍGONOS

FIGURA 56- DEPÓSITO DE SANTA MARIA
MÉTODO DOS POLÍGONOS

SANTA MARIA

POLÍGO NO	ÁREA(m ²)	ESP.MÉDIA(m)	VOLUME(m ³)	RESERVA DE MI NÉRIO (ton)	TEOR MÉ DIO(%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
1	3.352	6,0	20.112	40.224	0,89	358
2	8.848	18,5	163.688	327.376	0,91	2.979
3	8.436	22,0	185.592	371.184	1,01	3.749
4	5.304	29,0	153.816	307.632	1,11	3.418
5	4.600	2,0	9.200	18.400	0,97	175
6	10.600	10,0	106.000	212.000	1,36	2.883
7	7.752	20,4	158.141	316.282	2,16	6.832
8	10.608	13,0	137.904	275.808	1,32	3.641
9	10.608	15,0	159.120	318.240	1,16	3.692
10	8.898	7,5	66.735	133.470	1,28	1.708
11	10.506	18,1	189.738	379.476	1,67	6.337
12	10.404	0,0				
13	10.404	16,0	166.464	332.928	1,00	3.329
14	10.200	7,1	72.420	144.840	1,50	2.173
15	6.800	12,2	82.620	165.240	1,61	2.660
16	5.408	5,0	27.040	54.080	1,23	665
17	10.506	17,0	178.602	257.204	1,01	3.608
18	10.404	16,0	166.464	332.928	0,86	2.863
19	10.404	17,0	176.868	353.736	1,02	3.608
20	8.704	2,0	17.408	34.816	0,84	293
21	7.490	18,8	140.887	281.774	0,98	2.761
22	10.816	10,1	108.917	271.834	1,44	3.137
23	8.736	5,0	43.680	87.360	1,15	1.005
24	8.200	14,0	114.390	228.780	1,24	2.837
SUB TOTAL	197.584	13,39	2.645.806	5.291.612	1,22	64.711
ÁREA MINERALIZADA EXTERNA AOS POLÍGONOS						
	25.316	9,82	248.603	497.206	1,12	5.569
TOTAL	222.900	12,99	2.894.409	5.788.818	1,21	70.280

Nota: densidade média do minério: 2,0

TABELA 14 - MÉTODOS DOS POLÍGONOS

Método das secções paralelas

As reservas de minério de níquel pelo método das secções paralelas para o depósito de Santa Cruz foram calculadas por meio da divisão do corpo em sete secções, as quais correspondem às linhas de sondagens e/ou poços de pesquisa executados, conforme mostrado no Anexo 2. As Figuras de 57 a 63 mostram estas secções (B, C, D, E, F, G e H), sendo que não foram calculadas as reservas para sua extensão sul, tendo em vista a pequena quantidade e principalmente a distribuição irregular dos trabalhos de pesquisa. Para efeito de composição com os demais métodos foi empregado o resultado obtido pelo método dos polígonos para a extensão sul deste corpo de minério (Tabela 15).

O depósito de Santa Maria foi dividido em cinco secções, que correspondem às linhas onde foram executadas as sondagens rotativas (Anexo 3). Estas secções são ilustradas nas Figuras de 64 a 68 (secções D, F, H, J e L), e os resultados apresentados na Tabela 16.

Conforme pode ser observado nas Figuras de 57 a 63, para o depósito de Santa Cruz e as Figuras de 64 a 68 para o depósito de Santa Maria, os corpos mineralizados se adelgaçam em direção às extremidades dos maciços. Isto provoca normalmente uma subestimação das reservas, mesmo se empregando a lei das variações graduais no seu traçado.

Método das Isolinhas.

O cálculo das reservas pelo método das isolinhas foi realizado com base na determinação da área do depósito em seis intervalos de espessura para o depósito de Santa Cruz e em sete intervalos para Santa Maria (Figuras 69 e 71, respectivamente). Para as curvas de isoteor foram estabelecidos sete intervalos para Santa Cruz e dez intervalos para Santa Maria (Figuras 70 e 72). Os resultados obtidos para reservas de minério e de metal contido são apresentados nas Tabelas 17 e 18, respectivamente para os corpos de Santa Cruz e Santa Maria.

DEPÓSITO DE SANTA CRUZ

MÉTODO DAS SECÇÕES PARALELAS

LEGENDA DAS FIGURAS DE 57 a 63

SOLO (ESTÉRIL DE COBERTURA)

ZONA DE ENRIQUECIMENTO (MINÉRIO)

FALHAMENTO

LOCAL DA SONDAAGEM ROTATIVA E/OU POÇO DE PESQUISA

SONDAAGEM E/OU POÇO REBATIDO

ÁREA MINERADA

PROFUNDIDADE DO FURO (METROS)

FIGURA 57 — SECÇÃO B

FIGURA 58 — SECÇÃO C

FIGURA 59 — SECÇÃO D

SANTA CRUZ

SECÇÃO	ÁREA(m ²)	ESP.MÉDIA(m)	VOLUME(m ³)	RESERVA DE MINÉRIO (ton)	TEOR MÉDIO(%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
B	6,10	1.110	111.000	182.040	1,12	2.039
C	3,83	800	80.000	131.200	1,38	1.811
D	3,50	1.350	135.000	221.400	1,26	2.790
E	5,60	2.650	265.000	434.600	1,61	6.997
F	4,20	2.160	216.000	354.240	1,15	4.074
G	8,07	3.690	369.000	605.160	1,55	9.380
H	3,28	1.460	146.000	239.440	1,06	2.538
TOTAL	5,53	13.220	1.322.000	2.168.080	1,37	29.629

Distância de influência entre as secções: 100 m.
 Densidade média do minério: 1,64

TABELA 15 - MÉTODO DAS SECÇÕES PARALELAS

SANTA MARIA

D	12,17	4.563	333.099	666.198	0,96	6.396
L	11,98	3.753	288.981	577.962	1,17	6.762
F	12,08	5.369	558.376	1.116.752	1,56	17.421
J	11,40	6.007	618.721	1.237.442	0,98	12.127
H	10,15	5.620	562.000	1.124.000	1,36	15.286
TOTAL	11,49	25.312	2.361.177	4.722.354	1,23	57.992

Densidade média de minério: 2,0
 Distância de influência entre as secções: D = 73 m.
 L = 77 m.
 F = 104 m.
 J = 103 m.
 H = 100 m.

TABELA 16 - MÉTODO DAS SECÇÕES PARALELAS

DEPÓSITO DE SANTA MARIA

MÉTODO DAS SECÇÕES PARALELAS

LEGENDA DAS FIGURAS DE 64 a 68

SOLO ESTÉRIL DE COBERTURA

ZONA DE ENRIQUECIMENTO (MINÉRIO)

METAULTRAMÁFICA SERPENTINIZADA (ROCHA SÃ)

GNAISSE KINZIGÍTICO MIGMATIZADO (ENCAIXANTE)

FALHAMENTO

LOCAL E NÚMERO DE SONDAGEM

PROFUNDIDADE DO FURO (METROS)

FIGURA 65 — SECÇÃO F

FIGURA 69 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ
MÉTODO DAS ISOLINHAS
CURVAS DE ISOESPESURA

FIGURA 70 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ
MÉTODO DAS ISOLINHAS
CURVAS DE ISOTÉOR

SANTA CRUZ

A. CORPO PRINCIPAL

ÁREA(m ²)	ESP.MÉDIA(m)	VOLUME(m ³)	RESERVA DE MINÉRIO (ton)	TEOR MÉDIO(%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
257.500	5,43	1.398.225	2.293.089	1,17	26.829
densidade do minério: 1,64					
B. EXTENSÃO SUL					
68.533	5,65	387.211	669.875	0,90	6.029
densidade do minério: 1,73					
C. TOTAL-SANTA CRUZ					
326.033	5,48	1.785.436	2.928.115	1,12	32.858

TABELA 17 - MÉTODO DAS ISOLINHAS

TOTAL- SANTA MARIA

222.900	12,45	2.775.105	5.550.210	1,14	63.272
---------	-------	-----------	-----------	------	--------

densidade do minério: 2,0

TABELA 18 - MÉTODO DAS ISOLINHAS

FIGURA 71 - DEPÓSITO DE SANTA MARIA
MÉTODO DAS ISOLINHAS
CURVAS DE ISOESPESURA

FIGURA 72 - DEPÓSITO DE SANTA MARIA
MÉTODO DAS ISOLINHAS
CURVAS DE ISOTECOR

O volume foi calculado com base na fórmula do tronco de cone, que ao contrário do método das secções paralelas tende a superestimar as reservas, conforme se observa nos Quadros 5 e 6. Os resultados obtidos com o emprêgo da isópaca média foi similar a este calculado pela somatória dos troncos de cone.

Método dos blocos de lavra

Com a utilização do método dos blocos de lavra, o depósito de Santa Cruz foi dividido em 27 blocos, onde 22 correspondem ao corpo principal e 5 à extensão sul (Figura 73). São blocos irregulares, definidos por vértices que correspondem à sondagens e/ou poços de pesquisa efetuados. O depósito de Santa Maria, por sua vez devido à pesquisa realizada em malha regular, apresenta-se dividido em 34 blocos regulares, excetuando-se o de suas extremidades (Figura 74).

Desta forma foram calculados área, volume, reserva de minério e conteúdo em níquel para cada bloco. Para o cálculo das reservas da porção mineralizada não atingida pelos blocos, a tonelagem foi calculada por meio da utilização de dados relativos às sondagens e/ou poços de pesquisa próximos do limite da área mineralizada. As Tabelas 19 e 20 apresentam os dados correspondentes aos corpos de Santa Cruz e Santa Maria respectivamente.

