

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOLOGIA DA FOLHA 5569-III LA COLMENA,
PARAGUAI ORIENTAL

Jaime Báez Presser

Orientador: Prof. Dr. Horstpeter H. G. J. Ulbrich

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós - Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
1992

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	iv
AGRADECIMENTOS	vii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação do Tema	1
1.2. Objetivos	4
1.3. Localização e Acesso	5
1.4. Aspectos da Geografia Física	8
1.5. Metodologia	9
Revisão bibliográfica	9
Mapeamento	10
Descrições petrográficas	11
Identificação de minerais pesados	15
CAPÍTULO 2. GEOLOGIA REGIONAL DO PARAGUAI ORIENTAL	16
2.1. O Paraguai Oriental: generalidades	16
2.2. Geologia do Alto de Caapucú	20
2.2.1. Unidades do Paleozóico Inferior	23
Grupo Caacupé	24
Formação Paraguarí	24
Formação Cerro Jhú	25
Formação Tobatí	27
Grupo Itacurubí	28
2.2.2. Unidades permo-carboníferas	31
Formação Coronel Oviedo	31
Grupo Independencia	33
Formação Pañetey (= San Miguel)	33
Formação Tacuary	35
2.2.3. Unidades mesozóicas e cenozóicas	36
Formação Misiones	37
Formação Alto Paraná	38
Manifestações Alcalinas	39
Formação Patiño	39
Depósitos Recentes	40

2.3. Magmatismo alcalino no Paraguai Oriental	41
2.3.1. Província Central	45
Subprovíncia de Asunción	45
Subprovíncia de Guairá-Paraguarí	46
Subprovíncia de Misiones	48
2.3.2. Província Norte	49
Subprovíncia de Amambay	49
Subprovíncia do Rio Apa	50
Subprovíncia de Mato Grosso	51
CAPÍTULO 3. GEOLOGIA DA FOLHA LA COLMENA	52
3.1. Clima, Vegetação e Topografia	52
3.2. Unidades fisiográficas	53
3.3. As unidades mapeáveis	57
3.3.1. O Bloco Potrero Alto	57
Grupo Caapucú	57
Grupo Caacupé	58
3.3.2. O Bloco San José	65
3.3.3. O Bloco Chauria	67
3.3.4. O Bloco Vale de Acahay	67
Formação San Miguel	68
Formação Sapucaí	74
Rochas vulcânicas do Potrero Ybaté	74
Conduitos de rochas perpotássicas	
("lamproíticas")	76
"Plugs" de rochas ígneas alcalinas	81
Enxame de diques Ybytymí	88
Depósitos clásticos pós-magmatismo mesozóico...	90
Depósitos quaternários	92
CAPÍTULO 4. PETROGRAFIA	93
4.1. Rochas sedimentares	94
4.1.1. Grupo Caacupé	94
4.1.2. Formação San Miguel	97

4.2. Rochas ígneas	100
4.2.1. Grupo Caacupú	101
4.2.2. Formação Alto Paraná	105
4.2.3. Rochas basaltóides alcalinas do Potrero Ybaté .	107
4.2.4. Rochas potássicas de afinidade lamproítica	114
4.2.5. Leucita melafonolitos ("cocitos")	124
4.2.6. Lamprófiro	126
4.2.7. Traquitos	135
4.2.8. Fonolitos	136
4.2.9. "Plugs" de rochas faneríticas alcalinas	140
4.3. Considerações gerais	154
CAPÍTULO 5. ESTRUTURA, HISTÓRIA GEOLÓGICA E RECURSOS NATURAIS	162
5.1. Estrutura	162
5.1.1. Os blocos na Folha La Colmena	163
Falhas normais e movimentações relativas ...	163
Rejeitos entre blocos	165
Perfis estruturais	168
5.1.2. Sistemas de juntas e fraturas	174
5.2. História Geológica	178
5.2.1. As Unidades pré-cambrianas e eopaleozóicas	178
5.2.2. As Unidades neopaleozóicas	179
5.2.3. As manifestações ígneas do Cretáceo	181
5.2.4. As unidades sedimentares pós-magmatismo	
Cretáceo	184
5.3. O "Rift" de Asunción: uma interpretação	185
5.4. Recursos Naturais	188
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	191

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Localização da Folha La Colmena no Paraguai e esquema simplificado das unidades geológico-estruturais no Paraguai Oriental	2
Figura 1.2	Toponímia no Paraguai Oriental e as vias de acesso	6
Figura 1.3	Toponímia na região da Folha La Colmena	7
Figura 2.1	Esquema geológico do Paraguai Oriental	17
Figura 2.2	Geologia regional do Alto de Caapucú, Paraguai sul-oriental	19
Figura 2.3	Toponímia do Paraguai Oriental e localidades - tipo das principais formações sedimentares	21
Figura 2.4	Ocorrências de rochas alcalinas no Paraguai Oriental	43
Figura 3.1	Os blocos identificados na Folha La Colmena	55
Figura 3.2	Mapa de localização de pontos e amostras de rochas sedimentares na Folha La Colmena	59
Figura 3.3	Perfis colunares das rochas sedimentares do Grupo Caacupé na Serrania de Cordillerita	60
Figura 3.4	Perfis colunares da Formação San Miguel no Vale de Acahay	69
Figura 3.5	Esquema geológico da região em volta da estrutura lobulada Dú 1, Tano 1 e Nande Yara Gracia, no Potrero Ybaté	78
Figura 3.6	O "pipe" Don Eladio 1, na área de Kirito	79
Figura 3.7	As estruturas na região do Cerro Chobí e Cañada ..	84
Figura 4.1	Mapa de pontos e localização de amostras ígneas, Folha La Colmena	95
Figura 4.2	Modas de riolitóides e granitóides do Grupo Caapucú e diabásios da Formação Alto Paraná	104
Figura 4.3	Modas de basaltóides alcalinos do Potrero Ybaté ..	113
Figura 4.4	Modas de rochas de afinidade lamproíticas e leucita melafonolitos	113
Figura 4.5	Modas de lamprófiros	132
Figura 4.6	Modas de traquitos e fonolitos	132
Figura 4.7	Modas de sienitóides e monzonitóides	144

Figura 4.8	Modas de álcali-feldspato sienitóides	144
Figura 5.1	Os blocos da Folha La Colmena e as falhas que os limitam	164
Figura 5.2	Os segmentos Acahay (E-W) e Asunción (NW-SE) do "rift" de Asunción	164
Figura 5.3	Perfil A-B	169
Figura 5.4	Perfil C-D	170
Figura 5.5	Perfil E-F	172
Figura 5.6	Perfil regional G-H	173
Figura 5.7	Diagrama em rosácea de direções de diques	176

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1	As rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas do Alto de Caapucú	22
Tabela 2.2	As formações fanerozóicas no Alto de Caapucú	29
Tabela 4.1	Dados modais de riolitóides, granitóides e diabásios	103
Tabela 4.2	Dados modais de basaltóides alcalinos do Potrero Ybaté	111
Tabela 4.3	Dados modais de rochas de afinidade lamproítica e leucita melafonolitos	117
Tabela 4.4	Dados modais de rochas lamprofíricas e afins	131
Tabela 4.5	Dados modais de traquitos, fonolitos e rochas afins	139
Tabela 4.6	Dados modais de rochas faneríticas com plagioclásio (mela-monzonitóides e mela-sienitóides).....	143
Tabela 4.7	Dados modais de rochas faneríticas sem plagioclásio (álcali-feldspato mela-sienitóides).....	148
Tabela 5.1	Direções de diques de rochas ígneas	176

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1.	Vista panorâmica da parte leste da Folha La Colmena	54
Fotografia 2.	Vista panorâmica da parte NE da Folha La Colmena	
Fotografia 3.	Arenito da Formação Cerro Jhú, com tubos verticais de Skolithos	62
Fotografia 4.	Unidade basal (U1) dos depósitos clásticos da Serrania de Ybytymí, atribuídas à Formação San Miguel	62
Fotografia 5.	Unidade basal (U1) da Serrania de Ybytymí, com presença de marcas onduladas	62
Fotografia 6.	Unidade basal (U1) da Serrania de Ybytymí, com presença de restos de troncos fósseis	71
Fotografia 7.	Unidade superior (U3) dos depósitos clásticos da Serrania de Ybytymí (Formação San Miguel), com arenito conglomerático com seixos de quartzo	71
Fotografia 8.	Dique alterado subvertical de lamprófiro com fenocristais de mica	86
Fotografia 9.	Nefelina sienito do Cerro Chobí, mostrando um enclave subanguloso de leucita melafonolito	86
Fotografia 10.	Microcristal de diamante	125

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1.	Riolitóide (Grupo Caapucú)	106
Fotomicrografia 2.	Granitóide (Grupo Caapucú)	106
Fotomicrografia 3.	Textura subofítica no diabásio da Formação Alto Paraná	106
Fotomicrografia 4.	Basaltóide de Potrero Ybaté	109
Fotomicrografia 5.	Basaltóide de Potrero Ybaté, enclave	109
Fotomicrografia 6.	Textura localmente orientada no basaltóide do Potrero Ybaté	109
Fotomicrografia 7.	Piroxênios em glomérulos de fenocristais de leucita em rocha de afinidade lamproítica	116
Fotomicrografia 8.	Detalhe de um piroxênio, mesma amostra da foto anterior	116
Fotomicrografia 9.	Opacos e textura de arrefecimento, mesma amostra da foto anterior	116
Fotomicrografia 10.	Olivinas em rocha de afinidade lamproítica	123
Fotomicrografia 11.	Fenocristais em rocha de afinidade lamproítica	123
Fotomicrografia 12.	Brecha polimíctica, "pipe" Yby	123
Fotomicrografia 13.	Textura da matriz em leucita melafonolito	128
Fotomicrografia 14.	Fenocristais de diopsídio em leucita melafonolito	128
Fotomicrografia 15.	Fenocristais de diopsídio, olivina e leucita em leucita melafonolito	128
Fotomicrografia 16.	Xenocristais em lamprófiro ultramáfico	129
Fotomicrografia 17.	Megacristais de olivina em lamprófiro mesocrático a ultramáfico	129
Fotomicrografia 18.	Textura da matriz em biotita piroxênio lamprófiro (monchiquito)	129
Fotomicrografia 19.	Fenocristais em olivina biotita lamprófiro	130
Fotomicrografia 20.	Fenocristais em biotita lamprófiro (mineta)	130
Fotomicrografia 21.	Enclaves alongados de carbonato em lamprófiro	130

Fotomicrografia 22.	Fenocristais de melanita e sanidina em traquito	137
Fotomicrografia 23.	Fenocristais de sanidina e minerais máficos em traquito	137
Fotomicrografia 24.	Anfibólio fonolito	137
Fotomicrografia 25.	Textura traquitóide em fonolito	137
Fotomicrografia 26.	Monzonitóide do Cerro San José	142
Fotomicrografia 27.	Monzonitóide do Cerro San José	142
Fotomicrografia 28.	Melasienitóide do Cerro Tano 2	142
Fotomicrografia 29.	Nefelina sienito	151
Fotomicrografia 30.	Álcali-feldspato melasienito (malignito)...	151
Fotomicrografia 31.	Álcali-feldspato sienito	151

RESUMO

A Folha 5569-III La Colmena, Paraguai Oriental, situada a aproximadamente 80 Km a SE da cidade de Asunción, é limitada pelos paralelos 25°45' e 26°00' S e pelos meridianos 56°45' e 57°00' W, ocupando área de 700 Km².

A região localiza-se no segmento central, de percurso E-W, do "rift" de Asunción, ao qual se apensa, para W, o segmento ocidental, com rumo geral NW-SE; para E, aparece o segmento oriental, mal conhecido, com a mesma direção. O "rift" é o local de colocação da grande maioria das manifestações alcalinas mesozóicas e terciárias da chamada "Província alcalina central" do Paraguai Oriental.

O mapeamento sistemático da Folha revela a existência de vários blocos limitados por falhas normais. Na parte meridional é encontrado o bloco Potrero Alto (Serrania de Cordillerita), separado do bloco Vale de Acahay pela falha de Acahay, uma importante estrutura que constitui o limite meridional do segmento central do "rift". No canto SW da Folha aparece a falha San José (rumo N15W), deslocando a falha de Acahay e formando o bloco San José. Na parte SW do bloco Vale de Acahay aparecem as falhas Medina (rumo E-W) e Chauria (rumo N53W), que limitam o bloco Chauria.

O embasamento aflorante é constituído pelos riolitos e granitos do Grupo Caapucú (Neoproterozóico a Eocambriano). Por cima, colocam-se em discordância erosiva os conglomerados Paraguarí (em afloramentos descontínuos), seguidos pelos arenitos de deposição marinha das formações Cerro Jhú (espessura máxima 250 m) e Tobatí (espessura mínima 200 m), pertencentes ao Grupo Caacupé (pré-llandoveriano). Estas formações cobrem os blocos Potrero Alto, San José e Chauria, permitindo identificar rejeitos de até 200 m entre o bloco Potrero Alto com os de San José e Chauria.

No bloco Vale de Acahay aparecem três unidades informalmente chamadas de U1 (basal, pelítica-arenosa, espessura máxima 50 m), U2 (arenosa, espessura máxima 100 m) e U3 (superior, com conglomerados de matriz de areia média a grossa, espessura mínima

165 m), mostrando caules silicificados de possíveis samambaias (não identificáveis) em U1. O conjunto é atribuído à Formação San Miguel (Permiano Superior), aflorante mais para E, em função de semelhanças litológicas e presença dos fósseis. A subsidência do bloco Vale do Acahay frente ao de Potrero Alto é estimado em aproximadamente 1520 m.

São observados ainda depósitos de preenchimento do "rift", correlacionáveis com a Formação Patiño (Cretáceo a Terciário), que nesta região carregam seixos das rochas regionais (incluindo as alcalinas), e depósitos recentes e subrecentes de alúvio e colúvio.

Diques de diabásio da Formação Alto Paraná (=Serra Geral, Neocomiano) aparecem no bloco Potrero Alto ("enxame de Potrero") e, em menor frequência, em outras áreas da Folha. As rochas alcalinas da Formação Sapucaí (Neocomiano, cronogrupo de aproximadamente 130 Ma) ocorrem como diques isolados e enxames ("enxame de Ybytymi"), "plugs", "pipes", derrames de lavas e mantos de piroclásticas, distribuídas por toda a Folha, mas com maior abundância na Serrania de Ybytymi (bloco Vale de Acahay). Petrograficamente, são traquitos, tefri-fonolitos, lamprófiros de vários tipos, rochas com leucita de afinidade lamproítica, e várias espécies de fóide mela-sienitos e fóide mela-monzosienitos.

A tendência da maioria das rochas é claramente potássica ou perpotássica, com exceção dos traquitos. Aparecem ainda dois "plugs" (Cerros Medina e Doña Lili) de fonolitos sódicos, que por afinidade petrográfica com os do Cerro Giménez (Folha vizinha de Acahay) de idade K-Ar de 66 Ma, são atribuídos também à Formação Nemby (Terciário Inferior, Paleoceno a Eoceno).

Perfis estruturais e dados da literatura sugerem subsidência significativa no "rift" de Asunción em seus segmentos central e ocidental, sensivelmente mitigada mais para E, em vista do posicionamento estrutural da Formação San Miguel e outras unidades superpostas. A etapa importante de subsidência precede o preenchimento de fraturas por magmas, inicialmente por diabásios e a seguir pelas rochas alcalinas. A relação geométrica entre os diques de alcalinas e as falhas principais indica que os

primeiros ocupam fraturas extensionais, geradas por componentes de cisalhamento de movimentação dextral e direção E-W, aplicadas no segmento central do "rift".

É feita também referência aos Recursos Naturais da Folha, focalizando a possibilidade da existência de diamantes, associados aos "pipes" de algumas das manifestações alcalinas perpotássicas.

ABSTRACT

The La Colmena sheet, eastern Paraguay, is located some 80 Km to the SE of the capital city of Asunción. It is limited by parallels 25°45' and 26°00' S and meridians 56°45' and 57°00' W, covering about 700 Km².

The sheet lies in the central, E-W trending segment of the Asunción rift, which to the W changes into the western segment, with a NW-SE direction; the poorly known eastern segment also shows this direction. The rift is the site of emplacement of most of the Mesozoic and Tertiary alkaline occurrences of the "Central alkaline Province" of eastern Paraguay.

The sheet can be divided into several structural blocks, limited by normal faults. The Potrero Alto block lies to the S, separated from the depressed Valle de Acahay block by the Acahay fault, an important structure that constitutes the southern limit of the rift's central segment. The San José fault, cutting the Acahay fault, occurs to the SW and limits the San José block. The southwestern part of the Valle de Acahay block is taken up by the minor Chauria block, bound to the N by the Medina (E-W direction) and Chauria (N53W direction) faults.

Rhyolites and granites of the Caapucú Group constitute the Neoproterozoic to Eocambrian basement in the area. The marine sediments of the pre-Llandoveryan Caacupé Group, lying on top of an erosional nonconformity, are formed by the Paraguari conglomerate (as discontinuous outcrops) and the sandstones of the Cerro Jhú (250 m maximum thickness) and Tobatí (200 m minimum thickness) formations. The sediments cover the Potrero Alto, San José and Chauria blocks; stratigraphic markers show a fault displacement of up to 200 m between the Potrero Alto and the other blocks.

The Valle de Acahay block is mainly covered by three units informally called U1 (basal, pelitic-psammitic, thickness up to 50 m), U2 (psammitic, maximum thickness 100 m) and U3 (at the top, with conglomerate showing a medium- to coarse-grained sandstone matrix, minimum thickness 165 m); silicified (tree fern?) trunks with poorly preserved structures are found in U1.

The units are attributed to the San Miguel Formation (Upper Permian), that outcrops farther E. The subsidence of the Valle de Acahay block, and thus of the rift in its central segment, is estimated at about 1520 m, with respect to the adjacent Potrero Alto block.

Also observed are rift filling sediments, correlated with the Cretaceous to Lower Tertiary Patiño Formation (western segment of the rift), which here shows fragments of all regional rock types (including the alkaline ones), and recent to subrecent alluvial and colluvial deposits.

Diabase dikes of the Alto Paraná Formation (equivalent to the Neocomian Serra Geral Formation in Brazil) are observed mainly in the Potrero Alto block, partly as a dike swarm, but also in other areas of the sheet. The alkaline rocks are included in the Neocomian Sapucaí Formation (age group of alkaline rocks of about 130 Ma) and occur as isolated dikes and swarms (e.g., the prominent "Ybytymi swarm"), plugs, pipes, lava flows and pyroclastic deposits; they are distributed all over the sheet, but by far the highest concentration of occurrences is found in the Serranía de Ybytymi. Petrographically, the rocks are trachytes, tephri-phonolites, various sorts of lamprophyres, leucite-bearing rocks with lamproitic affinity and several kinds of foid mela-syenites and foid mela-monzosyenites. The whole suite is clearly potassic or perpotassic, with the exception of the trachytes. Two plugs (Cerro Medina and Doña Lili) are made up of sodic phonolites; they are assigned to the Lower Tertiary Nemby Formation (western segment of the rift) because of their petrographic similarity with the phonolite of the nearby Cerro Giménez, showing a K-Ar age of 66 Ma.

Literature data and structural profiles indicate a rather important subsidence of the rift in both its central and western segments, which however must diminish significantly to the E, as suggested by the structural setting of the San Miguel and other formations. The main subsidence phase precedes the emplacement of the igneous rocks along fractures, first of the diabases and then, shortly after, of the alkaline rocks of the Sapucaí Formation. The geometric relationship shown by the alkaline dikes

and the main limiting faults indicates that the dikes were emplaced into extensional fractures, formed as a consequence of an E-W oriented pair of shear components, with a dextral movement, acting on the central segment of the rift.

Natural resources found in the area are pointed out, with emphasis on the possibility of diamond finds, supposedly associated with some of the alkaline perpotassic pipes.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi iniciado em 1986 com apoio do anterior Instituto de Ciências Básicas da Universidad Nacional de Asunción, Paraguay, agora convertido em Facultad de Ciências Exactas y Naturales, com apoio e encorajamento do Prof. Dr. Narciso Gonzáles Romero, ex-diretor daquele Instituto, que gentilmente concedeu licença ao autor para o andamento dos estudos de pós-graduação no Instituto de Geociências da USP. Os agradecimentos devidos ao Prof. N. Gonzáles Romero são também extendidos à Instituição, a Universidad de Asunción.

Nos três primeiros semestres dos estudos recebeu o autor a bolsa do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Organización dos Estados Americanos (OEA) concedeu bolsa ("Becas PRA") pelos dois anos subsequentes. A ambas as Instituições, sinceros agradecimentos pelo apoio financeiro.

Uma parte dos trabalhos de campo, junto com a aquisição de elementos como fotografias e mapas, foram financiados com auxílio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), em temas de pesquisa ligadas a Indicadores Petrogenéticos e Metalogenéticos em Rochas Granitóides e Alcalinas, tendo como coordenador o Prof. H. Ulbrich.

Agradecimentos especiais são devidos ao orientador, Prof. Dr. H.G.J.H. Ulbrich, pelo apoio, discussões, ajuda e sugestões recebidas durante todos estes anos; é dele também a sugestão de redirecionar os estudos, anteriormente com foco em aspectos da petrografia e petrologia das rochas ígneas.

Vários docentes e colegas de pós-graduação do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IG-USP ajudaram em várias etapas. Os agradecimentos vão para Gianna Garda, Gumersinda Miñarro, Valdecir de Assis Janasi, Silvio Vlach, Woldemar Ivanuch, Vagner Maringolo, Gergely Szabó, e os compatriotas Delio Orué e Victor Velázquez. Especial destaque é para os professores Mabel C. Ulbrich, Darcy Svisero e José Moacyr Vianna Coutinho, pela assessoria em temas de mineralogia e petrografia. Agradecimentos

também aos professores Mary Elizabeth Cerruti de Oliveira Babinski, Murilo Rodolfo de Lima, e Diana Mussa, que foram consultados sobre temas relativos à fósseis vegetais.

São lembrados com especial emoção conversações e discussões sobre temas de mapeamento e rochas alcalinas com Francisco João de Souza (Chico), Nicholas M.S. Rock (por ocasião da 5ª Conferência Internacional de Kimberlitos em Araxá, 1991, e posterior contato escrito), e José Henrique Godoy Ciguel, todos eles falecidos.

O geólogo Adolfo Báez Almada, compadre, compartilhou com o autor a maioria das exaustivas jornadas de campo, tornando-se colega de discussões e ajudando, com seu olhar crítico, a fundamentar e derrubar conclusões extraídas durante o trabalho. Agradecimentos são também devidos aos Drs. Peter Rene Bitschene e Nicolau Haralyi e ao geólogo Víctor Fernandes Crossa por colaboração e assessoria em diversas etapas, também estendidos aos colegas Pedro R. Zarza Lima e Oscar V. Quiñones Fernandes.

O colega Mário Mansur Melhem ajudou em etapa já avançada do trabalho de campo, no verão de 1990, pelo qual lhe são encaminhados sinceros agradecimentos.

Foram também inestimáveis as colaborações recebidas por funcionários da Biblioteca do IG-USP, e da Seção de Laminação, encarregada da realização das inúmeras lâminas solicitadas. A Seção Gráfica e de Xerox compilaram e encadernaram este volume. As secretárias do DMP-IG (Marta, Angélica e Roseli) e da Seção de Pós-Graduação (Madalena e Regina) mostraram-se sempre atenciosas com as solicitações efetuadas. A todos eles, nossos agradecimentos.

Merecem atenção especial as sugestões encaminhadas pelos Profs. V.J. Fúlfaro e C. Riccomini durante a defesa do Exame de Qualificação, em início de 1991 e em ocasiões posteriores, referentes à geologia do Paraguai Oriental e nomenclatura em rochas sedimentares e estratigrafia, e ao papel e geometria do rift de Asunción, como condicionador de magmatismo, discutindo apreciações do orientador.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA

A literatura sobre a geologia do Paraguai Oriental mostra, no Paleozóico e Mesozóico, um sucessão aparentemente simples de eventos, caracterizada pela deposição, por vezes continua, de sedimentos inicialmente marinhos e posteriormente continentais, e culminando no Cretáceo Inferior com o aparecimento de vasto volume de material basáltico.

O padrão estrutural mostra também uma aparente simplicidade, com uma depressão central (a de San Pedro), flanqueada por dois marcados altos estruturais, a Norte o do Rio Apá e a Sul o de Caapucú (Figura 1.1).

Vários argumentos, assinalados na literatura mais recente, apontam para um panorama estrutural mais complexo (cf. Degraff, 1985). Parece predominar, por vastas regiões do Paraguai Oriental, uma estrutura de "blocos desajustados" do embasamento, ora levemente basculados, ora com movimentação relativa independente, originando um relevo de escassa movimentação topográfica e de pequenas bacias hidrográficas semi-fechadas e de difícil drenagem. Seria esta a possível causa da existência dessa paisagem de "mini-Pantanal", ocupando boa parte do Paraguai Oriental com suas áreas de baixos, "esteros" e "banhados" (V.J. Fúlfaro, com. pessoal, 1991).

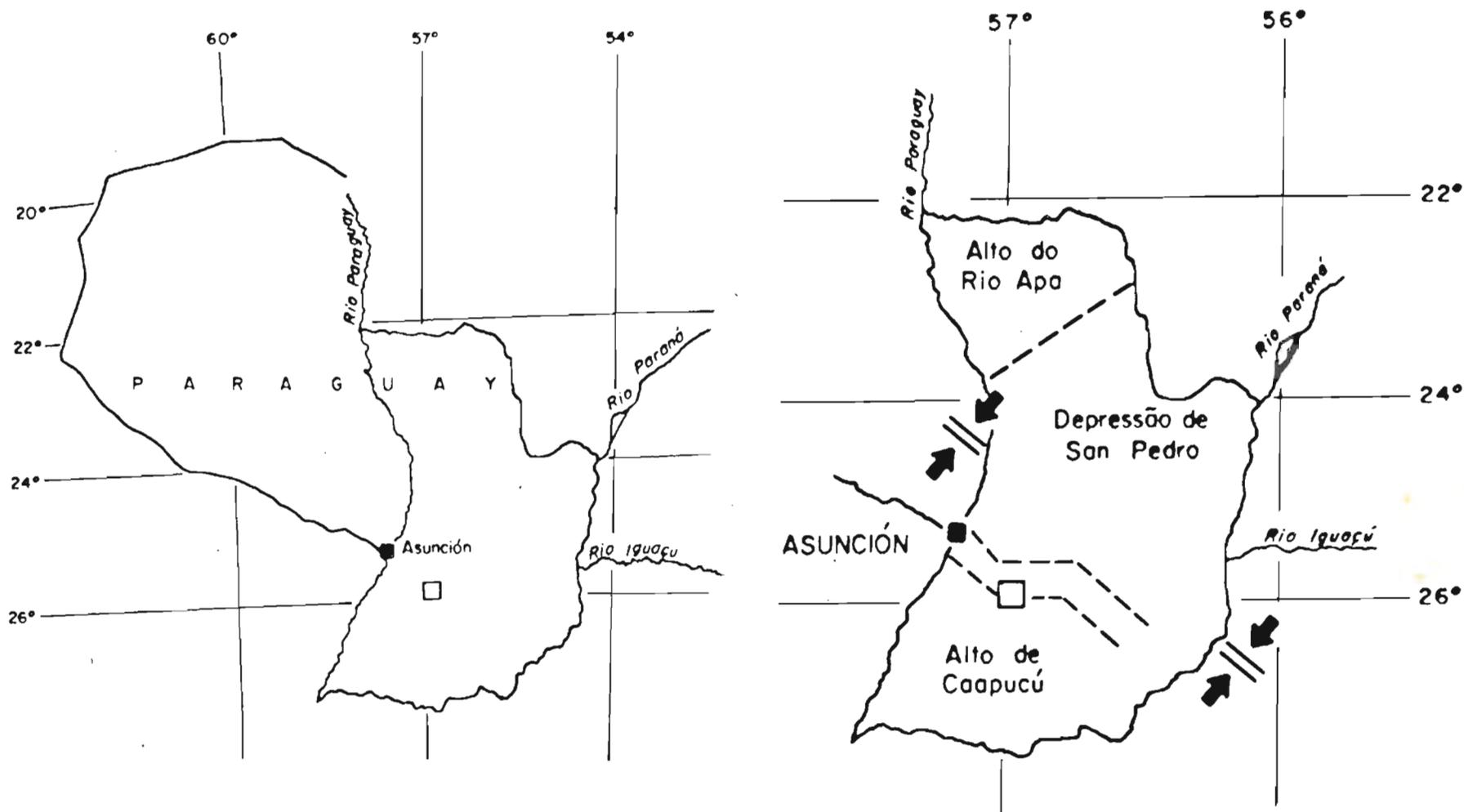


Figura 1-1. Localização da Folha La Colmena no Paraguai, identificada pelo quadrado. À direita, esquema simplificado das unidades geológico-estruturais no Paraguai Oriental. As linhas tracejadas paralelas limitam aproximadamente o "rift" de Asunción, com suas partes ocidental (Asunción), média (Vale de Acahay) e oriental. As linhas paralelas assinaladas pelas setas mostram a continuação, no Paraguai Oriental, do "sinclinal" de Torres.

é também de relevância, neste contexto, a discussão em torno do controle de localização das ocorrências de rochas ígneas alcalinas. Na literatura internacional, vários autores relacionam gênese e colocação destas rochas, em áreas continentais "intraplaca", ao controle por meio de sistemas distensionais (e.g. Bailey, 1974). Para a região do Alto do Rio Apa (Figura 1.1), invadida por rochas alcalinas, inexistem mapeamentos recentes, em suficiente detalhe; nele é escassa a cobertura sedimentar, faltando portanto as referências óbvias para trabalhos estruturais. Na outra região com numerosas ocorrências de rochas alcalinas, a do Alto de Caapucú, a cobertura sedimentar é contínua, identificando-se várias estruturas complexas, que teriam sido as responsáveis pelo aparecimento de tais rochas; entre estas, menciona-se especialmente o chamado "rift" de Asunción, reconhecido como tal apenas em anos recentes (Degraff, 1985; Drueker & Gay, 1987).

Reveste-se portanto de interesse um trabalho de mapeamento sistemático, que se inicie com o levantamento das unidades mapeáveis e que caracterize as estruturas presentes. A região do Alto de Caapucú pareceria a mais adequada para tal empreendimento, por ser em geral de fácil acesso e por apresentar variada cobertura sedimentar, facilitando assim o trabalho de identificação de estruturas.

A metodologia mais adequada, julga-se, é a de partir para o mapeamento de uma folha topográfica, das que são publicadas pelo Instituto Geográfico Militar do Paraguai, em escala 1:50.000.

Mapeamentos deste tipo, feitos de maneira sistemática na maioria dos países do mundo, são considerados tarefas básicas

para o levantamento e catalogação de Recursos Naturais, por mostrar e/ou sugerir a localização e extensão das reservas geológicas de interesse econômico, presente ou futuro.

Ao óbvio interesse científico, une então o levantamento sistemático de um folha também o interesse aplicado, fornecendo informações de vasto espectro de utilidade.

A área selecionada no Alto de Caapucú foi a região compreendida nos limites da Folha 5569-III La Colmena, do Instituto Geográfico Militar do Paraguai, em escala 1:50.000 (Figura 1.1; ~ 700 Km²). Esta área encontra-se situada na parte média, de direção E-W, do já citado "rift" de Asunción. Mostra cobertura de sedimentos paleozóicos, mesozóicos e cenozóicos, junto com um número considerável de ocorrências de rochas alcalinas, como já manifestado na literatura (e.g. Comte & Hasui, 1971; Palmieri & Arribas, 1975; Bitschene, 1987) com novas descobertas realizadas em visitas prévias de reconhecimento à região (1986 a 1989) pelo autor (ver também Báez Presser, 1991 e Vélazquez, 1992).

1.2. OBJETIVOS

O tema da presente dissertação, o mapeamento da Folha La Colmena, tem como base a identificação e descrição das unidades mapeáveis, caracterizando ainda as estruturas presentes na área. Os objetivos específicos são enumerados a seguir:

- familiarização com as várias formações (sedimentares, ígneas e metamórficas) caracterizadas, na literatura, no Alto de

Caapucú e que possam estar presentes na folha a mapear;

- mapeamento sistemático da Folha La Colmena, definindo a distribuição das unidades mapeáveis e as feições estruturais, com coleta de amostras para estudos posteriores em laboratório;

- descrição petrográfica das várias rochas sedimentares, ígneas e metamórficas encontradas;

- avaliação dos dados de campo e de laboratório obtidos para apresentação de colunas estratigráficas e da história geológica da área, apresentando ainda subsídios para a catalogação de Recursos Naturais.

1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Folha de La Colmena tem centro geográfico aproximado na cidade de La Colmena, Departamento de Paraguari, localizada a 133 km a SE da cidade de Asunción. Encontra-se limitada pelos paralelos $25^{\circ}45'$ e $26^{\circ}00'$ e os meridianos de $56^{\circ}45'$ e $57^{\circ}00'$ (Figuras 1.2. e 1.3).

O acesso à área se faz a partir da Cidade de Asunción, pela "Ruta nº 1" até a cidade de Carapeguá, e de lá, para E, até Acahay. Dela, parte para E um caminho pavimentado até La Colmena. Um outro acesso é pela mesma Ruta nº 1 até a cidade de Paraguari, seguindo-se posteriormente por caminho não pavimentado, via cidade de Caballero, até Ybytymí e, finalmente, La Colmena (Figura 1.2). Na folha, são encontradas várias estradas vicinais e trilhas, todas não pavimentadas, comunicando entre si os diferentes povoados e moradias da região.

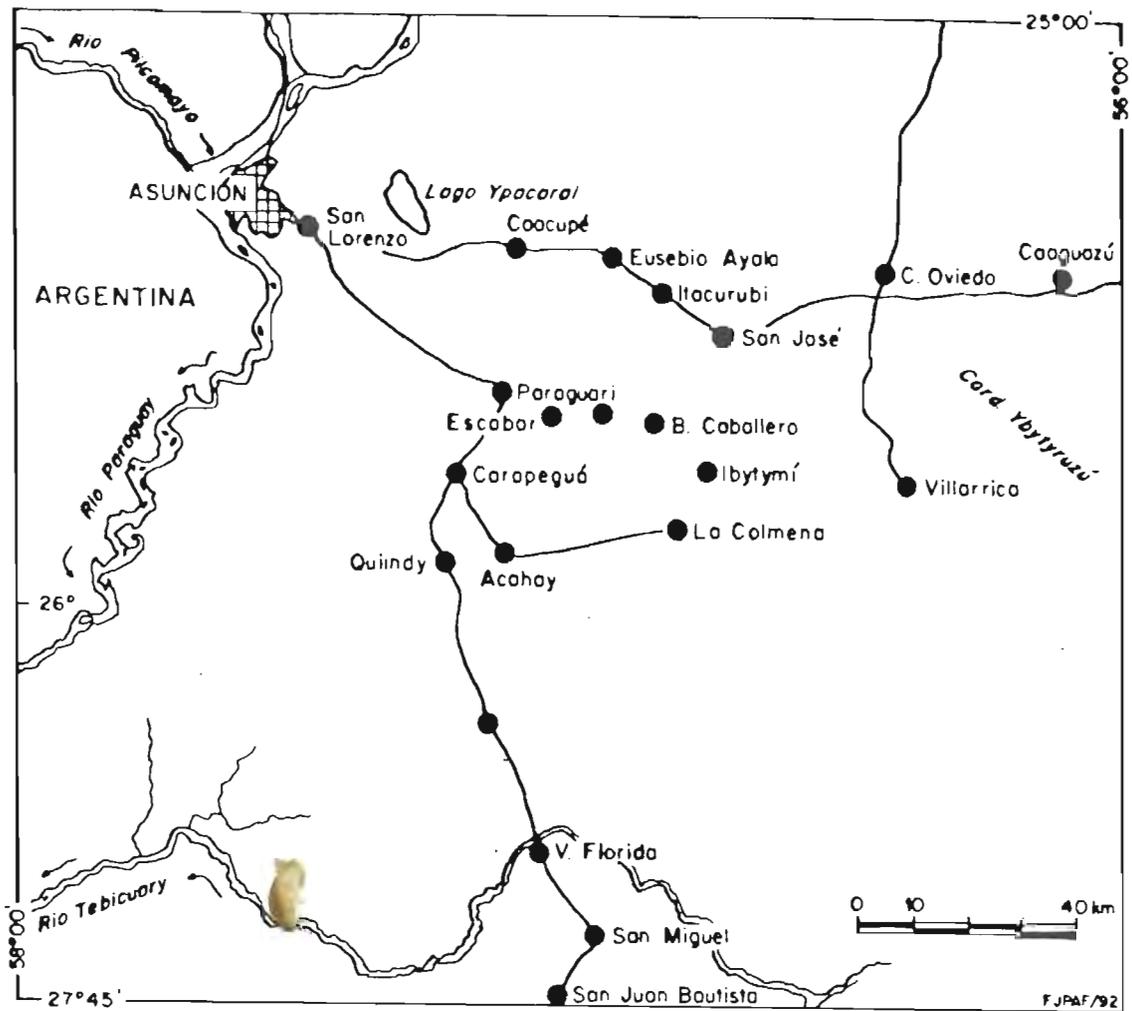


Figura 1-2. Toponímia do Paraguai Oriental e as vias de acesso à área de estudo (ver texto).

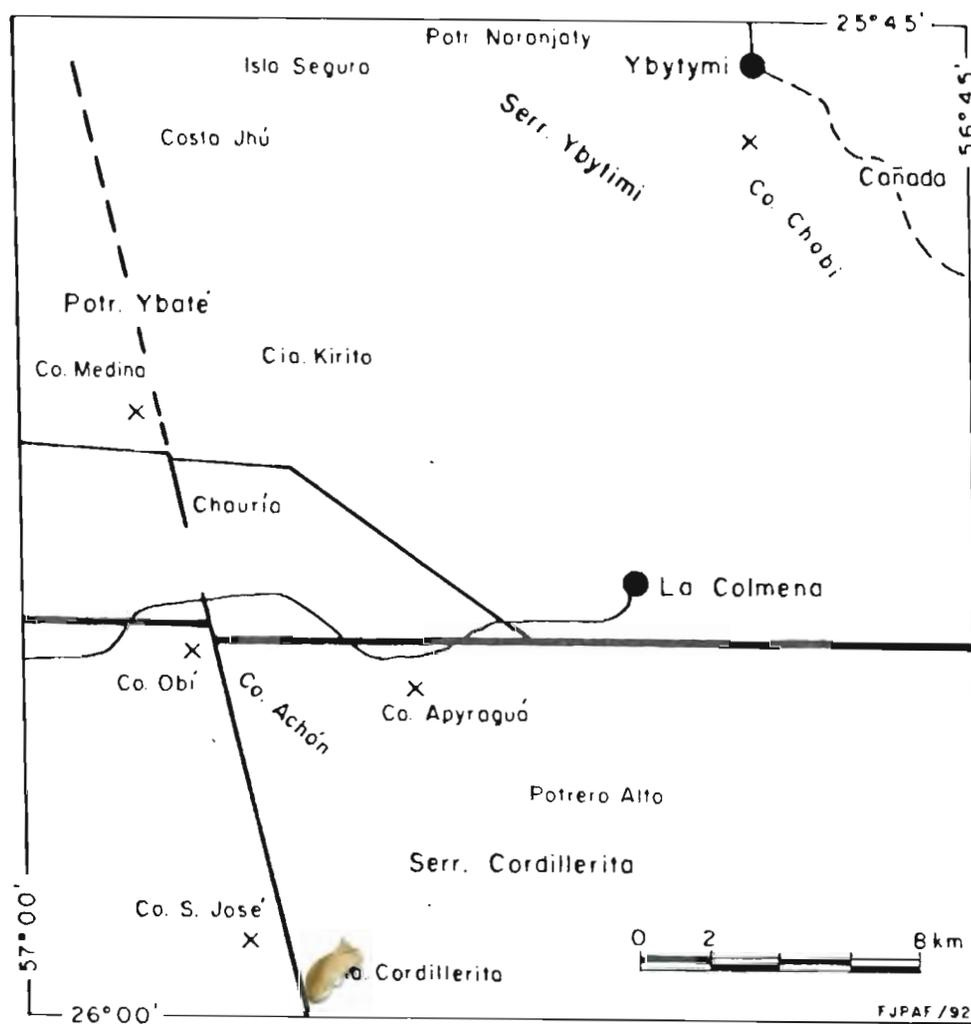


Figura 1-3. Toponímia da região da Folha La Colmena. São também identificadas as falhas que limitam os vários "blocos" geológicos reconhecidos na Folha (ver Figura 3-1).

1.4. ASPECTOS DA GEOGRAFIA FÍSICA

A parte meridional da Folha é ocupada pela Serrania de Cordillerita, constituindo um alto de topografia irregular (cotas máximas de 450 a 513 m), que se estende ainda mais para S e para E. A Serrania está separada da parte N da Folha, que constitui o Vale de Acahay, por marcada escarpa (Foto 1). O Vale de Acahay por sua vez mostra uma topografia pouco movimentada, com cotas entre 140 e 200 m. Na região NE da Folha aparece a Serrania de Ybytymí, com percurso geral SE-NW (alturas até 450 m), enquanto que na porção W, por vários kms, aparecem morros de contornos irregulares (e.g., o da Costa Jhú) a cónicos (Cerro Medina). Na região de Chauria, na parte centro-occidental da Folha, são encontradas algumas elevações moderadas (para toponímia, ver Figura 1.3).

O clima da região é o de savana subtropical mesotérmico mesoúmido, sem período marcado de estiagem, tendo em abril, maio e outubro os meses mais chuvosos e de junho a agosto os meses mais secos.

A cobertura vegetal primitiva (bosques de características subtropicais) só aparece conservada em algumas regiões de maior altitude, nas serranias de Ybytymí e Cordillerita. Em quase toda a extensão do Vale de Acahay, que fica alagado em épocas de chuva, são agora observados campos de pastagens, com grama e vegetação de arbustos e árvores de pequeno porte.

Os campos mais férteis são encontrados nas encostas e

partes altas da Serrania de Ybytymí, assim como também em grande parte da Serrania de Cordillerita, com cultivos de algodão, milho e outros produtos agrícolas.

1.5. METODOLOGIA

Após uma etapa de familiarização com a já extensa bibliografia sobre os aspectos regionais do Paraguai Oriental, tiveram início as excursões ao local, primeiramente com a finalidade do reconhecimento geológico e, a seguir, após fotointerpretação, com o intuito do mapeamento sistemático e do levantamento de perfis.

No laboratório foram realizados estudos petrográficos das amostras recolhidas de rochas sedimentares e ígneas.

As várias técnicas de campo e de laboratório utilizadas são indicadas a seguir.

Revisão bibliográfica

Uma primeira etapa do trabalho consistiu na familiarização com a bibliografia existente sobre dois tópicos relevantes para a pesquisa:

a. Revisão da bibliografia (parcialmente inédita), já bastante extensa, sobre a geologia do Paraguai Oriental e, em especial, sobre a região do Alto de Caapucú e vizinhanças.

b. Familiarização com a vasta literatura internacional relacionada com petrografia, mineralogia e nomenclatura das rochas ígneas alcalinas.

As publicações mais importantes sobre a geologia do Paraguai Oriental aparecem citadas na lista de referências, e são em parte relacionadas nos itens sobre Mapeamento e Descrições Petrográficas, abaixo. Os trabalhos consultados sobre rochas alcalinas são referidos na discussão sobre Descrições Petrográficas.

Mapeamento

Foram adquiridas 49 fotografias aéreas em escala 1:50.000, realizadas pelo Instituto Geográfico Militar do Paraguai, que cobrem totalmente a Folha La Colmena, junto com um fotomosaico em escala 1:100.000.

A fotointerpretação é facilitada por ser a geologia da área relativamente simples, identificando-se várias formações sedimentares subhorizontais, cortadas por falhas normais, junto com depósitos recentes e subrecentes de colúvio e alúvio. As formações sedimentares mais antigas aparecem cortadas por rochas ígneas alcalinas e basálticas, e em parte estão cobertas por derrames e mantos correlatos.

Uma fotointerpretação inicial permitiu lançar no mapa topográfico 1:50.000 as principais feições estruturais e estratigráficas, construindo-se, assim, um primeiro mapa-base, posteriormente revisado e aprimorado em excursões às várias localidades da Folha La Colmena. Estas excursões foram realizadas durante vários dias nos meses de janeiro de 1987, 1988 e 1989, em janeiro e fevereiro de 1990, em agosto de 1989 e em novembro de 1989, num total aproximado de 60 dias de campo.

Como guia para o mapeamento foram também utilizadas as

descrições de formações sedimentares constantes da literatura e em alguns mapas em parte inéditos (T.A.C., 1981; Proyecto Par 83/005, 1986)

As várias unidades sedimentares encontradas na Folha La Colmena (pertencentes principalmente ao Grupo Caacupé e formações suprajacentes) foram identificadas com base nos seguintes critérios:

- a. Litologia, como identificada na literatura (petrografia, cor, características dos afloramentos, etc.) (cf. Harrington, 1972).
- b. Sequência estratigráfica, eventual alternância de camadas e indicações de espessura (Harrington, 1972; T.A.C., 1981; Proyecto Par 83/005, 1986).
- c. Com os devidos cuidados, continuidade geográfica, correlacionando os afloramentos da Folha La Colmena com os de áreas vizinhas (principalmente a W), melhor conhecidos, aproveitando o mapa de T.A.C. (1981) e do Proyecto Par 83/005 (1986).

O mapa base construído com a ajuda da fotointerpretação foi completado e examinado no campo, principalmente com o levantamento de perfis para a definição de colunas estratigráficas, embora afloramentos descontínuos frequentemente impedissem que as observações pudessem ser completadas. Uma parte importante do trabalho foi dedicada à definição, amostragem e localização dos múltiplos corpos ígneos presentes.

Descrições petrográficas

As rochas sedimentares foram descritas macro e

microscopicamente utilizando a nomenclatura exposta em Suguio (1980), tanto para a definição das características de seus elementos texturais e estruturais (clastos, matriz, cimento, etc.) como para questões de nomenclatura. As observações foram realizadas com ajuda de lupa de campo (10x) e de lupa binocular (16x). Quando necessário, as amostras foram desagregadas mecanicamente, para melhor observação da mineralogia e características dos clastos. As medições em clastos foram realizadas com papel milimetrado e/ou régua. Não foram efetuadas, entretanto, contagens modais ou trabalhos de peneiramento (para identificação de modas, etc) por fugirem dos objetivos propostos.

As rochas ígneas encontradas na região pertencem a três grupos diferentes do ponto de vista petrográfico e genético:

- granitóides e riolitóides do embasamento cristalino, atribuídos ao Grupo Caapucú;
- rochas basálticas intrusivas da Formação Alto Paraná;
- rochas alcalinas intrusivas e efusivas atribuídas à Formação Sapucaí.

Conta-se com aproximadamente 220 amostras de mão, coletadas durante os trabalhos de campo acima citados e devidamente localizados em mapa. Destas, selecionaram-se aproximadamente 150 para a realização de seções delgadas. A totalidade das amostras de mão foi descrita macroscopicamente, com ajuda de lupas de campo e binocular (10x e 16x), destacando-se as feições estruturais (caráter maciço vs. orientado; presença e forma de amígdalas e vesículas; existência de enclaves; densidade de fenocristais vs. matriz; etc) e as características texturais

(quando visíveis) e mineralógicas (identificação dos vários minerais). As seções delgadas (a maioria de rochas alcalinas, 3 de basaltos toleíticos e outras 6 de riolitóides e granitóides) foram descritas com ajuda do microscópio petrográfico de luz transmitida, com medição do tamanho dos grãos com ocular micrométrico.

Os minerais transparentes presentes nestas rochas foram identificados pelas propriedades ópticas, com alguma indicação do provável quimismo (e.g. em olivinas, piroxênios e anfibólios), por meio de feições tais como estimativa do valor do ângulo 2V, ângulo de extinção, cor e pleocroísmo (cf. Tröger, 1979). Os feldspatos alcalinos foram identificados pelo índice e posição do ângulo 2V. O tipo de plagioclásio, quando possível, foi estimado utilizando-se a metodologia de Michel-Levy (ângulo entre o plano de geminação e as posições simétricas de extinção em indivíduos geminados segundo a Lei da Albita, em seção paralela ao eixo cristalográfico b: Tröger, 1979).

Com as informações colhidas das descrições macro e microscópicas, procedeu-se à classificação. As rochas granitóides e basálticas toleíticas são facilmente classificadas, em geral em função de parâmetros texturais e mineralógicos; eventuais erros de classificação são possíveis, principalmente no caso dos toleitos, por carecer-se de informações químicas que levem a uma classificação mais aprimorada.

A classificação das rochas alcalinas requer maiores cuidados, mesmo porque só recentemente é que apareceram propostas mais cuidadosas de classificação (em parte baseadas em

parâmetros químicos) mas, ainda assim, em parte polêmicas, por existirem questões não resolvidas até o momento (e.g. relação entre lamprófiros, lamproitos e kimberlitos, veja-se Rock, 1991).

As recomendações utilizadas para a classificação de rochas monzonitóides e sienitóides alcalinas foram as contidas em Streckeisen (1976), Le Bas & Streckeisen (1991) e, mais detalhadamente, em Sorensen (1974).

Os lamprófiros presentes em abundância na região foram classificados, pelo menos tentativamente, utilizando como referência geral Streckeisen (1980) e, mais especificamente, os vários trabalhos de Rock sobre o tema (ver Rock, 1991, e referências ali citadas), em parte com modificações (Rock, 1991, com. pessoal).

As rochas com "leucita" e de potencial afinidade lamproítica são de difícil identificação; guias para a descrição e classificação destas rochas foram encontradas em Wade & Prider (1940), Mitchell (1985; 1989) e Mitchell & Bergman (1991).

Os dados para a classificação das rochas ígneas foram obtidos principalmente da descrição microscópica e da contagem modal, esta última realizada com "point counter" (média de 500 a 1000 pontos por lâmina; excepcionalmente, contaram-se 1500 pontos, no caso de algumas rochas basaltóides alcalinas).

A contagem de rochas porfiríticas apresenta problemas especiais. Para estes casos, contaram-se primeiramente as proporções dos vários fenocristais e da matriz, indivisa, com aumentos menores do microscópio. A matriz foi seguidamente contada de maneira isolada, com aumentos maiores, calculando-se

com estes dados a moda final.

Identificação de minerais pesados

Nos "pipes" de brecha (e.g. Dú) e em outros "pipes" de possível afinidade lamproítica foram colhidas amostras de solo e rocha alterada e de sedimentos dos córregos vizinhos.

As amostras, após lavagem e secagem, foram peneiradas, obtendo-se concentrados de minerais pesados, a partir do tratamento das frações 0,70 a > 0,25mm, com ajuda de bromofórmio ($d=2,82$); quando necessário, deste concentrado eram separados os minerais magnéticos com um ímã. Com a ajuda de lupas binoculares separaram-se os diferentes minerais por características de cor, morfologia e outras feições.

Alguns concentrados foram novamente separados com ajuda do iodeto de metileno ($d=3,33$), caracterizando-se alguns minerais com ajuda da lâmpada de luz ultravioleta.

Foi também aplicado, em alguns casos, um tratamento com ácido fluorídrico, com a finalidade de recuperar resíduos não afetados pelo tratamento.

CAPÍTULO 2

GEOLOGIA REGIONAL DO PARAGUAI ORIENTAL

Dois temas de geologia regional são enfocados neste capítulo. O primeiro apresentará um resumo da geologia do Paraguai Oriental, descrevendo as unidades estratigráficas reconhecidas na literatura e que guardam estreita relação com a Bacia do Paraná, posicionando, ao mesmo tempo, a área ocupada pela Folha La Colmena no contexto regional. O segundo tema enfoca com exclusividade as rochas ígneas alcalinas presentes na região, apresentando uma revisão concisa das ocorrências conhecidas.

2.1. O PARAGUAI ORIENTAL: GENERALIDADES

O Paraguai Oriental, à leste do rio Paraguai, é dividido em várias unidades morfo-estruturais. A sul ocorre o chamado Alto de Caapucú (*cf.* Proyecto Par 83/005, 1986) e a norte o Alto do Rio Apa (Wiens, 1986), separados por um baixo denominado de "sinclinal" de San Pedro (Livieres & Quade, 1987) ou, mais apropriadamente, Depressão de San Pedro (Proyecto Par 83/055, 1986) (ver Figuras 1.1 e 2.1).

