UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MINERALOGIA E GEOLOGIA DOS DEPÓSITOS DE
RUBI E SAFIRA DA REGIÃO DE BARRA VELHA,
SANTA CATARINA**

Nelson Luiz Chodur

Orientador: Prof. Dr. Darcy Pedro Svisero

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

**SÃO PAULO
1997**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MINERALOGIA E GEOLOGIA DOS DEPÓSITOS
DE RUBI E SAFIRA DA REGIÃO DE BARRA
VELHA, SANTA CATARINA**

NELSON LUIZ CHODUR

Orientador: Prof. Dr. Darcy Pedro Svisero

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Darcy Pedro Svisero

Examinadores: Prof. Dr. Kazuo Fusikawa

Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

Prof. Dr. Marcel Auguste Dardenne

Dr^a Rosa Maria da S. Bello

SÃO PAULO
1997

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MINERALOGIA E GEOLOGIA DOS DEPOSITOS DE
RUBI E SAFIRA DA REGIÃO DE BARRA VELHA,
SANTA CATARINA**

Nelson Luiz Chodur

Orientador: Prof. Dr. Darcy Pedro Svisero

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004806

SÃO PAULO
1997

ÍNDICE GERAL

RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	01
1.1. ASPECTOS GERAIS DO CORÍNDON	03
1.2. OBJETIVOS DESTA TESE	05
1.3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	07
1.4. PLANO DE ORGANIZAÇÃO DA TESE	07
CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE ESTUDO E AMOSTRAGEM	10
2.1. TRABALHOS DE CAMPO	10
2.2. LABORATÓRIO	15
2.2.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	16
2.2.2. MICROSCOPIA ÓPTICA	17
2.2.3. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	17
2.2.4. DIFRATOMETRIA DE RAIOS X	19
2.2.5. MICROSSONDA ELETRÔNICA	20
2.2.6. MICROTERMOMETRIA	21
2.2.7. ESPECTROSCOPIA MICRO RAMAN	23
2.2.8. ESPECTROSCOPIA NO VISÍVEL	24
2.2.9. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO	25
2.2.10. ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL	26
2.2.11. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	27
2.2.12. OUTRAS ANÁLISES	28
CAPÍTULO 3. ASPECTOS GEOGRÁFICOS E FISIOGRÁFICOS	30
3.1. CLIMA	30
3.2. VEGETAÇÃO	32
3.3. DRENAGEM	32
3.4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	33

CAPÍTULO 4.	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	39
	4.1. EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS	39
	4.2. O COMPLEXO GRANULÍTICO DE SANTA CATARINA	44
	4.3. OUTRAS UNIDADES	48
	4.4. DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS	50
CAPÍTULO 5.	GEOLOGIA DOS DEPÓSITOS DE CORÍNDON	55
	5.1. LAVRA DO ESCALVADO	56
	5.2. CARACTERÍSTICAS DO CASCALHO MINERALIZADO	59
	5.3. MINERAIS PESADOS	64
	5.3.1. OS PESADOS DA LAVRA DO ESCALVADO	65
	5.3.2. OS PESADOS DE OUTROS LOCAIS	72
CAPÍTULO 6.	O CORÍNDON DE BARRA VELHA	79
	6.1. CRISTALOGRAFIA	79
	6.1.1. CELA UNITÁRIA	81
	6.1.2. MORFOLOGIA CRISTALINA	83
	6.1.3. GEMINAÇÕES	92
	6.1.4. ASPECTOS TEXTURAIS	92
	6.2. DIMENSÕES	93
	6.3. PROPRIEDADES FÍSICAS GERAIS	95
	6.3.1. CLIVAGEM, PARTIÇÃO E FRATURA	95
	6.3.2. DUREZA E DENSIDADE	97
	6.4. ALTERAÇÃO	98
	6.5. COMPORTAMENTO TÉRMICO	103
	6.6. COMPORTAMENTO ESPECTROSCÓPICO	108
	6.6.1. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO	108
	6.6.2. ESPECTROSCOPIA NO VISÍVEL	109
	6.6.3. ESPECTROSCOPIA MICRO RAMAN	115
	6.7. PROPRIEDADES ÓPTICAS	117
	6.7.1. COR MACROSCÓPICA	117
	6.7.2. COR DE PLEOCROÍSMO	119
	6.7.3. FLUORESCÊNCIA	120
	6.7.4. ÍNDICES DE REFRAÇÃO E BIRREFRINGÊNCIA	120

6.8. EFEITOS ÓPTICOS ESPECIAIS	121
6.8.1. ASTERISMO	121
6.8.2. OUTROS EFEITOS	128
CAPÍTULO 7. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ORIGEM DA COR	130
7.1. CORÍNDON	130
7.2. ZONEAMENTOS CRISTALINOS	139
7.3. DIÁSPORO	139
CAPÍTULO 8. INCLUSÕES	142
8.1. INCLUSÕES SÓLIDAS	144
8.1.1. BIOTITA	146
8.1.2. CLORITA	151
8.1.3. ZIRCÃO	154
8.1.4. RUTILO	156
8.1.5. MONAZITA	156
8.1.6. CORÍNDON	159
8.1.7. OUTRAS INCLUSÕES	159
8.2. INCLUSÕES FLUIDAS	161
8.2.1. DESCRIÇÃO DAS INCLUSÕES FLUIDAS	162
8.2.2. DADOS MICROTERMOMÉTRICOS	164
8.2.3. CONDIÇÕES DE APRISIONAMENTO	172
CAPÍTULO 9. ASPECTOS GENÉTICOS	174
9.1. DISTRIBUIÇÃO DO CORÍNDON NO MUNDO	175
9.2. FORMAÇÃO DO CORÍNDON EM TERRENOS GRANULÍTICOS	181
9.3. ORIGEM DO CORÍNDON DE BARRA VELHA	182
CAPÍTULO 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	188
CAPÍTULO 11. AGRADECIMENTOS	195
CAPÍTULO 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	198

ÍNDICES DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1.1	Localização geográfica da área.	08
Figura 2.1	Aspectos gerais da amostragem e dos procedimentos de campo.	14
Figura 3.1	Imagens de Satélite LANDSAT TM, da região de Barra Velha.	34
Figura 4.1	Contexto geológico da região nordeste do Estado de Santa Catarina.	40
Figura 4.2	Distribuição das principais unidades sedimentares encontradas na área estudada.	53
Figura 5.1	Coluna geológica representativa da Lavra do Escalvado.	58
Figura 5.2	Características granulométricas dos constituintes dos cascalhos mineralizados em coríndon.	60
Figura 5.3	Detalhes da localização dos poços de pesquisa realizados nas proximidades da Lavra do Escalvado.	62
Figura 5.4	Perfis representativos do pacote sedimentar nas proximidades da Lavra do Escalvado.	63
Figura 5.5	Difratogramas de raios X das frações totais dos minerais pesados.	68
Figura 5.6	Mapa dos pontos amostrados em sedimento ativo de corrente.	76
Figura 6.1	Representação da estrutura cristalina do coríndon.	80
Figura 6.2	Difratogramas de raios X do coríndon de Barra Velha.	82
Figura 6.3	Cristal modelo exibindo as formas cristalográficas mais freqüentes do coríndon de Barra Velha.	87
Figura 6.4	Estereograma representando as formas simples encontradas nos cristais de coríndon de Barra Velha.	87
Figura 6.5	Hábitos observados em cristais de coríndon dos principais depósitos do mundo.	88
Figura 6.6	Principais hábitos e feições presentes nos cristais de coríndon de Barra Velha.	90
Figura 6.7	Difratograma de raios X do diásporo existente no coríndon de Barra Velha.	102
Figura 6.8	Diagramas de análise térmica diferencial do coríndon de Barra Velha.	105

Figura 6.9	Diagramas de análises termogravimétricas do coríndon de Barra Velha.	107
Figura 6.10	Espectros de absorção no infravermelho do coríndon de Barra Velha.	110
Figura 6.11	Espectros de absorção no visível do coríndon de Barra Velha.	113
Figura 6.12	Espectros micro Raman obtidos para o coríndon de Barra Velha.	116
Figura 8.1	Espectro EDS (energia dispersiva) da inclusão de biotita.	149
Figura 8.2	Espectro EDS (energia dispersiva) da inclusão de clorita.	152
Figura 8.3	Espectro EDS (energia dispersiva) da inclusão de zircão.	155
Figura 8.4	Espectro EDS (energia dispersiva) da inclusão de rutilo.	157
Figura 8.5	Espectro EDS (energia dispersiva) da inclusão de monazita.	158
Figura 8.6	Alguns histogramas representativos das temperaturas de fusão do CO ₂ para as inclusões fluidas do coríndon de Barra Velha.	167
Figura 8.7	Espectros micro Raman de inclusões fluidas presentes no coríndon de Barra Velha.	168
Figura 8.8	Alguns histogramas representativos das temperaturas de homogeneização do CO ₂ para as inclusões fluidas consideradas primárias encontradas no coríndon de Barra Velha.	170
Figura 8.9	Alguns histogramas representativos das temperaturas de homogeneização do CO ₂ para as inclusões fluidas consideradas primárias, com maiores espalhamentos encontradas no coríndon de Barra Velha.	171
Figura 8.10	Isócoras representativas das inclusões fluidas encontradas no coríndon de Barra Velha.	173
Figura 9.1	Localização geográfica dos principais depósitos de coríndon do mundo.	177
Figura 9.2	Perfis esquemáticos dos depósitos de coríndon de Barra Velha.	184

FOTOGRAFIAS

Fotografias 2.1	Aspectos gerais da amostragem e dos procedimentos de campo.	14
Fotografias 3.1	Aspectos das extensas planícies aluviais que marcam a região de Barra Velha.	35
Fotografias 5.1	Aspectos gerais da Lavra do Escalvado, principal depósito de coríndon de Barra Velha, em fase de lavra.	57
Fotografias 6.1	Principais cores exibidas pelo coríndon de Barra Velha.	118

FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografias 5.1	Alguns minerais pesados associados ao cascalho da Lavra do Escalvado.	71
Fotomicrografias 6.1	Seção de um cristal de coríndon de Barra Velha exibindo planos de alteração contendo diásporo.	100
Fotomicrografias 6.2	Detalhes de uma lâmina de coríndon de Barra Velha, evidenciando a presença de diásporo em uma fratura.	101
Fotomicrografias 6.3	Aspectos gerais das feições aciculares encontradas no coríndon de Barra Velha.	125
Fotomicrografias 6.4	Feições aciculares encontradas nas seções do coríndon de Barra Velha.	126
Fotomicrografias 8.1	Principais inclusões sólidas encontradas no coríndon de Barra Velha.	147
Fotomicrografias 8.2	Inclusões fluidas primárias do coríndon de Barra Velha.	163
Fotomicrografias 8.3	Aspectos morfológicos das inclusões fluidas do coríndon de Barra Velha.	165
Fotomicrografias 8.4	Inclusões fluidas secundárias e pseudo secundárias do coríndon de Barra Velha.	166

MICROGRAFIAS ELETRÔNICAS

Micrografias eletrônicas 6.1	Principais aspectos observados nas superfícies do coríndon de Barra Velha.	94
Micrografias eletrônicas 6.2	Fragmento de um cristal de coríndon de Barra Velha evidenciando a presença do diásporo.	102
Micrografia eletrônica 6.3	Cavidades poligonais correspondentes ao corte das feições aciculares.	127
Micrografia eletrônica 8.1	Inclusão de biotita mostrando a forma placoidal típica.	149
Micrografia eletrônica 8.2	Inclusão de clorita parcialmente quebrada.	152
Micrografias eletrônicas 8.3	Inclusões de zircão com hábito prismático biterminado típico exibindo arredondamento.	155
Micrografia eletrônica 8.4	Inclusão de rutilo exibindo geminação típica em joelho.	157
Micrografia eletrônica 8.5	Inclusão de monazita subidiomórfica.	158

TABELAS

Tabela 2.1	Principais bases cartográficas utilizadas nesta Tese.	12
Tabela 5.1	Minerais pesados representativos da Lavra do Escalvado.	67
Tabela 5.2	Minerais pesados presentes nos solos de alteração dos principais tipos litológicos da região.	73
Tabela 5.3	Minerais pesados presentes em rocha moída dos principais litotipos presentes na região.	75
Tabela 5.4	Análise semiquantitativa dos minerais pesados das amostras de sedimento ativo de corrente.	78
Tabela 6.1	Espaçamentos interplanares do coríndon de Barra Velha.	84
Tabela 6.2	Principais hábitos presentes no coríndon de Barra Velha, de acordo com o tamanho dos exemplares.	91
Tabela 6.3	Dimensões dos exemplares do coríndon de Barra Velha.	96
Tabela 6.4	Principais absorções no infravermelho do coríndon de Barra Velha, comparados com coríndons de outros locais.	111
Tabela 6.5	Principais absorções no visível do coríndon de Barra Velha, comparados com coríndons de outros locais.	114
Tabela 6.6	Cores macroscópicas predominantes no coríndon de Barra Velha.	119
Tabela 6.7	Índices de refração e birrefringência do coríndon de Barra Velha, juntamente com dados de outros locais.	122
Tabela 7.1	Análises químicas de rubis e safiras de diversas localidades reportadas por outros autores.	132
Tabela 7.2	Análises químicas do coríndon de Barra Velha de cores vermelha, rósea e branca.	134
Tabela 7.3	Análises químicas do coríndon de Barra Velha de cores cinza e preta.	135
Tabela 7.4	Variação dos elementos traço do coríndon de Barra Velha, comparada com a de outras localidades.	137
Tabela 7.5	Análises químicas realizadas nos zoneamentos exibidos pelo coríndon de Barra Velha.	140
Tabela 7.6	Análises químicas realizadas no diásporo presente nos planos de partição do coríndon de Barra Velha.	141

Tabela 8.1	Principais inclusões sólidas presentes em coríndons de diversas localidades.	145
Tabela 8.2	Análises químicas de biotitas inclusas no coríndon de Barra Velha.	150
Tabela 8.3	Análises químicas de cloritas inclusas no coríndon de Barra Velha.	153
Tabela 8.4	Análises químicas de coríndons inclusos no coríndon de Barra Velha.	160
Tabela 9.1	Características geológicas dos principais depósitos de coríndon da atualidade.	176

RESUMO

Nesta Tese foram estudados os depósitos de coríndon que ocorrem nas variedades rubi e safira, distribuídos nas proximidades da cidade de Barra Velha, região nordeste do Estado de Santa Catarina. O coríndon ocorre em depósitos sedimentares inconsolidados localizados ao longo da bacia de drenagem do Rio Itapocu, tendo sido detectadas ocorrências também na porção norte da bacia de drenagem do Rio Itajaí Açu, aproximadamente 40km a sul da cidade de Barra Velha. Ao todo os depósitos e suas ocorrências menores cobrem uma área de aproximadamente 80km².

A geologia regional é representada pelo Complexo Granulítico de Santa Catarina, caracterizado por um contexto essencialmente metamórfico de alto grau, onde estão presentes gnaisses granulíticos, rochas ultramáficas, quartzitos e formações ferríferas bandadas. O coríndon ocorre em depósitos colúvio aluvionares quaternários, concentrados nos flancos dos morros locais (rampas colúvias), distribuídos também nas planícies regionais. Os cascalhos são constituídos principalmente por seixos e calhaus de quartzo leitoso, quartzito e fragmentos líticos quartzo-feldspáticos, distribuídos em uma matriz areno argilosa de coloração cinza. Esses fragmentos apresentam-se angulosos sugerindo condições de sedimentação via fluxos gravitacionais de encosta, com transporte pequeno a ausente. Os minerais pesados associados são representados principalmente pelas fases magnetita, ilmenita, hematita, rutilo, zircão, monazita, hiperstênio, hornblenda e epidoto, cuja origem está relacionada aos litotipos que ocorrem na região.

O coríndon ocorre na forma de cristais euédricos, subédricos e de fragmentos irregulares, principalmente na cor vermelha (rubi), e em menor frequência nas cores branca, rósea, cinza e preta (safiras). Apresenta hábito em barrilete característico, transparência limitada e dimensões que vão desde milímetros até exemplares com 10cm de comprimento. Os cristais exibem partição romboédrica pronunciada em função da ocorrência de diásporo nos planos de geminação polissintética. O diásporo se forma a partir da alteração do coríndon em um processo gradual, resultando em uma associação íntima entre esses dois minerais onde o diásporo se distribui na forma de uma rede romboédrica constituída por camadas sucessivas de coríndon e diásporo.

Do ponto de vista químico, o coríndon é constituído essencialmente de Al₂O₃ (96 a 99% em peso) contendo impurezas de Cr₂O₃ (0,00 a 0,83% em peso), FeO (0,12 a 1,51% em peso), e outros elementos em proporções menores. O cromo é o

elemento cromóforo sendo responsável pela cor vermelha ou rósea, enquanto o ferro influi nas colorações escuras e saturação das cores observadas.

O coríndon de Barra Velha hospeda um grande número de inclusões cristalinas entre as quais foram identificadas biotita, clorita, zircão, rutilo, monazita, pirita e alguns óxidos de ferro. A biotita ocorre na forma de cristais castanhos constituídos por uma mistura homogênea dos termos extremos desse grupo, sendo compatível com o fácies granulito. A clorita é rica em ferro, magnésio e alumínio e sua origem poderia estar relacionada ao metamorfismo de sedimentos pelíticos ricos em ferro. O zircão ocorre na forma de cristais arredondados sugerindo tratar-se de um mineral detrítico nos pelitos originais, que teriam sofrido metamorfismo até o fácies granulito. As outras inclusões encontradas são compatíveis com as litologias regionais. As inclusões fluidas ocorrem na forma de cristais negativos de contorno hexagonal e canais alongados sendo que em muitos casos apresentam paralelismo com as direções cristalográficas do hospedeiro. Medidas microtermométricas revelaram que as inclusões são constituídas essencialmente de CO₂, cujas temperaturas de fusão são iguais ou inferiores a -56,6°C. As temperaturas de homogeneização do CO₂ variaram de -25 a +25°C, sendo as menores, representativas dos fluidos originais. Os histogramas construídos a partir dos dados microtermométricos apontam que as inclusões de densidades maiores são compatíveis com as condições do fácies granulito, sendo as de densidades menores indicativas dos eventos posteriores.

Apesar do coríndon não ter sido encontrado ainda em sua rocha matriz, as evidências de campo e os dados obtidos em laboratório apontam por uma derivação a partir dos terrenos granulíticos subjacentes aos depósitos. Os levantamentos realizados mostraram que os gnaisses granulíticos contendo intercalações de rochas ultramáficas e quartzitos, constituem os litotipos predominantes na região. A ausência de arredondamento exibida pelo coríndon e demais constituintes dos cascalhos, indicam que os depósitos originaram-se a partir dos granulitos circundantes. Os minerais pesados, representados por fases compatíveis com os granulitos reforçam essa hipótese. As inclusões sólidas identificadas no interior dos cristais de coríndon, são representadas por minerais compatíveis com o metamorfismo de sedimentos pelíticos antigos submetidos a metamorfismo de grau médio a alto. As inclusões fluidas, essencialmente carbônicas, são também compatíveis com ambiente anidro necessário para a geração das rochas granulíticas regionais. As características exibidas pelas inclusões fluidas observadas no coríndon de Barra Velha, são similares àquelas reportadas para os depósitos do Sri Lanka, onde o coríndon é derivado de granulitos regionais.

ABSTRACT

This Thesis comprises studies on the corundum deposits -ruby and sapphire varieties- dispersed near the town of Barra Velha, northeast of Santa Catarina. Corundum, which appears in unconsolidated sedimentary deposits along the Rio Itapocu drainage basin has also been found in the northern area of the Rio Itajaí Açu drainage basin, 40 km south of Barra Velha. As a whole the deposits and their smaller occurrences cover an area of approximately 80 km².

The regional geology is represented by the Santa Catarina Granulitic Complex, characterized as of high metamorphic grade, where granulitic gneiss, ultramafic rocks, quartzites and banded iron formations are present. Corundum occurs in Quaternary alluvial colluvium deposits concentrated on the hill-sides as well as in the plains of the area. The gravel, consisted mainly of pebbles and cobbles of quartzite, milky quartz, quartz-feldspathic lithic fragments, are embedded in a greyish sand and silt matrix. Such fragments, displaying high degree of angularity, suggest sedimentation conditions through slope gravity flow, with little or no transportation. The associated heavy minerals are represented mostly by magnetite, ilmenite, hematite, rutile, zircon, monazite, hypersthene, hornblende and epidote phases, whose origin is related to the areas' lithotypes.

Corundum occurs as euhedral and subhedral crystals and irregular fragments, primarily in red color (ruby) and less frequently in white, rose-colored, grey and black colors (sapphire). It displays characteristic barrel habit, limited transparency and size varying from few millimeters to 10 centimeters in length. The crystals exhibit distinguished rhombohedral parting due to the presence of diaspore in the polysynthetic twinning plane. Diaspore is formed as a result of a gradual process of corundum weathering, culminating in a close relation between the two minerals, and generating a rhombohedral network of successive corundum and diaspore layers.

From the chemical point of view corundum is composed essentially of Al₂O₃ (96 to 99% in weight) containing impurities of Cr₂O₃ (0.00 to 0.83% in weight), FeO (0.12 to 1.51% in weight) and other elements in smaller proportions. Chrome is the chromophore element responsible for the red or rose-colored color, while iron controls the dark colors and saturation.

The Barra Velha corundum hosts a great number of crystalline inclusions such as biotite, chlorite, zircon, rutile, monazite, pyrite and some iron oxides. Biotite occurs as brown crystals constituted by a homogenous mixture of the extreme terms of its group, compatible to the granulite facies. Chlorite is rich in iron; the magnesium and aluminum present could have their origin related to the metamorphism of iron-rich pelyte sediments. Zircon appears as rounded crystals, suggesting to be a detrital mineral in the former pelytes which would have suffered metamorphism up to the granulite facies. Other inclusions are compatible to the regional lithologies. The fluid inclusions appear as negative crystals showing hexagonal contour and elongated channels; in many cases show a parallelism feature to the host crystallographic directions. Microthermometric measurements revealed that the inclusions are mostly constituted of CO₂ and that fusion temperatures are equal or below -56.6°C. The CO₂ homogenization temperatures varied from -25 to +25°C, the low temperatures being representative of the original fluids. Histograms built based on microthermometric data indicate that the inclusions with higher density are compatible to conditions of the granulitic facies, while the lower density ones point out to late events.

Field work demonstrated that the granulitic gneiss with intercalations of quartzite and ultramafic rocks are the prevailing lithotypes in the region. Notwithstanding the fact corundum so far has not been found within the source rock, field evidence and laboratory data suggest the source as the granulitic bodies underlying the deposits. The corundum and other constituents lack of roundness, as well as the heavy minerals present emphasizes this hypothesis. Solid inclusions identified within the corundum crystals, are represented by minerals compatible to metamorphism of middle to high grade underwent by the pelyte sediments. The fluid inclusions, carbonic in essence, are also compatible to an anhydrous environment necessary to generate the regional granulitic rocks. Features exhibited by fluid inclusions observed in the Barra Velha corundum, are similar to those reported on Sri Lanka deposits where corundum stems from regional granulites.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

Produzido em várias jazidas do mundo, o coríndon é considerado o mineral gemológico mais importante após o diamante. A ocorrência das variedades rubi e safira nas proximidades da cidade de Barra Velha, nordeste de Santa Catarina, motivou a realização deste trabalho, pois trata-se de um mineral especial em suas propriedades e características de formação.

Embora o Brasil seja uma das mais importantes províncias gemológicas do mundo (Svisero & Franco 1987), não foram descobertas ainda em seu território, jazidas de rubi e safira equivalentes às existentes em países como Mianma (Birmânia), Índia e Sri Lanka. Em vista disso, o depósito de Barra Velha assume importância especial, por ser o único conhecido até o momento no País. Dessa forma, a descoberta desses depósitos abre perspectivas para a colocação do rubi e da safira no rol de produção das gemas nacionais.

Descoberto por garimpeiros que buscavam ouro na região, o coríndon de Barra Velha foi citado pela primeira vez por Scangarelli (1985). O material foi submetido a análises mineralógicas preliminares no Laboratório de Gemologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde Ripoll et al. (1987) e Brum et al. (1990) caracterizaram a espécie mineral e confirmaram tratar-se de rubi e safiras de várias cores, principalmente nos tons de vermelho, cinza e preto. O coríndon ocorre na forma de cristais euédricos de tamanhos centimétricos, sendo a maioria opacos a translúcidos, apresentando também efeitos ópticos especiais como asterismo, chatoyance e efeito "seda".

O coríndon de Barra Velha está condicionado a solos e níveis de cascalhos, os quais possuem ampla extensão geográfica. De um modo geral esse

mineral encontra-se associado a sedimentos continentais recentes sob a forma de aluviões, ocupando as porções baixas da paisagem.

Em seu contexto geológico, a região é representada principalmente por gnaisses anfibolíticos e granulíticos de alto grau metamórfico, com idades paleoproterozóicas, constituindo parte do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Hartmann et al. 1979) ou Domínio Tectônico Luís Alves (Siga Jr. 1995). Esta unidade mostra uma diversidade de litotipos onde o principal é representado por gnaisses tonalíticos, ocorrendo ainda ultramafitos, gnaisses calciossilicatados, quartzitos, formações ferríferas bandadas, entre outros.

Descoberto a pouco mais de uma década, o coríndon do nordeste de Santa Catarina ainda é desconhecido no meio gemológico nacional e internacional. A sua comercialização é de pouca expressão por tratar-se de uma descoberta relativamente recente; além disso, os depósitos estão localizados na região sul do país, onde não há tradição na lavra de minerais gemológicos, à exceção das ágatas e ametistas no Rio Grande do Sul. Existem alguns locais que atualmente encontram-se em fase de lavra, porém a produção não é incentivada devido a falta de tradição no mercado internacional de rubis e safiras brasileiras. O mesmo fenômeno ocorreu quando da descoberta das jazidas de esmeralda em Goiás há alguns anos atrás, onde embora os exemplares fossem de boa qualidade, não havia colocação no mercado devido ao desconhecimento de sua procedência. Como se sabe, o Brasil constitui hoje um dos principais produtores de esmeralda, possuindo inclusive um volume de produção superior a todos os demais produtores mundiais. É possível que num futuro próximo fato semelhante venha ocorrer também com o rubi e a safira.

Tendo em vista a importância do tema, este estudo procura caracterizar o coríndon que ocorre na região, através de análises detalhadas do mineral e suas inclusões. As principais rochas, solos e sedimentos na área desta ocorrência mineral, também foram alvo de estudos detalhados visando determinar sua relação com este bem mineral. Os dados analíticos obtidos, foram também confrontados com os existentes para outras jazidas do mundo, procurando-se dessa forma, obter um modelo genético para o coríndon da região de Barra Velha.