Método Estatístico

Para a aplicação do método estatístico no cálculo das reservas, foi realizada inicialmente a confecção de histogramas de frequência, com o objetivo de se observar o comportamento e a distribuição dos dados (teor em níquel e espessura de minério) nas áreas mineralizadas. Para a definição das classes de frequência para estas duas variáveis, foi empregado o método

FIGURA 73 - DEPÓSITO DE SANTA CRUZ
MÉTODO DOS BLOCOS DE LAVRA

BLOCO	ÁREA (m ²)	ESF. MÉDIA (m)	VOLUME (m ³)	RESERVA DE MINÉRIO (ton)	TEOR MÉDIO (%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
1	4.800	5,30	25.440	41.722	1,34	561
2	10.000	3,37	33.750	55.350	1,20	664
3	3.328	2,59	8.611	14.122	1,35	191
4	1.680	4,65	7.812	12.812	1,57	201
5	9.212	6,87	63.332	103.865	1,44	1.496
6	10.000	8,25	82.500	135.300	1,19	1.610
7	4.600	8,47	38.985	63.935	1,15	734
8	5.616	10,70	59.951	98.320	1,27	1.219
9	2.600	3,97	10.322	16.928	1,29	219
10	2.304	8,42	19.411	31.834	1,12	356
11	2.200	14,45	31.790	52.136	1,38	719
12	2.700	10,90	29.599	48.542	1,47	712
13	2.496	6,44	16.068	26.532	1,21	319
14	10.000	3,57	37.750	61.910	1,31	811
15	5.280	6,92	36.564	59.965	1,16	696
16	3.720	10,30	38.223	62.686	1,36	853
17	6.552	4,25	27.846	45.667	1,24	566
18	4.600	8,97	41.285	67.707	1,57	1.061
19	2.754	4,10	11.223	18.406	1,18	217
20	2.184	6,69	14.606	23.951	1,46	350
21	3.198	3,67	11.753	19.275	1,09	210
22	1.800	4,33	7.807	12.803	1,29	166
SUB TOTAL	101.624	6,44	654.628	1.073.771	1,30	13.961
PORÇÃO MINERALIZADA EXTERNA AOS BLOCOS						
	155.876	4,24	660.914	1.083.899	1,21	13.115
TOTAL	257.500	5,11	1.315.542	2.157.670	1,26	27.076
OBS.: Densidade do minério: 1,64						
SANTA CRUZ - EXTENSÃO SUL						
23	5.712	7,85	44.839	77.572	1,13	880
24	4.216	5,42	22.872	39.569	1,02	404
25	3.040	3,20	9.728	16.829	0,95	159
26	1.152	2,54	2.923	5.057	0,86	43
27	4.800	2,67	12.816	22.172	0,93	206
SUB TOTAL	18.920	4,92	112.098	161.198	1,05	1.692
PORÇÃO EXTERNA	49.613	4,74	235.166	406.838	1,02	4.150
TOTAL	68.533	5,07	347.264	568.036	1,03	5.842
OBS.: Densidade do minério: 1,73						
RESEVA TOTAL (CORPO PRINCIPAL + EXTENSÃO SUL)						
TOTAL	326.033	5,10	1.662.806	2.725.705	1,21	32.918

TABELA 19 - BLOCOS DE LAVRA

FIGURA 74 - DEPÓSITO DE SANTA MARIA
MÉTODO DOS BLOCOS DE LAVRA

BLOCO	ÁREA(m ²)	ESP.MÉDIA(m)	VOLUME(m ³)	RESERVA DE MINÉRIO(ton)	TEOR MÉDIO(%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
1	9.150	14,40	131.760	263.520	1,29	3.399
2	10.404	13,00	135.252	270.504	1,07	2.844
3	10.404	12,00	125.108	250.216	1,12	2.802
4	10.404	12,70	132.391	264.782	1,16	3.072
5	8.160	9,65	78.744	157.488	1,55	2.441
6	10.082	8,40	84.353	168.705	1,11	1.873
7	10.404	8,70	91.035	182.070	0,71	1.293
8	10.404	12,70	132.911	265.822	0,88	2.339
9	10.404	14,60	152.419	304.837	1,20	3.658
10	7.742	9,80	76.130	152.259	1,17	1.781
11	8.779	11,40	100.080	200.161	1,42	2.842
12	10.404	12,70	132.911	265.822	1,24	3.296
13	10.404	12,30	128.489	256.979	1,12	2.878
14	10.404	12,10	126.149	252.297	1,29	3.255
15	10.404	9,40	97.798	195.595	1,32	2.582
16	10.404	17,10	177.908	355.817	1,10	3.914
17	10.404	17,40	180.822	361.646	1,28	4.629
18	8.682	16,30	141.517	283.033	1,38	3.906
19	3.570	6,00	21.420	42.840	1,16	497
20	4.845	20,20	98.111	196.223	0,96	1.884
21	1.590	12,20	19.600	39.200	0,90	353
22	1.408	22,00	30.976	61.952	1,01	626
23	4.794	18,50	88.689	177.378	1,08	1.916
24	1.030	12,20	12.566	25.132	1,61	405
25	348	12,20	4.246	8.491	1,61	137
26	870	2,00	1.740	3.480	0,84	29
27	1.365	14,00	19.110	38.220	1,24	474
28	3.060	9,50	29.070	58.140	1,19	692
29	4.834	7,50	36.497	72.993	1,29	942
30	7.790	14,40	112.176	224.352	1,21	2.715
31	1.860	18,80	34.968	69.936	0,98	685
32	855	11,90	10.175	20.349	1,11	226
33	60	6,00	360	720	0,89	6
34	1.702	4,70	8.085	16.169	1,12	181
SUB TOTAL	217.424	12,66	2.753.566	5.507.128	1,17	64.622
ÁREA EXTERNA	5.476	12,34	67.574	135.148	1,16	1.568
TOTAL	222.900	12,66	2.821.140	5.642.276	1,17	66.190

NOTA: Densidade do Minério: 2,0

TABELA 20 - BLOCOS DE LAVRA

SANTA MARIA

de Sturges. Com a análise visual dos histogramas, pode-se observar que os dados apresentam distribuição normal para a variável teor em níquel para os dois depósitos pesquisados (Figuras 75 e 77). No caso da variável espessura de minério já é observada uma pequena dispersão dos valores (Figuras 76 e 78), mas que ainda se adaptam à lei normal de distribuição.

Objetivando avaliar a distribuição destes valores, foram feitos testes estatísticos de assimetria e curtose para todos os histogramas de frequência obtidos, quer para teor em níquel quer para espessura de minério. Pode-se observar que os dados apresentam distribuição normal com relação a curtose, e se afastam um pouco da normalidade com relação à assimetria, conforme testes propostos por Preston (1970). Entretanto, considerando-se que o número de amostragem é relativamente baixo, não foi dada grande importância a esta assimetria em relação ao padrão normal de distribuição. A assimetria da variável espessura de minério, no caso do depósito de Santa Cruz, está acentuada devido ao pequeno número de valores acima de 10 metros, fato que se deve aos trabalhos de pesquisa executados, onde a maior parte das sondagens não ultrapassaram a zona mineralizada.

Desta forma, o teor médio em níquel e a espessura média dos depósitos pesquisados que se situam na classe modal, são valores representativos e podem ser empregados no cálculo das reservas (Quadros 5 e 6).

VII.2.4. Considerações sobre as Reservas

Com base nos dados apresentados para os depósitos pesquisados (Tabelas de 11 a 20), observa-se que são obtidos valores distintos para reserva de minério e de níquel contido, em função do método de cubagem utilizado. Deve-se ressaltar que no caso do depósito de Santa Cruz, não foi possível se empregar o método das secções paralelas para sua extensão sul, sendo que a reserva total obtida para esta porção do maciço resultou do método dos polígonos.

Com a análise dos dados apresentados, os quais aparecem sintetizados nos quadros comparativos (Quadro 5 - Maciço

FIGURA 75— HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A VARIÁVEL TEOR EM NÍQUEL — DEPÓSITO DE SANTA CRUZ

FIGURA 76— HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A VARIÁVEL ESPESSURA DE MINÉRIO — DEPÓSITO DE SANTA CRUZ

FIGURA 77— HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A VARIÁVEL TEOR EM NÍQUEL — DEPÓSITO DE SANTA MARIA

FIGURA 78— HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA PARA A VARIÁVEL ESPESURA DE MINÉRIO — DEPÓSITO DE SANTA MARIA

MÉTODO	ÁREA (m ²)	EXPESSURA MÉDIA (m)	VOLUME (m ³)	RESERVA DE MINÉRIO (ton)	TEOR MÉ DIO (%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
Triângulos	326.033	5,10	1.663.744	2.756.685	1,26	34.593
Polígonos	326.033	5,09	1.660.254	2.751.496	1,28	35.272
Secções Paralelas (corpo principal)	————	5,53	1.322.000	2.168.080	1,37	29.629
Extensão Sul(método dos polígonos)	13.964	4,65	343.973	595.074	1,13	6.733
Total	————	5,35	1.665.973	2.763.154	1,32	36.362
Isolinhas	326.033	5,48	1.785.436	2.928.115	1,12	32.858
Blocos de Lavra	326.033	5,10	1.662.806	2.725.705	1,21	32.918
Estatístico*	326.033	5,14	1.675.810	2.815.360	1,24	34.911

(*) Densidade média utilizada: 1.68

QUADRO 5 - Quadro Comparativo mostrando os resultados obtidos pelos métodos de cubagem empregados.

Depósito de Santa Cruz

MÉTODO	ÁREA (m ²)	EXPESSURA MÉDIA (m)	VOLUME (m ³)	RESERVA DE MINÉRIO (ton)	TEOR MÉ DIO (%)	CONTEÚDO EM Ni (ton)
Triângulos	222.900	11,42	2.545.010	5.090.017	1,15	58.645
Polígonos	222.900	13,12	2.829.409	5.788.818	1,21	70.280
Seções Paralelas	—	11,49	2.361.177	4.722.354	1,23	57.992
Isolinhas	222.900	12,45	2.775.105	5.550.210	1,14	63.272
Blocos de Lavra	222.900	12,66	2.821.140	5.642.276	1,17	66.190
Estatístico	222.900	12,57	2.801.853	5.603.706	1,16	65.003

QUADRO 6 - Quadro Comparativo mostrando os resultados obtidos pelos métodos de cubagem empregados.