Nestes Altos estruturais afloram rochas do embasamento, em parte cobertas por sedimentos e rochas vulcânicas da Bacia do Paraná. Sedimentos aluvionares do Quaternário ocorrem como

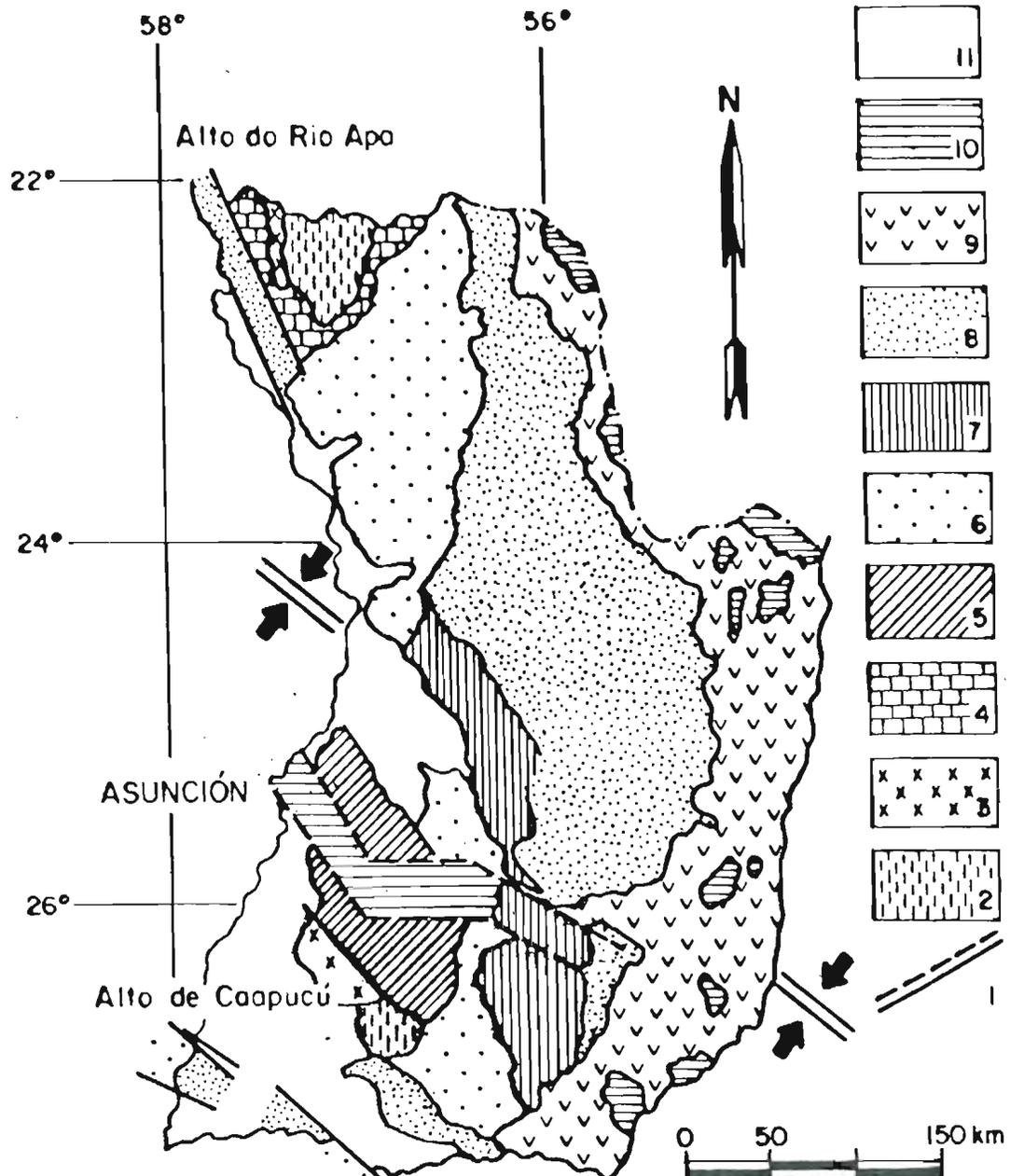


Figura 2-1. Esquema geológico do Paraguai Oriental. Legenda. 1: falhas (propostas e verificadas); 2: rochas do embasamento pré-cambriano ("Precámbrico Norte" e "Sur"); 3: rochas ígneas pré-cambrianas; 4: Grupo Itapucumí; 5: Grupos Caacupé e Itacurubí, indiferenciados (Ordoviciano? a Siluriano Inferior); 6: Formações Coro nel Oviedo (à Sul) e Aquidabán (à Norte) (Carbonífero a Permiano); 7: Grupo Independencia (Permiano Superior); 8: Formação Misiones (Triássico a Jurássico); 9: Formação Alto Paraná (Cretáceo); 10: Formações terciárias indiferenciadas; 11: depósitos recentes e subrecentes. Fonte: Livieres & Quade (1987), com modificações. Para localização de manifestações alcalinas, ver Figuras 2-2 e 2-4. As setas identificam a continuação, para NW, do "sinclinal" de Torres (ver também Figura 1-1).

unidades mais novas.

Na parte leste destes Altos, entra-se já No domínio da Bacia do Paraná. Ocupa esta o centro-leste da América do Sul, abrangendo uma área em torno de 1.600.000 km², dos quais 1.000.000 km² situados no Brasil, 400.000 km² na Argentina, 100.000 km² em território uruguaio e 100.000 a 110.000 km² no Paraguai Oriental. Fulfaro *et al.* (1982) a classificam como uma bacia intracratônica do tipo 2A complexo, que inicia a sua sedimentação no Paleozóico Inferior, com conteúdo fossilífero relacionado ao de outras bacias gondwânicas (Proyecto Par 83/005, 1986 e referências aí citadas).

O Paraguai Oriental adquiriu a sua configuração geológica por meio de longa história evolutiva, iniciada no Pré-Cambriano e que continua durante o Paleozóico e Mesozóico. Esta história está ligada intimamente aos ciclos gondwânicos de transgressões e regressões marinhas, que culminam com a deposição de sedimentos continentais e o aparecimento do vulcanismo basáltico da Formação Alto Paraná (Formação Serra Geral no Brasil), acompanhado e sucedido em volumes significativamente menores por grande número de manifestações de rochas alcalinas.

Um mapa esquemático com a distribuição das unidades do Paraguai Oriental inteiro aparece reproduzido na Figura 2.1, enquanto que as unidades reconhecidas no Alto de Caapucú, de maior relevância para este trabalho, estão representadas na Figura 2.2.

São discutidos, a seguir, principalmente as unidades estratigráficas presentes no Alto de Caapucú, dentro de cujos limites posiciona-se a área coberta pela Folha La Colmena.

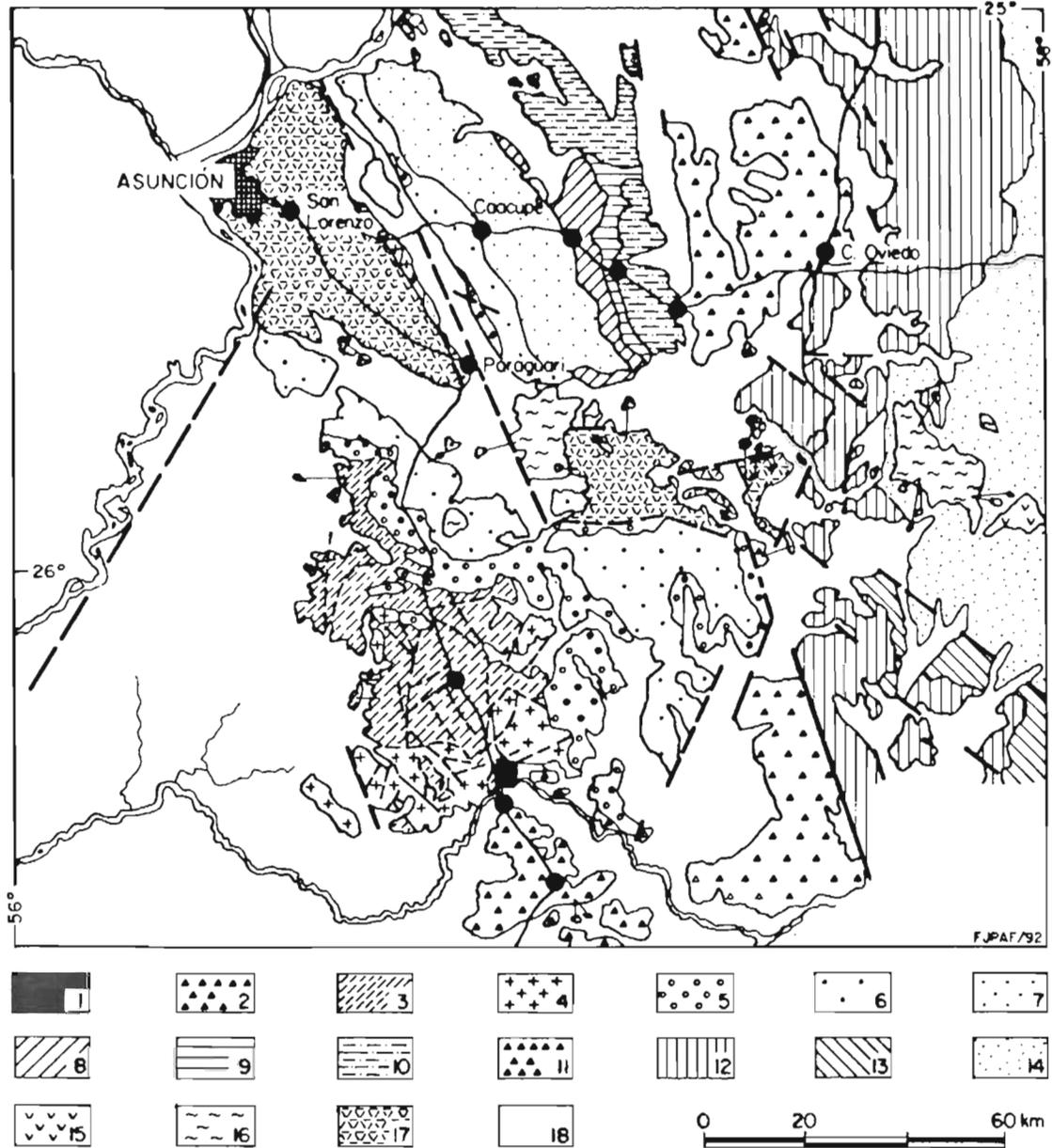


Figura 2-2. Geologia regional do Alto de Caapucú, Paraguai sul-oriental. (ver também figura 2-1). Legenda. 1 e 2: Complexos Paso Pindó e Tebicuary, respectivamente (Proterozóico Médio? a Inferior?); 3 e 4: riolitóides e granitóides, respectivamente, do Grupo Caapucú (Proterozóico Superior); 5, 6 e 7: Grupo Caacupé, com formações Paraguarí, Cerro Jhú e Tobatí, respectivamente (pré-Siluriano Inferior); 8, 9 e 10: Grupo Itacurubí, com formações Eusebio Ayala, Vargas Peña e Carri, respectivamente (Siluriano Inferior); 11: Formação coronel Oviedo (Carbonífero Superior a Permiano); 12 e 13: Grupo Independência, com formações San Miguel (=Pañetey) e Tacuary, respectivamente (Permiano Superior); 14: Formação Misiones (triássico? a Cretáceo Inferior?); 15: Formação Alto Paraná (Cretáceo Inferior); 16: Formação Sapucaí (Cretáceo Inferior); 17: Formação Patiño (Cretáceo Superior? a Terciário); 18: coberturas recentes e subrecentes. Fonte: Mapa Geológico do Paraguai, Proyecto Par 83/005, 1986.

2.2. GEOLOGIA DO ALTO DE CAAPUCÚ

O Alto de Caapucú representa a porção distal norte do Cráton do Rio de La Plata (*cf.* Mantovani *et al.*, 1987; Báez Presser, 1992).

Afloram nele, entre as cidades de Quiindy e San Juan Bautista e por uma extensão de uns 4.000 km², rochas cristalinas do embasamento conhecidas como as do "Précambrico Sur" (*cf.* Wiens, 1984; Kanzler, 1987). Outros pequenos afloramentos de rochas ígneas e metamórficas são reconhecidos também ao longo da borda leste do "rift" de Asunción (Degraff, 1985), tais como os granitos da cidade de San Bernardino, os riolitos de Ypacaraí (Bitschene & Lippolt, 1986), os xistos dobrados e os metalutitos de Paraguari, e ainda os granitóides e riolitóides ao pé da Serrania de Cordillerita, citados nesta dissertação (para toponímia, ver Figura 2.3).

Kanzler (1987), em base a suas observações de campo, divide os afloramentos destas rochas cristalinas em 3 zonas (ver também Tabela 2.1):

- zona 3 (meridional): constituída por rochas metamórficas à Sul da cidade de Villa Florida, equivalentes ao Complexo Rio Tebycuary (Proyecto Par 83/005, 1986). é formada por orto- e paragneisses, em parte migmatíticos, anfibolitos e talcoxistos, assim como também diques de riolitos. Wiens (1984) estima para estas rochas uma idade do Proterozóico inferior, ou mais antiga.

- zona 2 (central): localizada ao redor da cidade de Villa

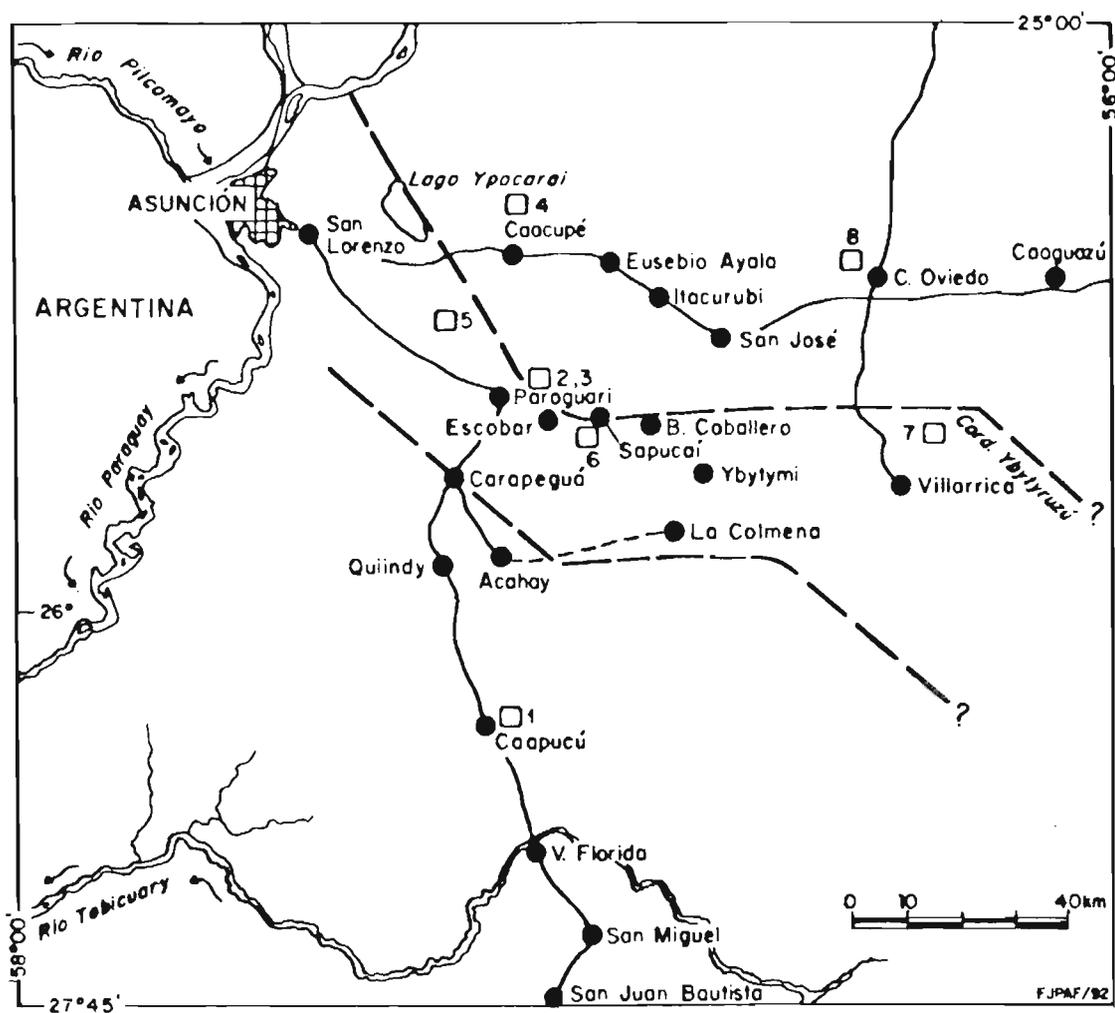


Figura 2-3. Toponímia do Paraguai Oriental e localidades-tipo das principais formações sedimentares. O "rift" de Asunción é indicado pelas linhas tracejadas. Localidades-tipo. 1: Grupo Caapucú; 2: Formação Paraguari; 3: Formação Cerro Jhú; 4: Formação Tobatí; 5: Formação Patiño; 6: Formação Sapucaí; 7: Formação San Miguel; 8: Formação Coronel Oviedo. Para referências, ver texto.

Tabela 2.1. As rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas do Alto de Caapucú

Grupo/Complexo	Litologia	Localidade	Ciclo	Idade
Grupo Caapucú	Granitos e riolitos	Granitos: S. Bernardino, S. Cordillerita Riolitos: Ypacaraí, S. Cordillerita, Carapeguá-Quindy	Brasiliano (576-553 Ma, K/Ar)	Proter. Superior
Grupo Paso Píndo (P.P.)	P.P.: meta-conglomerados-arenitos, -lutitos (discordância angular sobre C.R.Tebicuary)	Villa Florida até San Miguel	Uruaçuano(?)	Proter. Médio
Grupo Villa Florida (V.F.)	V.F.: meta-basitos (anfíbolitos) e ultramáficas (serpentinitos, etc)			
Complexo Rio Tebicuary	Gnaisses, anfíbolitos, serpentinitos, quartzitos	Rio Tebicuary até S.J. Bautista	Transamazônico(?)	Proter. Inferior

Fontes: Kanzler (1987), Wiens (1984), Proj. Par 83/005 (1986), esta dissertação. Idades conforme Wiens (1984).

Florida, inclui os grupos Paso Pindo e Villa Florida (Proyecto Par 83/005, 1986). O segundo grupo é formado por rochas magmáticas (granitos, riolitos e granodioritos) e metamórficas (quartzitos, gnaisses - em parte tectonizados e anfibolitos, e pequenos afloramentos de mármore e serpentinitos). As rochas do Grupo Paso Pindo, que ocorrem a NE da cidade de Villa Florida, são conglomerados, arenitos e siltitos, em parte interdigitados e levemente metamorfoseados. Wiens (1984) estima uma idade do Proterozóico médio para estas rochas.

- zona 1 (setentrional): apresenta-se à Norte da cidade de Villa Florida e equivale ao Grupo Caapucú (Proyecto Par 83/005, 1986). As rochas constituintes são granitos e riolitos, com alguns piroclastitos associados.

2.2.1. Unidades do Paleozóico Inferior

O Paleozóico nesta região está representado por formações do Ordoviciano superior e Siluriano inferior (Llandoveryano) que afloram tanto ao Norte como no Centro-Oeste, ao longo de uma faixa de rumo NW-SE (Proyecto Par 83/005, 1986).

Harrington (1950) foi o primeiro a apresentar estudos mais detalhados sobre a geologia do Paraguai Oriental, seguidos por importantes trabalhos de Eckel (1959) e Putzer (1962).

Inicialmente divide Harrington (1950) as unidades Eopaleozóicas em três formações agrupadas como Série Caacupé: Conglomerado de Paraguari, basal, e os Arenitos de Piribebuy e de Itacurubí. Eckel (1959) separa o Conglomerado Basal de Paraguari dos depósitos superpostos, que divide em: "Arenitos

Arcosianos", "Arenitos Sacaroidais" e "Arenitos e Folhelhos". O relatório da Cuadrícula 40 (1966) identifica várias formações Eopaleozóicas (Formações Caacupé, Eusébio Ayala, Ypacaraí, e Itacurubí), agrupadas como Série Cordillera. Para a Formação Itacurubí, é proposto ainda o nome de Formação Acosta Nú pelo relatório da Cuadrícula 41 (1966).

Uma posterior revisão por Harrington (1972) agrupa as unidades Eopaleozóicas nos Grupos Caacupé e Itacurubí, o primeiro constituído pelas Formações Paraguari, Cerro Jhú e Tobatí e o segundo pelas Formações Eusebio Ayala, Vargas Peña, e Cariy. O autor salienta, adicionalmente, que as rochas do Grupo Caacupé estão depositadas sobre o embasamento pré-cambriano, enquanto que as do segundo Grupo se posicionam por cima do Grupo Caacupé. Esta divisão é hoje aceita pela maioria dos pesquisadores da geologia do Paraguai (*cf.* Proyecto Par 83/005, 1986 e referências aí citadas).

Grupo Caacupé

Formação Paraguari

A Formação Paraguari (Harrington, 1972; anteriormente, "Conglomerado de Paraguari", Harrington, 1950; Eckel, 1959; Conglomerado Basal, Putzer, 1962) é a unidade basal mais antiga do Eopaleozóico.

A localidade tipo (Figura 2.3) é o corte de estrada que une a cidade de Paraguari com a de Piribebuy, ao longo do flanco ocidental do cerro ou morro Jhú, 4 a 5 km a NE da cidade de Paraguari (Harrington, 1972).

Esta formação encontra-se distribuída como afloramentos descontínuos ao longo da escarpa da Serrania de Altos, junto ao vale de Ypacaraí (por ex. San Bernardino, Campamento Cerro Leon, Cerro Jhú), e entre as cidades de Paraguarí, Escobar e Sapucaí, na borda norte do vale de Acahay. Aflora também esporadicamente entre as cidade de Quiindy e Quyquy-ó.

Segundo Harrington (1972), a Formação é constituída por conglomerados de cor amarelo e marrom pálido, irregularmente acamadados em estratos de 1 a 2 metros de espessura, intercalados com arenitos arcosianos grossos, de cor marrom a avermelhado-claro. São abundantes os seixos de 1 até 30 centímetros, bem arredondados e de formas elipsoidais, em matriz arcosiana grossa. Consistem quase que exclusivamente de quartzo de veios e de quartzito de granulação fina. Ocasionalmente, são encontrados seixos de riolito alterado.

A espessura da Formação é muito variável. Na localidade tipo atinge espessura de 40 a 50 metros, que se reduz, a Sul, perto da cidade de Quiindy, a 1 ou 2 metros (Harrington, 1972). O relatório do Proyecto Par 83/005 (1986) lhe atribui espessura média de 20 metros, salientando que a Formação inicia-se com sedimentos grossos, com camadas conglomeráticas, que passam gradativamente para os arenitos arcosianos da Formação Cerro Jhú.

Formação Cerro Jhú

A Formação Cerro Jhú (Harrington, 1972; anteriormente, "Arenito Arcosiano", Harrington, 1950; Eckel, 1959) constitui a parte média do Grupo Caacupé, passando gradacionalmente tanto

para a Formação Paraguari, infrajacente, como para a superposta, a Formação Tobati.

Harrington (1972) considera como localidade tipo os cortes de estrada no flanco NW do cerro Jhú, ao longo da estrada que une as cidades de Paraguari e Piribebuy (Figura 2.3).

A formação aflora ao longo da Serrania ou "Cordillera de los Altos" com rumo SE-NW, numa faixa de aproximadamente 60 km de comprimento e 10 km de largura, entre as cidades de Arecutacúa (20 km a NW de Assunção) e Escobar (no vale de Acahay). Aflora também como importante pacote na Serrania de Cordillerita, a leste da cidade de Ybycuí, para continuar para leste até as vizinhanças das cidades de Borja e Salvador, onde desaparece por baixo da Formação Tobati. Como afloramentos descontínuos, aparece ainda nos arredores das cidades de Villeta e Quiindy.

Harrington (1972) descreve a unidade como uma monótona seqüência de arenitos arcósiolos de cores variadas (amarelo claro, amarelo cinzento, bege claro), de granulação de areia média a fina, pouco cimentados. Os grão constituintes, principalmente quartzo e feldspato, são marcadamente arredondados; ocorre ainda abundante mica. Interestratificadas, observam-se lentes finas de lutitos junto com camadas finas de argilitos. Os arenitos predominantes aparecem como estratos maciços, em parte irregulares, de 1 a 2 m de espessura, separados por planos de estratificação claramente marcados. Muitas das unidades mostram laminação cruzada muito bem desenvolvida. Na parte basal, mostram os arenitos, de cor avermelhada e composição mais arcósiana, lentes

interestratificadas de conglomerados (seixos de até 2 cm), com passagem gradacional para a Formação Paraguari.

A formação apresenta espessuras consideráveis, que variam de 450 a 500 m (Harrington, 1972).

A passagem para a Formação Tobatí, superposta, é gradacional e se estende por uma espessura aproximada de 10 a 20 m (Harrington, 1972).

Os arenitos desta formação depositaram-se inicialmente em um ambiente fluvial (Proyecto Par 83/005, 1986) que passaria posteriormente para um ambiente marinho raso (Harrington, 1972). Godoy Ciguel (com. pessoal, 1990), entretanto, estende o ambiente marinho para níveis mais inferiores, opinando que a maioria destes sedimentos depositaram-se nessas condições.

Formação Tobatí

O Grupo Caacupé culmina com a deposição da Formação Tobatí (Harrington, 1972; antes, "Arenito Sacaroidal", Eckel, 1959).

A localidade tipo (Harrington, 1972) são os afloramentos a Oeste da estrada entre as cidades de Tobatí e Caacupé, 1 a 3 km a Sul da cidade de Tobatí (Figura 2.3).

A formação distribui-se ao longo da "Cordillera de los Altos", acompanhando os afloramentos da Formação Cerro Jhú. Apresenta-se ainda como cobertura de um bloco falhado, de rumo SE-NW, na parte SW no vale de Acahay. Afloramentos pequenos e isolados, devidos a falhas, são também conhecidos ao longo da borda leste do "rift" de Asunción (Harrington, 1972; Degraff *et al.* 1982).

Harrington (1972) identifica nesta formação arenitos

sacaroidais, friáveis, de granulação de areia média a fina, de cores esbranquiçadas cinza-claras e branco-amareladas. Na base, aparecem estratos de arenitos de 15 a 60 cm de espessura, que passam gradativamente, para cima, para estratos maciços de até 17 m de espessura, com aparição local de laminação cruzada. O componente quase que único é quartzo, em grãos angulosos a moderadamente arredondados.

Harrington (1972) atribui à unidade uma espessura em torno de 150 a 200 m, enquanto que Degraff *et al.* (1982) a aumentam para 200 a 250 m. A maioria dos autores consideram que estes arenitos se depositaram em ambiente fluvial.

A idade do Grupo Caacupé, que não é fossilífero, é estimada em função da do Grupo suprajacente Itacurubí. Atribui-se a este, com sólida documentação fossilífera, idade Eosiluriana (Llandoveryana), com o qual o Grupo Caacupé teria se depositado, no máximo, até o Eosiluriano. Mas as opiniões variam. Godoy Ciguel (com. pessoal, 1990) considerava que os grupos Caacupé e Itacurubí eram aproximadamente coetâneos, representando litofacies depositadas durante fluxos e refluxos marinhos.

As informações sobre o Grupo Caacupé aparecem resumidas na Tabela 2.2.

Grupo Itacurubí

Este grupo, da forma como foi dividido por Harrington (1972), é constituído pelas três formações Eusébio Ayala (inferior), Vargas Peña e Cariy (superior) (ver Proyecto Par 83/005, 1986; Tabela 2.2).

A Formação Eusebio Ayala é formada predominantemente por

Tabela 2-2. As formações fanerozóicas no Alto de Caacupé

Grupo	Formações	Litologia (espessura)	Equivalentes no Brasil	Idade
	Ñemby	Corpos isolados (bossas, etc.) de rochas alcalinas.		Terciário (40-60 Ma)
	Patiño	Conglomerados basais, arenitos, "conglomerados", (min. de 150 m)		Cretáceo Superior a Terciário
	Acaray (?)	Arenitos finos micáceos	Formação Caiuá	Cretáceo Superior
	Sapucaí	Corpos isolados (diques, bossas, derrames, etc.), variadas rochas alcalinas.	Cronogrupo de 130 Ma (?)	(em torno de 130 Ma)
	Alto Paraná	Basaltos toleíticos (derrames, diques, sills) (esp. estimada 700-800 m em Itaipu).	Formação Serra Geral	(em torno de 130 Ma)
	Misiones (parte basal fluvial: Fms. Tapytá e Cabacua)	Arenitos vários, em parte com lutitos (parte basal); estratificação cruzada	Formação Botucatu (façes fluvial, Fms. Tapytá e Cabacua, correl. com Fm. Piramboia).	Jurássico até Cretáceo Inferior (Botucatu)
	Tacuary	Arenitos, calcarenitos (oolíticos), siltitos, lutitos (alternados), fóssilífero (pelecípodes, flora) (máx. de 280 m).	Formação Estrada Nova	Permiano Superior
Independencia	Pañetey (=San Miguel)	Conglomerados (diamictitos), arenitos e lutitos; fóssilífera (troncos) (máx. de 100 m)	Fm. Palermo (?) ou Fm. Iratí (M.Lima, com. pessoal, 1990)	Permiano Superior
	Coronel Oviedo	Diamictitos (conglomerados), lutitos, arenitos, ritmicos, cherts, etc. (em perfuração, 620 a 650 m).	A Norte, correlaciona-se com Fm. Aquidaban. Equivalente a Série Ju barão (Fm. Itararé) Fm. Iratí (?)	Carbonífero Superior (Estefaniano) - Permiano
	Cariy	Arenitos, com lutitos e arenitos micáceos; fóssilífera (Eucoelia, Climacograptus, etc.); (máx. de 100 a 180 m)		
Itacurubí	Vargas Peña	Lutitos fóssilíferos (Lingula, Nuculites, Climacograptus, etc.) (máx. de 80 m).	Fm. Vila Maria	Siluriano Inferior (Llandoveryano)
	Eusebio Ayala	Arenitos conglomeráticos, alternância de arenitos e lutitos; fóssilífera (Eucoelia, etc.) (máx. de 200 m)	Fm. Rio Ivaí	
	Tobatí	Arenitos vários, por vezes silicificados (máx. de 250 m)		
Caacupé	Cerro Jhú	Arenitos finos a médios, grossos na base (máx. de 450 m)		(pré?) Siluriano Inferior a Ordoviciano
	Paraguarí	Conglomerados e arenitos arcóscios (máx. 20 m)	Fm. Rio Ivaí	

Fontes: Wiens 1984; T.A.C., 1981; Proj. Par 83/005, 1986; Cuadrícula 41, 1966; Bitschene, 1987; Zalán et al., 1991.

arenitos finos a muito finos e lutitos, em alternância rítmica. É fossilífera, com fauna típica marinha litorânea, encontrando-se *Eocoelia paraguayensis* e outros fósseis de espécie indeterminada.

A Formação Vargas Peña é constituída principalmente por lutitos micáceos, que passam transicionalmente tanto para a formação inferior como para a suprajacente. A fauna é abundante e indicativa do Llandoveryano (Siluriano Inferior), incluindo espécies diagnóticas de *Eocoelia*, *Nuculites*, *Hyalithes*, *Climacograptus* e *Diplograptus*.

A Formação Cariy mostra arenitos quartzosos e feldspáticos, finos a médios, com intercalações de arenitos micáceos finos e lutitos. O contato superior é com as formações permocarboníferas-, por meio de uma discordância erosiva. A abundante fauna indica outra vez idade do Llandoveryano, com espécies de *Lingula*, *Eocoelia*, *Nuculites*, *Calymene* e *Climacograptus*.

As rochas do Grupo Itacurubí afloram à Leste das do Grupo Caacupé. Em superfície, o contato com as formações permocarboníferas é por falha. A espessura total estimada para o Grupo é da ordem de 150 a 300 m (ver detalhes na Tabela 2.2). A maioria dos autores (*e.g.*, Harrington, 1972; Proyecto Par 83/005, 1986) consideram que o Grupo Itacurubi se depositou após o Grupo Caacupé. Godoy Ciguel (com. pessoal, 1990) atribuía, entretanto, a mesma idade aos dois grupos, considerando que representavam sedimentos depositados em ambientes diferentes.

2.2.2. Unidades permo-carboníferas

O Neopaleozóico no Paraguai Oriental está composto por várias formações sedimentares que se depositam em discordância erosiva tanto sobre as rochas dos grupos silurianos como sobre as do embasamento cristalino pré-cambriano (e.g. Proyecto Par 83/005, 1986).

O início da sedimentação é fortemente influenciado pela glaciação continental situada no extremo meridional do antigo continente de Gondwana. Desta forma a Bacia do Paraná é afetada por glaciação na sua borda W no Estefaniano, na altura do Paraguai Oriental.

As Formações Permo-Carboníferas, que se estendem de N a S no Paraguai Oriental, são divididas em Formações Coronel Oviedo e Aquidabán (T.A.C., 1981; O.E.A., 1975; Proyecto Par 83/005, 1986). A primeira aparece exposta na parte meridional e é de interesse no contexto da geologia da Folha La Colmena, enquanto que a segunda, com afloramentos mais para N, não será discutido neste trabalho.

Formação Coronel Oviedo

Originalmente esta Formação foi equiparada à Série Tubarão (Harrington, 1950; Eckel, 1959; Putzer, 1962, assim como também Formação Tubarão, Harrington, 1956, citado em Proyecto Par 83/005, 1986), e considerada "Formação Cerro Corá" no relatório dos projetos Cuadrícula 40 (1966) e Cuadrícula 41 (1966). A denominação de Formação Coronel Oviedo deve-se a T.A.C. (1981), que inclui nesse termo todas as rochas sedimentares carboníferas

a eopermianas. No Proyecto Par 83/005 (1986) é feita uma divisão, ficando o nome de Formação Coronel Oviedo para as rochas da parte meridional, enquanto que os estratos da parte Centro-Norte foram denominados de Formação Aquidabán (Figuras 2.1. e 2.2.).

Segundo o Proyecto Par 83/005 (1986), a Formação Coronel Oviedo possui uma faixa de afloramentos entre 5 a 35 km de largura, dissecados pela erosão e parcialmente cobertos por sedimentos quaternários, que se estendem até a área meridional do Alto de Caapucú, a SE de San Juan Bautista. Aflora com direção SSE-NNW, que é a direção geral das camadas Gondwânicas neste região da Bacia do Paraná, a Sul da falha denominada Jejui/ Aguaray-Guazú (Figuras 1.1 e 2.4).

A Formação Coronel Oviedo, na região da falha mencionada, está interdigitada com a Formação Aquidaban. A Sul dessa falha é coberta por formações permianas (Proyecto Par 83/005, 1986).

Diamictitos (conglomerados, freqüentemente com matriz arenosa), lutitos (pelitos), arenitos e varvitos são as rochas predominantes na Formação Coronel Oviedo, com início de sedimentação no Estefaniano (Carbonífero superior) e continuação no Permiano (T.A.C., 1981; Proyecto Par 83/005, 1986).

A figura 2.2 mostra distribuição de uma parte desta Formação na faixa centro-meridional do Paraguai Oriental. Os contatos entre as rochas silurianas e a Formação Coronel Oviedo é tectônico (*cf.* Putzer, 1962). O contato com o Grupo Independência, permiano, é provavelmente concordante.

No Vale de Acahay desconhecem-se as exposições desta Formação, que podem estar, possivelmente, cobertas por

sedimentos quaternários. As características gerais aparecem resumidas na Tabela 2.2.

Grupo Independencia

O grupo foi originalmente denominado de Série Independencia (Harrington, 1950; Eckel, 1959). Putzer (1962) o considera uma parte da Série Passa Dois, e no relatório do projeto Cuadrícula 41 (1966) são reconhecidas as formações Pañetey (basal) e Independencia, agrupados como a "Série Ybytyruzú". T.A.C. (1981) divide o Grupo Independencia em Formações San Miguel (basal), Tacuary, Tapytá e Cabacué. O Proyecto Par 83/005 (1986) considera as duas últimas as facies fluviais da Formação Misiones (Neopaleozóico a Eomesozóico), ficando como integrantes do grupo apenas as formações San Miguel e Tacuary. Bitschene (1987), finalmente, mantém para a parte basal o nome de Formação Pañetey, por ter prioridade, e propõe para a formação superior o nome de Ybytyruzú. Nesta dissertação são mantidos como sinônimos os nomes da Formação Pañetey e San Miguel para a unidade inferior do Grupo Independencia, enquanto que o nome de Formação Tacuary é aplicado para a unidade superior.

Os estratos destas formações são subhorizontais, com leve mergulho (2-3°) para o interior da Bacia do Paraná (cf. Proyecto Par 83/005, 1986).

A Tabela 2.2 resume as informações sobre o grupo.

Formação Pañetey (=San Miguel)

Na Formação Pañetey ocorrem arenitos intercalados com siltitos, arenitos siltíticos, diamictitos (conglomerados com

matriz arenosa) e lutitos. Localmente, são encontrados "cherts" oolíticos-pisolíticos, arenitos carbonáticos e calcarenitos (Cuadrícula 41, 1966; T.A.C., 1981; Proyecto Par 83/005, 1986; Bitschene, 1987).

T.A.C. (1981) refere para esta unidade uma espessura variando entre 20 a 80 m. O Proyecto Par 83/005 (1986) identifica lutitos e diamictitos que se depositaram em concordância com os sedimentos da Formação Coronel Oviedo, e salientam a existência de um contato transicional com a Formação Tacuary, superposta.

T.A.C. (1981) e Proyecto Par 83/005 (1986) propõem para esta formação uma origem a partir da deposição em ambientes deltaicos; localmente, depositaram-se arenitos carbonáticos em ambiente lacustrino ou marinho raso (T.A.C., 1981).

Os arenitos são de granulação de areia média (0,25-0,35mm), com alguns clastos maiores dispersos; a estratificação é cruzada (Proyecto Par 83/005, 1986). Em alguns afloramentos aparecem estratos de arenitos com seixos de quartzo de 40,0mm por cima de camadas de argilitos; a estratificação é plano-paralela.

Beder, em 1923 (citado em Eckel, 1959), informa sobre restos bem preservados de *Mesosaurus*, encontrados em duas pedreiras de Villarica, a Sul e a 2 km a NW da mesma cidade.

A aproximadamente 30 km à NNE de Villarica foram encontrados, em arenitos silticos superpostos por estratos com pisolitos e oolitos silicificados, restos ósseos isolados (costelas, vértebras, etc) classificados com o de Mesosaurídeos (Fátima de Oliveira, 1990, com. pessoal; observações próprias).

O relatório do projeto Cuadrícula 41 (1966) menciona na Formação Independencia (*i.e.*, Formação San Miguel) a existência de troncos fósseis do gênero *Dadoxilon* e a presença de conchas fósseis. Herbst (1979) descreve uma flora característica formada por troncos silicificados (*Guarinea cornieri*, equivalente a *Osmudites brasiliensis*, encontrado na Formação Estrada Nova no Brasil). Observações próprias permitiram reconhecer uma variada flora formada por troncos arborescentes silicificados, não identificados, coexistindo com outros atribuídos a *Psaronis* (D. Mussa e R.M. Lima, com. pessoal, 1990), na localidade de Vista Alegre (Colônia Independencia).

Uma flora muito semelhante é encontrada no Brasil na Formação Irati, à qual se atribui idade kazaniana (Permiano Superior), levando portanto à correlação dela com a Formação ^{San Miguel} Tacuary (M.R. Lima, 1990, com. pessoal).

Formação Tacuary

O relatório do Proyecto Par 83/005 (1986) indica que esta formação aflora continuamente a partir da cidade de San Estanislao (a Norte de Coronel Oviedo), a Norte, até a cidade de Yuty, a Sul (Figuras 2.1 e 2.2; Tabela 2.2) .

Está constituída por seqüência de arenitos sílticos, lutitos, arenitos finos, calcarenitos e estratos com oolitos calcários (Cuadrícula 41, 1966; T.A.C., 1981; Proyecto Par 83/005, 1986; Bistchene, 1987). A seqüência máxima exposta é de 280 m de espessura, com deposição em ambientes lacustrino-fluviais (T.A.C., 1981).

Segundo o Proyecto Par 83/005 (1986), a Formação Tacuary é

coberta concordantemente pela Formação Misiones, à qual é atribuída idade permiana superior-jurássica..

2.2.3. Unidades mesozóicas e cenozóicas

Há 130-140Ma aparecem as primeiras manifestações de crosta oceânica, no interior do Gondwana, resultado de um processo de separação da África e América do Sul com resposta nos respectivos continentes. O levantamento acentuado das bordas das bacias intracontinentais (por ex., na Bacia do Paraná) é uma delas, seguida da deposição de sedimentos clásticos, predominantemente em condições áridas a semi-áridas (por ex., a da Formação Botucatu) e o aparecimento de grandes volumes de basaltos (os da Formação Serra Geral).

A erupção de basaltos foi controlada pela formação de profundas "geoclases", possivelmente aproveitando a existência de zonas pretéritas de debilidade, hoje em parte manifestadas nas áreas que preservam significativos enxames de dique, localizados em altos estruturais de importância regional.

São também marcantes as erupções de rochas alcalinas Cretáceas e posteriores, como manifestações vulcânicas (e.g. Província do Alto Paranaíba, Ulbrich & Leonardos, 1991) e, principalmente, intrusivas. Iniciaram-se simultaneamente à aparição do vulcanismo basáltico, estendendo-se ainda até o Terciário médio e superior (como por ex., no "campo alcalino" de Asunción, Bistchene e Báez Presser, 1989) A localização destas rochas aparece concentrada na borda de crátons, situando-se de preferência ao longo de flexuras e naquelas áreas movimentadas

por tectônica distensiva de blocos (cf. Almeida, 1983; Degraff, 1985).

No Paraguai Oriental, as manifestações alcalinas mais marcantes parecem estar colocadas em "rifts" intracontinentais (Degraff, 1985; Bistchene, 1987).

Formação Misiones

A denominação deve-se a Putzer (1962), que descreve os arenitos expostos no Departamento de Misiones (Paraguai); anteriormente, eram conhecidos como os "Arenitos Misiones" (Harrington, 1950; Eckel, 1959)

A Formação Misiones, constituída por arenitos muito ricos em quartzo, mostra marcada estratificação cruzada de origem eólica, e granulação de areia média a grossa. Nas partes basais, e com interdigitação lateral com os arenitos eólicos, são reconhecidos outros de origem fluvial ("Formações Tapytá e Cabacué"), que mostrariam uma espessura surpreendente de uns 350m (Proyecto Par 83/005, 1986) portanto muito superiores as que seriam esperadas naquela região em função de estimativas citadas na literatura (ver, por ex., o correspondente mapa de isopacas em Zalán *et al.*, 1991).

No Paraguai Oriental, a distribuição de estratos desta formação segue à das outras unidades sedimentares do Gondwana, com colocação subhorizontal, adaptadas à conformação da borda da Bacia do Paraná.

No Vale de Acahay, alguns sedimentos que precedem o magmatismo alcalino foram tentativamente atribuídos ora à Formação Misiones (T.A.C., 1981), ora à Formação Patiño

(Proyecto Par 83/005, 1986).

Formação Alto Paraná

Originalmente os basaltos foram denominados de "Eruptivas Serra Geral" (Harrington, 1950) e de Formação Serra Geral (Putzer, 1962). O relatório da Cuadrícula 41 (1966) propõe a denominação de Formação Alto Paraná, incluindo nela tanto os derrames como as ocorrências intrusivas encontradas na Cordillera del Ybytyruzú e vizinhanças.

A Formação do Alto Paraná é formada por uma seqüência de rochas vulcânicas de composição basáltica toleítica e diabásios associados.

A formação é de idade Mesozóica (~130 Ma) e cobre na Bacia do Paraná mais de 1.200.000 km². Atinge os estados centrais e meridionais do Brasil, o noroeste do Uruguai, o nordeste da Argentina e o leste do Paraguai Oriental. Ali, rochas da Formação afloram por aproximadamente 24.900 km².

A Formação ocorre principalmente como uma faixa de rumo N-S, ao longo do rio Paraná, para logo desaparecer embaixo de coberturas recentes mais para Sul (Figuras 2.1 e 2.2).

No Vale de Acahay, são encontrados diques de diabásio; mais para E, há uma ocorrência de derrame em forma de cunha, que chega até a Cordillera do Ybytyruzú (ver também o mapa do Proyecto Par 83/005, 1986, que a identifica, equivocadamente, como Formação Sapucaí).

Quimicamente, os basaltos da Bacia do Paraná foram classificados em "low", "medium" e "high-Ti basalts" (respectivamente LTIB, MTIB, HTIB), com base nos conteúdos de

Ti, P e outros elementos não compatíveis (Bellieni *et al.*, 1984), distribuídos zonalmente na Bacia do Paraná (Piccirillo *et al.*, 1989).

Bitschene (1987) identifica na região da Cordillera del Ybytyruzú basaltos toleíticos e latitos associados, com teores elevados de Ti e outros elementos incompatíveis, com idades K-Ar em torno de 136 a 108 Ma.

Na borda Oriental da Bacia do Paraná são documentados inúmeros diques e enxame de diques basaltos (por ex. Fúlfaro & Petri, 1983; Piccirillo *et al.*, 1989), que cortam ora as formações sedimentares, ora as rochas do embasamento cristalino.

Os diques toleíticos encontrados na borda ocidental da Bacia do Paraná e mais especificamente no Paraguai Oriental ainda não foram estudadas com o devido detalhe.

Manifestações Alcalinas

As ocorrências de rochas alcalinas, no Alto de Caapucú, são atribuídas a pelo menos dois, e possivelmente três, grupos diferentes de rochas, tanto cronológica como petrograficamente. Serão discutidos, com mais detalhe, no item 2.3., dedicado ao magmatismo alcalino no Paraguai Oriental.

Formação Patiño

As rochas constituintes desta Formação preenchem o "rift" de Asunción, principalmente o seu segmento NW, mas também são encontradas na porção E-W desta estrutura, como mostrado pelo mapa do Proyecto Par 83/005 (1986). A formação foi anteriormente chamada de "Misiones" (por ex., T.A.C., 1981) e "Asunción"

(relatório da Cuadrícula 40, 1966) e é agora denominada de Patiño, por sugestão do relatório do Proyecto Par 83/005 (1986).

Predominam na formação conglomerados na parte inferior, e arenitos (todos pouco consolidados) no topo. Os seixos são um mostruário completo das rochas existentes na região; são encontrados fragmentos de rochas das formações Silurianas, junto com clastos de arenitos silicificados da Formação Misiones e de rochas alcalinas intrusivas. A idade mínima proposta, pelo menos para as camadas basais é Cretáceo superior, com a deposição culminando no Terciário inferior (*cf.* Tabela 2.2), como definido no segmento NW do "rift" de Asunción, onde a Formação Patiño aparece invadida pelas rochas alcalinas da Formação terciária Nemby (Paleoceno-Oligoceno).

No Vale Acahay, segmento médio E-W do "rift", as rochas alcalinas da Formação Sapucaí (Proyecto Par 83/005, 1986) de aproximadamente 130 Ma, estão encaixadas em rochas do Grupo Caacupé (*cf.* relatórios da Cuadrícula 40, 1966 e Cuadrícula 41, 1966) e da Formação Misiones (*cf.* T.A.C., 1981). Neste vale, portanto, não foram observadas intrusões desta suite alcalina nos equivalente estratigráficos da Formação Patiño.

Depósitos Recentes

Depósitos terrestres, lacustrinos, fluviais, eólicos e de origem orgânica, encontrados principalmente nas áreas alagadas de terrenos baixos, são tidos pela maioria dos autores como depósitos do Quaternário (*cf.* T.A.C., 1981; Proyecto Par 83/005, 1986).

Sedimentos arenosos e argilosos, alguns deles considerados "pozolanas" por pessoal técnico ligado a empresas de mineração de calcários, cobrem os terrenos baixos do vale de Acahay. Foram recentemente estudados por Zarza (1991).

2.3. MAGMATISMO ALCALINO NO PARAGUAI ORIENTAL

São de longa data conhecidas as rochas alcalinas do Paraguai Oriental. Vários autores chamaram a atenção para elas, identificando-as e descrevendo-as, como assinalado em trabalhos anteriores (veja-se, por ex., referências em Putzer, 1962). A esta primeira etapa, com descrição esporádica destes litotipos, segue-se uma segunda, na qual aparecem trabalhos preliminares de reconhecimento, tais como os de Comte & Hasui (1971) e Palmieri & Arribas (1975), dedicados a estudos de áreas específicas. As primeiras datações radiométricas destas rochas são também desta época (ver compilação de idades e bibliografia, em Sonoki e Garda, 1988).

Sínteses regionais, tais como a de Ulbrich & Gomes (1981) e Almeida (1983), resumem os dados até então conhecidos e os colocam em parte no contexto de interpretações preliminares tectônicas.

A etapa de estudos mais recentes, de trabalhos sistemáticos especificamente dedicados às rochas alcalinas, enfatiza os aspectos petrológicos e mineralógicos. Citam-se aí várias teses e dissertações, tais como as de Bitschene (1987), Livieres (1987) e, mais recentemente, Velázquez (1992).

Periodicamente, aparecem novos trabalhos de síntese e de interpretação, tais como os de Livieres & Quade (1987) e Bitschene *et al.* (1985, 1986).

Estudos de detalhe, abrangendo geralmente várias ocorrências de rochas alcalinas encontradas no "rift" Asunción, são apresentados em Bitschene & Báez Presser (1989), Comin-Chiaramonti *et al.* (1991) e Báez Presser (1991).

As ocorrências alcalinas do Paraguai Oriental concentram-se principalmente em duas áreas geográficas, à Norte no Alto do Rio Apa e zonas vizinhas do Brasil, e à Sul, no Alto de Caapucú (Figura 2.4). Tradicionalmente, são descritas como "Províncias Alcalinas", conforme critérios corriqueiramente expostos na literatura.

Define-se geralmente como província ígnea uma região com concentração de rochas associadas (critério geográfico), que se supõe estreitamente relacionadas entre si por processos genéticos (critério petrológico) e cujas idades são em geral similares (critério geocronológico). Como corolário, é suposto que essas ocorrências geram-se por controles geotectônicos comuns, atuantes naquela área.

São várias as denominações já propostas para as províncias alcalinas paraguaias. Ulbrich & Gomes (1981) as consideram parte da província brasileira de Mato Grosso, aí incluindo as que se localizam no Alto do Rio Apa. Almeida (1983) as agrupa em duas províncias, a do Norte (no Alto do Rio Apa) e a Central (situada no Alto de Caapucú). As ocorrências da parte central, localizadas principalmente no "rift" de Asunción, são objeto de estudo por parte de Bitschene e associados. As de idade



Figura 2-4. Ocorrências de rochas alcalinas no Paraguai Oriental. Legenda. I: - Província Central, com as subprovíncias de Asunción (1), Guairá-Paraguarí (2) e Misiones (3); II: - Província Norte, com as subprovíncias Mato Grosso (1), Rio Apa (2) e Amambay (3). Alguns elementos estruturais são indicados, como mostrados no texto do Projecto Par 83/005 (1986).

terciária encontradas no segmento leste do "rift" e que incluem a região de Asunción, são consideradas como parte integrante da província alcalina de Asunción ("Asunción alkaline province", AAP; ver Bitschene *et al.*, 1985), enquanto que as rochas localizadas no segmento central do mesmo "rift", com idade Mesozóica, são as da "Província alcalina Guairá-Paraguarí" (Bitschene *et al.*, 1986). Na compilação de Livieres & Quade (1987) são propostos os nomes de "Província do Alto Paraguay" para as ocorrências do Alto do Rio Apa, de "Província de Amambay" para os corpos encontrados à Leste da primeira, e de "Província Central" para as ocorrências mais a Sul, predominantemente localizadas no "rift" de Asunción e áreas vizinhas do Alto de Caapucú. Recentemente, Gomes Duarte (1990) informa sobre rochas vulcânicas alcalinas (da família dos basanitos), que ocorrem no Departamento de Misiones, na parte meridional do Alto de Caapucú, à Sul do "rift" de Asunción, as quais adicionam-se ainda outras de idade aparentemente Mesozóica, previamente mencionadas nesta região (*cf.* T.A.C., 1981).

As propostas de vários autores, citadas no item anterior, podem ser agora avaliadas para realizar agrupamentos mais definitivos.

O critério geográfico identifica apenas duas áreas com variedade de ocorrências alcalinas, uma à Norte, a outra à Sul, para as quais são propostas as denominações de "Província Norte" e "Província Central", conforme já salientado por Almeida (1983).

Esta rápida divisão geográfica, entretanto, não deve

ocultar as diversidades existentes em ambas as províncias, que são tanto de ordem petrográfica e química como estratigráfica, possivelmente controladas por variações locais ainda desconhecidas do contexto estrutural.

As diversidades existentes em cada província podem ser salientadas apelando-se para a definição de subprovíncias. A seguir, são indicadas as características dessas subprovíncias, em função de conhecimentos por ora divulgados.

2.3.1. Província Central

Compreende todas as ocorrências alcalinas encontradas no Paraguai Sul-Oriental, ocupando parte do Alto de Caapucú, em paralelo à proposta anterior de Almeida (1983).

Dividem-se essas ocorrências em três subprovíncias: **Asunción, Guairá-Paraguarí e Misiones**. As duas primeiras estão situadas no "rift" de Asunción (segmento ocidental e central, respectivamente), enquanto que a última se manifesta mais para Sul.

Subprovíncia de Asunción

O nome, já proposto anteriormente (Bitschene *et al.* 1985), refere-se às ocorrências de idade Terciária (Paleoceno a Oligoceno, ver Bitschene, 1987), que ocupam o segmento de direção NW-SE do "rift" de Asunción, na parte W da estrutura (Figura 2.4).

As rochas predominantes, com marcada tendência sódica, são nefelinitos (Bitschene, 1987; Bitschene & Báez Presser, 1989;

Comin-Chiaramonti *et al.*, 1991) e um raro fonolito (Bitschene, 1987; Bitschene & Báez Presser, 1989), que aparecem como pequenos "plugs", com diâmetros raramente superiores ao km (por ex., Cerro Nemby).

As ocorrências mais conhecidas são as do Cerro Lambaré, Cerro Tacumbú, Cerro Nemby, Barcequillo, Tablada Nueva, Jardín Botánico, Limpio, Ycúa-Boní, Cerro Patiño, Puente Remanso, Cerro Confuso, Cerro Verde (ver também relação citada em Velázquez, 1992).

Quimicamente, as rochas mostram enriquecimento em Na, em elementos traços incompatíveis tipo LIL e HFS, e em terras raras, com baixas razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0,7036-0,7039) (Bitschene, 1987; Bitschene & Báez Presser, 1989; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1991).

Estas características são similares às encontradas em rochas ígneas alcalinas de "intraplaca" continental (*cf.* Sørensen, 1974; Fitton & Upton, 1987), com derivação por fusão do manto astenosférico (Nixon, 1987; Menzies & Hawkesworth, 1987).

O relatório do Proyecto Par 83/005 (1986) identifica estas rochas terciárias com o nome de "Formação Nemby", como proposto por Palmieri & Velázquez (1982).