1.1 ASPECTOS GERAIS DO CORÍNDON

O termo coríndon pode ser derivado de várias línguas tais como do hindi *kurand*, tamil *kurundam* (Streeter 1892) ou sânscrito *kuruvinda*, telegu *kuruvindam* (Tagore 1879), ambos citados por Hughes (1990). Já a palavra rubi origina-se do latim *rubeus* ou *rubinus* (Smith 1972), em alusão a sua cor vermelha. O termo safira por sua vez, refere-se a cor azul e pode ser originário preliminarmente do sânscrito. A palavra *sapphirus* é de origem grega, na forma latina, podendo ainda ser encontrada na linguagem pérsica ou hebraica. Além disto, existem outros termos em diversas línguas, destacando as qualidades e propriedades deste mineral.

Várias lendas e crenças envolveram o coríndon na Antigüidade, atribuindo-lhe o poder de proporcionar saúde, riqueza, bom senso e invulnerabilidade. A safira incolor foi tida durante séculos, pelos hindus, como um rubi imaturo e as pedras fracas de cor eram então enterradas na esperança de que mudassem para o tom vermelho mais apreciado.

Alguns dos mais famosos exemplares de coríndon, encontram-se nos principais museus do mundo. Entre outros destacam-se o rubi “Edwardes”, pedra translúcida de 167 quilates depositada no Museu de Londres e, o “Edith Haggin” com 100 quilates, dotado de asterismo, exposto no Museu Americano de História Natural. Este último museu abriga ainda uma safira com 563 quilates denominada “Estrela da Índia” e a maior safira, a “Estrela Negra de Queensland”, encontrada em 1948 na Austrália, pesando 1.156 quilates no estado bruto e 733 quilates após sua lapidação.

Até meados de 1800, o rubi e a safira não eram reconhecidos como variedades do mineral coríndon, sendo a denominação rubi também empregada para o espinélio vermelho e a granada. À partir de uma série de artigos publicados no “Philosophical Transactions of the Royal Society of London”, reconheceu-se o coríndon como uma espécie mineral distinta, englobando o rubi e as safiras de várias cores, como suas variedades mineralógicas.

Há alguns anos o coríndon era considerado um mineral raro, mas atualmente são conhecidas ocorrências em diversos países, entre os quais pode-se citar Mianma, Tailândia, Cambodja, Sri Lanka, Índia, Austrália, Quênia, Tanzânia,

Montana e Carolina do Norte (EUA), Nigéria, Afeganistão, Paquistão, Laos, China, Colômbia, Malawi, Nepal, Zimbábue, República Malgaxe, entre os mais importantes. Apesar dos depósitos serem abundantes, poucos são os que produzem gemas de qualidade, estimando-se que somente 1% do coríndon minerado em todo o mundo seja gemológico. Apenas uma pequena porção da produção gemológica é viável como pedras facetadas as quais atingem valores altíssimos no mercado internacional. A maioria das pedras comercializadas são lapidadas na forma de cabochão, uma vez que este corte ressalta os fenômenos de asterismo comuns neste mineral. O restante do material minerado é utilizado normalmente como produto industrial, o qual por sua dureza elevada é empregado na produção de abrasivos, tais como rebolos e lixas.

O coríndon é um óxido simples de alumínio de fórmula Al_2O_3 e possui duas variedades gemológicas, o rubi e a safira, diferenciadas apenas pela cor. Quando exhibe a cor vermelha recebe o nome de rubi, e a variedade azul é denominada safira. Colorações diferentes recebem também a denominação de safira acompanhada da respectiva cor, como por exemplo safira verde, safira amarela e safira rosa, neste caso a variedade de cores é bastante grande. A diafaneidade do coríndon é variável apresentando-se em cristais desde completamente transparentes até opacos. Comumente ocorrem na forma de exemplares translúcidos, com aparência embaçada ou leitosa. Uma prática rotineira em países produtores é o tratamento das pedras sem transparência através de aquecimento sob atmosfera controlada, o que em muitos casos melhora sua aparência.

Caracterizado por algumas propriedades especiais, o coríndon possui dureza alta (nove na escala de Mohs), hábito cristalino característico do tipo barrilete (bipirâmides hexagonais), densidade relativamente elevada ($\pm 4,00$) e alto ponto de fusão, ao redor de 2050°C . Possui pleocroísmo variando de forte a fraco, e índices de refração relativamente altos (1,762-1,700) o que confere um brilho muito acentuado em pedras lapidadas. Em exemplares gemológicos, principalmente os lapidados sob a forma de cabuchão, pode exhibir efeitos ópticos muito apreciados podendo ser citados o asterismo, com estrelas de seis ou doze pontas, efeito chatoyance, e mudança de cor, conhecido como efeito alexandrita, além do efeito seda, sendo este último caracterizado como um reflexo luminoso em forma de ponto logo abaixo da superfície da pedra. Esses efeitos ópticos especiais valorizam muito as pedras que se destinam

às joalherias. Assim sendo, rubis ou safiras astéricos com boa transparência, podem atingir preços superiores aos do próprio diamante, que é considerada a gema mais importante nos mercados internacionais.

A maioria dos depósitos de coríndon do mundo são secundários, ou seja, ocorrem em jazidas sedimentares. Quanto à gênese, este mineral normalmente é produto de metamorfismo regional como no Sri Lanka, ou de contato como na Índia, sendo a condição principal a existência de rochas ricas em alumínio. Pode ainda ser encontrado em rochas magmáticas como sienitos e basaltos como é o caso das ocorrências da Austrália e da Colômbia (Hughes 1990).

Quanto às inclusões sólidas, o coríndon pode apresentar uma grande variedade de fases tais como rutilo, hematita, boehmita, pirita, mica, anfibólio, calcita, entre outros. É justamente a paragênese das inclusões cristalinas e os dados fornecidos pelas inclusões fluidas que permitem a identificação dos aspectos relativos aos diversos modelos genéticos existentes. A importância do estudo das inclusões e feições internas como cristais negativos, zoneamentos de cor e geminações, reside no fato de facilitar a identificação do mineral e ao mesmo tempo separá-lo de substitutos sintéticos, além de permitir em muitos casos, até a determinação do local de procedência da gema.

1.2 OBJETIVOS DESTA TESE

A descoberta dos depósitos de coríndon nas proximidades de Barra Velha, abriu uma nova fase nos estudos sobre a região, que até então, vinha sendo enfocada principalmente em suas questões de geologia regional, geocronologia e evolução tectônica. A pujança dos depósitos verificada desde os trabalhos iniciais de prospecção, aliada a possibilidade de ocorrer aproveitamento gemológico paralelo de uma parcela de coríndon a ser lavrado, mostrou a necessidade de estudos de cunho mineralógico, objetivando caracterizar esse material. Nesse sentido, constatamos que os trabalhos a serem desenvolvidos nesse local, poderiam ser aproveitados como assunto para a presente Tese de Doutorado, uma vez que não existem trabalhos mineralógicos na região. Assim sendo, os objetivos tratados nesta Tese, e listados a

seguir, além de tentar preencher essa lacuna, foram conduzidos de forma a constituir um quadro capaz de explicar a origem do coríndon de Barra Velha.

a) Levantar as ocorrências de coríndon a nível regional, com a finalidade de delimitar a extensão das áreas mineralizadas e o conhecimento de seu potencial econômico. Ainda a nível de campo, procuramos conhecer detalhadamente o modo de ocorrência deste mineral, bem como o entendimento da formação dos depósitos e da sua evolução geomorfológica.

b) Caracterizar detalhadamente o coríndon de Barra Velha através da investigação de suas propriedades cristalográficas e mineralógicas. As propriedades ópticas foram investigadas com maior profundidade, uma vez que existem cristais dotados de asterismo. Este fato é extremamente importante tendo em vista que este efeito eleva substancialmente o valor dos exemplares gemológicos.

c) Realizar análises químicas em cristais de colorações distintas do coríndon de Barra Velha, no sentido de se obter explicações para a origem das diferentes cores exibidas.

d) Identificar e caracterizar as inclusões sólidas e fluidas com o objetivo de obter dados relativos a origem desse mineral. As inclusões sólidas podem ser úteis ao entendimento da paragênese mineral, enquanto as fluidas fornecem dados importantes relativos a temperatura de fusão e homogeneização dos fluidos, os quais por sua vez, podem fornecer valores de temperatura e pressão de aprisionamento desses fluidos.

e) Reunir e interpretar os dados obtidos em campo e laboratório, referentes ao coríndon e ao mesmo tempo compará-los os de outras ocorrências mundiais.

1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada, está situada na porção nordeste do Estado de Santa Catarina, nas proximidades da cidade de Barra Velha, conforme está assinalado no mapa de localização da Figura 1.1. Nesta área, estão localizados os depósitos onde atualmente é lavrado o coríndon, cuja extração é realizada diretamente em níveis de cascalho em aluviões recentes que fazem parte da bacia do Rio Itapocu. A maior parte das amostras de coríndon utilizadas neste estudo, procedem destes locais.

O acesso aos principais locais de lavra, é feito primeiramente a partir da ponte existente na BR-101 sobre o Rio Itapocu. Junto a este ponto inicia-se uma estrada que segue na direção oeste e margeia o rio por uma extensão de aproximadamente 5km; a partir daí, percorrendo-se 2,5km para sul, atinge-se a área. Esta estrada segue ainda até a localidade de São João do Itaperiú e possui boas condições de tráfego o ano todo.

Tendo em vista o caráter regional da ocorrência, a área correspondente às bacias de drenagem do Rio Itapocu e a porção norte da bacia de drenagem do Rio Itajaí Açu, foram também incorporadas na área de amostragem. Os limites desta área estão localizados próximo às cidades de Joinville à norte, Itajaí e Blumenau à sul, Pomerode e Jaraguá do Sul à oeste e Barra Velha à leste, como pode ser visto na Figura 1.1.

1.4 PLANO DE ORGANIZAÇÃO DA TESE

Após a introdução (Capítulo 1) onde são apresentados os conceitos gerais do tema, segue-se o Capítulo 2 onde estão sumarizados os métodos de trabalho utilizados na Tese. Este Capítulo é muito importante tendo em vista que na atualidade qualquer trabalho mineralógico tem necessariamente que se utilizar tanto de métodos clássicos como microscopia óptica e difração de raios X, como também de métodos complementares mais modernos tais como microsonda eletrônica, técnicas de espectroscopia entre as quais se incluem absorção no infravermelho, no visível, além de microtermometria, análise térmica diferencial, entre outras. Assim sendo acreditamos ser necessário uma breve descrição dos fundamentos dos métodos bem

Figura 1.1- Localização geográfica da principal área de ocorrência de coríndon aluvionar na região de Barra Velha, Santa Catarina. Merece destaque, a excelente malha viária que facilita o acesso aos locais dos depósitos.

como a identificação dos equipamentos e condições analíticas utilizadas e dos respectivos laboratórios. No Capítulo 3 caracteriza-se a região quanto aos seus aspectos fisiográficos como clima, vegetação, drenagem e aspectos geomorfológicos. Tendo em vista que o coríndon ocorre em níveis de cascalheiras ocupando posições particulares na paisagem, torna-se importante o entendimento dos processos morfogenéticos regionais.

Em seguida é apresentada a geologia regional da área levando em consideração trabalhos recentes de Geotectônica e Geocronologia que apareceram na literatura nos últimos anos.

À partir do Capítulo 5, são apresentados e discutidos os dados relativos aos depósitos e ao coríndon de Barra Velha. No Capítulo 5 são apresentados os aspectos geológicos e sedimentológicos destes depósitos, seguindo-se da descrição dos minerais acompanhantes do coríndon nos aluviões e solos recentes. Estes dados são de muita importância tendo em vista que os minerais associados normalmente podem trazer subsídios para o conhecimento mais apurado das áreas-fonte do coríndon.

Além disso, no Capítulo 6, é feita a caracterização mineralógica do coríndon de Barra Velha através da apresentação de várias propriedades cristalográficas, ópticas e químicas. No Capítulo 7 são apresentados e discutidos dados da composição química obtidos por microsonda eletrônica, tanto para o coríndon quanto para a fase de alteração deste mineral (diásporo). As inclusões sólidas e fluidas discutidas no Capítulo 8, também fornecem subsídios importantes visando os objetivos propostos: as sólidas auxiliam no conhecimento da paragénese associada ao coríndon, enquanto as fluidas fornecem dados relativos as pressões e temperaturas de formação deste mineral. Segue-se o Capítulo 9 que trata dos aspectos genéticos, onde procura-se reunir informações a respeito da origem do coríndon em outras jazidas do mundo e correlacioná-las com os dados de Barra Velha. No Capítulo 10 são apresentadas as considerações finais, finalizando-se com os agradecimentos (Capítulo 11) e as referências bibliográficas consultadas (Capítulo 12).

CAPÍTULO 2 MÉTODOS DE ESTUDO E AMOSTRAGEM

Após a realização de trabalhos preliminares interpretativos, em bases cartográficas disponíveis, foram executadas diversas etapas de campo, visando o reconhecimento e o levantamento de dados relativos a área de ocorrência do coríndon na região de Barra Velha. Nesta fase, além do cadastramento das ocorrências, foram coletadas amostras de rochas, sedimentos, solos e do próprio coríndon.

Parte dos exemplares de coríndon utilizados neste trabalho, foi cedida pelo proprietário de uma das principais áreas de lavra, sendo que 4,5kg de amostras foram selecionadas de um lote com aproximadamente 400kg (Fotografias 2.1A), onde a escolha foi condicionada a cristais com dimensões, cores e formas distintas, além de 10kg de material recém lavrado e ainda não selecionado. Também foram coletados cristais de coríndon, diretamente dos demais pontos cadastrados e amostrados.

Utilizando-se de metodologias variadas, foram realizadas análises visando caracterizar mineralogicamente o coríndon, além de identificar os minerais associados nos sedimentos e solos. Para tanto foram utilizados diferentes laboratórios, visando cumprir os objetivos propostos, bem como definir novos rumos para a pesquisa em desenvolvimento. Em suma, foi estabelecida uma análise comparada entre os resultados obtidos em campo e em laboratório, com as jazidas bem estudadas em outros locais do mundo, além dos demais dados bibliográficos disponíveis.

2.1 TRABALHOS DE CAMPO

O levantamento e a obtenção dos dados na região, foi planejado e realizado com o uso de imagens de radar e de satélite, fotografias aéreas, mapas topográficos e mapas geológicos, além do material bibliográfico existente. Nestes

trabalhos foram utilizadas principalmente as bases cartográficas cujas especificações encontram-se mencionadas na Tabela 2.1.

Nos levantamentos regionais observa-se que, com exceção de alguns locais à beira mar, os afloramentos rochosos são escassos e a maior parte da litologia encontra-se recoberta por solos de grande espessura. Nas porções baixas da paisagem, ocorrem planícies aluviais de grandes extensões, nas quais em raras ocasiões pode-se encontrar pequenos blocos rochosos aflorantes.

O coríndon é encontrado freqüentemente na superfície dos solos da região, principalmente em canais de escoamento natural de águas pluviais. Além disso, todos os níveis de sedimentação recente, que recobrem os vales, são portadores em potencial deste mineral.

Tendo em vista o modo de ocorrência do coríndon e os objetivos deste estudo, foram adotados como métodos de trabalho de campo, a investigação dos afloramentos com a coleta de amostras em rocha sã, solos, sedimentos de corrente e níveis de cascalho. A amostragem foi realizada principalmente em solos e sedimentos derivados de gnaisses granulíticos e dos demais litotipos encontrados, tais como ultramafitos e quartzitos. Dentro do possível, procurou-se realizar a amostragem principalmente nas regiões de contato litológico, ou próximo a eles. Esta sistemática buscou, através da comparação dos minerais pesados, encontrar relações genéticas destas rochas ou de seus contatos, com o coríndon.

Os níveis de cascalhos da região, foram amostrados ao longo de perfis previamente selecionados, recolhendo-se em cada ponto, volumes da ordem de 20 litros. Estas amostras foram processadas nos próprios locais de coleta, tendo sido inicialmente peneiradas em malha de 3mm, para a remoção dos fragmentos maiores. Em seguida, foram lavadas para a retirada do material argiloso e, finalmente, concentradas por meio de bateamento. Este concentrado, assim como os fragmentos maiores retidos na peneira, foram estudados separadamente em laboratório.

No sentido de um melhor entendimento destes níveis sedimentares mineralizados, foram executados nas proximidades da principal área de lavra (Lavra do Escalvado), vários poços de pesquisa. Estes poços com dimensões de 1m x 1m

Tabela 2.1 - Principais bases cartográficas utilizadas nesta Tese.

Material	Escala	Sigla	Edição	Ano
Imagem de satélite	variada	-	INPE	1992
Imagem de radar	1:250.000	SG-22-Z-B	Radam Brasil	1976
Fotografias aéreas	1:20.000	-	ESTEIO ENG.	1984
Fotografias aéreas	1:25.000	Cruzeiro do Sul	-	1991
Carta metalogenética	1:250.000	S-G-22-Z-B	DNPM	1983
Mapa geológico de SC	1:500.000	-	DNPM	1986
Folha de Barra Velha	1:50.000	SG-22-Z-B-V-2	IBGE	1981
Folha de Luís Alves	1:50.000	SG-22-Z-B-V-1	IBGE	1981
Folha de Araquari	1:50.000	SG-22-Z-B-II-4	IBGE	1981
Folha de Joinville	1:50.000	SG-22-Z-B-II-3	IBGE	1981
Folha de Jaraquá do Sul	1:50.000	SG-22-Z-B-I-4	IBGE	1981
Folha de Gaspar	1:50.000	SG-22-Z-B-V-3	IBGE	1981
Folha de Blumenau	1:50.000	SG-22-Z-B IV-4	IBGE	1981
Folha de Pomerode	1:50.000	SG-22-Z-B-IV-2	IBGE	1981
Folha de Itajaí	1:50.000	SG-22-Z-B-V-4	IBGE	1981

em superfície e profundidades variando de 1,1 a 2,0m, foram abertos com ferramentas comuns como pá e picareta (Fotografias 2.1B). O material retirado a cada 20cm de profundidade foi pesado em baldes de 20 litros e, processado em uma pequena calha concentradora (Fotografias 2.1C).

O equipamento utilizado na separação do coríndon, é dotado de uma peneira com 5mm de malha, onde o material é depositado e, através de um movimento de vai-e-vem e um chuveiro jorrando água, a porção grosseira da amostra fica retida na peneira. Neste caso, os cristais de coríndon podem ser retirados facilmente, pois destacam-se do restante do cascalho pela sua cor. A fração fina da amostra cai então na calha, onde se realiza a separação dos minerais por diferença de densidade em meio aquoso. Após o processamento do material retirado de cada camada de 20cm, foi feita uma despesca e, o produto obtido, foi submetido a uma concentração final em peneiras e bateia (Fotografias 2.1D e E). O coríndon assim obtido foi pesado e remetido ao laboratório juntamente com os minerais pesados acompanhantes. Esta sistemática, objetivou um melhor conhecimento dos níveis de cascalhos quanto a espessura do solo, profundidades dos níveis mineralizados, constituição mineralógica, teor em coríndon e litologia subjacente.

Constatada a presença de coríndon também em solos, a pesquisa foi direcionada no sentido de um melhor conhecimento destes pontos. Neste caso, utilizou-se de um trado de caneco do tipo holandês para a realização de dezenas de furos. Neste caso, as amostras retiradas a cada metro perfurado, foram submetidas a peneiramento e bateiamento. Os locais selecionados para as amostragens foram aqueles, que não apresentaram indícios de perfis transportados, ou seja, solos considerados como "in-situ". Em alguns locais de amostras com conteúdo positivo em coríndon, foram executados poços semelhantes àqueles dos sedimentos, porém, com profundidades maiores (aproximadamente 4,0m). O objetivo deste procedimento, foi o de possibilitar a coleta de amostras representativas do material, verificar o conteúdo em coríndon e realizar um exame cuidadoso dos horizontes mais profundos do perfil.

O aparecimento de cristais de coríndon a uma grande distância dos atuais locais de lavra, mostrou ser necessário investigar também, a distribuição deste mineral a nível regional. Neste caso, a amostragem foi realizada em sedimento ativo

Fotografias 2.1 - Aspectos gerais da amostragem e dos procedimentos de campo. (A) Lote de coríndon em fase de seleção, onde foram obtidas amostras utilizadas nas análises. (B) Abertura de poços de pesquisa para amostragem e verificação do comportamento dos níveis de cascalho. (C) Detalhe de calha concentradora utilizada para o processamento do material retirado dos poços. Nas fotografias (D e E) observa-se a concentração final, através de peneiras e bateia, do material retirado da calha com a separação do coríndon das outras fases.

de corrente, sendo os pontos de coleta cuidadosamente escolhidos, no sentido de possuir grande abrangência. As amostras, foram coletadas em rios e em cursos d'água, onde o volume recolhido foi de 20 litros, correspondendo aproximadamente a 35kg por ponto. Este material foi concentrado por bateamento, sendo em seguida remetido ao laboratório para análise dos minerais pesados. A área de amostragem, abrangeu parte da bacia de drenagem do Rio Itapocu e parte da porção norte da bacia do Rio Itajaí Açu.

2.2 LABORATÓRIO

Para a obtenção dos dados necessários ao desenvolvimento deste estudo, foram utilizados um grande número de laboratórios em diversas instituições de pesquisa. Assim sendo, utilizamos os laboratórios de Microscopia Óptica, Difratomia de raios X, Inclusões fluidas e Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Fizemos uso também, dos laboratórios de Microscopia Óptica, Sedimentologia, Informática, Processamento de imagens, além da Microtermometria do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná. Nesta mesma Universidade executamos análises no Laboratório de Óptica de raios X do Departamento de Física, no Laboratório de Química e no "LAC" Laboratório Central de Pesquisa e Desenvolvimento convênio COPEL/UFPR, todos instalados no Campus da Universidade Federal do Paraná. Tivemos ainda a colaboração do Serviço de Laboratório - SELAB, existente na Minerais do Paraná (Mineropar).

Outras instituições em que foram realizadas análises são os laboratórios de Física e Química do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais e, finalmente, os laboratórios do Gübelin Gemmological Laboratory, em Lucerne (Suíça).

2.2.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Algumas amostras de rocha provenientes da área, foram cortadas e montadas em lâmina de vidro para o seu estudo em microscópio petrográfico; outras, foram submetidas à britagem, moagem e separação dos minerais pesados.

A preparação dos exemplares de coríndon para as análises foi realizada de diversas maneiras, dependendo da metodologia a ser utilizada. Para o estudo em microscopia óptica, o mineral foi cortado, desgastado e montado em lâmina de vidro, como nas amostras petrográficas. No caso da microsonda eletrônica e microscopia eletrônica de varredura, os exemplares foram também cortados em seções delgadas, montados em suportes, polidos e em seguida sombreados com carbono. Para as análises das inclusões fluidas por microtermometria, do mesmo modo, os minerais foram cortados em seções finas e polidos em ambas as faces. Para a difratometria de raios X, análises térmicas e espectroscopia no infravermelho, os cristais foram moídos e reduzidos a pó.

O equipamento para corte do coríndon foi desenvolvido especialmente para tal finalidade. Consistindo basicamente de um porta-amostra, com avanço micrométrico, o qual posiciona o mineral de modo a cortá-lo em lâminas finas, através de uma serra circular diamantada de pequeno diâmetro. O polimento das seções é realizado pressionando-se a amostra contra um disco de cobre, com velocidade de giro de 700rpm, onde se deposita pó diamantado misturado a óleo, como nos processos de lapidação.

Em laboratório, os concentrados de bateia obtidos de solos e sedimentos provenientes da região, foram elutriados para a eliminação completa dos minerais argilosos. Posteriormente, o material foi processado por técnicas tradicionalmente utilizadas em estudos mineralógicos de sedimentos. Após a secagem, as amostras foram submetidas a um peneiramento em malhas de 2,000 - 1,410 - 1,000 - 0,707 - 0,500 - 0,354 - 0,250 - 0,177 - 0,125 - 0,088 e 0,062mm, onde cada fração obtida foi pesada e as duas inferiores a moda, que em todos os casos recaíram na fração areia muito fina, foram remetidas para as separações e análises posteriores.

Na maior parte dos casos, a separação dos minerais pesados foi realizada pelo processo de afundamento-flutuação em meio denso. Neste caso, utilizou-se de bromofórmio ($d \approx 2,89$), considerado como meio de densidade no limite clássico entre minerais leves e pesados. A fração pesada após secagem em estufa e pesagem, foi fracionada de acordo com sua susceptibilidade magnética no separador isodinâmico Frantz. Uma parte das frações resultantes foi utilizada na montagem de lâminas com Bálsamo do Canadá, visando a identificação dos minerais por microscopia óptica. O restante desta fração e, as outras frações de granulometria maior, foram examinadas sob lupa binocular, onde a identificação de algumas fases minerais encontradas foi complementada por difração de raios X.

2.2.2 MICROSCOPIA ÓPTICA

Métodos ópticos rotineiros, foram utilizados em todos os procedimentos de identificação e caracterização dos minerais, no reconhecimento petrográfico das rochas presentes na área, além do mapeamento das inclusões sólidas e fluidas do coríndon.

No decorrer desses trabalhos, foram utilizados microscópios petrográficos Nikon pertencentes ao Departamento de Geologia da UFPR, principalmente o modelo Labophot-pol, dotado de luz transmitida e refletida, acessórios convencionais e câmara fotográfica. Também foi feito o uso de uma lupa binocular Wild, com aumentos de 6x a 50x. Este equipamento foi particularmente útil nos estudos do coríndon e dos minerais associados, permitindo a manipulação e a separação das fases entre si.

2.2.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) ou “scanning electron microscope” (SEM), é uma das técnicas mais empregadas para analisar superfícies de materiais. Trata-se de um procedimento análogo à luz refletida em microscopia óptica, porém utiliza-se de uma fonte diferente da luz, ou seja, forma imagens através da

utilização de um feixe eletrônico fino. Os elétrons possuem um comprimento de onda muito curto, capaz de gerar informações de alta resolução, permitindo aumentos muito grandes da ordem de 800.000 vezes; na prática porém, utiliza-se o limite de 75.000 vezes. Além disso, esta técnica mantém a imagem com aparência tridimensional superando os problemas comuns em óptica, como a profundidade de campo, possibilitando imagens sempre em foco (Gabriel 1992).

A microscopia eletrônica de varredura é uma metodologia analítica de considerável importância em estudos mineralógicos, tendo em vista que permite a obtenção de informações diversas sobre a amostra, tais como textura, topografia, distribuição dos elementos presentes, composição e homogeneidade química dos minerais, número atômico médio das fases presentes, entre outras. A técnica permite obter-se imagens da superfície do material analisado sob grandes aumentos, e o seu registro simultâneo em equipamentos fotográficos acoplados.