Depósito de Santa Maria

de Santa Cruz e Quadro 6 - Maciço de Santa Maria), pode-se observar que não existe tendência alguma em termos de reserva de minério e método de cálculo empregado. Assim é que para o depósito de Santa Cruz, as maiores tonelagens foram obtidas pelo método das isolinhas, ao passo que as menores reservas foram encontradas com o emprego do método dos blocos de lavra. Para o depósito de Santa Maria as maiores tonelagens foram encontradas com o emprego do método dos polígonos, e as menores reservas com a utilização do método das secções paralelas. Isto é de fácil compreensão, posto que os maiores valores de tonelagem de minério acham-se relacionados às espessuras médias mais elevadas, e ao contrário as reservas mais baixas associam-se a espessuras médias mais baixas. Desta maneira, a variação encontrada vincula-se aos métodos de pesquisa e de cálculo empregados.

Com relação ao teor médio, observou-se que existe uma tendência, verificada nos dois depósitos estudados. Assim, pode-se observar que teores mais baixos de minério são encontrados quando se aplica o método das secções paralelas, e ao contrário os valores mais elevados associam-se ao emprego do método das isolinhas.

Em função do trabalho realizado, especialmente da malha empregada na pesquisa dos depósitos de níquel e da distribuição irregular das espessuras de minério, observou-se que o método dos blocos de lavra ou mesmo o dos polígonos, são aqueles que apresentam maior adequação a estes aspectos. Desta forma os valores mais representativos correspondem aos resultados apresentados por estes métodos, quando se pretende ser mais conservador. Entretanto também são apresentados os dados resultantes da aplicação do método estatístico, que se baseia na média obtida para os parâmetros espessura e teor em níquel de todos os trabalhos de pesquisa realizados. Pode-se observar que os resultados obtidos por este método são bastante similares àqueles encontrados com a aplicação do método dos blocos de lavra.

Desta forma as reservas de minério de níquel para os dois corpos pesquisados totalizam aproximadamente 8,4 milhões de toneladas a um teor médio de 1,2% em níquel, o que perfaz um total de quase 100.000 toneladas de metal.

O depósito de Santa Cruz apresenta reservas de aproximadamente 3 milhões de toneladas a um teor médio de 1,24% em Ni. Entretanto pode ser observado que sua espessura média é baixa (5,14 metros), em virtude do processo utilizado na pesquisa, pelo qual vários poços e/ou sondagens não ultrapassaram completamente a faixa mineralizada. Por sua vez, o depósito de Santa Maria apresenta reservas que ultrapassam 5 milhões de toneladas a um teor médio de 1,16% em Ni. A espessura média do depósito é de 12 metros e meio, e ao se observar a área mineralizada deste corpo, pode ser verificado que a mesma é bem menor que aquela determinada para Santa Cruz. Desta forma, em termos de estimativa, os dados apresentados por Angeli & Rodrigues (1980) ainda são válidos para o depósito de Santa Cruz, ou seja 7,1 milhões de toneladas de minério, entretanto o teor médio deve situar-se em torno de 1,2% em Ni, ou até mesmo 1,16%, como no caso de Santa Maria.

Com a análise do gráfico teor de corte X tonelagem para o corpo principal do depósito de Santa Cruz (Figura 79), pode-se verificar que para teor de corte elevado obtêm-se baixas toneladas de minério, entretanto deve-se levar em consideração que a jazida apresenta teor médio relativamente alto (1,30% em Ni). Isto indica que toda a jazida pode ser lavrada e que a reserva total pode ser incluída no plano de aproveitamento econômico, fato que amplia sua vida útil.

Para a extensão sul do corpo de Santa Cruz (Figura 80), o mesmo não pode ser dito, visto que não há teor de corte elevado, sendo que o bloco de lavra mais rico (bloco nº 23) apresenta 1,13% de Ni. Desta forma sugere-se que seja realizado um aproveitamento conjunto do jazimento, através de blendagem entre o minério do corpo principal e o da extensão sul do maciço. Assim, obtêm-se um teor médio mais elevado, e para determinado teor de corte, a tonelagem a ser extraída será maior (Figura 81). O depósito de Santa Maria exhibe o mesmo comportamento, ou seja para teor de corte elevado as toneladas obtidas são baixas, muito embora os teores médios estejam sempre acima de 1% em níquel (Figura 82).

Em síntese, pode-se concluir que com a utilização

FIGURA 79 — CURVA TEOR DE CORTE X TONELAGEM DE MINÉRIO E DE METAL X TEOR MÉDIO — CORPO PRINCIPAL DE SANTA CRUZ.

FIGURA 80 — CURVA TEOR DE CORTE X TONELAGEM DE MINÉRIO E DE METAL X TEOR MÉDIO — EXTENSÃO SUL DE SANTA CRUZ.

FIGURA 81 — CURVA TEOR DE CORTE X TONELAGEM DE MINÉRIO E DE METAL X TEOR MÉDIO — CORPO PRINCIPAL + EXTENSÃO SUL DE SANTA CRUZ.

FIGURA 82 — CURVA TEOR DE CORTE x TONELAGEM DE MINÉRIO E DE METAL x TEOR MÉDIO — CORPO DE SANTA MARIA.

isolada de quaisquer dos métodos convencionais para a avaliação das reservas, os resultados obtidos podem variar bastante. Assim, para depósitos similares pode-se recomendar a utilização de pelo menos dois métodos convencionais (um deles preferencialmente blocos de lavra), além de se realizar uma abordagem estatística. Isto permite com que se amplie a margem de segurança e minimize o percentual de erro na determinação das tonelagens.

CAPÍTULO VIII

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme visto nos Capítulos anteriores, falta uma melhor definição para o que seja Complexo Juiz de Fora e Grupo ou Complexo Paraíba do Sul. No meu entender a individualização de unidades ortoderivadas, especialmente os granulitos, gnaisses granulíticos, gnaisses tonalíticos e migmatitos com paleossoma diorítico e granodiorítico, devem ser individualizados e inseridos no Complexo Juiz de Fora. Em grande parte estas rochas correspondem a núcleos do antigo embasamento retrabalhado em ciclos tecto-orogênicos posteriores. Por outro lado as sequências metassedimentares, rochas essencialmente supracrustais, tais como gnaisses kinzigíticos, gnaisses arcoseanos, metagrauvacas, quartzitos dentre outras podem e devem ser reunidas no Grupo ou Complexo Paraíba do Sul. No atual estágio do conhecimento isto parece que se torna possível, e com certeza será um passo importante para o modelo de evolução geológica do segmento norte da Província Mantiqueira.

As rochas granitóides, por sua grande expressão geográfica na Folha pesquisada, mereceram destaque e devem ser mais estudadas, principalmente aquelas que compõem a unidade Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum. Esta Suíte corresponde a uma associação de rochas diferenciadas com assembléia mineralógica e tipologia do zircão indicando filiação calco-alcalina, e apresenta idade brasileira. Em termos econômicos, notadamente para o caso de elementos metálicos como Sn e W, a área compreendida por rochas pertencentes a esta suíte se torna importante, na medida em que apresenta-se intrudida por granitos crustais do tipo Tabajara.

Os complexos metamáfico-ultramáficos pesquisados apresentam dificuldades quando se tenta enquadrá-los em quaisquer das classificações existentes na literatura. Na realidade faltam dados, principalmente relativos ao quimismo mineral e aos equivalentes metamórficos encontrados nas encaixantes, que possivelmente apresentem porções que pertençam a estes complexos. O que se procurou neste trabalho foi tentar se evitar o

uso de "complexos de classificação incerta", que comumente é empregado. Desta forma a maior probabilidade é que estes corpos correspondem à pequenas intrusões diferenciadas, que posteriormente foram submetidas a várias etapas de deformação e metamorfismo, mas que entretanto apresentam pequenas porções parcialmente poupadas destes eventos. De qualquer forma, ao se correlacionar estes complexos com os demais corpos similares que ocorrem na porção oriental do Estado de Minas Gerais, desde a região de Governador Valadares até Liberdade (de norte para sul), pode-se observar que os mesmos se encontram alinhados e parecem se associar a uma sutura profunda, que corresponde à borda de uma antiga área cratônica (rifteamento marginal).

O que se pôde concluir preliminarmente com este trabalho é que as unidades metamáficas-ultramáficas e suas encaixantes (rochas ortoderivadas) foram colocadas e embutidas durante um ciclo tecto-orogênético, representando rochas catazonais. Ou seja, tudo indica que tem-se a infracrosta aflorando na região, que se encontra exposta através de empurrão de E para W e/ou de SE para NW, em direção à área cratônica. Alguns dados estruturais, embora preliminares evidenciam esta direção de transporte, entretanto, necessitam de maior consistência em termos de dados e observações de campo.

Com relação ao minério, baseado nos estudos mineralógicos e geoquímicos das amostras do perfil realizado na extensão sul do corpo de Santa Cruz, observou-se que a evolução da alteração supérgena das rochas que compõem o maciço levou à destruição intensa dos silicatos primários. Isto caracteriza o processo de lateritização onde se verifica uma lixiviação quase completa do MgO e parcial da SiO_2 . A existência de horizonte pedológico completamente lateritizado, exibindo evacuação total de SiO_2 e MgO foi observada, onde se teve a destruição de todos os silicatos primários e mesmo de eventuais fases argilosas dele provenientes. Neste horizonte se tem um acúmulo elevado de Fe, que atinge valores de 56%, bem como de Al_2O_3 que apresenta teores em torno de 21%. O horizonte mais oxidado, correspondente ao Saprolito Alaranjado, embora evidencie enriquecimento em níquel, apresenta teores marginais, que podem ser utilizados como

minério através da blendagem, de modo que o cobalto também possa ser aproveitado no processo industrial. O maior acúmulo de níquel está posicionado na base do perfil de alteração, ou seja no Saprolito Verde. Aqui o níquel se encontra, em parte associado a filossilicatos neoformados e em parte relacionado aos produtos amorfos, ambos provenientes da dissolução incongruente da olivina, sendo que desta forma originam minérios essencialmente do tipo silicatado.