Subprovincia de Guairá-Paraguarí

A denominação, encontrada em Bitschene *et al.* (1986), identifica o conjunto de ocorrências encontradas no segmento E-W, central, do "rift" de Asunción, e ainda alguns corpos situados em área vizinhas do Alto de Caapucú.

Aparecem estas rochas como corpos intrusivos menores

(enxames de diques pouco espessos, ~1-50 m, de direção geral predominante SE-NW, "plugs", pequenas bossas com dimensões de até 1 km, junto com alguns corpos maiores, em parte zonados (por ex., Cerro Acahay) e como manifestações vulcânicas (mantos de lava e de brechas, e "pipes" menores).

É muito grande a variedade petrográfica. São encontrados "basaltos" alcalinos, rochas com leucita, "lamproitos", vários tipos de lamprófiros (por ex., cálcio-alcalinos), fonolitos, traquitos, ijolitos, nefelina sienitos, sienitos, shonkinitos, "gabros" alcalinos (ver relação em Putzer & Van Der Boom, 1962; Putzer, 1962; Eckel, 1959; Palmieri & Arribas, 1975; Bitschene, 1987; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1990; Báez Presser, 1991 e 1992; Velázquez, 1992). As idades radiométricas apontam para uma colocação em torno de 130 Ma (ver dados em Comte & Hasui, 1971, Palmieri & Arribas, 1975; Bitschene, 1987; Velázquez, 1992).

As ocorrências de maior expressão são encontradas na Cordillera de Ybytyzurú (enxame de diques de rumo geral SE-NW), Cerro Capiintindy e Aguapety-porton (com "plug" shonkinítico e alguns diques de mineta), Mbocayaty ("plug" shonkinítico, dique de brecha "lamproítica", diques de mineta), Sapucaí (mantos de lavas de "basaltos" alcalinos, diques de vários tipos de lamprófiros, "plugs" de fonolitos, diques de traquitos, "plug" semi-anelar de "gabro" alcalino), Soto-rugúa (dique de "gabro" alcalino, dique de mineta), Abra-í (=Arrua-í) ("plugs" de "gabro" alcalino e "intrusões" de sienitos), Cerro Acahay (mantos de traquibasaltos, "plug" anelar de "gabro" alcalino, diques de sienitos). Outras ocorrências menos conhecidas são as de Cerro Yarigua-á, Cerro Giménez, Cerro Portefño, Itapé, Cerro

L. Vega, Cerro Quiindy. Recentemente, foram incorporadas outras ocorrências, tais como Nande Yara Gracia, Dú 1 e Dú 2, Kristo, Carlitos del 8, Don Eladio 1 e Don Eladio 2, Yby (tidas como de natureza "lamproítica"; Báez Presser, 1992 e dados não publicados, ver texto desta dissertação). Adicionam-se a estas as de Cañada 1, Cañada 2 e Cañada 3, Cerro San José, Cerro Medina, Cerro Doña Lili, Potrero Ybaté, Cerro Chobi e a porção SW do enxame de diques Ybytymí (ver texto desta dissertação; também Velázquez, 1992).

Quimicamente, destacam-se estas rochas por apresentarem tendências potássicas, por vezes com enriquecimento muito marcado nesse elemento e ainda com elevados valores de elementos LIL (sobre os com HFS) e de TR leves sobre as pesadas, mostrando as razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relativamente elevadas (0,7069-0,7077) (ver Palmieri & Arribas, 1971; Bitschene, 1987; Báez Presser, 1991, 1992; Velázquez, 1992; e a compilação de Livieres & Quade, 1987).

Palmieri & Velázquez (1982) propõem para as rochas alcalinas de idade Mesozóica o nome de "Formação Sapucaí", incluindo tanto as manifestações plutônicas como as vulcânicas, proposta também utilizada no relatório do Proyecto Par 83/005 (1986).

Subprovíncia de Misiones

As ocorrências aqui agrupadas são encontradas no Alto de Caapucú, à sul do "rift" de Asunción, no Departamento paraguaio de Misiones.

São incluídas as rochas da ocorrência San Benito, de

aparente idade Terciária, (basanitos, segundo Gomes Duarte, 1990), e as ocorrências de San Juan Bautista ("plugs" fonolíticos, à SW da cidade citada, supostamente de idade Mesozóica, 147 Ma: Degraff, dados não publicados; D. Orué, com. pessoal, 1985). Foram encontrados ainda alguns pequenos corpos de rochas alcalinas (?) atribuídas ao Pré-Cambriano (Arcángel 1, Arcángel 2 e Ramos, este último correntemente considerado como "mármore" - e não "carbonatito" ; observações pessoais e Wiens, com. pessoal, 1992), afetados por metamorfismo incipiente e que são, em parte, cortados por granitóides brasileiros. Aparecem estes corpos localizados aparentemente ao longo de lineamentos SW-NE.

2.3.2. Província Norte

As ocorrências localizadas nesta província (com nome inicialmente proposto por Almeida, 1983) são em geral pouco conhecidas, e as relações com estruturas ("rifts"?, altos estruturais ?, falhas profundas?) ainda não foram estudadas.

A concentração deles em determinadas áreas geográficas, bem como diversidades petrográficas permite subdivisão em três subprovíncias: **Amambay, Rio Apá e Mato Grosso** (Figura 2.4).

Subprovíncia de Amambay

Compreende as ocorrências no Departamento de Amambay, no qual são encontrados vários corpos, a maioria ainda não catalogados, todos situados nos Altos de Ponta Porã e Capitán Bado (Livieres, 1987).

Algumas ocorrências maiores, já estudadas em maior detalhe, são corpos zonados mostrando com variedade de tipos petrográficos (por ex., Chiriguelo, Sarambí, Cerro Guazú), por vezes acompanhados por diques de carbonatito (Livieres, 1987; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1990; Wiens, 1990).

Estes maciços são de idade Mesozóica. Os dados radiométricos apontam para erupção no intervalo 130-140 Ma (Comte & Hasui, 1971; Livieres, 1987; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1990).

Quimicamente, destacam-se estas rochas por tendências potássicas, por vezes com visível predomínio do K sobre o Na (por ex., nas rochas silicáticas presentes no carbonatito de Chiriguelo, *cf.* Livieres, 1987; Comin-Chiaramonti *et al.*, 1990). É também marcado o enriquecimento dos elementos LIL sobre os HFS e o das TR leves sobre as TR pesadas.

Subprovincia do Rio Apa

Corpos menores, aparecendo principalmente como "plugs" e alguns diques, são encontrados nesta região, cortando as rochas do embasamento (*cf.* Wiens, 1986) e as rochas sedimentares do Grupo Itapucumí (A. Báez, com. pessoal, 1989), supostamente canalizadas através de falhas profundas ou sistemas de "rift" (Wiens, 1986).

As descrições petrográficas (Putzer & Van Der Boom, 1962, e observações pessoais) são escassas, identificando-se apenas rochas com tendências potássicas. Tentativamente, atribui-se idade Mesozóica (ver também comentários em Wiens, 1986) a este magmatismo alcalino por analogia com rochas em outras

subprovíncias.

As ocorrências conhecidas são as de San Carlos (fonolito), Santa Maria (basalto nefelínico), Centurión (fonolito, sienito), Buena Vista (fonolito), Valle-mi (mineta, diabásio alcalino, lamprófiro ultramáfico ?) (Putzer & Van Der Boom, 1962; Wiens, 1986; Livieres & Quade, 1987).

Subprovíncia de Mato Grosso

Incluem-se nesta subprovíncia as ocorrências alcalinas da região NW do Paraguai Ocidental e as encontradas no SW do Estado de Mato Grosso do Sul (Brasil).

Predominam corpos menores (bossas e "plugs", diques, etc.) constituídos por fonolitos e rochas sienitóides.

As ocorrências mais conhecidas são as de Fuerte Olimpo (pórfiro), e Puerto Guaraní ("foiaito", sienito alcalino, nefelina sienito) (Putzer & Van Der Boom, 1962; Putzer, 1962; Wiens, 1986; Livieres, 1987; Livieres & Quade, 1987).

As idades conhecidas (>200 Ma para algumas amostras, Comte & Hasui, 1971; cf. discussão em Ulbrich & Gomes, 1980; Ulbrich *et al.*, 1991) sugerem que se trata de rochas mais antigas, que não se encaixam no padrão geocronológico observado para as outras ocorrências alcalinas da Bacia do Paraná.

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA DA FOLHA LA COLMENA

A Folha La Colmena, do Instituto Geográfico Militar (Paraguai), é parte integrante do sistema de quadriculas topográficas paraguaias em escala 1:50.000.

A folha está limitada pelos meridianos 57°00' - 56°45' W e pelos paralelos 25°45' - 26°00' S. Foi levantada inicialmente em 1965, com atualização recente (1988), e incorpora praticamente todas as rodovias e de cultura humana hoje existentes. Cobre aproximadamente 700 km², com extensão de 27,5 km no sentido N-S e largura de 25 Km.

A seguir, são indicadas algumas das características topográficas e climáticas da Folha, e são identificadas as unidades fisiográficas, utilizadas como base para a descrição da geologia local. São descritas, mais adiante, as várias unidades mapeáveis encontradas. As descrições petrográficas são encontradas no Capítulo 4. Estrutura e história geológica são discutidas no Capítulo 5.

3.1. CLIMA, VEGETAÇÃO E TOPOGRAFIA

Existem apenas duas vilas mais importantes na Folha. A primeira é a cidade de La Colmena, situada aproximadamente no centro da Folha, perto de 10.000 habitantes. Ybytymí é a segunda, situada no extremo NE da Folha, com população em torno do milhar

de pessoas.

O clima é variado, com verões úmidos e quentes ($20-35^{\circ}\text{C}$), nos meses de outubro e janeiro até maio, e com invernos geralmente secos e temporadas mais frias ($0-18^{\circ}\text{C}$).

A parte meridional da Folha é ocupada pela Serrania de Cordillerita, constituindo um alto de topografia irregular (cota máxima de 513 m), que se estende ainda mais para S como também para E. A Serrania é separada da parte N da Folha, que constitui o Vale de Acahay, por uma marcada escarpa (Fotos 1 e 2). O Vale de Acahay, por sua vez, mostra topografia pouco movimentada, com cotas entre 120-200m, interrompida no canto NE pelas Serrania de Ybytymí, com percurso geral SE-NW. No extremo NW da Folha aparecem também morros de contorno irregulares. Na região de Chauria, na parte centro-ocidental, são encontradas algumas elevações moderadas.

A vegetação primitiva (bosques de características subtropicais) só aparece conservada em algumas regiões de maior altitude, nas Serranias de Ybytymí e de Cordillerita. Quase toda a região é agora ocupada por campos de pastagens, interrompidos por campos de cultivo nos lugares mais férteis, tanto nas encostas e altos das Serranias como no Vale de Acahay.

3.2. UNIDADES FISIOGRAFICAS

Foram identificadas várias unidades fisiográficas, na Folha La Colmena, chamadas aqui de "blocos", cada uma delas com feições topográficas e geológicas e com limites definidos por falhas



Fotografia 1. Vista panorâmica, em arco de círculo, da parte leste da Folha La Colmena, mostrando a Serrania de Ybytymí (à esquerda, em segundo plano) e a Serrania de Cordillerrita (à direita). Local de observação: 3 km a S da localidade de La Colmena. A seta identifica o cerro Chobí (em segundo plano).



Fotografia 2. Vista panorâmica da parte NE da Folha La Colmena, com as elevações da Serrania de Ybytymí. Notar a continuidade da estrutura, sustentada pelo enxame de diques, apenas interrompida, para W (esquerda da foto), perto do "complexo" alcalino de Sapucaí (identificado pelo ponto). A seta localiza o cerro Chobí.

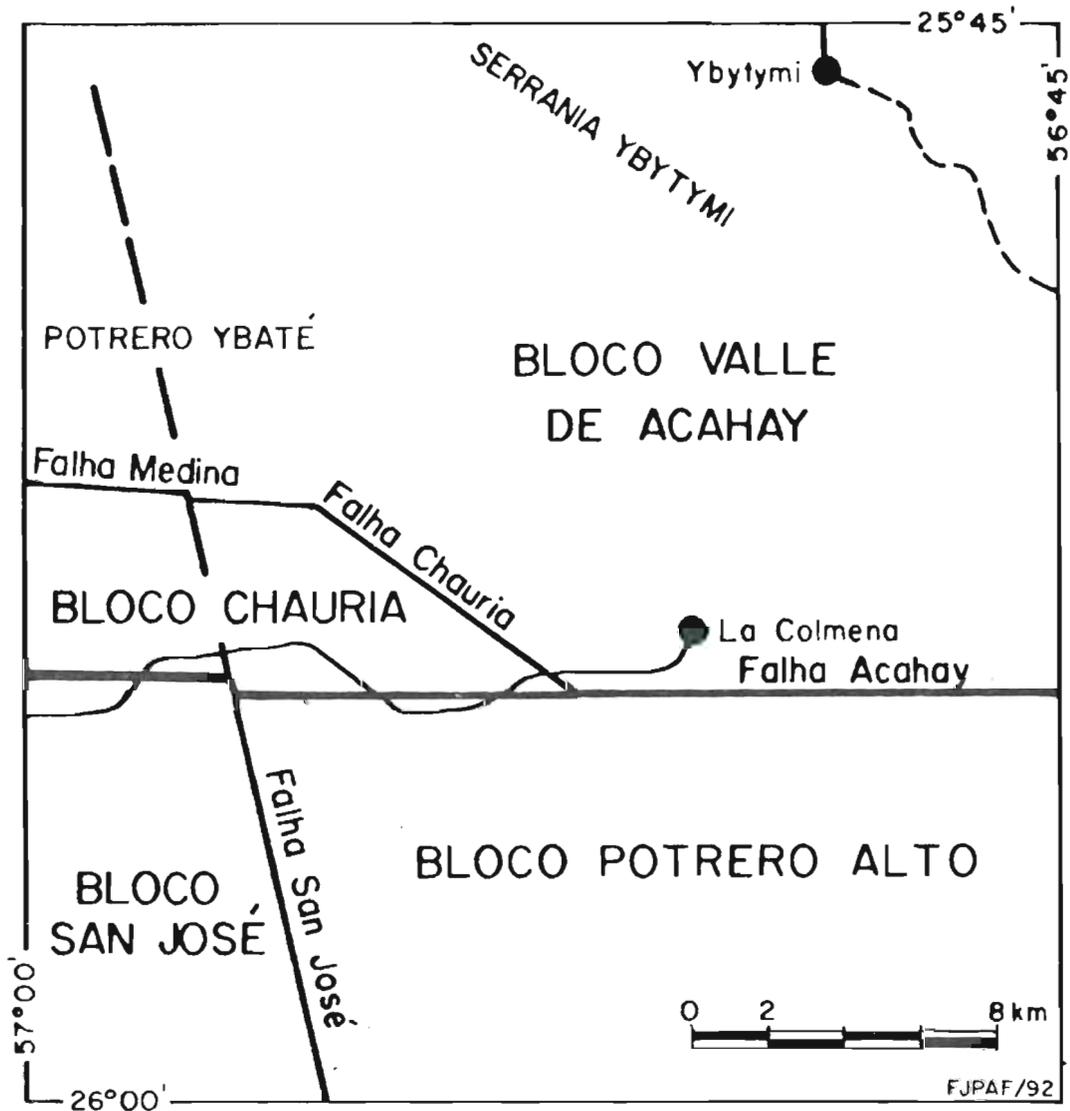


Figura 3-1 Os blocos identificados na Folha La Colmena, com indicação das falhas que os limitam. Para toponímia, ver também Figura 1-3.

(Figura 3.1; para toponímia, ver também Figura 1.3).

O **Bloco Potrero Alto** aparece a S, constituído pela Serrania de Cordillerita. A topografia é acidentada (cota máxima de 513m), mostrando várias elevações mais marcadas e cristas topográficas de percurso retilíneo; a N, limita-se o bloco com o Vale de Acahay por meio de marcada escarpa.

O **Bloco San José** aparece como porção menor, a W do bloco anterior, mas com elevações menores, com exceção do morro San José (559m).

O **Bloco Chauria** ocupa a parte centro-ocidental da Folha. é limitado a S pelos Blocos Potrero Alto e San José; no resto do seu perímetro, de forma trapezoidal, é limitado pelo Vale de Acahay. Ocorrem neste bloco algumas elevações moderadas.

O **Bloco Vale de Acahay**, ocupando a metade N da Folha, é zona topograficamente deprimida. No seu interior é encontrada para NE a alongada forma da Serrania de Ybytymí (Foto 1), enquanto que para NW, no Potrero Ybaté e adjacências, ocorrem alguns morros de contornos irregulares.

Nos blocos Potrero Alto, San José e Chauria afloram predominantemente rochas sedimentares pertencentes ao Grupo Caacupé, com algumas manifestações de rochas ígneas intrusivas (diabásios da Formação Alto Paraná e rochas alcalinas). No Bloco Vale de Acahay, pelo contrário, são encontradas rochas sedimentares de idade posterior, junto com abundante material coluvial (em parte litificado). As áreas mais baixas, em geral pantanosas, são cobertas por alúvio recente. Neste bloco são encontradas a maioria das manifestações ígneas alcalinas (geralmente intrusivas, mas em parte também efusivas).

3.3. AS UNIDADES MAPEÁVEIS

Neste item são descritas, bloco por bloco, as unidades mapeáveis. Descrições petrográficas de maior detalhe são apresentadas no Capítulo 4. As observações geológicas aparecem lançadas no mapa geológico da Folha La Colmena (Anexo A, no encarte).

3.3.1. O Bloco Potrero Alto

Ocorrem neste bloco alguns afloramentos do embasamento cristalino (Grupo Caapucú), sobre o qual se depositaram diretamente os sedimentos do Grupo Caacupé, por sua vez cortados pelos diques básicos da Formação Alto Paraná.

Grupo Caapucú

As rochas atribuídas ao **Grupo Caapucú** são granitos róseos, algo alterados, junto com alguns riolitos frescos, vermelhos a róseos, algo metamorfoseados.

Os granitos ocorrem como rochas de exposição contínua, mas limitada, cobertos em parte por solo e vegetação. Os riolitos, por outro lado, são encontrados unicamente como matacões arredondados esferoidais, espalhados nos afloramentos dos granitos. Não foi observada qualquer relação de contato entre ambas as rochas.

Na vizinhança da cidade de Villa Florida (ver localização

nas Figuras 1.2 e 2.1), em afloramento de rochas similares as aqui descritas, os granitos são intrusivos nos riolitos (observações próprias).

As exposições do Grupo Caapucú, na Folha La Colmena, ocorrem unicamente ao pé da escarpa topográfica da Serrania de Cordillerita (a 2km a S da cidade de La Colmena e nas bases dos Cerros Apyraguá e Achon) e a leste da Falha San José (por ex., no local denominado Compañia Boquerón).

Grupo Caacupé

As rochas deste Grupo, constituído pelas formações Paraguarí, Cerro Jhú e Tobatí, são encontradas com boas exposições no Bloco Potrero Alto. O seu reconhecimento e descrição foram realizados mediante a confecção de uma série de perfis de controle estratigráfico (ver localização na Figura 3.2), nos quais também foi identificado o limite entre as Formações Cerro Jhú e Tobatí, com erro da ordem de 30 m. Os perfis observados para este Grupo no Bloco Potrero Alto são reproduzidos na Figura 3.3.

A Formação Paraguarí, reconhecida como base do Grupo (Harrington, 1972) aparece apenas na escarpa N do Cerro Achón como estrato maciço de uns 20 m de espessura. A rocha é um conglomerado grosseiro de cor bege ocre com seixos, frequentes, de até 30 cm, constituídos por quartzo de veios e quartzito. No mapa de T.A.C. (1981) e no mapa geológico do Paraguai (Proyecto Par 83/005, 1986) são mostradas exposições contínuas destes conglomerados, a ambos lados do rift de Asunción.

A Formação Cerro Jhú; superposta, é constituída por arenitos

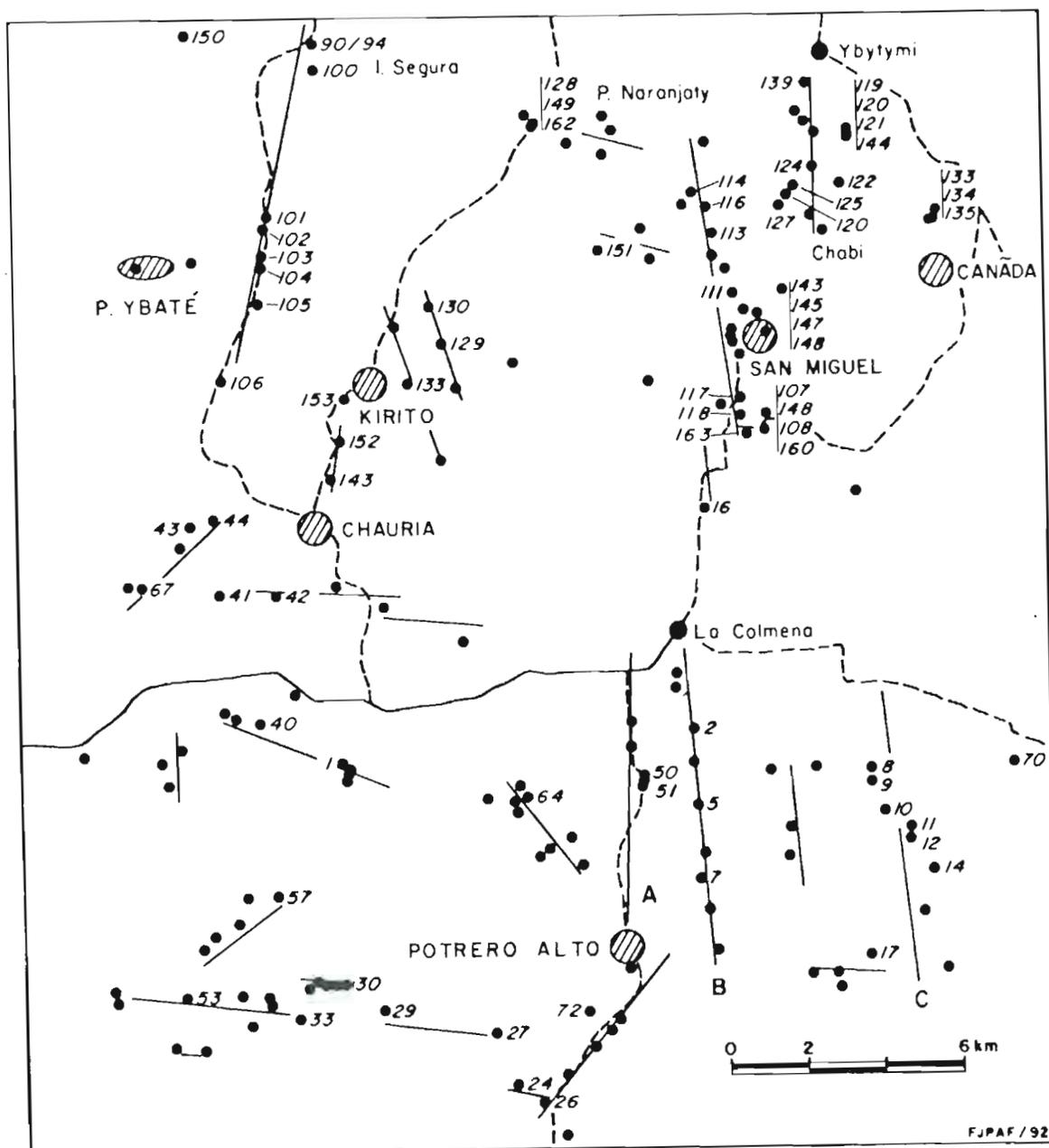


Figura 3-2. Mapa de localização de pontos e amostras (identificadas pelos números) das rochas sedimentares na Folha La Colmena. As linhas retas definem os varios perfis que são referidos no texto e nas figuras 3-3 (A, B e C) e 3-4 (Isla Segura, Potrero Naranjaty, Kirito, San Miguel e Chobí).

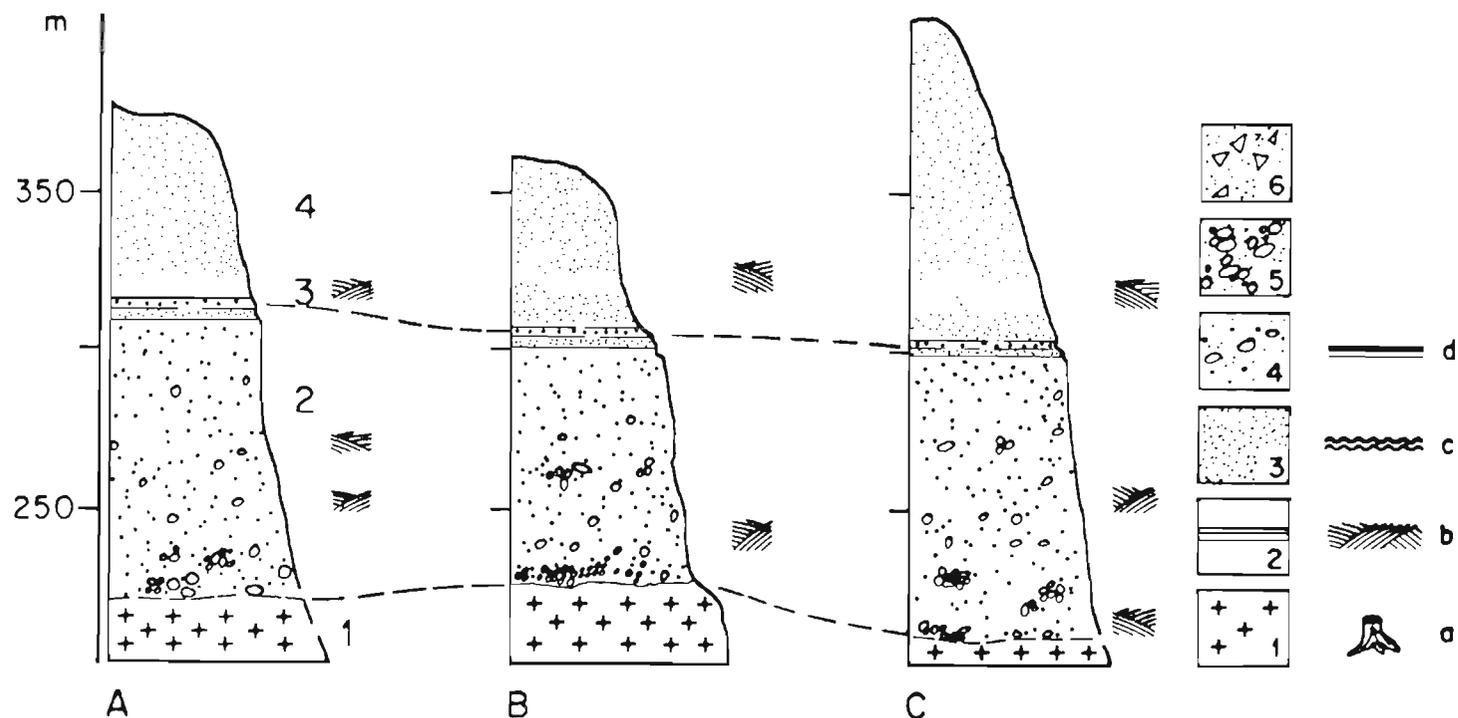


Figura 3-3. Perfis colunares das rochas sedimentares do Grupo Caacupé na Serra-nia de Cordillerita. Para localização dos perfis A, B e C, ver figu-ra 3-2. A parte basal, por sobre o embasamento (número 1), mostra os conglomerados descontínuos da Formação Paraguairí; os arenitos da For-mação Cerro Jhú (número 2) estão por cima. Assinala-se o nível de a-renito mais grosso a conglomerático (número 3) que separa Cerro Jhú da Formação Tobatí (número 4). Legenda à direita. 1: Embasamento; 2: Lutitos (argilitos, em parte sílticos, ou siltitos algo laminados) com estratificação plano-paralela; 3: Arenitos; 4: Arenitos conglome-ráticos; 6: Arenitos ou pelitos com "clay galls"; a: Troncos vege-tais fósseis; b: Estratificação cruzada; c: Marcas de onda; d: Estru-tura laminada ou estratificada, plano-paralela. Ver também Fig. 3-4.

granulometricamente heterogêneos, geralmente médios a grossos (esbranquiçados, amarelados, ocres a beges, avermelhados). Predominam os grãos de quartzo, caracteristicamente arredondados. Intercalados com os arenitos ocorrem freqüentemente lentes de conglomerados (1-2 m de extensão por 20-40 cm de espessura), com grânulos e seixos de quartzo (4-8 cm), em matriz de arenito quartzoso. Algumas feições típicas destes arenitos são a ocorrência de manchas escuras, avermelhadas ou pretas (óxidos de Fe e Mn), em arenitos de cores claras (esbranquiçadas ou ocres) e a presença de níveis esporádicos de arenitos de cor roxa, tingidos por óxidos. São também observados, raramente, clastos de argilito.

Os estratos são em geral maciços. Alguns deles, de até 2 m de espessura, mostram estratificação plano-paralela fina a muito grossa que pode ficar restrita apenas a alguns níveis. Algumas camadas apresentam estratificação cruzada muito bem desenvolvida.

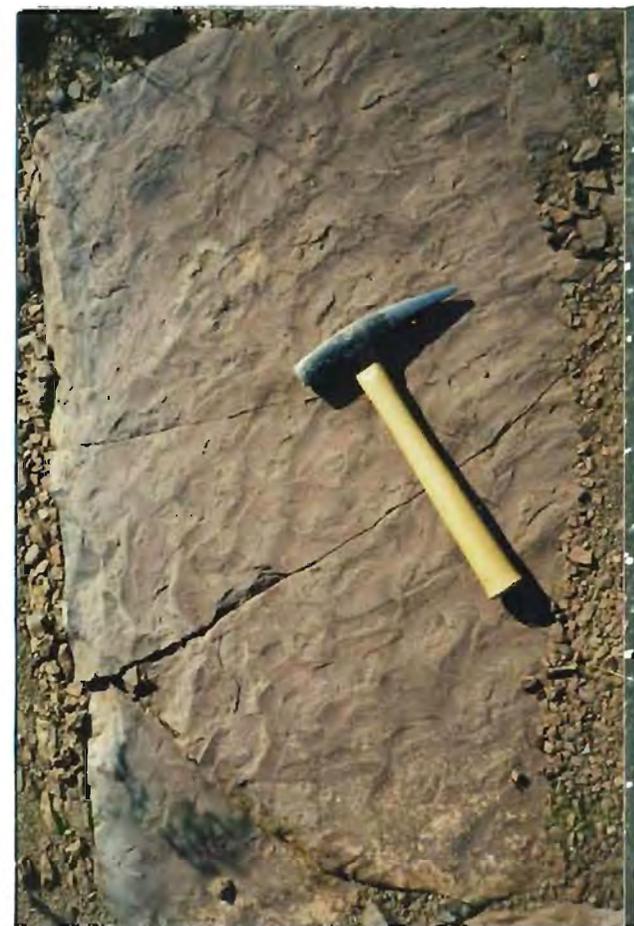
Tubos verticais atribuídos a *Skolithos* (conferidos por Godoy Ciguel, com. pessoal, 1990; Foto 3) ocorrem no local chamado Compañia Boquerón (limite W do Bloco Potrero Alto, Figura 1.3), nos 30 m basais destes arenitos, com presença adicional de fósseis provavelmente marinhos (Godoy Ciguel, com. pessoal, 1990). Estas feições são possivelmente os correlatos do tubos verticais de *Skolithos* descritos em Ciguel *et al.* (1987) no Grupo Itacurubí. Uma amostra do arenito da Formação Cerro Jhú, coletada por P.R. Bitschene numa das pedreiras encontradas perto da cidade de Paraguari, foi examinada pelo autor desta dissertação, mostrando marcas de corrente bioturbadas, possivelmente também pela ação de *Skolithos*.



Fotografia 3. Arenito da Formação Cerro Jhú, a leste do cerro San José (Cia. Boquerón). Observar os tubos verticais de Skolithos, encontrados na base da Formação. Ver discussão no texto.



Fotografia 4. Unidade basal (U1) dos depósitos clásticos da Serrania de Ybytymí, atribuídos à Formação San Miguel. São mostrados os níveis com lamitos, arenitos muito finos e argilitos (cores escuras), alternando com arenitos mais grossos (amarelados). A NW de Isla Segura.



Fotografia 5. Unidade basal (U1) da Serrania de Ybytymí, com presença de marcas de ondas em arenitos muito finos. Afloramento à N do cerro Chobí.

Os arenitos tornam-se granulometricamente mais homogêneos para o topo, passando por interdigitação, num intervalo de aproximadamente 30 m, para a Formação Tobatí. Nesta parte transicional aparece, em vários locais, uma camada de alguns centímetros que contém grânulos e pequenos seixos arredondados de quartzo (~4mm), sustentados por uma matriz de arenito com as feições típicas dos arenitos da Formação Tobatí (ou seja, de clastos mais angulosos e de aspecto sacaroidal). Esta camada é aqui considerada "limitrofe", fazendo de horizonte-guia para marcar o início da Formação Tobatí.

A espessura medida para a Formação Cerro Jhú no Bloco Potrero Alto é de aproximadamente 250m. Na localidade tipo, a 50 km para NW (flanco NW de Cerro Jhú, Figura 2.3), estima Harrington (1972) espessuras de 450 a 500 m, verificando-se portanto acunhamento marcado no sentido do Bloco Potrero Alto.

A Formação Tobatí é constituída, principalmente no seu topo, por arenitos médios e melhor selecionados, esbranquiçados ou, mais raramente, de cor bege, amarela ou vermelha clara. Os grãos de quartzo são caracteristicamente angulosos; raramente, aparecem subarredondados. Estas feições conferem aos arenitos típico aspecto sacaróide. São também, em geral, menos compactos que os equivalentes da Formação sotoposta, embora sejam encontrados níveis com boa compactação.

Os estratos submétricos, maciços ou com estratificação plano-paralela, predominam na base transicional para a Formação Cerro Jhú e nos primeiros metros basais da Formação Tobatí. Posteriormente, passa-se para camadas maciças métricas, reconhecendo-se na primeira dezena de metros a presença de

estratificação cruzada.

Os melhores afloramentos desta Formação são encontrados na parte SW do Bloco. Em outras regiões, ocorrem como afloramentos isolados e remanescentes de erosão (por ex., nos morros à W).

A Formação Tobatí, no Bloco Potrero Alto, mostra perto de 200 m de espessura, semelhante à estimada por Harrington (1972) na localidade tipo (perto da cidade de Tobatí, Figura 2.3) a 80 km a NW, que é da ordem de 200 a 250 m (Degraff *et al.*, 1981).

As observações de campo mostram que as camadas do Grupo Caacupé são subhorizontais. Os dados de controle estratigráfico, por outra parte, permitem identificar um pequeno mergulho regional de uns 10 m para cada km, para E-SE, equivalente a 3-3,5°. Estas observações, junto com a silicificação, de aparição local em arenitos deste grupo, parece estar controlada pela presença de falhas de pequeno rejeito vertical e de fraturas, de direção predominante E-W. Ao longo de duas falhas de direção aproximada NW aparecem faixas de largura métrica de arenitos brechados, misturados com outros materiais líticos (seixos de quartzo e de arenitos), como observado a S e N da Companhia Potrero Alto.

Diques de diabásio, pertencentes a Formação Alto Paraná, cortam as unidades descritas. Os diques, com largura aproximada de poucos metros, geralmente aparecem como associação de blocos alinhados e não como afloramentos contínuos. Dois tipos diferentes foram reconhecidos no campo. Um deles é de cor preta e granulação média a algo grossa, e o outro é de cor esbranquiçada a cinza, com granulação fina a média. Estes diques ocorrem como enxame, denominado de "enxame de diques Potrero" (Baez Presser,

1992) exposto principalmente em duas áreas.

Uma delas aparece na parte centro-oeste deste bloco, com direções N-S e E-W. A outra, na parte central mostra diques com direções NW-SE. Os diques se continuam para S, e parecem estar estreitamente relacionados com a falha San José, de direção N-S.

No limite N do bloco aparece a Falha de Acahay, em parte coberta por depósito de colúvio (ver Anexo A).

3.3.2. O Bloco San José

No Bloco San José, mais simples do ponto de vista geológico, ocorrem sedimentos do Grupo Caacupé cortados por diques de diabásio toleítico e um "plug" de rocha alcalina.

O reconhecimento geológico foi aqui também realizado com a elaboração de perfis de controle estratigráfico (Figura 3.2).

O Bloco San José é um bloco afundado a partir da Falha San José (ver Anexo A), em relação ao Bloco vizinho Potrero Alto.

Os arenitos da Formação Cerro Jhú, situados na porção centro-sul do Bloco, ocupam as áreas mais baixas, estando em boa parte cobertos por depósitos do Quaternário. As suas características litológicas são as mesmas já descritas para os correlatos presentes no Bloco Potrero Alto.

O nível guia, que identifica em algumas partes o início da Formação Tobatí, foi encontrado em afloramentos a poucos km a NW do Cerro San José. A presença deste nível permite medir um rejeito de uns 160-200 m entre o Bloco Potrero Alto e o de San José.

A Formação Tobatí, com feições idênticas às já descritas

previamente, mostra as melhores exposições em alguns morros baixos. Assim, no Cerro San José é encontrado um espesso estrato de arenito cimentado, muito endurecido (em parte recristalizado?).

O "plug" alcalino sustenta o Cerro San José, que aparece com proeminente destaque (ver Anexo A). As observações de campo, mesmo incompletas por falta de boas exposições, mostram o caráter de intrusão múltipla. Num perfil SW-NE é encontrado como rocha predominante um "monzosienito", de aspecto macroscópico gabróide, localmente porfirítico por mostrar megacristais de piroxênio preto. Na borda W, a rocha apresenta-se com biotita lamelar, ausente na variedade mais monzonítica e mais rica em plagioclásio, encontrada no centro da intrusão. As rochas são cortadas por veios irregulares, centimétricos, de cores cinza escuro, que carregam enclaves, arredondados a subangulosos, de vários tipos de rochas alcalinas plutônicas e subvulcânicas. Na parte E do mesmo morro, aparecem blocos de "shonkinito" porfirítico, com fenocristais de piroxênio preto e em parte também com lamelas de biotita, cortando a rocha monzosienítica na forma de veios e diques aparentemente irregulares; perto dos contatos com a rocha encaixante, ocorrem estruturas de fluxo nestes shonkinitos, por alinhamento dos fenocristais.

Na parte superior do Cerro Obí (ver Anexo A), encontra-se um longo dique de diabásio toleítico, que se estende com rumo NE por mais de 1 km. Os arenitos invadidos, a ambos os lados, estão endurecidos por "cimentação" de contato.

Os depósitos de aluvião, arenosos, são do Quaternário.

O Bloco San José está separado do vizinho Bloco Chauria pela

Falha de Acahay, a N, e pela Falha San José do Bloco Potrero Alto, à leste (Figura 3.1, Anexo A).

3.3.3. O Bloco Chauria

Os limites do Bloco Chauria são definidos por falhas. Para N, ocorre a de Medina. A Falha de Acahay é o limite meridional, encontrando-se ainda, para W, a Falha Chauria (Figura 3.1, Anexo A). O Bloco é cortado pela Falha San José mas é considerado uma unidade por motivos estruturais (ver item 5.1.1.) e estratigráficos (apresenta-se coberto por sedimentos do Grupo Caacupé).

No Bloco Chauria, situado em área deprimida vizinha ao Vale de Acahay, são encontrados sedimentos da Formação Cerro Jhú, nas áreas baixas, a Leste, e da Formação Tobatí. Nas partes baixas, cobrindo os arenitos do Grupo Caacupé, ocorrem depósitos coluviais do Quaternário.

3.3.4. O Bloco Vale de Acahay

O ressalto topográfico maior, neste Bloco, é o da Serrania de Ybytymí, de percurso SE-NW. No canto NW são encontradas as elevações menores dos morros situados no Potrero Ybaté (Figura 1.3, Anexo A). Várias partes do bloco são áreas deprimidas, ocupadas por zonas baixas alagadas.

Ocorrem neste bloco os sedimentos aqui atribuídos à Formação San Miguel, constituída por três unidades superpostas, vários conjuntos de rochas intrusivas e vulcânicas da Formação Sapucaí e

depósitos de colúvio e aluvionares mais recentes.

Formação San Miguel (atribuição)

A quase totalidade da Serrania de Ybytymí, junto com partes consideráveis dos morros do canto NW do bloco, estão constituídos por sedimentos pertencentes a esta formação. São identificadas três unidades superpostas com características próprias: a **Unidade Inferior** de sedimentos pelíticos-arenosos; a **Média** de sedimentos arenosos e a **Superior** com sedimentos rudáceos. A definição destas unidades foi realizada por meio do levantamento de alguns perfis (ver localização na Figura 3.2, perfis na Figura 3.4).

A **Unidade Inferior (U1)** é encontrada na base da Serrania de Ybytymí e nos níveis inferiores dos morros vizinhos.

Predominam as camadas pelíticas e de arenitos muito finos: são argilitos e lamitos (Figura 3.4) de cores vermelha escura a vermelha vinho, com abundantes lamelas de mica, junto com arenitos finos a muito finos com abundantes feldspatos alterado (arcosianos), de cores bege avermelhados, avermelhados e amarelados. Fragmentos de argilito aparecem como clastos angulosos contidos em algumas camadas de arenitos.

A SE da Serrania de Ybytymí, é encontrado um local onde aparecem, interdigitadas, camadas centimétricas de folhelhos e de arenitos calcários. No local chamado de San Miguel, mais a NW, ocorrem rochas sedimentares sílico-argilosas de aparente origem químico, a julgar pela presença de estruturas convolutas e a existências de concreções lenticulares a irregulares, não contínuas, de carboneto.

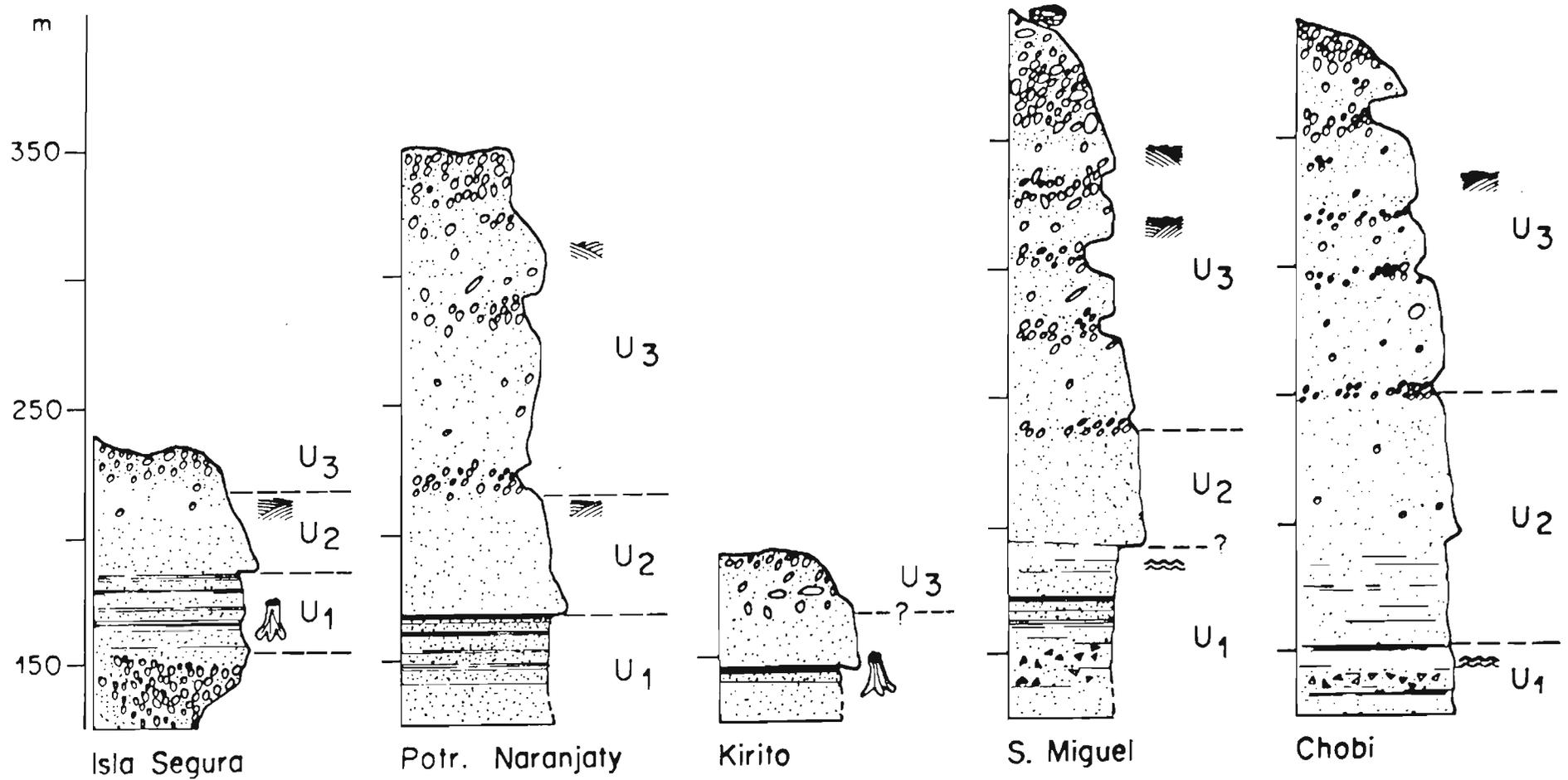


Figura 3-4. Perfis colunares da Formação San Miguel no vale de Acahay. As linhas aproximadas dos perfis são identificadas na Figura 3-2. U1, U2 e U3 identificam as unidades inferior, média e superior, respectivamente (ver texto), com indicação aproximada dos limites entre elas. Para símbolos, ver legenda da Figura 3-3.

A estratificação é plano-paralela; camadas mais espessas mostram-se maciças (Foto 4). A norte do Cerro Chobí (ver Figura 1.3, Anexo A), a S do local chamado Compañia San Miguel, e na Compañia Kirito, foram observadas camadas apresentando marcas de corrente (Foto 5).

Tubos verticais de *Skolithos* foram identificados, a S da Compañia San Miguel, em arenitos muito finos.

Em vários afloramentos (Foto 6), principalmente em camadas de argilitos vermelho escuro a vermelho vinho, ocorrem troncos petrificados, de comprimento decimétrico a submétrico e largura decimétrica. Estudos morfológicos de maior detalhe (D. Musa & M.E. Oliveira Babinski, com. pessoal, 1990) não foram, entretanto, conclusivos para a identificação da espécie, pelo pobre estado de conservação das estruturas. M.E. Oliveira Babinski (com. pessoal, 1990) sugere que algumas das estruturas celulares neles observadas são similares às do gênero *Psaronis* de samambaias, propondo por isto uma idade mínima devoniana superior para estes troncos. A presença de troncos fósseis já foi confirmada em várias localidades, como nas imediações da Cordillera de Ybytyruzú, na Formação San Miguel (Cuadrícula 41, 1966; Herbst, 1972; Bitschene, 1987; observações próprias). A idade atribuída aos troncos da Cordillera de Ybytyruzú é Permiana (ver Bitschene, 1987, e referências aí citadas). Intentos de datação das camadas mais finas, na Serrania de Ybytymí, mediante identificação de microfósseis (M.R. de Lima, com. pessoal, 1990) resultaram insatisfatórios, pelo estado avançado de oxidação das amostras.

Uma "janela" erosiva, mostrando os sedimentos infrajacentes,



Fotografia 6. Unidade basal (U1) da Serrania de Ybytymi. Notar a presença de restos de troncos fósseis, alguns de tamanhos avantajados. No centro, é observado um dique alterado de lamprófito (cinza), de rumo geral NW-SE. Mesmo local da fotografia 4.



Fotografia 7. Unidade superior (U3) dos depósitos clásticos da Serrania de Ybytymi (Formação San Miguel). Observa-se um arenito com glomerático muito fino, rico em seixos arredondados de quartzo. Parte SE da Serrania, localidade San Miguel. Cota topográfica: entre 250 e 300 m.

aparece a menos de 1 km a N da Companhia Isla Segura já por fora dos limites da Folha (ver localização nas Figuras 1.3 e 3.2. e Anexo A), ao longo do curso do córrego aí existente. São níveis de arenitos grossos a muito grossos, alternando com camadas ou lentes de conglomerados de seixos centimétricos de quartzo. Em Cañada são observados blocos "sui generis" de arenitos com seixos (diamictitos?) de cor ocre (teto da Formação Coronel Oviedo?).

A espessura mínima desta Unidade U1 é de 20 m, e a máxima de aproximadamente 50 m.

A **Unidade Média (U2)**, em posições topográficas imediatamente superiores, aparece com arenitos médios a grossos, ainda algo arcóseos, de cores variadas (vermelho esbranquiçado, bege, marrom, branco com manchas escuras). Localmente, apresentam lentes ou bolsões de um arenito muito grosso, rico em seixos de quartzo (alguns centímetros), em parte conglomerático. Em cotas superiores, após os primeiros 50 m da unidade U2, aparecem estes níveis conglomeráticos com maior constância.

A estratificação predominante é plano-paralela; a estratificação cruzada é visível nos horizontes superiores, onde também aparecem as lentes mencionadas do arenito muito grosso a conglomerático. As camadas mais espessas tem aspecto maciço. Na região NW (por ex., Isla Segura) e SW (por ex., Kirito) parece estar diminuindo a espessura da Unidade U2 ou, pelo menos, a dos seus níveis inferiores, caracterizados pela presença de arenitos médios a grossos (Figura 3.4).

A **Unidade Superior (U3)**. De modo transicional passa-se da

Unidade U2 para a superior, por aumento no tamanho dos clastos. Caracteristicamente, os sedimentos presentes são arenitos muito grossos com abundantes seixos de várias rochas (polimícticos) e conglomerados polimícticos (seixos de quartzo, de rochas vulcânicas ácidas alteradas e de outras sedimentares), de cores bege apagada, marrom, ocre, etc (Foto 7). A estratificação é irregular a plano-paralela, e o aspecto dos estratos é maciço. No campo, bons afloramentos são escassos, e a presença da Unidade U3 nota-se mais pelo incremento dos seixos espalhados no solo, até o ponto de que aparece por vezes uma "linha de seixos" situados por sobre os arenitos da Unidade média.

Na parte mais alta da Serrania de Ybytymí, possivelmente por cima do nível da Unidade U3, acharam-se alguns blocos de um arenito muito fino rico em argila. Esta feição sugere, da mesma maneira que os sedimentos encontrados na "janela" de Isla. Segura acima citada, que se trata de deposição cíclica de seqüências tipo "coarsening upwards" (Figura 3.4). Seqüências similares foram caracterizadas em zonas do "rift" do Leste Africano (e.g., Frostik & Reid, 1989).

Faturas com rumo SE-NW, e outras direções, cortam os sedimentos (ver Anexo A).

Os perfis realizados (Figura 3.4) sugerem posição subhorizontal para as três Unidades acima descritas, com suaves mergulhos da ordem de 5 m por Km ($1,5^\circ$) para SW-SSW. Os sedimentos parecem ter se depositado, em parte, sobre superfícies irregulares.

Os sedimentos da Formação San Miguel, na Folha La Colmena, estão, em parte, irregularmente capeados por basaltos alcalinos e

são cortados por diques, "plugs" e condutos de brecha ("pipes") da Formação Sapucaí (veja-se os comentários no Proyecto Par 83/005, 1986).

Formação Sapucaí

Rochas ígneas alcalinas estão amplamente distribuídas neste Bloco, como mantos de piroclastos e de lava, condutos de brecha ("pipes"), "plugs", diques isolados e enxames de diques e "sills".

Descrevem-se a continuação as várias ocorrências, agrupadas conforme a sua localização geográfica ou as suas características petrográficas. Maiores detalhes sobre petrografia são encontrados no Capítulo 4.

Rochas vulcânicas do Potrero Ybaté. Aqui são descritas as manifestações que aparecem concentradas na região do Potrero Ybaté.

Manto de rochas piroclásticas, situadas a S da Compañia Potrero Ybaté, (Figuras 1.3 e 3.2) acompanham o córrego Caañabé (ver Anexo A). Formam um pequeno platô com algumas ondulações topográficas, que se eleva, por alguns metros, da planície aluvionar circundante. Predominam tufitos de cinza e de lapilli, tufo-brechas e brechas com fragmentos angulosos de rochas vulcânicas, tanto maciços como densamente vesiculados. São também observados, em tufitos e brechas, fragmentos de cristais (piroxênio e outros) tão alterados como os fragmentos de rocha e os tufitos. Alguns fragmentos menos alterados são de rochas "basálticas" com leucita. Os depósitos, fortemente alterados,

parecem estar dispostos com arranjo maciço ou caótico, embora fosse observada em um afloramento uma lente de tufitos e lapilli, interestratificada com outros depósitos maciços.

Estas rochas piroclásticas limitam, a N, com derrames (mantos) de lavas basaltóides alcalinas. A S estão cobertos por depósitos de colúvio, em parte limitados pela Falha Medina. No resto do perímetro perdem-se por baixo dos depósitos do Quaternário associados ao córrego Caañabé e seus afluentes. A ausência de diques, não observados nesta área, sugere que as rochas piroclásticas são algo mais recentes (?) que essas manifestações intrusivas.

Os afloramentos mais significativos e contínuos são os de rochas vulcânicas escuras, maciças a localmente muito vesiculares, que aparecem como **derrames** ou **mantos de lavas** no Potrero Ybaté. A leste, NE e S do Cerro Tano, em afloramentos conjuntos de rochas da Formação San Miguel e de vulcânicas, observa-se claramente que as primeiras são capeadas, e em parte invadidas, pelas últimas (Anexo A).