Além disso, o equipamento dispõe de um espectrômetro acoplado, capaz de detectar os raios X emitidos pela amostra, durante a excitação produzida pelo bombardeamento de elétrons. O feixe de raios X carrega energia característica e comprimento de onda que quando medidos, revelam a composição dos elementos da amostra. Este fato torna-se bastante útil em mineralogia pois combina as informações obtidas pela morfologia com a análise semi-quantitativa obtida. A técnica permite ainda selecionar o modo de operação do equipamento. Para um exame da topografia da superfície da amostra, utiliza-se elétrons secundários, ao passo que os elétrons retroespalhados refletem as diferenças de número atômico entre as fases analisadas.

O equipamento é composto por um filamento de tungstênio, o qual funciona como cátodo, gerando um potencial altamente positivo em relação ao ânodo, o que dá origem a feixes de elétrons controlados. O feixe eletrônico produzido, é colimado por uma série de lentes eletromagnéticas, que são responsáveis também pela ampliação e pelo foco da imagem, incidindo sobre a amostra previamente metalizada. Em decorrência do bombardeio de elétrons, a amostra passa a emitir elétrons secundários e retroespalhados; estes sinais são detectados, ampliados e enviados a uma tela, mostrando a imagem da superfície analisada varrida sincronicamente.

No coríndon de Barra Velha, foram realizadas dezenas de análises sob microscopia eletrônica, principalmente em seções com inclusões sólidas aflorantes em superfície. Também foram analisados os planos de alteração e, a presença de agulhas impossíveis de serem identificadas por microscopia óptica, devido às suas dimensões extremamente exíguas. O equipamento utilizado nestas análises foi um aparelho EDAX DXY PHILIPS XL-30, o qual encontra-se em operação no LAC - Laboratório Central de Pesquisa e Desenvolvimento, convênio COPEL/UFPR, em Curitiba.

2.2.4 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

Esta é uma das técnicas mais resolutivas para a identificação rotineira de minerais e demais substâncias cristalinas. A difração resultante de um cristal, é uma propriedade física fundamental da substância cristalina, servindo não só para sua identificação, como também ao estudo de sua estrutura (Formoso 1984).

A difração de raios X pelos cristais, resulta de um processo em que estes raios são dispersos pelos elétrons dos átomos, sem mudança em seu comprimento de onda. Um feixe difratado é produzido por dispersão, somente quando algumas condições geométricas, expressas pela lei de Bragg ($n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$), são satisfeitas. Os raios X são difratados pelos diversos planos atômicos do cristal, onde qualquer plano correspondente a uma face (hkl), pode ser considerado. Os resultados são registrados em diagramas que reproduzem os espaçamentos interplanares do mineral e compreendem posições e intensidades das linhas de difração, permitindo desse modo, a leitura e a identificação rápida do material (Azárof & Buerger 1958).

A difratometria de raios X pelo método do pó, foi realizada em amostras de coríndon com cores diferentes. A finalidade destas análises, foi determinar e verificar o comportamento dos parâmetros da cela unitária em cada cor especificamente. Além disso, submetemos também à difratometria de raios X, pela mesma metodologia, o material de alteração do coríndon (diásporo), bem como as outras fases minerais encontradas nos depósitos, no sentido de identificar essas fases.

No decorrer desses trabalhos, utilizamos o difratômetro Rigaku, com geometria do tipo Bragg-Bretano, conectado a uma fonte de raios X Philips modelo PW 1743. A potência máxima fornecida pela fonte é de 40kV e 20mA; o sistema possui ainda um monocromador de LiF, acoplado em um arranjo divergente e uma combinação adequada de fendas de colimação, o que permite eliminar a fluorescência secundária e melhorar os resultados, aumentando desse modo, a relação sinal/ruído. Este equipamento, encontra-se em operação no Laboratório de Óptica de raios X, pertencente ao Departamento de Física da Universidade Federal do Paraná.

2.2.5 MICROSSONDA ELETRÔNICA

A microsonda eletrônica é uma técnica analítica onde a análise é efetuada pela identificação das linhas do espectro característico de raios X, ou seja, a natureza dos elementos químicos emitentes, resultando em análise qualitativa. Se a radiação emanada pela amostra for comparada com aquela de um padrão, tem-se então uma análise quantitativa (Gomes 1984).

Entre as inúmeras vantagens deste equipamento analítico, destacam-se a rapidez, a visualização da amostra concomitante com a análise, o pequeno tamanho do ponto analisado e a não destruição da amostra. As análises efetuadas no decorrer desta Tese, foram realizadas em um equipamento JEOL modelo JXA-8600 SuperProbe, com potencial de aceleração de 15kv, corrente do feixe de 20,10nA e diâmetro do feixe de 5 a 1 μ m, que se encontra em operação no Laboratório de Microsonda e Microscopia Eletrônica de Varredura do IG-USP.

Todas as análises, foram executadas em WDS (análises quantitativas), com um programa específico para determinar quantitativamente 11 elementos, através de 5 espectrômetros com cristais de TAP, LIF e PET. Os elementos analisados e, os padrões utilizados, foram respectivamente os seguintes: Si- wollastonita, Ti- rutilo, Al- coríndon, Cr- cromita, Fe- hematita, Mg- periclásio, Mn- rodonita, Ni- olivina, Ca- wollastonita, Na- andesina, K- ortoclásio e Ba- bário sintético. Estes elementos foram quantificados sob a forma de porcentagem de óxidos e, a fórmula estrutural do mineral

foi calculada empregando-se o programa desenvolvido por Richard (1994) denominado Minpet.

As amostras analisadas, foram selecionadas previamente por meio de uma lupa binocular e microscópio petrográfico, onde foram mapeadas as posições das inclusões sólidas aflorantes em seções laminadas e polidas. Em outros casos, foram analisadas também regiões de zonamentos de cor, faixas de alteração e planos preenchidos por material policristalino. Nas regiões de zonamentos, foram feitos perfis desde a borda até o núcleo do cristal, de modo a identificar a composição química destas faixas.

2.2.6 MICROTERMOMETRIA

A microtermometria constitui um método não destrutivo de análise de inclusões fluidas. Permite a observação e o registro simultâneo das temperaturas de mudança das fases presentes nas inclusões através do resfriamento e aquecimento do mineral hospedeiro. Os dados obtidos, comparados com sistemas estudados experimentalmente, permitem a determinação da composição, salinidade, densidade e das condições mínimas de temperatura e pressão reinantes durante a cristalização ou recristalização do mineral, e de suas modificações devido a eventos posteriores. Segundo Roedder (1984), nos casos em que as inclusões são aprisionadas à partir de sistemas de fluidos originalmente heterogêneos, a microtermometria possibilita a determinação das temperaturas de formação do cristal com valores muito próximos aos reais.

Esta técnica possui uma série de vantagens no estudo das inclusões fluidas, entre as quais a de permitir a repetição do mesmo teste ou de outros na mesma inclusão, enquanto não houver escape de fluidos ou crepitação durante as modificações de temperatura.

Antes da aplicação do método microtermométrico propriamente dito, deve ser realizado um mapeamento preliminar detalhado, utilizando-se da microscopia petrográfica, onde são feitas observações sobre a morfologia das inclusões, sua

distribuição, modo de ocorrência e número de fases, a existência de fases sólidas, diferenças volumétricas entre as fases, índices de refração e birrefringência. Todas estas informações podem auxiliar no estabelecimento de uma cronologia relativa e na seleção dos grupos de inclusões mais representativos para o estudo.

As principais medidas a serem registradas são as temperaturas de fusão e de homogeneização dos componentes presentes na inclusão e, em alguns casos, aquelas onde ocorre a dissolução de fases sólidas porventura presentes. No caso das inclusões do coríndon de Barra Velha, apenas foram obtidas as medidas das temperaturas de fusão e homogeneização do CO_2 , uma vez que elas são constituídas essencialmente por esse componente.

Os resultados das análises microtermométricas são lançados em histogramas de frequência para inclusões pertencentes a grupos distintos. Estes diagramas podem indicar regiões de maior frequência de medidas ou uma dispersão dos resultados, fornecendo ainda dados que são utilizados para o cálculo dos demais parâmetros. As interpretações são realizadas por comparação dos dados obtidos com aqueles relativos a sistemas experimentais com parâmetros P-V-T-X conhecidos, como CO_2 , H_2O , $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$, $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}+\text{CO}_2$ e CO_2+CH_4 , entre outros.

O equipamento utilizado nas análises microtermométricas é composto por uma platina especial devidamente instalada em um microscópio petrográfico de luz transmitida, o que permite a observação da amostra durante todo o processo. Esta platina possui um sistema de resfriamento o qual permite a passagem de nitrogênio líquido, contido num reservatório sob pressão, através de canais localizados em seu interior, possibilitando que a temperatura atinja um valor de até -180°C . O aquecimento é realizado por meio de uma resistência elétrica internamente instalada no corpo da platina, que permite uma elevação de temperatura até $+600^\circ\text{C}$ ou, em alguns modelos, até $+1200^\circ\text{C}$. Sobre o corpo da platina é colocada uma cobertura metálica e uma luva de plástico (resfriamento) ou uma lente de sílica (aquecimento) que tem a função de isolar o conjunto não permitindo o embaçamento da amostra e da lente da objetiva. A platina possui ainda um mecanismo capaz de realizar pequenos movimentos horizontais na amostra, sendo assim possível efetuar análises em várias inclusões sem que haja necessidade da abertura do sistema. A platina permanece interligada,

através de um sensor térmico, a um leitor/controlador de temperatura acoplado a uma impressora digital onde são registradas as temperaturas obtidas. As características detalhadas desse equipamento são discutidas em Poty et al. (1976).

Para os estudos rotineiros de microtermometria do coríndon de Barra Velha, foram confeccionadas lâminas polidas em ambas as faces, tendo sido inicialmente realizado um cuidadoso mapeamento das inclusões fluidas, com uma documentação detalhada através de fotomicrografias. Nas análises microtermométricas foi utilizado apenas o sistema de resfriamento do equipamento, onde foram atingidas temperaturas de até -120°C . Nessa fase não foram obtidas medidas uma vez que o processo é bastante rápido, podendo causar fenômenos de metaestabilidade que alterariam os valores reais das temperaturas. Estas foram obtidas na etapa de aquecimento natural que é realizada com a troca de calor com o meio ambiente, sendo portanto mais lento, fornecendo valores mais precisos.

As análises foram realizadas em uma platina CHAIXMECA, modelo MTM 85, instalada no Laboratório de Inclusões Fluidas do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IGc-USP, bem como em equipamento semelhante existente no Departamento de Geologia da UFPR.

2.2.7 ESPECTROSCOPIA MICRO RAMAN

O efeito Raman consiste na modificação do comprimento de onda de uma radiação eletromagnética que é difundida por uma superfície. O fenômeno é utilizado nos espectrógrafos Raman, onde são medidos os comprimentos de onda da radiação refletida e, com isto, obtém-se informações específicas sobre a estrutura molecular da substância refletora (Fuzikawa 1985).

A espectroscopia micro Raman, é um método não destrutivo de análises de compostos moleculares sólidos, líquidos e gasosos, baseado no princípio do efeito Raman. Quando um feixe de luz de grande intensidade com certos comprimentos de onda atravessa uma amostra, aparentemente transparente, pode gerar o efeito Raman. Este efeito, é o resultado da transferência de energia entre a radiação

incidente e a vibração molecular ou cristalina da substância (Roeder 1984). Através da utilização do laser, pode-se conseguir feixes de luz monocromática intensa, com diâmetros muito pequenos, da ordem de $1\mu\text{m}$ particularmente útil no estudo da composição de inclusões fluidas e determinação de fases sólidas em minerais.

Várias lâminas do coríndon de Barra Velha foram analisadas em microsonda Raman, visando a determinação das impurezas contidas em algumas inclusões carbônicas, que apresentaram TfCO_2 abaixo do ponto triplo para este gás em estado puro. Além disso, foram analisadas as feições em forma de agulhas minúsculas e a fase de alteração (diásporo), além do próprio coríndon. O equipamento utilizado foi um espectroscópio micro Raman DILOR, modelo XY, instalado no Departamento de Física da UFMG.

2.2.8 ESPECTROSCOPIA NO VISÍVEL

Na espectroscopia no visível, um feixe de luz branca atravessa a amostra, sendo devidamente detectada pelo equipamento. Devido aos diversos elementos químicos presentes na amostra, certos comprimentos de onda podem ser absorvidos ou transmitidos, criando um espectro de absorção devidamente registrado, onde a posição e a intensidade das bandas de absorção, podem revelar importantes informações diagnosticas a respeito do material (Hughes 1990). Como exemplo, a técnica permite detectar a presença de elementos de transição tais como ferro, cromo e vanádio, considerados como cromóforos em potencial do coríndon.

Análises espectroscópicas no visível, na faixa de 300 a 800nm foram realizadas em cinco amostras de cores diferentes do coríndon de Barra Velha, as quais foram cortadas em lâminas e polidas em ambas as faces. As medidas foram realizadas em um espectrofotômetro PYE-UNICAM SP8-100 UV-VIS, disponível nos laboratórios do Gübelin Gemmological Laboratory em Lucerne na Suíça. As análises foram executadas graças a cortesia do Dr. Dietmar Schwarz, pesquisador do referido laboratório.

2.2.9 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

A técnica analítica de espectroscopia no infravermelho, começou a ser utilizada em análises mineralógicas desde o início dos anos 50, e constitui uma forma de registro dos níveis de energia vibracional existentes na estrutura atômica dos materiais. Além disso, permite determinar as características particulares de cada substância analisada, constituindo mais um método de identificação de substâncias orgânicas e inorgânicas.

O espectro no infravermelho é um dado importante para complementar a investigação das características dos minerais, como a determinação do arranjo e a simetria dos grupamentos atômicos e moleculares, o estudo da influência das substituições iônicas em estruturas minerais, e a presença de impurezas na rede cristalina (Marel & Beutelspacher 1976).

Indicativo dos níveis de energia vibracional na estrutura atômica dos materiais, o espectro infravermelho pode constituir-se em padrão para uma dada substância. O método admite que uma molécula não é uma associação rígida de átomos, podendo ser comparada a esferas de massas variáveis (átomos) e molas de diversos comprimentos (ligações químicas). As moléculas possuem dois modos fundamentais de vibração: o estiramento, onde a distância entre dois átomos varia, porém sem sair do eixo de ligação; e a deformação, em que a posição do átomo muda em relação ao eixo original. Admite-se que essas vibrações ocorrem somente em frequências quantizadas. Quando incide uma radiação de luz infravermelha de mesma frequência, há absorção de energia e aumento de amplitude daquela vibração; ao voltar do estado excitado ao normal, a energia é liberada em forma de calor (Bessler 1983).

Devido ao arranjo direcional de átomos em muitos minerais, a vibração do infravermelho pode ser direcional. Assim, o padrão de absorção e a presença de pleocroísmo no infravermelho são feições importantes na caracterização mineralógica. Embora a localização dos picos de absorção sejam constantes em diferentes direções, o grau de absorção pode variar. A energia de vibrações fundamentais da estrutura na

maior parte dos minerais, está localizada no centro da região do infravermelho, ou seja, entre 1500 a 400cm^{-1} ($6,67 - 25\mu\text{m}$). Contudo muitos minerais são opacos nesta faixa, principalmente os silicatos.

Tanto o comprimento de onda (μ) que é inversamente proporcional a energia absorvida, como o número de onda (cm^{-1}), diretamente proporcional a essa energia, podem ser utilizados para medir a posição de uma determinada absorção no infravermelho. A região denominada de infravermelho normal, corresponde a $2,5 - 15\mu$ ou $4.000 - 667\text{cm}^{-1}$, enquanto valores acima são denominados infravermelho próximo e valores abaixo, de infravermelho afastado. Absorções que ocorrem em comprimentos de onda menores, ou de maior frequência, são as de maior energia.

Atualmente, o espectro no infravermelho está sendo utilizado por muitos laboratórios como uma técnica segura na caracterização de materiais gemológicos, permitindo a distinção de materiais naturais e sintéticos. Auxiliam ainda na identificação de pedras tratadas por aquecimento ou radiações.

As análises de espectroscopia no infravermelho, foram realizadas em cinco amostras do coríndon de Barra Velha, com cores diferentes. As amostras foram pulverizadas e posteriormente prensadas com KBr para a confecção das pastilhas a serem analisadas. Os espectros foram registrados em um espectrofotômetro Perkin Elmer, modelo 283B, instalado no Laboratório de Espectrometria de Absorção no Infravermelho do Departamento de Química da UFMG. O aparelho foi previamente calibrado com a adição de poliestireno como padrão ($\lambda = 1.630\text{cm}^{-1}$). Os registros foram efetuados na faixa de 400 a 4000 número de onda. cm^{-1} , com tempo de exposição de 12min.

2.2.10 ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL

Análises térmicas, de uma maneira geral, são técnicas experimentais analíticas que se referem a investigações do comportamento de materiais submetidos a variação térmica gradual e controlada. São utilizadas tanto a nível industrial quanto científico, pelo fato de poder caracterizar uma grande variedade de substancias

naturais ou artificiais (Mackenzie 1957, Hatakeyama & Quinn 1994).

Uma das técnicas térmicas mais utilizadas no estudo de substâncias minerais é a análise térmica diferencial (ATD), conhecida também como “differential thermal analysis” (DTA), onde a amostra a ser testada é colocada em posição simétrica com uma substância termicamente inerte, dentro de um forno envolvendo termopares muito sensíveis. Quando o sistema recebe aquecimento ou resfriamento a uma taxa constante, as diferenças de temperatura entre a amostra e o padrão são detectadas pelo termopar e ao mesmo tempo convenientemente registradas (Hatakeyama & Quinn 1994).

Se a variação de temperatura da substância provoca reações físicas, químicas ou físico-químicas como mudança de fase, pirólise ou oxidação, os calores latentes envolvidos, a produção ou absorção do calor em determinadas gamas de temperatura, são registrados. No caso de transições reversíveis ou dissociações, a reação é endotérmica com a amostra possuindo temperatura inferior ao inerte. Por outro lado, transições irreversíveis e oxidações, por exemplo, resultam de reações exotérmicas que colocam a amostra em temperaturas mais elevadas que o inerte. Vários fatores influem em uma análise térmica, podendo ser mencionados entre outros, a taxa de aquecimento, a granulação e a cristalinidade da amostra, a atmosfera do forno, e a quantidade de amostra (Hatakeyama & Quinn 1994).

No decorrer destes trabalhos, foram analisadas cinco amostras de coríndon de colorações variadas, previamente pulverizadas e com peso de 1,5g cada uma. As análises térmicas foram registradas em um equipamento NETZCH modelo STA 409, existente no Laboratório Central de Análises da COPEL. As condições analíticas empregadas foram taxa de aquecimento de 5^oC/min, atmosfera de ar e termopar de Pt/Rh – Pt.

2.2.11 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

A análise termogravimétrica (TG), é um tipo de análise térmica que examina a massa da amostra em função do incremento de temperatura. Essa técnica é

utilizada para avaliar a decomposição e a estabilidade térmica de materiais sob condições variáveis, além de registrar a cinética dos processos físico-químicos que ocorrem na amostra. A curva de variação de massa é plotada normalmente como mudanças de massa expressa em porcentagem no eixo vertical e as temperaturas no eixo horizontal. Normalmente a reação termogravimétrica é caracterizada por duas temperaturas T_i e T_f , onde a temperatura inicial representa o menor valor em que a mudança de massa pode ser detectada, e a temperatura final, o menor valor em que o processo responsável pela mudança de massa foi completado (Mackenzie 1957).

O equipamento e as amostras de coríndon utilizadas nas análises termogravimétricas, foram os mesmos utilizados nas análises termo diferenciais. Foi adotado procedimento recomendado por vários autores, onde a associação das duas técnicas concomitantes sobre uma mesma amostra traz uma série de vantagens, principalmente com relação às condições analíticas. A precisão da termobalança utilizada neste equipamento é da ordem de $1,25\mu\text{g}$, sendo as demais condições analíticas aquelas já citadas anteriormente.

2.2.12 OUTRAS ANÁLISES

Outras análises visando a caracterização do coríndon de Barra Velha, abrangeram estudos detalhados de dimensões, hábitos e geminações presentes, determinação dos índices de refração e das densidades em exemplares de cores diferentes. Foram estudados também o comportamento sob luz ultravioleta de ondas curtas e longas bem como certos efeitos ópticos especiais tais como chatoyance e asterismo, de grande importância nas gemas de coríndon.

Análises químicas complementares à microsonda eletrônica, foram realizadas por espectroscopia de fluorescência de raios X utilizando-se um programa especialmente preparado para análises de coríndon. Neste caso foram determinados alguns elementos menores como o gálio e o vanádio, o cromo, o ferro e o titânio. Vale ressaltar que os três últimos elementos também foram analisados pela microsonda eletrônica. Essas análises foram realizadas pelo Dr. Dietmar Schwarz no Gübelin Gemmological Laboratory na Suíça.

Para o cálculo das densidades do coríndon foi utilizada uma balança analítica eletrônica Mettler, modelo H54AR, instalada no Departamento de Química da UFPR, com precisão de 0,0001g e capacidade de 1.200mg. O método consiste em pesar a amostra presa a um fio extremamente fino, em seguida mergulhar o mineral em um recipiente contendo água destilada e deionizada, sobre uma plataforma não apoiada ao prato da balança. O cálculo da densidade é feito a partir dos valores dos pesos no ar (P_{ar}) e na água ($P_{água}$), através da fórmula $d = (P_{ar} / P_{ar} - P_{água}) \cdot d_{liq}$, onde $d_{liq}=1$.

Os índices de refração do coríndon foram medidos diretamente em um refratômetro gemológico Topcon, disponível no Laboratório de Óptica do Departamento de Geologia da UFPR. Este equipamento permite leituras rápidas e confiáveis dos índices de refração de minerais desde que possuam uma superfície plana e polida. O refratômetro gemológico é um equipamento composto por uma semiesfera de vidro com chumbo apresentando índice de refração de 1,81, uma ocular e uma escala graduada. O princípio de funcionamento está fundamentado no ângulo crítico de reflexão total da luz. No limite vidro/mineral, a luz é refletida totalmente em função do ângulo crítico de reflexão total do mineral, sendo que a leitura do índice de refração do mineral pode ser feita diretamente na escala sobreposta que marca o limite entre o campo claro e o campo escuro.

Além das análises citadas acima, foram executados ainda diversos ensaios completos no coríndon, tais como comportamento à luz ultravioleta de ondas curtas e longas, observação de vários exemplares sob filtros especiais como o filtro Chelsea e o filtro de Goettingen, e observação do pleocroísmo diretamente no dicroscópio gemológico.

A pesquisa bibliográfica sobre o tema, foi executada por meios convencionais em bibliotecas, além da utilização de arquivos de dados como o *GeoRef*, que fornece referências na área de ciências da terra, e o *Current Contents* com referências sobre geologia, química e física. Estes arquivos relacionam trabalhos publicados em fontes e línguas diversas, facilitando em muito a seleção das referências. As palavras-chave utilizadas nesta pesquisa foram coríndon, rubi e safira, resultando um total de 922 referências, entre as quais muitas foram selecionadas. Estes arquivos foram consultados nas bibliotecas da UFPR e do IG-USP.

CAPÍTULO 3 ASPECTOS GEOGRÁFICOS E FISIOGRAFICOS

O litoral norte de Santa Catarina faz parte da região nordeste do Estado, e localiza-se na costa sudeste-sul do Brasil, que vai desde Cabo Frio (RJ) até o Arroio Chuí (RS), com uma extensão de 538km, perfazendo segundo Villwock (1994) aproximadamente 7% do litoral brasileiro. O limite a norte se faz com o Estado do Paraná, através do rio Saí-Guaçu, a leste com o oceano Atlântico, e a oeste com a Serra do Mar e Serra Geral. A área considerada neste trabalho está inserida entre os paralelos 26° 20' e 26° 50' de latitude Sul e os meridianos 48° 40' e 49° 00' de longitude Oeste, que corresponde aos domínios das zonas litorânea e continental.

As informações geográficas mais importantes para a região, podem ser encontradas nos trabalhos de Silveira (1964), Martin & Suguio (1986), Peluso (1986), Duarte (1988), Diehl & Horn F^o (1996), entre outros, os quais privilegiam a geologia costeira, sendo poucos os dados disponíveis sobre os depósitos continentais.

A análise geomorfológica da região foi realizada com interpretação de imagens de satélite Landsat tratadas pelo Sistema ERDAS, disponível no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, utilizando-se também imagens de radar e fotografias aéreas. Além disso, os vários levantamentos de campo realizados, possibilitaram um melhor entendimento das feições observadas nas imagens.

3.1 CLIMA

O clima subtropical dominante na região de Joinville-Barra Velha é do tipo mesotérmico-úmido, com precipitação média anual variando entre 1.250 e 2.000mm. O máximo pluviométrico pertence geralmente ao verão, sendo o trimestre janeiro, fevereiro e março o mais chuvoso, enquanto o mínimo incide na maioria das vezes no

inverno e secundariamente no outono. Trata-se portanto de um regime de chuvas estacional, característico das regiões de clima tropical a subtropical.

O litoral norte catarinense recebe a influência do Anticiclone do Atlântico e do Anticiclone Migratório Polar Atlântico. O primeiro, constitui-se na fonte geradora da Massa Tropical Atlântica (MTA) e o segundo, da Massa Polar Atlântica (MPA). A denominada Frente Polar Atlântica (FPA), resultante do contato entre estas duas massas, é a responsável por parte da precipitação do litoral, controlada pela presença da Serra do Mar, das Serras do Leste Catarinense e da Serra Geral segundo Diehl & Horn F^o (1996).

Dados climáticos coletados por estações meteorológicas costeiras ao longo do Estado, fornecem temperaturas médias anuais para a porção nordeste de Santa Catarina por volta de 22^o C. As precipitações totais anuais para o litoral norte situam-se em 1.800mm e as umidades relativas anuais apresentam valores inferiores a 85% na maioria do litoral, sendo superiores a 85% no setor norte de acordo com o Atlas de Santa Catarina (1986).

A Massa Tropical gera ventos do quadrante nordeste predominantes, enquanto que a massa polar origina inicialmente ventos do sudoeste. Estes influenciam sobremaneira a zona litorânea de Santa Catarina, sendo importantes para a configuração dos depósitos pretéritos e atuais da Planície Costeira. Essa situação favoreceu a formação de dunas pleistocênicas e holocênicas, bem como vem contribuindo para a evolução dos depósitos eólicos atuais, como os da ilha de São Francisco do Sul. O estudo da dinâmica paleoclimática e climática atual, tem sido importante na compreensão dos fatores responsáveis pela formação dos depósitos continentais, litorâneos e costeiros ao longo da costa brasileira (Diehl & Horn F^o 1996).