Finalizando, deve ser salientado que apesar da existência de reservas de pequeno a médio porte com teor médio relativamente elevado em níquel, estes depósitos apresentam importância econômica para o desenvolvimento local e regional. Mesmo em se pensando nas grandes reservas brasileiras de minério de níquel, convém lembrar que ambos os depósitos pesquisados, bem como outros de menor porte situam-se num raio de 150 km do polo siderúrgico de Ipatinga e também não ficam muito distantes das usinas instaladas na região sudeste do país. Desta forma, pela localização geográfica, até certo ponto privilegiada, estas reservas se tornam importantes sob o ponto de vista econômico.

CAPÍTULO IX

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função do trabalho realizado e das considerações feitas em face da análise dos resultados obtidos, sabe-se que muito ainda resta por se fazer, especialmente com relação à evolução geológica da área. A experiência obtida nesta pesquisa evidencia que novos trabalhos ou projetos específicos poderão e deverão ser realizados, de modo a dar continuidade ao que já foi executado. Coerente com esta linha de pensamento serão discriminadas uma série de metas de trabalho a serem efetuadas na área, algumas das quais estão nos planos de pesquisa do autor desta Tese.

. Mapeamento geológico em escala de 1:50.000

Com esta escala uma série de unidades litológicas poderão ser mapeadas, o que permitirá o melhor entendimento das relações petrológico-estruturais entre as unidades e subunidades já mapeadas, bem como sua sequência evolutiva.

. Estudos geocronológicos

Já estão em preparação algumas amostras da área pesquisada, com objetivo de estudo geocronológico. É importante para se estabelecer uma análise das relações temporais entre as unidades mapeadas, bem como para se elaborar um modelo de evolução tectono-termal para a Folha Ipanema e regiões adjacentes. É pretensão também se realizar datações Sm/Nd para as rochas que compõem os complexos metamáfico-ultramáficos.

. Análise estrutural

Com base nos dados de campo e nos estudos geocronológicos deve ser realizada uma análise estrutural sistemática, na qual a preocupação maior seria centralizada na caracterização do número de fases de deformação e sua relação com as fases de metamorfismo atuantes na área. Desta forma, com certeza algumas unidades litológicas deverão ser individualiza-

das.

. Estudo litogeoquímico

É um estudo que deve ser aplicado principalmente nas unidades gnáissicas, com o objetivo principal de se definir sua origem. Assim sequências paraderivadas seriam facilmente individualizadas de sequências ortoderivadas. Além disso este estudo auxiliaria diretamente no estabelecimento da gênese dos complexos metamáfico-ultramáficos serpentinizados, posto que se os mesmos tiverem uma origem relacionada a ofiolitos, o que não é provável, grande parte da sequência deve estar distante dos complexos e totalmente metamorfizada e tectonizada. Foram encontrados alguns blocos e fragmentos de rochas que podem ser correlacionados a metabasaltos, bem como porções pelíticas ricas em Fe e Mn.

. Quimismo e tipologia do zircão para os granitóides

Isto se faz importante na medida em que foram encontrados vestígios e ocorrências de cassiterita na porção sudeste da área pesquisada. O estudo da tipologia do zircão é uma técnica barata, rápida e eficiente, que associada ao quimismo das rochas vai possibilitar a confecção de mapas previsionais para metais, principalmente Sn e W. Além disso várias conclusões poderão ser extraídas com relação à origem destas rochas.

. Estudo por meio de microsonda eletrônica

Este trabalho que já está programado para ser iniciado, terá por objetivo o estudo do quimismo mineral, por meio do qual pretende-se elaborar um modelo genético para os maciços metamáfico-ultramáficos. De imediato alguns problemas deverão ser resolvidos, tais como os da origem dos Al-espinélios e das olivinas. Também deverão ser estudados os ortoanfibólios objetivando determinar as variedades e as fases minerais presentes.

. Dosagens para elementos menores

Principalmente a unidade gabr $\acute{o}$ ica do maciço de Santa Cruz deveria ser submetida a análises químicas com dosagens para elementos do grupo da platina. Como este maciço apresenta-se diferenciado, faz-se importante este trabalho, bem como a dosagem de Ti nos anortositos e gabros anortos $\acute{i}$ ticos. A unidade metaperidot $\acute{i}$ tica com n $\acute{i}$ veis de cromo-espin $\acute{e}$ lio, igualmente deveriam ser analisadas visando os platin $\acute{o}$ ides.

. Geoestatística

Em função do grau de regularidade dos dep $\acute{o}$ sitos estudados, mesmo levando-se em conta o pequeno volume de trabalhos realizados, em termos estatísticos, deve ser efetuado um estudo geoestatístico para ambos os dep $\acute{o}$ sitos. Isto permitirá inclusive com que seja realizado o c $\acute{a}$ lculo de reservas (krigeage) a um percentual de $\hat{e}$ rro bastante reduzido.

CAPÍTULO X

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

X.1. BIBLIOGRAFIA CITADA

- ALLÈGRE, C.J. & MATTAUER, M. - 1972 - Structure et dynamique de la lithosphère. Hermann Editeurs, Paris: 472 p.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1967 - Origem e evolução da plataforma brasileira. DGM-DNPM, Boletim, Rio de Janeiro, 241: 36 p.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1977 - O cráton do São Francisco. Rev.Bras. Geoc., São Paulo, 7(4): 349-364.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1981 - O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. Simp. sobre o Cráton do S. Francisco e suas faixas marginais, Anais, Salvador: 1-9.
- ALMEIDA, F.F.M. de & LITWINSKI, N. - 1984 - Província Mantiqueira - Setor Setentrional. In: O Precambriano do Brasil, F.F.M. de Almeida & Y. Hasui Coord. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo: 282-307.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y. & BRITO NEVES, B.B. de - 1976 - The upper precambrian of South America. IGUSP, Boletim, São Paulo, 7:45-80.
- ALMEIDA, F.F.M., AMARAL, G., CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K. - 1973 - The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of the Amazon River. The Ocean Basins and Margins, Chapter 11(1): 411-446.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de & FUCK, R.A. - 1977 - Províncias Estruturais Brasileiras. Simp. Geol. Nord. 8º, Atas, Campina Grande: 363-391.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. & FUCK, R.A. - 1981 - Brazilian Structural Provinces: An Introduction. Earth Sci. Rev., 17:1-29.
- ANGELI, N. - 1979 - Geologia da Região de Ipanema - MG. Unifor Geologia, Fortaleza, 1(1): 1-10.

- ANGELI, N. & CHOUDHURI, A. - 1985 - Ultramafic complexes and associated mineral deposits in the Precambrian of Eastern Minas Gerais, Brazil. *Miner. Dep.*, 20:309-313.
- ANGELI, N. & RODRIGUES, E. de P. - 1980 - Pesquisa de níquel em parte da porção centro-leste do Estado de Minas Gerais. *Congr. Bras. de Geol.*, 31º, Anais, Camboriú, 4:2403-2414.
- ANGELI, N.; LANDIM, P.M.B.; ALVES, R. & TAKIYA, H. - 1983 - Prospeção geoquímica para níquel e cobre na região do Baixo Santa Maria, município de Ipanema e Pocrane, Minas Gerais. *Simp. Geol. Minas Gerais*, 11º, Anais, Belo Horizonte, 235 - 247.
- ANGELI, N.; OLIVEIRA, S.M.B. de, CHOUDHURI, A. & JIMÉNEZ R., J. R. - 1984 - Avaliação preliminar dos produtos de alteração das rochas ultramáficas de Ipanema - MG. *Congr. Bras. Geol.*, 33º, Anais, Rio de Janeiro, 9:4229-4240.
- BARBOSA, A.L. de M. & GROSSI SAD, J.H. - 1983 - Reinterpretação das "Séries" Juiz de Fora e Paraíba, em Minas Gerais e Rio de Janeiro. *Simp. Geol. Minas Gerais*, II, Anais, Belo Horizonte: 01-15.
- BARBOSA, A.L. de M.; GROSSI SAD, J.H.; TORRES, N. & VAZ DE MELO, M.T. - 1964 - Geologia das Quadrículas de Serra do Cuiceté e Conselheiro Pena, Minas Gerais. *Relatório da Geosol p/ DNPM*, Belo Horizonte: 285 p.
- BERBERT, C.O. - 1977 - Complexos máfico-ultramáficos no Brasil. *Simp. Reg. Geol.*, 1, Atas, São Paulo: 04-28.
- BERTHÉ, D.; CHOUKROUNE, P. & JEGOUZO, P. - 1979 - Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granites: the example of the South Armorican Shear Zone. *Journ. Struct. Geol.*, 1(1): 31-42.
- BOGOLEPOV, V.G. - 1969 - Problem of serpentization of ultrabasic rocks. *Int. Geol. Rev.*, 12(4): 421-432.
- BOWES, D.R., SKINNER, W.R. & WRIGHT, A.E. - 1970 - Petrochemical comparison of the Bushveld Igneous Complex with some other mafic complexes. *Geol. Soc. South Africa, Sp. Publ.*, 1:425-440.