A S, perto dos afloramentos com rochas piroclásticas do córrego Caañabé, é encontrado um derrame, com lava fortemente vesicular e amigdaloidal (com preenchimento de calcita e zeólita) de até 6 cm, que engloba seixos de quartzo. Em posições topográficas mais altas aparecem ali também rochas "basálticas" maciças. A leste do Cerro Tano ocorre um derrame de rocha basaltóide amigdaloidal afírica, com escassos fenocristais de piroxênio. Entretanto, os afloramentos mais comuns são de rochas maciças, com fenocristais de piroxênio preto, freqüentemente acompanhados por outros de olivina (em parte convertida em

iddingsita ou serpentina) e cristais euedrais a irregulares de "leucita".

Os afloramentos destas lavas se continuam, a W e NW, para as folhas vizinhas (ver Anexo A).

As lavas são cortadas por "plugs" de rochas vulcânicas perpotássicas (leucita "lamproitos", "cocitos" e "basaltos" com leucita) e rochas plutônicas (Cerro Tano 1 e 2), junto com diques de rochas basaltóides alcalinas e alguns diques de lamprófiros.

Conduto de rochas perpotássicas ("lamproíticas"). Foram identificados na Folha La Colmena vários condutos ou "pipes" subcirculares a bilobulados, de tamanhos entre 1000 a 3000 m, nos quais são reconhecidas duas "facies" constatadas, a epiclástica e a hipoabissal, conforme nomenclatura de Mitchell & Bergman (1991).

Forma e posição dos condutos foi inicialmente reconhecida em fotografias aéreas, em alguns casos muito claramente, como no caso dos condutos Dú 1, Don Eladio 1 e Kristo. Em outros casos, as fotografias apenas sugerem contornos circulares (como no caso do conduto Dú 2), existindo vestígios de outras possíveis estruturas de contornos irregulares (os condutos Don Eladio 2, Dú 3 e Yby), mas cuja natureza não pode ser claramente reconhecida. Detalhes da posição geológicas são observados no Anexo A.

A estrutura Dú 1 possui forma bilobulada (Figura 3.5) com tamanho de 1500 m por 840 m (lóbulo Norte) e 800 m (lóbulo Sul). Assim, a forma lembra àquela mostrada pela grande maioria dos condutos lamproíticos de West Kimberley em Austrália (cf. Atkinson *et al.*, 1984; Smith & Lorenz, 1989). No seu contorno

meridional reconhece-se uma facies de brechas a tufo-brechas epiclásticas alteradas, de cores marrom ocre a bege ocre, com matriz constituída por clastos de rochas ígneas e sedimentares. A facies, muito mal exposta, foi reconhecida em leito de córrego, com estrutura maciça. Já no seu contorno setentrional reconhecem-se exposições da facies hipoabissal na forma de lavas vesiculadas, com preenchimento de zeólita, de cores avermelhadas e de aspecto lamprofírico (com fenocristais de flogopita vermelha cobre, alterada, e de piroxênio verde garrafa). A estrutura aparece cortada por dois "plugs" de "basalto" com leucita e por diques (< 1 m de espessura) de rocha basaltóide de aspecto lamprofírico (fenocristais de piroxênio preto centimétrico). O conduto é intrusivo na Formação San Miguel, e parece invadir os mantos de lavas de Potrero Ybaté, embora não sejam observáveis relações mútuas de contato.

O conduto Don Eladio 1 possui forma irregular a bilobulada (Figura 3.6) e seu tamanho é ao redor de 2050 m por 1200 m (lóbulo Leste) e 880 m (lóbulo Oeste). No seu lóbulo oeste reconhece-se um pequeno afloramento da facies hipoabissal, com algum ressalto topográfico, onde ocorrem blocos de rocha porfirítica fresca, de cores cinza escuro (amostras frescas) a cinza amarronzados (amostras algo alteradas), e de estrutura maciça, com fenocristais de olivina avermelhada (milimétrica) de formas irregulares, e de piroxênio verde escuro eudral (1-5mm). O resto da estrutura aparece coberto por solos de alguns metros de espessura.

No lóbulo leste, são reconhecidos afloramentos de rochas sedimentares clásticas. Num poço para água escavado à W, são

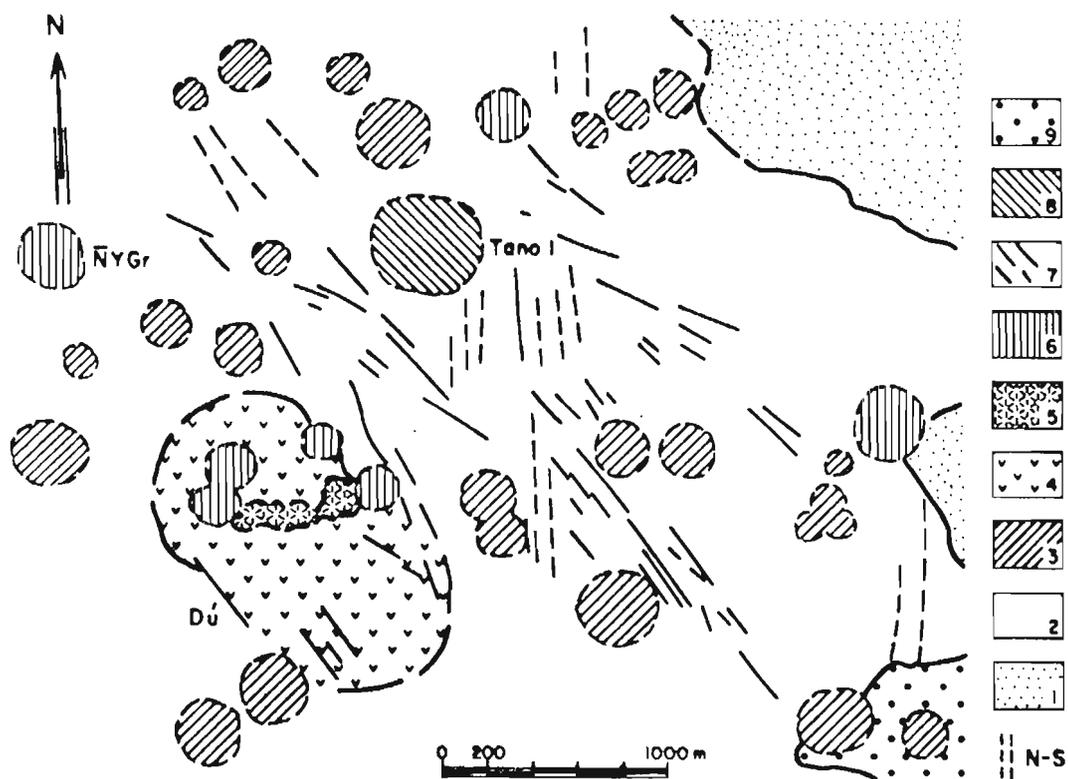


Figura 3-5. Esquema geológico da região em volta da estrutura lobulada Dú 1, Tano 1 e Nãnde Yara Gracia (ÑYGr), no Potrero Ybaté. Legenda à direita. N-S: Fotolineamentos (fraturas); 1: Formação San Miguel; 2: Derrames e mantos de basaltóides alcalinos; 3: Estruturas circulares observadas em fotografias aéreas, de significado desconhecido (condutos ou "plugs"?); 4: Brechas e tufo-brechas epiclásticas (facies piroclástica) de Dú 1; 5: Flogopita diopsídio olivina "lamproito" (facies hipobissal) de Dú 1; 6: "plugs" de rochas com leucita ("lamproitos", "cocitos" e basaltóides); 7: Diques de basaltóides com leucita (direção NW-SE); 8: Melasiênitóides (Tano 1); 9: Depósitos quaternários(?). Ver também Anexo A.

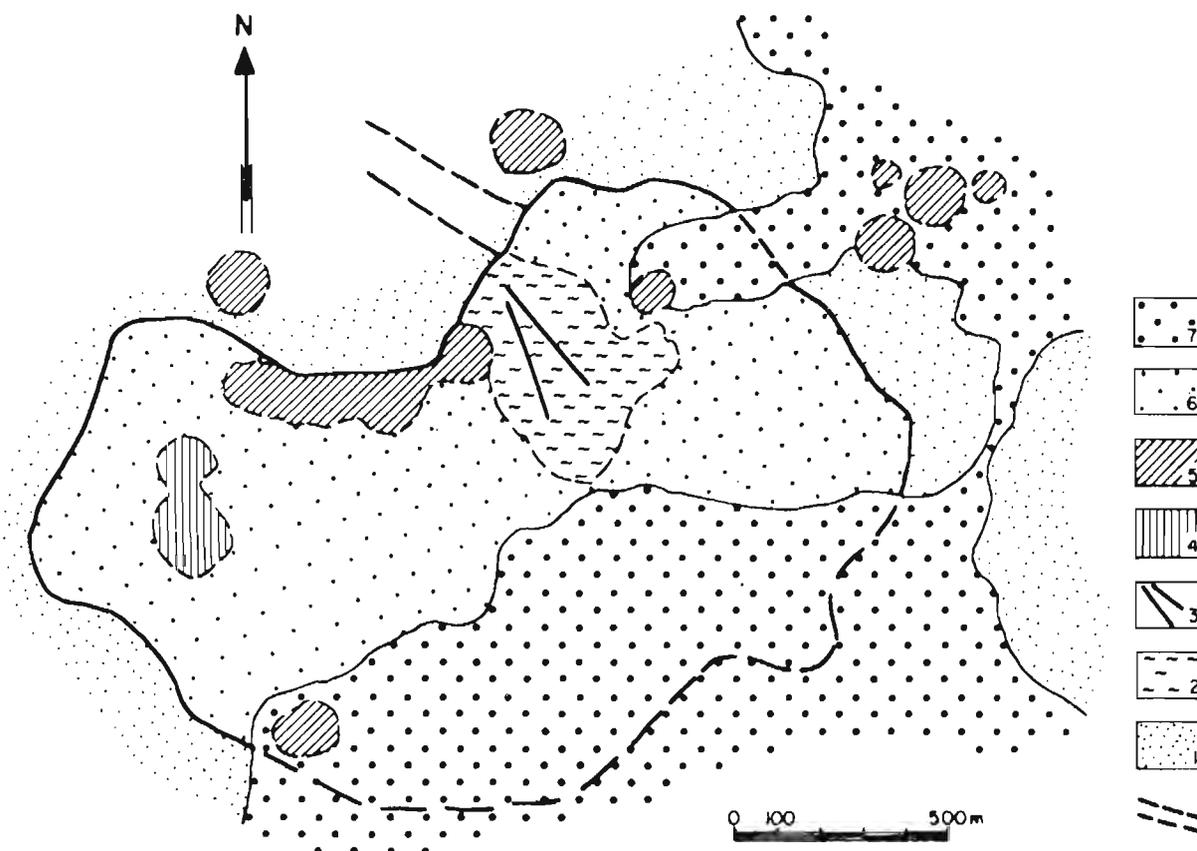


Figura 3-6. O "pipe" Don Eladio 1, na área de Kirito. Legenda. Tracejado paralelo: Fotolineamentos (fraturas?); 1: Formação San Miguel; 2: Sedimentos finos (facies epiclástica) associada ao "pipe" Don Eladio 1; 3: Diques de olivina diopsídio "lamproito"; 4: Olivina diopsídio "lamproito" (facies hipoabissal) de Don Eladio 1; 5: Estruturas circulares observadas em fotografias aéreas, de interpretação duvidosa (intrusões "lamproíticas"?); 6: Cobertura de solo; 7: Depósitos quaternários(?). Os contatos assinalados, tanto das formações litológicas como das estruturas, são todos aproximados ou inferidos. Ver também Anexo A.

encontrados seixos de quartzo em matriz de arenito argiloso: concentrados de minerais pesados obtidos da matriz parecem confirmar que se trata de facies associada ao conduto. O conduto é intrusivo na Formação San Miguel, e está cortado por diques de diopsídio-olivina "lamproito", fresco e de cor cinza escura, com destaque de fenocristais de olivina subedral (milimétrica) e piroxênio verde garrafa eudral (de até 6mm); são de espessura submétrica e com rumo NW. Grande parte da estrutura é coberta por depósitos Quaternários de colúvio.

O conduto Kristo tem a sua borda SE exposta em corte de rua, com afloramento da facies piroclástica. Aparecem tufitos finos a grossos, estratificados, superpostos à Formação San Miguel. Na borda NE da estrutura, são encontrados tufitos grosseiros, com clastos de rocha vulcânica de aspecto lamprofírico (fenocristais de flogopita, olivina e piroxênio) vesiculados a amigdaloidais (com zeólitas), junto com facies de brechas maciças, cortados por um delgado dique (rumo NW) de rocha de aspecto basáltico. Na parte central estão expostos, em leito do córrego, rochas da facies hipoabissal. No resto da estrutura, o solo oculta os afloramentos.

O conduto Dú 2 possui forma subcircular a bilobulada (?). É de tamanho menor (1258 m de comprimento) e o seu contorno encontra-se mascarado pela cobertura do solo. No seu centro, ficam expostas rochas da facies hipoabissal. São lavas fortemente vesiculadas (com preenchimento de zeólitas) e alteradas de marcado aspecto lamprofírico (com fenocristais eudrais de flogopita, formas irregulares a arredondadas de olivina muito alterada, e piroxênio eudral cor verde garrafa). A estrutura

está cortada por delgado dique de flogopita - diopsídio "lamproito" (cinza vermelho vinho) com rumo NW, e por outro de direção NE, submétrico e de aspecto basaltóide (com fenocristais de piroxênio preto e de leucita milimétrica). O manto de lavas do Potrero Ybaté parece ser a rocha encaixante do conduto.

Blocos de flogopita diopsídio (?) - olivina "lamproito", muito alterado e com aspecto brechóide, de cor roxa, ocorrem em morrinhos perto do conduto Yby.

O conduto Dú 3 possui forma irregular (Anexo A), no qual ocorrem afloramentos de rocha porfirítica (fenocristais de leucita) muito alterada, junto com outros de lava vesicular porfirítica (fenocristais de piroxênio verde garrafa), também muito alterada. Esta última é cortada por um dique de rocha porfirítica de aspecto basaltóide (piroxênio subcentimétrico e olivina submilimétrica) de largura métrica e com rumo NW. Solo e sedimentos do Quaternário cobrem boa parte da estrutura.

O conduto Colmena é de natureza incerta. No relatório da Cuadrícula 40 (1966), é descrito um pequeno afloramento de lava vesiculada porfirítica de aspecto basaltóide (facies hipoabissal?). Da mesma forma, a presença de um possível conduto Don Eladio 2 é apenas sugerido pelas fotografias, não se observando afloramentos de rochas ígneas ou brechadas.

"Plugs" de rochas ígneas alcalinas. Descrevem-se aqui corpos menores (~500-1000 de diâmetro) de rochas plutônicas e vulcânicas alcalinas.

Entre os **"plugs" de rochas plutônicas**, contam-se os dos Cerros Tano 1 e Tano 2, o do Cerro Chobí e as intrusões chamadas

de Cañada (1,2 e 3).

Os Cerros Tano 1 e Tano 2, de dimensões pequenas, são dois plugs de rochas plutônicas (o primeiro já citado em Livieres e Quade, 1987) que formariam parte de uma estrutura semi-anelar. Na opinião do autor desta dissertação, eles seriam parte de um "enxame" de "plugs" (com diâmetro variando entre 1000 m e 100 m) de rochas vulcânicas e plutônicas que se colocam junto com o conduto "lamproítico" Dú 1, em área alongada de rumo SE-NW (ver Figura 3.5, Anexo A).

O Cerro Tano 2, com diâmetro de uns 300m, é intrusivo na Formação San Miguel e limita, na borda W, com os mantos de lava do Potrero Ybaté. O "plug" está constituído por rochas sienitóides de textura fina a média, algo porfiríticas, de cor cinza esbranquiçada a bege.

O Cerro Tano 1 é uma estrutura circular de 500 m de diâmetro e com destaque topográfico (cota máxima de 315 m). É intrusiva nos mantos de lava de Potrero Ybaté, e constituída por rochas sienitóides finas a grossas, de cor cinza a rósea. Reconhecem-se facies de rochas mais máficas no centro e mais félsicas nas bordas da intrusão. A cobertura da vegetação e de solos impede a realização de observações de mais detalhe.

As ocorrências de Cañada e do Cerro Chobí aparecem em meio a uma estrutura mostrando dois anéis (Figura 3.7, ver Anexo A).

Ambos os anéis são principalmente constituídos por sedimentos da Formação San Miguel, cortados por diques e "plugs" de rochas ígneas alcalinas, cuja maior resistência à erosão é, pelo menos em parte, a causa da presente estrutura.

O anel externo é cortado por enxame de diques de "cocitos"

(leucita mela-fonólitos), minetas, traquitos, com rumo SW-NW (N40-60W). Os diques, por fora deste anel maior, se continuam para NW, constituídos agora principalmente por traquitos e minetas; para SE, o enxame encontra-se com as pequenas intrusões de Cañada.

O anel interior sustenta os diques do enxame (ver descrição mais adiante) e mostra, na parte topograficamente mais elevada, os afloramentos do "plug" do Cerro Chobí; um plug "menor", inominado, é encontrado na parte setentrional deste anel. Entre ambos os anéis, a N do Cerro Chobí, são encontrados alguns diques de rochas lamprofíricas (com fenocristais de biotita e carbonato, como pseudomorfo de piroxênio) junto com outro, de largura aparentemente maior, também de aspecto lamprofirico, carregado de enclaves carbonáticos-arredondados-alongados (carbonatitos?).

O morro Chobí é uma intrusão pequena (diâmetro de cerca de 1000 m), zonada, com rochas sienitóides na margem N (róseo-esbranquiçadas e orientadas na borda, mais maciças e máficas para o interior) e monzonitóides no centro e parte meridional da estrutura. As rochas sienitóides, em particular, mostram pequenos enclaves angulosos de rochas vulcânicas alcalinas (ex. "cocitos", minetas, etc.; ver Foto 8); veios e pequenos diques de "cocitos", por sua vez, cortam os sienitóides, carregando enclaves de rochas plutônicas alcalinas. As intrusões de Cañada, encaixadas em sedimentos da Formação San Miguel, aparecem como três pequenos morrinhos com pouco destaque no relevo. A de Cañada 1, de forma cônica, eleva-se por 10 m por sobre a topografia circundante; é constituída por rochas sienitóides (com uma facies marginal, mais leucocrática e com orientação por disposição planar de ripas de

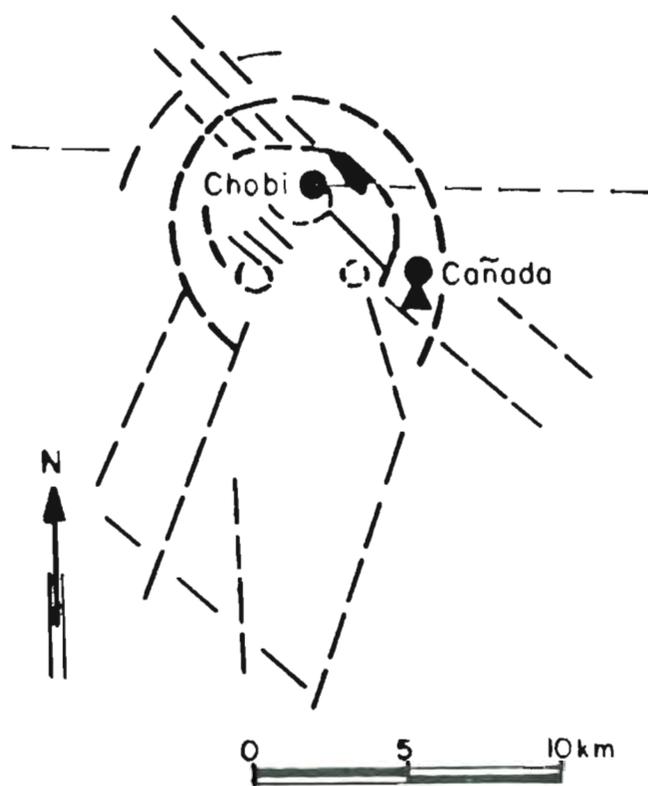
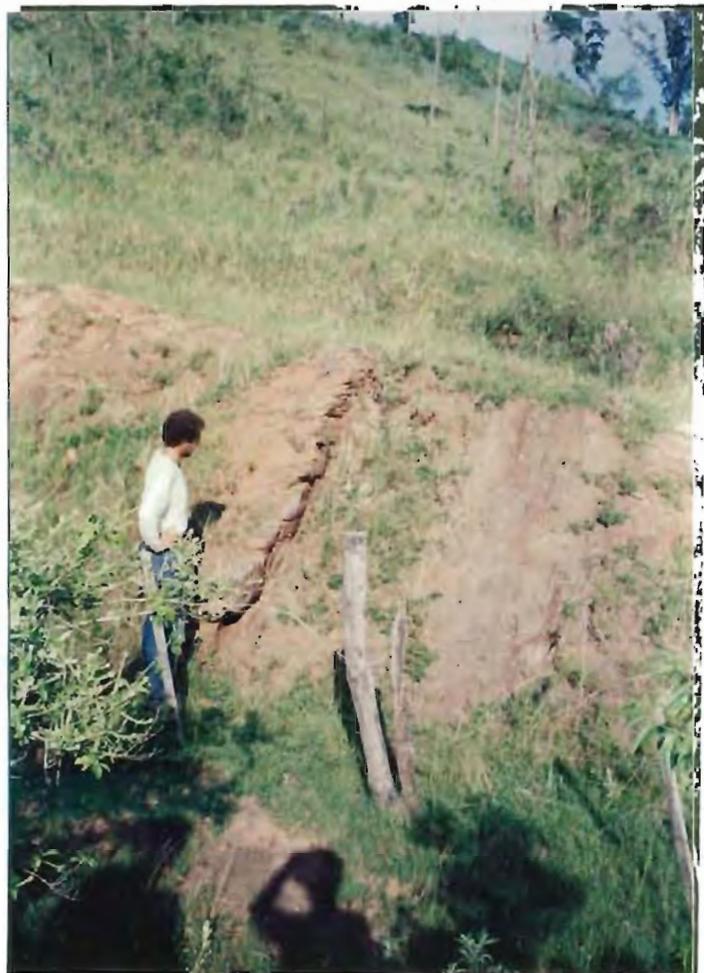


Figura 3-7. As estruturas na região do cerro Chobí e Cañada. São assinaladas as direções NW-SE do enxame de diques Y-bytymí, a posição do "plug" de nefelina sienito do cerro Chobí, e as intrusões de Cañada (circulo cheio) (triângulo cheio indica a localização da ocorrência "lamproítica" de Yby). A mancha cheia alongada (perto do Cerro Chobí) é a área onde são encontrados os diques largos com enclaves carbonáticos (ver texto). Cristas de rochas sedimentares da Formação San Miguel (anéis mais marcados, porém incompletos) desenharam uma pseudo-estrutura anelar (ver texto). As linhas tracejadas N-S, E-W e SW-NE identificam fotolineamentos (fraturas?). Ver também Anexo A.

feldspato, e outra central, maciça e meso- a melanocrática), invadida na parte central por uma massa de lamprófiro ultramáfico com enclaves de rochas plutônicas e vulcânicas alcalinas, arredondados e de dimensões variáveis. No seu contato ocidental, aparecem alguns sinais de recristalização e metassomatismo nos arenitos encaixantes. A intrusão de Cañada 2, que sustenta um morrote de algumas centenas de metros de diâmetro, é constituída por um "plug" de rocha sienitóide orientada, que parece apresentar-se com uma pequena extensão para SE. Colocado entre Cañada 1 e 2, é encontrado um morrinho menor, o de Cañada 3, sustentando um dique de 3 m de largura, com rocha traquítica porfirítica.

Estes "plugs" de rochas vulcânicas são encontrados como estruturas menores (até 1000 m de diâmetro), em geral pouco destacados no relevo; eventualmente manifestam-se como depressões. Aparecem por vezes concentrados em determinadas áreas (por ex., na Compañia Potrero Ybaté). Estão constituídos ora por rochas vulcânicas félsicas, ora por rochas vulcânicas máficas, que são descritas por separado.

Os "plugs" de rochas félsicas mais importantes são os do Cerro Medina e do Cerro Doña Lili. O do Cerro Medina, com diâmetro de 900 m, mostra cotas máximas de 250 m, destacando-se claramente no relevo. Aparenta ser intrusivo nos mantos basálticos e piroclásticos do Potrero Ybaté. As rochas constituintes, que são encontradas como matações, são em parte porfiríticas (com fenocristais de anfibólio verde escuro e algumas ripas de feldspato, que estão orientadas) e vesiculares (com preenchimento por zeólitas); são algo orientadas e de cores



Fotografia 8. Dique alterado sub-vertical de lamprófiro com fecho cristais de mica, cuja posição aparece marcada pelo relevo negativo (parte central da fotografia). Localidade: Potrero Na ranja-ty.



Fotografia 9. Nefelina sienito do cerro Chobí, mostrando enclave subanguloso de mela-leucita fonólito ("cocito"). A norte do cerro Chobí.

cinzentos.

A outra ocorrência, a do Cerro Doña Lili, é claramente intrusiva em sedimentos da Formação San Miguel. Aparece com algum destaque na topografia, e seu diâmetro é de cerca de 300 m. As rochas constituintes, encontradas como matacões, são orientadas e de cores avermelhadas, aparentemente afíricas. Inicialmente, a rocha desta ocorrência foi descrita no relatório da Cuadrícula 40 (1966) como quartzo pórfiro.

Ambas ocorrências, as dos Cerros Medina e Doña Lili, estão constituídas por fonolitos, aqui tentativamente atribuídos à Formação Nemby, por comparação com o fonolito do vizinho Cerro Giménez (a W, na Folha Acahay), que apresenta idade K/Ar de 66 Ma (Velázquez, 1992; ver itens 4.2.8 e 5.2.3).

Os "plugs" de rochas máficas são encontrados principalmente na região da Compañía Potrero Ybaté, onde ocorre uma dúzia de pequenos plugs alinhados, numa faixa de uns 10 km de comprimento por 4 km de largura, de rumo geral SE-NW, dentro da qual também se posicionam as ocorrências de Tano 1 e Tano 2 e a do conduto "lamproítico" Dú 1 (Figura 3.5). Estes "plugs" são intrusivos nos mantos basaltóides de Potrero Ybaté.

Petrograficamente, se reconhecem vários tipos litológicos (leucita "lamproítos", "cocitos", "basaltos" com leucita), que são, na maioria dos casos, macroscopicamente semelhantes às rochas basaltóides encaixantes, e portanto de difícil reconhecimento no campo, embora os seus contornos apareçam com maior detalhe em fotografias aéreas. A mais importante destas ocorrências é a do "plug" Nande Yara Gracia (Báez Presser, 1991), encontrado como pequena depressão de 200 m de diâmetro. São

observados, no local, blocos de rochas vulcânicas de cor cinza preta, com frequentes fenocristais (glomero-porfiríticos) de leucita, misturados com blocos de rocha basaltóide encaixante.

Outra ocorrência é a do plug Yby, algo maior que o precedente, encontrado mais a S. A rocha deste último corpo é de cor cinza preto com marcado aspecto lamprofirico (com fenocristais subcentimétricos de piroxênio preto, olivina avermelhada e microcristais de leucita), também comumente entremeados aos blocos de rocha basaltóide encaixante.

Intrusivos nas facies do conduto "lamproítico" Dú 1, ocorrem "plugs" de rochas basaltóides com leucita, de cor cinza, também com marcado aspecto porfirítico (com fenocristais de piroxênio verde e olivina incolor). Estes "plugs" são de reduzido diâmetro (100-300 m), e ficam localmente destacados na topografia.

Enxame de diques Ybytymí. Este enxame de diques (Báez Presser, 1992) possui uma extensão de 70 km, com rumo N50°W, 17 km dos quais expostos na Serrania de Ybytymí, na Folha La Colmena.

Nesta folha predominam diques de rochas máficas (lamprófiros, cocitos) e félsicas (traqui-fonolitos), mostrando distribuição zonada (lateral e longitudinal).

Variedades de lamprófiros micáceos (minetas) são encontrados mais comumente nos flancos da serrania, encaixadas nas rochas sedimentares mais finas da Formação San Miguel; inexistem na porção central do enxame. Os "cocitos", a litologia mais comum depois dos lamprófiros, estão localizados tão somente na área do Cerro Chobí, por dentro do anel externo previamente citado. Os

cocitos são muitos raros fora desta área.

Diques de traquitos, de cores bege e cinza, ocupam tanto o centro como as partes laterais do enxame.

Todos os diques possuem espessuras submétricas a métricas e seguem o rumo regional $N50^{\circ}W$, mostrando ao longo de seu percurso algumas variações em espessura e frequência.

A cobertura do solo e vegetação torna difícil a identificação dos diques no campo (veja-se o exemplo mostrando na Foto 9). Entretanto, o reconhecimento das estruturas lineares em fotografias aéreas e observações em afloramentos isolados mostram direções de intrusão que variam entre $N30^{\circ}W$ a $N70^{\circ}W$, com valores predominantes em torno de $N50^{\circ}W$, com disposição subvertical, ou com mergulho aparente de 70 a 80° à W. A sua abundância é notável, estimando-se perto de 100 diques por cada 1000 m de rocha encaixante, em parte aparecem como diques múltiplos (como discutido com Rock, 1991, com. pessoal) e estão sempre muito próximos uns dos outros. Alguns diques de minetas aparecem descontínuos, com estruturas "en echelon".

São citados a seguir dois exemplos característicos de intrusões múltiplas. Na estrada entre a cidade de Caballero e a Compañia de Chauria ocorre um dique métrico de mineta (pouco porfirítica), encaixada em sedimentos da Formação San Miguel, que mostra na parte central um dique de "cocito", de espessura de vários decímetros, por sua vez invadido por um dique de mineta com megacristais muito alterado e de espessura métrica. Um outro exemplo é encontrado no corte de estrada que une os locais Compañia Kirito e Iriarte, onde um dique alterado de mineta é invadido por um segundo dique de mineta. Em todos estes casos, os

diques posteriores apresentam-se com a mesma direção dos anteriores.

Com bastante menor freqüência ocorrem também diques de direção N-S, ou E-W ou mais raramente os de direção NE-SW. Os diques NW, predominantes, cortam os diques N-S, com deslocamento de alguns metros (por exemplo, a N do Cerro Chobí). Por outra parte, os diques E-W aparecem por vezes com espessuras significativas. Assim, na parte meridional da Serrania de Ybytymí é encontrado enxame de uma dúzia de diques de lamprófiros, com espessuras de poucos metros a até 50m.

A S do Cerro Chobí, ocorre um dique de "cocito" com profusão de enclaves arredondados a irregulares, centimétricos a decimétricos, de rochas alcalinas vulcânicas e plutônicas.

Depósitos clásticos pós-magmatismo mesozóico

Formando lombadas características, de pouca elevação, principalmente concentradas nas cercanias da escarpa da Falha de Acahay, e em parte cobrindo-a, são encontrados depósitos formados por areias grossas e seixos, dos mais diversos tamanhos, constituídos predominantemente por rochas do Grupo Caacupé, da Formação Alto Paraná e da Formação Sapucaí. Estes depósitos, possíveis correlatos da Formação Patiño, apresentam em geral pouca coesão; alguns poucos arenitos aparecem como rochas mais consolidadas.

A S da Cidade de La Colmena, foi observado um conjunto de fraturas de direção N 55-60°W, cortando arenitos ricos em seixos. Esta feição sugere uma idade relativamente antiga (pré-Terciária) para estes depósitos, por mostrarem estas fraturas de direção

paralela à dos diques NW. As suas características sugerem tratar-se de depósitos de aluvião e colúvio, depositados em área negativa sujeita a rápida subsidência por motivos de ajuste estrutural.

Um perfil foi levantado ao longo da trilha que parte imediatamente a S da Cidade de La Colmena, com rumo a localidade Potrero Alto. Em partes mais elevadas, ainda na presença destes depósitos, observa-se alta freqüência de seixos (2-10cm) quartzosos, distribuídos no solo à maneira de linhas de seixos. Algo para S deste ponto, são encontrados arenitos conglomeráticos médios a grossos de cor vermelha, cujos seixos (ora arredondados, ora irregulares) são constituídos por rochas regionais (arenitos da Formação Cerro Jhú, diabásios alterados da Formação Alto Paraná e rochas basaltóides alcalinas alteradas, entre outros). Superpostos a estes arenitos, e em parte nos mesmo níveis topográficos, ocorrem arenitos litificados grossos e de cores bege ocre e vermelha, com seixos concentrados em níveis centimétricos.

A maior parte dos afloramentos desta formação, na Folha La Colmena, foram identificados em fotografias aéreas.

As rochas desta unidade, embora ocultas em geral, se destacam por mostrar no campo linhas de seixos, concentradas nas lombadas como remanescentes de erosão; como tal podem ser confundidos, localmente com os afloramentos descontínuos da Formação Paraguari, da qual se destacam pela posição e, principalmente, a litologia constituinte dos seixos. Esta unidade clástica, com características de depósito de talude e idade variável (possivelmente Cretáceo Superior ? a Terciário Médio?),

e neste trabalho correlacionado com as rochas da Formação Patiño, com as quais se correspondem pelas suas feições (litologia, etc.) e significado geológico (ver Capítulo 5).

Depósitos Quaternários

Preenchendo as partes baixas, encontradas principalmente em parte dos Blocos Vale de Acahay e San José, ocorrem depósitos coluviais e aluvionais recentes, constituídos por materiais desde finos (limos, siltes, argilas brancas e ocreas, em parte pozolânicas; Zarza, com. pessoal, 1990) até grossos (seixos arredondados de tamanhos diversos, matacões, etc., derivados das formações presentes na região), que são coletivamente denominados de formações do Quaternário.

CAPÍTULO 4

PETROGRAFIA

Neste capítulo, serão descritos com maior detalhe as várias rochas ígneas e sedimentares mencionadas no capítulo anterior. As características definidas para as rochas sedimentares são aquelas observáveis com a lupa binocular e de campo. Por ser o escopo do presente trabalho principalmente o do levantamento geológico da Folha La Colmena, não são apresentados dados referentes a distribuição granulométrica dessas rochas, ou as que seriam observáveis em seções delgadas, que ainda requereriam preparação por meio de técnicas de impregnação.

Um dos objetivos adicionais do trabalho aqui apresentado é o de definir colocação e natureza das rochas ígneas encontradas na região. Para tal, foram colhidas, nas etapas de campo, mostruários os mais completos possíveis, totalizando perto de 200 amostras de mão; 150 delas foram descritas macroscopicamente e 120 definidas em função do estudo de lâminas delgadas, com o microscópio petrográfico. Embora não se conte com dados químicos para a maioria destas rochas, parece de utilidade uma definição inicial baseada em dados petrográficos, para o universo litológico tão particular instalado na Folha La Colmena. Dados químicos e isotópicos sobre várias destas rochas estão disponíveis em Velázquez (1992), Comin-Chiaramonti *et al.* (1990), Gomes *et al.* (1989) e Bitschene (1987).

A seguir, são descritas em seqüência as rochas sedimentares das várias unidades mapeadas. Em separado, continua-se com a

descrição das rochas ígneas, iniciando-a com a dos granitos e riólitos do Grupo Caapucú e dos vulcanitos da Formação Alto Paraná e finalizando com as referências sobre o variadíssimo conjunto pertencente à Formação Sapucaí.

A localização das amostras descritas aparece indicada nas Figuras 3.1 (rochas sedimentares) e 4.1 (rochas ígneas).

4.1. ROCHAS SEDIMENTARES

São descritas em torno de 80 amostras sedimentares de várias formações mapeadas. Os critérios de classificação utilizados são os citados na literatura (veja-se Suguio, 1980, para informações).

4.1.1. Grupo Caacupé

São fornecidas descrições petrográficas das rochas pertencentes ao grupo citado, também descritas, em parte, em Eckel (1959) e Harrington (1972).

Formação Paraguari. O único afloramento observado com maior detalhe (ver Figura 3.1) mostra conglomerados oligomícticos maciços, de cor branca-bege, com abundância de seixos (>4 mm) e matações, sustentados por uma abundante matriz de areia muito grossa conglomerática (grânulos de 2 a 4 mm). Os clastos maiores, junto com os clastos da matriz, são cimentados por material argiloso; são predominantemente de quartzo ou quartzo de veios. São portanto ortoconglomerados sustentados por areia.

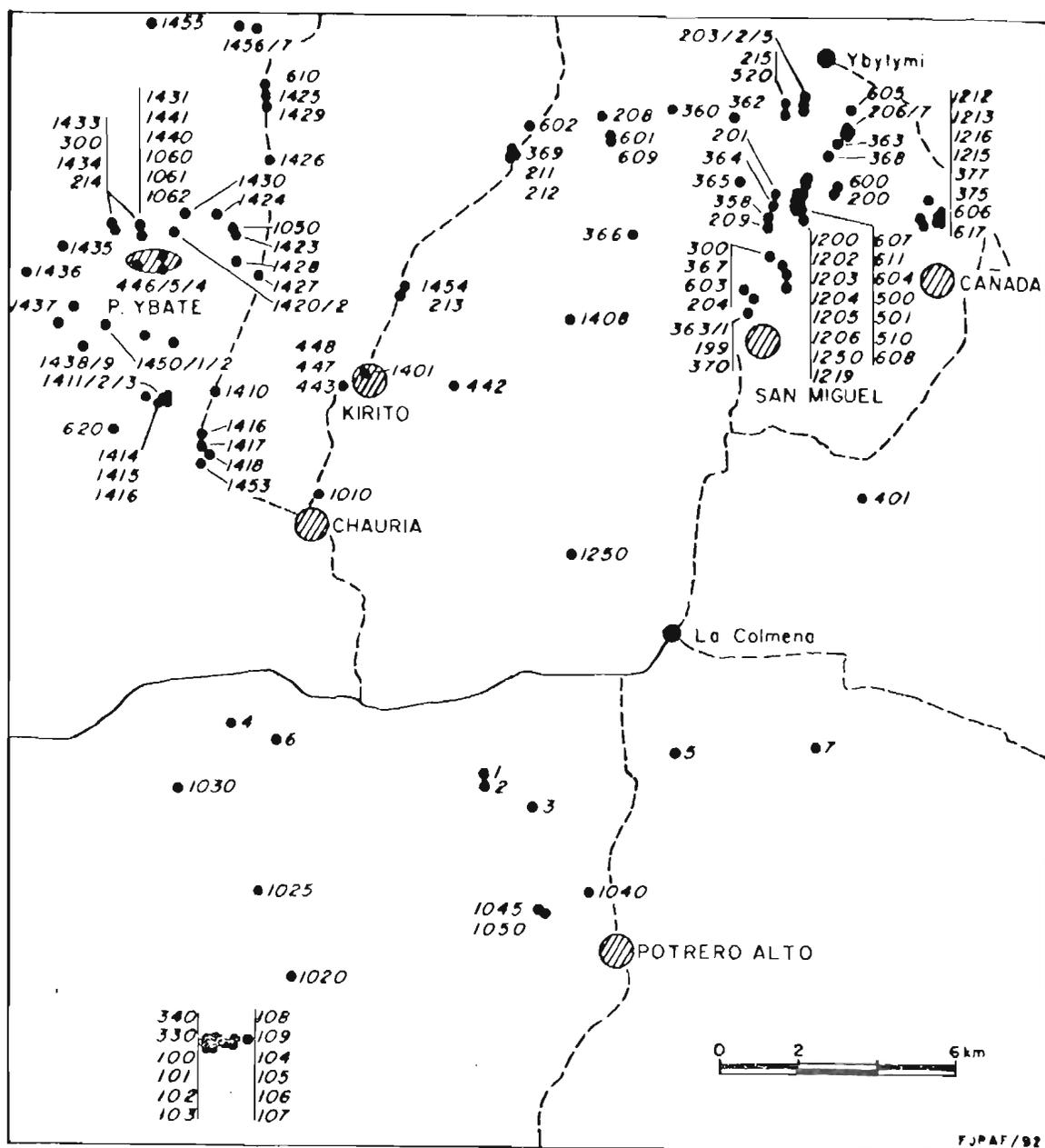


Figura 4-1. Mapa de pontos e de localização de amostras de rochas ígneas, Folha La Colmena.

Formação Cerro Jhú. é a unidade mais espessa e heterogênea do Grupo Caacupé. Predominam, entretanto, os arenitos, variando de finos a muito finos ($\sim 0,125$ mm), até grossos a muito grossos (0,5- ~ 2 mm), os últimos em parte conglomeráticos. As cores, também variadas, são em geral em tons de amarelos, marrons a bege, esbranquiçados a vermelhos. As estruturas são comumente maciças, por vezes estratificadas.

Mineralogicamente, predomina o quartzo, desde bem arredondado a anguloso. O feldspato e os opacos encontram-se em proporções menores apenas em algumas amostras ($\sim 5\%$), o primeiro sempre alterado. São arenitos em geral friáveis; o cimento, pouco abundante, é ferruginoso.

Estes arenitos maduros são classificados como quartzo arenitos a arenitos com quartzo, em alguns casos variando para quartzo arenitos com feldspato.

Formação Tobati. Predominam nesta unidade arenitos friáveis, petrograficamente mais homogêneos que os da formação anterior, maciços a, mais raramente, finamente estratificados, formados predominantemente por clastos de fração areia meia (em torno de 1,0 mm); arenitos diferentes, mais grossos ou mais finos, aparecem em quantidades subordinadas. As cores são esbranquiçadas, com tons amarelados a bege.

Os clastos são quase exclusivamente de quartzo, incolor a esbranquiçado, predominantemente angulosos a levemente arredondados (feição que os diferencia notavelmente dos clastos da Formação Cerro Jhú). Os opacos, pouco frequentes ($< 1\%$), são observados em algumas amostras. O cimento, sempre escasso ou até ausente, é de hidróxido de ferro.

Trata-se de quartzos arenitos mineralogicamente maduros.

4.1.2. Formação San Miguel

A variada litologia encontrada nas Unidades Inferior, Média e Superior desta Formação são descritas a seguir.

Os afloramentos, infelizmente escassos e de qualidade pobre, não permitem maiores requintes na observação de campo e impedem uma coleta sistemática de todos os tipos; referências a sua abundância e classificação devem portanto ser consideradas tentativas.

Unidade Inferior (U1). São encontrados estratos de espessuras decimétricas a métricas, constituídas predominantemente por rochas finas pelíticas e areníticas.

As rochas pelíticas, friáveis, são em parte lutitos (pelitos), de cores avermelhadas escuras a claras. Lamitos, em geral com laminação, são observados em menor quantidade, com matriz predominante argílica, mostrando ainda "clay galls" e frações clásticas mais grossas (clastos de areia fina a média, até 0,5 mm, mais raramente alguns de 1 mm). São reconhecidos argilo-minerais não determinados, quartzo e micas.

Os estratos de arenitos, com estratificação mais grosseira, estão mais compactados, mostrando por vezes marcas de ondulações e sinais de bioturbação (com tubos verticais). As cores são ora claras (cinza esverdeado, bege) ora mais escuras (vários tons de avermelhado). Os clastos dominantes são de areia muito fina (<0,1 mm) a média (< 0,5 mm); raramente, aparecem clastos de areia grossa (em torno de 1 mm). Misturadas, aparecem frações de

silte e argila, em proporções por vezes significativas. A cimentação é por argilo-minerais e óxidos de ferro, em parte também por sílica; mais raramente, encontra-se algum cimento carbonático. Os minerais reconhecidos são quartzo (desde anguloso a arredondado), predominante junto com micas (brancas a incolores), feldspato alterado e argilo-minerais.

Variações de importância local, desviando-se deste padrão, são observados em alguns locais. Na localidade conhecida como Cabacué (SE da cidade de Ybytimí) ocorrem estratos de arenitos finos, avermelhados (cor tijolo), compactados por abundante cimento carbonático, interestratificados com lutitos friáveis avermelhados. Na localidade de San Miguel, poucos quilômetros mais a W, observam-se em níveis estratigráficos equivalentes arenitos finos e siltitos compactos de cor bege a marrom, cimentados por sílica e algo de carbonato; nestes estratos ocorrem lentes de aspecto convoluto.

Os arenitos predominantes são classificados como arenitos mineralogicamente imaturos quartzosos a arcóseos, predominantemente de granulação muito fina a média.

Unidade Média (U2). Melhor reconhecida nos níveis estratigráficos médios, esta unidade está composta principalmente por arenitos heterogêneos, e de granulação média (em torno de 0,5 mm) a grossa (em torno de 1-1,5 mm), de tonalidades claras (esbranquiçadas a bege) a vivas (avermelhadas, em tons de vinho, róseo, etc). As rochas são equigranulares e inequigranulares, aparecendo então com matriz de areia mais fina, e bastante compactadas por influência do cimento argiloso e ferruginoso. Os estratos são de aspecto

maciço; estratificação fina é pouco comum. Composicionalmente, aparecem grãos de quartzo (por vezes, o mineral predominante, arredondado a subanguloso), feldspato (fresco ou alterado), micas brancas a incolores e argilo-minerais, por vezes em abundância.

Trata-se, portanto, de arenitos feldspáticos composicional e texturalmente imaturos.

Unidade Superior (U3). Predominam na unidade as rochas de granulação grossa, com estruturas maciças e pouco compactadas.

São encontrados arenitos grossos a muito grossos, conglomeráticos pela participação de freqüentes grânulos e seixos de vários milímetros, que se alternam com conglomerados polimícticos, mostrando predominância de seixos (4-40 mm) em matriz de conglomerado fino (grânulos de 2-4 mm) e de arenito grosso (> 1 mm). O cimento dos arenitos e conglomerados é ferruginoso e de argilo-minerais.

Os seixos encontrados são de quartzo de veio, de rochas metamórficas xistosas e ígneas alteradas e de rochas sedimentares (arenitos silicificados de cores esbranquiçadas, amareladas a ocres e avermelhadas), alongados-elipsoidais, tablóides, arredondados. Em alguns níveis, aparecem os seixos de quartzo como constituintes únicos ou francamente predominantes. No arcabouço de todas estas rochas, rudáceas ou psamíticas, predomina sempre o quartzo arredondado a subanguloso, acompanhado por feldspato alterado e micas.

As rochas são classificadas, portanto, como arenitos conglomeráticos e conglomerados quartzosos, com feldspato.

4.2. ROCHAS ÍGNEAS

As descrições geológicas gerais, reunidas no Capítulo 3, informam sobre as características geológicas das rochas ígneas presentes na Folha La Colmena, com alguma indicação sobre sua nomenclatura.

Neste capítulo, são discutidas com mais detalhe petrografia, mineralogia e textura destas rochas.

Das rochas ígneas coletadas (perto de 200 amostras, localização na Figura 4.1), aproximadamente 150 foram descritas macroscopicamente. Cento e vinte delas foram laminadas e utilizadas para definições mais pormenorizadas.

As modas foram definidas por meio de contador de pontos, em rochas que mostravam granulação e tamanho suficiente para reconhecimento de minerais ao microscópio. Os resultados são apresentados em várias Tabelas (Tabela 4.1 a 4.7) e lançados em diagramas modais (Figuras 4.2 a 4.8).

Foram adotadas para efeito de classificação as recomendações contidas na literatura, em parte já citadas no item 1.5 sobre Metodologia.

Muitas destas rochas requerem cuidados especiais para sua classificação, seja por estarem inseridas no contexto de uma petrogênese hoje considerada muito específica (por ex., as rochas potássicas, ultrapotássicas e perpotássicas), seja porque a granulação, muito fina, impede precisões maiores ao microscópio. Não seria possível omitir, em todos estes casos, o quimismo como suporte fundamental ou, pelo menos, como

informação adicional para definição dos nomes de rochas.

A classificação aqui apresentada, mesmo sem contar com o aval de informações químicas generalizadas, utiliza a mineralogia e textura para aproximações.

Em seqüência, são descritos os seguintes grupos de rochas da Folha de La Colmena:

- Rochas granitóides e riolitóides do Grupo Caapucú;
- Diabásios da Formação Alto Paraná;
- Rochas vulcânicas e de dique de alcalinas do Potrero Ybaté, com as rochas piroclásticas associadas;
- Rochas potássicas de suposta afinidade lamproítica e as piroclásticas associadas;
- Leucita melafonolitos com olivina (possíveis "cocitos");
- Lamprófiros;
- Traquitos e fonolitos;
- Rochas sienitóides e monzonitóides, encontradas como "plugs" e corpos menores.

Agrupar as rochas ígneas desta Folha por afinidades petrográficas não resulta fácil, por mostrarem muitas das ocorrências uma petrografia singular, freqüentemente não repetida em ocorrências vizinhas; muitas vezes será necessário, então, descrever cada uma destes casos por separado.

4.2.1. Grupo Caapucú

Dois tipos diferentes de rochas foram reconhecidos neste Grupo, os riolitóides e os granitóides, estes últimos considerados intrusivos nos primeiros (ver Capítulo 3).

Riolitóides. São rochas porfiríticas maciças, de cores cinza rósea a avermelhada e alta proporção de fenocristais (>50% em algumas amostras) contidos em matriz muito fina afanítica. Como fenocristais, observa-se quartzo, ambos os feldspatos, biotita e/ou anfibólio verde escuro.

Em lâmina, os fenocristais de plagioclásio (surpreendentemente cálcicos, An40), aparecem como ripas, em parte zonados e com geminação polissintética, apenas levemente deformados. Os de feldspato alcalino, algo alterados, são em alguns casos raramente pertíticos. Ambos feldspatos aparecem por vezes com bordas granofíricas. Os cristais de quartzo são arredondados, em parte com engolfamentos. Os pouco frequentes fenocristais de anfibólio (hornblenda, com plecroísmo de amarelo esverdeado a verde amarronzado) mostra bordas e fraturas cloritizadas; os de biotita, entretanto, aparecem maiormente como pseudomorfos, convertidos em clorita, allanita e opacos. "Ilmenita" aparece como cristais opacos alongados. A matriz é granular fina, com os grãos mostrando contornos poligonais, sugerindo algum reequilíbrio metamórfico; é constituída por quartzo, ambos os feldspatos, anfibólio, apatita e allanita.

Estas rochas são riólitos *s.l.* (Tabela 4.1., Figura 4.2, Fotomicrografia 1).

Granitóides. São rochas de cores róseas, em parte com manchas brancas, de granulação fina a média (~1 mm) a, em alguns casos, grossa. Os minerais reconhecíveis são ambos os feldspatos e quartzo; em algumas amostras, estão acompanhados de biotita.

Ao microscópio, apresentam textura alotriomorfa inequigranular. Os cristais de feldspato alcalino (microclínio),

TABELA 4-1

Dados modais de riolitóides, granitóides e diabásios

Nº	Riolito		Riolito		Granito		Granito		Granito		Diabásio	Diabásio	"Diabásio"
	02		03		01		04		06		1010	1031	1040
Local.	Cord.		Cord.		Cord.		Cord.		Cord.		Chauria	Obi	P.Alto
	FC	M	FC	M									
Oliv.											1,6	1,4	
Cpx											33,7	39,7	22,6
Plag.	6,2		12,0		9,5		4,7		9,0		47,9	45,2	38,9
FA	19,4		17,0		51,6		58,0		53,0		tr	tr	tr
Qzo	14,6		14,6		34,3		37,3		35,0		tr	tr	tr
Biot			2,6*		3,0		tr		2,6				tr
Anf.	2,2												
Opacos			0,2		1,0				0,4		9,4	3,5	10,6
Vidro											7,4	10,2	27,9
Acess.					0,6		tr				tr	tr	tr
%	42,4	57,6	46,4	53,6	100		100		100		100	100	100

* Biotita e anfibólio. Para localização das amostras ver Figura 4-1.

Abreviações: Acess.: acessórios; Anf.: anfibólio; Biot.: biotita; Cpx: clinopiroxênio; FA: feldspato alcalino/potássico; Oliv.: olivina; Plag.: plagioclásio; Qzo: quartzo; tr.: traços.
FC: fenocristais; M: matriz.

Localidades. Cord.: Serrania de Cordillerita; Obi: Cerro Obi; P. Alto: Potrero Alto.