Processos regressivos e transgressivos marinhos a nível global, se relacionam aos efeitos glácio-eustáticos ocorridos durante o Quaternário. A configuração dos depósitos pleistocênicos e holocênicos da planície costeira e da zona litorânea catarinense, está intimamente associada a estes processos. Depósitos quaternários correlacionados ao sistema de rampas coluviais (Bigarella & Suguio 1990) são também evidentes, estando diretamente associados aos processos gravitacionais de encosta gerados por mecanismos ligados a fatores de ordem climática.

3.2 VEGETAÇÃO

As condições de umidade e temperaturas reinantes na região, possibilitam o desenvolvimento de uma vegetação típica de florestas, com número variado de espécies de árvores altas, médias e arbustos. Esta formação vegetal é parte constituinte da floresta Ombrófila Densa Aluvial, de terras baixas e Submontana. Atualmente devido às práticas agrossilvo pastoris mal conduzidas, grande parte da floresta original já se encontra arrasada, dando lugar a pastagens, reflorestamentos principalmente de eucalipto além de alguns fragmentos florestais secundários.

Nas bacias, os baixios são inicialmente colonizados pelas gramíneas e nas vertentes, onde as propriedades físicas dos solos são variáveis, a distribuição de espécies arbóreas mais sensíveis depende das variações edáficas. Neste contexto as principais espécies são representadas, segundo o Atlas de Santa Catarina (1986), por Callophyllum brasiliensis (guamondi), Euterpe edulis (palmito), Tabebuia (ipê), Cecropia (embaúba), Cedrella fissilis (cedro), Tibouchina (quaresmeira), entre outras.

3.3 DRENAGEM

A região nordeste de Santa Catarina possui um sistema hidrográfico bem distribuído, o qual encontra-se compreendido em duas bacias principais: a Bacia Hidrográfica do Rio Itapocu, e a Bacia do Rio Itajaí Açu, ambas voltadas para o Oceano Atlântico a Leste. O Rio Itapocu tem suas nascentes a Oeste da cidade de Corupá com leito encaixado em terrenos do Complexo Granulítico. O Rio Itajaí Açu, possui volume de água considerável, formando vales de grandes proporções e originando extensas planícies aluviais. A drenagem secundária, composta por pequenos rios e canais, encaixa-se nos rios principais preferencialmente nas direções NE e NW. Os canais que compõe as áreas de predomínio dos maciços e planícies aluviais, em geral possuem baixa declividade e pequenos gradientes. Nas planícies aluviais, notadamente quando o Rio Itapocu atinge seu perfil de equilíbrio, com gradiente muito pequeno e próximo à sua foz, observa-se uma série de braços mortos de antigos meandros, indicando energia suficiente apenas para seu escoamento natural.

3.4 ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS

O Nordeste do Estado de Santa Catarina, exibe uma grande variedade de situações geomorfológicas, descritas por Diehl & Horn F^o (1996), associadas a um substrato diversificado. Em seu contexto geológico, a região apresenta principalmente litotipos como gnaisses granulíticos, quartzitos e rochas ultramáficas. As imagens de satélite e evidências de campo, indicam que estas litologias se alternam sobretudo em direção latitudinal, mostrando ainda uma estrutura aparentemente elipsóide, com predomínio de lineações submeridianas, a oeste da cidade de Barra Velha e ao sul do Rio Itapocu, como pode ser observado na Figura 3.1A.

A região apresenta como um todo, morfologia composta por maciços dissecados, ora com vertentes suaves convexas com topos arredondados, ora apresentando vertentes côncavas e abruptas, em função das diferentes unidades litológicas em relação ao processo de denudação e de tectônica rígida superimposta, conforme está apresentado na Figura 3.1B. Esses maciços chegam a atingir mais de 150m de cota e, de forma geral, estão alinhados no interior do quadrante NNW, evidenciando que o modelado de fato foi condicionado por processos morfoestruturais. Em meio a este tipo de relevo, encontram-se extensas zonas aplainadas onde se desenvolveram processos deposicionais relativos a construção de planícies alúvio-fluviais, como pode ser observado nas Fotografias 3.1A e B.

As áreas de substrato cristalino, encontram-se recobertas por um manto de alteração praticamente contínuo, onde os afloramentos naturais se restringem a alguns fundos de vale e de ravinas. A cobertura pedológica é bem desenvolvida e profunda, sendo constituída por uma associação íntima de solos Podzólico Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Escuro e Cambissolos.

É possível dividir a região em três domínios geomorfológicos distintos, sendo o primeiro constituído por uma área de predomínio de maciços residuais, apresentando um padrão de drenagem retangular característico de controle estrutural por diaclasamento. Dentro deste domínio destacam-se duas sub-unidades: a) Rochas

Figura 3.1 - Imagens de Satélite LANDSAT TM, da região de Barra Velha. A) Aspecto regional evidenciando uma certa estrutura elipsóide para o Complexo Granulítico de Santa Catarina (CGSC). A região mais escura a esquerda da imagem, representa a cobertura sedimentar da Bacia do Paraná (BP). B) Imagem do baixo curso do Rio Itapocu, onde nota-se o desenvolvimento de planícies costeiras (PC) a leste e das planícies aluviais contendo vários canais fluviais abandonados. Sobre as planícies destacam-se os relevos do cristalino com orientação submeridiana, constituídos por dois serrotes (S) isolados mais escarpados e morros em domos arredondados.

Fotografias 3.1.- Aspectos das extensas planícies aluviais que marcam a região, possuindo cotas de poucos metros sobre o nível do mar. Em (A), observa-se ao fundo à esquerda a presença de domo arredondado, com vertentes convexas, típico das rochas gnáissicas pertencentes ao Complexo Granulítico de Santa Catarina. Ao fundo a direita, é visível um maciço residual dos contrafortes da Serra do Mar. Em (B) planície nas proximidades das áreas de lavra, mostrando ao fundo a morfologia típica dos gnaisses granulíticos.

quartzíticas representadas por maciços elevados de encostas abruptas e vales em “V”, evidenciando a alta resistência destas rochas ao processo erosivo; b) Rochas gnáissicas, representadas principalmente por domos arredondados ou por morros grosseiramente alinhados segundo NW, quase sempre com encostas suaves e superfícies convexas.

O segundo domínio geomorfológico é representado por áreas de predomínio alúvio-fluviais, sob ação eminentemente deposicional de canais com caráter meandrante, constituindo-se porções topograficamente baixas e aplainadas que margeiam os grandes rios. Estas planícies acumulam espessa sedimentação, onde observa-se uma ação controlada pela maior energia do mar, evidenciada pela grande quantidade de meandros abandonados principalmente no Rio Itapocu.

Finalmente o terceiro domínio engloba áreas de baixa litorânea, representadas pelo controle efetivo do ambiente marinho que gerou intensa sedimentação durante os diversos eventos transgressivos e regressivos no Quaternário. Seus depósitos sedimentares se encontram associados e interdigitados às planícies alúvio-fluviais.

A província costeira de Santa Catarina, de acordo com Diehl & Horn F^o (1996), engloba os depósitos sedimentares emersos da planície costeira, os depósitos litorâneos e praias, bem como os sedimentos submersos da plataforma continental adjacente, tal como Villwock et al. (1986) descreveram para o Rio Grande do Sul. A largura da planície Costeira Catarinense é variável, estando condicionada à presença do embasamento cristalino mais ou menos próximo a linha de praia atual. Depósitos semi-consolidados a consolidados, de idade supostamente terciária, encontram-se associados ao embasamento e acumulados no sopé das elevações, porém não puderam ser confirmados em campo.

Os depósitos e suas fácies sedimentares de idade quaternária, aflorantes na planície costeira e zona litorânea, denominados de sistema deposicional de encosta, tem origem terrígena e encontram-se associados aos declives nos flancos das elevações. Estes depósitos formaram-se a partir das rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina e constituem-se basicamente de elúvios, incluindo os colúvios e os leques aluviais.

Antigas linhas de costa situadas em níveis mais elevados e em posições mais interiorizadas são indicadas por evidências geológicas (sedimentares e geomorfológicas), biológicas e arqueológicas (Martin & Suguio 1986). Estas são relacionáveis aos eventos progradantes e retrogradantes das transgressões Cananéia e Santos, aplicadas pelos autores acima ao litoral paulista.

Sobre o sopé de encostas e em terraços recentes das várzeas atuais, encontram-se cascalheiras portadoras de coríndon, formadas essencialmente por calhaus, grânulos e seixos, com ausência de arredondamento e apresentando estrutura primária em gradação normal incipiente. Sua importância regional permitiu a cartografia de uma parte destes depósitos na escala de 1:200.000 por Martin et al. (1988). A virtual ausência de matriz argilosa praticamente diferencia estes depósitos daqueles descritos por Bessa (1996) em coluviões e antigos leques aluviais do litoral paranaense.

Na região dos gnaisses granulíticos, ocorre uma sucessão de relevos, na forma de pequenos serrotes, alinhados norte-sul e intercalando-se aos fundos de vale que se nivelam pela planície costeira. As partes mais proeminentes do relevo devem assim corresponder ao termos mais ácidos e menos fraturados enquanto que os vales seriam entalhados nos corpos de predominância básica, raramente aflorantes. Ao longo de toda a metade oriental do Complexo Granulítico de Santa Catarina, a assimetria das vertentes sugere mergulhos de foliação orientados preferencialmente para leste, enquanto que as vertentes ocidentais são mais curtas, íngremes e ravinadas. Uma direção de fraturamento leste-oeste de longa extensão corta o maciço, rebaixando o topo dos serrotes, sem deslocar seus alinhamentos.

O nivelamento do fundo dos vales principais que se apresentam na forma de extensas áreas aplainadas, levemente inclinadas para jusante, realça a importância e a profundidade atingida durante os ciclos de dissecação, vinculados às variações eustáticas negativas do mar. Ainda não foram encontrados aflorando na área, depósitos claramente correlativos destas fases. O material mais imaturo deve caracterizar os sedimentos destes períodos de clima possivelmente mais seco e com temperaturas mais amenas. Por outro lado, os altos terraços situados entre 3,0m e 4,0m acima da várzea atual do Rio Itapocu e adjacentes aos terrenos cristalinos, devem ser associados ao máximo da transgressão holocênica que atingiu, segundo

Angulo e Lessa (1997), o nível de +3,0m em torno de 5.000 anos A.P. (Chodur et al. 1997a).

Sintetizando, observa-se que as mineralizações de coríndon estão espalhadas nas diversas unidades sedimentares recentes, resultantes da evolução dos processos geomorfológicos que atuaram na região durante o Quaternário. Conforme foi verificado nos trabalhos de campo, o coríndon está concentrado principalmente nos diversos níveis de cascalho existentes nos sopés dos morros do Complexo Granulítico de Santa Catarina. O coríndon é encontrado ainda na superfície dos solos que recobrem os morros dômicos, que se erguem sobre as planícies aluviais. Geralmente, nas extensas planícies próximas aos grandes rios, esse mineral ocorre também, porém de forma mais dispersa.

CAPÍTULO.4 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região de Barra Velha, está inserida em um domínio gnáissico de alto grau metamórfico, de idades arqueanas e paleoproterozóicas, constituindo parte do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Hartmann et al 1979), Cráton de Luís Alves (Kaul 1980) ou Domínio Tectônico Luís Alves (Siga Jr. 1995). Litologicamente, a região é representada principalmente por gnaisses granulíticos félsicos e máficos. A Figura 4.1 ilustra o contexto geológico regional com as principais unidades presentes. São indicadas também, nesta figura, as coberturas sedimentares recentes, representadas por depósitos continentais aluviais, coluviais e marinhos. Além disso, a localização da área do estudo também está representada e indicada no mapa como Lavra do Escalvado.

4.1 EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS

Dentre os principais trabalhos pioneiros na região do nordeste catarinense e sudeste do Paraná, destacam-se os trabalhos de Branner (1919), Erichsen (1925), Carvalho & Pinto (1938), Barbosa (1940), Oliveira & Leonardos (1943), Fraya (1944), Lanari (1944), Noe & Wahle (1945), Abreu (1945), Maack (1947) e Takeda (1958). Contudo esses trabalhos constituem citações históricas ou apresentam interesse geológico restrito.

O programa de mapeamento e integração geológica realizado pela CPRM, envolvendo o Leste de Santa Catarina, resultou em mapas geológicos na escala 1:250.000. Schulz Jr. et al. (1969) mapearam a quadrícula Rio do Sul, designando as rochas do embasamento de “Grupo Taboleiro”, o qual foi

Figura 4.1 - Contexto geológico da região nordeste do Estado de Santa Catarina, simplificado de Siga Jr. (1995).

correlacionado por Albuquerque et al. (1971) às rochas do fácies granulito das quadrículas Blumenau e Joinville.

O trabalho de Minioli (1972), apresenta um estudo geológico da região de Piçarras-Barra Velha SC, descrevendo rochas granulíticas, migmatíticas, corpos de anfibolitos, piroxenitos e traquitos. Essas rochas, a exceção dos traquitos de 650Ma, apresentam idades K-Ar variando entre 3,4 e 2,0Ga. Tais dados geocronológicos foram comentados por Cordani (1974), propondo a existência de uma área cratônica na região de Barra Velha. Embora o referido autor tenha feito um estudo petrográfico detalhado nas rochas da região, não há qualquer menção da presença do coríndon nas rochas estudadas.

Em termos geotectônicos, Hasui et al. (1975), propôs uma compartimentação enquadrando os terrenos granulíticos, no Maciço Mediano de Joinville, que Carneiro (1974), denominara de Maciço Barra Velha - Morretes.

Hartmann (1976) e Hartmann et al. (1979), investigaram as rochas gnáissico-granulíticas nos arredores da cidade de Luís Alves (SC), enfocando seus aspectos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos. Os dados indicaram para a formação destas rochas idades de 2,7Ga. Os mesmos autores propõem ainda a designação de Complexo Granulítico de Santa Catarina ao conjunto de rochas granulíticas e anfibolíticas que ocorrem no segmento setentrional do Escudo Catarinense.

As rochas ultramáficas que ocorrem na região de Barra Velha foram abordadas por Soares (1975) e Soares et al. (1978) sob o aspecto petroquímico, concluindo que essas rochas foram formadas sob condições de fácies granulito. Os autores, a exemplo de Minioli (1972), não se referem a presença de coríndon nas rochas estudadas.

Uma visão geral dos maciços graníticos do sul do Brasil com ênfase nos aspectos petrográficos foi apresentada por Wernick & Penalva (1978) e Kaul

(1984, 1985), os quais fazem parte do Escudo Catarinense, a exemplo dos Granitos Corupá, Dona Francisca, Piraí e outros.

Teixeira (1979 e 1982), com base em dados radiométricos, reconheceu uma província antiga paleoproterozóica, representada pelos gnaisses granulíticos do setor nordeste de Santa Catarina, bem como regiões afetadas durante o Neoproterozóico.

Kaul (1980) denomina de “Cráton Luís Alves” todas as rochas de alto grau que ocorrem entre os lineamentos Blumenau a sul e Corupá a norte. Kaul & Teixeira (1982), apresentam uma síntese dos conhecimentos geológico-geocronológicos do setor nordeste de Santa Catarina e sudeste do Paraná.

Moreira & Marimon (1980) realizaram estudos petrográficos e geoquímicos nas rochas granulíticas da porção sul do complexo granulítico de Santa Catarina, atribuindo uma origem ígnea para estas rochas.

Silva & Dias (1981 a e b), cartografaram em escala 1:50.000, quatro folhas da porção centro-norte de Santa Catarina incluindo Barra Velha, Itajaí, Gaspar e Blumenau. Nestes trabalhos que contêm estudos petrogenéticos, o Complexo Granulítico de Santa Catarina é composto por gnaisses granulíticos leucocráticos, milonitos granulíticos, blasto milonitos de derivação granulítica, ultramafitos, gnaisses calcio-silicáticos, kinzigitos, anortositos, quartzitos, formações ferríferas e gnaisses cataclásticos.

Silva (1987), no texto explicativo relativo ao mapa geológico do Estado de Santa Catarina na escala 1:500.000, atribui uma idade transamazônica ao pacote de rochas granulíticas que ocorrem no nordeste de Santa Catarina.

Basei & Teixeira (1987) integram e reavaliam os dados geocronológicos de Santa Catarina, destacando a norte os terrenos paleoproterozóicos do Complexo Granulítico e a sul, o Cinturão Dom Feliciano desenvolvido no Proterozóico Superior.

Basei (1985), sugere uma compartimentação interna dos terrenos localizados no setor NE de Santa Catarina e SE do Paraná, em duas unidades maiores denominadas de “Maciço Marginal de Curitiba” e “Cráton Rio de La Plata”. Apresenta dados isotópicos, sugerindo um magmatismo precursor anterior a 2,6Ga, e um metamorfismo regional granulítico em torno de 2,4Ga, com soerguimento e conseqüente resfriamento a 1,8Ga. O mesmo autor compartimenta o Cinturão Dom Feliciano, sobreposto a margem sul do Complexo Granulítico de Santa Catarina, nos Domínios, interno (terrenos granito-gnáissico), intermediário (metasedimentos do Grupo Brusque e granitos intrusivos) e externo (Bacia de Itajaí).

Hartmann (1988), utilizando-se de termo-geobarometria aplicada em granulitos de Santa Maria Chico (RS) obteve temperaturas da ordem de 800°C e pressões de 7-9Kb, para a formação destas rochas e, em Santa Catarina, temperaturas similares admitindo pressões da ordem de 7Kb.

Tomando como base dados geológico-estruturais e geocronológicos, Siga Jr. et al. (1990a), identificaram no setor nordeste de Santa Catarina e sudeste do Paraná, três domínios geotectônicos distintos: Meridional, representado principalmente por ortogranulitos; Setentrional, representado por rochas granito-gnáissicas e, Costeiro, representado principalmente por granitóides calcio-alcálicos porfiríticos.

Figueiredo et al. (1991) propõem, através de dados geoquímicos, uma evolução cogenética para os termos básicos e ácidos-intermediários dos granulitos deste complexo, sugerindo também um ambiente insular para a formação desses terrenos.

Basei et al. (1992) divide o setor nordeste de Santa Catarina e sudeste do Paraná em três compartimentos geotectônicos distintos: Microplaca Curitiba, Microplaca Luís Alves (Complexo Granulítico de Santa Catarina) e Cinturão Granitóide Costeiro. Neste caso os terrenos granulíticos representantes da Microplaca Luís Alves estendem-se para nordeste até o Maciço Serra Negra.

Siga Jr. (1995), a partir de dados geocronológicos reconheceu a existência de três grandes domínios geotectônicos: Domínio Luís Alves correspondente ao Complexo Granulítico de Santa Catarina de idade paleoproterozóica, Domínio Curitiba caracterizado por gnaisses, migmatitos e granitóides deformados, e o Domínio Paranaguá constituído por granitóides cálcio-alcalinos porfiríticos.

Visto que o Complexo Granulítico de Santa Catarina é a unidade de maior expressão geológica regional, é apresentado a seguir um resumo condensado dos conhecimentos existentes para esta unidade.

4.2 O COMPLEXO GRANULÍTICO DE SANTA CATARINA

Rochas metamórficas de alto grau do fácies granulito e anfibolito ocorrem no nordeste catarinense, ocupando uma área de aproximadamente 8.500km². Os limites deste Complexo (Basei 1985, Basei et al. 1992 e Siga Jr. 1995) a Norte e Noroeste são o Domínio Curitiba, a Nordeste e Leste o contato é em parte com o Batólito Paranaguá, a Sul os seus limites são definidos pelas frentes de cavalgamento do Cinturão Dom Feliciano. A Oeste, o complexo é recoberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná.

Silva & Dias (1981 a, b e c) e Silva (1984 e 1987) com base em cartografia e estudos de petrografia e petrogênese da região centro-norte de Santa Catarina, apresentaram o Complexo Granulítico de Santa Catarina como pertencente a uma área cratônica arqueana. O complexo seria composto de gnaisses granulíticos félsicos e máficos, milonitos granulíticos, blastomilonitos de derivação granulítica, ultramafitos, gnaisses cálcio-silicatados, gnaisses kinzigíticos, anortositos, quartzitos, formações ferríferas e gnaisses cataclásticos.

Segundo Figueiredo et al. (1991) são terrenos de alto grau, que estariam constituídos originalmente por uma suite ígnea básica-intermediária-ácida, incluindo em menor parte, diferenciados básicos em meio a granitóides tonalito-granodioríticos. Subordinadamente ocorrem gnaisses kinzingíticos, quartzitos, formações ferríferas bandadas e migmatitos.

De acordo com (Hartmann et al 1979, Basei 1985, Basei et al.1992 e Siga Jr. 1995), o Domínio Luís Alves é representado principalmente por ortognaisses granulíticos bandados a maciços de composição tonalito-granodiorítica com freqüentes variações de granulitos básicos. Ocorrem adicionalmente migmatitos, ultramafitos, granulitos piroxeníticos, quartzitos, gnaisses kinzigíticos e formações ferríferas. O metamorfismo de alto grau deu-se no início do Proterozóico inferior, sobre terrenos magmáticos de possível idade arqueana. A textura é gnáissica, com a maioria dos minerais deformados e paralelos à foliação.

A porção norte do Complexo Granulítico de Santa Catarina apresenta na região de Piên (Harara 1996), uma ampla diversidade litológica, com predomínio de duas unidades maiores de gnaisses granulíticos félsicos e máficos, dentro das quais ocorrem freqüentes lentes de minerais félsicos e máficos, gnaisses granulíticos anfibólíticos e anfibolitos ricos em granada, gnaisses anfibolíticos e anfibólio gnaisses, gnaisses granulíticos ricos em biotita e porções charnoquíticas, charno-enderbíticas e enderbíticas associadas.

A mineralogia típica de alto grau destes gnaisses granulíticos, segundo vários autores, compõe-se principalmente de quartzo, feldspatos predominando amplamente o plagioclásio sobre o feldspato alcalino, piroxênio (hiperstênio e diopsídio), hornblenda (verde oliva) e biotita (castanho-avermelhada). Os acessórios mais comuns são o zircão, a magnetita e o rutilo. O fácies anfibolito, posterior ao fácies granulito, de caráter menos regional e ocorrente em vários locais deste complexo, é representado pela anfibolitização parcial a total dos piroxênios. Ainda

pode-se detectar a presença de clorita e epidoto nestas rochas, definindo um metamorfismo de baixo grau, principalmente em zonas de falhas (Hartmann et al. 1979).

O padrão estrutural do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Basei et al. 1992 e Siga Jr 1995), apresenta um bandamento S_n de orientação francamente noroeste, identificado facilmente em diversos locais e caracterizado por alternância de níveis félsicos e máficos, e uma superfície de transposição S_{n+1} , muitas vezes paralela ao bandamento. Este bandamento, representado por uma superfície S_2 gerada em condições de fácies granulito, apresenta-se dobrado e com atitude do plano axial predominante NW/SE.

O padrão geocronológico do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Girardi et al. 1974, Basei 1985, Basei et al. 1992, Siga Jr. et al. 1990b, Siga Jr. 1995 e Harara 1996) mostra-se em geral compatível com uma estabilização tectônica durante o paleoproterozóico. As análises pelo método K-Ar em minerais (biotita, anfibólio e plagioclásio) mostram idades no intervalo entre 2000-1700Ma. Tais idades são interpretadas como indicativas do resfriamento destas rochas granulíticas durante o Ciclo Transamazônico, após o processo de granulitização e que a região foi preservada dos processos termo-tectônicos Brasileiros (Siga Jr. 1995).

O perfil K-Ar em minerais para as rochas do todo o complexo (Girardi et al. 1974 e Siga Jr. et al. 1990 b) mostra agrupamento de idades em torno de 1700-1900Ma, indicando resfriamento durante o paleoproterozóico, exceto na margem norte deste complexo, onde as idades são neoproterozóicas.

Cordani (1974), com base em datações K-Ar conclui que a região de Barra Velha era uma região estável durante o Ciclo Brasileiro, tendo sofrido metamorfismo de fácies granulito ao final do Arqueano e de fácies anfibolito no Transamazônico. Os efeitos termo-tectônicos brasileiros neste domínio, teriam se manifestado por reativações localizadas em zonas de falhas internas e nas bordas,

provocando uma granitogênese tardi a pós orogênica à anorogênica com geração de diversos corpos graníticos, tais como Corupá, Dona Francisca, Piraí, Agudos do Sul e Morro Redondo.

Corpos representados principalmente por rochas ultramáficas e quartzitos são encontrados com muita frequência associados às unidades dos gnaisses granulíticos.

Os quartzitos formam grandes lineamentos nos altos topográficos. Possuem espessuras variáveis, em geral em torno de 0,1 a 10,0m ou mais, e colorações variadas, predominando o cinza, o castanho e o verde, esta última devido a presença de fuchshita em certos locais. A textura é predominantemente granoblástica, com granulação variando entre 0,5 e 2mm. A mineralogia é dominada pelo quartzo (97%), ocorrendo subordinadamente planos contendo minerais micáceos, como muscovita e fuchshita, podendo ocorrer ainda magnetita e zircão. (Hartmann et al 1979) admite que os quartzitos, as formações ferríferas e as rochas calciossilicatadas são metassedimentares. Considera os ultramafitos como meta-ígneos e remanescentes da crosta primordial, mas poderiam também ser originados pelo metamorfismo regional do fácies granulito sobre sedimentos margosos de composição adequada. Este autor cogita também sobre uma origem metassedimentar para os gnaisses quartzo feldspáticos e conclui que as rochas granulíticas em geral foram submetidas a eventos poli-metamórficos.

Os corpos máfico-ultramáficos neste complexo possuem dimensões variadas, desde pequenas inclusões a nível do afloramento, lentes (Hartmann 1981) e até corpos quilométricos, como o caso dos piroxenitos de Barra Velha-SC (Minioli 1972), e as máficas-ultramáficas, na margem norte deste complexo na região de Piên-PR (Girardi & Ulbrich 1980, Harara 1996).

As formações ferríferas bandadas ocorrem associadas aos gnaisses granulíticos, como corpos lenticulares de pequena envergadura, em geral de alguns centímetros a poucos metros. Possuem granulação fina a média, textura

granoblástica e foliação aparente. Sua coloração varia de cinza escuro a preto, possuindo alternância de faixas de quartzo e magnetita.