- CONDIE, K.C. & MADISON, J.A. - 1969 - Compositional and volume changes accompanying progressive serpentinization of dunites from the Webster - Addie ultramafic body, North Carolina. *Am. Miner.*, 54:1173-1179.
- COLEMAN, R.G. - 1977 - Ophiolites. Springer Verlag, New York: 229 p.
- CORDANI, U.G., DELHAL, J. & LEDENT, D. - 1973 - Orogêneses superposées dans le précambrien du Brésil sud-oriental (États de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, 3(1): 1-22.
- COSTA, M.T. & ROMANO, A.W. - 1976 - Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. IGA, Belo Horizonte.
- COWARD, M.P. - 1980 - Shear zones in the Precambrian crust of Southern Africa. *Journ. Struct. Geol.*, 2(1/2): 19-27.
- DEN TEX, E. - 1969 - Origin of ultramafic rocks, their tectonic setting and history - A contribution to the discussion of the paper "The origin of ultramafic and ultrabasic rocks" by P.J. Wyllie. *Tectonoph.*, 7:457-488.
- DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS - 1977 - Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Incl. texto expl. Convênio DRM/RJ - INPE, Rio de Janeiro, Escala 1:400.000.
- DINO, R. - 1984 - Gênese do minério de níquel de São João do Piauí por alteração intempérica. Dissertação de Mestrado, IGUSP, São Paulo: 145 p.
- EBERT, H. - 1968 - Ocorrência de fácies granulítico no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: Hipótese sobre sua origem. *An.Acad.Bras. Ciênc.*, Vol. 40, Suplem., Rio de Janeiro: 215-229.
- EBERT, H. - 1984 (In Memoriam) - Os Paraibides entre São João del Rei e Itapira e a bifurcação entre Paraibides e Araxáides. *Publ. Especial, SBG/NSP*, São Paulo, 12:72-103.
- EDWARDS, A.B. - 1954 - Textures of ore minerals and their significance. *Austr. Inst. Minn. Metal.*: 242 p.
- EVANS, B.W. - 1977 - Metamorphism of Alpine Peridotite and Ser-

- pentinite. Ann. Rev. Earth Plan. Sci., 5:397-447.
- EVANS, B.E. - 1982 - Amphiboles in metamorphosed ultramafic rocks. In: Amphiboles - Reviews in Mineralogy, Veblen & Ribbe (eds.), Mineral. Soc. of America, 9B: 98-113.
- EVANS, B.W. & TROMMSDORFF, V. - 1970 - Regional metamorphism of ultramafic rocks in the Central Alps: Paragenesis in the system $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 50: 481 - 492.
- FAUST, G.T. - 1966 - The hydrous nickel-magnesium silicates - The garnierite group. Am. Miner., 51(3, 4): 279-298.
- FAUST, G.T.; MURATA, K.J. & FAHEY, J.J. - 1956 - Relation of minor-element content of serpentines to their origin geological. Geoch. et Cosmoch. Acta, 10:313-320.
- FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C. da; CAMPOS, D. de A. & TOSATTO, P. - 1979 - Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Schobbenhaus, C. (Coord.) - Folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguape. MME-DNPM, Brasília: 240 p.
- FONTES, M.R.; FABRIS, J.D.; RESENDE, M. & GALVÃO DA SILVA, E. - 1985 - Concreções ferruginosas de alguns solos brasileiros. II - Caracterização Mineralógica. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 9: 119-123.
- FONTES, C.Q., NETTO, C.; COSTA, M.R.A.; BALTAZAR, O.F.; SILVA, S.L. da & VIEIRA, V.S. - 1978 - Projeto Jequitinhonha. Relatório Final, DNPM-CPRM, Belo Horizonte: 543 p.
- FYFE, W.S. and LEONARDOS JR., O.H. - 1974 - Ancient metamorphic -migmatite belts of the brazilian atlantic coast: the african conection. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, 4(4): 247-251.
- GIRARDI, V.A.V. & ULBRICH, H.H.G.J. - 1980 - Origin and evolution of the Piên máfic-ultramafic complex, southern Brazil. Jour. Geol., 88(3): 251-270.
- GOLIGHTLY, J.P. - 1979 - Nickeliferous laterites: a general description. Laterite Symposium, New Orleans, Soc. Min. Eng.: 24-37.
- GOLIGHTLY, J.P. - 1981 - Nickeliferous laterites deposits. Econ. Geol., 75 th Ann. Vol.: 710-735.

- GROSSI SAD, J.H. - 1968 - Os cinturões serpentiniticos do Brasil Oriental. EM/UFOP, SICEG, Ouro Preto, 7:140-153.
- GROSSI SAD, J.H. - 1986 - Fundamentos sobre a variabilidade de depósitos minerais. Co-edição DNPM/CPRM - GEOSOL, Rio de Janeiro:141 p.
- GROSSI SAD, J.H. & LADEIRA, E.A. - 1968 - Esboço tectônico do Estado de Minas Gerais, Escala de 1:1.000.000. Apresentado no Congr.Bras.Geol., 22º, Belo Horizonte.
- HARALYI, N.L.E. & HASUI, Y. - 1982 - The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of eastern Brazil. Int. Symp. on Arch. and Early Prot. Geol. Evol. and Metall., Salvador, Rev. Bras. Geoc., 12(1, 2 e 3): 160-166.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. de - 1984 - Província Mantiqueira - Setor Central. In: O Precambriano do Brasil. F.F.M. de Almeida & Y.Hasui, Coord., Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo: 308-344.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. dal R. & COIMBRA, A.M. - 1975 - The Ribeira Folded Belt. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, 5(4): 257-266.
- HASUI, Y.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. & DELHAL, J. - 1976 - Geocronologia da região do médio rio Doce, MG. Congr.Bras. Geol., 29º, Resumos dos Trabalhos, Ouro Preto: 211-212.
- HEMLEY, J.J.; MONTAYA, J.W.; SHAW, D.R. & LUCE, R.W. - 1977 - Mineral equilibria in the MgO - SiO₂ - H₂O system: II talc-antigorite-forsterite-antophyllite-enstatite stability relations and some geologic implications in the system. Amer. Journ. Sci., 277: 353-383.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - 1977 - Geografia do Brasil - Região Sudeste, SERGRAF, Rio de Janeiro, Vol. 3: 1-142.
- INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS - 1977 - Projeto Radar - Minas Gerais, Carta Geomorfológica - Folha Belo Horizonte, Escala 1:500.000.
- KING, L.C. - 1956 - A Geomorfologia do Brasil Oriental. Rev. Bras. Geogr., 18(2), Rio de Janeiro: 147-256.

- LIANDRAT, E. - 1972 - Mapa Geológico da Folha Vitória, Rev.Bras. Geogr., Rio de Janeiro, 34(2): 120-130.
- LIMA, D. de A. - 1966 - Vegetação. In: Brasil - IBGE, Atlas Nacional do Brasil II: 11.
- LIMA, M.I.C.; RANGEL DA SILVA, J.M. & SIGA JR., O. - 1984 - Esboço geotectônico das Folhas SD.24 - Salvador e SE.24 - Rio Doce. Congr. Bras. Geol., 33º, Anais, Rio de Janeiro, 7: 3325-3336.
- MACHADO Fº, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALEZ, S.R.; SCHENINI, C.A.; SANTOS NETO, A. dos; PALMEIRA, R.C. de B.; PIRES, J. de L., TEIXEIRA, W. & CASTRO, H.E.F. de - 1983 - Projeto Radambrazil, Folhas SF.23/24 - Rio de Janeiro/Vitória, Rio de Janeiro, 32:27-304.
- MALPAS, J.S. & STEVENS, R.K. - 1979 - The origin and emplacement of the ophiolite suite with examples from western Newfoundland. Ophiolites of the Appalachians and Soviet Urals. Memorial University of Newfoundland, Dept. Geol., Rep. 8:21-41.
- MALTMAN, A.J. - 1978 - Serpentine textures in Anglesey, North Wales, United Kingdom. Geol. Soc. Am. Bull., 89:972-980.
- MARANHÃO, R.J.L. - 1982 - Introdução a Pesquisa Mineral. BNB, ETENE, Fortaleza: 680 p.
- MEIS, M.R.M. de - 1977 - Indícios de variações climáticas neoguaternárias no médio vale do rio Doce. Instituto de Geociências da UFRJ, Anuário, Rio de Janeiro: 110-112.
- MELFI, A.J.; TRESCASES, J.J. & OLIVEIRA, S.M.B. de - 1979 - Les "Laterites" Nickélicifères du Brésil. Cah. O.R.S.T.O.M., Sér.Géol., XI, nº 1: 15 - 42.
- MILLOT, G. & BONIFAS, M. - 1955 - Transformation isovolumétrique dans les phenomenes de latérisation et de bauxitisation. Bull. Serv. Cart. Geol. Als. Lorr., 8(1): 3-20.
- MIYASHIRO, A. - 1979 - Metamorphism and Metamorphic Belts. George Allen & Unwin, London: 492 p.
- MOODY, J.B. - 1976 - Serpentinization: a review. Lithos, 9:125-138.

- MYERS, J.S. - 1978 - Formation of banded gneisses by deformation of igneous rocks. *Precambr. Res.*, 6:43-64.
- NALDRETT, A.J. - 1981 - Nickel Sulphide Deposits: Classification, Composition and Genesis. *Econ. Geol.*, 75 th Anniversary Vol.: 628 - 685.
- NALDRETT, A.J. & CABRI, L.J. - 1976 - Ultramafic and related rocks: their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfides and platinum group elements. *Econ. Geol.*, 71: 1131 - 1158.
- NILSON, A.A. - 1984 - O atual estágio do conhecimento dos complexos máfico-ultramáficos Pré-Cambrianos do Brasil - Uma avaliação preliminar. *Congr. Bras. Geol.*, 33º, Anais, Rio de Janeiro, 9: 4166 - 4203.
- PRESTON, D.A. - 1970 - Fortran IV program for sample normality tests. State Geological Survey, Kansas, Computer Contribution, 41: 28 p.
- POPOFF, C.C. - 1966 - Computing reserves of mineral deposits: principles and conventional methods. Bureau of Mines, Washington, Inf. Circ., 8283: 86 p.
- PUPIN, J.P. - 1980 - Zircon and granite petrology. *Contr. Miner. Petrol.*, 73: 207-220.
- RAMSAY, J.G. - 1967 - Folding and fracturing of rocks. Mc Graw Hill, New York: 567 p.
- ROBINSON, P.; ROSS, M. & JAFFE, H.W. - 1971 - Composition of the anthophyllite - gedrite series, comparisons of gedrite and hornblende, and the antophyllite - gedrite solvus. *Am. Miner.*, 56: 1005-1041.
- RODRIGUES, E. de P.; COUTINHO, J.M.V.; VALARELLI, J.V. & ANGELI, N. - 1980 - Metamorfismo de rochas ultrabásicas de Ipanema, Minas Gerais. *Congr. Bras. Geol.*, 31º, Anais, Camboriú, 4:2246-2252.
- ROSIER, G.F. - 1957 - A geologia de Serra do Mar entre os picos de Maria Comprida e do Desengano (Estado do Rio de Janeiro). DGM - DNPM. Boletim, Rio de Janeiro, 166: 53 p.