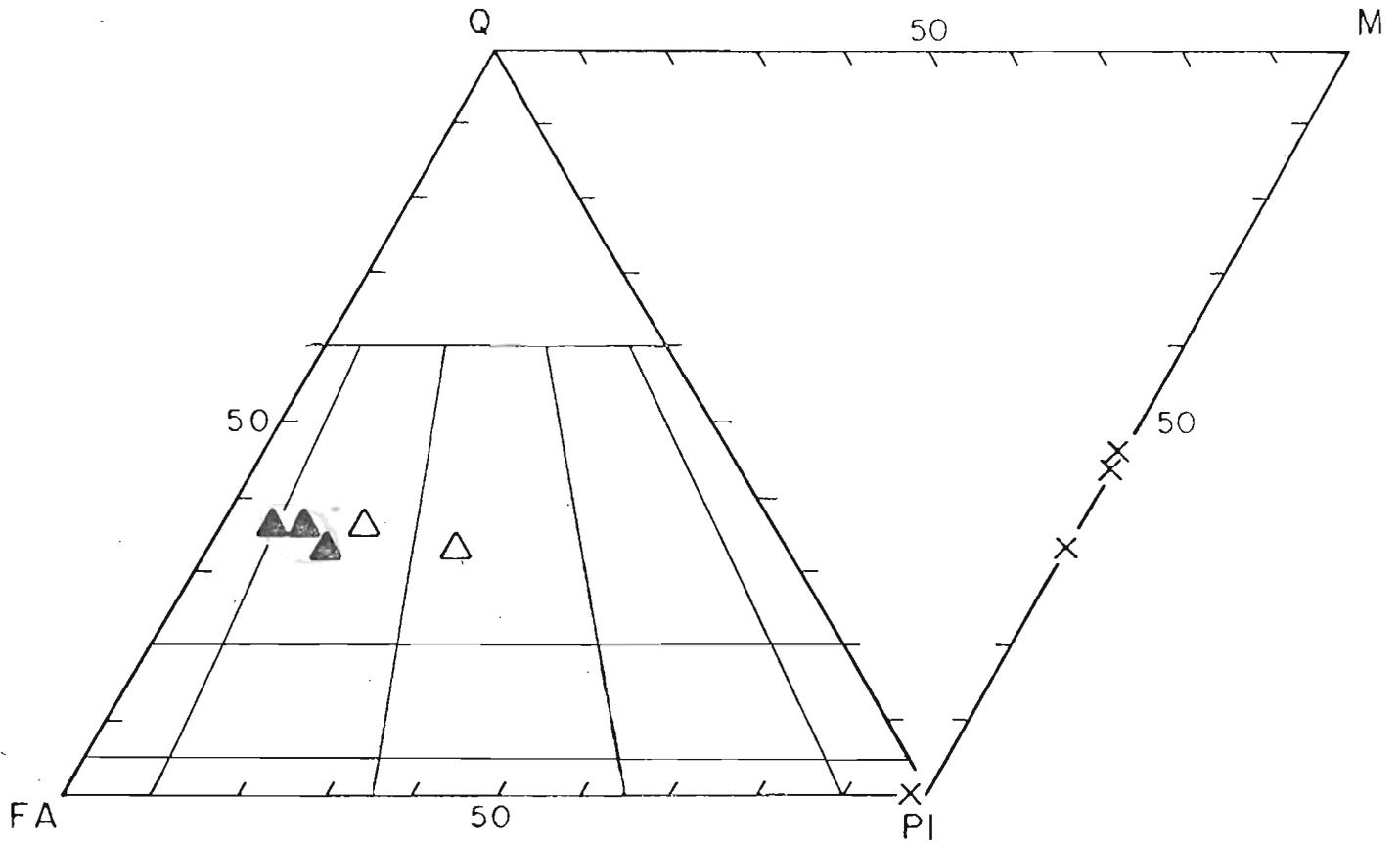


Figura 4-2. Modas de riolitóides e granitóides do Grupo Caapucú e de diabásios da Formação Alto Paraná. Granitóides: triângulos cheios; diabásios: X; proporções de fenocristais, em riolitóides: triângulos vazios. Triângulo modal Q (quartzo)-FA (feldspato alcalino)-P (plagioclásio). No triângulo Q-PI-M (máficos) é representada a quantidade total de minerais máficos encontrada na rocha.

freqüentemente alterados (em caolim, etc.), mostram pertitas anastomosadas ou entrelaçadas (do tipo "braided"). Os cristais de plagioclásio (por volta de An32), mais frescos, são em parte zonados. Os grãos de quartzo são intersticiais e estão intercrescidos com feldspato, formando granófiro; alguns deles tem tamanhos maiores. Como acessórios são observados cristais de biotita marrom, opacos irregulares a retangulares alongados ("ilmenita"), apatita, allanita (secundária e/ou primária) e esfeno (Fotomicrografia 2).

Os dados modais para estas rochas (Tabela 4.1) aparecem lançados na Figura 4.2, onde ocupam o campo dos sienogranitos e dos alcali-feldspato granitos.

4.2.2. Formação Alto Paraná

Estas rochas aparecem na sua maioria formando parte do enxame de diques Potrero (Báez Presser, 1992), mas também como algumas ocorrências isoladas (por ex. no Cerro Obí, ver Anexo A).

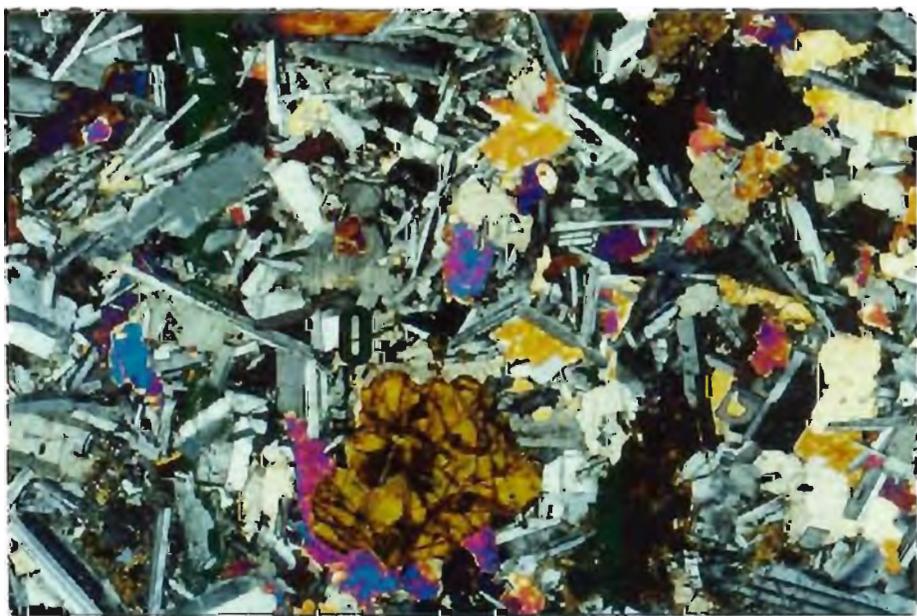
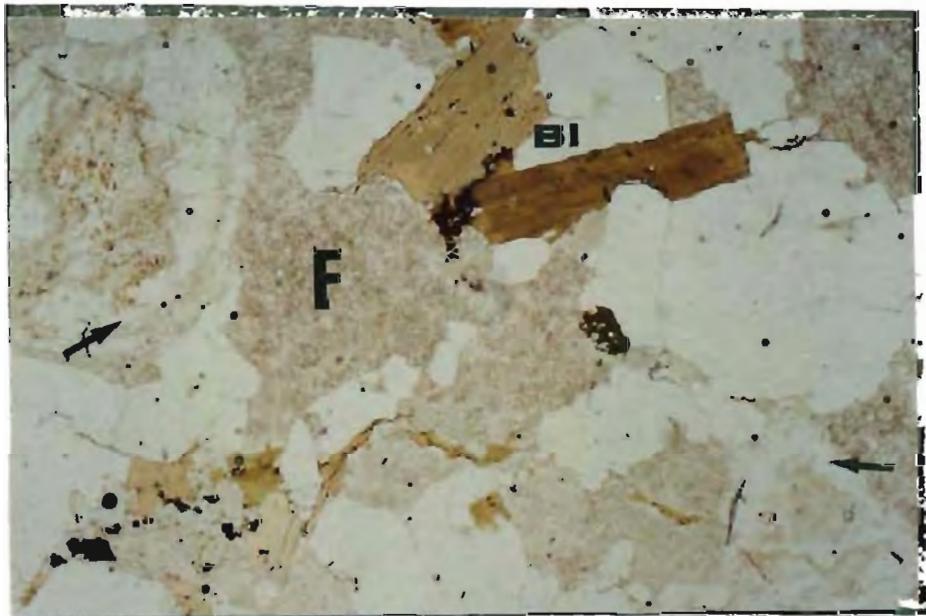
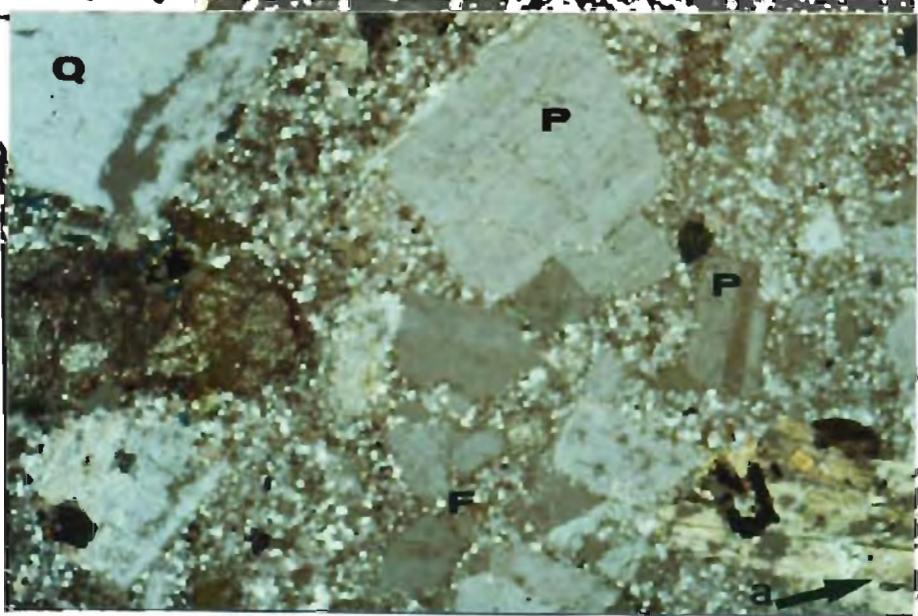
A observação macroscópica diferencia duas variedades. A primeira é a dos diabásios pretos, que são rochas escuras, de granulação média a grossa (2-5 mm), formados por cristais pretos de piroxênio e ripas esbranquiçadas de plagioclásio. A segunda é a dos diabásios cinzas a cinzas claros, de granulação fina e média (em torno de 1 mm), com piroxênio e plagioclásio inseridos em matriz fina.

Ao microscópio (Fotomicrografia 3), o primeiro grupo mostra textura subofítica, com augita rósea (a salmão) e alguns grãos

Fotomicrografia 1. Riolitóide (Grupo Caapucú). Fenocristais de plagioclásio (P), feldspato alcalino (F), quartzo (Q) e anfibólio (a), contidos em matriz mais fina. Amostra CO3. Nícoles cruzados (N X). Dimensão horizontal é 5,5, mm.

Fotomicrografia 2. Granitóide (Grupo Caapucú). Cristais de biotita (Bi) marrom hipidiomórfica, que está acompanhada de cristais de quartzo (incolor), feldspato alcalino (F) alterado e plagioclásio zonado e fresco (assinalado pelas setas). Cristais menores de opacos se agrupam junto a (Bi) (canto inferior esquerdo). Amostra CO1. Nícoles paralelos (N //). Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 3. Textura subofítica no diabásio da Formação Alto Paraná. Ripas de plagioclásio, piroxênio e opacos alotriomorfos, com um cristal de olivina (O1) serpentizada. Amostra C1030. N // . Dimensão horizontal 5,5 mm.



de pigeonita, acompanhados de plagioclásio (An50-65). Olivina aparece como pequenos cristais subidiomórficos convertidos em serpentina.

Minerais opacos aparecem como grãos irregulares. Intersticialmente, aparecem intercrescimentos de feldspato alcalino e quartzo. Apatita encontra-se como agulhas; a biotita, muito acessoriamente, ocorre como lâminas "enroladas".

Os dados modais (Tabela 4.1, Figura 4.2) e as características dos minerais sugere que se trata de toleitos s.s. ou de toleitos andesíticos.

Os diabásios cinzas, ao microscópio, possuem textura subofítica a hialofítica e estão formados por cristais de augita (mais raramente de pigeonita), com cores em tons de verde a salmão, e de plagioclásio cálcico (?), em parte alterados. Vidro alterado e devitrificado ocorre intersticialmente. Acessoriamente, são observados cristais opacos ("ilmenita") e apatita.

Estas rochas, por possuir vidro e ter o plagioclásio algo alterado, não foram classificadas, mas são certamente "basaltos" toleíticos, como os anteriores, algo mais diferenciados.

4.2.3. Rochas basaltóides alcalinas do Potrero Ybaté

Acumulam-se neste campo de topografia pouco acentuada vários tipos de rochas vulcânicas e intrusivas com piroclastos associados. São lavas "basálticas", rochas de dique e condutos piroclásticos, todos caracterizados pelo quimismo potássico (em parte, com afinidade lamproítica).

Lavas "basálticas" com leucita. São encontrados mantos (derrames) de lavas de aspecto basáltico, em parte afíricas, que mostram em alguns casos fenocristais de piroxênio (milimétricos a centimétricos), acompanhados de olivina de cor caramelo e leucita esbranquiçada, colocados em matriz fina. Em alguns blocos, são encontrados também lavas com vesículas preenchidas com zeólitas e carbonato.

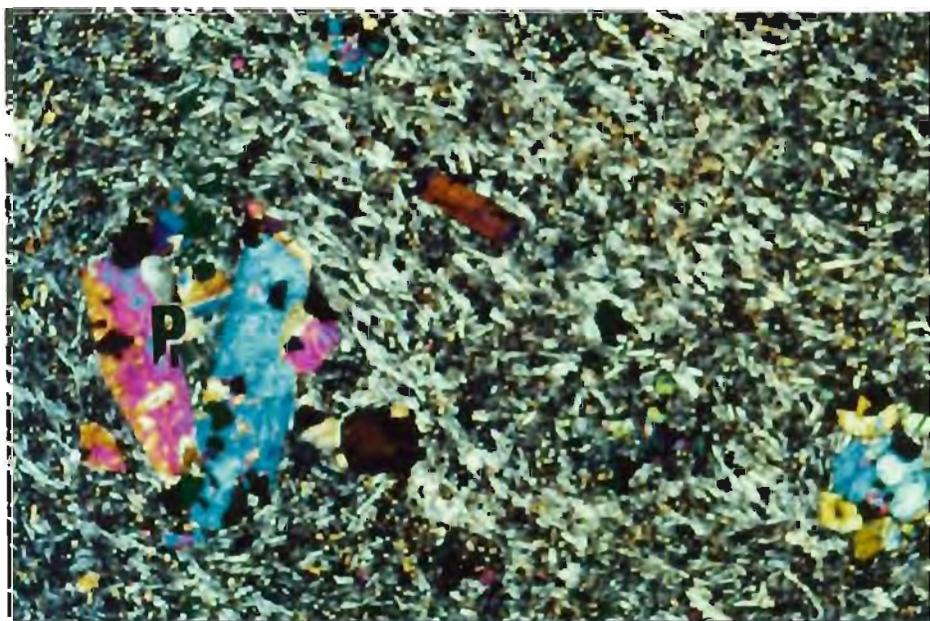
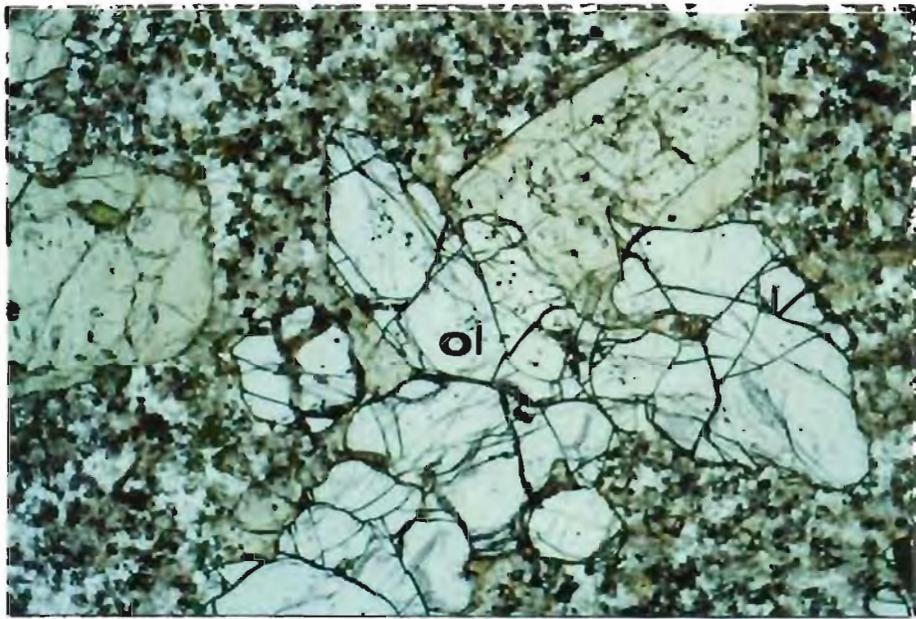
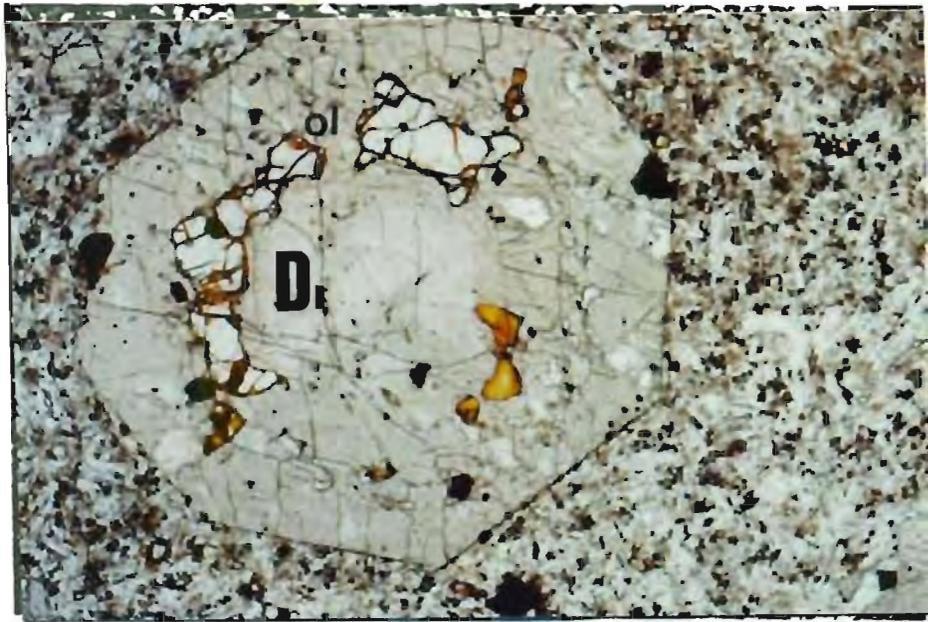
Ao microscópio (Fotomicrografias 4, 5, e 6), estas rochas são de textura porfirítica seriada, localmente glomerulo-porfirítica. Os fenocristais são de augita diopsídica (cristais prismáticos correntemente zonados), olivina (cristais idiomorfos a alotriomorfos, em parte xenocristais, ora frescos com bordas e fraturas convertidas em iddingsita e serpentina, ora totalmente alterados em serpentina e opacos, de composição magnésiana, Fo~90-80), opacos (idiomorfos, geminados a irregulares), "leucita" (como cristais agregados com textura de "frog spawn", total ou parcialmente alterados em analcima e argilo-minerais, reconhecendo-se cristais com fina geminação polissintética). Mais raramente, ocorrem fenocristais de plagioclásio cálcico, comumente agrupados. A matriz é intergranular, em parte hialofítica, muito fina a fina, composta por clinopiroxênio, feldspato alcalino e plagioclásio cálcico (An65-42), opacos ("magnetita"), "leucita" e vidro alterado; acessoriamente, observa-se biotita, apatita, carbonato (secundário ?) e, raramente, anfibólio alcalino e nefelina.

Dados modais (Tabela 4.2) foram obtidos para as proporções relativas de vários minerais fenocristalinos e, em alguns casos, para a rocha total. A escassa quantidade de olivina caracteriza

Fotomicrografia 4. Basaltóide do Potrero Ybaté (tetri-fonolito). Fenocristal de piroxênio, com inclusões parcialmente alteradas de olivina (O1), em matriz com feldspatos, piroxênio e opacos. Amostra C1454. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 5. Basaltóide do Potrero Ybaté. Enclave (cognato?) ultramáfico, com piroxênio e olivina (O1), com outros fenocristais, em matriz formada por piroxênio, opacos e feldspatos. Amostra C1450. N //. Dimensão horizontal 1,4 mm.

Fotomicrografia 6. Textura localmente orientada em basaltóide do Potrero Ybaté. Glomérulos de piroxênio (Pi) e opacos, em matriz com piroxênio, opacos e feldspatos. Amostra C1420. Dimensão horizontal 5,5 mm.



estas rochas, *sensu lato*, como "basaltos" alcalinos tetríticos que se localizam mais no campo dos tefri-fonolitos; o alto teor de potássio permite também considerá-los como integrantes da série das traquibasaltos (cf. Wilkinson, 1974).

Diques de "basaltóides" com leucita. Estes diques, contendo rochas porfíricas similares às acima citadas, cortam tanto os "basaltos" alcalinos como os condutos piroclásticos e as rochas sedimentares.

Petrograficamente, apresentam-se estas rochas com a mesma mineralogia das lavas "basálticas" com leucita. São comuns os fenocristais de augita diopsídica, olivina, opacos e leucita, e raros os de plagioclásio cálcico, contidos em matriz fina composta por clinopiroxênio, opacos, plagioclásio, feldspato alcalino, leucita e vidro alterado; como acessórios aparecem biotita (em alguns muito abundante) e apatita.

Dados modais totais e parciais de algumas amostras estão registrados na Tabela 4.2. Em diagramas modais (Figura 4.3), aparecem as rochas nos campos dos **tefri-fonolitos e traquitos com feldspatóides**, apresentando afinidades com os traquibasaltos.

Rochas piroclásticas associadas. Estas rochas ocorrem como extensos mantos claramente reconhecidos na vizinhança do córrego Caañabé. Estão alteradas, mostrando caracteristicamente cores arroxeadas a vermelhas vinho escuro.

Predominam os depósitos mais grosseiros, com clastos que variam do tamanho cinza ao de lapilli, localmente atingindo tamanhos de blocos, de lava vesicular. São angulosos a irregulares; pisolitos são encontrados como clastos menores. A

TABELA 4-2
Dados modais de basaltóides alcalinos do Potrero Ybaté

	1411		1412		1413		1414		1415		1420		1422		1423	
	FC	M	FC	M	FC	M										
Oliv	10,5		10,8		17,7		4,7		10,0		0,4		1,2		1,4	
Cpx	16,6		25,7		15,0		22,9		18,1		6,9	21,5	7,3		18,4	18,3
Biot																
Foide ^a	30,3						7,5					10,2 ^b	tr			14,9 ^d
FA												25,0				12,8
Plag												26,2				19,3
Opac	3,4										1,0	8,8	3,1			14,9
Vidro												tr				tr
Acc																
%	60,8	39,2	36,5	63,5	32,7	67,3	35,1	64,9	28,1	71,9	8,3	91,7	11,6	88,4	19,8	80,2
Mf												38,6				53,0

FC: fenocristais; M: matriz; a: geralmente "leucita"; b: incluindo vidro e/ou alteração; c: diques (as demais rochas são supracrustais). Todas as amostras são do Protero Ybaté. Mf: máficos

Para localização das amostras, ver Figura 4-1.

TABELA 4-2. Continuação

	1424		1425 ^c		1426 ^c		1427		1431		1433		1434		1435	
	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M
Oliv	9,5	7,1	1,4		0,7	1,4	3,5		0,6		4,9	0,5	1,6		1,9	3,8
Cpx	10,9	8,4	3,0	18,0	26,2	19,3	24,8	4,4	20,2		21,8	9,4	8,9		6,5	13,8
Biot		tr		7,0		3,4		2,3				1,1				
Foide ^a		6,6		9,5 ^b		6,9		10,6			8,4	11,1			1,9	19,5 ^b
FA		31,7		48,2		20,0		12,0				19,5				27,2
Plag		15,8	3,5	5,9		10,3		8,2				8,2	4,3			11,9
Opac	3,1	4,9	3,0	0,5	4,0	7,8		9,5		1,3	9,6	5,5	2,9		1,6	11,9
Vidro		tr		tr				18,6				tr				
Acc																
%	23,5	76,5	10,9	89,1	30,9	69,1	34,4	65,6	22,1	77,9	44,7	55,3	17,7	82,3	11,9	88,1
Mf	43,9		32,9		62,8		44,5				52,8				39,5	

TABELA 4-2. Continuação.

	1437		1439		1450		1451		1452		1453		1454		1455	
	FC	M														
Oliv			4,7		0,9	1,8	3,3		1,0		3,2		9,9	6,2	8,0	
Cpx	9,6		22,3	11,2	6,4	21,1	15,9		10,2		30,9		15,5	20,2	29,8	
Biot				2,1										1,0		
Foide ^a	13,7		3,0	5,6	0,5	17,0			24,6		6,1			1,0		
FA				39,2		28,2								36,7		
Plag				7,7		8,0								5,4		
Opac	3,6			4,2	3,8	11,5			1,6					4,1		
Vidro				tr										tr		
Acc						0,8										
%	26,9	73,1	30,0	70,0	11,6	88,4	19,2	80,8	37,4	62,6	40,2	59,8	25,4	74,6	37,8	62,2
Mf			44,5		46,3								56,9			

TABELA 4-2. Continuação

	1457		1436	
	FC	M	FC	M
Oliv	6,3		5,5	
Cpx	35,3		19,4	
Biot				
Foide ^a	3,1			
FA				
Plag				
Opac			1,7	
Vidro				
Acc				
%	44,7	55,3	26,6	73,4
Mf				

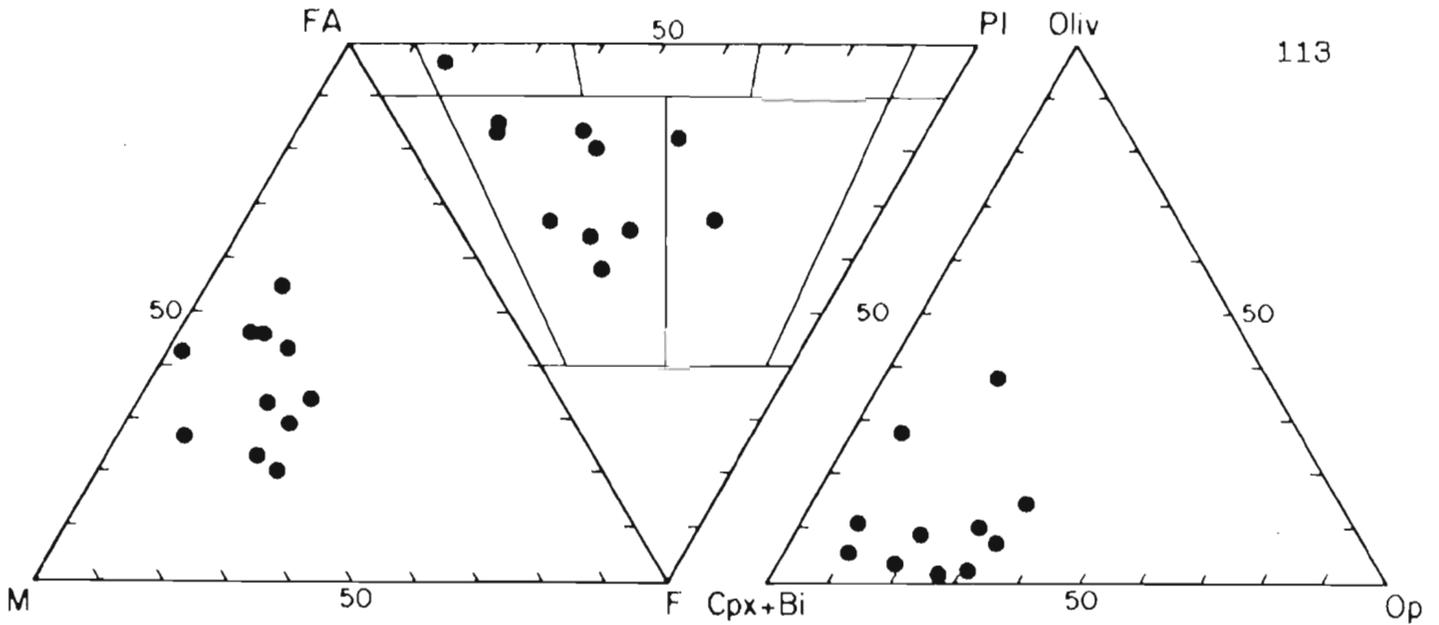


Figura 4-3. Modas de basaltóides alcalinos do Potrero Ybaté. Triângulos FA-Pl-F (feldspatóide), FA-F-M e Ol (olivina)-Cpx+Bi (clinopiroxênio +biotita)-Op (opacos). M é a quantidade total de minerais máficos. Ver também legenda da Figura 4-2.

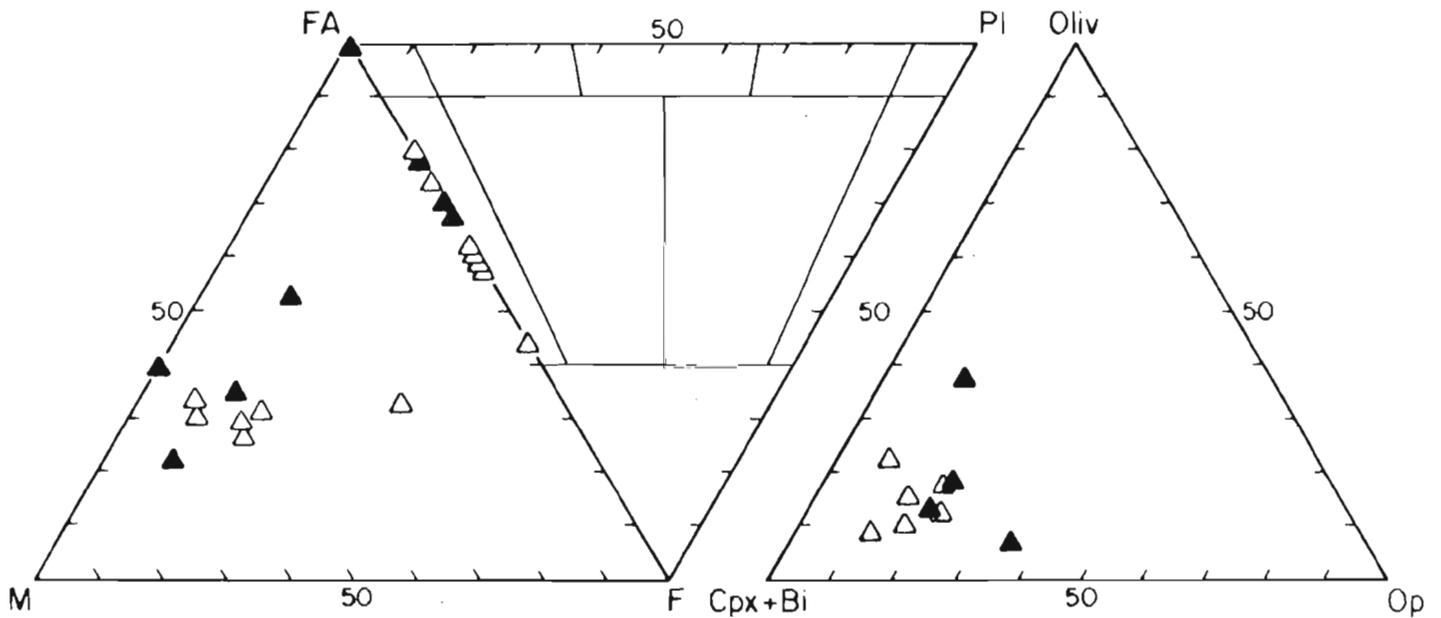


Figura 4-4. Moda de rochas de afinidade lamproítica e de leucita melafonólitos. Afinidade lamproítica: triângulos cheios; melafonólitos: triângulos vazios. Ver também legendas das figuras 4-2 e 4-3.

proporção da matriz de cinza é variável, por vezes predominante. Estas rochas são "tefra" de lapilli aparecendo como camadas de estratificação grosseira (Fisher & Schminke, 1984; Ulbrich, 1986).

Nos clastos, em particular nos fragmentos de rocha (C. 1411 a 1415) reconhecem-se piroxênio, olivina, opacos e leucita, colocados em matriz muito fina intergranular com clinopiroxênio, feldspato alcalino, plagioclásio, leucita, com alguma apatita e biotita. Estes fragmentos são, portanto, inteiramente semelhantes aos "basaltos" alcalinos previamente descritos, aos quais estão associados.

4.2.4. Rochas potássicas de afinidade lamproítica

Estas rochas são encontradas formando "plugs" e condutos piroclásticos. Um primeira divisão diferencia 2 tipos, as rochas portadoras de leucita, e as que apresentam olivina, o primeiro encontrado em "plugs" e o segundo como condutos piroclásticos e alguns diques.

O "plug" Nande Yara Gracia. Com uns 200 m de diâmetro, é constituído por rochas de cor cinza escura, com abundantes cristais e glomérulos de leucita (> 1 mm), esbranquiçados a esverdeados, acompanhados de fenocristais menores de piroxênio e olivina, junto com pequenas amígdalas de zeolita.

Ao microscópio (Fotomicrografias 7, 8 e 9), os fenocristais de leucita mostram centros incolores com fina geminação polissintética, que formam cristais agregados ("frog spawn"), englobando cristais de diopsídio púrpura (prismático a

esquelético, zonado com o centro incolor e bordas púrpura marcado a róseo, com pleocroísmo Y = púrpura e/ou róseo forte a Z = róseo amarronzado), diopsídio (incolor a verde fraco, zonado), olivina (cristais serpentinizados), opacos prismáticos a ariculares com bordas de cor vermelho amarronzado (priderita ?) e prismas de apatita. Outros fenocristais são de olivina (alterada em serpentina), opacos (idiomorfos a irregulares), e mais raramente diopsídio (prismas algo zonados).

A matriz fina é intergranular (com marcado idiomorfismo dos cristais) a hialofítica, composta por diopsídio, opacos cúbicos e outros não identificados, sanidina, vidro alterado intersticial e alguma leucita. Acessoriamente, se reconhecem flogopita, apatita e diopsídio púrpura-róseo (alguns cristais com borda de egirina ?).

Dados modais são encontrados na Tabela 4.3. No diagrama modal, aparece no campo dos leucita fonolitos (Figura 4.4).

As recomendações sobre a classificação das rochas potássicas e em particular dos lamproitos (Scott-Smith & Skinner, 1984a; 1984b; Jacques *et al.*, 1984; Mitchell, 1985, 1989; Mitchell & Bergman, 1991) variam de autor para autor, em parte porque as rochas são incomuns, e também porque cada província de rochas potássicas e lamproíticas apresenta particularidades mineralógicas que não se repetem em outras províncias. Sugere-se então como base para a classificação a abundância modal dos minerais (ver discussão em Mitchell e Bergman, 1991). A rocha descrita, desta forma, mostra uma mineralogia parecida a um leucita-diopsídio-sanidina-olivina "lamproito" ("cedricito", ver também Baéz Presser, 1991, 1992).

Fotomicrografia 7. Piroxênios em glomérulos de fenocristais de leucita, em rocha de afinidade lamproítica. Piroxênio róseo-amarronzado zonado junto com opacos prismáticos e aciculares (rutilo?, priderita?) (ver seta). Amostra C300, "plug" Nande Yara Gracia. N //. Dimensão horizontal 1,4 mm.

Fotomicrografia 8. Detalhe de piroxênio, mesma amostra da foto anterior. Piroxênio de cor rósea marcada, com borda verde intenso (egirina?) numa extremidade (ver seta), à qual se adiciona lamela de biotita-flogopita (?). Dimensão horizontal 0,7 mm.

Fotomicrografia 9. Opacos e textura de arrefecimento, mesma amostra da foto anterior. Opaco prismático com borda (mais fina) de cor marrom avermelhado, levemente pleocrônica (rutilo?, priderita?). As finas agulhas de apatita (ver seta) sugerem resfriamento muito rápido na última etapa de colocação da rocha. N //. Dimensão horizontal 0,35 mm.

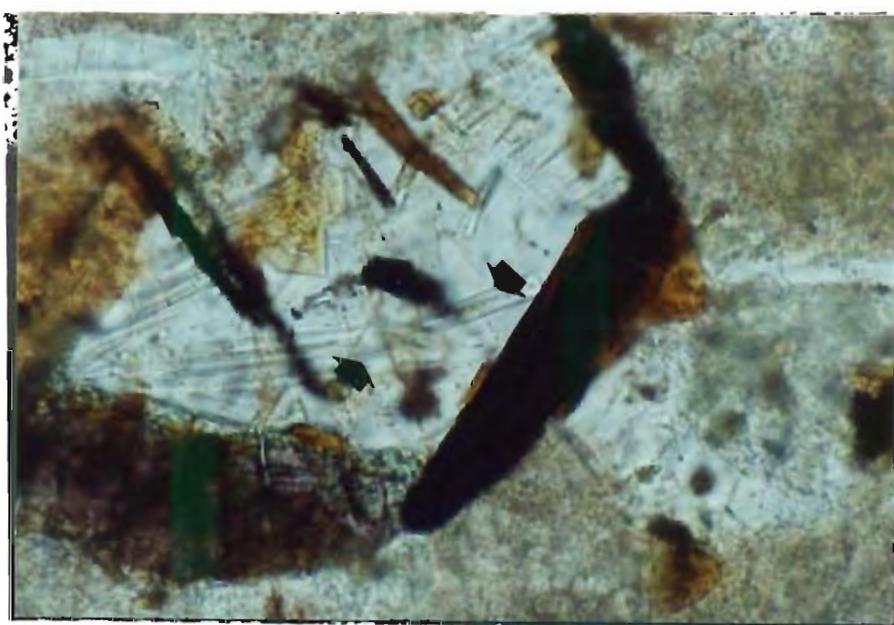
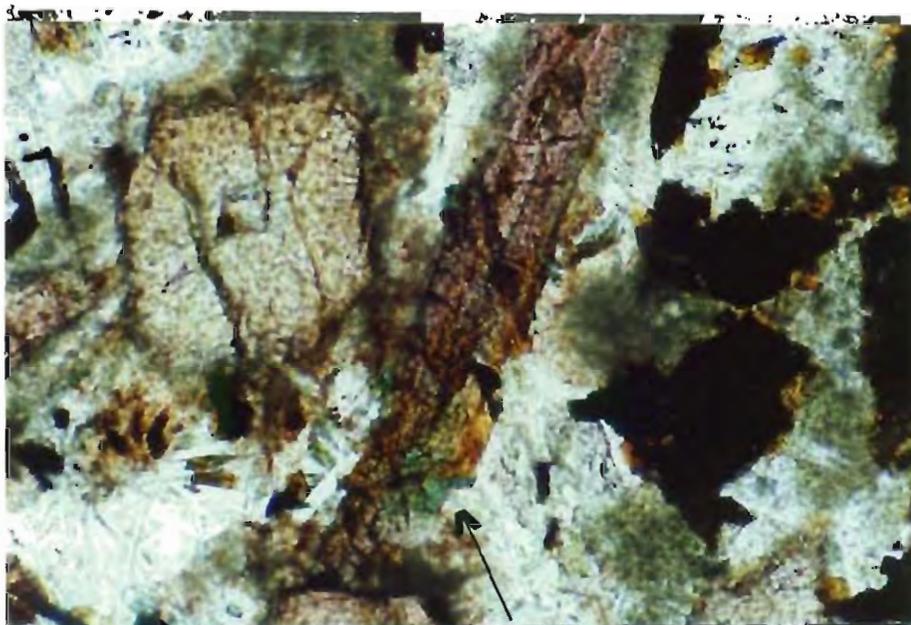
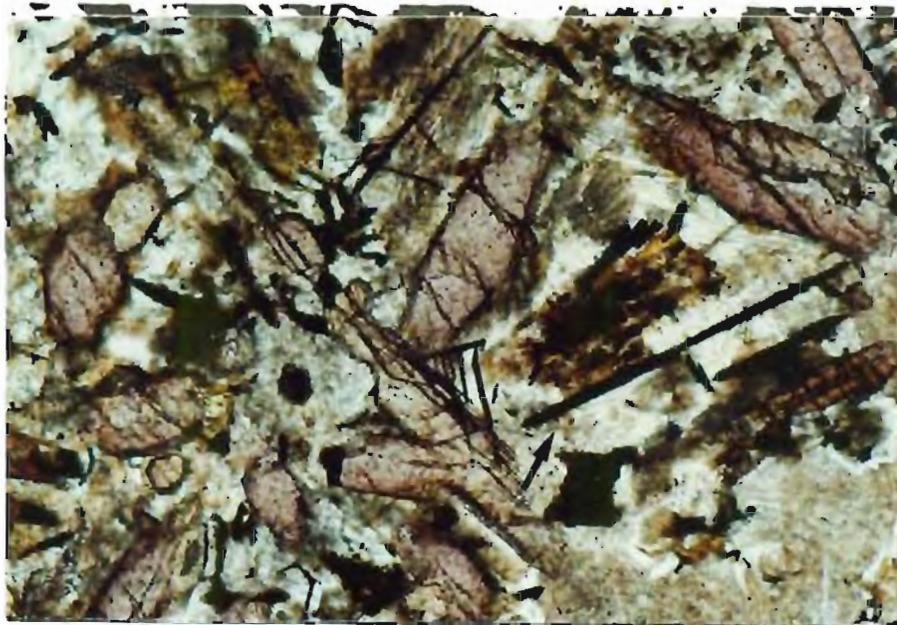


TABELA 4-3
Dados modais de rochas de afinidade lamproítica e melafonolitos

Nº	300B		1401		330		340		1428		300A		360		361	
	ÑYGr		Kristo		S.José		S.José		Ybaté		S.Miguel		Ybyt.		Ybyt.	
Local	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M
Oliv	5,4	tr	3,3		1,0		0,8		10,8	2,0	1,0		4,6		3,4	1,8
Cpx	0,7	17,0	16,2		20,0		33,4		24,2	13,1	14,0		25,2		21,6	16,4
Bio		1,3	0,4							2,4						
Foide ^a	44,3	tr					6,4		2,1	7,5	9,0		2,8		10,6	7,9
FA		19,7								33,5						29,3
Vidro		4,0								tr						tr
Opac	0,9	5,4			3,6					4,3			5,0		3,0	5,5
Acc		1,3														
%	51,3	48,7	19,9	80,1	24,6	75,4	40,6	59,4	37,1	62,9	24,0	76,0	37,6	62,4	38,6	61,4
Mf	32,0								56,8							52,2

a: geralmente "leucita"; b: dados de cocitos de Wagner e Velde (1986); FC: fenocristais; M: matriz; Mf: máficos.

Localidades: ÑYGr: Ñande Yara Gracia; Ybyt.: Ybytymí; Yzu I: Ybytyruzú (à leste da Folha La Colmena).

As amostras 300B, 1401, 330, 340, 445, 342b, 342c e 1439 são de rochas de afinidade lamproítica; as demais são de melafonolitos. Localização das amostras na Fig. 4-1.

TABELA 4-3. Continuação

Nº	362		363		364		367		368		369		375		445	
	Ybyt		Ybyt		Ybyt		Ybyt		Ybyt		Ybyt		Ybyt		Dú 1	
Local	FC	M														
Oliv	7,2		3,8		1,9		4,0	1,0	6,0		5,6		4,0	4,0	1,0	2,0
Cpx	19,8		38,0		24,5		28,0	12,0	6,8	15,2	15,4	14,6	31,2	7,0	11,0	15,0
Bio							4,0	3,0				2,8			1,0	
Foide ^a			12,1				10,0	0,6	42,7		20,6		19,0		tr	
FA							30,4		22,3		31,3		26,8		40,0	
Vidro																
Opac	0,4				0,6		2,0	5,0	7,0		1,9	7,8	1,0	7,0	3,0	14,0
Acc																13,0
%	27,4	72,6	53,9	46,1	27,0	63,0	48,0	51,0	55,5	44,5	43,5	56,5	55,2	44,8	16,0	84,0
Mf							59,0		35,0		48,1		54,2		60,0	

TABELA 4-3. Continuação

Nº	342b		342c		1439		111b		111b	
	Eladio		Eladio		Dú-2		Yzu-I		Vietnam	
Local	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	Vietnam	
Oliv	30,0		16,2	7,9	4,7	1,9	3,0		19	20
Cpx	6,0		4,6	27,8	22,3	10,2	19,6		30	27
Bio				2,6		1,6			7	1
Foide ^a				10,8	3,0	12,4	6,2			7
FA				23,2		34,6			39	40
Vidro				tr						
Opac	tr		1,0	6,9	tr	9,3			5	4
Acc				tr		tr				
%	36,0	64,0	21,8	79,2	30	70	29	61		
Mf			67,0		50,0				61	52

O conduto piroclástico Dú 1. Mostra uma facies piroclástica e uma hipoabissal (Figura 3.5) (para analogias, ver Smith & Lorenz, 1989; Mitchell, 1989; Mitchell & Bergman, 1991). Na primeira, pouco exposta, observa-se uma rocha alterada de cor bege a bege ocre, compacta, formada por fragmentos polimícticos angulosos a arredondados, que variam de alguns milímetros (lapilli fino) a submétricos (blocos de rocha vulcânica maciça), sustentados por matriz fina (<2 mm) de cinza alterada e de areia grossa. Também ocorrem fragmentos de cristais máficos (por ex., diopsídio verde, flogopita e olivina alterada), oólitos e pisolitos ferruginosos, e seixos de quartzo de veios. São tufitos epiclásticos de lapilli, tufo-brechas epiclásticas e, localmente, brechas vulcânicas epiclásticas (Fischer & Schmincke, 1984).

As rochas expostas da facies magmática (Smith & Lorenz, 1989) ou hipoabissal (Mitchell & Bergman, 1991) são de cor marrom vermelha vinho, algo alteradas, com abundantes fenocristais de piroxênio, flogopita e olivina alterada, acompanhadas de vesículas preenchidas por zeolita e algo de carbonato, com matriz fina.

Ao microscópio (Fotomicrografia 11), observa-se que os fenocristais de piroxênio (diopsídio) são idiomorfos e fracamente zonados. Os de flogopita apresentam um centro fortemente pleocróico e bordas alteradas, algo mais escuras. Os cristais de olivina, idiomorfos (fenocristais) e alotriomorfos (xenocristais ?), estão totalmente serpentinizados; os cristais de opacos são idiomorfos a alotriomorfos, alguns deles com áreas e bordas de cor vermelha amarronzada a "laranja" forte,

levemente pleocrômico ("priderita"?). Nas vesículas ocorre zeolita fibrosa incolor; o centro, por vezes, é preenchido por carbonato. A matriz, intergranular fina (com marcado idiomorfismo de alguns minerais, ~0.1 a 0,3 mm), é composta por abundante sanidina, opacos (cúbicos e "ilmenita") com dimensões de microfenocristais e diopsídio; acessoriamente ocorrem a apatita e flogopita.

Dados modais são encontrados na Tabela 4.3. No diagrama APF a rocha é representada no campo dos traquitos, e mostra mineralogia semelhante a um sanidina diopsídio olivina "lamproito".

O conduto Dú 2. Neste conduto foi somente reconhecido a facies magmática, pobremente exposta no leito do córrego que o corta. Ocorrem rochas de aspecto lamprofírico com fenocristais hexagonais de flogopita, prismas de piroxênio (até de 5 mm), e olivina alterada de cor avermelhada (milimétrica) junto com abundantes vesículas irregulares (com preenchimento zeolítico). Ocorre ainda um delgado dique, de aspecto similar (textura lamprofírica com fenocristais de flogopita e piroxênio). Os fenocristais de piroxênio (diopsídio) são idiomorfos e zonados; os de flogopita apresentam-se com bordas corroídas com coroas de opacos. Os cristais de opacos são idiomorfos e pelo comum estão interpenetrados. São também visíveis vesículas (com zeolitas fibrosas). A matriz é intergranular fina, localmente hialofítica, composta por sanidina muito alterada, diopsídio, microfenocristais de olivina (serpentinizada), e opacos ("magnetita" e "ilmenita"); intereticionalmente ocorrem leucita (?) e vidro alterado; já como acessórios são vistos apatita e

raros prismas de um opaco não identificado (priderita ?).

Dados modais parciais desta rocha aparecem na Tabela 4.3.

O conduto piroclástico Kristo. Neste conduto são encontrados a facies piroclástica e a magmática. A piroclástica, com melhores exposições que nos casos anteriores, mostra rochas de cores marrom escura a marrom vermelha vinho, alteradas. São encontrados tanto depósitos com predomínio de clastos angulosos de lapilli, vesiculados, em matriz cinza alterada (**tufitos de lapilli**), como outros com abundantes clastos pisolíticos de lapilli acompanhados de blocos vesiculados centimétricos sustentados por matriz de cinza alterada (**tufo-brecha**) (ver Fischer & Schmincke, 1984). Nos fragmentos juvenis, reconhecem-se fenocristais de piroxênio e olivina (alterada) e, mais raramente, de mica (flogopita ?).

As rochas da facies magmática aparecem como blocos de rocha vulcânica escura, maciça e porfirítica, com fenocristais de piroxênio verde escuro e olivina alterada; são também encontrados pequenos enclaves peridotíticos alterados e diminutas amígdalas com zeólitas. A matriz, fina, é de aspecto basaltóide. Inclui-se esta ocorrência no conjunto das que são tidas como de afinidade "lamproítica", pela semelhança petrográfica, localização geográfica e a presença tanto de rochas da facies piroclástica como da magmática numa estrutura de conduto de forma lobulada (ver Capítulo 3).

O conduto piroclástico Don Eladio 1. Não são encontrados afloramentos de rochas piroclásticas, mas num furo feito para água (~7 m de profundidade), reconheceram-se sedimentos compostos por seixos, areia grossa a fina, argila ferruginosa e

concreções de material ferruginoso, mostrando um conjunto de minerais pesados característicos de lamproitos (ortopiroxênio, clinopiroxênio, vários tipos de "piropo", de "espinélios" opacos e de zircões, "turmalina" arredondada, um possível titanato e "diamante"); supõe-se então que estes sedimentos representam **sedimentos piroclásticos**. Ocorrem ainda blocos de uma rocha vulcânica escura, com abundante olivina (20%) de cor vermelho a esverdeado, com microfenocristais (< 1 mm) idiomorfos e megacristais (~3 mm), os últimos mais tipicamente alotriomorfos ("xenocristais"), acompanhados de alguns fenocristais de piroxênio (6%) verde escuro. A matriz, de aspecto basáltico, é muito fina.

Os diques que cortam a estrutura (Figura 3.6) aparecem como blocos de uma rocha vulcânica muito escura, com abundantes fenocristais de olivina idiomorfa a alotriomorfa (milimétrica) acompanhados de fenocristais idiomorfos de piroxênio verde, idiomorfo. A matriz é muito fina.

Ao microscópio (Fotomicrografia 10), a rocha mostra microfenocristais (<1 mm) de olivina serpentinizada e megacristais (>1 mm) de olivina fresca, cortada por veios de serpentina, assim como também xenocristais do mesmo mineral (com extinção ondulante), junto com fenocristais de diopsídio fracamente zonado e idiomorfo e cristais de opacos alotriomorfos, alguns com zonas e bordas de cor vermelho amarronzado (priderita?). A matriz é intergranular fina (com marcado idiomorfismo dos cristais máficos), estando formada por cristais poiquilíticos de sanidina, que engloba cristais de diopsídio, opacos (quadráticos, retangulares a hexagonais),

biotita-flogopita, e "leucita"; o vidro é intersticial e alterado, com abundante apatita acicular.

Dados modais desta rocha são encontrados na Tabela 4.3 (ver também Figura 4.4), mostrando a composição de fonolito, pela sua afinidade lamproítica, seria semelhante a um olivina-diopsídio-sanidina "lamproito".

O conduto piroclástico Yby. Mostra blocos de uma rocha muito alterada de cor vermelha vinho, com marcado aspecto lamprofírico, com predominantes cristais idiomorfos de flogopita alterada, acompanhados de pseudomorfos arredondados a prismáticos de possível olivina e piroxênio primários. A matriz é totalmente alterada (em argilominerais).

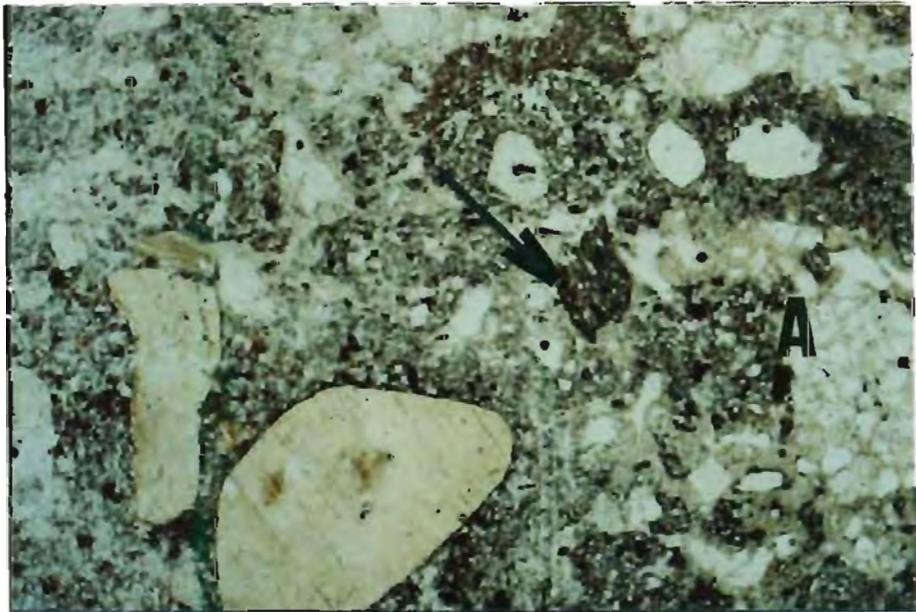
O exame petrográfico (Fotomicrografia 12), mostra textura clástica, com fragmentos magmáticos do tamanho de cinzas rochas porfirítica com fenocristais de flogopita fortemente deformada e algo alterada, pseudomorfos de olivina idiomorfa a alotriomorfa (fenocristais proeminentes), e pseudomorfos de piroxênio prismático. A matriz apresenta-se argilizada, na qual são reconhecidos prismas opacos, em parte avermelhados-amarronzados (priderita?). Enclaves argilosos de arenitos e xenocristais de quartzo são também reconhecidos entre os fragmentos clásticos.