As rochas calciossilicatadas, ocorrem com formas lenticulares, e comprimentos da ordem de dezenas de metros, raramente atingindo 1km. Apresentam aspecto bandado, com granulação média e cor variando entre preto, cinza e verde. Os minerais constituintes desta litologia são o oligoclásio e o microclínio, podendo ocorrer ainda diopsídio, hornblenda e biotita; os acessórios mais comuns constituem-se de quartzo, epidoto, allanita, apatita, esfero e calcita. Estas rochas não possuem o hiperstênio, devido às restrições de composição química global, podendo no entanto, pelas associações de campo, serem situadas no fácies granulito (Hartmann et al. 1979).

4.3 OUTRAS UNIDADES

Na margem norte e noroeste do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Figura 4.1) ocorre a Suíte Granítica Rio Piên (granitóides cálcio-alcálicos neoproterozóicos) e o Maciço Granítico Agudos do Sul. No contato desta unidade com os granulitos do complexo, ocorre a suíte máfico ultramáfica de Piên, constituída predominantemente por serpentinitos. (Girardi & Ulbrich 1980, Siga Jr. 1995, Harara 1996).

O Cinturão Granitóide Costeiro (Siga Jr. 1995, Basei et al. 1992) está localizado na porção nordeste do Complexo Granulítico de Santa Catarina. Segundo estes autores, trata-se de um complexo ígneo polifásico que inclui grande variedade de rochas graníticas distribuídas ao longo de uma faixa oriental, com mais de 100km de extensão e cerca de 30km de largura.

Seqüências vulcanossedimentares expressivas ocorrem ainda na porção norte do complexo (Siga Jr. 1995) representadas pelas Bacias de Campo Alegre e Corupá (Figura 4.1), sendo um importante marco dentro da evolução do complexo. Características comuns a estas bacias são a presença de sedimentos variados, representando diferentes ambientes deposicionais e importantes contribuições de rochas vulcânicas (lavas, predominando ácidas-intermediárias e rochas piroclásticas).

Ainda na porção norte do complexo, ocorrem atividades plutônicas de caráter notadamente alcalino e peralcalino (Kaul 1984, Kaul & Cordani 1994, Siga Jr. et al. 1994, Siga Jr. 1995). Encontram-se representadas por inúmeros stocks e batólitos graníticos, tais como Agudos do Sul, Morro Redondo, Dona Francisca, Piraí e Corupá (Figura 4.1). Siga Jr. (1995) associa a colocação desses corpos graníticos a regimes tectônicos distensivos relacionadas a processos de adelgaçamento crustal. O intervalo de idades neoproterozóicas (U-Pb em zircão e isócronas Rb-Sr em rocha total) entre 600 e 550Ma representa o principal período de colocação destes corpos.

As rochas sedimentares da Bacia do Paraná cobrem o Complexo Granulítico de Santa Catarina ao longo de toda a sua porção Oeste. A bacia acha-se preenchida por depósitos sedimentares de idades paleozóicas e mesozóicas, recobertos ou intercalados por espessos derrames basálticos e ácidos de idade jurássica superior a cretácea inferior. Nesta unidade, os depósitos cenozóicos são pouco desenvolvidos, sendo limitados a pequenas bacias e a vales de cursos fluviais.

Como se pode observar pela exposição dos conhecimentos geológicos, a região nordeste de Santa Catarina está situada em um domínio de evolução geológica complexa. Verifica-se também que a região tem sido estudada por diversos autores com abordagens diversificadas, e que em nenhum desses

trabalhos foram encontradas referências a respeito da presença do coríndon, tanto nas unidades geológicas locais (gnaisses granulíticos, rochas ultramáficas e quartzitos) como nas regionais (gnaisses granulíticos, quartzitos, formações ferríferas bandadas, ultramafitos, corpos graníticos e bacias vulcanossedimentares). Acredita-se que a ausência de citações a respeito desse mineral é devida ao seu modo de ocorrência, detectada até o momento somente em solos e sedimentos recentes, que não foram ainda alvo de estudos pormenorizados.

Considerando que o conhecimento preciso dos fenômenos que atuaram na área, extrapola os objetivos deste trabalho, trataremos no capítulo subsequente dos depósitos quaternários os quais contém os níveis mineralizados em coríndon formados como produto da alteração principalmente a partir das rochas do Complexo Granulítico.

4.4 DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS

Entre os trabalhos citados por Caruso (1987), destacam-se como pioneiros em termos geológicos e geomorfológicos do Quaternário do litoral catarinense, os de Leonardos (1938), Maack (1947), Lamego (1940), Bigarella (1949), Bigarella et al. (1954, 1961, 1965), Oliveira (1948), Teixeira (1950), Almeida (1948), Pimienta (1958), Castro & Castro (1969), Duarte (1981), Gré (1983), Muehe & Caruso (1983), Odebrecht & Caruso (1985) e Martin & Suguio (1986).

A região nordeste catarinense caracteriza-se por apresentar contrastes entre as amplas planícies costeiras e a presença de rochas cristalinas próximas a linha de costa. Neste caso os depósitos quaternários que ocorrem na região litorânea, podem ser divididos em continentais, transicionais e marinhos.

Os depósitos continentais estão relacionados a processos fluviais, marinhos e aos movimentos oscilatórios que vem ocorrendo desde o Plioceno Superior até os dias atuais. Normalmente estas acumulações de material detrítico formam depósitos residuais e rudáceos originados por pedimentação.

Embora os sedimentos continentais ocupem vastas áreas da região, os trabalhos citados em bibliografia são muito escassos indicando que apenas os depósitos marinhos costeiros foram estudados com maiores detalhes nos últimos anos.

Os depósitos continentais relacionados à planície costeira são subdivididos em depósitos de encosta (colúvio - aluviais) e depósitos fluviais (canais e planícies aluviais). Os depósitos residuais não relacionados as planícies costeiras, são da mesma forma pertencentes ao Quaternário.

Depósitos fluviais e aluviais atuais compostos por sedimentos de granulometrias variadas, desde argilas até grânulos, seixos e calhaus, inconsolidados e mineralizados com coríndon, são encontrados nos vales e planícies de inundação de vários rios da região, principalmente na bacia de inundação do Rio Itapocu, Piraí e Itajaí-Açu (Chodur et al.1993).

Martin et al. (1984), propôs um modelo evolutivo para o litoral brasileiro, relacionado as curvas de variação do nível do mar nos últimos 7.000 anos. Martin & Suguio (1986), através de datações e dados de campo, afirmam ser possível reconstruir o comportamento do nível relativo do mar para a costa catarinense, resumidamente transcrito a seguir.

6.500 anos A.P.- nível do mar próximo ao nível atual.

5.100 anos A.P.- nível do mar a 3,50m acima do nível atual.

4.100 - 3.800 anos A.P.- nível do mar abaixo do nível atual.

3.600 anos A.P.- nível do mar a 2,50 - 3,00m acima do nível atual.

2.900 - 2.700 anos A.P.- nível do mar abaixo do nível atual.

2.500 anos A.P.- nível do mar a 1,50 - 2,50m acima do nível atual.

Após esta seqüência de eventos o nível do mar passou a oscilar próximo aos valores atuais, favorecendo o desenvolvimento de algumas áreas de manguezais. A atividade eólica então tornou-se o principal agente que passou a atuar na evolução da planície costeira (Caruso 1987).

Segundo Angulo & Lessa (1997), o nível de +3,0m em torno de 5.000 anos A.P. está relacionado ao máximo da transgressão holocênica que atingiu a região. Neste caso os terraços situados entre 3,0 e 4,0m acima da várzea atual do Rio Itapocu e os depósitos de encosta devem estar relacionados a este fenômeno transgressivo.

Em um contexto mais de detalhe, nas proximidades da Lavra do Escalvado, foram realizados levantamentos em fotografias aéreas, confirmados também em campo, separando as diversas unidades sedimentares que ocorrem na porção Sul do Rio Itapocu. Como pode-se observar na Figura 4.2 é possível delimitar as unidades reconhecidas como aluviões, coluviões, coluviões e aluviões associados, além dos terraços aluviais.

Como aluviões foram classificadas as porções dos depósitos recentes de origem fluvial, constituídos por cascalhos, areias e argilas, que ocorrem nas planícies de inundação e nos sopés das elevações (Guerra 1975).

Foram englobados como coluviões, os depósitos das encostas dos morros constituídos por materiais detríticos transportados a curta distância por efeito de gravidade (Guerra 1975). Os coluviões só aparecem no sopé das vertentes, ou próximo a elas, sendo muitas vezes difíceis de separar dos aluviões que ocorrem de maneira associada. Esses coluviões formam, muitas vezes, verdadeiras rampas coluviais originadas nos locais onde o relevo torna-se mais suave. Essas feições são bastante importantes, pois é justamente nesses pontos que estão localizadas as principais ocorrências de cascalhos contendo concentrações de coríndon.

A - aluviões
 Ca - coluviões e aluviões associados
 C - coluviões
 T - terraços aluviais

Figura 4.2 - Distribuição das principais unidades sedimentares encontradas na área estudada, com indicação da Lavra do Escalvado.

Os terraços aluviais formam patamares que vão margeando os vales e que demarcam níveis mais antigos. Formam-se por erosão vertical e lateral, podendo ser entalhados no próprio embasamento ou em aluviões depositados pelo rio.

De um modo geral, os depósitos recentes da região originaram-se à partir das litologias do Complexo Granulítico de Santa Catarina, que é a unidade geológica de maior extensão na área, como pode-se observar na Figura 4.1. O intemperismo dos gnaisses granulíticos e quartzitos, liberou os constituintes rudáceos mais freqüentes, entre os quais destacam-se os fragmentos de quartzo leitoso e de quartzito notadamente angulosos, que compõe os níveis de cascalhos mineralizados com coríndon.

Os demais constituintes dos depósitos, incluem argilas que recobrem os níveis de cascalhos e formam solos de pouca espessura os quais muitas vezes contém fragmentos de coríndon. Encontra-se também argilas formando bolsões em proporções variáveis, além de areias de diversas granulometrias e alguns minerais pesados.

CAPÍTULO 5 GEOLOGIA DOS DEPÓSITOS DE CORÍNDON

Os depósitos sedimentares portadores de coríndon na região de Barra Velha, estão localizados nos aluviões quaternários do Rio Itapocu e afluentes, os quais ocorrem ao longo de uma faixa com cerca de 30km de extensão, podendo atingir em alguns locais até 4km de largura. Encontram-se em extensas zonas aplainadas onde se desenvolveram processos deposicionais relativos à construção de planícies alúvio-fluviais. São depósitos descontínuos e com ampla distribuição geográfica porém com pequena espessura, variando conforme a topografia do substrato em que estão localizados (Chodur et al. 1993). Estes depósitos tem sua origem principalmente a partir das rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina e constituem-se basicamente de rampas coluviais, aluviões, coluviões e terraços aluviais.

Rampas coluviais são constituídas por sedimentos detríticos grosseiros e mal selecionados, formadas ao longo das baixas vertentes. Nestes compartimentos, os depósitos se acumulam onde o gradiente diminui no limite do relevo acidentado. Depósitos quaternários correlacionados ao sistema de rampas coluviais ocorrem de maneira muito expressiva na região de Barra Velha. Martin et al. (1988) consideram estes depósitos como representativos de antigos leques aluviais estando diretamente associados aos processos gravitacionais de encosta, os quais podem atingir cotas de 30 a 40m.

Observações sistemáticas mostraram que o coríndon de Barra Velha concentra-se principalmente nos depósitos rudáceos existentes no sopé das elevações, sendo detectado também nas planícies aluviais da região, porém de forma mais dispersa. No sopé das elevações e em vales internos dos canais secundários, as fácies constituídas por níveis de cascalhos, apresentam concentrações variáveis de cristais de coríndon, onde foram constatados valores de até 6.000g/m³.

Em alguns locais, este mineral pode também ser encontrado na superfície dos solos de cobertura existentes nas porções mais elevadas, principalmente em canais de escoamento natural das águas pluviais.

5.1 LAVRA DO ESCALVADO

A Lavra do Escalvado é o local onde foi lavrado o maior volume de cascalho mineralizado até o presente momento, sendo por isso considerado o principal depósito da região. Já houve algumas lavras em outros locais, porém com finalidade de pesquisa ou então, de forma clandestina. Como se pode observar na Figura 4.2, a Lavra do Escalvado está situada em plena planície aluvial que cobre a região, distando aproximadamente 7km a nordeste da ponte da BR-101 sobre o Rio Itapocu.

Neste local, ocorre uma seqüência com cerca de 0,5m a 2,0m de espessura de cascalhos apresentando geometria aparentemente tabular, assentada diretamente sobre uma rocha alterada que apresenta estrutura gnáissica ainda preservada. O coríndon ocorre associado a estes sedimentos concentrando-se preferencialmente nas partes basais da coluna (Fotografias 5.1 A e B).

Os trabalhos de lavra produziram uma cata de aproximadamente 7,0m x 20,0m em superfície, com profundidades variando em torno de 0,5m a 2,5m. A abertura dessa cava permitiu estabelecer a seqüência dos sedimentos no local, conforme está apresentado na coluna geológica da Figura 5.1. O pacote mostra uma estruturação em gradação normal, embora incipiente (Fotografias 5.1C).

A coluna de sedimentos está assentada diretamente em rochas gnáissicas alteradas do embasamento cristalino antigo, que fazem parte do Complexo Granulítico de Santa Catarina. As características dos sedimentos permitiu dividir a coluna em três segmentos distintos aqui denominados como A, B e C (Figura 5.1). A porção (A) representa um nível de cascalhos constituído por fragmentos de quartzo leitoso e quartzito, cuja granulometria varia de seixos a calhaus, ocorrendo esporadicamente alguns matacões (Fotografias 5.1D). Esses constituintes estão dispersos em uma matriz arenosa que grada para lamítica nas porções superiores da seqüência. Na porção basal desta unidade, nas proximidades do contato com a rocha gnáissica, ocorre uma intensa cimentação por óxidos de ferro e manganês.

Fotografia 5.1 - Aspectos gerais da Lavra do Escalvado, principal depósito de coríndon de Barra Velha, em fase de lavra. A) Detalhe de um cristal euédrico de coríndon, encontrado na matriz lamítica. B) Fração mais grosseira dos cascalhos onde pode-se observar fragmentos de quartzo em matriz arenosa, além de um pequeno fragmento de coríndon associado. C) Detalhe do depósito, onde observa-se a disposição dos cascalhos, sua granulometria e a angulosidade pronunciada dos fragmentos. D) Blocos de quartzo leitoso com dimensões métricas, às vezes poliédricos, que ocorrem junto aos cascalhos do depósito.

Figura 5.1 – Coluna geológica representativa da Lavra do Escalvado. A) Nível de cascalhos com matriz arenosa. B) Nível de cascalhos com matriz argilosa. C) Solo que recobre os depósitos. A figura mostra ainda a variação das espessuras, e uma breve descrição para cada nível.

O nível (B) é caracterizado pela redução das dimensões e da frequência dos fragmentos de quartzo e quartzito. Além disso, neste nível a matriz torna-se acentuadamente argilosa.

No topo da coluna (nível C), encontramos um solo de pouca espessura, desenvolvido sobre o pacote de sedimentos, o qual apresenta coloração cinza a preta, possui textura argilo-arenosa, podendo conter fragmentos de quartzo e quartzito, além de algum conteúdo em fragmentos de coríndon.

5.2 CARACTERÍSTICAS DO CASCALHO MINERALIZADO

Considerando que os cristais de coríndon são encontrados principalmente nos níveis de cascalho, distribuídos regionalmente, esse conjunto foi alvo de estudos mais detalhados no tocante a seus constituintes sedimentares. Com a finalidade de facilitar o entendimento desta unidade, a Figura 5.2 apresenta um esquema mostrando todos os constituintes identificados em relação a uma escala construída com as frações sedimentológicas e suas respectivas granulometrias.

Como se pode observar pela referida figura, os fragmentos de coríndon possuem uma distribuição granulométrica ampla, indo desde a fração areia muito fina até a fração calhaus. Nas frações mais finas, o coríndon ocorre na forma de fragmentos irregulares resultantes da quebra de indivíduos maiores durante o transporte. A quantidade relativamente pequena desses fragmentos parece indicar que o transporte até os sítios atuais foi relativamente pequeno. O coríndon ocorre também na forma de cristais euédricos a subédricos, que são as forma mais freqüentes na região de Barra Velha, além de fragmentos irregulares, constituindo a fração acima da areia média até as dimensões de 10cm (fração de calhaus).

O quartzo leitoso é outro componente freqüente nos cascalhos, ocorrendo na forma de fragmentos irregulares, geralmente angulosos, que se estendem desde a fração areia muito fina até matacões. Merece destaque a presença de alguns fragmentos com desenvolvimento de superfícies poliédricas bem definidas, atestando que o transporte, se ocorreu, foi praticamente incipiente. Alguns desses indivíduos possuem formas que se assemelham a bipirâmides truncadas na base. São freqüentes também blocos de dimensões métricas, cuja origem não está totalmente esclarecida.

Figura 5.2 – Características granulométricas dos constituintes dos cascalhos mineralizados em coríndon.

Outros constituintes são os fragmentos quartzo-feldspáticos alterados, provenientes provavelmente dos gnaisses granulíticos regionais. Neste caso a fração granulométrica é menor, apresentando-se na faixa entre areia média e grânulos.

Fragmentos de quartzito também estão presentes em quantidades subordinadas, estendendo-se da fração areia média até calhaus. Ainda de forma subordinada ocorrem fragmentos de óxidos de ferro secundários, ocupando a faixa entre areia fina e grânulos.

Finalmente temos a assembléia dos minerais pesados, não muito abundante, sendo representada pelas fases magnetita, ilmenita, hematita, epidoto, hornblenda, hiperstênio, rutilo, zircão, cianita, monazita, granada, turmalina, além do próprio coríndon. Esses minerais ocorrem principalmente nas frações entre areia muito fina a areia grossa e serão detalhados nos capítulos subsequentes.

Todos os constituintes acima descritos estão distribuídos em uma matriz que grada de argila a areia grossa. Em alguns poucos locais foi observado que o caráter argiloso da matriz se intensifica. Outro fato observado é que os fragmentos constituintes dos cascalhos não apresentam arredondamento, sugerindo uma deposição rápida, seja por fluxos gravitacionais ou por enxurradas. Os grandes blocos de quartzo leitoso, as vezes exibindo superfícies planas e bem definidas, também aparentam ter sofrido a ação desses processos. Notou-se também que os constituintes das cascalheiras distribuem-se com baixo grau de organização em seu arcabouço.

Para um melhor entendimento do comportamento dos níveis mineralizados em coríndon, foram executados 10 poços de pesquisa nas proximidades da Lavra do Escalvado, conforme está mostrado na Figura 5.3. Estes poços foram abertos com ferramentas comuns, segundo as dimensões de 1,0m x 1,0m em superfície, com profundidades variando de 1,0m a 2,0m. Associando-se os dados obtidos na descrição dos poços aliados com informações de levantamentos topográficos, foram construídos perfis perpendiculares à direção da drenagem local, conforme está esquematizado na Figura 5.4. Observa-se nesta figura, que os níveis de cascalho contendo coríndon, possuem uma distribuição ampla porém com variações significativas em suas espessuras, considerando que a camada oscila entre 0,5m e 2,0m em média. Outro fato interessante revelado pelos poços de pesquisa, é que em alguns locais, geralmente mais ao centro da drenagem, os cascalhos estão assentados

Figura 5.3.- Detalhes da localização dos poços de pesquisa realizados no pacote sedimentar nas proximidades da Lavra do Escalvado, principal área de ocorrência de coríndon na região de Barra Velha. A figura mostra ainda a posição dos perfis executados A – A' e B – B'.

Figura 5.4 - Perfis representativos do pacote sedimentar nas proximidades da principal área de ocorrência do coríndon na região de Barra Velha.

sobre um material argiloso de coloração verde escura, provavelmente resultante da alteração de rochas ultramáficas que ocorrem na região.

Os poços de pesquisa confirmaram o fato observado anteriormente na Lavra do Escalvado, de que o coríndon se distribui do topo até a base do nível de cascalho, concentrando-se preferencialmente nas partes baixas.

Os processos de formação dos depósitos enriquecidos com coríndon que ocorrem na região de Barra Velha, parecem estar associados essencialmente à evolução de vertentes. O arredondamento praticamente inexistente tanto dos grãos de quartzo quanto do material lítico associado, atestam um transporte a curta distancia. A ausência quase completa de argila nos níveis mais profundos do cascalho, é compatível com uma extração seletiva do material fino sob fluxo concentrado em vertentes pouco protegidas pela vegetação. O fato de se encontrar coríndon e fragmentos de quartzo nos solos argilosos atuais que recobrem os cascalhos, mostra que esse mineral continua sendo depositado pelos processos atuais.

5.3 MINERAIS PESADOS

Minerais pesados são os que possuem densidade maior que as fases comuns como quartzo ($d=2.65$), feldspato ($d= 2,50 - 2,70$) e calcita ($d= 2,71$), podendo ser separados por processos de afundamento-flutuação com a utilização de líquidos densos como o bromofórmio ($d\approx 2,89$). Em geral, estes minerais são acessórios de rochas preexistentes e, sua presença e concentração em solos e sedimentos, depende de uma série de fatores tais como processos de abrasão física e química, razão hidráulica, distância do transporte e estabilidade do mineral. O conhecimento dos minerais pesados é útil em vários campos da geologia, visto que determinadas assembléias mineralógicas são características de grupos restritos de rochas-fonte (Pettijohn 1975).

Segundo ainda o referido autor, os fatores que condicionam a presença de uma determinada fase mineral em sedimentos, dependem principalmente da disponibilidade do mineral na área-fonte, da granulometria original do mineral, do

intemperismo da área-fonte, relação entre a velocidade de erosão e o intemperismo, a resistência mecânica e química do mineral, a forma e densidade do mineral, o tempo e meio de transporte além das condições físico-químicas do meio deposicional.

Muitos destes fatores atuam no sentido de eliminar a presença de certos minerais nos sedimentos. Este fato levou ao estabelecimento das séries de estabilidade dos minerais. É importante ressaltar que mesmo considerando os diferentes tipos de agentes destrutivos, as séries de estabilidade são praticamente coincidentes com destaque para o zircão, a turmalina e o rutilo que são as fases mais estáveis. De outro lado temos a olivina, a augita e outros minerais ferromagnesianos, exemplificando fases menos estáveis (Suguio 1980).

Com o objetivo de se conhecer os minerais acompanhantes do coríndon de Barra Velha, foram desenvolvidos estudos detalhados para identificar a assembléia dos minerais pesados presentes na área. Neste sentido, foram separados e identificados os minerais pesados encontrados nos níveis de cascalhos da Lavra do Escalvado, bem como nos solos das imediações da área de lavra, em algumas rochas representativas da litologia principal e nos sedimentos presentes nas drenagens da região.

Discutiremos a seguir os pesados encontrados nos cascalhos da Lavra do Escalvado, e posteriormente, de forma agrupada, os pesados que ocorrem nos demais locais amostrados.

5.3.1 OS PESADOS DA LAVRA DO ESCALVADO

Amostras do cascalho mineralizado coletadas neste local, foram concentradas no campo e elutriadas em laboratório para a eliminação completa dos minerais argilosos. Posteriormente foram secadas e submetidas a peneiramento. Utilizando-se da fração areia muito fina obtida, foi realizada a separação dos minerais pesados com o uso do bromofórmio e, num último estágio, a porção pesada desta fração foi fracionada de acordo com sua susceptibilidade magnética.

A separação magnética iniciou-se com a utilização do imã de mão, o qual atrai e separa os minerais fortemente magnéticos; a seguir, o restante da amostra foi

fracionada no separador isodinâmico Frantz, utilizando-se as amperagens de 0,3A; 0,6A e 0,9A com 15° de inclinação lateral, de acordo com indicações de Parfenoff et al. (1970), para a assembléia mineralógica previamente observada em lupa. A identificação das frações obtidas pela separação magnética foi feita por meios ópticos com a utilização de lupa, principalmente para os opacos, e microscópio petrográfico onde foram utilizadas lamínas de grãos. Em alguns casos, as fases foram separadas e identificadas preliminarmente pela difratometria de raios X.

Os resultados da identificação dos minerais pesados encontrados no cascalho da Lavra do Escalvado, estão apresentados na Tabela 5.1 e, o resultado da difratometria de raios X em cada fração separada por susceptibilidade magnética, na Figura 5.5.

A fração separada com o imã de mão é constituída principalmente por magnetita e hematita (Figura 5.4A). Na fração atraída pelo separador Frantz em 0,3A, identificou-se ilmenita em maior proporção, além de outros minerais subordinados, como magnetita e hematita (Figura 5.4B). A fração atraída em 0,6A, também submetida à difratometria de raios X, revelou que a mesma é constituída por uma mistura de minerais, principalmente rutilo, epidoto e ilmenita, conforme está mostrado na Figura 5.5 C. Ainda nesta fração foram observados à lupa, hornblenda, granada e turmalina, porém estas fases são impossíveis de serem identificadas no difratograma de raios X, devido a mistura das raias; neste caso, foram separadas sob lupa e analisadas individualmente.

A fração atraída pelo separador Frantz em 0,9A, observada a lupa, apresenta essencialmente minerais do grupo da monazita, rutilo e epidoto, ocorrendo ainda granada, turmalina e zircão em pequenas quantidades. A difratometria de raios X desta fração permitiu identificar apenas algumas raias da monazita, sendo que o restante das raias corresponde à misturas de difícil identificação, como é mostrado na Figura 5.5(D).

Tabela 5.1- Minerais pesados representativos da Lavra do Escalvado, obtidos por separação magnética (ímã e separador isodinâmico Frantz) na fração areia muito fina.

	+(Imã)	Separador Frantz (Amperagens)			
		+0,3 A	+0,6 A	+0,9 A	-0,9 A
% em peso (média de três amostras)	4,75	65,90	7,35	1,74	18,69
magnetita	Ab.	Rr.	-	-	-
hematita	Cm.	Rr.	-	-	-
ilmenita	-	Ab.	Rr.	-	-
epidoto	-	-	Ab.	Pr.	-
hornblenda	-	-	Rr.	-	-
hiperstênio	-	-	Rr	-	-
rutilo	-	-	Rr.	Rr.	Rr.
zircão	-	-	-	Rr.	Ab.
coríndon	-	-	-	-	Pr
cianita	-	-	-	-	Rr
monazita	-	-	Pr.	Ab.	-
granada	-	Rr.	Rr.	-	-
turmalina	-	-	Rr.	Rr.	-

*(%)	100---70	70---40	40-----10	10-----0
	Ab	Cm	Pr	Rr

Ab = abundante, Cm = comum, Pr = presente, Rr = raro

Figura 5.5 - Difrátogramas de raios X das frações totais de minerais pesados, separadas com auxílio de imã (A) e separador isodinâmico Frantz (B, C, D e E). Todos os difratogramas foram obtidos com radiação $\text{CuK}\alpha$, 40 kV e 20 mA. As fases identificadas são: m- magnetita; h- hematita; i- ilmenita; r- rutilo; e- epidoto; mo- monazita; z- zircão.