- ROSIER, G.F. - 1965 - Pesquisa geológica na parte oriental do Estado do Rio de Janeiro e na parte vizinha do Estado de Minas Gerais. DNPM-DGM, Boletim, Rio de Janeiro, 222: 40 p.
- SCHELLMANN, W. - 1983 - A new definition of laterite. Institute for Scientific Co-operation, Natural Resources and Development, Hannover, 18: 07-21.
- SCHEVCIW, F.G.P. - 1980 - Alteração intempérica dos termos ultramáficos do Complexo de Piên (PR) - Estudo mineralógico-geoquímico. Dissertação de Mestrado, IGUSP, São Paulo: 177 p.
- SIBSON, R.H. - 1977 - Fault rocks and fault mechanisms. Jour. Geol. Soc. London, 133: 191-213.
- SIGA JR., O. - 1982a - Geocronologia da Folha SE-23 - Belo Horizonte. Projeto Radambrasil, Relatório Interno: 40 p.
- SIGA JR., O. - 1982b - Geocronologia da Folha SE-24 - Rio Doce. Projeto Radambrasil. Relatório Interno: 30 p.
- SIGA JR., O.; TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. & DELHAL, J. - 1982 - O padrão geológico-geocronológico das rochas de alto grau da parte setentrional da Faixa Ribeira, a norte do Rio de Janeiro. Congr. Latino Americano de Geol., 5º, Actas, Buenos Aires, 1: 349-370.
- SILVA, J.N. da & FERRARI, P.G. - 1976 - Projeto Espírito Santo. Relatório Final, DNPM - CPRM, Belo Horizonte: 408 p.
- SIMPSON, C. - 1983 - Displacement and strain patterns from naturally occurring shear zone terminations. Jour. Struct. Geol., 5(6): 497-506.
- SMIRNOV, V.I. - 1982 - Geologia de yacimientos minerales. Editorial MIR, Moscou: 654 p.
- STRECKEISEN, A. - 1976 - To each plutonic rock its proper name. Earth Sci. Rev., Amsterdam, 12: 1-33.
- TEIXEIRA, W. - 1985 - A evolução da porção meridional do Cráton do São Francisco, com base em interpretações geocronológicas. Tese de Doutorado, IGUSP, São Paulo: 207 p.
- THAYER, T.P. - 1960 - Some critical differences between alpine - types and stratiform peridotite-gabbro complexes. Int. Geol.

- Congr., 219, Copenhagen, Rept., pt. 13: 247-259.
- THAYER, T.P. & JACKSON, E.D. - 1972 - A classification of igneous rocks by their history of crystallization and emplacement. U.S. Geological Survey Prof. Paper, 800B: B79 - B83.
- TRESCASES, J.J. - 1975 - L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale. Formation des gisements nickélifères de Nouvelle Calédonie. Thèse a Docteur às Sciences Naturelles, Paris: 259 p.
- TRICART, J. & CAILLEUX, A. - 1972 - Introduction to Climatic Geomorphology - Longman Group Ltd., London: 263p.
- TRICART, J. & SILVA, T.C. da - 1968 - Estudos de geomorfologia da Bahia e Sergipe. Fundação para o Desenvolvimento da Ciência, Imprensa Oficial, Salvador: 167 p.
- VERNON, R.H., WILLIAMS, V.A. & D'ARCY, W.F. - 1983 - Grain size reduction and foliation development in a deformed granitoid batholith. Tectonoph., 92: 123-145.
- VLETTER, D.R. de - 1955 - How cuban nickel ore was formed - A lesson in laterite genesis. Eng. and Min. Jour., 156(10):84-87.
- WALDA, K. & HARWARD, M.E. - 1974-Amorphous clay constituents of soils. Advances in Agronomy, 26: 211-260.
- WERNICK, E. - 1979 - Arqueano no Brasil: tentativa de uma síntese. An. Acad. Bras. Ciênc., 51(2): 287-310.
- WERNICK, E. & ALMEIDA, F.F.M. de - 1979 - The geotectonic environments of Early Precambrian granulites in Brazil. Precamb. Res., 8:1-17.
- WERNICK, E. & GALEMBECK, T.M.B. - 1985 - Contribuição à caracterização de granitóides do Estado de São Paulo através do mineral acessório Zirconita. Simp. Reg. Geol., 59, Atas, São Paulo, 1:119-132.
- WERNICK, E. & GALEMBECK, T.M.B. - 1986 - Caracterização do plutonismo granitóide do Ciclo Brasileiro no Estado de São Paulo através do método da tipologia do zircão. Congr.Bras. Geol., 349, Anais, Goiânia, 3: 1369-1382.

- WERNICK, E.; HASUI, Y. & BRITO NEVES, B.B. - 1978 - A Região de Dobramentos Nordeste e Sudeste. Congr.Bras.Geol., 30º, Anais, Recife, 6:2493-2507.
- WICKS, F.J. - 1979 - Serpentine Mineralogy, Petrology and Paragenesis. Can. Miner., 17(4): 673-677.
- WICKS, F.J. & WHITTAKER, E.J.W. - 1977 - Serpentine textures and serpentinization. Can. Miner., 15:459-488.
- WINKLER, H.G.F. - 1977 - Petrogênese das Rochas Metamórficas. Editora Edgard Blücher Ltda. Porto Alegre: 257 p.
- WYLLIE, P.J. (ed.) - 1967 - Ultramafic and related rocks. John Wiley & Sons, New York: 464 p.

X.2. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- ALMEIDA, F.F.M. de - 1978 - Regimes tectônicos arqueanos na evolução proterozóica e mineralizações do leste brasileiro. An. Acad. Bras. Ciênc., 50(4): 601-602.
- AMARAL, G. & ELLERT, N. - 1971 - Aplicação do "trend surface analysis" à interpretação do levantamento geoquímico e geofísico da jazida de níquel de Ipanema, Minas Gerais. Cong.Bras. Geol., XXVº, Resumo das Comunicações, São Paulo: 114.
- ANGELI, N. - 1978 - Pesquisa de calcário no norte do Estado do Rio de Janeiro, sul do Espírito Santo e Serra do Caparaão, Minas Gerais. Congr. Bras. de Geol., 30º, Anais, Recife, 4: 1714-1728.
- ANGELI, N.; CHOUDHURI, A. & BARSOTTI, A.C.L. - 1982 - Estudo comparativo e caracterização de alguns serpentinitos e rochas associadas nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Ceará. Congr. Bras. Geol., 32º, Resumos e Breves Comunicações, Salvador, 2:84-85.
- ANGELI, N. & CHOUDHURI, A. - 1984 - Mafic-ultramafic Complexes in South and Eastern Minas Gerais State, Brazil: A review. Geociências, São Paulo, 3:39-46.

- BARBOUR, A.P. - 1978 - Maciço ultramáfico Ni-Laterítico de Santa Fé, Goiás, Brasil. Congr.Geol.Argentino, 79, Atas, Neuquém, 1: 119-131.
- BATISTA, J.J. - 1984 - Caracterização dos processos geológico-evolutivos precambrianos na região de São Fidélis, norte do Estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado, IGUSP, São Paulo: 123 p.
- BESSET, F. - 1980 - Localisations et repartitions successives du nickel au cours de l'alteration lateritique des peridotites de Nouvelle - Calédonie. Tese de Doutorado, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier: 129 p.
- BUTT, C.R.M. - 1975 - Nickel laterites and bauxites. CSIRO - Mineral Research Lab. - Division of Mineralogy, Report n° FP 12:34p.
- CANDIA, M.A.F. - 1983 - Petrologia dos Complexos Máfico-Ultramáficos de Mangabal I e Mangabal II, Sanclerlândia, Goiás. Tese de Doutorado, IGUSP, São Paulo: 400 p.
- CARROLL, D. - 1970 - Rock Weathering. Plenum Press, New York: 203 p.
- CORDANI, U.G. - 1981 - Considerações sobre o cráton do Paramirim e indicação para um modelo de evolução geológica da América do Sul, com base na acreção continental. Simp. sobre o Cráton do S.Francisco e suas faixas marginais, Anais, Salvador: 51-56.
- CRAIG, J.R. & VAUGHAM, D.J. - 1981 - Ore Microscopy and Ore Petrography. John Wiley & Sons Inc., New York: 406 p.
- DANNI, J.C.M.; FUCK, R.A. & LEONARDOS JR., O.H. - 1982 - Archean and Lower Proterozoic Units in Central Brasil. Geol. Rundschau, 71(1): 291-317.
- DAVIS, J.C. - 1973 - Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons Inc., New York: 550.
- EDEL'SHTEIN, I.I. - 1960 - The geochemistry of nickel. Geochem., 7(11): 718-729.