Nos condutos Dú 1, Don Eladio 1, Kristo, na rocha do Yby e no solo do "plug" Nande Yara Gracia, foi feito o reconhecimento da associação dos minerais pesados. Foram identificados: ortopiroxênios (verde maçã, laranja, marrom); clinopiroxênios (verde esmeralda, verde folha); espinélios (cristais magnéticos a paramagnéticos, alguns como perfeitos octaedros); "turmalinas" (cristais arredondados com brilho "gelo" de cores marrom escura

Fotomicrografia 10. Olivinas em rocha de afinidade lamproítica. Glomérulos de olivinas (O1) de hábito prismático e crescimento irregular, sugerindo cristalização sob condições de arrefecimento (ver também Mitchell e Bergman, 1991). Na matriz, sanidina, opacos, piroxênio e feldspatóide isótropo (leucita ?) (áreas escuras). Amostra C442b, "pipe" Don Eladio. N X. Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 11. Fenocristais em rocha de afinidade lamproítica. Diopsídio (Di), olivina (O1) alterada, flogopita (F1) de bordas reabsorvidas, e amígdalas com zeólitas (ver setas), em matriz com feldspato alcalino, piroxênio e opacos vários. Amostra 445, "pipe" Dú 1. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 12. Brecha polimíctica, "pipe" Yby. Cristais de flogopita (amarelados), clastos de arenito (A) e quartzo (incolor) e fragmentos de rocha vulcânica (agregados mais escuros, ver seta), em matriz alterada. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.



a esverdeada); zircões (cristais prismáticos a arredondados, fragmentos de cristais idiomorfos, incolores a fracamente lilás); granadas (com formas angulosas a algo arredondadas, de cores róseo vivo, vermelho, laranja-vermelho, amarelados, amarronzados); rutilo (opacos ? a transparentes); sulfetos (alguns cúbicos); "lucasita" (?); e cristais de possíveis diamantes (Fotografia 10). A importância do estudo da **suite** de minerais pesados pode ser avaliada consultando os trabalhos de Fipke (1991) e Báez Presser (1992) (e referências aí citadas).

4.2.5. Leucita melafonolitos ("cocitos")

As rochas descritas sob esta denominação são os tipos mais abundantes encontrados no **enxame de diques Ybytymí**. São rochas de cor escura (cinza a preta, amarronzadas quando alteradas), de marcado aspecto lamprofirico, com fenocristais de piroxênio preto subcentimétrico a centimétrico, e leucita esbranquiçada a amarelada, acompanhados de olivina (fresca a algo alterada) e, raramente, também com biotita. A matriz é afanítica ou de granulação fina.

Rochas deste tipo aparecem também como uma intrusão, rica em enclaves arredondados de rochas vulcânicas e plutônicas alcalinas.

As rochas de dique aparecem ao microscópio (Fotomicrografias 13, 14 e 15) com textura porfirítica geralmente seriada. Os fenocristais mais frequentes são de augita diopsídica muito zonada, com bordas de Ti-augita (?) (cor lilás), em alguns casos, e de olivina magnésiana, fresca a



Fotografia 10. Microcristal de "diamante", representando um meio octaedro planar ("planar half octahedron"), no qual foram reconhecidas superfícies de sobre crescimento plano ("planar growth surface"). Luz transmitida, lupa binocular.

serpentinizada, com bordas de iddingsita. Também se reconhecem microfenocristais de opacos hipidiomorfos a alotriomorfos. A biotita forma lamelas idiomorfas muito pleocróicas (cores amarela âmbar a marrom). A leucita ocorre como fenocristais e como inclusões nas bordas e centros dos cristais de piroxênio. A matriz é de granulação fina (<0,10 a 0,40 mm), intergranular; está formada por clinopiroxênio, opacos quadráticos ("magnetita"), biotita, olivina, feldspato alcalino, algum plagioclásio, leucita (alguns casos) e vidro devitrificado; acessoriamente ocorrem prismas de apatita e carbonato (secundário?)

Na Tabela 4.3 são encontrados dados modais destas rochas. Nos triângulos modais, estas rochas são mela-fonolitos leucíticos (Figura 4.4). São possíveis "cocitos", pelas proporções de minerais félsicos e o alto teor dos máficos,, pelo caráter lamprofírico e pela presença de olivina, diopsídio, flogopita, sanidina e também leucita, rochas estas consideradas membros intermediários entre lamproitos e minetas (Rock, 1991, 1984; Wagner & Velde, 1986). Como comparação, apresenta-se a moda de um cocito do Vietnam (Wagner & Velde, 1986) na Tabela 4.3.

4.2.6. Lamprófios

Os lamprófios são caracterizados por feições mineralógicas típicas: fenocristais destacados e abundantes de minerais máficos (principalmente piroxênio e biotita), em matriz fina ou afanítica, aparecendo ainda como diques ou, em alguns casos,

como condutos de brecha e corpos similares. Diferenciam-se dois tipos de lamprófios na Folha La Colmena: **os meso a melanocráticos, e os ultramáficos** (Tabela 4.4, Figura 4.5).

Lamprófios meso- a melanocráticos à biotita e piroxênio. No **enxame de diques Ybytymí** são frequentes os diques de rochas de aspecto lamprofírico, de cor cinza preta, avermelhados quando alterados. São rochas maciças, raramente orientadas, marcadamente porfiríticas, com fenocristais milimétricos de biotita e de piroxênio, mais raramente acompanhados de olivina. A matriz é fina, de aspecto basaltóide, com estruturas ocelares milimétricas a centimétricas formadas por zeolitas e carbonato. É frequente observar estes lamprófios totalmente alterados, reconhecíveis pelas lamelas de biotita, mostrando como feição característica uma pseudolaminação (Rock, 1977).

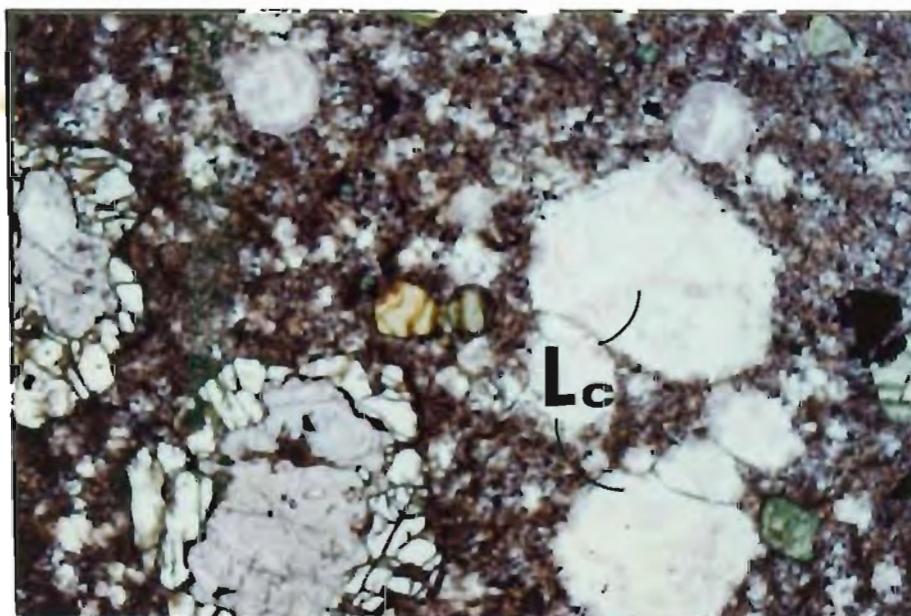
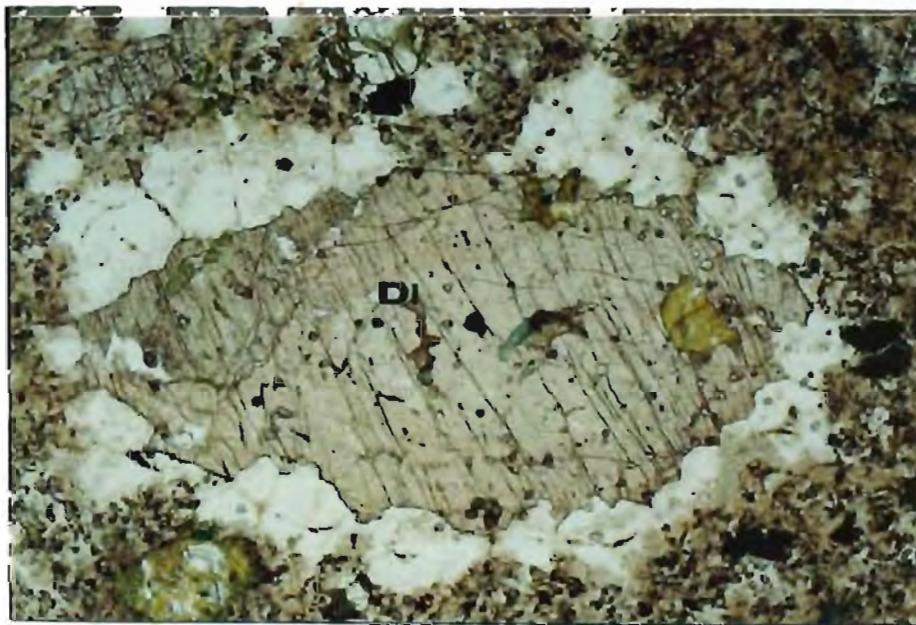
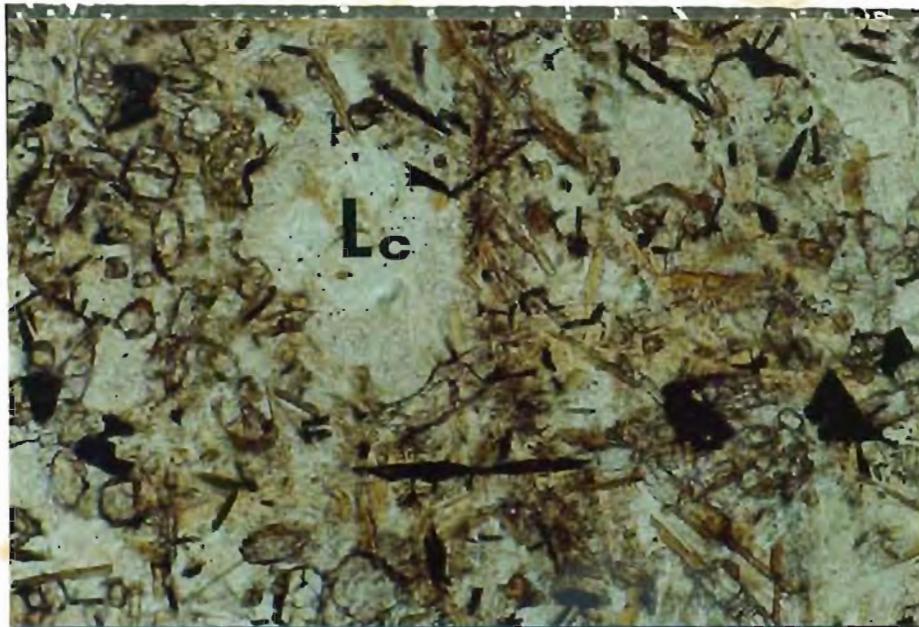
Ao microscópio (Fotomicrografias 19 e 20), estas rochas são constantemente de textura porfirítica, por vezes seriada. Destaca-se o idiomorfismo dos fenocristais, e freqüentemente também o dos minerais da matriz (textura panidiomorfa). Os fenocristais são de biotita pseudoexagonal marrom com marcado pleocroísmo (amarelo mel a marrom tabaco); os de diopsídio, prismáticos, são geralmente zonados. Mais raramente são encontrados fenocristais de olivina idiomorfa serpentinizada, e menores de opacos com formas alotriomorfas a hipidiomorfas. A matriz é em geral muito fina (<0,1 a 0,4 mm), intergranular a granular idiomorfa, composta por diopsídio, opacos, feldspato alcalino e, acessoriamente, apatita, com alguns traços de plagioclásio e carbonato.

A Tabela 4.4 apresenta dados modais destas rochas. O índice

Fotomicrografia 13. Textura da matriz em leucita melafonolito ("cocito"). Cristais de leucita (Lc, áreas claras), em matriz com anfibólio marrom, piroxênio (relevo alto), feldspato e opacos alongados (rutilo?). Amostra C369. N //. Dimensão horizontal 0,7 mm.

Fotomicrografia 14. Fenocristais de diopsídio e leucita em leucita melafonotilo. Diopsídio de contorno irregular, com inclusões de olivina alterada, rodeados por cristais de leucita, em matriz com opacos, piroxênio e feldspato. Amostra C368. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.

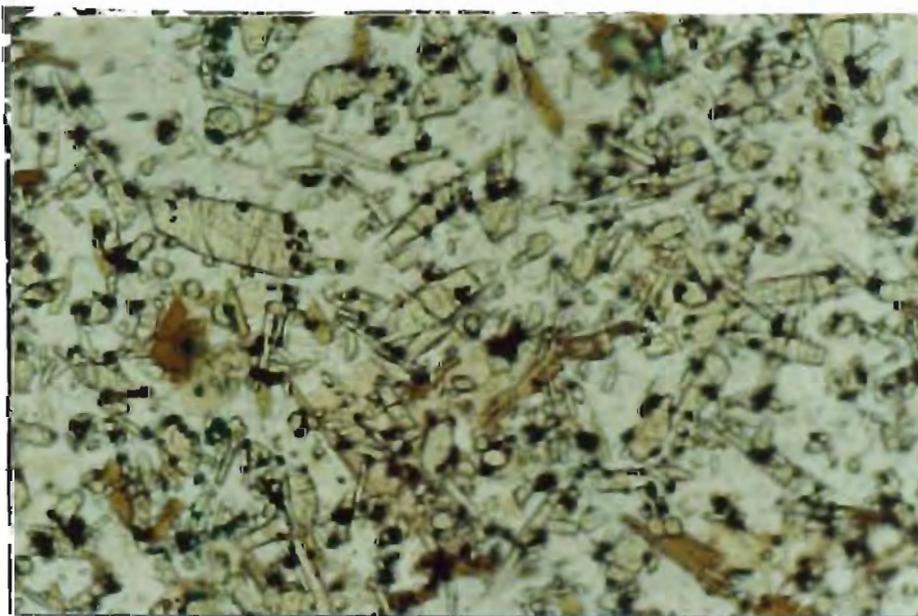
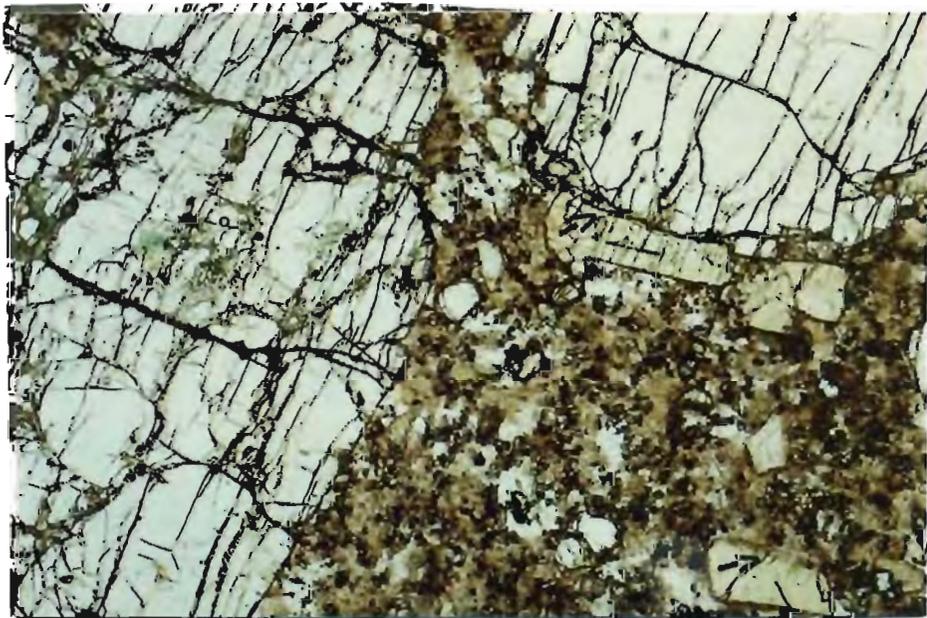
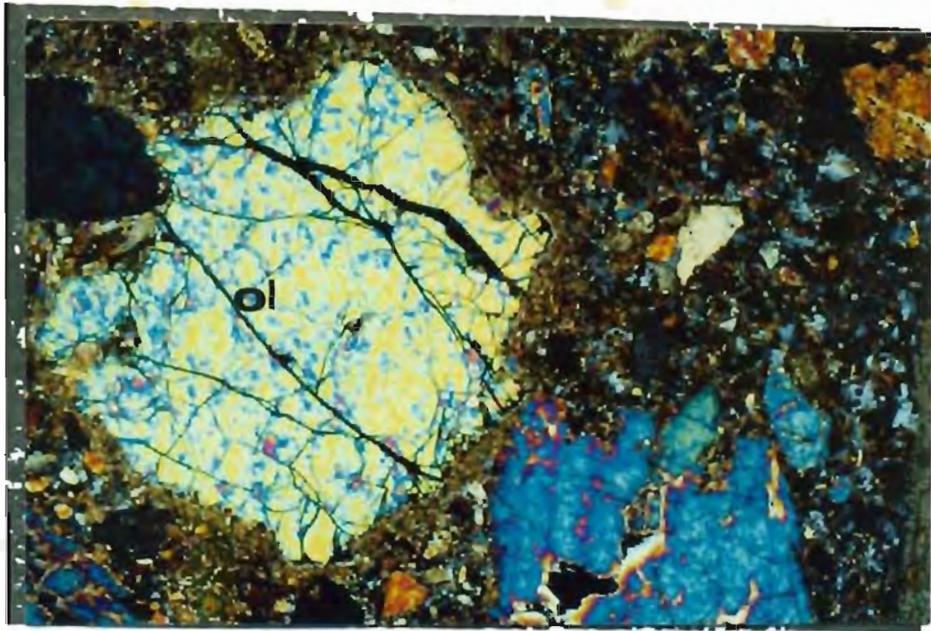
Fotomicrografia 15. Fenocristais de diopsídio, olivina e leucita em leucita melafonolito. Diopsídio (relevo alto) de contorno irregular, rodeado por olivinas, junto com leucita (Lc) e olivina alterada (verde e amarelada), todos idiomórficos, em matriz com piroxênio, olivina, opacos, leucita e feldspato alcalino. Amostra C369. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.



Fotomicrografia 16. Xenocristais em lamprófiro ultramáfico. Olivina (01) e diopsídio (canto inferior) xenocristalinos, a primeira rodeada por "coroa" de pequenos cristais de biotita-flogopita. Amostra C371, Cañada 1. N X. Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 17. Megacristais de olivina em lamprófiro mesocrático a ultramáfico. Megacristais de olivina (incolor) e fenocristais prismáticos menores de piroxênio (assinalado pelas setas), em matriz de analcima (?) incolor, feldspato alcalino algo alterado, piroxênio, opacos e biotita. Amostra C189, parte S da Serrania de Ybytymí. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 18. Textura da matriz em biotita piroxênio lamprófiro (monchiquito). Prismas de piroxênio, lamelas de biotita, magnetita (?) em mesostasis isótropa (analcima?). Amostra C206, parte N da Serrania de Ybytymí. N //. Dimensão horizontal 1,4 mm.



Fotomicrografia 19. Fenocristais em olivina biotita lamprófiro. Fenocristal de diopsídio (Di) e biotita (Bi, com coroa de opacos nas bordas) e glomérulo de olivinas (O1), em matriz com piroxênio, opacos, feldspato alcalino, biotita e traços de plagioclásio. Amostra C2131, Kirito. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 20. Fenocristais em biotita lamprófiro (mineta). Fenocristais de piroxênio (esverdeado) e biotita-flogopita (Bi, em parte muito clara por excesso de iluminação), e amígdala com zeólitas (junto a biotita marrom), em matriz com piroxênio, opaco, biotita e feldspato alcalino (a: apatita). Amostra C200, borda NE da Serrania de Ybytymí. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 21. Enclaves alongados de carbonato em lamprófiro. Enclaves (E), alongados elipsoidais, constituídos por carbonatos (calcita?) e apatita, junto com fenocristais de opacos e biotita, em matriz traquitóide com feldspato alcalino ripiforme (algo alterado), opacos e carbonato. Amostra C510, à N do Cerro Chobí. N X. Dimensão horizontal 5,5 mm.

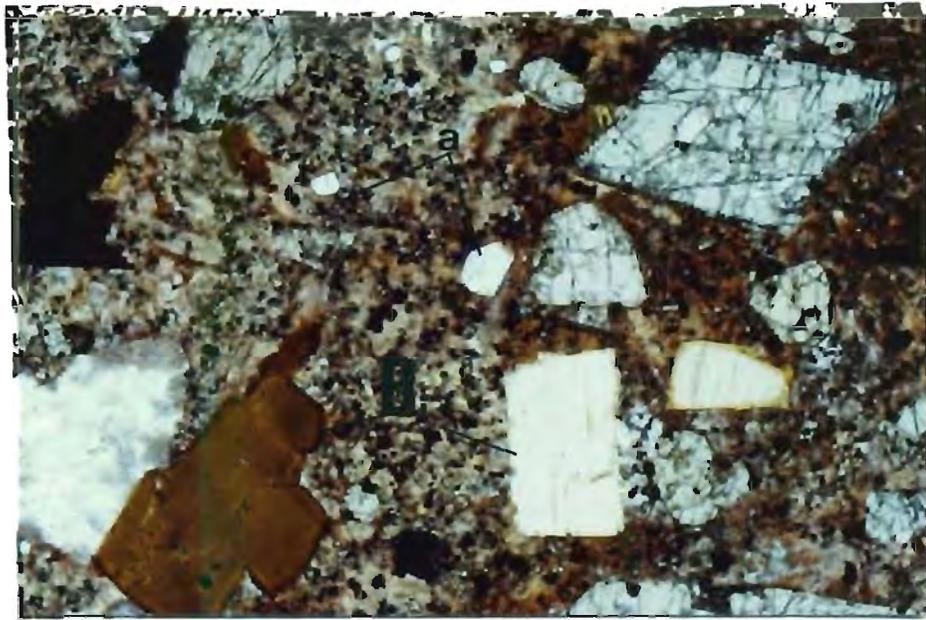


TABELA 4-4

Dados modais de rochas lamprofíricas e afins

Nº Local.	199		200		201		202		203		204		205		213		214	370	378	609	
	Ybyt.		Ybyt.		Ybyt.		Ybyt.		Ybyt.		Ybyt.		Ybyt.		Ybyt.	P.Ybate	Cañ.1	Ybyt.			
	FC	M		FC	FC	M															
Oliv.	6,4	2,3											0,4	5,1	2,1		10,0	tr		0,3	
Cpx	35,3	20,0	29,2	16,9	3,6		6,1	28,2	18,4	10,8	12,0	36,4	16,2	4,4	38,4	44,6	52,8	52		3,3	
Blot.	tr	2,1	7,8	2,8	0,9		8,6	10,6	6,6	1,0	4,4	tr	1,0	3,0	2,6	4,4	21,7	2			
Folde		9,6															3,0				
FA	12,3		31,9				36,4		51,8		35,3				41,0	32,0	5,5				
Plag.		tr													tr						
Opac.		12,0	3,6	7,8			10,1		6,2	1,0	10,1				3,4	19,0	7,0			1,6	
Vidro																					tr
Acess.		tr					tr	2,3	2,9		0,8				tr		tr				
%	41,7	58,3	40,6	59,4	4,5	95,5	14,7	85,3	27,3	72,7	17,4	82,6	17,6	82,4	12,5	87,5	100	100		5,2	94,8
Mf	69,4		68,1				63,6		45,9		64,7				59,0		68,0	91,5			

Localidades. Cañ. 1: Cañada 1; P.Ybaté: Potrero Ybaté; Ybyt.: Serranía de Ybytymi; Mf: máficos.

Localização das amostras na Figura 4-1.

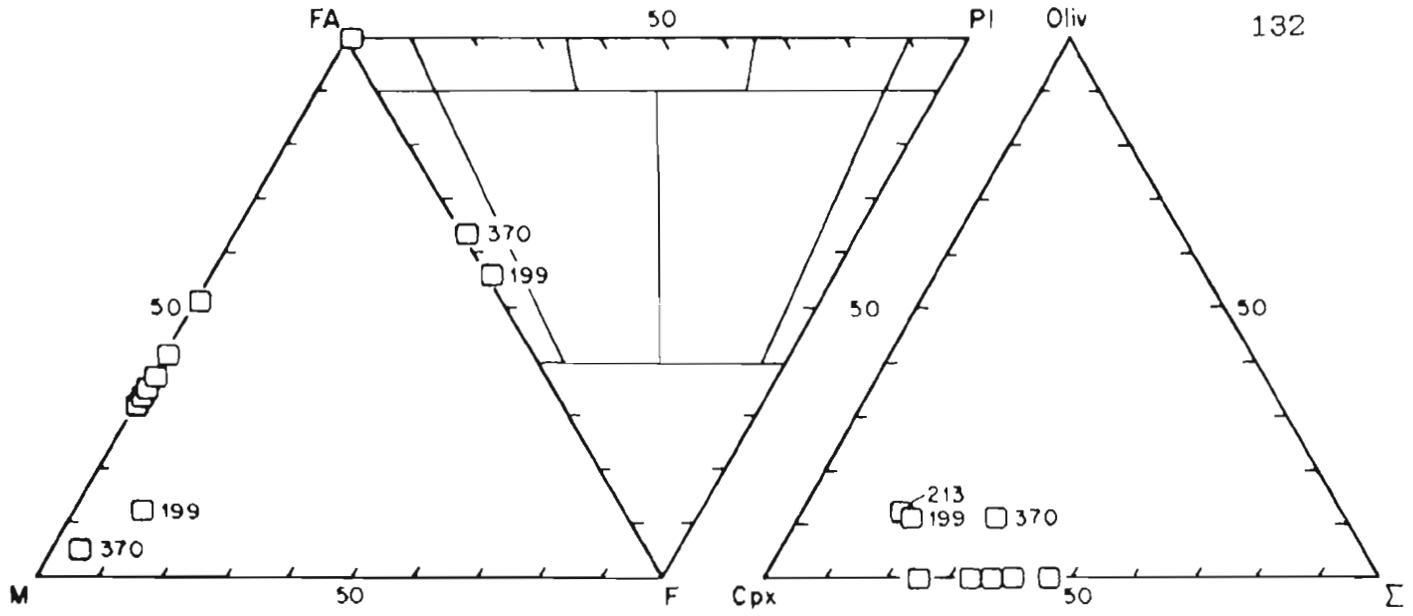


Figura 4-5. Modas de lamprófiros. Triângulos FA-Pl-F, FA-F-M e oliv (olivina)-Cpx (clinopiroxênio)- (resto de máficos, principalmente biotita e opacos). M é a quantidade total de máficos. Os dados representados no lado FA-M (triângulo FA-F-M) projetam-se todos no ponto FA, por não apresentarem teores de feldspatóides.

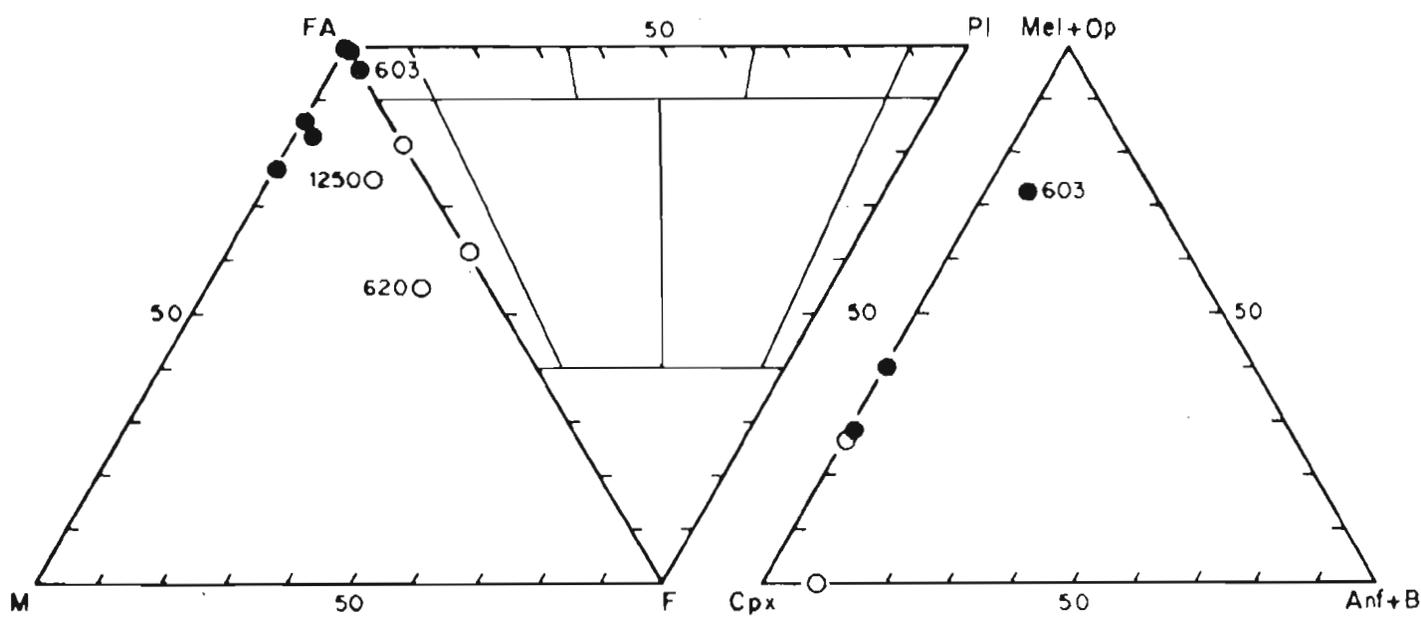


Figura 4-6. Modas de traquitos e fonolitos. Traquitos: pontos cheios; fonolitos: círculos vazios. Triângulos FA-Pl-F, FA-F-M e Mel+Op (melanita+opacos)-Cpx (clinopiroxênio)-Anf+Bio (anfíbólio+biotita). M é a quantidade total de máficos da amostra.

de cor (da ordem de 67) é característico dos lamprófiros cálcio-alcalinos (ver Rock, 1984). São rochas mais próximas das **minetas** que dos sannaitos, pelo seu teor de biotita e o tipo de piroxênio (Rock, 1991).

São freqüentemente observados diques de rochas alteradas com proeminentes e abundantes fenocristais de biotita, acompanhados de piroxênios, alterados ou não. Numa amostra algo mais fresca (C.200) observa-se, ao microscópio, mineralogia e textura similares às das rochas lamprofiricas típicas, apenas se diferenciando pelo teor algo superior de minerais máficos; não foram observados feldspatóides.

Os biotita lamprófiros, encontrados raramente no campo, são rochas com biotita alongada, com matriz de aspecto vítreo. A fratura destas rochas é conchoidal, e mostram "manchas" circulares de óxidos ocre.

Ao microscópio (Fotomicrografia 18), destaca-se a textura com poucos fenocristais, alguns submilimétricos, de biotita marrom lamelar e outros de augita diopsídica prismática; os de opacos são irregulares. A matriz é intergranular muito fina a fina (<0,1 a 0,3 mm) com clinopiroxênio, opacos e biotita e, intersticialmente, analcima; acessoriamente, ocorre apatita como cristais finos.

Dados modais de uma amostra (C. 214) são apresentados na Tabela 4.4; a rocha tem índice de cor >67, e a presença de analcima como único mineral félsico sugere que esta rocha pertence ao Grupo dos **lamprófiros alcalinos** (Rock, 1977, 1991) tratando-se possivelmente de um **monchiquito**.

Lamprófiros ultramáficos. Na região de San Miguel, serrania

de Ybytymí, ocorre um grupo de diques de poucos metros a dezenas de metros de largura, identificados pelo seu aspecto basaltóide escuro. Destacam-se nesta rocha os fenocristais de piroxênio, de característica cor verde esmeralda a verde escuro, e os esverdeados de olivina, colocados em matriz escura. Nela são observados enclaves peridotíticos angulosos a irregulares, subcentimétricos a centimétricos.

Ao microscópio (Fotomicrografia 17), a textura é porfirítica seriada com abundante fenocristais de diopsídio idiomorfo a subidiomorfo, e de olivina ($Fo \sim 90-85$), na forma tanto de microfenocristais idiomorfos como de cristais maiores alotriomorfos, alguns com sinais de deformação (xenocristais). Mais raramente ocorre biotita como cristais corroídos. A matriz é fina ($\sim 0,3$ mm), intergranular, formada por clinopiroxênio, "magnetita", biotita, feldspato alcalino e analcima; acessoriamente aparece apatita junto com traços de plagioclásio.

Os dados modais (Tabela 4.4) mostram índice de cor perto de 90, apropriado para os lamprófiros ultramáficos. Esta característica, e a presença do feldspato alcalino, ressalta a semelhança destas rochas com os damkjernitos (Rock, 1986).

O **conduto de Cañada 1**, uma intrusão de rocha vulcânica, rodeada por rochas sienitóides e arenitos, mostra profusão de enclaves de rochas vulcânicas e plutônicas alcalinas, junto com outros de peridotitos e rochas sedimentares, angulosos a muito bem arredondados, de tamanhos milimétricos a centimétricos. Na rocha em questão, de aspecto lamprofirico, ocorrem abundantes fenocristais de olivina, biotita e piroxênio (verde esmeralda a verde escuro) em matriz afanítica a fina-média. São também

frequentemente encontrados ocelli milimétricos a centimétricos de composição sienítica ou zeolítica-carbonática.

Ao microscópio (Fotomicrografia 16), os fenocristais são de diopsídio (de cores esverdeadas a amareladas-amarronzadas), de olivina (como pequenos fenocristais idiomorfos total a parcialmente substituídas por biotita e opacos, e como xenocristais maiores alotriomorfos e em parte deformados, com coroa externa de biotita), e de biotita (fenocristais idiomorfos e xenocristais deformados de contorno irregular). Ocorrem ainda pequenos enclaves de peridotitos, que mostram texturas deformadas típicas de rochas metamórficas. Os opacos são encontrados como cristais irregulares a levemente subidiomorfos. A matriz fina (0,1 a 0,4 mm) é intergranular a granular com biotita, clinopiroxênio e opacos; intersticialmente, ocorre feldspato alcalino em intercrescimento com nefelina, com inclusões poiquilíticas de feldspatóide isótropo. Acessoriamente é encontrada a apatita.

Os dados modais (Tabela 4.4) indicam índice de cor > 90 (lamprófiros ultramáficos). A presença de feldspato alcalino assemelha estas rochas aos damkjernitos (Rock, 1986, 1987 e 1991).

4.2.7. Traquitos

Os traquitos aparecem, associados a outras litologias, no **enxame de diques Ybytymí**, onde se destacam pela cor clara e aspecto de rocha vulcânica. No campo e nas amostras de mão observa-se geralmente estrutura de fluxo magmático, por

orientação de fenocristais de feldspato e das amígdalas estiradas, quando presentes. São reconhecidos, além dos de feldspato, os fenocristais de piroxênio preto, de granada cor caramelo e, em algumas amostras, também os de biotita. A matriz é sempre muito fina, em alguns casos de aspecto vítreo.

Os fenocristais, observados no microscópio, são de sanidina de baixa temperatura (plano dos eixos ópticos \perp 001), como cristais tabulares, e de augita diopsídica (prismática, com bordas sódicas), por vezes acompanhados de anfibólio alcalino (prismático, com pleocroísmo verde escuro a amarelo mel), feldspatóides equidimensionais (substituídos por analcima e/ou minerais de argila) e granada melanítica. Os opacos aparecem como cristais irregulares. A biotita é laminar, marcadamente pleocrômica (tons de amarelo mel a marrom tabaco). A matriz, geralmente com textura desorientada a traquitóide, é muito fina (< 0,1 mm), algo alterada. Os minerais constituintes são feldspato alcalino e clinopiroxênio (em alguns casos alcalinos), com alguma nefelina e "analcima" intersticial. Acessórios característicos são a apatita, carbonato (secundário?), melanita (em algumas amostras) e traços de plagioclásio. Alguns aspectos destes traquitos são mostrados nas Fotomicrografias 22 e 23.

As modas são apresentadas na Tabela 4.5 (ver também Figura 4.6). São álcali-feldspato traquitos com melanita e geralmente também com feldspatóides.

4.2.8. Fonolitos

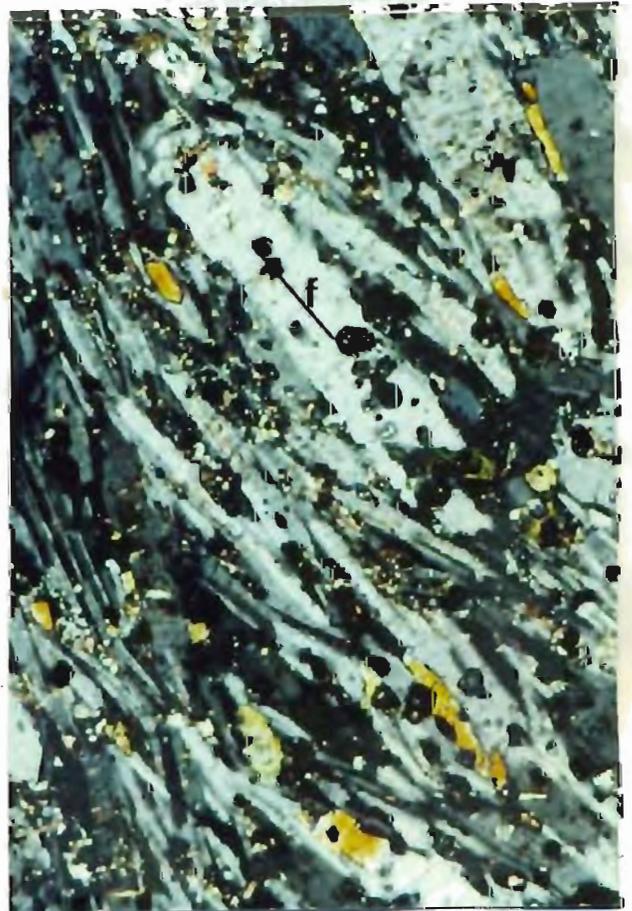
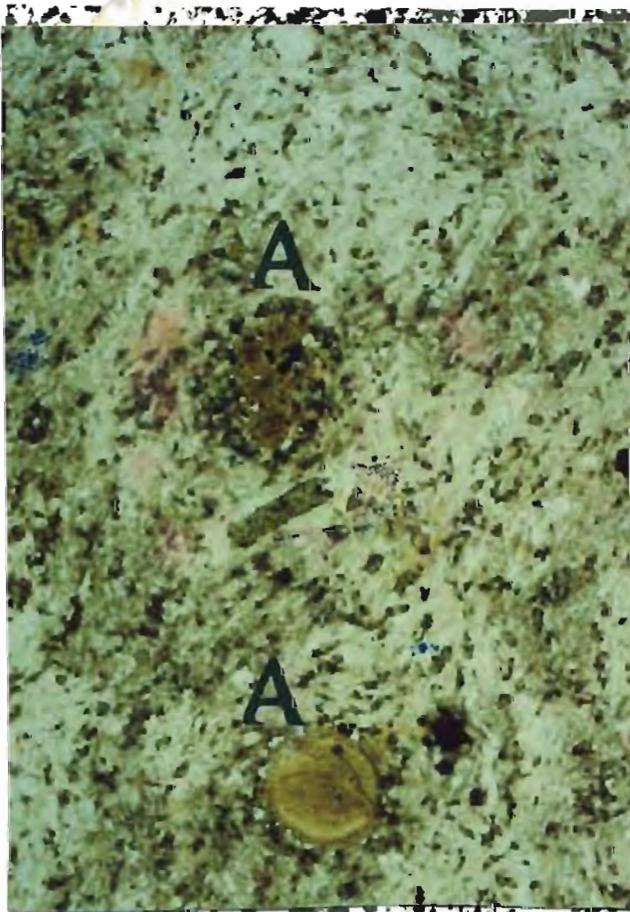
Fonolitos foram encontrados nos Cerros Medina e Doña Lili.

Fotomicrografia 22. Fenocristais de melanita e sanidina em traquito. A granada aparece como fenocristais zonados (M) e na matriz, feldspato alcalino como raros fenocristais (F) e como ripas na matriz traquitóide, junto com pequenos cristais de feldspatóide (noseana?, n). Amostra C614, Serrania de Ybytymí. N //. Dimensão vertical 5,5 mm.

Fotomicrografias 23. Fenocristais de sanidina e minerais máficos em traquito. Glomérulo de sanidina, associado a fenocristais de melanita (marrom) e anfibólio (esverdeado), em matriz traquitóide com sanidina, clinopiroxênio alcalino, opacos e nefelina. Amostra C601, Serrania de Ybytymí. N //. Dimensão vertical 5,5 mm.

Fotomicrografia 24. Anfibólio fonolito. Pequenos fenocristais de anfibólio marrom (A), com inclusões de opacos e egirina-augita (esverdeada), que também aparece como prismas isolados. Matriz traquitóide com feldspato alcalino, piroxênio sódico e nefelina intersticial. Amostra C620, Cerro Medina. N //. Dimensão vertical 5,5 mm.

Fotomicrografia 25. Textura traquitóide em fonolito. Sanidina, em parte poiquilítica, com inclusões de feldspatóide isótropo (f), ambos algo alterados, com piroxênio sódico prismático a irregular. Amostra C1250, Cerro Doña Lili. N //. Dimensão vertical 1,4 mm.



O fonolito do Cerro Medina (C.620) é de cor bege cinza, maciço a levemente orientado, algo porfirítico pela presença de alguns fenocristais de anfibólio verde escuro e feldspato alcalino, ocorrendo ainda amígdalas (milimétricas a centimétricas) de carbonato e zeolitas, todos englobados por matriz muito fina.

Ao microscópio (Fotomicrografia 24), a rocha aparece com fenocristais de anfibólio barqueviquítico (pleocroísmo de marrom amarelado ou esverdeado a marrom escuro), zonado com bordas mais escuras, em alguns casos rodeados por coroa de piroxênio alcalino, ou completamente substituídos por ele. Os cristais de feldspato alcalino, alterado, são raros, assim como os de clinopiroxênio esverdeado alcalino. A matriz é de textura traquitóide fina (~0,3 mm), com microfenocristais de opacos idiomorfos, feldspato alcalino alterado, clinopiroxênio esverdeado, e nefelina intersticial.

Dados modais são encontrados na Tabela 4.6 e na Figura 4.7.

No **Cerro Doña Lili (C.1250)**, são encontrados fonolitos em quantidades subordinadas, de cores claras a avermelhadas, orientados mais do que maciços, com poucos fenocristais de feldspato alcalino e máficos de cor verde escuro. A matriz, muito fina, lembra a dos quartzo pórfiros encontrados em afloramentos do Alto de Caapucú, com os quais foram aparentemente correlacionados pelos autores do relatório da Cuadrícula 40 (1966).

A rocha, vista ao microscópio (Fotomicrografia 25), mostra textura traquitóide, fortemente orientada, com fenocristais alongados de sanidina de baixa temperatura (plano dos eixos

TABELA 4-5
 Dados modais de traquitos, fonolitos e rochas afins

Local.	109		600		601		603		604		608		610		611		620		1215		1250
	S.José		Ybyt.		Medina		Cañ. 3		Lili												
	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	FC	M	
Cpx	5,3				0,4		3,0		tr		1,6	14,2			1,0	4,2	2,8	8,9			6,0
Anf.	3,3		0,4				1,1				0,3		9,6				1,1		9,6		
Melan.			0,6		0,8		8,3	2,2	1,4						7,9						
Biot.	1,3										0,3										
Foide	2,0		2,2		3,4		1,5	2,3	1,8			tr			tr	2,0		33,0			17,2
FA	9,3		7,0		5,8		16,0	65,6	1,3		2,3	76,0	8,0		3,3	81,6	4,0	50,2	0,6 ^a		74,7
Opac	1,6											5,3									2,1
Acess.																					
Amigd									8,6											1,8	
%	22,3	77,7	10,2	89,8	10,4	89,6	26,9	73,1	13,1	86,9	9,8	90,2	17,6	82,4	4,3	95,7	7,9	92,1	12,0	88,0	100
Mf							14,6				21,7				13,1		12,8				8,1

Amigd.: amígdalas; FC: fenocristais; M: matriz; Melan.: melanita; a: plagioclásio; Mf: máficos.
 Fonolitos: amostras 620 e 1250; as demais são de traquitos (incluindo a amostra "atípica" 1215).

ópticos \perp 001), cristais alotriomorfos de anfibólio (hornblenda?, pleocroísmo de verde oliva a verde amarronzado) e opacos, também alotriomorfos. Como matriz ocorrem cristais menores de feldspato alcalino, nefelina idiomorfa a intersticial, "sodalita" em cristais idiomorfos e sericita como alteração. Acessoriamente ocorrem anfibólio, esfena e apatita.

Os dados modais são encontrados na Tabela 4.5 (ver também Figura 4.6).

4.2.9. "Plugs" de rochas faneríticas alcalinas

São descritas sob este nome coletivo cinco intrusões de rochas plutóicas, com marcada variação petrográfica.

Cerro San José (C.100 a 107). Neste morro observa-se zonalidade petrográfica, com sienitóides aparecendo na borda W, monzonitóides na parte central, e melasienitóides na borda E. São descritos ainda alguns veios com rochas de afinidade lamproítica.

A rocha sienitóide da borda W (C.100 a 102) é de cor branca cinza, com manchas de minerais máficos. A textura é granular idiomorfa a alotriomorfa, algo inequigranular, com alguns megacristais de piroxênio preto idiomórfico. Predominam na rocha piroxênio, biotita e feldspatos.

Ao microscópio (Fotomicrografia 27), observa-se diopsídio salítico, opacos quadráticos a retangulares ("ilmenita") em parte com borda externa de biotita, e plagioclásio (An55-48). Entre estes, aparecem colocados feldspato alcalino, nefelina intersticial e em intercrescimento com feldspato, biotita amarronzada e alguns cristais de olivina. Acessoriamente, ocorre

apatita e analcima (secundária?). A textura é granular subidiomórfica a idiomórfica, de tamanho médio (1 a 3 mm).

Os dados modais (Tabela 4.6, Figura 4.7) caracterizam as rochas como **melasienitos com feldspatóide**.

Os **monzonitóides da parte central (C.103, 105 e 106)** estão expostos na parte alta do morro. São rochas claras, com maior quantidade de manchas escuras de minerais máficos, e mais equigranulares que as anteriormente citadas. Os minerais reconhecíveis são piroxênio preto e feldspatos, com algumas lamelas de biotita.

No exame microscópico (Fotomicrografia 26) é observada textura granular idiomórfica, de granulação média a algo grossa (2 a 5 mm). São encontrados diopsídio salítico, vários tipos de opacos (por ex., "ilmenita" em C. 106), plagioclásio ($An > 67$), feldspato alcalino, com nefelina intersticial em parte alterada em analcima. Acessoriamente ocorrem também biotita (por vezes em porcentagens ponderáveis), olivina e prismas de apatita.

Os dados modais (Tabela 4.6, Figura 4.7) caracterizam esta facies como um **biotita monzonito com feldspatóide**.

Os **melasienitóides da borda Leste (C. 104)**, intrusivos nos monzonitos, são observados como diques com bordas fortemente orientadas e centro maciço. Estas rochas esbranquiçadas mostram "motas" e "pintas" escuras de minerais máficos. São algo inequigranulares, com cristais maiores, de até 20 mm, de piroxênio preto idiomórfico. A matriz é de granulação média (1 a 2 mm) com piroxênio, feldspatos e biotita.

A facies caracteriza-se adicionalmente pela presença de

Fotomicrografia 26. Monzonitóide do Cerro San José. Olivina (O1) alotriomorfa, rodeada de mosaico de feldspatos e feldspatóides; opacos aparecem com borda de biotita, por vezes mais desenvolvida (ângulo inferior direito). Amostra C103, Cerro San José. N X. Dimensão horizontal 1,4 mm.

Fotomicrografia 27. Monzonitóide do Cerro San José. Cristais maiores de olivina (O1) e biotita (Bi), junto com ripas de plagioclásio e grãos intersticiais de feldspato alcalino. Grãos de opacos, rodeados por biotita. Amostra C100, Cerro San José. N X. Dimensão horizontal 1,4 mm.

Fotomicrografia 28. Melasienitóide do Cerro Tano 2. Olivina (O1) e biotita (Bi) junto com feldspatóide isótropo com inclusões concentradas (área escura, leucita?) e feldspato alcalino. Amostra C1050, Cerro Tano 2. N X. Dimensão horizontal 1,4 mm.

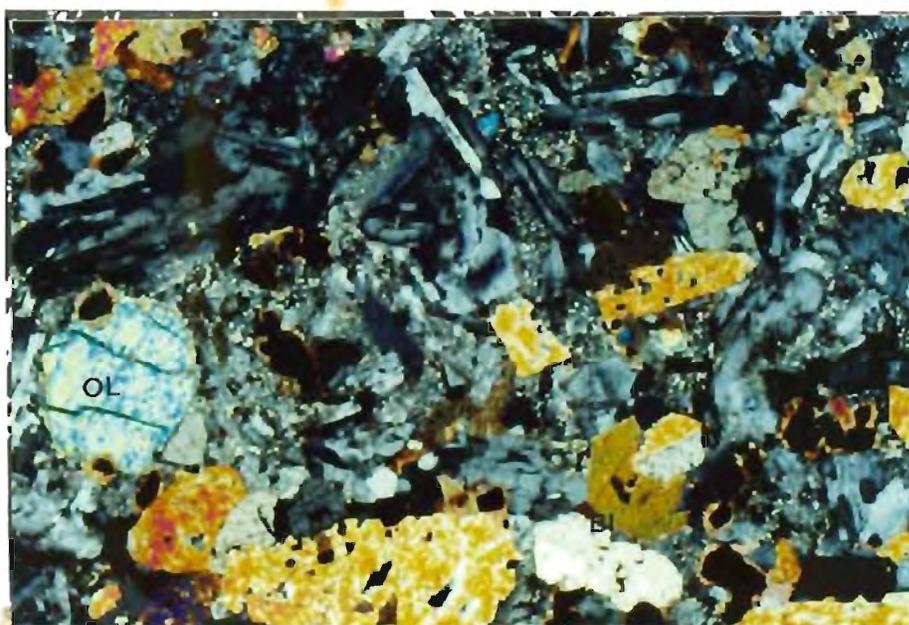
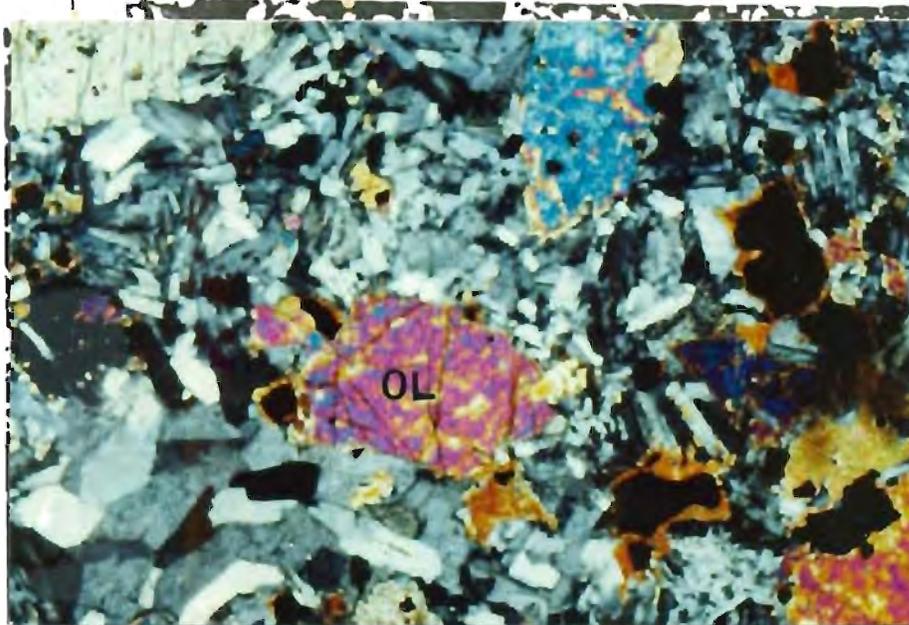


TABELA 4-6

Dados modais de rochas faneríticas com plagioclásio (mela-monzonitóides e -sienitóides)

Nº	100	101	102	103	104	105	106	1050	1060	1061	1219
Local	S.José	S.José	S.José	S.José	S.José	S.José	S.José	Tano 2	Tano 1	Tano 1	Chobí
Oliv	1,0	0,4	1,8	0,3	2,6	1,2	0,4	4,4	2,0	1,2	1,0
Cpx	27,5	29,4	32,8	31,3	51,0	26,8	24,6	26,6	25,9	22,6	27,2
Biot	3,8	8,0	5,7	6,5	1,6	6,6	1,6	2,0	4,3	13,8	8,0
Foide ^a	0,2	3,2	0,6	0,2 ^b	5,8	3,6	6,3	3,0 ^b	13,1	16,6 ^c	13,2
FA	47,5	44,9	38,8	34,4	32,4	24,3	36,8	46,0	38,0	20,4	31,4
Plag	11,8	10,4	15,3	19,6	2,4	26,5	21,3	11,2	11,5	22,6	14,0
Opac	8,0	3,4	4,5	6,6	3,6	8,4	8,2	6,5	4,8	2,8	5,2
Aces	0,2	0,3	0,5	1,1	0,6	2,6	0,8	0,3	0,4	tr	tr
Mf	40,5	41,5	45,3	45,8	59,4	45,6	35,6	39,8	37,4	40,4	41,4

a: geralmente nefelina; b: analcima e nefelina, ou só analcima; c: nefelina intercrescida com FA. Amostras 105, 106, 1061, 1060 e 1219, são "monzonitóides" (monzonitos com foides do campo 8', foide monzosienitos do campo 12); as demais são de "sienitóides" (sienitos com foides, campo 7'). Localização das amostras na Figura 4-1.