A fração não atraída em 0,9A no Frantz, constitui-se essencialmente de minerais transparentes como zircão, com pequenas quantidades de coríndon, rutilo e outros minerais não identificáveis a lupa. No difratograma de raios X desta fração aparecem apenas as raiais do zircão, o qual ocorre em quantidades muito maiores que os demais acompanhantes (Figura 5.5E).

São apresentadas a seguir, de forma resumida as características principais das fases minerais presentes identificadas por meios ópticos e difração de raios X.

Magnetita: é um dos principais minerais opacos presentes nas amostras estudadas. Ocorre na forma de octaedros perfeitos ou em fragmentos de cor cinza escura e brilho metálico característico, sendo facilmente atraída por ímã de mão. Foram observados alguns exemplares de forma esferulítica e cor castanha, formados provavelmente por processos secundários. É fato bem conhecido que a magnetita é um dos óxidos de ocorrência mais generalizada entre as rochas ígneas e metamórficas. A presença deste mineral na região está relacionada, possivelmente, aos gnaisses granulíticos onde esta fase é mineral acessório comum.

Hematita: ocorre na forma de fragmentos irregulares e em pequena quantidade (<5%) na fração areia fina e média das amostras analisadas. A hematita é atraída pelo separador Frantz em 0,3A, porém normalmente é “arrastada” junto com a magnetita, indo fazer parte também da fração separada pelo ímã de mão. Vista sob lupa, apresenta-se como mineral opaco, de hábito tabular, cor cinza escura característica e brilho metálico, às vezes apresentando porções oxidadas com colorações amarelo-avermelhadas.

Ilmenita: apresenta-se em fragmentos irregulares e prismáticos de hábito tabular, coloração escura, brilho metálico resinoso, fratura irregular ou conchoidal, sendo que alguns grãos apresentam bordas de alteração esbranquiçadas de leucoxênio. A ilmenita ocorre preferencialmente na fração 0,3A juntamente com a magnetita e a hematita, sendo as duas últimas de forma subordinada.

Epidoto: examinado sob lupa, o epidoto apresenta-se como massas granulares ou segundo cristais euédricos e facetados de coloração verde “pistache”, com brilho vítreo a resinoso, sendo muito abundante em todas as amostras analisadas. Esta fase concentra-se principalmente na fração atraída em 0,6A no separador Frantz.

Ao microscópio petrográfico, o epidoto aparece como massas policristalinas ou como cristais individuais prismáticos, facetados e alongados, geralmente com faces estriadas na direção do alongamento, com clivagem paralela a esta direção, exibindo ainda fratura escalonada e relevo alto. A Fotomicrografia 5.1A, mostra a forma característica exibida pelo epidoto encontrado nas amostras analisadas. O epidoto é de ocorrência comum em toda a região, aparecendo nos cascalhos, revestindo por vezes a superfície dos fragmentos de quartzo.

Hornblenda : ocorre em cristais prismáticos geralmente alongados, de coloração verde, com formatos irregulares, apresentando extinção quase reta, e duas direções de clivagem não ortogonais. Apresenta caráter óptico biaxial (-) e pleocroísmo médio. Nas amostras analisadas ocorrem fragmentos de hornblenda de forma muito restrita, sendo encontrados com pouca frequência. Ao microscópio petrográfico, os cristais mostram as clivagens prismáticas características formando ângulos próximos de 120° e coloração verde escura (Fotomicrografia 5.1B).

Hiperstênio: minerais de ocorrência muito rara no depósito estudado, tendo sido identificado com auxílio de raios X. Ocorre na forma de grãos irregulares e pouco alongados, com linhas e estrias longitudinais e extinção reta. Apresenta pleocroísmo característico de pardo róseo a verde, sendo rico em inclusões como pode ser observado na Fotomicrografia 5.1C.

Rutilo: ocorre na forma de grãos prismáticos alongados, com bordas irregulares e coloração castanha escura avermelhada (Fotomicrografia 5.1D). Os cristais se apresentam geralmente com bordas escuras resultantes dos índices de refração elevados.

Zircão: ocorre na fração não magnética a 0,9A no Frantz, juntamente com o rutilo e o coríndon. Ao microscópio petrográfico apresenta-se na forma de cristais transparentes, euédricos e de hábito prismático tetragonal característico, com coloração variando do róseo ao incolor, contendo geralmente grande número de inclusões (Fotomicrografia 5.1E).

Coríndon: está presente na fração não atraída no separador Frantz e ocorre como fragmentos de cristais onde algumas vezes é possível a identificação das maclas em arranjo romboédrico, possui tamanho superior ao restante dos minerais

Fotomicrografias 5.1 - Alguns minerais pesados encontrados nas amostras do cascalho da Lavra do escalvado, observados sob microscopia óptica e luz natural. A) epidoto, B) hornblenda, C) hiperstênio, D) rutilo, E) zircão, F) coríndon.

acompanhantes sendo facilmente identificado pela sua coloração rósea e vermelha característica (Fotomicrografia 5.1F).

5.3.2 OS PESADOS DE OUTROS LOCAIS

As amostragens realizadas nas áreas adjacentes à Lavra do Escalvado, mostraram que o coríndon ocorre também em outros locais, sendo encontrado nos solos de cobertura provenientes das litologias regionais. Em virtude desse fato, a sistemática empregada no estudo dos minerais pesados da Lavra do Escalvado, foi aplicada na investigação dos principais tipos litológicos que ocorrem na região, tais como gnaisses granulíticos, piroxenitos e quartzitos fuchsíticos. Além disso, foram investigados também, sedimentos de corrente incluindo parte da Bacia do Rio Itapocu que drena as planícies aluviais mineralizadas em coríndon, bem como a porção norte da Bacia do Rio Itajaí Açu.

Pesados nos solos: para a análises dos solos, foram coletados volumes de 20 litros por ponto, escolhendo-se solos cujos perfis indicassem ausência de linhas de seixos indicadoras de transporte. Foi examinado também o grau de arredondamento dos grãos de quartzo contidos no perfil. Dessa forma, foram amostrados somente os perfis considerados “in-situ”. Além disso, a amostragem foi feita preferencialmente no horizonte B, devido as grandes espessuras encontradas para estes solos. As amostras foram passadas em peneira com 3mm de malha, lavadas para a eliminação total dos minerais argilosos e a seguir concentradas em bateia. O material assim obtido foi ainda submetido a uma separação de minerais pesados, com a utilização de bromofórmio e, após secagem e pesagem, examinado sob lupa binocular e microscópio petrográfico.

As amostras BV-01SL e BV-02SL correspondem aos minerais pesados obtidos de solos, em locais onde a geologia indica regiões de gnaisses granulíticos. Trata-se de latossolos profundos de coloração vermelho amarela e bastante argilosos. As amostras BV-03SL e BV-04SL foram obtidas em perfis desenvolvidos em rochas ultramáficas, onde o solo possui uma coloração vermelha muito forte e o conteúdo em argila é bastante acentuado. As amostras BV-05SL e BV-06SL provêm de solos derivados de quartzitos, os quais apresentam-se muito arenosos e de coloração clara.

A Tabela 5.2 apresenta os resultados das análises semiquantitativas efetuadas nos concentrados obtidos dos solos citados acima. A assembléia de minerais

Tabela 5.2 – Minerais pesados e respectivas frequências relativas, presentes nos solos de alteração dos principais tipos litológicos da região.

	Solo de granulito		Solo de piroxenito		Solo de quartzito	
	BV-01SL	BV-02SL	BV-03SL	BV-04SL	BV-05SL	BV-06SL
magnetita	Cm	Cm	Pr	Pr	Pr	Pr
hematita	Pr	Pr	-	-	-	Rr
ilmenita	Cm	Pr	Cm	Cm	Pr	Pr
epidoto	Pr	Pr	Rr	Rr	Rr	-
rutilo	Rr	Rr	-	-	Rr	Rr
monazita	Rr	Rr	-	Rr	Rr	-
zircão	Pr	Pr	-	Rr	Pr	Pr
granada	Rr	Rr	-	-	-	-
turmalina	Rr	Rr	-	-	-	Rr
cianita	-	-	-	-	Pr	Pr
hornblenda	-	Rr	Pr	Rr	-	Rr
coríndon	Pr	Rr	Rr	-	-	-

*(%)	100-----70	70-----40	40-----10	10-----0
	Ab	Cm	Pr	Rr

Ab=abundante, Cm=comum, Pr=presente, Rr = raro

pesados associados a cada tipo genético de solo, apresenta diferenças significativas e, em alguns perfis analisados, foram encontrados fragmentos lascados de coríndon.

Pesados em rochas frescas: neste caso foram amostrados gnaisses granulíticos, piroxenitos e quartzitos, que são os termos litológicos mais freqüentes na região. Nos raros afloramentos de rocha sã, que ocorrem a montante do depósito aluvionar estudado, foram amostrados alguns locais onde foi possível obter volumes com cerca de 20 litros de fragmentos de rocha. Estes pontos foram selecionados levando em conta a presença de indícios de coríndon na superfície dos solos próximo aos afloramentos. As amostras coletadas foram remetidas ao laboratório para britagem e moagem, visando a separação dos minerais pesados existentes.

O material resultante foi fracionado em peneiras onde a fração areia muito fina foi preparada para análises dos minerais pesados, através da utilização de bromoformio e separador magnético. As lâminas de grãos foram analisadas sob microscópio petrográfico, onde as fases não opacas puderam ser identificadas, resultando em uma análise semiquantitativa por contagem de pontos. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.3, onde se observa a ausência de coríndon nas rochas analisadas, sendo o restante da assembléia, compatível para cada tipo litológico examinado.

Pesados de sedimento de corrente: a necessidade de se conhecer o grau de espalhamento do coríndon a nível regional, motivou o estudo dos pesados em sedimentos de corrente. Nesse sentido, foram selecionadas com base nas cartas topográficas existentes, um conjunto de pontos representativos das drenagens principais.

Procurou-se localizar as amostragens nas ramificações da drenagem, principalmente junto aos afluentes mais importantes dos grandes rios. Em todos os casos, as amostras são bastante representativas dos sedimentos originados a partir das rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina, representadas por gnaisses, quartzitos e piroxenitos.

Ao todo foram coletadas 18 amostras de sedimento ativo de corrente, representando grande parte da bacia de drenagem do Rio Itapocu, além da porção norte da bacia do rio Itajaí-Açu, conforme está ilustrado na Figura 5.6.

Tabela 5.3 - Minerais pesados e respectivas frequências, identificados na fração areia fina, proveniente da moagem dos principais litotipos presentes na região.

	Granulito			Quartzito			Piroxenito		
	BVGR1	BVGR2	BVGR3	BVQZ1	BVQZ2	BVQZ3	BVPX1	BVPX2	BVPX3
Epidoto	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm	Cm
Rutilo	Rr	Cm	Rr	Ab	Rr	Ab	-	Cm	Cm
Monazita	Rr	Rr	-	-	-	-	-	-	-
Zircão	Cm	Cm	Cm	Ab	Ab	Ab	Rr	Rr	-
Turmalina	Rr	-	-	-	-	-	-	-	-
Sillimanita	-	-	-	Rr	Rr	Rr	-	-	-
Cianita	-	-	-	Rr	Rr	Rr	-	-	-
Apatita	Rr	Rr	Rr	-	-	-	-	-	-
Hiperstênio	Cm	Cm	Cm	-	-	-	Ab	Ab	Cm
Hornblenda	-	-	Rr	Rr	Rr	-	Ab	Ab	Ab
Coríndon	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*(%)	100-----70	70-----40	40-----10	10-----0
	Ab	Cm	Pr	Rr

Ab=abundante, Cm=comum, Pr=presente, Rr = raro

Figura 5.6 – Mapa de pontos de amostragem realizados em sedimento ativo de corrente, em córregos e rios da região de Barra Velha. O mapa mostra ainda os locais onde a presença do coríndon foi confirmada nas análises e em alguns casos, no campo.

A escolha pelo sedimento ativo de corrente reside no fato de permitir verificar se as fontes originais de coríndon ainda continuam lançando este mineral para as drenagens.

A amostragem foi realizada com a coleta de volumes em torno de 20 litros de sedimento, correspondendo a aproximadamente 35kg por ponto. As amostras foram concentradas por meio de bateamento nos próprios locais de coleta e, tanto o concentrado como os fragmentos maiores retidos nas peneiras, foram remetidos ao laboratório.

As amostras do concentrado obtidas, foram elutriadas em laboratório para a eliminação completa das impurezas e, posteriormente, submetidas a um fracionamento por peneiramento. Na fração areia muito fina, foi realizada a separação final dos minerais pesados com o uso de bromofórmio, e o material resultante utilizado na confecção de lâminas de grãos, as quais foram analisadas no microscópio óptico.

Os resultados das análises semiquantitativas, referentes a contagem dos grãos minerais identificados, obtidos na amostragem regional, encontram-se na Tabela 5.4. Nessas frações foram encontradas quantidades expressivas de minerais opacos, tais como magnetita, hematita e ilmenita, podendo ultrapassar mais de 50% do total. Quanto aos minerais não opacos, percebe-se que existe grandes quantidades de zircão, epidoto, hornblenda e hiperstênio, com as outras fases apresentando valores menores. Em 7 amostras regionais foram encontrados cristais de coríndon, na forma de fragmentos quebrados e de pequenas dimensões.

As outras frações obtidas no peneiramento, assim como os fragmentos maiores separados pela bateia, foram examinadas sob lupa binocular, porém em nenhuma dessas amostras foi constatada a presença de coríndon.

O mapa da Figura 5.6 coloca em evidência outra questão importante que é a extensão da ocorrência de coríndon a nível regional. Nesse sentido, estão assinalados no mapa por meio de um asterisco, os locais onde esse mineral foi realmente observado nos trabalhos de campo. Os pontos confirmados mostram que as ocorrências são de caráter regional, o que em princípio já indica que os depósitos de Barra Velha possuem importância econômica. Confirmado esse potencial, são necessários trabalhos de prospecção no sentido de quantificar outros aspectos tais como o volume real dos cascalhos, e seu teor em coríndon, bem como a relação entre o coríndon industrial e o coríndon com qualidades gemológicas.

Tabela 5.4 - Análise semiquantitativa (%) sob microscópio petrográfico, realizada por contagem de grãos, na fração areia muito fina, dos minerais pesados encontrados nas amostras regionais de sedimento ativo de corrente.

Amostra	51r	52r	53r	54r	55r	56r	57r	58r	59r	60r	61r	62r	63r	64r	65r	66r	67r	68r
Zircão	Pr	Ab	Ab	Ab	Ab	Pr	Cm	Cm	Cm	Pr	Cm	Pr	Cm	Cm	Cm	Cm	Ab	Ab
Estaurolita	Rr	Rr	Rr	Rr	-	Rr	Rr	Rr	-	Rr	-	-	-	-	-	-	-	Rr
Granada	-	Rr	-	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	-	Rr	Rr	Rr	Pr	Rr	Rr	Rr	Rr	-
Epidoto	Pr	Pr	Pr	Pr	Rr	Pr	Rr	Pr	Pr	Pr	Rr	Rr	Pr	Rr	Rr	Rr	Pr	Rr
Cianita	Rr	Rr	Rr	Rr	-	Rr	Rr	-	-	Rr	Rr	Rr	Rr	-	-	Rr	-	Rr
Hornblenda	Pr	Rr	Cm	Pr	Pr	Cm	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Cm	Pr	Pr	Pr	Pr	Rr	Rr
Hiperstênio	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	Pr	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	Rr	-	-
Andaluzita	-	Rr	-	-	Rr	Rr	-	-	-	-	-	-	Rr	-	-	-	Rr	-
Rutilo	-	-	-	Rr	-	-	-	-	-	Rr	-	Rr	-	Rr	-	Rr	-	Rr
Monazita	-	-	-	-	-	Rr	Rr	-	Rr	Rr	Rr	-	-	Rr	-	-	Rr	Rr
Sillimanita	-	-	-	-	-	Rr	-	Rr	-	-	Rr	Rr	-	-	-	-	-	-
Turmalina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rr	Rr
Coríndon	Rr	Rr	Rr	-	Rr	-	-	-	Rr	-	-	-	-	Rr	-	-	Rr	-

*(%)	100-----70	70-----40	40-----10	10-----0
	Ab	Cm	Pr	Rr

Ab=abundante, Cm=comum, Pr=presente, Rr = raro

CAPÍTULO 6 O CORÍNDON DE BARRA VELHA

Conhecidos há pouco mais de uma década, os rubis e safiras provenientes da região de Barra Velha foram até o presente, estudados apenas em suas características principais, através de análises realizadas por Ripoll et al. (1987) e Brum et al. (1990). Estes autores descreveram algumas propriedades físicas apoiados em análises visuais, cristalográficas e microscópicas, além de uma descrição resumida sobre os depósitos.

Um dos objetivos principais desta Tese é o de caracterizar o coríndon sob vários aspectos, entre os quais, destacamos o reconhecimento detalhado de suas propriedades cristalográficas e mineralógicas, comportamento térmico, espectroscópico e efeitos ópticos especiais. Além disso constam também deste trabalho, o estudo detalhado das inclusões sólidas e fluidas, dados relativos a sua composição química, além de uma discussão sobre a origem da cor.

6.1 CRISTALOGRAFIA

Na estrutura do coríndon (Al_2O_3), o alumínio e o oxigênio combinam-se do mesmo modo que em outros minerais como a hematita (Fe_2O_3) e a ilmenita (FeTiO_3). Este grupo de minerais cuja razão oxigênio/metál(is) é X_2O_3 , denomina-se grupo da hematita (Bragg 1965, in Hughes 1990).

Segundo Donnay & Nowacki (1954) o grupo espacial do coríndon é $R\bar{3}2/c$. Nesta estrutura, os oxigênios estão dispostos em um arranjo espacial aproximadamente hexagonal. O alumínio está ligado a seis oxigênios em coordenação octaédrica, porém apenas 2/3 das posições disponíveis encontram-se ocupadas pelo alumínio, como pode ser visto na Figura 6.1(A e B).

Conforme mostra a Figura 6.1(A), em sua projeção basal, a estrutura do coríndon apresenta os 2/3 dos espaços octaédricos ocupados pelos cátions Al^{+3} , e 1/3 de

Figura 6.1 - Estrutura cristalina do coríndon (extraído de Klein 1993 e Frye 1990). Em (A) a figura mostra a projeção basal da estrutura, onde para cada octaedro vazio tem-se dois ocupados pelo alumínio no centro. Em (B), está representada a seção vertical através da estrutura cristalina do coríndon, onde pode-se observar a disposição das unidades estruturais.

octaedros de oxigênio sem os íons Al^{+3} central. Pode-se visualizar ainda na figura, que cada face comum a dois octaedros vizinhos, é formada por grupos de três íons de oxigênio, os quais estão unidos a um par de íons de alumínio.

6.1.1 CELA UNITÁRIA

Conforme dados de Belyaev (1980), in Hughes (1990), os parâmetros da cela unitária do coríndon são os seguintes: para a cela romboédrica $a_0 = 0,5128\text{nm}$ e $\alpha = 55^{\circ}17'$ e, para a cela hexagonal $a_0 = 0,4758\text{nm}$ e $c_0 = 1,2991\text{nm}$, com $c_0/a_0 = 2,73$. O coríndon é um mineral que possui valores relativamente constantes para seus parâmetros de cela, e devido esta propriedade, é freqüentemente utilizado como padrão interno em difração de raios X.

No coríndon de cor vermelha, variedade rubi, a cor está relacionada a impurezas de cromo, tal como demonstram análises químicas realizadas por diferentes autores, em exemplares de diversos locais do mundo. Neste caso, o cromo pode entrar na estrutura cristalina do coríndon, na forma de íon trivalente (Cr^{+3}) substituindo isomorficamente alguns íons de alumínio. O íon Cr^{+3} possui raio atômico de $0,065\text{nm}$, sendo pouco maior que o raio do íon Al^{+3} , que é de $0,057\text{nm}$. A substituição do Al^{+3} pelo Cr^{+3} pode acarretar incrementos lineares nos parâmetros a_0 e c_0 da cela unitária.

Com o propósito de estudar possíveis variações da cela unitária do coríndon de Barra Velha, exemplares nas cores vermelha, preta e branca foram submetidos à difratometria de raios X. As análises foram executadas pelo método do pó, empregando-se como padrão interno 10% de silício metálico. Para aumentar a resolução, os difratogramas foram obtidos com velocidade de varredura de 2° por minuto, utilizando-se radiação de cobre, filtro de níquel, monocromador de LiF e potência de 40kV e 20mA. Com a finalidade de se captar todas as difrações do coríndon, foi realizada uma varredura registrando-se todo o intervalo entre 4° e 120° , conforme está ilustrado na Figura 6.2.(A, B, C).

Figura 6.2 - Difrátogramas de raios X do coríndon de Barra Velha, de coloração branca (A), preta (B) e vermelha (C), obtidos sob as mesmas condições analíticas, ou seja, radiação $\text{CuK}\alpha$, 40kV e 20mA, e silício como padrão interno. Abreviações: c= coríndon, d= diásporo, s= silício, cd, sd e cs correspondem a picos coincidentes.

Os espaçamentos interplanares obtidos pela difratometria de raios X, nas amostras citadas acima, foram determinados diretamente nos difratogramas da Figura 6.2. Neste caso utilizamos um programa específico denominado “ADIF”, desenvolvido por técnicos do Laboratório de Óptica de raios X, do Departamento de Física da UFPR. Este programa permite determinar as distâncias interplanares (d 's) com precisão de 0,001Å, cujos dados assim obtidos, encontram-se listados na Tabela 6.1.

É importante salientar que em todos os casos em que os cristais do coríndon de Barra Velha foram submetidos à difratometria de raios X, as raia do diásporo aparecem associadas, muitas vezes com a coincidência de raia, como pode ser comprovado pelos difratogramas da Figura 6.2. Comparando-se os resultados obtidos com os do padrão ICDD (1993), observa-se uma perfeita concordância entre os “ d 's” medidos com os valores correspondentes ao coríndon (ficha N^o 42-1468) conforme Tabela 6.1. Estas análises indicam que as variações de cor mostradas pelo coríndon, aparentemente não provocam mudanças detectáveis nos parâmetros da rede cristalina.

6.1.2 MORFOLOGIA CRISTALINA

O hábito ou a forma de um mineral podem ser influenciados por muitos fatores, entre os quais destacam-se a composição química do líquido de origem, as condições e o tempo de formação do cristal, a presença de impurezas ou elementos estranhos e as variações de temperatura (Hughes 1990).

Segundo Klein (1993), o coríndon cristaliza-se no sistema trigonal, classe ditrigonal escalenoédrica $\bar{3}2/m$, na qual as formas simples possíveis são pinacóide basal $\{0001\}$, prisma hexagonal de primeira ordem $\{10\bar{1}0\}$, prisma hexagonal de segunda ordem $\{11\bar{2}0\}$, prisma dihexagonal $\{hk\bar{i}0\}$, romboedro $\{10\bar{1}1\}$, bipirâmide hexagonal $\{hh\bar{2}hl\}$ e escalenoedro ditrigonal $\{hk\bar{i}l\}$.

Tabela 6.1. - Espaçamentos interplanares de três exemplares de coríndon de Barra Velha, com cores diferentes, obtidos por difratometria de raios X, comparados com o padrão (ICDD). A tabela inclui também as raia do diásporo e do silício usado como padrão interno.

Fichário (ICDD)				BV-10 VERMELHO		BV-11 RÓSEO		BV-12 PRETO	
fase	hkl	I/I ₀	d (Å)	d (Å)	Δd	d (Å)	Δd	d (Å)	Δd
di	110	100	3,990	3,993		3,990		3,990	
co	012	75	3,479	3,480	0,001	3,479	0,000	3,479	0,000
di	120	10	3,214	3,214		3,214		3,214	
Si-O1	111	100	3,135	3,136	0,001	3,137	0,002	3,135	0,000
di	130	30	2,558						
co	104	90	2,552	2,556	0,004	2,556	0,004	2,554	0,002
di	021	3	2,434	2,436		2,436	0,002	2,435	
di	101	5	2,386						
co	110	40	2,379	2,379	0,000	2,379	0,000	2,379	0,000
di	040	8	2,356	2,359		2,359		2,359	
di	111	56	2,317	2,319		2,319		2,319	
co	006	>1	2,165	2,165	0,000	2,165	0,000	2,165	0,000
di	121	52	2,131	2,131		2,131		2,131	
co	113	100	2,085	2,085	0,000	2,085	0,000	2,085	0,000
di	140	49	2,077						
co	202	2	1,964	1,964	0,000	1,964	0,000	1,964	0,000
Si-O2	220	55	1,919	1,919	0,000	1,919	0,000	1,919	0,000
di	131	3	1,901						
di	041	8	1,815	1,812		1,812		1,812	
co	024	45	1,740	1,741	0,001	1,740	0,000	1,741	0,001
di	150	3	1,733						
di	211	15	1,712	1,712		1,711		1,712	
di	141	3	1,678						
Si-O3	311	30	1,637	1,637	0,000	1,637	0,000	1,637	0,000
di	221	43	1,633						
di	240	12	1,608						
co	116	80	1,601	1,601	0,000	1,601	0,000	1,601	0,000
di	060	4	1,570						
co	211	4	1,546	1,546	0,000	1,546	0,000	1,546	0,000
di	231	6	1,522						
co	122	6	1,514	1,514	0,000	1,514	0,000	1,514	0,000
co	018	8	1,510	1,510	0,000	1,510	0,000	1,510	0,000
di	160	20	1,480	1,480		1,480		1,480	
di	250	7	1,431						
di	002	12	1,423	1,423		1,422		1,422	
co	124	30	1,404	1,404	0,000	1,404	0,000	1,404	0,000
di	320	6	1,400						
di	061	16	1,376						
co	030	50	1,374	1,374	0,000	1,374	0,000	1,374	0,000

continua

Tabela 6.1. - Espaçamentos interplanares de três exemplares de coríndon de Barra Velha, com cores diferentes, obtidos por difratometria de raios X, comparados com o padrão (ICDD). A tabela inclui também as raia do diásporo associado, e do silício usado como padrão interno.

continuação

Fichário (ICDD)				BV-10 VERMELHO		BV-11 RÓSEO		BV-12 PRETO	
min.	hkl	I/I ₀	d (Å)	d (Å)	Δd	d (Å)	Δd	d (Å)	Δd
Si-04	400	6	1,357	1,357	0,000	1,357	0,000	1,357	0,000
di	112	5	1,340	1,340		1,340		1,340	
co	125	2	1,337	1,337	0,000	1,336	0,001	1,337	0,000
di	330	6	1,329						
di	301	3	1,304						
di	311	6	1,289	1,289		1,289		1,289	
di	251	1	1,279						
co	208	4	1,276	1,276	0,000	1,276	0,000	1,276	0,000
di	321	4	1,256	1,256		1,256		1,256	
Si-05	331	11	1,245	1,245	0,000	1,245	0,000	1,245	0,000
co	1010	16	1,239	1,239	0,000	1,239	0,000	1,239	0,000
co	119	8	1,234	1,234	0,000	1,234	0,000	1,234	0,000
di	340	5	1,234						
di	042	2	1,218						
di	331	4	1,204						
co	220	6	1,189	1,189	0,000	1,18	0,000	1,189	0,000
di	080	1	1,178						
di	142	7	1,173			1,173			
co	306	>1	1,160	1,161	0,001	1,160	0,000	1,160	0,000
co	223	6	1,147	1,147	0,000	1,147	0,000	1,147	0,000
di	341	3	1,140						
co	311	2	1,138	1,138	0,000	1,138	0,000	1,138	0,000
co	312	6	1,125	1,125	0,000	1,125	0,000	1,125	0,000
co	128	4	1,124	1,124	0,000	1,124	0,000	1,124	0,000
Si-06	422	12	1,108	1,108	0,000	1,108	0,000	1,108	0,000
di	400	1	1,100						
co	0210	8	1,098	1,098	0,000	1,098	0,000	1,098	0,000
di	410	3	1,092			1,092			
co	001/2	4	1,083	1,083	0,000	1,083	0,000	1,083	0,000
co	134	8	1,078	1,078	0,000	1,078	0,000	1,078	0,000
Si-07	511/3	6	1,045	1,045	0,000	1,045	0,000	1,045	0,000
co	226	14	1,042	1,042	0,000	1,042	0,000	1,042	0,000
co	402	2	1,017	1,017	0,001				
co	1210	12	0,997	0,997	0,000	0,997	0,000	0,997	0,000
co	1112	>1	0,985						
Si-08	440	3	0,959	0,960	0,000	0,959	0,000	0,959	0,000

co= coríndon, di= diásporo, si= silício

Medidas goniométricas efetuadas em dezenas de cristais idiomórficos procedentes dos depósitos de Barra Velha, confirmaram a presença das formas cristalográficas mais comuns exibidas pelo coríndon. Estas formas são representadas principalmente pelo prisma hexagonal $\{11\bar{2}0\}$, bipirâmide hexagonal $\{22\bar{4}3\}$, romboedro $\{10\bar{1}1\}$ e pinacóide basal $\{0001\}$.