- ELIAS, M.; DONALDSON, M.J. & GIORGETTA, N. - 1981 - Geology, mineralogy and chemistry of lateritic nickel-cobalt deposits near Kalgoorlie, Western Australia. *Ec. Geol.*, 76(6):1775-1783.
- ESSON, J. & SANTOS, L.C.S. dos - 1978 - Chemistry and mineralogy of setion through lateritic nickel deposit at Liberdade, Brazil. *Inst. Min. Metall., Sec.B., Appl. Earth Sci.*, 87: B53-B63.
- HASUI, Y. - 1982 - The Mantiqueira Province: Archean structure and Proterozoic evolution. *Int. Symp. on Arch. and Early Prot. Geol. Evol. and Metall.*, Salvador, Rev. Bras. Geoc., 12(1,2,3): 167-171.
- JACKSON, M. - 1979 - Structures des filons dans les massifs de peridotite: Mecanismes d'injection et relations avec la deformation plastique. Tese de Doutoramento, Institut des Sciences de la Nature de L'Université de Nantes, Nantes: 152 p.
- KORYTKOVA, E.N.; KOSULINA, G.I. & MAKAROVA, T.A. - 1972 - Experimental serpentization of olivine. *Int. Geol. Rev.*, 14(10): 1074-1078.
- LELONG, F.; TARDY, Y.; GRANDIN, G.; TRESCASES, J.J. & BOULANGÉ, B. - 1978 - Pedogenesis, chemical weathering and processes of formation of some supergene ore deposits. *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*. K.H.Wolf Ed., Elsevier, Amsterdam, Vol. 3:93-173.
- LE MAITRE, R.W. - 1976 - The chemical variability of some common igneous rocks. *Jour. Petrol.*; 17(4): 589-637.
- LITWINSKI, N. - 1985 - Evolução tectono-termal da região nordeste de Minas Gerais a sul da Bahia. Tese de Doutoramento, IGUSP, São Paulo: 207 p.
- MEDARIS JR., L.G. - 1975 - Coexisting spinel and silicates in alpine peridotites of the granulitic facies. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 39:947-958.
- MEIS, M.R.M. de & MACHADO, M.B. - 1978 - A morfologia de rampas e terraços no planalto do sudeste do Brasil - Médio Vale do

- Rio Doce. FINISTERRA, Rev. Portug. de Geogr., 13(26):201-219.
- OLIVEIRA, M.A.F. de - 1983 - As rochas granulíticas da Faixa Paraíba do Sul. Rev.Bras.Geoc., São Paulo, 13(2):84-92.
- OLIVEIRA, S.M.B. de - 1980 - Alteração intempérica das rochas ultrabásicas de Santa Fé (GO) e gênese do depósito niquelífero. Tese de Doutorado, IGUSP, São Paulo: 216 p.
- OLIVEIRA, S.M.B. de & TRESCASES, J.J. - 1982 - Estudo mineralógico e geoquímico da laterita niquelífera de Niquelândia-GO. Congr.Bras.Geol., XXXII, Anais, Salvador, 3:1183-1190.
- OLIVER, R.L.; NESBITT, R.W.; HAUSEN, D.M. & FRANZEN, N. - 1972 - Metamorphic olivine in ultramafic rocks from western Australia. Contr.Mineral.Petrol., 36:335-342.
- PINHEIRO, J.C.F.; BIONDI, J.C. & PINHEIRO, S.O. - 1978 - Granulitos e charnockitos do cinturão granulítico Atlântico - Maciço de Aimorês, Itapina, Itaguassu e Itanhomi. Congr.Bras.Geol. XXXII, Anais, Recife, 3:1288-1302.
- RAMDOHR, P. - 1980 - The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press, Berlin, Volume 2.
- RIVALENTI, G.; GAROTI, G.; ROSSI, A. & SINIGOI, S. - 1978 - Spinel as petrogenetic indicators in the Ivrea-Verbano Basic Complex (Italian Western Alps). Memor. di Sci.Geol., Università di Padova, 33:161-171.
- SHCHEGLOV, A.D. - 1976 - Fundamentals of metallogenic analysis. MIR Publ., Moscou: 335 p. (English Edition, 1979).
- SIGA JR., O. - 1986 - A evolução geotectônica da porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas. Dissertação de Mestrado, IGUSP, São Paulo: 140 p.
- SILLS, J.D.; SAVAGE, D.; WATSON, J.V. & WINDLEY, B.F. - 1982 - Layered ultramafic-gabbro bodies in the Lewisian of northwest Scotland: geochemistry and petrogenesis. Earth Planet. Sci. Lett. 58:345-360.
- SIMKIN, T. & SMITH, J.V. - 1970 - Minor element distribution in olivine. J.Geol., 78:304.
- SNOKE, A.W. & CALK, L.C. - 1978 - Jackstraw - textured talc-

olivine rocks, Preston Peak area, Klamath Mountains, California. Geol. Soc. Am. Bull., 89:223-230.

TRESCASES, J.J. & OLIVEIRA, S.M.B. de - 1978 - Alteração dos ser-pentin_os de Morro do Níquel (MG). Congr.Bras.Geol., 30^o, Anais, Recife, 4:1655-1669.

VEBLEN, D.R. - 1980 - Antophyllite asbestos: microstructures, intergrown sheet silicates, and mechanisms of fiber formation. Am.Miner., 65:1075-1086.

WERNICK, E. - 1983 - Enclaves e seu significado geológico. Geociências, São Paulo, 2:87-96.

WHITE, S.H.; BURROWS, S.E.; CARRERAS, J.; SHAW, N.D. & HUMPHREYS, F.J. - 1980 - On mylonites in ductile shear zones. Jour. Struct. Geol., 2(1/2):175-187.

YOUNG JR., J.H. de; SUTPHIN, D.M.; WERNER, A.B.T. & FOOSE, M.P. - 1985 - International Strategic Minerals Inventory Summary Report-Nickel. U.S. Geol. Survey, Circ. 930-D: 62 p.

CAPÍTULO XI

AGRADECIMENTOS

Apesar do trabalho de realização de Tese ser isolado e solitário, a viabilização deste, como de qualquer outro projeto, se prende à colaboração de várias pessoas. Desta forma, como reconhecimento, pelo estímulo e espírito de colaboração que me prestaram, e que influenciaram de forma direta na realização deste trabalho, seguem meus agradecimentos:

- Ao Prof. Dr. Evaristo Ribeiro Filho, pela orientação serena, criteriosa e sincera e principalmente pelo apoio constante e pela extrema confiança em mim depositada.
- À Falkonbridge Nickel Mines Ltd. (Canadá), pelo fato de me fornecer boas condições de trabalho e ótimo ambiente profissional, durante o período em que trabalhei como Geólogo Residente no Projeto Ipanema.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, que desde 1984 vem permitindo com que eu reúna condições para avançar nas pesquisas que venho realizando, por meio de Bolsa de Pesquisador (Processo nº 30.3224-84 3/GL). Devo ressaltar que com esta bolsa custeei parte das despesas de campo bem como realizei algumas análises químicas de rocha.
- À Aços Especiais Itabira - ACESITA, na pessoa do Diretor Industrial Elídio Lana Neto e do Geólogo Rogério Fernando Tárzia (atualmente na CVRD), pelo apoio irrestrito ao presente trabalho, para o qual todos os dados disponíveis do depósito de Santa Maria me foram liberados.
- À Geoservice Engenharia Geológica Ltda., na pessoa do Dr. Ricardo Francesconi, pelo fornecimento dos dados relativos à fase de prospecção do maciço de Santa Cruz.
- Ao Prof. Dr. Eberhard Wernick (DPM/UNESP) e à Profa. Margareth Mascarenhas Alheiros (DG/UFPE), pela confiança, respeito profissional e reconhecimento pelo meu trabalho de modo geral, onde aproveito para externar a eles a mesma virtude, excelentes geólogos e pessoas de elevada sensibilidade e honestidade.
- Ao Prof. Dr. Asit Choudhuri (IG/UNICAMP), com quem tanto os laços de amizade quanto os profissionais me foram muito valiosos.

Com ele mantive frequentes discussões sobre petrologia e geoquímica de rochas magmáticas.

- Aos Profs. Drs. Yociteru Hasui (IPT/SP e DPM/UNESP) e Michel Henri Arthaud (DG/UFC) pelas discussões e sugestões relacionadas ao tema geologia estrutural.

- Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Artur (DPM/UNESP) pelas sugestões e discussões correspondentes à descrição das unidades litológicas da área estudada.

- À Profa. Dra. Sônia Maria Barros de Oliveira (DGG/USP) pelas discussões relativas à mineralogia e geoquímica dos produtos de alteração das rochas metaultramáficas.

- À Profa. Dra. Maria Ângela Fornoni Cândia (DMP/USP) pelo interesse despertado por meu trabalho, e pelo apoio que me forneceu no estudo petrográfico e petrológico dos complexos metamáfico-ultramáficos.

- Ao Prof. Dr. Koji Kawashita (CPGEO/USP) e ao Geólogo Oswaldo Siga Jr. (IBGE), pela realização das datações geocronológicas e comentários relacionados às mesmas.

- À Profa. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck (DPM/UNESP) pelo apoio no estudo de tipologia do zircão, técnica que empreguei no estudo das rochas granitóides.

- À Luiza Felix do Nascimento, atualmente na Washington State University (Pullman - U.S.A.), pela valiosa amizade e pela determinação e aplicação no trabalho que executa. Sua dedicação e força trazem estímulo e esperança à qualquer realização.

- Aos colegas professores e geólogos que contribuíram com pequenas discussões e auxílios, que me foram igualmente importantes, e que não poderia deixar de mencionar: José Ricardo Sturaro, Hans Dirk Ebert, Marcos Aurélio Farias de Oliveira, Norberto Morales, Job Jesus Batista e Jairo Roberto R. Jiménez (IGCE/UNESP); Eleno de Paula Rodrigues e Jorge Kazuo Yamamoto (DMGA/IPT); João Batista Moreschi (DGE/USP); José Antônio Scabora (METAMIG) e João Henrique Grossi Sad (GEOSOL).