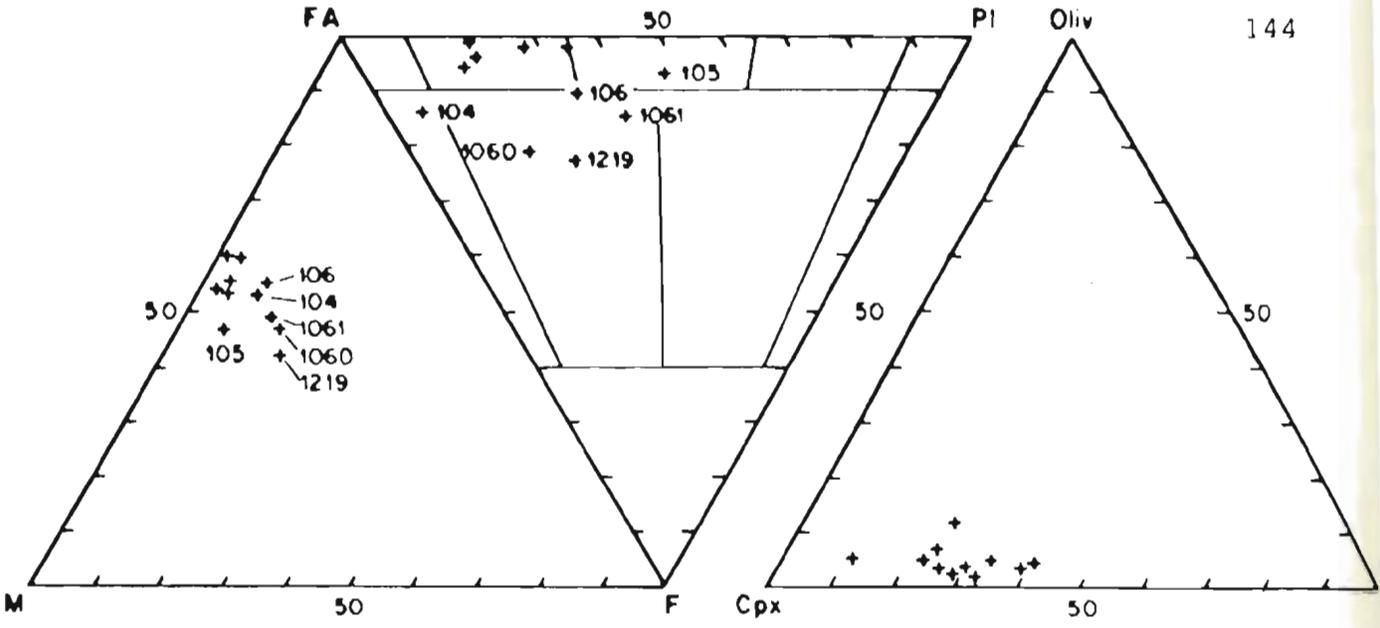


Figura 4-7. Modas de sienitóides e monzonitóides. Triângulos FA-Pl-F, FA-F-M e Oliv (olivina)-Cpx (clinopiroxênio)-F (resto de máficos). As rochas representadas são sienitos, monzonitos com foides, foide monzosienitos e nefelina sienito (a amostra 104).

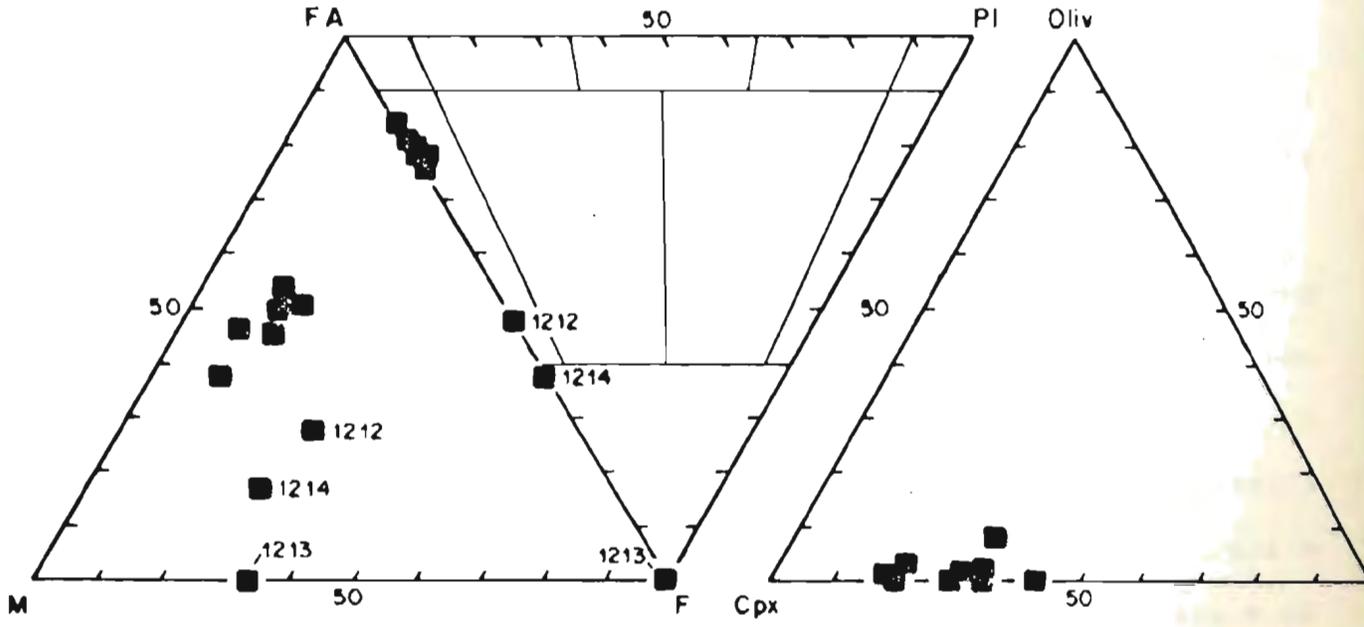


Figura 4-8. Modas de foide sienitóides. Ver legenda da Figura 4-7. As rochas representadas são "foide" melasienitos s.s. (malignitos, a maioria, com mais de 30% de M e shonkinito, a rocha com mais de 60% de M).

enclaves centimétricos (até 4 cm) angulosos a arredondados de peridotitos e xenocristais de olivina.

A observação microscópica mostra textura granular subidiomórfica de granulação média com alguns megacristais de diopsídio, que também ocorre como cristais menores subidiomórficos, junto com opacos (alguns de "ilmenita"), biotita amarronzada lamelar a intersticial, feldspato alcalino associado a alguns cristais de plagioclásio ($An \sim 30$), e nefelina intersticial. Olivina ocorre como "xenocristais", com suas características formas alotriomorfas e sinais de deformação. Apatita e raros prismas de rutilo marrom são encontrados como acessórios.

Os dados modais (Tabela 4.6) mostram que se trata de uma rocha sienitóide melanocrática que pode ser caracterizada como **shonkinito** (Sørensen, 1974). Estas rochas aparecem freqüentemente associados tanto com minetas como com lamproitos (Wooley, 1987; Rock, 1992; Mitchell & Bergman, 1991; Báez Presser, 1992).

A W do Morro San José, aparecem veios ricos em enclaves das rochas encaixantes, cortando as rochas monzonitóides. Os enclaves são angulosos a arredondados, milimétricos a centimétricos. A rocha portadora é de aspecto basaltóide cinza escuro, bastante fresca, com fenocristais milimétricos de piroxênio verde escuro e alguns fenocristais de leucita branca bege. A matriz é fina e de textura irregular, reconhecendo-se nela áreas de aspecto fragmentado e anguloso.

Ao microscópio são observados fenocristais de diopsídio, fortemente zonados, acompanhados de opacos alotriomorfos e de alguns xenocristais de olivina muito fresca. A matriz é

texturalmente homogênea. Em partes dela são encontrados cristais de anfibólio marrom (com pleocroísmo de amarelo canário a marrom). Em outras partes aparecem conjuntos constituídos por diopsídio e traços de plagioclásio (primário?), outros de aspecto turvo, megascopicamente observados como "fragmentos", aqui interpretados como enclaves incorporados pela rocha porfirítica. O anfibólio ocorre ainda na matriz, como cristais poiquilíticos, e também formando parte de estruturas oclares félsicas, com feldspato alcalino. Na matriz, além do anfibólio citado, ocorrem também feldspato alcalino, feldspatóide isótropo ("leucita"), opacos irregulares; acessoriamente, por vezes abundantes, apatita, e traços de flogopita (de hábito poiquilítico).

A rocha com "leucita", feldspato alcalino, diopsídio e anfibólio, parece ter afinidade lamproítica (ver Mitchell & Bergman, 1991; e Wade & Prider, 1940).

Cerro Tano 1 (C.1060 a 1062). Está formado por rochas de aspecto sienitóide, com variações locais em granulometria, desde fina (>1 mm) até grossa (>4 mm), de cores cinza escura a avermelhada, com manchas e "pintas" escuras de minerais máficos. Na rocha são observados feldspato (predominantemente alcalino), piroxênio verde escuro, biotita e, mais raramente, alguns opacos. Também aqui, como no caso do Cerro San José, é possível separar uma facies de borda, mais fina, de uma central.

Ao microscópio, a textura é hipidiomórfica inequigranular média a grossa, formada por augita (aparentemente titanífera), opacos (como conjunto de cristais com bordas de biotita), feldspato alcalino e plagioclásio (An ~40) (ausente ou pouco abundante nas facies da borda). Intersticialmente, também biotita

de marcado pleocroísmo (amarelo mel a marrom tabaco marcado) e nefelina (em parte como "vermes", algo alterada). Olivina, menos frequente, é observada em alguns exemplares, como aparentes "xenocristais" alotriomorfos (com deformação). Acessoriamente ocorrem grandes cristais de apatita.

Os dados modais (Tabela 4.6 e 4.7, ver também Figura 4.7 e 4.8) mostram que as rochas da facies da borda são biotita alcali-feldspato melasienitos com feldspatóide, enquanto que os do centro são biotita feldspatóide sienitos a biotita feldspatóide melamonzonitos ou sienitos (com olivina).

Cerro Tano 2 (C.1050). Afloram rochas sienitóides de granulação média e porfiróides, com fenocristais de piroxênio preto, de até 5 mm, que também ocorre como cristais mais pequenos, junto com feldspatos e olivina.

O exame microscópico (Fotomicrografia 28) revela a textura subidiomórfica inequiangular. Os fenocristais são de augita algo titanífera. Na "matriz" aparecem cristais menores do mesmo piroxênio, grãos equidimensionais de opacos "magnetita" colocados em parte como bordas no piroxênio, plagioclásio cálcico e feldspato alcalino. Ocorrem também cristais deformados de olivina (Fo[~]85-90). Já biotita e analcima são minerais intersticiais, menos abundantes. Apatita é acessório característico.

Os dados modais (Tabela 4.6, Figura 4.7), definem a rocha como um **feldspatóide melasienito com olivina**.

Cerro Chobí (C.1200 a 1206). Os afloramentos melhores, na

TABELA 4-7

Dados modais de rochas faneríticas sem plagioclásio (álcali-feldspato mela-sienitóides)

Nº	1062	1200	1202	1204	1205	1212	1213	1214	1216
Local	Tano 1	Chobí	Chobí	Chobí	Chobí	Cañ. 1	Cañ. 1	Cañ. 1	Cañ. 2
Oliv	3,0						0,6	1,2	
Cpx	22,6	23,0	25,8	30,4	42,2	34,8	45,4	44,2	22,5
Biot	6,4	3,6	0,5	4,6	4,2		18,4	6,4	
Foide ^a	6,6 ^b	14,8	12,3	8,6	10,4	29,5	33,0 ^c	27,2	15,3
FA	55,4	45,6	52,0	46,0	37,2	28,3		16,5	52,8
Opac	6,0	6,8	6,6	6,8	5,2	6,0	2,6	4,5	4,8
Aces	tr	6,2	2,8	3,6	0,8	1,4	tr	tr	4,6
Mf	38,0	39,6	35,7	45,4	52,4	42,2	67,0	56,3	31,9

a: geralmente nefelina; b: analcima; c: nefelina predominante, foide isótropo subordinado. As rochas são "sienitóides" sem plagioclásio (álcali-feldspato melasienitóides, campo 11), diferentes portanto dos "sienitóides" com plagioclásio da Tabela 4-6. Com $M > 30$, as rochas são malignitos; $M > 60$, shonkinitos. A rocha 1213.um "ijolito", é excepcional. Localização das amostras na Fig. 4-1.

parte N, permitem identificar uma facies de borda e outra mais central. Na parte S ocorrem ainda matacões de rocha sienitóide escura (C. 1219).

A facies de borda (C.1200 a 1203), à N, é constituída por uma rocha sienitóide de cores róseas a esbranquiçadas, com algumas "motas" devidas a concentrações de minerais máficos. A granulação é média a grossa e a estrutura orientada, com abundantes cristais de feldspato alcalino alinhados, junto com piroxênio, biotita e nefelina (em algumas amostras). Localmente o piroxênio aparece como megacristais de até 5 mm.

Ao microscópio (Fotomicrografia 29), observa-se textura traquitóide, marcada pela orientação de feldspato alcalino tabular a ripiforme (algo alterado). Entre eles estão colocados cristais idiomorfos de clinopiroxênio zonado (centro de augita, bordas esverdeadas), opacos equidimensionais ("magnetita"), Ti-biotita (pleocroísmo laranja, marrom escuro a amarelo mel) lamelar a intersticial, e nefelina (0,5 a 1 mm). Como minerais acessórios reconhecem-se abundantes prismas largos de apatita e cristais de esfeno.

A rocha é um **álcali-feldspato nefelina melasienito** (Tabela 4.7 e Figura 4.8).

A facies central (C.1204, 1205) é caracterizada por granulação fina a média e estrutura menos orientada, que passa em áreas mais centrais para rochas de granulação mais grossa (~5 mm). Os minerais reconhecíveis são feldspato alcalino (cristais idiomorfos ou de contorno irregular), piroxênio verde escuro e biotita.

Ao microscópio, as rochas orientadas mostram textura

traquitóide, enquanto que as com menos orientação apresentam textura subidiomorfa granular. Numa amostra (C. 1205) aparecem os feldspatos alcalinos englobando vários minerais máficos, lembrando a textura **adumulática** das rochas de maciços estratiformes. Os minerais observados são feldspato alcalino (relativamente fresco), clinopiroxênio augítico (fortemente zonado com bordas esverdeadas), Ti-biotita intersticial (de forte pleocroísmo em laranja, marrom escuro a amarelo mel), e feldspatóide (ora nefelina intercrescida com feldspato, ora cristais isótipos intersticiais de analcima). Acessórios são o esfeno e a apatita.

Estas rochas são também **feldspatóide mela álcali-feldspato sienito** (Tabela 4.7 e Figura 4.8).

Nos matacões de borda S, é encontrada uma rocha sienitóide cinza esbranquiçada com manchas pretas de minerais máficos, de granulação média, algo inequigranular, com piroxênio preto (por vezes com tamanhos maiores), feldspato branco e biotita.

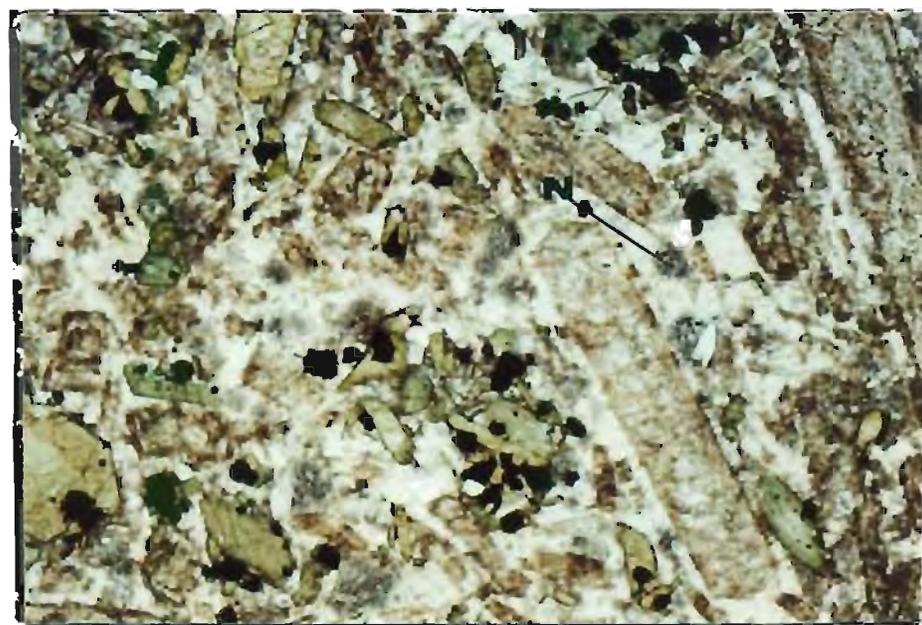
A observação ao microscópio mostra textura inequigranular subidiomórfica, algo porfirítica, com "fenocristais" de augita (titanífera) de até 4 mm, que também forma cristais menores. Os outros minerais são biotita amarronzada (lamelar a idiomorfa), opacos equidimensionais ("magnetita") e plagioclásio cálcico. Intersticialmente, é observado feldspato alcalino intercrescido com nefelina, associado a "analcima". Apatita acircular é acessório abundante. Cristais de olivina ($Fo \sim 90$), também são encontrados como cristais isolados e com formas subidiomorfas ($\sim 0,5$ mm).

Os dados modais (Tabela 4.6, Figura 4.7) mostram que a

Fotomicrografia 29. Nefelina sienito. Piroxênios sódicos esverdeados idiomórficos em feldspato alcalino irregular (F, amarronzado por alteração) e nefelina fresca (incolor), ambos poiquilíticos. Ocorrem ainda opacos de biotita marrom. A textura lembra "adumulatos" de maciços estratiformes. Amostra C1200, Cerro Choabi. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.

Fotomicrografia 30. Alkali feldspato melasienito (malignito). Cristais idiomórficos de noseana (n) e prismáticos de piroxênio sódico esverdeado, em feldspato alcalino irregular, poiquilítico; textura "adumulática". Amostra C1212, Cañada 1. N //. Dimensão horizontal 1,4 mm.

Fotomicrografia 31. Alkali feldspato sienito. Feldspato alcalino idiomórfico tabular (centro-direita) a irregular (incolor, levemente alterado), contendo piroxênio sódico esverdeado, opacos cúbicos e noseana (n), todos idiomórficos; textura "adumulática". Amostra C1216, Cañada 2. N //. Dimensão horizontal 5,5 mm.



rocha (C.1219) e um feldspatóide melasienito a melamonzonito com olivina e biotita.

Conjunto de Cerros de Cañada. No Cerro Cañada 1, são identificadas rochas sienitóides (C.1212) de estrutura orientada e outras ultramáficas, maciças. As rochas sienitóides são de cor cinza esbranquiçada, de granulação fina a média, com predomínio de feldspato alcalino e prismas de piroxênio escuro, em parte concentrados em glomérulos; encontra-se também amígdalas com zeolitas.

Ao microscópio (Fotomicrografia 30), ressalta-se a textura traquitóide subidiomórfica, em parte com alguns grãos de piroxênio mais destacados. Ele é augítico e aparece como prismas às vezes agrupados. O feldspato alcalino é ripiforme, englobando grãos de piroxênio e opacos. Em proporções menores são observados grãos equidimensionais de "noseana" (fresca ou em parte substituída por zeólitas). Ocorrem ainda biotita, granada melanítica, esfeno e apatita.

Dados modais (Tabela 4.7, Figura 4.8) mostram que a rocha é um feldspatóide ("noseana") melasienito, equivalente aos malignitos da literatura (Sorensen, 1974; Mitchell & Platt, 1979).

As rochas ultramáficas (C.1213, 1214), maciças são de cor cinza escuro, mostrando predominância de piroxênio, com manchas esbranquiçadas de um possível feldspatóide acompanhado em alguns casos por biotita e olivina.

O exame microscópico mostra textura subidiomórfica, de granulação média, com clinopiroxênio augítico esverdeado (sódico?) como cristais maiores (até 15 mm), mais comumente como

prismas menores. Biotita lamelar (em parte intersticial) acompanha olivina alotriomórfica com extinção ondulante ("xenocristais", em parte rodeados por biotita), nefelina (em parte intersticial com cristais de feldspato alcalino) e um feldspatóide de hábito equidimensional, substituído por zeolitas. Opacos ocorrem em quantidades menores, com contornos irregulares. Aparece ainda apatita como acessório.

No **Cerro Cañada 3**, aparece exposto um "dique" pouco extenso de alguns metros de largura, representado por uma rocha de aspecto hipoabissal, cor cinza bege, esparsamente porfirítica e de granulação fina (~1 mm) (C.1215). Os fenocristais são de piroxênio escuro de até 5 mm e de anfibólio também escuro, prismático alongado. A matriz é feldspática e conta com grãos visíveis de minerais máficos.

O exame microscópico mostra textura porfirítica com fenocristais de plagioclásio cálcico (?) com textura "sieve", clinopiroxênio augítico fortemente zonado (com bordas esverdeadas sódicas?) e anfibólio kaersutítico prismático. A matriz é de granulação fina, intergranular, com feldspato alcalino, anfibólio kaersutítico, clinopiroxênio e cubinhos de opacos ("magnetita"). Acessoriamente ocorrem alguns grãos equidimensionais de "noseana" e prismas de apatita.

A rocha é um pórfiro traquítico de composição inusual, mais máfico que os outros traquitos encontrados na região (Tabela 4.5).

No **Cerro Cañada 2**, ocorrem rochas sienitóides de cor bege cinza, orientadas e inequigranulares com feldspato alcalino, em alguns casos formando fenocristais de até 10 mm, junto com

prismas de piroxênio verde e lamelas de biotita preta de tons bronze (C.1216).

Ao microscópio (Fotomicrografia 31) ressaltam-se os cristais maiores de feldspato alcalino, algo alterados, junto com os maiores de clinopiroxênio augítico, em parte esverdeado. Os grãos menores, predominantes, formam uma "matriz" traquitóide de granulação média, com feldspato alcalino, opacos idiomórficos ("magnetita"), clinopiroxênio, "noseana" e biotita. Acessoriamente aparece esfero.

Os dados modais (Tabela 4.7 e Figura 4.8) mostram que a rocha é um **alcali-feldspato sienito com feldspatóide**.

4.3. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Rochas Sedimentares

É consenso entre os vários autores que o **Grupo Caacupé** representa uma ingressão marinha no pré-llandoveriana, que se inicia com um conglomerado basal e passa gradativamente para as unidades superiores (Cerro Jhú e Tobatí). Existe alguma discussão, apresentada mais como conclusão em trabalhos gerais do que fundamentada em dados de campo mais detalhados, sobre a importância ou a existência da contribuição fluvial para estes depósitos. A impressão geral é que as características estruturais e texturais, bem como a relativa homogeneidade e monotonia mineralógica da maioria destes depósitos, são compatíveis com uma deposição em plataforma marinha (ver Proyecto Par 83/005, 1986; Eckel, 1959; Harrington, 1972).

A Formação San Miguel é encontrada nesta Folha como um conjunto de três Unidades (U1, basal, U2 e U3) caracterizando, com algumas recorrências, uma sucessão com granocrescência ascendente, com pelitos e arenitos na parte basal, arenitos variados na média e conglomerados de areia média a grossa no topo. Nestes últimos, não foram observadas evidências claras de origem glacial, o que justificaria a denominação de "diamictitos" utilizada para definir muitos dos sedimentos mais grossos encontrados em outras regiões (veja-se, por exemplo, Proyecto Par 83/005, 1986, e referências citadas). Trabalhos mais minuciosos de caracterização faciológica, necessários para definir claramente o ambiente de deposição, não foram realizados pelo autor desta dissertação. Os indícios gerais são, entretanto, de deposição em ambiente fluvial (localmente lacustre, ver descrição da Unidade U1), possivelmente parecido aquele que preenche rapidamente depressões em áreas de "rifting". Esta interpretação, apenas sugestiva, não esgota evidentemente o assunto. Algumas poucas evidências sugerem que, por baixo da Unidade U1, aparecem depósitos de conglomerados ("janela" na parte NW da Folha, ver descrição de U1), enquanto que a presença em Cañada de alguns blocos de arenitos de cor ocre avaliaria a suposição de contato imediato de U1 com a Formação Coronel Oviedo, sotoposta, caracterizada justamente por mostrar litotipos similares aos observados nesse afloramento isolado (interpretação que, por outra parte, foi a utilizada nos perfis citados no Capítulo 5).

As "unidades" descritas da Formação San Miguel são claramente identificáveis tanto pelo seu posicionamento estratigráfico como pelas suas características litológicas;

contudo, não são aqui definidas como "membros" por carecer-se de dados sobre a sua extensão em folhas vizinhas, e não ser bem conhecida a distribuição de facies na formação como um todo, muito mais distribuída para Leste.

Rochas ígneas

As rochas descritas como pertencentes ao **Grupo Caapucú** são leucogranitos e leucoriolitos, caracterizando um magmatismo ácido (Précambriano e Eocambriano?) no embasamento daquela região; não foram observadas rochas encaixantes metamórficas. Estas rochas ácidas são aqui correlacionadas como outras semelhantes citadas em localidades vizinhas (ver item 3.3.1).

Os diabásios que ocorrem na área são atribuídos à **Formação Alto Paraná**. Aparecem todos como diques, alguns deles de percurso longo (Anexo A). São encontrados dois tipos petrográficos, o dos diabásios toleíticos típicos e os dos "diabásios" já diferenciados.

As rochas alcalinas ou de tendência alcalina, que aparecem geralmente como corpos menores, foram em princípio consideradas como da **Formação Sapucaí** (ou seja, referidas ao cronogrupo de aproximadamente 130 Ma). Datações recentemente realizadas, embora ainda esparsas se considerada a complexidade petrográfica presente na região, sustentam em geral essa atribuição; contudo, aparece caracterizada uma superposição geográfica pelo menos parcial com um magmatismo mais sódico representado por fonolitos de idade $66 \pm 4,6$ Ma (Cerro Giménez, Folha Acahay; Velázquez, 1992), e que podem portanto se atribuídos à **Formação Nemby** (ver também item 2.3.1); ela deve também englobar todas as

manifestações de fonolitos sódicos presentes na Folha La Colmena (Cerros Medina e Doña Lili; ver Anexo A).

As rochas basálticas do Potrero Ybaté (a maioria tefri-fonolitos) são ricas em K_2O . Como lavas ocorrem ora com abundantes fenocristais de piroxênio, ora como tipos quase afíricos. Os blocos de lava, que compõem junto com fragmentos menores os piroclastitos acompanhantes, são de rochas semelhantes, mas chamam também a atenção os que aparecem com abundante olivina forsterítica, caracterizando assim uma facies efusiva rica em MgO , certamente mais primitiva que as que predominam entre as lavas.

As rochas que aqui são consideradas de "afinidade lamproítica" são também ricas em K_2O , como mostrado pela mineralogia. Não foram encontrados, entretanto, alguns dos minerais que caracterizam esse grupo de rochas, como wadeita e o anfibólio típico; falta pesquisar mais adequadamente o quimismo de alguns minerais opacos. A ocorrência geológica ("pipes", nas quais à facies hipoabissal associa-se também piroclástica, e uns poucos "plugs") é também reminiscente da forma em que se apresentam os lamproitos. A associação encontrada de minerais pesados é sugestiva, tendo-se observado alguns cristais com feições similares às do diamante (hábito, superfícies, cor, reação à luz ultravioleta), cuja verdadeira identidade deve ainda ser definitivamente verificada (por ex., com microsonda e difração de RX).

Os frequentes diques de *mela-fonolitos* ("cocitos") são bastante similares às rochas anteriores. Texturalmente, poderiam ser considerados lamprófiros alcalinos mesocráticos e,

mineralogicamente, apresentam afinidade com "minetas alcalinas" e "sannaitos" mas, contrariamente a todas essas rochas, mostram sempre pouca biotita e nenhum anfibólio. A presença destas e de outras rochas ricas em K_2O indica que existe na região uma família de litotipos aparentados, ao estilo do que é descrito na literatura internacional (e.g., Wooley, 1987; Mitchell & Bergman, 1991; Rock, 1991). Este último autor, por sinal, considera os cocitos da literatura como rochas híbridas, formadas por mistura de magmas lamproíticos e de minetas.

Os *lamprófiros* são sempre rochas de difícil classificação e interpretação. Os da Folha La Colmena apresentam augitas e biotitas-flogopitas (e olivina, quando presente) como fenocristais, em matriz com esses mesmos minerais, opacos e feldspato alcalino (ver Tabela 4.4). Faltam plagioclásio, anfibólio e quartzo, e geralmente também os fóides (exceção feita de algumas amostras). Estas características as aproximam dos lamprófiros alcalinos (do tipo "mineta alcalina", ou "sannaito" com biotita e sem anfibólio) mais que das minetas típicas (cálcio-alcalinas). Entre eles, encontra-se também um provável "damkjernito" mas, outra vez, sem anfibólio e com biotita como mineral máfico hidratado.

Os *fonolitos* encontrados nos Cerros Medina e Doña Lili são possíveis representantes, nesta região, da **Formação Nemby** (ver Anexo A). A mineralogia (Tabela 4.5) revela a sua tendência sódica. Os *traquitos* são quase todos portadores de melanita e de alguns fóides; inexistente plagioclásio (observação óptica). Piroxênios, os máficos predominantes, e anfibólios, freqüentemente presentes, são de natureza sódica, o que sugeriria

quimismo de tendência sódica. A sua ocorrência como diques, em meio ao enxame de Ybytymí, indica que eles se colocaram possivelmente em conjunto com as outras rochas que compõem o enxame. São assim considerados, tentativamente, como pertencentes à Formação Sapucaí.

As rochas alcalinas faneríticas tem proporções significativas de máficos (augita, biotita-flogopita e olivina, nessa ordem); os opacos são sempre abundantes. O feldspato alcalino é o mineral geralmente mais abundante, por vezes o feldspato único, sempre junto à fóides (no caso dos álcali-feldspato fóide sienitos); as rochas com plagioclásio, que aparece geralmente em proporções menores, mostram modas espalhadas pela parte insaturada do triângulo FA-P-F, ^{a)} mórmente se concentrando no campo dos fóide monzosienitos (Figura 4.7)

Duas características texturais presentes nas rochas alcalinas desta região são notáveis (são reproduzidas aqui discussões com o orientador).

Uma delas refere-se a abundância de fenocristais em muitas das rochas porfiríticas, bastante por cima do valor crítico que a "lei" de Einstein-Roscoe consideraria segura para movimentação de líquidos com cristais em suspensão (da ordem de 25-30%); valores superiores da fração cristalina impediram a ascensão. As maiores proporções de fenocristais encontradas são as seguintes: basaltóides, de 34 até 40% (Tabela 4.2); mela-fonolitos e rochas de afinidade lamproítica, de 36 até 55% (Tabela 4.3); lamprófiros, 41 a 42% (Tabela 4.4) Estes dados sugerem que houve aumento considerável de fenocristais no próprio local de colocação, possivelmente pela ação de um mecanismo parecido a

"filter pressing" (as rochas, portanto, tiveram algum líquido intersticial extraído) ou, como complemento por cristalização rápida de alguns dos fenocristais (e.g., fóides?).

A segunda feição textural interessante é apresentada por muitas das rochas faneríticas, todas elas colocadas, vale lembrar, como corpos pequenos. São texturas tipicamente encontradas em maciços estratiformes, que pressupõem fases "cumulus" previamente cristalizadas se movimentando em câmara magmática, rodeados por uma associação de fases "intercumulus" de cristalização tardia. No caso das rochas desta folha, a ausência de estruturas identificadoras (e.g., bandados de variada espécie) bem como o próprio tamanho da ocorrência (minúsculo, por vezes) inviabiliza uma explicação nesse sentido. Deve-se portanto aceitar que texturas cumuláticas podem ser formadas *in situ*, em condutos verticais de limitada extensão lateral (como máximo, alguns poucos centos de m) mas de percurso vertical provavelmente muito maior. Neles, se colocariam "mushes" com fenocristais já formados, cujo magma intersticial cristalizara tardiamente, submetido a controles de cristalização por meio de difusão, semelhantes àqueles mecanismos mais sofisticados propostos para as próprias câmaras em que cristalizariam os maciços estratiformes ("double-diffusive convection", ver Irvine, 1980).

A maioria das rochas meso- a melanocráticas porfiríticas (mela-fonolitos, lamprófiros, etc) mostram pequenos agregados "duníticos" e "wehrlíticos" (olivina e olivina com clinopiroxênio) que podem ser interpretados, em muitos casos, como enclaves de origem mantélica. Repete-se aqui, em escala marcante, o que é freqüentemente visto em "plugs" (e diques)

nefelíníticos da Formação Nemby (ver Velázquez, 1992, para maiores referências). A interpretação dinâmica é, evidentemente, a de que os magmas portadores desses enclaves deveriam ter-se deslocado rapidamente e num só estágio (porque, caso contrário, não se encontrariam esses enclaves na posição presente). A explicação também exclui, claramente, a existência de uma ou várias câmaras magmáticas ocultas em profundidade, onde poderiam ter-se formado, por exemplo, os fenocristais dessas rochas. Como reforço, cabe ainda destacar que pequenos volumes de magmas primitivos colocados em fraturas, e que portanto resfriam rapidamente, só podem chegar até níveis superficiais ou subsuperficiais se a movimentação é rápida. Os argumentos não são novos, tendo sido utilizados na literatura internacional com referência à colocação de kimberlitos e lamproitos (ver, por exemplo, Mitchell & Bergman, 1991; Rock, 1991). Da mesma maneira, deve ser admitido que a maioria dos fenocristais, pela suposta inexistência de câmaras magmáticas de cristalização intermediária, cresceriam principalmente durante a etapa de ascensão e, secundariamente, durante a fase de resfriamento, após a finalização da movimentação dos respectivos magmas.

A erosão pós-erupção pouco afetou as áreas agora expostas no Vale de Acahay, daí a presença de derrames e mantos de lavas e rochas piroclásticas em algumas áreas algo deprimidas (e.g., Potrero Ybaté) e a caracterização dos diques e outros corpos intrusivos como de natureza subvulcânica. A erosão se manifestou certamente com maior intensidade nas áreas elevadas vizinhas ao "rift" (por exemplo, a Serrania de Cordillerita).

CAPÍTULO 5

ESTRUTURA, HISTÓRIA GEOLÓGICA E RECURSOS NATURAIS

Neste capítulo são discutidas as estruturas presentes na Folha La Colmena, e a seguir a história geológica. Uma breve digressão enfatiza a importância do "rift" de Asunción como coletor e possível gerador do magmatismo alcalino, radicado tanto nele como nas suas vizinhanças. Um item sobre Recursos Naturais fecha o capítulo.

5.1. ESTRUTURA

A Folha La Colmena é dividida, convenientemente, em blocos limitados por falhas. Esta divisão tem vantagem dupla. Por um lado, permite sistematizar a descrição de unidades geológicas, como mostrado no Capítulo 3. Por outro, enfatiza as feições estruturais tidas como mais significativas nesta região, e de fato no Paraguai Oriental inteiro: a presença de uma tectônica relativamente recente, que retalha o embasamento, junto com sua pouco espessa cobertura sedimentar, em conjuntos de blocos com movimentação predominantemente vertical (ver também comentários no item 2.1). Os limites dos blocos são, portanto, falhas normais, cuja movimentação relativa e rejeito pode, pelo menos em princípio, ser estimado ou inferido pela disposição da

cobertura sedimentar, colocada proeminentemente de maneira subhorizontal.

5.1.1. Os blocos na Folha La Colmena

As falhas normais e movimentações relativas.

As falhas mais importantes detectadas na Folha La Colmena são as de Acahay, Chauria, Medina e San José (Figura 5.1). A disposição das formações do Grupo Caacupé, bem como a da Formação San Miguel (ver Anexo A), identifica as movimentações relativas mostradas na mesma Figura, que serão discutidas a seguir.

A falha de Acahay, de percurso geral E-W, é de importância regional, já que é um dos limites (o meridional) do segmento E-W, aqui chamado de segmento Acahay, do "rift" Asunción (ver Figuras 2.1, 2.3 e 5.2). Pouco mais para W, na vizinha Folha de Acahay, muda a falha seu rumo para aproximadamente N45-55W, iniciando-se assim o aqui chamado segmento Asunción, de percurso SE-NW, do mesmo "rift", que se estende até o Rio Paraguai. A continuação para W da falha Acahay não é bem conhecida, por falta de bons afloramentos e, principalmente, por ausência de trabalhos de mapeamento; mesmo assim, deve prolongar-se por mais de 10 ou 15 km para Oriente, antes da deflexão para SE, com o início do segmento Ybytyruzú, distal, do "rift" de Asunción. A falha Acahay é cortada pela de San José.

A falha Medina é de rumo geral quase E-W, levemente diferente do mostrado pela falha Acahay. Ela forma, junto com a de Chauria (rumo N53W), uma geometria em "escada", que deve

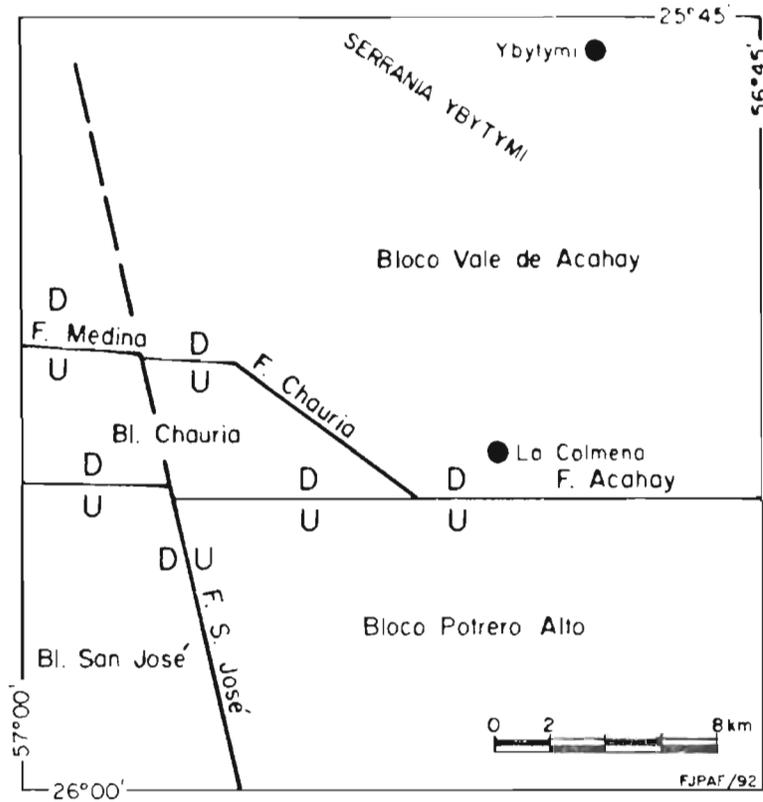


Figura 5-1. Os blocos da Folha La Colmena e as falhas que os limitam. Indicam-se com as letras U (up) e D (down) as movimentações relativas.

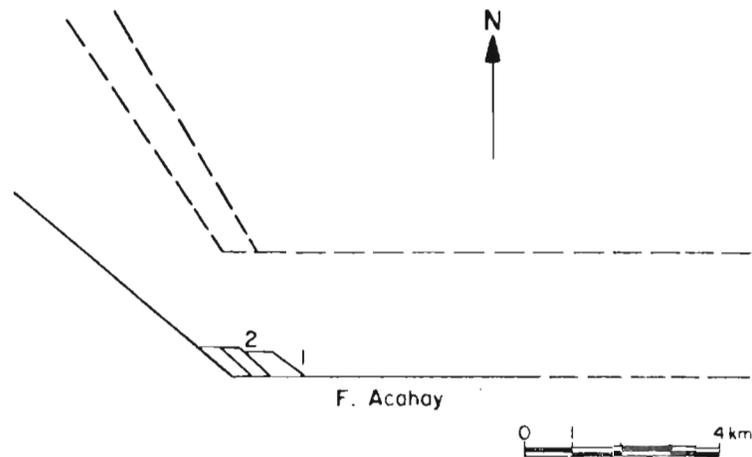


Figura 5-2. Os segmentos Acahay (E-W) e Asunción (NW-SE) do "rift" de Asunción. A sequencia de blocos escalonados, na deflexão da Falha Acahay para NW, é interpretação baseada na disposição das falhas Chauria (1) e Medina (2).

estar relacionada com o ponto de inflexão para NW da falha principal, a de Acahay. Uma possível interpretação, que deverá ser confirmada ou retificada por trabalhos de mapeamento na Folha Acahay, é a mostrada na Figura 5.2. Observe-se que a orientação da falha Chauria é grosseiramente a mesma que a mostrada pelo segmento Asunción do "rift". A falha San José, por sua vez, também corta a de Medina.

O último episódio relevante de fraturamento e deslocamento na Folha La Colmena é representado pela falha San José, de rumo geral N12-15W. A sua existência é ainda marcada pela aparição, na vizinhança, de diques subverticais de diabásios com o mesmo rumo, presentes principalmente na sua parte meridional (ver Anexo A). As relações mútuas entre esta falha e a de Acahay puderam ser confirmadas no campo, mostrando que os arenitos Tobatí do Bloco San José estão em contato tectônico, pela ação da falha homônima, com rochas do embasamento (ver Anexo A).

A observação das fotografias aéreas também sugere leve deslocamento de componente dextral da falha Acahay pela de San José. Os estudos realizados por T.A.C. (1981) levaram aos autores do respectivo mapa a propor sistemas de falhas, nesta região, de rumo semelhante ao da Falha San José, claramente posteriores à falha meridional limitrofe do segmento Acahay do "rift". Estes trabalhos prévios reforçam a interpretação aqui proposta para a idade da falha San José.

Rejeitos entre blocos

As falhas acima citadas são os limites dos blocos Potrero Alto, San José, Chauria e Vale de Acahay (Figura 5.1), como

discutido no Capítulo 3. A presença das formações sedimentares mapeadas, de atitude subhorizontal, permite identificar as movimentações relativas, como indicadas na Figura 5.1, e avaliar a magnitude do rejeito vertical.

O limite entre as formações Cerro Jhú e Tobatí (ver item 3.3.1.) aparece nos dois blocos Potrero Alto e San José. No primeiro, encontra-se aproximadamente nas cotas de 410-450 m (Cerro Achón) e no segundo, nas cotas de 250 m (extremo NE do Bloco San José, Anexo A). O rejeito entre ambos os blocos é portanto da ordem de 160 a 200 m.

O Bloco Chauria aparece dividido em duas subunidades. A situada a leste da falha San José mostra o contato entre as formações Cerro Jhú e Tobatí a aproximadamente 180-200 m, definindo então uma ^{up to} subsidência em torno de 200 m em comparação com as áreas vizinhas (Cerro Achón, Bloco Potrero Alto) (Anexo A).

Na subunidade do Bloco Chauria que se encontra a W da falha San José, não é observado o contato entre ambas as formações previamente citadas, possivelmente oculto por depósitos quaternários. A cota mínima em que afloram os arenitos Tobatí é de 130 m; é esta também a cota na qual é encontrado o limite Cerro Jhú-Tobatí, imediatamente à S, no bloco San José (Anexo A). As relações relatadas sugerem que esta subunidade do bloco Chauria deve ter rejeito, frente ao Bloco San José, de algumas poucas dezenas de metros, uma ^{rejeito} subsidência portanto menor que a dos 200 m avaliados para o afundamento da subunidade oriental do mesmo bloco (frente ao Bloco Potrero Alto).

De interesse maior a se destacar é a subsidência entre os

blocos Potrero Alto e Vale Acahay, que são geometricamente as regiões que melhor identificam, na escala local da Folha La Colmena, respectivamente a parte "alta" e a afundada do "rift" de Asunción no seu segmento Acahay (Figura 5.2). No Vale de Acahay são encontrados os estratos basais aflorantes da unidade inferior (U1) da Formação San Miguel em cotas de 130 a 150 m (Anexo A). Admitindo que U1 represente a parte basal da citada formação, localizada imediatamente por cima da Formação infrajacente Coronel Oviedo (ver observação no item 3.3.4.), e supondo ainda seqüência estratigráfica completa (sem presença local de hiatos erosivos), é possível estimar a profundidade a qual seria encontrado o topo da Formação Cerro Jhú (ver seqüência e espessuras de formações na Tabela 2.2). Com uma potência estimada de 650 m para Coronel Oviedo, e de aproximadamente 400 m para o Grupo Itacurubí, e ainda a mínima de 200 para a Formação Tobatí (ver Anexo A e item 3.3.1.), chega-se a uma cobertura total de 1250 m, para atingir o topo da Formação Cerro Jhú. Esta última unidade atinge na Folha La Colmena uma espessura da ordem de 200 m (Anexo A e item 3.3.1.). Conseqüentemente, é estimada uma espessura total de 1450 m, desde a base da unidade U1, até o embasamento cristalino, no Vale de Acahay. A subsidência total do bloco Vale de Acahay, frente ao bloco Potrero Alto, que marca o limite meridional do "rift", é algo maior, da ordem de 1520 m, já que a base da unidade U1 está a 130-150 m, e os afloramentos do embasamento aparecem à cota de 200 m, na região da Falha de Acahay (ver Anexo A).

A análise estrutural ensaiada mostra, por outro ângulo, que

o bloco Chauria nada mais seria que resultado de um ajuste local (por ex., no sentido indicado na Figura 5.2), e que a falha San José representaria movimentações tardias de importância menor.

Perfis estruturais

Vários perfis são apresentados que mostram, de maneira interpretativa, tanto deslocamentos como comportamento estrutural dos blocos e das unidades sedimentares. São os que unem os pontos A e B, C e D, E e F, e G e H (ver indicações no Anexo A e detalhes nas Figuras 5.3 a 5.6).

O perfil A-B (Figura 5.3) parte de Costa Peña (Bloco Chauria, à W da Falha San José), a SW, e chega até a região à NE da Serrania de Ybytymí. Corta as falhas San José e Chauria, ambas supostas subverticais (ou de pronunciado mergulho, da ordem de 75-85°, para o interior do "rift"). A E da falha San José é observado o contato entre as formações Cerro Jhú e Tobatí, que para W da citada falha permanece oculto. Observa-se ainda o leve mergulho, considerado de origem tectônica estimado em 1,5 - 2° para SW e S, das camadas da Formação San Miguel (ver comentários no próximo parágrafo).

O perfil C-D (Figura 5.4) é de percurso SE-NW e parte de uma região elevada, à E do Bloco Potrero Alto, passando por La Colmena e atingindo a Serrania de Ybytymí; finaliza, já na Folha vizinha de Sapucaí, algo a N da localidade homônima. Identifica-se neste perfil o mergulho pouco marcado das formações Cerro Jhú e Tobatí, da ordem de 2-3° para E e SE, (também de origem tectônica?). Não existem, evidentemente, evidências locais que permitam aceitar com segurança tal afirmação. Entretanto, a

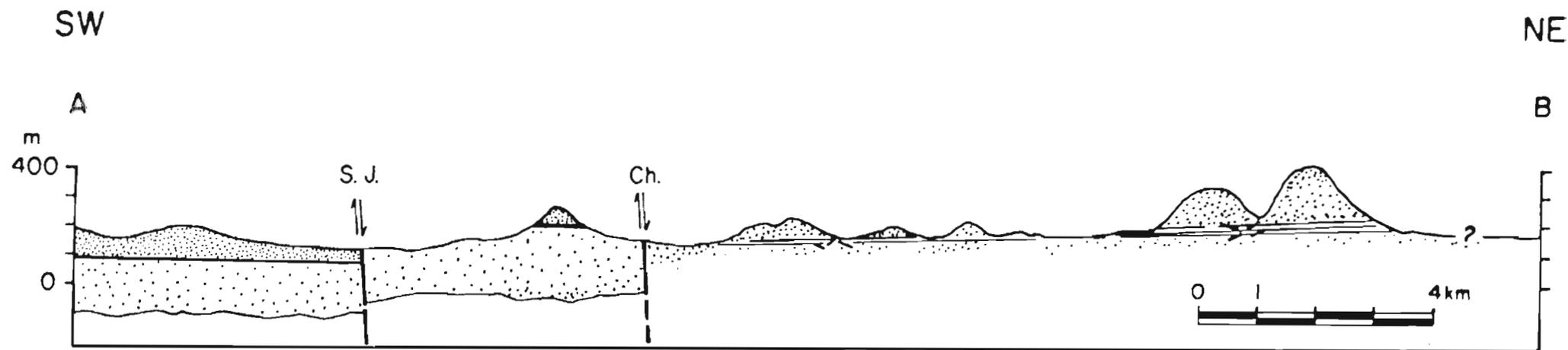


Figura 5-3. Perfil A-B (bloco Chauria à SW, até Serrania de Ybytymí, à NE, ver Anexo A). São indicadas as falhas San José (SJ) e Chauria (Ch). Pontilhado fino e grosso, formações Tobatí e Cerro Jhú, respectivamente. Pontilhado fino com linhas na base, Formação San Miguel. O signo de interrogação indica localização aproximada de "janela" erosiva onde afloram (?) sedimentos que podem ser atribuídos à Formação Coronel Oviedo.

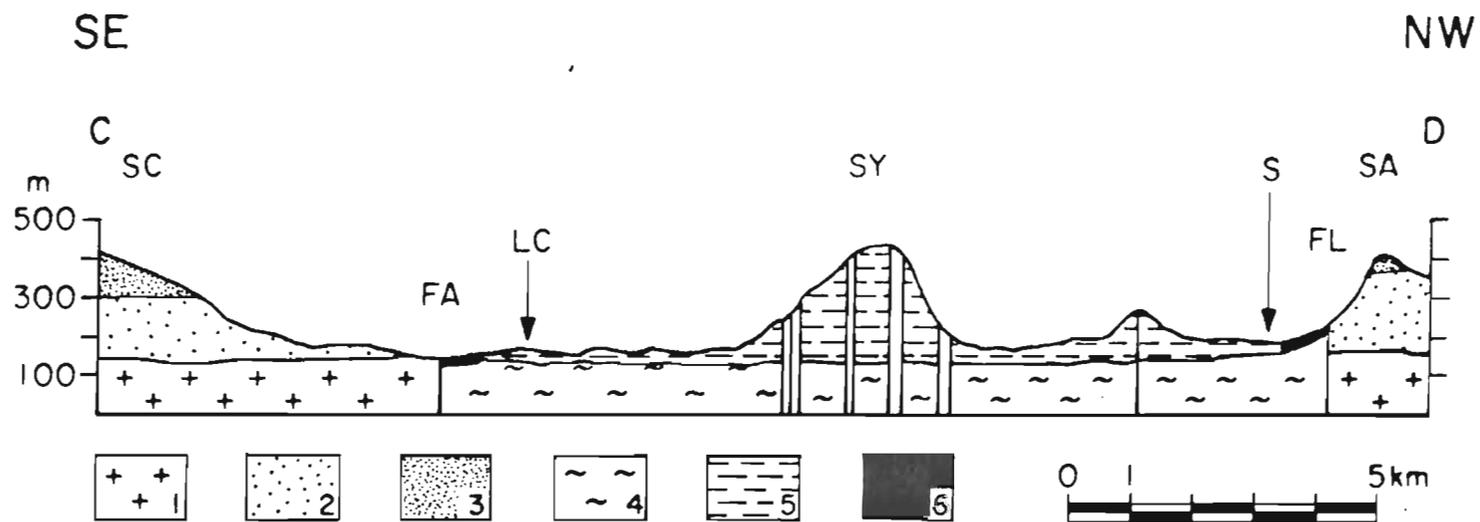


Figura 5-4. Perfil C-D (Serrania de Cordillerita, a SE, até Sapucaí, a NW, na Folha vizinha). Indicadas as Serras de Altos (SA), de Cordillerita (SC) e Ybytymí (SY), e as localidades de La Colmena (LC) e Sapucaí (S) (ver anexo A). São indicadas as falhas N e S que limitam o segmento Acahay do "rift" de Asunción (FA: falha de Acahay; FL: falha do limite N, posição aproximada ao pé da Serrania de Altos). 1: Grupo Caapucú; 2 e 3: Formações Cerro Jhú e Tobatí; 4: Formação Coronel Oviedo; 5: Formação San Miguel; 6: preenchimento de vale. Linhas grossas verticais: diques.

aparicção sistemática de leves mergulhos nas camadas subhorizontais que cobrem dois blocos diferentes (o do vale do Acahay e o de Potrero Alto) sugere que esses mergulhos se originaram por leve basculamento dos blocos durante a etapa de geração das estruturas, eventualmente reforçados por reativação posterior das mesmas. À N da Falha Acahay (Figura 5.4), entra-se na área deprimida do "rift", para a qual é estimada uma subsidência da ordem de 1520 m (ver item acima). Considera-se, como sugerido acima, que a Formação Coronel Oviedo aparece imediatamente sotoposta aos afloramentos da Unidade U1 da Formação São Miguel. Mais para NW, é mostrada a Serrania de Altos, com as formações Tobatí e Cerro Jhú (ponto D do perfil), que assinala com o seu marcado relevo positivo a parte setentrional "soerguida" do "rift". A falha-limite setentrional, ainda sem designação, aparece assinalada na Figura 5.4 de maneira tentativa, e constitui o par conjugado da Falha do Acahay (ver também a Figura 5.6, como complemento do mostrado na Figura 5.4).

O perfil E-F (Figura 5.5) expõe com maior detalhe o comportamento das formações Cerro Jhú e Tobatí, no Bloco Potrero Alto. O percurso do perfil (WNW-ESE) corta a Falha San José, paralela à qual são observados diques subverticais de diabásios, e enfatiza o mergulho das camadas sedimentares, já discutido no parágrafo anterior.