Os valores angulares obtidos com o auxílio de um goniômetro de aplicação entre essas formas são os seguintes:

$$\{11\bar{2}0\} \wedge \{22\bar{4}3\} = 29^{\circ}$$

$$\{11\bar{2}0\} \wedge \{1\bar{1}\bar{2}0\} = 60^{\circ}$$

$$\{0001\} \wedge \{10\bar{1}1\} = 57^{\circ}$$

$$\{0001\} \wedge \{22\bar{4}3\} = 61^{\circ}$$

$$\{10\bar{1}1\} \wedge \{1101\} = 94^{\circ}$$

$$\{22\bar{4}3\} \wedge \{\bar{2}4\bar{2}3\} = 52^{\circ}$$

A Figura 6.3 mostra um cristal modelo representando as formas simples que ocorrem nos cristais provenientes dos depósitos de Barra Velha, e a Figura 6.4 apresenta o respectivo estereograma destas formas.

A Figura 6.5 reúne uma seleção de cristais compilados das Tabelas de Goldschmidt (1918), com a finalidade de destacar os principais hábitos do coríndon, nos depósitos mais importantes do mundo. Observa-se que hábito do rubi geralmente é diferente daquele da safira, sendo que os rubis tendem a formar prismas hexagonais tabulares com os vértices truncados por faces romboédricas. As safiras comumente apresentam-se na forma de “barrilete”, em prismas hexagonais ou bipirâmides hexagonais.

O exame de vários lotes, perfazendo um total de 3.943 exemplares, revelou que os hábitos mais freqüentes para o coríndon de Barra Velha são: prismático, bipiramidal, tabular e barrilete, além de uma fração de cristais, correspondente a indivíduos quebrados, sem hábito definido, como está ilustrado nas Figuras 6.6 (A-M).

Figura 6.3 - Cristal modelo exibindo as formas cristalográficas mais frequentes do coríndon de Barra Velha.

Figura 6.4 - Estereograma representando as formas simples encontradas nos cristais de coríndon de Barra Velha.

Figura 6.5. - Principais hábitos observados em cristais de coríndon dos depósitos de Mianma (Birmânia) (A), Sri Lanka (B), Estados Unidos (C), Índia (D) e outros locais (E). (Extraído de Goldschmidt 1918 e Hugges 1990). Em todos estes cristais predominam combinações entre prisma hexagonal, bipirâmide e romboedro.

Normalmente o hábito tabular é encontrado em cristais fraturados ao longo de planos paralelos ao pinacóide basal, formando um prisma hexagonal curto (Figura 6.6-D).

Foram realizadas ainda, análises referentes aos hábitos mais freqüentes em relação ao tamanho dos exemplares do coríndon de Barra Velha. Para tanto, utilizamos um lote de cristais representativo do material "in-situ". Este lote foi separado em peneiras manuais usadas na pesquisa de campo, nas seguintes granulometrias: >15mm; 15-10mm; 10-6,3mm; 6,3-4,76mm; 4,76-2,38mm; 2,38-1,41mm e <1,41mm. Cada fração foi pesada e os exemplares separados e contados, de acordo com os principais hábitos exibidos, ou seja, piramidal, prismático e irregular. A Tabela 6.2 traz o resultado destas análises, onde observa-se que o maior número de fragmentos e a maior porcentagem em massa (47,9%) correspondem a indivíduos irregulares, seguidos pelos de hábito piramidal (31,0%) e pelos de hábito prismático (21,1%). Através destes dados pode-se verificar que apenas os cristais maiores encontram-se bem formados, enquanto a maior parte dos fragmentos pequenos são o produto da quebra destes indivíduos.

Em muitos casos, o hábito prismático está presente formando um sólido onde as faces podem ser perfeitamente similares entre si em dimensões e aspecto (Figura 6.6-A e D); em outros, pode haver diferenças no desenvolvimento, podendo formar prismas com três faces, possuindo dimensões diferentes das outras três opostas. Em seções basais estes cristais formam hexágonos com simetria hexagonal (Figura 6.6-I) ou então trigonal (Figura 6.6-J). As Figuras 6.6 (L e M), mostram a relação das faces externas com o zonamento interno, o qual pode ser paralelo à estas faces ou girado de 60°.

Os fragmentos do coríndon de Barra Velha, ou seja, os indivíduos que apresentam-se quebrados nos depósitos, possuem hábitos característicos devido aos planos de partição e superfícies de fratura presentes. Salienta-se ainda, que o hábito tendendo a romboédrico, é mais característico no coríndon de coloração escura como o cinza e o preto.

Figura 6.6- Principais hábitos e feições presentes nos cristais de corindon provenientes dos depósitos de Barra Velha. A) prismático, B) em barrilete, C) prismático piramidado, D) tabular, E) bipiramidado, F) piramidado, G) agregado policristalino, H) prismático com faces de partição romboédrica. A figura mostra também as seções basais exibidas por alguns cristais: I) hexagonal simétrica, J) hexagonal trigonal, L) hexagonal com zonação de crescimento M) hexagonal com zonação não paralela às faces externas.

Tabela 6.2 - Principais hábitos presentes no coríndon de Barra Velha, de acordo com o tamanho dos exemplares, observado em um lote com mais de 3000 cristais, representativo do coríndon da Lavra do Escalvado.

hábitos (mm)	piramidal		prismático		irregular	
	nº de fragmentos	massa (g)	nº de fragmentos	massa (g)	nº de fragmentos	massa (g)
>15	13	110,01	9	57,16	6	31,68
15-10	23	70,10	18	52,08	14	37,51
10-6,3	85	106,79	85	104,29	160	151,66
6,3-4,76	111	53,50	72	32,22	401	150,76
4,76-2,38	174	32,61	31	7,34	1645	185,37
2,38-1,41	27	0,72	36	0,94	991	20,43
<1,41	-	-	2	0,02	40	0,39
Total	433	373,73	253	254,05	3257	577,80
%	11,0	31,0	6,4	21,1	82,6	47,9

6.1.3 GEMINAÇÕES

No coríndon, de modo geral, é comum a geminação polissintética observada freqüentemente nas faces romboédricas ($10\bar{1}1$) e mais raramente ao longo do pinacóide basal (0001). De acordo com as observações de Belyaev (1980), citado por Hughes (1990), a geminação romboédrica ocorre em ambientes com temperaturas relativamente baixas e altas taxas deformacionais. De outro lado, a ocorrência da geminação basal é mais restrita a uma estreita faixa de temperatura e deformação, explicando-se dessa forma porque a geminação romboédrica polissintética é muito mais freqüente em cristais de coríndon provenientes de vários locais do mundo.

Lâminas do coríndon de Barra Velha, observadas ao microscópio petrográfico, com os polaróides cruzados, revelam comumente pequenas lamelas devido a geminação polissintética, que são intercaladas paralelamente ao romboedro ($10\bar{1}1$) do cristal, em uma, duas ou três direções. A distância entre as diversas lamelas de geminação, e o retículo produzido, podem variar consideravelmente, podendo assumir desde um padrão triangular até o quadrático, dependendo da direção de corte no cristal.

Macroscopicamente, é comum a observação dos planos de geminação polissintética nos exemplares do coríndon de Barra Velha. Estas maclas são evidenciadas pelas estrias paralelas visíveis nas faces de alguns cristais, principalmente ao longo dos planos romboédricos ($10\bar{1}1$) e com menor incidência ao longo dos planos basais (0001).

6.1.4 ASPECTOS TEXTURAIS

Cristais de coríndon, de um modo geral, apresentam-se com a superfície estriada paralelamente às direções dos três romboedros que formam o cristal, ou ao pinacóide basal. Além destas, podem apresentar uma série de outras feições, que são características do ambiente de formação, ou adquiridas posteriormente como produto de impacto, desgaste e residência em ambientes de sedimentação (Coenraads 1992). Pesquisando as feições superficiais de rubis e safiras derivados de províncias vulcânicas, este autor descreve como características principais destas variedades as

figuras de corrosão evidenciando sua estrutura trigonal, cristais negativos, marcas de reabsorção superficial provocadas pelo magma, além das impressões deixadas pelo transporte fluvial e permanência em ambientes aluviais.

Os cristais de coríndon provenientes dos depósitos de Barra Velha, observados macroscopicamente ou por meios ópticos, revelam a existência de uma superfície bastante rugosa, as vezes com canais circulares de dimensões milimétricas, vazios ou preenchidos por minerais secundários. Pode-se ainda perceber com facilidade, a existência de estriações horizontais perpendiculares ao eixo cristalográfico “c”, ou ainda paralelos às direções romboédricas, ambas produzidas por geminações.

Observando-se a superfície natural do coríndon de Barra Velha por meio de microscopia eletrônica de varredura, pode-se perceber que além da rugosidade pronunciada, este mineral exhibe com muita frequência, a presença de canais e depressões com formas características de cristais negativos. As Micrografias eletrônicas 6.1A e B ilustram as principais feições encontradas na superfície dos cristais examinados, onde pode-se observar ainda, a inexistência de marcas de impacto e de desgaste.

6.2 DIMENSÕES

Normalmente, os cristais de coríndon encontrados nas principais jazidas do mundo, ocorrem em tamanhos milimétricos a centimétricos, sendo raro o registro de indivíduos com dimensões muito grandes (Hughes 1990).

O coríndon proveniente da região de Barra Velha apresenta-se com dimensões variáveis incluindo desde cristais diminutos, até exemplares com vários centímetros podendo alguns macrocristais alcançar dimensões de até 10cm ao longo do eixo cristalográfico “c”.

A análise das dimensões do coríndon de Barra Velha, foi realizada em um lote pesando 1.205,58g obtido diretamente na lavra. Esta amostra foi coletada após quarteamento no próprio campo, a partir de aproximadamente 4kg de material recém lavrado, ou seja, sem escolha ou seleção prévia sendo considerada representativa do material “in-situ”.

Micrografias eletrônicas 6.1 - Principais aspectos superficiais do coríndon de Barra Velha, evidenciados com auxílio da microscopia eletrônica de varredura. Em A nota-se a presença de cavidades aproximadamente quadráticas; em B, a textura é irregular notando-se na porção inferior o empilhamento de camadas.

A amostra foi fracionada em peneiras, nas seguintes granulometrias: >15mm; 15-10mm; 10-6,3mm; 6,3-4,76mm; 4,76-2,38mm; 2,38-1,41mm e <1,41mm. Após pesagem, cada fração foi submetida a uma análise visual onde foram contados o número de fragmentos. O resultado destas análises está apresentado na Tabela 6.3 onde pode-se observar que o maior número de indivíduos ficou retido na fração entre 4,76-2,38mm, embora a massa maior tenha ficado retida na fração 10-6,3mm. Em conjunto, a maior parte (96,83%) dos indivíduos estão compreendidos no intervalo 10-1,41mm. Outro ponto a ser notado é que embora os indivíduos maiores que 15mm sejam raros, representando apenas 0,71% no conjunto, eles possuem uma contribuição significativa em termos de massa (16,49%) quando comparados com as demais frações analisadas.

6.3. PROPRIEDADES FÍSICAS GERAIS

Neste capítulo serão discutidas algumas propriedades físicas clássicas tais como clivagem, partição, fratura, dureza e densidade, com o propósito de completar a caracterização do coríndon de Barra Velha.

6.3.1 CLIVAGEM, PARTIÇÃO E FRATURA

Fratura, clivagem e partição são propriedades ligadas às forças externas e estão intimamente relacionadas com a coesão e a estrutura atômica dos minerais. Essas propriedades foram discutidas em textos antigos e tradicionais da literatura mineralógica. Judd (1895), in Hughes (1990), por exemplo descreveu três categorias de clivagem; basal (0001), romboédrica ($10\bar{1}1$) e prismática ($11\bar{2}0$), associados a planos de exsolução. Mais tarde, estes planos de fraqueza foram atribuídos, por diversos autores, à partição. Em outras direções que não os planos de partição, o coríndon pode exibir fratura conchoidal ou irregular. Partição, também denominada de falsa clivagem, pode ser definida como uma superfície de menor dureza devido a defeitos estruturais causados por geminação ou impurezas. O resultado da partição é exatamente o mesmo da clivagem; entretanto, como a partição é devida a defeitos estruturais, o número de partições possíveis no mineral é limitado ao número de defeitos presentes. Na visão moderna, admite-se que o coríndon possui apenas partição, a qual está correlacionada com os planos dos geminados.

Tabela 6.3 Dimensões dos exemplares do coríndon de Barra Velha, separados em frações de tamanho, número de exemplares, massa e respectivas porcentagens.

Faixa granulométrica (mm)	Número de fragmentos (unidades)	Número de fragmentos (%)	Massa (g)	Massa (%)
>15	28	0,71	198,85	16,49
15-10	55	1,39	159,69	13,25
10-6,3	330	8,36	362,74	30,08
6,3-4,76	584	14,82	236,48	19,62
4,76-2,38	1850	46,92	225,32	18,69
2,38-1,41	1054	26,73	22,09	1,83
<1,41	42	1,07	0,41	0,04
Total	3.943		1.205,58	

White (1979) examinando várias amostras provenientes de minas dos Estados Unidos, observou que os planos de geminação do coríndon não são planos de fraqueza, pois muitos exemplares tendem a quebrar em outros locais. Demonstrou que na verdade, ao longo destes planos, pode existir a ocorrência de um outro mineral associado. Através de microsonda eletrônica e difratometria de raios X, esse autor determinou a fase como sendo boehmita $\text{AlO(OH)}-\gamma$, presente por exsolução ao longo dos planos romboédricos. Como a boehmita possui resistência menor, admite-se que esse mineral é o responsável pela partição romboédrica do coríndon nestes locais.

Em amostras de outros locais, como a safira negra da Tailândia, pode ocorrer uma partição distinta ao longo do plano basal (0001). Neste caso o mineral responsável pelo efeito é a hematita, existente ao longo dos planos basais do coríndon (Hughes 1990).

Observações sistemáticas mostraram que os cristais de coríndon de Barra Velha, possuem duas direções principais de partição. Uma mais freqüente ao longo dos planos romboédricos e outra mais rara ao longo dos planos basais. Outro fato importante é a presença do mineral diásporo $\text{AlO(OH)}-\alpha$ ao longo dos planos de geminação do coríndon (Chodur & Svisero 1994), em oposição a boehmita descrita em coríndons procedentes das minas de Montana, USA.

Identificado e analisado por vários métodos, tais como difratometria de raios X, microsonda eletrônica e microscopia eletrônica de varredura, o diásporo encontrado nos planos romboédricos e basais, em praticamente todas as amostras analisadas, é sem dúvida o responsável pela partição nos coríndons de Barra Velha.

6.3.2 DUREZA E DENSIDADE

É fato bem conhecido que a dureza do coríndon, ou seja, a resistência que oferece ao ser riscado, pode ser medida em diversas escalas; na escala relativa de Mohs ele ocupa a nona posição, ficando abaixo apenas do diamante. Pequenas diferenças de dureza podem ser observadas em diferentes variedades de coríndon. Entre os gemologistas o rubi é tido como sendo levemente mais macio (dureza menor)

que a safira azul, e a safira negra astérica é pouco mais suave (dureza menor) que as variedades com transparência (Hughes 1990).

O coríndon pode apresentar diferenças significativas de dureza em suas direções cristalográficas. O plano basal, por exemplo, possui a menor dureza cujo valor aumenta ao longo dos planos prismáticos. O valor da dureza máxima foi observado em planos que fazem 60° com o eixo cristalográfico "c".

A dureza do coríndon na escala Knoop obtida com um peso de 1kg em uma direção qualquer do cristal tem um valor médio de 900; para o quartzo o valor da dureza é 750 e para o diamante 8300. Na escala absoluta o coríndon é tido como padrão recebendo o valor 1.000; nesta escala, o quartzo possui dureza 245 e o diamante 140.000, comparativamente (Branco 1984).

Com relação a densidade do coríndon, o valor teórico calculado com base na cela unitária, é de 3,987 (Swanson & Fuyat 1953, in Gitzen 1970) e 3,996 (Sedlacek 1964, in Gitzen 1970). Entretanto o valor médio determinado para os cristais de rubi procedentes de várias localidades do mundo é 3,989, enquanto o da safira é 3,997, existindo pequenas variações entre as amostras procedentes de locais diferentes. De acordo com Hughes (1990), valores mais altos como o da safira negra com 4,02 são atribuídos às inclusões de hematita nesses cristais.

Determinações do valor da densidade em amostras de coríndon de Barra Velha, realizadas em uma balança hidrostática, revelaram valores variando entre 3,80 a 4,10. Esses dados concordam com determinações anteriores de Brum et al. (1990) que obtiveram valores situados no intervalo 3,85 a 4,20 para exemplares da mesma jazida (Lavra do Escalvado). As variações observadas podem estar relacionadas às inclusões sólidas que ocorrem em grande parte dos cristais, à presença do diásporo nos planos de partição, e às cavidades e defeitos superficiais comuns nestas amostras.

6.4 ALTERAÇÃO

O coríndon pode sofrer alteração dependendo das condições físico - químicas reinantes durante os processos de transporte e modificações hidrotermal e/ou metamórfica. Segundo Deer et al. (1993), os produtos de alteração incluem vários

outros minerais aluminosos, tais como muscovita, damourita, zoizita, diásporo, gibbsita e espinélio.

A maior parte dos cristais do coríndon de Barra Velha, examinados sob microscopia petrográfica, apresentam um filme de material policristalino, não identificável opticamente, o qual, além de estar presente entre as lamelas de geminação, encontra-se também nas bordas do cristal e em fraturas internas.

As Fotomicrografias 6.1 (A, B e C) mostram o comportamento de um cristal representativo do coríndon de Barra Velha, cortado em seção perpendicular ao eixo "c", visto à lupa sob luz refletida (A), transmitida com polarizadores paralelos (B) e transmitida com polarizadores cruzados (C), respectivamente. Sob luz refletida, (Fotomicrografia 6.1-A), a seção de coríndon apresenta zoneamentos marcantes formando hexágonos circunscritos, cujas faixas possuem espessuras variando desde a borda até o núcleo do cristal. Sob polarizadores paralelos (Fotomicrografia 6.1-B), observa-se que além de várias fraturas internas, o mineral exibe ainda o zoneamento hexagonal, e algumas linhas paralelas, em duas direções, com espessuras variáveis. À luz transmitida com os polarizadores cruzados, esta feição modifica-se consideravelmente, tornando possível a observação dos planos de partição romboédrica, onde ocorre a presença de uma fase policristalina (Fotomicrografias 6.1-C). Utilizando-se o microscópio petrográfico, com maiores aumentos, é possível a visualização detalhada dos planos romboédricos ocupados pela fase policristalina, como se pode observar nas Fotomicrografias 6.2 (A e B).

A fase policristalina encontrada no coríndon, foi examinada e identificada por diversas metodologias, principalmente por difratometria de raios X e microscopia eletrônica de varredura, que confirmaram tratar-se de diásporo $\text{AlO}(\text{OH})-\alpha$, um dimorfo da boehmita $\text{AlO}(\text{OH})-\gamma$ (Deer et al. 1993). Para tanto, fragmentos obtidos pela quebra do coríndon foram examinados pela microscopia eletrônica de varredura, onde foi possível visualizar diretamente o diásporo entre os planos do coríndon, como está mostrado na Micrografia eletrônica 6.2. Posteriormente, as superfícies dos planos de partição do coríndon foram raspadas, e o pó resultante foi submetido à difratometria de raios X. A Figura 6.7 apresenta o difratograma obtido, onde, além das raiais típicas e características do diásporo, aparecem também os picos principais do coríndon sob a forma de impureza, ambos concordantes com os respectivos padrões do Fichário ICDD.

Fotomicrografias 6.1 - Seção de um cristal de coríndon de Barra Velha visto sob: A) luz refletida, mostrando linhas de zoneamento hexagonais; B) luz natural transmitida, onde é mantido o padrão anterior; C) luz transmitida com polarizadores cruzados, que evidencia os planos romboédricos ocupados por material policristalino (diásporo).

Fotomicrografias 6.2 - Detalhes de uma lâmina de coríndon de Barra Velha, visto em microscópio petrográfico, sob luz transmitida e com os polarizadores cruzados. Em A observa-se a presença de um reticulado romboédrico, onde ocorre a fase policristalina, diásporo. B) Pormenor da fase policristalina preenchendo uma fratura.

Micrografia eletrônica 6.2 - Fragmento de um cristal de coríndon de Barra Velha, mostrando de forma clara a disposição intercalada de uma lamela de diásporo entre os planos de partição do coríndon.

Figura 6.7 – Difratograma de raios X do material existente nos planos de partição do coríndon de Barra Velha, obtido com radiação $\text{CuK}\alpha$, 40kV e 20mA, onde foram identificadas as principais reflexões do diásporo e do coríndon. Abreviações: c= coríndon, d= diásporo, d/c= raios coincidentes.

A presença do diásporo em todas as amostras analisadas indica que esse mineral é uma fase de alteração do coríndon, ou seja, um fenômeno de hidratação da alumina, onde a reação mais provável é representada por $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow 2 \text{AlO}(\text{OH})$.

A alteração do coríndon em direção ao diásporo não se restringe apenas aos planos já ocupados pelo diásporo. Conforme foi observado durante a realização das análises químicas, mesmo as superfícies isentas de diásporo, por vezes, apresentaram algum grau de alteração, conforme evidenciado no fechamento das análises químicas, fato que será discutido melhor no Capítulo 7.

6.5 COMPORTAMENTO TÉRMICO

O termo comportamento térmico refere-se ao conjunto de técnicas experimentais analíticas que podem auxiliar na caracterização de muitas substâncias naturais e sintéticas, pelo fato de revelar as transformações sofridas pelos materiais durante as variações controladas de temperatura.

Para o estudo de substâncias minerais, sob condições de aquecimento, as técnicas mais recomendadas são a análise térmica diferencial (ATD), e a análise termogravimétrica (TG). Estes ensaios visam detectar respectivamente, as reações de troca de calor e variações de massa sofridas pelos materiais quando submetidos a taxas constantes de variação térmica.

Durante a análise térmica diferencial, se ocorrerem transições reversíveis ou dissociações, a reação é endotérmica. Por outro lado, transições irreversíveis e oxidações, vão resultar em reações exotérmicas. Na análise termogravimétrica, a perda de massa é atribuída a perda de voláteis, e o ganho pode ocorrer em certos metais devido ao fenômeno de oxidação a temperaturas mais elevadas (Hatakeyama & Quinn 1994).

O coríndon ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) é estável em altas temperaturas, não apresentando respostas às análises térmicas rotineiras, as quais atingem normalmente pouco mais de 1.200°C . Porém, fases hidratadas de alumina, tais como diásporo ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), boehmita ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), gibbsita ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) e bayerita ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), entre os

mais importantes, podem revelar diversas reações como perda de voláteis e mudanças de fase durante as análises (Gitzen 1970).

O mecanismo de desidratação das aluminas inclui o grupo das fases que estão entre a boehmita e o coríndon. Nenhuma destas fases é encontrada na natureza, porém podem ser obtidas por transformações térmicas. Vários autores (Stumpf et al. 1950, Russell et al. 1955, Newsome 1960 in Gitzen 1970), descrevem através de difratometria de raios X, as seqüências de transição e as taxas de temperatura para as sete modificações de aluminas arbitrariamente designadas de chi, eta, gama, delta, kapa, theta e alfa. A quantidade de água nestas fases foi determinada com base em análises térmicas e métodos químicos.

A análise térmica diferencial foi aplicada em gibbsita e diásporo, demonstrando reações diferentes para estes compostos (Orcel 1935, Jourdain 1937, Norton 1960, Speil 1945, in Gitzen 1970). Para a gibbsita, as curvas de aquecimento revelaram picos de absorção de calor (endotérmico), em torno de 225°C, 300°C, 500°C e um pico de reação exotérmica ao redor de 980°C. Para o diásporo, sob análise térmica diferencial, ocorre uma reação endotérmica de perda de água ao redor de 500°C; neste caso a reação pode ser expressa por $2\text{AlO-OH} \leftrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$. O diásporo é a única forma de alumina hidratada que não apresenta fases ou produtos intermediários na passagem ordenada para o coríndon, quando submetido a elevação de temperatura (Deflendre 1932, in Gitzen 1970). Entretanto, em praticamente todas outras formas de alumina hidratada, existe a formação de fases intermediárias. A seqüência de transição das formas hidratadas de alumina proposta por (Stumpf et al. 1950, Tertian et al. 1954, Papeé 1958, in Gitzen 1970), são geralmente aceitas, embora possam ocorrer pequenas variações geralmente devido a cristalinidade do material e a presença de impurezas.