- Aos colegas de trabalho da UNESP, Isabel Aparecida Meyer pela confecção das figuras; Nádia Regina Pereira Lopes Lunardi pela preparação das tabelas; Nélon Pereira Lopes Junior e Antônio Carlos Bueno de Moraes pela preparação das secções delgadas e Elaine Briggatto pela datilografia do texto. Também agradeço à Lourival Issler Junior (Foto Santa Cruz) pelas reproduções fotográficas e Maurício Agra Ramos (Setor Gráfico do CODAC-USP) pela montagem e encadernação da Tese.

IPANEMA

LEGENDA

UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

CENOZOICO

QUATERNÁRIO
Coberturas aluvionárias

ALUVIÕES RECENTES E TERRAÇOS ALUVIONÁRIOS MAIS ANTIGOS, APRESENTANDO DEPÓSITOS DE AREIAS, CASCALHOS E AREOLAS ALGUMAS ALUVIÕES APRESENTAM-SE MINERALIZADAS EM OURO.

MESOZOICO

CRETÁCIO INFERIOR
Diabásio

DÍQUES DE DIABÁSIO

PROTEROZOICO

PROTEROZOICO SUPERIOR
Rochas catácísticas

ROCHAS QUE OCORREM COM FAIXAS ESTREITAS E CONTÍNUAS, ONDE PRE-
DOMINAM BLASTOMILONITOS E MILONITO GNAISSES APRESENTAM COLO-
RAÇÃO BRANCO ACINZENTADA. ESTRUTURA FOLIADA NAS PORÇÕES VER-
FICADAS DOS PRINCIPAIS FALHAMENTOS OCORREM TAMBÉM GNAISSES
CATACLASADOS.

Pegmatitos

DÍQUES DE PEGMATITO PREDOMINANTEMENTE DO TIPO SIMPLES, RARA-
MENTE ZONADOS E ÀS VEZES MINERALIZADOS EM BERIL.

Granito Intrusivo Taboajara

GRANITOS E BIOTITA GRANITOS COM CARACTERÍSTICAS DE CORPOS
PÓS TECTÔNICOS APRESENTANDO COLORAÇÃO CINZENTA, ESTRUTURA ISO-
TROPICA E GRANULAÇÃO MÉDIA TENDENDO A FINA.

Suíte Intrusiva Santa Rita do Mutum

ASSOCIAÇÃO DE ROCHAS PLÚTONICAS COM COMPOSIÇÃO PREDOMINAN-
TEMENTE TONALÍTICA E GRANODIORÍTICA, APRESENTANDO COLORAÇÃO
BRANCO ACINZENTADA, ESTRUTURA ISOTROPICA E GRANULAÇÃO MÉDIA A
GROSSA, APRESENTA FREQUENTEMENTE AUTÓLITOS COM COMPOSIÇÃO SI-
MILAR À DA ROCHA HOSPEDEIRA, PORÉM COM GRANULAÇÃO MAIS FI-
NA. GRANITOS TAMBÉM OCORREM NESTA UNIDADE.

Intrusões Granodioríticas, Tonalíticas e Dioríticas

CORPOS INTRUSIVOS MENORES, NORMALMENTE APRESENTANDO DISCRETA
FOLIÇÃO.

PROTEROZOICO INDEFERENCIADO (ARQUEANO?)

Gnaisses Migmatíticos e Migmatitos

CORRESPONDEM À PORÇÃO DA UNIDADE GNEÍSSICA MIGMATIZADAS, COM
PREDOMÍNIO DE METATEXITOS, COM ESTRUTURA ESTOMATICA E DOBRA -
DA SUBORDINADAMENTE OCORREM ESTRUTURAS ADOMÁTICA E PTOMÁTICA.

Associação Barbacena - Paraíba do Sul

Gnaisses

0 SUB-UNIDADE BIOTITA E/OU HORNBLENDA GNAISSES - GERALMENTE
CINZENTOS, INTENSAMENTE FOLIADOS E APRESENTANDO COMPOSIÇÃO VA-
RIANDO DE TONALÍTICA A GRANÍTICA. LOCALMENTE OCORREM TERMOS
EXIBINDO MEGACRISTOS DE PLÁGIOCLÁSIO.
0 SUB-UNIDADE GNAISSES KINZIGITICOS - GERALMENTE BANCADOS COM
COMPOSIÇÃO MUITO ALUMINOSA, COM PRESENÇA ABUNDANTE DE GRANADA
E SILLIMANITA E APRESENTANDO PASSAGEM GRADUAL PARA AS IN-
TERCALAÇÕES QUARTZÍTICAS SUBORDINADAMENTE OCORRE CORDEI-
RITA.

Quartzitos

ROCHAS QUARTZITOSAS, COM COLORAÇÃO BRANCO-AMARELADA E GRA-
NULAÇÃO MÉDIA A GROSSA ENDEM ESTRUTURA FOLIADA, TEXTURA
SACARÓIDE E NORMALMENTE APRESENTAM-SE IMPUROS COM QUANTI-
DADES VARIÁVEIS DE SILLIMANITA, BIOTITA E MUSCOVITA E EM ME-
NOR PORÇÃO MICROCLÍNIO E GRANADA.

Cálcio - Silicáticos

ROCHAS CARBONATADAS - QUARTZITOSAS OCORRENDO SOB FORMAS DE PE-
QUENAS LENTES COM DISTRIBUIÇÃO IRREGULAR E DESCONTÍNUA E
NORMALMENTE SE ENCONTRAM ASSOCIADAS AOS GNAISSES KINZIGITICOS
APRESENTAM COLORAÇÃO BRANCO ACINZENTADA, GRANULAÇÃO MÉDIA A
FINA E ESTRUTURA FOLIADA.

Antifólitos

PEQUENAS LENTES E/OU INTERCALAÇÕES DE NATUREZA BÁSICA APE-
SENTANDO COLORAÇÃO VERDE ACINZENTADA, GRANULAÇÃO MÉDIA E ES-
TRUTURA FOLIADA.

Metatromfícos Serpentinizados

ROCHAS DE NATUREZA QUÍNTO-PERIDOTÍTICA SERPENTINIZADAS APRESEN-
TAM COLORAÇÃO ESVERDEADA, ESTRUTURA FOLIADA E GRANULAÇÃO MÉ-
DIA A FINA. MACIÇOS DIFERENCIADOS, FORTEMENTE TECTONIZADOS, NOS
MARGENS DO CONJUNTO TECTÔNICO, COM OS GNAISSES ENCAIXANTES COM
CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE NIQUEL, SILICATADO E NÍVEIS DE CROMI-
TA SÃO ENCONTRADOS NESTES CORPOS.

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- CONTATO VERIFICADO (TRACEJADO ONDE INFERIDO E/OU TRANSICIONAL)
- FALHA INDETERMINADA (TRACEJADA ONDE INFERIDA E/OU ENCUBERTA)
- FRATURA
- LINEAMENTO FOTOGEOLÓGICO
- LINHAS DE FORMA ESTRUTURAL
- AS ATITUDE DE FOLIÇÃO
- + FOLIÇÃO VERTICAL
- 10 ← EIXO DE DOBRA COM CAIMENTO INDICADO
- 15 ← ESTRUTURA ANTIFORMAL COM CAIMENTO INDICADO
- IPN AFLORAMENTOS DESCRITOS COM ESTUDO PETROGRÁFICO
- IPN AFLORAMENTOS DESCRITOS COM ESTUDO PETROGRÁFICO E GEOCRONOLÓGICO
- IPN AFLORAMENTOS DESCRITOS COM ESTUDO PETROGRÁFICO E DE TIPOLOGIA DO ZIRCON

RECURSOS MINERAIS

- X OCORRÊNCIA MINERAL
- * MINA EM ATIVIDADE
- ↓ MINA PARALIZADA
- ↑ GARIMPO OU CATA EM ATIVIDADE
- ↓ GARIMPO OU CATA PARALIZADA
- AG AREIA
- AR AREIA
- AM ÁGUA MARINHA
- OU OURO
- BE BERIL INDUSTRIAL
- BR BRITA
- CA CÁULIM
- MM MANGANÊS
- NI NIQUEL
- QZ QUARTZITO
- Sn ESTANHO
- TA TALCO

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

FOLHA TOPOGRÁFICA DO INSTITUTO
BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ES-
TADÍSTICA - IBGE

POSICÃO E COMPOSIÇÃO DAS FOLHAS

LOCALIZAÇÃO DO MAPA NO ESTADO DE
MINAS GERAIS

LOCALIDADES

CIDADE IPANEMA
POVADOO TAQUARAL

HIROGRAFIA

ESTRADAS DE RODAGEM

PAVIMENTADA

SEM PAVIMENTAÇÃO

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA (1979)

ANEXO 1

MAPA GEOLÓGICO

ANGELI, NÉLSON

TESE DE DOUTORAMENTO

1988

ANEXO 2 — MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO DE SANTA CRUZ COM LOCALIZAÇÃO DOS TRABALHOS DE PESQUISA EXECUTADOS E AMOSTRAS ESTUDADAS (ANGELI, N. — 1988).

SECÇÃO GEOLÓGICA A A'

Cota (m)
580
560
540
520
500
480

LEGENDA

2	ÁREA REQUERIDA		FALHA
	ÁREA MINERALIZADA		VISADA EMPREGADA NA CONFEÇÃO DO BLOCO DIAGRAMA
	FUROS DE SONDA		METATRAMÁFICAS
	POÇOS DE PESQUISA		GNAISSES ENCAIXANTES
	GALERIAS		ATITUDE DE FOLIAÇÃO
	TRINCHEIRAS		
	ESTRADAS		
	DRENAGENS		
	CURVAS DE NÍVEL		

LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS
(NÚMEROS EM PARENTESIS INDICAM PROFUNDIDADES DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGENS)

- COM ANÁLISE PETROGRÁFICA
- COM ANÁLISE QUÍMICA

0 50 100M

ANEXO 3 — MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO DE SANTA MARIA COM LOCALIZAÇÃO DOS TRABALHOS DE PESQUISA EXECUTADOS E AMOSTRAS ESTUDADAS (ANGELI, N.-1988)