O perfil G-H (Figura 5.6) mostra na sua parte sul-occidental as feições da Folha La Colmena, definidas nos perfis anteriores. A parte nor-oriental, entretanto, não é bem conhecida. Neste perfil são indicadas apenas feições já sugeridas, várias delas

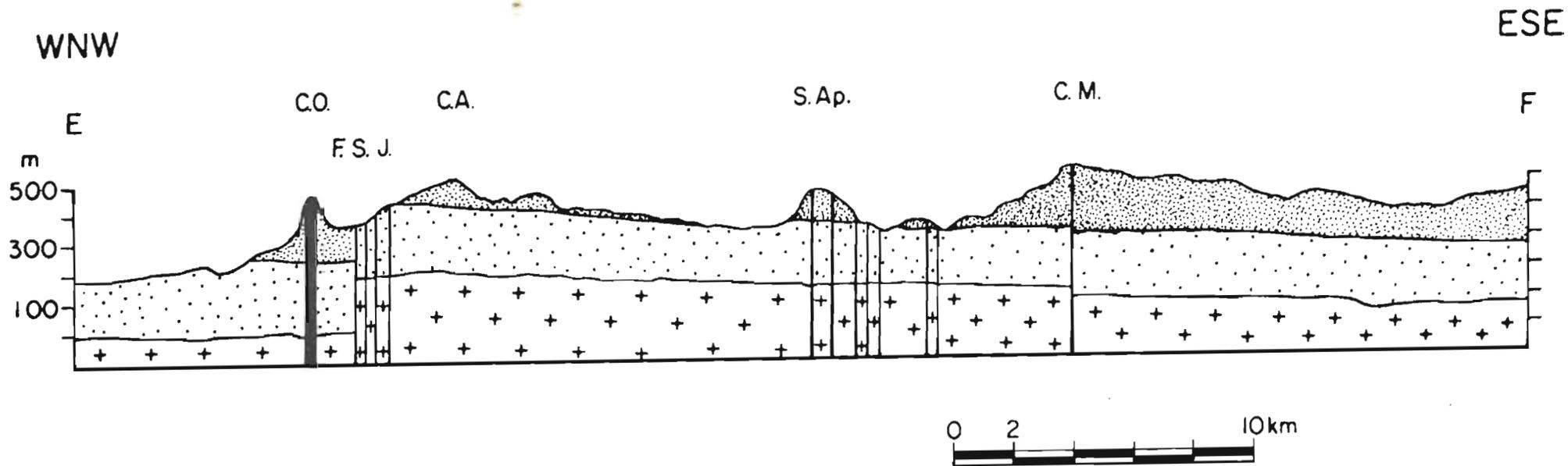


Figura 5.5. Perfil E-F (bloco San José, à WNW, até limite da Folha Lo Colmena, à ESE, ver Anexo A).
 CO, CA e C.M.:cerros Obi, Achón e Mongelos; FSJ: Falha San José; SAp: Serrania Apynaguá .
 Cruzes: Grupo Caapucú; pontilhados espaçado e apertado, formações Cerro Jhú e Tobatí.

Talte lit de obfuo

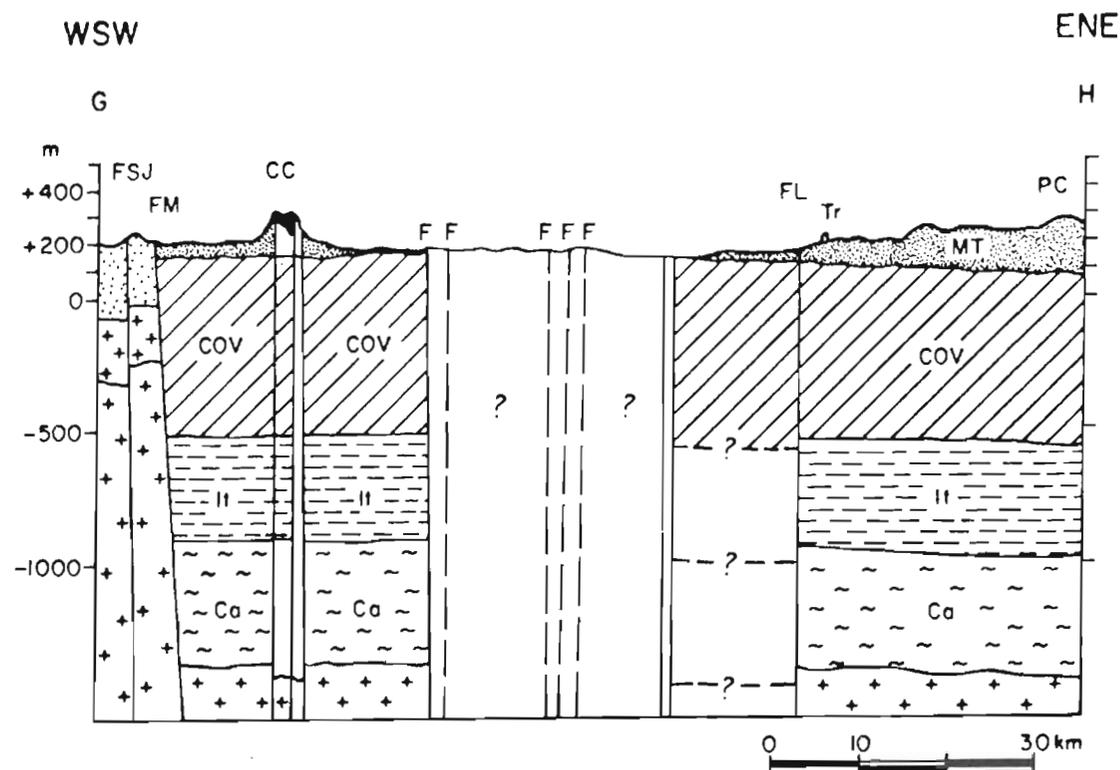


Figura 5-6. Perfil regional G-H (bloco Chauria, à WSW, até pedreira Cachimbo, PC, perto da localidade de de Colonia J.M. Frutos, à ENE; ver Anexo A). FJS, FM, FL: falhas San José, Medina, e a falha limite, inferida, limitando o "rift" de Asunción (localidade suposta, perto da Vila J.M. Troche, Tr). F: falhas sem nome. Linhas grossas verticais: diques. CC: Cerro Chobí. Formações são indicadas por cruces (embasamento), Ca (Grupo Caacupé), It (Grupo Itacurubí), COV (Formação Coronel Oviedo), MT (Formação San Miguel-Tacuary, indistintas, para ENE; Formação San Miguel, Folha La Colmena, na região do cerro Chobí).

marcadas em mapas (e.g., T.A.C., 1981; Proyecto Par 83/005, 1986) tais como diques e várias falhas (confirmadas ou inferidas). A sigla FL identifica a falha que, perto da localidade Mauricio José Troche, deveria limitar para N o segmento Acahay do "rift" de Asunción. A unidade ali aflorante (como também na base da Cordillera de Ybytyruzú) pertence às formações San Miguel e Tacuary (mapeadas de maneira indistinta na região). Ou seja: a **mesma** unidade aflora tanto em regiões situadas na parte deprimida do "rift" (como Ybytyruzú, ver os esquemas geológicos mostrados nas Figuras 2.1 e 2.2, e o percurso do "rift", delinhado na Figura 2.3) como no bloco "soerguido", à N da parte deprimida. A falta de mapeamentos detalhados, naturalmente, impede qualquer discussão mais fundamentada deste aspecto. Fica claro, com isto, que a metade nor-oriental do perfil G-H é tentativa, por não poder mostrar a passagem estrutural da parte deprimida (com subsidência estimada da ordem de 1500 m na região de La Colmena) para o bloco "soerguido" a N de Ybytyruzú.

5.1.2. Sistemas de juntas e fraturas

Não é possível realizar um estudo sistemático de disposição de juntas na Folha La Colmena, por predominarem na região os afloramentos de rochas sedimentares, onde as juntas são em geral mais raras, e por apresentar-se muitas dessas rochas apenas como blocos e matacões rolados (ou seja, não "in situ").

Sistemas de fraturas, entretanto, são visíveis tanto em fotografias aéreas (constituindo em parte falhas de pequeno

rejeito) como também por estarem ocupadas por diques de rochas ígneas. Estas últimas fraturas comportam-se, portanto, como **fraturas extensionais**, seja porque representam os "locais" de verdadeira distensão local, seja porque adquirem esse caráter tardiamente, abrindo-se por efeitos de "transtasões" locais ou até regionais.

Na Tabela 5.1 são registradas as direções dos diques de vários tipos de rochas ígneas alcalinas, coletadas principalmente na região da Serrania de Ybytymí e Potrero Ybaté. As medidas são em geral aproximações e foram freqüentemente arredondados para valores inteiros mais próximos, porque muitos dos diques se manifestam no campo apenas como conjunto alinhado de blocos e matacões. Situações como as mostradas nas Fotografias 6 e 8 (Capítulo 3) são mais raras. Foi também constatado que muitos destes diques tem percurso algo irregular, com desvios, mudanças na largura, espessamento, e ramificações (e até, mais esporadicamente, interrupções e deflexões em ângulo, à maneira de padrão "en echelon"). As direções amostradas são, portanto, médias aproximadas que identificam o rumo geral da fratura correspondente.

As direções predominantes dos diques e das fraturas correspondentes (Tabela 5.1, ver também Figura 5.7) são as N-S, as E-W e as situadas em torno de N20-25W e N45-55W. A última direção, em especial, é a mais freqüente e a que mais se destaca em fotografia aérea e no campo (ver Anexo A), por sustentar cristas de percurso similar; aparece como a direção geral mostrada pelo enxame de diques alcalinos de Ybytymí, e repete-se regionalmente (por ex. no enxame de diques presente na

TABELA 5-1

Direções de diques de rochas ígneas

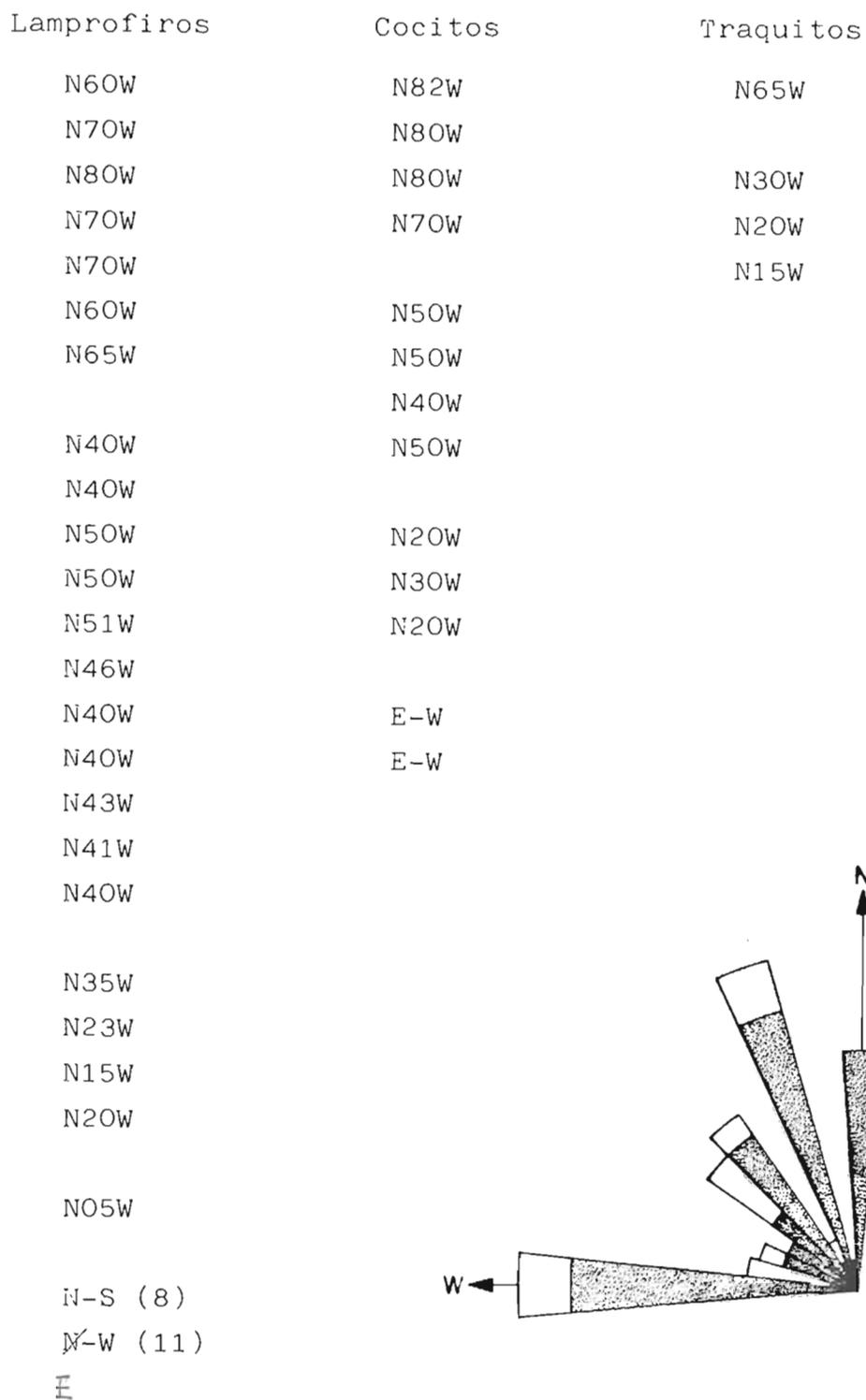


Figura 5-7. Diagrama em rosácea de direções de diques (pontilhado: lamprófiros; em branco: traquitos, etc.). As direções predominantes, na Folha, são as oblíquas (ver texto).

Cordillera de Ybytyruzú, ver T.A.C., 1981). Da mesma forma, muitos dos diques de diabásio, pertencentes à Formação Alto Paraná (=Serra Geral) se colocam regionalmente em fraturas de direção predominantemente N45-55W (ver Drueker & Gay, 1987). Percebe-se ainda uma deflexão do sistema de diques de Ybytymí, que ao entrar na Folha vizinha Sapucaí, mais a N, curva-se levemente para N. As direções N45-55W passam assim sistematicamente para ângulos menores, por mudanças na direção das respectivas fraturas. Embora a falta de bons afloramentos não permita uma medição, no campo, do número e espessura integrada dos diques, é estimada uma densidade, no enxame de Ybytymí, de ordem de 100 diques por km de rocha encaixante invadida. O "locus" destes diques é interpretado como um sistema de fraturas extensionais (ver também Ulbrich & Báez Presser, 1992), que em alguns casos abriu-se repetidas vezes, como atestado pela presença de diques compostos. Admitindo uma largura média de um metro (grosseiramente estimada, já que inexistem suficientes dados de campo), é possível identificar uma distensão aproximada, nessa área, da ordem de 10% (100 m de espessura de diques por cada km).

A disposição geométrica destas fraturas, bem como a sua relação com o "rift" de Asunción, permite ensaiar algumas interpretações genéticas (ver Ulbrich & Presser, 1992), que são discutidas no item 5.3.

5.2. HISTÓRIA GEOLÓGICA

5.2.1. As unidades pré-cambrianas e eopaleozóicas

No Alto de Caapucú, de acordo com os dados geocronológicos encontrados em Comte & Hasui (1971) e em Bitschene & Lippolt (1986), as rochas pré-cambrianas do Grupo Paso Pindó são invadidas no Pré-Cambriano Superior a Eocambriano por magmas ácidos, com manifestações iniciais de vulcanismo riolitóide, posteriormente cortadas por corpos granitóides. Vestígios deste magmatismo, atribuído ao Ciclo Brasileiro, aparecem como afloramentos isolados na base da escarpa da Serrania de Cordillerita e a W junto a falha San José (Anexo A). Estas rochas são agrupadas, no Paraguai Oriental, sob a designação de como o Grupo Caapucú (Tabela 2.1).

Após demorada etapa erosiva, superpõem-se os sedimentos clásticos do Grupo Caacupé aos granitóides e riolitóides do Grupo Caapucú. Os sedimentos finos fossilíferos do Grupo Itacurubí (Llandoveryano Inferior), não encontrados na Folha La Colmena, sobrepõem-se ao Grupo Caacupé (para comentários veja-se Proyecto Par 83/005, 1986; ver também Capítulo 2). A maioria dos autores colocam o Grupo Caacupé por baixo dos sedimentos marinhos do Grupo Itacurubí, atribuindo assim ao primeiro idade siluriana inferior ou até ordoviciana (e.g., Proyecto Par 83/005, 1986). A interpretação, em termos de facies, é que a deposição do Grupo Caacupé registra uma invasão marinha no Alto de Caapucú, previamente submetido a erosão subaérea, enquanto que a deposição do Grupo Itacurubí assinala uma fase marinha

total ou parcialmente ^{transgressiva} regressiva. Esta parte do alto foi, portanto, um área positiva possivelmente durante todo o Cambriano e Ordoviciano (ou parte dele), para tornar-se plataforma marinha com a correspondente deposição dos grupos Caacupé e Itacurubí. O Devoniano foi documentado exclusivamente em perfurações, as da Asunción 1 e 2 (a S da falha Jejui-Aguaray Guazú, Figura 2.4), e é representado por folhelhos fossilíferos considerados representantes de uma fase marinha transgressiva (Proyecto Par 83/005, 1986). Não existe registro de Devoniano aflorante em toda a região do Alto de Caapucú, embora ele possa efetivamente estar presente em subsuperfície, em boa parte da depressão de San Pedro.

5.2.2. As unidades neopaleozóicas

Os registros estratigráficos identificam, como unidades neopaleozóicas, as constituídas pela Formação Coronel Oviedo e o superposto Grupo Independencia, com as formações San Miguel e Tacuary (ver Tabela 2.2).

A Formação Coronel Oviedo está representada por um conjunto de sedimentos grossos (diamictitos) até finos (lutitos), aparentemente depositados em ambientes glacial e periglacial. É considerada de idade carbonífera superior a permiana inferior, e para N interdigita-se com os sedimentos da Formação Aquidabán, de origem fluvial e deltáica (ver também item 2.2.2.). O contato desta formação com as silurianas é tectônico, por meio de falha, à E da Folha La Colmena (ver, para orientação, a Figura 2.2); não são observados contatos normais superpostos com as unidades

mais antigas, mas parece lógico supor contato erosivo, com marcado hiato estratigráfico que abarcaria todo (ou parte) do Devoniano, e todo o Carbonífero Inferior e Médio. A Formação Coronel Oviedo só aflora a W da Folha La Colmena. Parece evidente, por outra parte, que ela deva encontrar-se em profundidade no Vale de Acahay, existindo até a possibilidade de que apareça o teto dela aflorando na janela erosiva aberta na Unidade U1 (item 3.3.4), algo a N de Cañada (ver também interpretação no perfil A-B, Figura 5.3).

A próxima formação, a de San Miguel, é considerada de idade permiana média ou superior, com sedimentos variados (grossos até finos), que se depositaram em ambientes fluviais, lacustres, deltaicos e até marinhos rasos (ver Proyecto Par 83/005, 1986). As três unidades U1, U2 e U3 que compõem a Formação San Miguel na Folha La Colmena formam uma sucessão com granocrescência ascendente e são compatíveis com deposição em "alluvial fans"; a presença, na unidade U1 inferior, de material carbonático, sugere a existência de sedimentos formados em lagos de pouca extensão (ver item 3.3.4).

A interpretação ensaiada no perfil G-H (Figura 5.6) adapta-se às observações documentadas nos mapas regionais, sugerindo pouca ou nenhuma diferença de cotas entre as unidades inferiores da Formação San Miguel, na Serrania de Ybytymí, e os estratos possivelmente crono-correlatos encontrados na Serrania Ybytyruzú e áreas mais a E, já fora da zona de influência do "rift". Embora inexistam dados mais detalhados, é tentadora a possibilidade de levantar a hipótese de uma origem muito antiga do "rift" de Asunción, com os seus segmentos Acahay e Ybytyruzú

já formados no Permiano e em franca subsidência, com deposição coetânea da Formação San Miguel (e Tacuary, mapeadas conjuntamente na maioria dos trabalhos) (sugestão pessoal).

5.2.3. As manifestações ígneas do Cretáceo

As ocorrências de rochas ígneas cretáceas na Folha La Colmena (principalmente diabásios e rochas alcalinas várias, ver Capítulo 4) parecem pertencer todas ao cronogrupo de 131 Ma, definido em Ulbrich *et al.* (1990). Datações mais novas parecem confirmar a previsão inicial (*e.g.* dados em Velázquez, 1992). Assim, as datações sugerem, com erros geralmente significativos (da ordem de vários Ma), uma contemporaneidade **geocronológica** para diabásios e rochas alcalinas. Observações **geológicas** entretanto, indicam que as rochas basálticas localizam-se antes que as alcalinas (por ex., raros casos em que um lamprófiro corta um diabásio, na região de Chauria). É também de fundamental importância destacar as localizações claramente diferentes de diabásios e rochas alcalinas. Os primeiros mostram dispersão **geográfica** significativa, aparecendo não apenas no "rift" de Asunción como também por toda a parte do Alto Caapucú (*e.g.*, Drueker & Gay, 1987). As alcalinas, por outro lado, estão sugestivamente limitadas ao interior do "rift" de Asunción, ou a sua imediata vizinhança (como por ex. o maciço de Acahay). Independentemente da sua aparente contemporaneidade **geocronológica**, ambos os litotipos são rochas claramente diferentes, tanto do ponto de vista **genético** como **tectônico**.

O magmatismo alcalino, mais complexo do ponto de vista

geológico, deve ter tido, então, duração escassa, possivelmente de alguns poucos Ma; geraram-se nesse intervalo vários sistemas de diques, "plugs", "pipes", derrames de lavas e mantos de piroclásticas. Mas as observações geológicas oferecem claras provas de histórias complicadas de intrusão e efusão, mesmo no breve intervalo de tempo suposto para a maioria das manifestações alcalinas (cronogrupo de 130 Ma). Algumas dessas observações são indicadas a seguir (ver item 3.3.4):

- a ocorrência intermitente de rochas piroclásticas e de derrames de lava, no Potrero Ybaté;

- a aparição inicial, em "pipes" de rochas consideradas de afinidade lamproítica, das manifestações piroclásticas ("facies piroclástica"), seguida por intrusão de magmas ("facies hipoabissal");

- a invasão de diques com alguma variação nas direções (embora as com direção N40-55W sejam as que predominem) no enxame de Ybytymí, possivelmente colocados em épocas algo diferentes;

- a presença de enclaves de leucita melafonolitos e lamprófiros em sienitóides (por ex., contidos nos nefelina sienito do Cerro Chobí), por sua vez cortados por diques tardios de rochas similares às dos enclaves;

- diques compostos no enxame de Ybytymí (por ex., biotita lamprófiro nas duas bordas, invadido por leucita melafonolito, ambos frescos, por sua vez invadido por biotita lamprófiro central, alterado);

- rochas sienitóides (por ex., em Cañada) cortadas por lamprófiros ultramáficos.

A enumeração destas feições, que indicam claramente seqüências complexas das manifestações alcalinas, não delata nenhuma ordem especial de intrusão (por ex., de "mais máfico" para "mais félsico"). Pelo contrário, indica em vários casos recorrência da manifestação ígnea.

A combinação de dados estruturais (Anexo A) com as observações de campo e a informação geocronológica estabelecem um quadro de relação entre falhamento e atividade ígnea.

A falha San José (N12-15W) é posterior à formação da falha Acahay, o limite meridional do segmento Acahay, e a de Medina, grosseiramente paralela à anterior, portanto posterior a formação do Bloco Chauria (ver interpretação deste bloco na Figura 5.2). Em paralelo à falha San José, aparecem vários diques de diabásio, com rumo geral N15W, atribuídas ao cronogrupo de 131 Ma citado. Com isto, estabelece-se uma idade mínima para esta falha de ajuste tardio. Fica indefinida a idade da Falha Acahay e a do próprio "rift". De qualquer maneira, a fase de subsidência mais importante do "rift", da ordem de 1520 m no segmento Acahay (item 5.1.1), deve preceder à da formação da falha San José e do próprio magmatismo basáltico e alcalino.

O sistema de diques (= fraturas) N40-55W está colocado em fraturas extensionais; esta geometria, bem como a de toda a configuração do "rift" de Asunción (de "Z" invertido e deitado) só pode formar-se pela ação de um par de componentes cisalhantes de direção E-W e com movimentação dextral, aplicados no segmento Acahay. As fraturas extensionais que aparecerão, nesse caso, terão orientação aproximada N45W (ver discussão no item seguinte). Estas fraturas devem ter a mesma idade dos diques de

rochas alcalinas, tendo-se formado portanto em torno de 130 Ma atrás, e são (possivelmente) mais novas que as fraturas que contêm os diabásio (cortados por lamprófiro, ver observação acima citada, em Chauria).

As idades existentes até o momento (veja-se Velázquez, 1992 e literatura ali citada) indica que algumas poucas manifestações isoladas (como o "plug" fonolitóide do Cerro Gimenes na Folha vizinha de Acahay) são mais jovens (com idade K/Ar de ordem de 66 Ma) e cronologicamente mais próximas, portanto, às ocorrências da Formação Nemby (aproximadamente 40 a 60 Ma), aflorante no extremo NW do segmento Asunción (ver comentários no item 4.3).

5.2.4. As unidades sedimentares pós-magmatismo Cretáceo

A mais importante unidade a ser ainda mencionada é a que, no segmento Asunción do "rift", é mapeada como Formação Patiño. É constituída por sedimentos vermelhos pouco selecionados, grossos a médios (conglomerados a cascalho, areias), por vezes sem muita compactação, descritos como "fanglomerados" (Proyecto Par 83/005, 1986). Mostra blocos de todas as unidades aflorantes nessas regiões, tratando-se de típico "recheio" de vale. Aparece a formação cortada por algumas das rochas alcalinas daquela região (e.g., diques de nefelinito, observações próprias), mas também são encontrados, pelo menos localmente, blocos da Formação Nemby. A Formação Patiño inicia a sua sedimentação no Cretáceo (imediatamente antes, e durante, o magmatismo Cretáceo?) e a finaliza aparentemente só no Terciário (no caso

do segmento Asunción).

Depósitos semelhantes são encontrados na Folha La Colmena, de cores variadas e arranjo granulométrico aparentemente mais caótico, não mostrando a seqüência de diminuição granulométrica que é claramente observada nos sedimentos correlatos do segmento Asunción (Proyecto Par 83/005, 1986). No Vale de Acahay, são encontrados afloramentos desta unidade cortados por fraturas consideradas antigas (as de rumo aproximado N-S e N20W), o que sugere início de deposição antes ou durante o magmatismo Cretáceo (ver item 3.3.4).

São encontrados adicionalmente várias unidades de sedimentos recentes e subrecentes (Anexo A, item 3.3.4).

5.3. O "RIFT" DE ASUNCIÓN: UMA INTERPRETAÇÃO

A associação do "rift" de Asunción com as ocorrências de rochas alcalinas da chamada "Provincia Central" (ver item 2.3.1) é de tal sorte imediata que é essa estrutura, mais que mero local de colocação, provável causa até da geração de manifestações alcalinas (H. Ulbrich, apreciação pessoal). Esta relação foi expressa de maneira explícita em trabalho preliminar de Ulbrich & Presser (1992), e será apresentada, com maiores dados, em artigo mais extenso em preparação. Segue-se aqui a argumentação expressa nesse artigo, que se baseia em modelos gerais existentes na literatura.

A geometria do "rift" de Asunción, inicialmente destacada por Degraff (1985; ver também Drueker & Gay, 1987), é muito

característica. Mostra forma de "Z" invertido e deitado, formando os três segmentos já citados: o de Asunción, de percurso NW-SE; o central, de Acahay, de rumo E-W, e o ocidental ou de Ybytyruzú, outra vez com direção NW-SE, que desaparece por baixo das coberturas da Bacia do Paraná; o último é o menos conhecido dos três. Por estas características, destaca-se como uma estrutura de percurso "sinistral" ("left-stepping"), cujo segmento central (Acahay) comporta a aplicação de um par conjugado de componentes cisalhantes, de direção E-W (obviamente, paralelo às falhas limites N e S desse segmento) e cuja movimentação é dextral (horária). As conseqüências estruturais da atuação deste par cisalhante E-W são muito interessantes e geram um conjunto de falhas secundárias de geometria única. A maioria delas são "shears" secundários, que aparecerão no interior do segmento Acahay formando ângulos de diversos valores com as falhas principais. Mas de maior interesse estrutural é a formação de fraturas extensionais, com uma orientação aproximada N45W (para movimentação dextral e direção E-W do par cisalhante limitrofe); eventuais diferenças na orientação e/ou curvaturas no percurso dessas fraturas podem ser explicadas de várias maneiras (cf. Ulbrich & Presser, 1992).

Estas fraturas extensionais são verticais e devem atingir fontes mantélicas, certamente as da litosfera inferior mais possivelmente também as infralitosféricas. Elas devem ser, por vários motivos, o "locus" de geração de magmas mantélicos, já que representam fraturas ao longo das quais existe alívio de pressão. As que são observadas no Vale do Acahay e vizinhanças, com orientação aproximada N45W, são portanto interpretadas não

apenas como o "caixa" para subida e colocação dos diques mas também como os locais de geração, em profundidades mantélicas. Este processo magmático, à luz do exposto, seria conseqüentemente apenas o corolário da atuação do citado par cisalhante, dextral, nesse ambiente de "rift". Qual a causa dessa movimentação? A idade aproximada dos diques do enxame Ybytymí (e feições equivalentes, como muitos dos "plugs", "pipes" e derrames), de 130 Ma, possivelmente definiria também a idade da abertura inicial dessas fraturas extensionais. A idade coincide, grosseiramente, com o início da abertura do Atlântico Sul, que começa na sua parte meridional e se propaga para N, gerando uma movimentação horária nas placas envolvidas (África e América do Sul), compatível portanto com a movimentação de idêntico sentido do par cisalhante E-W no segmento Acahay do "rift". O panorama geral, amparado em dados geocronológicos e feições estruturais, aponta assim para uma **causa geotectônica** maior como explicação para a localização deste cronogrupo de rochas alcalinas no Paraguai Oriental: os esforços transmitidos na placa Sul-Americana pela abertura do Atlântico Sul.

É provável que o sentido dextral de movimentação cisalhante não durasse muito tempo, ou que se esgotaram as fontes mantélicas geradoras do magmatismo, pelo menos no segmento Acahay. Não existe documentação, por enquanto, de diques de idades mais recentes nesse segmento, o que sugere fechamento das fraturas (por ex., por inversão da movimentação, de dextral para sinistral). As idades terciárias do magmatismo alcalino de tendência sódica da Formação Nemby (e.g., Bitschene, 1987), bem como os dados divulgados em Velázquez (1992) sobre manifestações

de fonolitóides de idade 66 Ma, não se enquadram, evidentemente, neste esquema de abertura e fechamento de fraturas extensionais associadas ao evento geotectônico citado - mesmo porque a maioria das mais novas aparecem como "plugs", etc, sugerindo concentrações de magmas em "nós" estruturais (interseções de fraturas, previamente existentes?). Uma análise mais apropriada de algumas feições estruturais, poderá oferecer explicações adicionais. Não é recomendável, entretanto, abandonar a idéia de que as causas geotectônicas gerais (além da já citada abertura do Atlântico, ver sugestões neste sentido em Ulbrich & Presser, 1992) não sejam as geradoras do magmatismo alcalino, convenientemente localizadas por aproveitamento de estruturas locais (H. Ulbrich, 1992, sugestão pessoal).

A geração de magmas como conseqüência da aparição de fraturas extensionais não é necessariamente processo único, desacompanhado de outros fatores (por ex., da tão propalada idéia de que os geradores últimos de fusão no manto são as perturbações térmicas, por meio da atuação de "hot spots" ou outro dos mecanismos já divulgados na literatura).

5.4. RECURSOS NATURAIS

A configuração geológica da Folha La Colmena oferece vários tipos de recursos naturais, alguns deles já conhecidos e explorados, outros de reconhecimento mais recente.

Os "pipes" ocupados por rochas de afinidade lamproítica merecem ser explorados com maior detalhe, já que os magmas

correspondentes se originam em grandes profundidades (por ex., Mitchell & Bergman, 1991) por serem líquidos primitivos enriquecidos em K₂O (como indicado pela mineralogia e sugerido em Báez Presser, 1991, para o caso do "plug" lamproitóide NYGr). Sabe-se já, desde vários anos, que diamantes não são encontrados exclusivamente em associação com kimberlitos. A mais rica jazida de diamante do mundo, em exploração, encontra-se no "pipe" Argyle AK1, de filiação lamproítica, na província de rochas perpotássicas descrita pela primeira vez por Wade & Prider (1940). O teor médio da jazida, desenvolvida ao longo de 7 anos de trabalho ao custo de 24 milhões de dólares, é de 6,8 ct/tonelada e portanto superior a média de 50 ct/100 toneladas, que caracteriza os kimberlitos mais férteis (ver maiores detalhes em Atkinson *et al.*, 1984; Hall & Smith, 1985; Deankin *et al.*, 1989). Alvos interessantes para esta pesquisa na Folha La Colmena, já iniciada por várias empresas, são principalmente as "facies piroclásticas" de "pipes" como Don Eladio 1, Kristo e Dú 2.

Toda rocha primitiva rica em K₂O, por ter-se gerado em profundidades significativas pode, em princípio, carregar diamantes, como noticiado faz tempo na literatura. Neste sentido, seriam também possíveis alvos de pesquisa as "facies" piroclásticas das lavas basaltóides com leucita (tefritofonolitos) encontradas no Potrero Ybaté e adjacências.

Alguns depósitos de sedimentos finos considerados recentes, localizados nos Vale de Acahay, apresentam propriedades de "pozolanas" e são explorados, há 5 ou 6 anos, como aditivos para o concreto (ver detalhes na dissertação de Zarza, 1991). Não se

descarta a possibilidade de que algumas camadas de rochas finas (argilitos, etc.) da Formação San Miguel apresentem propriedades de interesse para a indústria de cerâmica ou de refratários.

Os arenitos ricos em quartzo da Formação Tobatí podem servir, em princípio, como matéria prima para a fabricação de vidro. A pesquisa deveria proceder, neste caso, no sentido de localizar camadas ou "facies" com teores baixos ou nulos dos componentes menores (e.g. de alguns dos minerais pesados acompanhantes), indesejáveis do ponto de vista tecnológico.

Os troncos fósseis silicificados, uma vez cortados e polidos, são aproveitados em vários países como objetos de uso doméstico (pratos, porta-copos, adornos de mesa e de parede). Existem suficientes ocorrências desses troncos na Unidade basal da Formação San Miguel, na Folha La Colmena, como para sustentar por algum tempo a fabricação desses objetos.

As formações mapeadas na Folha La Colmena, evidentemente, tem potencial diferente como rochas formadoras de solos. Os solos que por ventura são gerados às expensas da Formação Tobatí devem ser muito pobres em nutrientes minerais. Os mais ricos, de maior interesse para atividades agrícolas e a pecuária, devem ser os formados por cima das rochas vulcânicas do Potrero Ybaté, e as geradas por transformação de camadas da Formação San Miguel, principalmente as de granulometria mais fina, e da Formação Patiño.

As ocorrências de rochas alcalinas e basálticas, finalmente, podem ser utilizadas para cantaria e brita, para obras localizadas na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1983. Relações Tectônicas das Rochas Alcalinas da Região Meridional da Plataforma Sul-Americana. Rev. Bras. Geoc. 13. 139-158.
- ATKINSON, W.J.; HUGHES, F.E. & SMITH, C.B. 1984. A Review of the Kimberlitic Rocks of Western Australia. In: KORNPROBST, J. (ed), Kimberlites and Related Rocks, p. 195-224. Elsevier Press., New York.
- BAEZ PRESSER, J. 1991. Characterization of Lamproites from Paraguay (South-America). In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 5, Araxá Brasil. Extended Abstracts. Brasília. C.P.R.M., Publ. Esp. 2/91, p. 334-335.
- BAEZ PRESSER, J. 1992. Characterization of Lamproites from Paraguay (South-America). In: LEONARDOS, O. et al., (eds.), INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 5, Proceedings Volume. Brasília C.P.R.M. (em Impr.).
- BAILEY, D.K. 1974. Continental Rifting and Alkaline Magmatism. In: SORENSEN, H. (ed.) The Alkaline Rocks. Chichester, John Wiley & Sons, 622 p.

- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.;
PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R. & ROISENBERG, A. 1984. High
and Low-TiO₂ Flood Basalts from the Parana Plateau (Brazil):
Petrology and Geochemical Aspects Bearing on their Mantle
Origin. N. Jb. Miner. Abh., 150, 273-306.
- BITSCHENE, P.R. 1987. Mesozoischer und känozoischer anorogener
Magmatismus in Ostparaguay: Arbeiten zur Geologie und
Petrologie zweier Alkaliprovinsen. Heidelberg, Universidade
de Heidelberg, 318 p. (Tese de Doutoramento).
- BITSCHENE, P.R. & BÁEZ PRESSER, J. 1989. The Asunción Alkaline
Province (Eastern Paraguay): Geologic Setting and Petrogenetic
Aspects. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 5/6, 959-971.
- BITSCHENE, P.R. & LIPPOLT, H.J. 1986. Acid Magmatites of the
Brasiliano Cycle in East Paraguay. Zbl. Geol. Paläont. Teil
I, 9/10, 1457-1468.
- BITSCHENE, P.R.; LIPPOLT, H.J. & ARETZ, J. 1985. Tertiärer
Vulkanismus in Ostparaguay (Asunción-Provinz) und Rifting-
Prozesse am Westrand der südamerikanischen Plattform. Fortsch.
Miner. 63/1, p. 26.
- BITSCHENE, P.R.; LIPPOLT, H.J. & STROH, A. 1986. Jung-
mesozoischer, K-betonter Magmatismus in Ostparaguay (Guairá-
Paraguari Provinz) und Rifting-Prozesse innerhalb der
südamerikanischen Plattform. Fortsch. Miner., 64/1, p. 19.

- BLACK, R.; LAMEYRE, J. & BONIM, B. 1985. The Structural Setting of Alkaline Complexes. Journal of Afr. Earth Sciences. 3, 5-16.
- CASTILLO, A.M.CL. 1986. Reavaliação da Geologia do Paraguay Oriental. São Paulo. IG-USP, 141 p. (Tese de Doutorado).
- CIGUEL, E.; ROSLER, O. & CASTILLO, A.M. 1987. Skolithos verticalis e Skolithos ayalis, Formação Eusebio Ayala (Grupo Itacurubí, borda ocidental da Bacia do Paraná no Paraguay) e sua importância no ambiente deposicional. In: CONGR. BRASIL. PALEONT., Rio de Janeiro, Anais 10, 253-269.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; CASTILLO, A.M.; DEMARCHI, G.; GALLO, P. & VELÁZQUEZ, J.C. 1990. Petrologia do Maciço Alcalino de Acahay, Paraguai Oriental. Rev. Bras. Geoc., 20, 133-152.
- COMTE, D. & HASUI, Y. 1971. Geochronology of Eastern Paraguay by the Potassium-Argon Method. Rev. Bras. Geoc. 1, 33-43.
- COOPERSMITH, H.G. & MITCHELL, R.H. 1989. Geology and Exploration of the Rose Lamproites, South-east Kansas, U.S.A. Geol. Soc. Austr. Spec. Publ., 14, 1179-1791.
- CUADRICULA 40-ITÁ. 1966. Plan de Prospección Geológica y Mineral. Direc. Rec. Min. M.O.P.C.. Asunción.

- CUADRICULA 41-CORONEL OVIEDO. 1966. Plan de Prospección Geológica y Mineral. Direc. Rec. Min. M.O.P.C.. Asunción.
- DEAKIN, A.S.; BOXER, G.L.; MEAKINS, A.E.; HAEBIG, A.E. & LEW, J.H. 1989. Geology of the Argyle Alluvial Diamond Deposits. Geol. Soc. Aust. Special Publ., 14, 1118-1122.
- DEGRAFF, J.M. 1985. Late Mesozoic Crustal Extension and Rifting on the Western Edge of the Parana Basin, Paraguay. Geol. Soc. Amer. Abstr., 17, 560.
- DEGRAFF, J.M.; FRANCO, R. & ORUÉ, D. 1981. Interpretación geofísica y geológica del valle de Ypacaraí (Paraguay) y su formación. Asoc. Geol. Argent. Rev. XXXVI, 3, 240-256.
- DRUEKER, M.D. & GAY, S.P. 1987. Mafic Dyke Swarms Associated with Mesozoic Rifting in Eastern Paraguay, South America. In: HALL e FAHRIG (eds.), Mafic Dyke Swarms. Geol. Ass. of Can. Spec. Paper, 34, 187-193.
- ECKEL, E.B. 1959. Geology and Mineral Resources of Paraguay. A Reconnaissance. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 327, 110 p.

- FIPKE, Ch.E. 1991. Significance of Chromite, G5 Mg-Almandine Garnet, Zircon and Tourmaline in Heavy Mineral Detection of Diamond Bearing Lamproite. In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 5, Araxá, Brasil. Extended Abstracts. Brasília, C.P.R.M., Publ. Esp. 2/91, 97-100.
- FISHER, R.V. & SCHMINCKE, H.V. 1984. Pyroclastic Rocks. Springer, New York, 472 p.
- FITTON, J.G. & UPTON, B.G.J. 1987. Alkaline Igneous Rocks. Geol. Soc. Spec. Publ. Lond., 30, Oxford, 568 p.
- FROSTICK, L. & REID, I. 1989. Is Structure the main Control of River Drainage and Sedimentation in Rift? Journal of African Earth Scienc., 8, 2/3/4, 165-182.
- FULFARO, V.J. & PETRI, S. 1983. Geologia do Brasil. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 631 p.
- FULFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M.V. & VIANA, P.B. 1982. Compartimentação e Evolução Tectônica da Bacia do Paraná. Rev. Bras. Geoc., 12, 4, 590-611.
- GOMES DUARTE, D. 1990. Manifestaciones de Roca Ultramáfica en el Extremo Oriental de los Esteros del Neembucú. In: COLOQUIO DE ROCAS MAGMATICAS DE PARAGUAY, 1er, Resumenes. Dep. Geol. Fac. Cien. Exact. y Nat. (UNA) San Lorenzo, Paraguay.

- GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; MELFI, A.J.; BELLINI, C; CASTILLO, A.M.; VELÁZQUEZ, J.C.; VELÁZQUEZ, V.F. & PICCIRILLO, E.M. 1989. Atividade Filoniana Associada ao Complexo Alcalino de Sapucaí, Paraguai Oriental. Geoch. Brasil, 3, 93-114.
- GUPTA, A.K. & YAGUI, K. 1980. Petrology and Genesis of Leucite-bearing Rocks. Springer Verlag, Berlin, 252 p.
- HALL, A.E. & SMITH, C.B. 1985. Lamproite Diamonds - Are They Different?. Publ. Geol. Dep. & Extension, Univ. West. Aust., 8, 167-212.
- HARRINGTON, H.J. 1950. Geologia del Paraguay Oriental. Univ. Bs. Aires, Fac. Cien. Exactas y Naturales., Contribuciones Científicas, Serie E. Geologia, Tomo 1, 82 p.
- HARRINGTON, H.J. 1972. Silurian of Paraguay. In: BERRY, W.B. e BOUCOT, A.J. (eds.) Correlation of South American Silurian Rocks. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 133, 41-50.
- HERBST, R. 1972. Nota sobre la Presencia de Lycopsideae Arborescentes en el Pérmico (Serie Independencia) del Paraguay. Ameghiniana, IX, 3, 258-264.
- IRVINE, T.N. 1980. Magmatic Density Currents and Cumulus Processes. Amer. J. Science, 280-A, 1-58.

- JAQUES, A.L.; HAGGERTY, S.E.; LUCAS, H. & BOXER, G.L. 1988. Mineralogy and Petrology of the Argyle (AK1) Lamproite Pipe, Western Australia. Geol. Soc. Austr. Spec. Publ., 14, 153-169.
- JAQUES, A.L.; LEWIS, C.D. & SMITH, C.B. 1986. The Kimberlitic and Lamproitic Rocks of Western Australia. Bull. Geol. Surv. Western Australia, 132, 268 p.
- JAQUES, A.L.; LEWIS, C.D.; SMITH, C.B.; GREGORY, G.P.; FERGUSON, J.; CHAPPELL, B.W. & Mc CULLOCH, M.T. 1984. The Diamond Bearing Ultrapotassic (Lamproitic) Rocks of the West Kimberley Region, Western Australia. In: KORNPROBST, J. (ed.) Kimberlites and Related Rocks. Elsevier, Amsterdam, p. 225-254.
- JAQUES, A.L.; SUN, S.S. & CHAPPEL, B.W. 1989. Geochemistry of the Argyle (AK1) Lamproite Pipe. Geol. Soc. Austr. Spec. Publ., 14, 170-188.
- KANZLER, A. 1987. The Southern Precambrian in Paraguay - Geological Inventory and Age Relations. Zbl. geol. Paläont. Teil I, H 7/8, 753-765.
- Le BAS, M.J. 1977. Carbonatite - Nephelinite Volcanism. Wiley, New York, 347 p.

- Le BAS, M.J. & STRECKEISEN, A.L. 1991. The IUGS Systematics of Igneous Rocks. Journal of the Geol. Soc., London, 148, 825-833.
- Le MAITRE, R.W. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of International Union of Geological Sciences Subcomission on the Systematics of Igneous Rocks. Blockwell Scientific Publication Oxford.
- LIVIERES, R.A.G. 1987. Der Karbonatit-Komplex von Chiriguelo, Nordost Paraguay, Clausthales Geowiss. Diss. H28, 191 p. Clausthal.
- LIVIERES, R.A.G. & QUADE, H. 1987. Distribución Regional y Asentamiento Tectónico de los Complejos Alcalinos del Paraguay. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 7/8, 791-805.
- MANTOVANI, M.S.M.; HAWKESWORTH, C.J. & BASEI, M.A.S. 1987. Nd and Pb Isotope Studies Bearing on the Crustal Evolution of Southearn Brasil. Rev. Bras. Geoc., 17, 3, 263-268.
- MENZIES, M.A. & HAWKESWORTH, C.J. 1987. Mantle Metasonatism. Academic Press. London, 472 p.
- MITCHELL, R.H. 1985. A Review of the Mineralogy of Lamproites. Tr. Geol. Soc. S. Afr., 88, 411-438.

- MITCHELL, R.H. 1986. Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry and Petrology. Plenum, New York, 442 p.
- MITCHELL, R.H. 1989. Aspects of the Petrology of Kimberlites and Lamproites: some Definitions and Distinctions. Geol. Soc. Austr. Spec. Publ., 14, 7-45.
- MITCHELL, R.H. & BERGMAN, S.C. 1991. Petrology of Lamproites. Plenum, New York, 477 p.
- MITCHELL, R.H. & LEWIS, R.D. 1983. Priderite-bearing Xenoliths from Prairie Creek Mica Peridotite, Arkansas. Can. Mineral., 21, 59-64.
- MITCHELL, R.H. & PLATT, R.H. 1979. Nepheline-bearing Rocks from the Poohbah Lake Complex, Ontario. Malignites and Malignites. Contrib. Mineral. Petrol., 69, 255-264.
- NIXON, P.H. 1987. Mantle Xenoliths. John Wiley & Sons, New York, 845 p.
- O.E.A. 1975. Proyecto Aquidabán, Cuenca del Plata, Rep. del Paraguay. Secr. Gral. O.E.A. Washington, D.C. 197 p.
- PALMIERI, J.H. & ARRIBAS, A. 1975. El Complejo Alcalino Potásico de Sapucaí (Paraguay-Oriental). In: CONG. LAT. AMER. DE GEOL. ECON., 5to., Buenos Aires, Vol. IV, 267-300.

- PALMIERI, J.H. & VELÁZQUEZ, J.C. 1982. Geología del Paraguay. Napa, Asunción, 65 p.
- PETRI, S.; COIMBRA, A.M; AMARAL, G. & LOPES PONÇANO, W. 1986. Guia de Nomenclatura Estratigráfica. Rev. Bras. Geoc., 16, 4, 376-415.
- PICCIRILLO, E.M.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; LONGINELLI, A.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P; MARQUES, L.S. & MELFI, A.J. 1989. Regional Variations Within the Parana Flood Basalts (Southern Brazil): Evidence for Subcontinental Mantle Heterogeneity and Crustal Contamination. Chemical Geology, 75, 103-122.
- PICCIRILLO, E.M.; RAPOSO, M.I.B.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; CORDANI, U.C. & KAWASHITA, K. 1987. Bimodal fissural volcanic Suites from the Parana basin (Brazil): K-Ar age, Sr-isotopes and geochemistry. Geoch. Bras., 1, 53-69.
- PROYECTO PAR 83/005. 1986. Mapa Geológico del Paraguay (1 mapa 1:1.000.000 y texto explicativo). Realização por V.J. Fúlfaro y J.H. Palmieri. Gov. Rep. del Paraguay/ONU, Asunción, Paraguay.
- PUTZER, H. 1962. Geologie von Paraguay. Beitr. Reg. Geol. Erde, Bd 2, 183 p., Berlin.

SCOTT SMITH, B.H. & SKINNER, E.M.W. 1984a. A New Look at Prairie Creek, Arkansas. In: KORNPROBST, J. (ed.) Kimberlites and Related Rocks. pp. 255-284.

SCOTT SMITH, B.H. & SKINNER, E.M.W. 1984b. Diamondiferous Lamproites. Journal Geol., 92, 433-438.

SMITH, C.B. & LORENZ, V. 1989. Volcanology of Ellendale Lamproite Pipes, Western Australia. Spec. Publ. Geol. Soc. Aust. 14, 505-519.

SONOKI, I.K. & GARDA, G.M. 1988. Idade K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: Compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. Boletim IG-USP, Série Científica, 19, 63-85.

SORENSEN, H. 1974. The Alkaline Rocks. John Wiley & Sons, Chichester, 622 p.

STRECKEISEN, A. 1976. To Each Plutonic Rock its Proper Name. Earth Science Reviews. 12, 1-33.

STRECKEISEN, A. 1980. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites, and Melilitic Rocks: Recommendations and Suggestions of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Geol. Rundschau, 69, 1, 194-207.

- SUGUIO, K. 1980. Rochas Sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica. Editora Blusher (Univ. São Paulo), São Paulo, 500 p.
- T.A.C., (the Anschutz Corporation). 1981. Geologic Map of Eastern Paraguay, 1:500.000 (compilação F. Wiens) 1 mapa (inédito), Asunción. (compilado por F. Wiens)
- TRÖGER, W.E. 1979. Optical Determination of Rock - forming Minerals. Part 1. Determinative tables. E. Schweizerbart'sche, 188 p.
- ULBRICH, H.H.G.J. 1986. As Brechas de Origem ígnea: Revisão e Proposta para uma Classificação Geológica. Bol. IG-USP, Publ. Esp., 3, 1-82.
- ULBRICH, H.H.G.J. & BÁEZ PRESSER, J. 1992. The Asunción Rift, Eastern Paraguay: A Preliminary Interpretation. Bol. IG-USP, Publ. Esp. 12, 139-140.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. 1981. Alkaline Rocks from Continental Brasil. Earth-Science Reviews, 17, 135-154.
- ULBRICH, H.H.G.J.; GARDA, G.M. & ULBRICH, M.N.C. 1990. Avaliação das Idades K-Ar dos Maciços Alcalinos do Brasil Sul Oriental e Paraguai Oriental. Bol. IG-USP Publ. Esp., 9, 87-92.

- ULBRICH, M.N.C & LEONARDOS, O. 1991. The Ultrabasic Potassic Rocks of Presidente Olegário, Serra da Mata da Corda, Minas Gerais, Brazil. In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 5, Araxá, Brazil, Extended Abstracts. Brasília C.P.R.M. Spec. Publ. 2/91, 437-439.
- VELÁZQUEZ, V.F. 1992. Provincia Alcalina Central, Paraguai Centro-Oriental: Aspectos Tectônicos, Petrográficos e Geocronológicos. São Paulo, IG-USP, 189 p. (Dissertação de Mestrado).
- WADE, A. & PRIDER, R. 1940. The Leucite-Bearing rocks of the West Kimberley Area, Western Australia. Quarterly Journal of the Geol. Soc. of London, 98, 39-98.
- WAGNER, F. & VELDE, D. 1986. Lamproites in North Vietnam: an Examination of Cocites. Journal Geol. 94, 770-776.
- WIENS, F. 1984. El Precámbrico Paraguayo. In: 1º SIMP. NAC. DE GEOL. Resumen. Asunción.
- WIENS, F. 1986. Zur lithostratigraphischen, petrographischen und strukturellen Entwicklung des Rio Apa-Hochlandes, Nordost Paraguay. Clausthaler Geowiss. Diss. H19, 280 p. Clausthal (Tese de Doutorado).

- WIENS, F. 1990. El Complejo Alcalino Cerro Sarambi. In: COLOQUIO DE ROCAS MAGMATICAS DE PARAGUAY, Resumenes, Dep. Geol. Fac. Cien. Exact. y Nat. (UNA). San Lorenzo, Paraguay.
- WILKINSON, J.F.G. 1974. The Mineralogy and Petrography of Alkaline Basaltic Rocks. In: SORENSEN, H. (ed.) Alkaline Rocks. John Wiley & Sons. Chichester, p. 67-95.
- WOOLEY, A.R. 1987. Alkaline Rocks and Carbonatites of the World. Part. 1: North and South America. British Museum (Natural History), London, 216 p.
- ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O. & MARQUESA. Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin. In: ULBRICH, H. & ROCHA CAMPOS, A. (eds.): Godwana Seven Proceedings. Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 83-117.
- ZALÁN, V.P.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C. de J.; SANTOS VIERA, I.; MENDONÇA STOLFI, M.A.; APPI, V.T. & ZANATTO, O.A. 1987. A Divisão Tripartite do Siluriano da Bacia do Paraná. Rev. Bras. Geoc. 17, 3, 242-252.
- ZARZA, P.R.L. 1991. Estudo das Pozolanas Naturais de "Ybvytymí, La Colmena". Paraguay Oriental. UNESP - Campus de Rio Claro, Rio Claro, 151 p. (Tese de Mestrado).

ERRATA

Geologia da Folha 5569-III La Colmena, Paraguai Oriental

Jaime Báez Presser

P. 18, 2ª linha. Ler "no" ao invés de "No".

Favor ler "grupos..." e "formações...", ao invés de "Grupos..." e "Formações..." (por ex.: p. 24, linhas 3, 8, 9, 10; p. 31, linha 12; p. 37, linha 15; p. 58, linha 16; etc.):

P. 28, linha 14, ler "eosiluriana" e não "Eosiluriana".

P. 68, última linha, ler "carbonato" e não "carboneto".

P. 76, linha 12, ler "contrastadas" e não "constatadas"

P. 89, linha 15, ler "encaixante; em parte ...".

P. 92, linha 1, ler "é neste trabalho correlacionada".

P. 163, linha 18, ler "para E" e não "para W".

P. 35, linha 15, ler "San Miguel" ao invés de Tacuary.

P. 83, 1ª linha, ler "SE-NW" e não SW-NW.