Cristais do coríndon de Barra Velha, selecionados aleatoriamente pelas cores branca, cinza, preta, rósea e vermelha, foram submetidos à análise térmica diferencial simultaneamente à análise termogravimétrica. Os diagramas obtidos nestes ensaios (Figuras 6.8 e 6.9), demonstram que na análise térmica diferencial, em todas as amostras, houve um início de reação endotérmica a 460°C com final a 590°C. A partir deste ponto a curva apresentou comportamento inerte até em torno de 1.000°C. Com o aumento da temperatura acima de 1.000°C até o final da análise (1.600°C), a curva teve uma ascensão tendendo atingir a linha de base inicial. Este resultado poderia

Figura 6.8 – Diagramas de análises térmica diferencial, em cinco amostras do coríndon de Barra Velha, de colorações diferentes. Todas as amostras mostram uma reação endotérmica próxima de 450°C; as pequenas diferenças entre os diagramas são devidas ao diferente grau de alteração do coríndon.

estar de acordo com os experimentos de Herold & Dodd (1939), os quais observaram que argilas contendo diásporo, podem formar coríndon e gama alumina ao redor de 400°C; porém entre 400°C e 750°C, o coríndon formado apresenta certa expansão nos parâmetros de cela unitária. Com a continuidade do tratamento, à temperaturas mais altas, a cela unitária gradualmente se reduz para suas dimensões normais.

A análise termogravimétrica confirma as mesmas temperaturas da análise térmica diferencial, ou seja 460°C para o início e 590°C para o final da perda de massa em todas as amostras analisadas. O restante do diagrama apresentou-se constante até o final da análise (1.600°C), conforme está representado na Figura 6.9.

Os resultados das análises térmicas realizadas para o coríndon de Barra Velha, mostram variações nos diagramas que confirmam a presença de pequenas proporções de diásporo associado. Neste caso, esta fase mineral já havia sido detectada e identificada por análises ópticas, difratometria de raios X e microsonda eletrônica, ocorrendo sob a forma de finas lamelas ou filmes, principalmente ao longo dos planos romboédricos e basais dos cristais.

Através das análises termogravimétricas, foi possível estimar a quantidade de água contida no coríndon. Em termos de porcentagem de massa, os valores variaram entre 1,4% e 1,7% de água contida. Conhecendo-se a quantidade de água no diásporo, 14% segundo Deer et al.(1993), também confirmados em análises por meio de microsonda eletrônica no diásporo presente no coríndon de Barra Velha, pode-se calcular a quantidade desta fase mineral associada. Neste caso, os cálculos apontaram valores ao redor de 10%, o que demonstra diferenças no grau de alteração em amostras distintas.

O entendimento do comportamento térmico do coríndon de Barra Velha, é muito importante, pois possibilita a determinação das temperaturas a serem utilizadas na tentativa de melhorar sua transparência através de aquecimento controlado. Estima-se que a porcentagem de coríndon com potencial gemológico na região oscila em torno de 10%, incluindo exemplares de coloração vermelha acentuada, certo grau de transparência e presença de efeitos ópticos especiais. Esse numero pode ser ampliado mediante tratamentos térmicos, a exemplo do que é feito em outros centros produtores importantes.

Figura 6.9 – Diagramas de análises termogravimétricas, realizadas em cinco amostras do corindon de Barra Velha, de colorações distintas. As diferenças nos patamares dos gráficos são devidas aos diferentes graus de alteração das amostras.

6.6 COMPORTAMENTO ESPECTROSCÓPICO

Neste subcapítulo são tratadas um conjunto de técnicas que complementam informações mineralógicas obtidas por métodos tradicionais. Nesse sentido, a espectroscopia no infravermelho além de confirmar a caracterização do coríndon, forneceu informações importantes sobre a presença de impurezas químicas que não poderiam ser obtidas facilmente por métodos tradicionais de análise. A espectroscopia no visível, forneceu dados a respeito dos cromóforos eventualmente presentes no coríndon. Finalmente a espectroscopia micro Raman, além de fornecer dados a respeito das inclusões fluidas, complementou os resultados obtidos pelo infravermelho. A espectroscopia no infravermelho excita as vibrações simétricas, enquanto a micro Raman, excita as vibrações assimétricas, por esse fato as duas técnicas se complementam.

6.6.1 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

As posições e as intensidades relativas de absorção no infravermelho, causada pelas vibrações de íons ou moléculas em estruturas cristalinas determinadas pelas forças das ligações, podem ser determinadas pelas ligações entre os átomos do mineral. Estas características podem ser descritas como a impressão digital do mineral. A energia de vibrações fundamentais da estrutura na maior parte dos minerais, está localizada no centro da região do infravermelho, ou seja, entre 1.500 a 400cm^{-1} ($6,67$ a $25\mu\text{m}$). Contudo pode-se estender o espectro até 4.000cm^{-1} para a verificação da presença de voláteis tais como CO_2 , H_2O , CH_4 , entre outros, presentes sob a forma de inclusões fluidas ou de voláteis estruturais.

Para conhecer o comportamento do coríndon de Barra Velha em relação à absorção no infravermelho, cinco amostras de cores branca, rósea, vermelha, cinza e preta, foram analisadas por esta metodologia. Para tanto, utilizou-se a faixa de 400 a 4000cm^{-1} . As amostras foram preparadas com KBr como solvente na proporção de 1:100, sendo a mistura homogeneizada e prensada, na forma de uma pastilha. O KBr é

utilizado pelo fato de ser um composto iônico e muito transparente ao infravermelho, com bandas de absorção abaixo dos 300cm^{-1} .

Os espectros obtidos para o coríndon de Barra Velha estão apresentados na Figura 6.10, e mostram que além das bandas específicas do mineral, ocorrem também outras absorções, relativas a presença do diásporo e da água. A água de absorção no coríndon ocorre sob formas diversas; a de estiramento possui uma banda característica em 3.240cm^{-1} , sendo a de deformação marcada por uma banda pouco pronunciada a 1.630cm^{-1} , conforme Moenke (1966). A Tabela 6.4 apresenta dados relativos à absorção no infravermelho para o coríndon e para o diásporo, segundo Moenke (1962, 1966), Marel & Beutelpacher (1976), Barker (1963) e Gadsden (1975). Incluindo também os resultados obtidos com o coríndon de Barra Velha. Pode-se observar nesta tabela, que entre as absorções obtidas nesse estudo, muitas ocorrem de forma coincidente com as do diásporo, demonstrando que a presença de água é devida somente ao diásporo associado.

6.6.2 ESPECTROSCOPIA NO VISÍVEL

Normalmente, o espectro de absorção do rubi no visível é fortemente marcado pela presença do cromo, podendo ser acompanhado de pequenas contribuições de ferro. O cromo, em função da intensidade do campo cristalino, produz um espectro muito distinto, que permite separar o rubi de alguns outros minerais, tais como a esmeralda e a alexandrita (Fritsch & Rossman 1987). Entretanto, o coríndon vermelho sintético com pequenas quantidades de cromo, pode produzir espectros semelhantes aos dos coríndons naturais. Por esse motivo, não é possível separar sintético do natural em relação ao cromo, mas algumas feições relativas ao ferro, podem fornecer detalhes importantes inerentes apenas ao coríndon natural. Pelo fato das linhas relativas ao ferro não terem sido ainda observadas em rubi sintético, sua presença pode ser considerada como uma prova da origem natural.

As principais áreas de absorção do rubi estão localizadas na região do violeta e do azul ao redor de 400 a 450nm. Além disso, apresenta uma banda larga e centrada a 550nm. Uma pequena porção do azul é transmitida na faixa de 450 a 500nm juntamente com o laranja e o vermelho, produzindo a coloração vermelho

Figura 6.10 – Espectros no infra vermelho obtidos em cinco amostras do coríndon de Barra Velha de colorações diferentes. Onde observa-se que além das absorções do próprio coríndon 378(1), 432(2), 562(3) e 640(4), ocorrem outras menores em 960(6), 2035(9) e 2900(10) as quais são atribuídas ao diásporo associado. As outras absorções são coincidentes para estas duas fases, ou seja, 755(4) e 1085(7). Foram detectadas também as absorções da água de deformação a 1630(8) e da água de estiramento a 3420(11).

Tabela 6.4 - Absorções no infravermelho relativas ao coríndon e ao diásporo, comparadas com os dados obtidos para os cristais de Barra Velha (número de ondas em cm^{-1}).

Moenke (1962,1966)		Marel & Beutelspacher (1976)		Barker (1963)	Gadsden (1975)	Coríndon de Barra Velha
Coríndon	Diásporo	Coríndon	Diásporo	Coríndon	Coríndon	
				378	375	378 (coríndon)
				385		
				400		
				418		
				432	432 - 450	432 (coríndon)
				442		
460		454		451		
562	521		519	569	490 - 520	562 (coríndon)
			567	578	575 - 600	
	580		580	583		
607		605				
				635		
645	680	642		645	640 - 720	640 (coríndon)
785	756		753	751	750 - 790	755 (cor./diásporo)
	970	800	960		800	960 (diásporo)
1050		1065				
1085	1085	1082	1080			1085 (cor/diásporo)
1175						
	1635					1630 (H_2O def.)
			2000			2035 (diásporo)
			2115			
	2825		2910			2900 (diásporo)
	3000		2987			
	3400					3420 (H_2O est.)

púrpura do rubi. Três pequenas bandas de absorção podem ocorrer ainda no azul com valores de 468,5nm, 475nm e 476,5nm, diagnosticadas como o comportamento característico do cromo tanto no corindon natural como no sintético. Em alguns rubis de coloração púrpura, principalmente da Tailândia, as absorções de ferro trivalente em 451, 460 e 470nm são vistas no azul. Destas três absorções, a mais forte é a de 451nm, estando as outras duas normalmente ausentes. Quanto às safiras de coloração azul, seu espectro é um pouco diferente, devido a presença de pequenas quantidades de ferro trivalente. O espectro exhibe três bandas de absorção; uma banda de intensidade forte a 451nm, uma de intensidade mais fraca a 460nm e uma outra de intensidade fraquíssima a 470nm, tal como observado com rubis da Tailândia.

Safiras verdes ou esverdeadas podem apresentar Fe^{2+} o qual é comprovado pelas bandas do espectro a 379 e 364nm. Geralmente o corindon de coloração azul pode ser caracterizado por três mecanismos de absorção próprio de transferência de cargas (Fe^{3+} , $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Ti}^{4+}$ e $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$). O resultado da absorção do ferro trivalente é caracterizado por bandas nas regiões de 375nm e 387nm (ultravioleta), além de 450nm, 460nm e 469nm (visível). A transferência de cargas por $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Ti}^{4+}$ é responsável pela absorção entre 550nm e 600nm no espectro do raio ordinário, perpendicular ao eixo óptico, e entre 680nm a 750nm na direção do raio extraordinário, paralelo ao eixo óptico. A transferência de cargas entre $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$ ocorre na região entre 870nm e 890nm (infravermelho próximo).

As análises referentes à absorção no visível realizadas em amostras de colorações diferentes no corindon de Barra Velha, indicam bandas de absorção em 320 e 370nm (região do violeta) que são características do Fe^{+3} . O restante do espectro mostra bandas do cromo em 465nm, 560nm, e uma muito pequena a 693nm, não sendo detectadas absorções devidas a outros elementos, tais como titânio ou ferro férrico.

Conforme pode ser observado na Figura 6.11 e Tabela 6.5, as absorções atribuídas ao cromo apresentam-se muito mais pronunciadas na amostra de coloração vermelha, quando comparada com a de cor rósea, que apresenta ausência da banda em 395nm. As amostras de coloração cinza apresentam as bandas do ferro mais evidentes, absorções devidas ao cromo bastante reduzidas e ausência da absorção em 395nm.

Figura 6.11- Espectros de absorção no visível, obtidos para cristais do corindon de Barra Velha com coloração cinza, rósea e vermelha, destacando-se as absorções produzidas pelo Cr^{3+} e pelo Fe^{3+} .

Tabela 6.5 - Absorções no visível obtidas para o coríndon de Barra Velha, comparadas com valores de outras localidades.

Cores				Absorções λ(nm)								
Barra Velha												
Vermelho	693				560	465		395	370		320	
Róseo	693				560	465			373		320	
Cinza	693				560				373		320	
Preto	693				560				373		320	
Outras Localidades												
Laranja ¹	700	693	688	674	657	554	470					
Azul esverdeado ¹		693				560	466	450	388	376	360	
Verde oliva ¹		693			650		468	456	450	388	376	360
Violeta ¹		693			657	560	466	450	388	373		320
Azul esverdeado. ²			680	600		560	469	460	450	387	375	
Vermelho ³						548	480-484		410		350-365	315
Vermelho ⁴	700	694-695		675-669	659	555						

1) Tanzânia- Hanni (1987), 2) Vietnã- Smith et al. (1995), 3) Tanzânia- Hänni & Schmetzer (1991), 4) Malawi- Henn et al. (1989).

Comparando-se os resultados obtidos nos cristais do coríndon de Barra Velha, com os de outros autores em rubi e safiras de colorações diversas (Tabela 6.5), pode-se perceber que os espectros demonstram a influência da natureza e da concentração dos elementos químicos na coloração final do cristal. Pelo fato dos cristais de coríndon encontrados em Barra Velha não apresentarem colorações azuis ou verdes, os únicos íons cromóforos que atuam nos cristais são o cromo e o ferro, que de acordo com a concentração de cada elemento, reproduz as colorações encontradas.

6.6.3 ESPECTROSCOPIA MICRO RAMAN

Apesar da espectroscopia Raman complementar as investigações no infravermelho e ter sido empregada em mineralogia desde a descoberta da técnica em 1908, a maior parte dos trabalhos encontram-se nas áreas de física e química. Atualmente esta técnica vem sendo empregada com sucesso por mineralogistas em alguns casos de identificação mineral, estudos estruturais além da identificação de fases sólidas e fluidas presentes em inclusões. Por este motivo, os trabalhos mineralógicos utilizando esta metodologia para o caso do coríndon são ainda raros na literatura.

Estudos realizados por Porto & Krichnan (1967), mostraram que o espectro característico do coríndon é constituído por uma série de picos com valores de 378, 418, 432, 451, 578, 645 e 751cm^{-1} . Esses cristais foram analisados em cortes perpendiculares ao eixo cristalográfico "c", uma vez que em outras direções cristalográficas a orientação das vibrações provoca pequenas variações nas intensidades, podendo até mesmo ocorrer o desaparecimento de certas bandas.

Os cristais de coríndon de Barra Velha foram submetidos a espectroscopia micro Raman tendo como finalidade principal o estudo de suas inclusões fluidas, como será mostrado adiante. Porém alguns espectros encontrados forneceram em adição as absorções típicas do hospedeiro. Neste caso foram encontradas as mesmas bandas de absorções descritas na bibliografia.

Como se pode observar na Figura 6.13, a presença de elementos de transição como o cromo, ocasionam uma forte luminescência geralmente acima de 1.000cm^{-1} , impossibilitando algumas leituras principalmente onde as bandas são de menor intensidade.

Figura 6.12 - Espectros micro Raman obtidos para o coríndon de Barra Velha mostrando as absorções relativas ao mineral e uma acentuada luminescência acima de 1.000 número de ondas/cm.

6.7 PROPRIEDADES ÓPTICAS

Neste subcapítulo serão discutidas algumas propriedades ópticas clássicas tais como cor, pleocroísmo, índices de refração, birrefringência e fluorescência, com o intuito de completar a caracterização do coríndon de Barra Velha.

6.7.1 COR MACROSCÓPICA

Poucos minerais, como a turmalina, o quartzo e o berilo, costumam ocorrer na natureza com uma diversidade de cores e tonalidades tão grande como aquelas apresentadas pelo coríndon. Além das cores características como o vermelho púrpura (rubi) e azul profundo (safira), já foram encontradas as mais variadas colorações em exemplares provenientes de diversos locais do mundo.

Quando o coríndon ocorre em outras cores que não o vermelho ou o azul, é denominado também de safira, porém nesse caso, deve-se adicionar ao termo safira o tipo da cor como por exemplo safira rósea, safira verde, safira negra. Muitas vezes as cores encontradas assemelham-se à de outras espécies minerais, tais como turmalina, água marinha, ou topázio, o que pode dificultar sua identificação com base apenas na cor das gemas lapidadas.

Entre os cristais de coríndon lavrados na região de Barra Velha, predominam os indivíduos de coloração vermelha, em tonalidades variáveis que vão do rosa claro ao vermelho escuro. As tonalidades mais freqüentes nos rubis são vermelho intenso, vermelho claro, vermelho rosado e vermelho púrpura. As safiras, por sua vez, apresentam-se nas cores branca, amarelada, rosa clara, acastanhada, cinza, cinza esverdeada e preta. É importante salientar que nestas análises não foram encontrados exemplares de safiras que apresentassem colorações ou tonalidades azuis. As Fotografias 6.1 mostram algumas cores representativas destes minerais em bruto, onde se pode observar entre os exemplares, o acentuado predomínio da coloração vermelha nestes cristais.

Fotografias 6.1 - Principais cores exibidas pelo coríndon de Barra Velha. A) Lote representativo das cores mais encontradas nos cristais. B) Detalhe de um cristal de rubi evidenciando sua forte coloração vermelha.

Com a finalidade de se conhecer quais as cores predominantes nos cristais de Barra Velha, um lote de coríndon contendo 3.943 exemplares foi separado em três cores fundamentais: vermelho, róseo e preto. Neste caso, cores intermediárias como o cinza, foi contada como preto e os tons claros e levemente avermelhados como róseo. Este procedimento foi adotado pela dificuldade de separação visual em tonalidades intermediárias. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.6 a seguir e mostram que a cor rósea predomina entre os coríndons de Barra Velha, perfazendo um total de 67,03% dos fragmentos analisados, representando 60,8% da massa do lote. A coloração vermelha representa 26,14% dos cristais, totalizando 25,6% da massa total da amostra. Finalmente foram contados o número de fragmentos de coloração escura, tais como o cinza e o preto, que totalizaram 6,8% dos indivíduos, ou 13,6% da massa total.

Tabela 6.6 – Cores macroscópicas predominantes no coríndon de Barra Velha.

Cores	vermelho (rubi)	róseo (safira)	preto (safira)	(totais)
Número de fragmentos	1031 (26,14%)	2643 (67,03%)	269 (6,8%)	3943
Massa (g)	308,08 (25,6%)	732,99 (60,8)	164,51 (13,6%)	1205,58

6.7.2 COR DE PLEOCROÍSMO

Em cristais translúcidos de coríndon, é possível ocorrer variações de cores ou tonalidades de acordo com as direções em que são observados. Neste caso o cristal apresenta pleocroísmo sendo que o raio ordinário possui coloração mais intensa do que o raio extraordinário. No rubi, as cores de pleocroísmo são o vermelho púrpura para o raio ordinário e o vermelho alaranjado para o raio extraordinário. Tendo em vista esse fato, é preciso tomar cuidados especiais durante a lapidação do rubi. Para a obtenção do vermelho púrpura apreciado, o cristal de rubi deve ser lapidado com a mesa da gema perpendicular ao eixo cristalográfico “c”, caso contrario a pedra lapidada irá apresentar a coloração vermelha púrpura, juntamente com a vermelha alaranjada (Hughes 1990).

Tendo em vista a relativa falta de transparência do coríndon de Barra Velha, as análises referentes ao seu pleocroísmo foram executadas em lâminas finas ou em

fragmentos pequenos e translúcidos, utilizando-se o dicroscópio gemológico existente no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná. As amostras rosadas e vermelhas exibem pleocroísmo de pouca intensidade, onde as cores observadas variaram do vermelho ao vermelho claro, e do rosa escuro ao rosa claro. Em coríndons de outras colorações, tais como cinza e preta, não foi possível a visualização do dicroísmo, uma vez que as amostras não permitem a passagem da luz.

6.7.3 FLUORESCÊNCIA

O comportamento fluorescente do coríndon de Barra Velha foi estudado utilizando-se lâmpadas de luz ultravioleta de ondas longas ($\lambda=366\text{nm}$) e curtas ($\lambda=253,7\text{nm}$) existentes no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná. Sob luz de ondas longas algumas amostras mostraram-se inertes enquanto outras apresentaram uma forte fluorescência na cor vermelha. Neste caso os cristais de coloração vermelha mais acentuada apresentaram-se muito fluorescentes, havendo uma queda gradual deste comportamento em exemplares de colorações róseas mais claras. O cristais de coríndon com colorações cinza, preta e branca não apresentaram reações a este tipo de análise. Sob a ação de luz ultravioleta de ondas curtas, todos os cristais apresentaram-se como inertes. É muito provável que as variações observadas no comportamento do coríndon analisado estejam relacionadas com o conteúdo em cromo nas amostras.

6.7.4 ÍNDICES DE REFRAÇÃO E BIRREFRINGÊNCIA

O coríndon é um mineral uniaxial negativo que de um modo geral não apresenta anomalias ópticas. Os seus índices de refração exibem algumas variações, mas a birrefringência é sempre constante. Compilações sistemáticas indicam que o índice de refração correspondente ao raio extraordinário varia de 1,757 a 1,772 e o índice ordinário de 1,765 a 1,780 (Hughes 1990).

O ferro é o principal responsável pelas variações dos índices de refração no coríndon, sendo seu conteúdo diretamente proporcional aos valores dos índices. Assim sendo, as gemas do Sri Lanka que apresentam baixo conteúdo em ferro, exibem índices de refração mais baixos, ao passo que gemas mais ricas em ferro como as da Tailândia e Austrália, possuem índices mais altos. Em amostras da jazida de Malawi, Henn et al. (1989) demonstrou que em cores mais escuras, o coríndon daquela região

apresenta índices de refração, densidade e conteúdo em ferro mais elevados, como está representado na Tabela 6.7.

Os índices de refração do coríndon de Barra Velha foram medidos diretamente em um refratômetro gemológico usando superfícies polidas e cortes aleatórios. Os valores dos índices medidos com filtro de sódio são $n_o=1,770 (\pm 0,005)$ e $n_e=1,762 (\pm 0,005)$, resultando uma birrefringência de $0,008 (+0,001)$. Esses valores concordam com os obtidos anteriormente para estes cristais por Brum et al. (1990), que obtiveram valores de $n_o=1,770 (\pm 0,002)$ e $n_e=1,762 (\pm 0,003)$.

6.8 EFEITOS ÓPTICOS ESPECIAIS

Os aspectos internos observados mais comumente no coríndon são zoneamentos de cor retilíneos ou hexagonais, redemoinhos de cores e geminação polissintética os quais muitas vezes se cruzam em duas direções formando uma feição denominada de “tabuleiro de xadrez” (Hughes 1990). De um modo geral, os efeitos ópticos especiais de interesse gemológico observados em rubis e safiras são asterismo, chatoyance e mudanças de cor.

6.8.1 ASTERISMO

Asterismo é um fenômeno óptico especial produzido pela reflexão da luz em inclusões aciculares microscópicas representadas por minerais tais como rutilo e boehmita ou ainda por canais vazios. Estas agulhas apresentam arranjos em três direções que se cruzam a 60° ou 120° , de tal modo que quando a luz é refletida perpendicularmente a cada uma destas direções, forma uma estrela de seis pontas. A estrela de doze pontas é bem mais rara em coríndon, e tem a sua origem no efeito seda formado em prismas de 1ª e 2ª ordens, cada uma com seis direções.

A presença do efeito óptico de asterismo é importante, pois valoriza em muito a pedra lapidada. Contudo o efeito só é visível e pronunciado no caso do mineral ser lapidado com a base do cabochão perfeitamente perpendicular ao eixo cristalográfico “c”. A intensidade e a perfeição do efeito pode variar de cristal para cristal e depende da natureza das inclusões aciculares presentes Webster (1975).

Tabela 6.7 - Índices de refração e birrefringência do coríndon de Barra Velha juntamente com dados relativos a coríndons de outros locais.

Local	Cores	ne	no	B	Fe (%)
Barra Velha	Vermelho	1,762	1,770	0,008	
	Vermelho	1,763	1,771	0,008	
	Cinza	1,765	1,772	0,007	
	Cinza	1,764	1,772	0,008	
	Rosa	1,761	1,770	0,009	
	Rosa	1,760	1,768	0,008	
	Rosa	1,759	1,767	0,008	
Malawi	Vermelho pálido ¹	1,761	1,769	0,008	0,32
	Vermelho. médio ¹	1,765	1,773	0,008	0,53
	Vermelho forte ¹	1,770	1,778	0,008	0,64
Tanzânia	Rosa ²	1,761	1,769	0,008	≤ 0,02
	Vermelho médio ²	1,762	1,770	0,008	≤ 0,02
	Vermelho forte ²	1,762	1,770	0,008	≤ 0,02

¹ Henn et al. (1989), ² Hänni & Schmetzer (1991).

Como o asterismo tem sua origem relacionada com a reflexão da luz em inclusões de agulhas finíssimas, torna-se importante o reconhecimento destas feições, para explicar a causa do fenômeno. Estes elementos lineares que ocorrem no coríndon, foram descritos como agulhas de rutilo e/ou cavidades (Eppler 1973), traços de geminação ou lamelas de deslocamento (Gubelin 1974, Schubnel 1972) e agulhas de boehmita (Keller et al. 1985). Normalmente a identificação destas agulhas pode tornar-se problemática em função de ocorrerem em tamanhos muito reduzidos, tornando difícil em alguns casos, a distinção entre agulhas de rutilo, de boehmita e cavidades em forma de canais.

Análises químicas podem detectar a presença de Ti, porém este elemento também pode ocorrer na cela unitária, ou como rutilo segregado. Geralmente o rutilo quando ocorre é de tamanho maior, podendo ser visto com aumentos da ordem de 25x. Normalmente, devido a pequena quantidade presente e pela diminuta área de saída na superfície do coríndon hospedeiro, a presença do rutilo não pode ser confirmada por técnicas ópticas, raios X, ou microsonda eletrônica. Neste caso, pode-se recorrer à microscopia eletrônica de varredura, onde a visualização da superfície sob grandes aumentos permite identificar os locais de saída das agulhas.

As agulhas em alguns casos foram determinadas como boehmita, porém este mineral não tem relação com rutilo, não somente por tratar-se de duas fases minerais distintas, como também por estarem relacionados a ambientes de formação distintos. Via de regra estes dois minerais podem apresentar-se como agulhas em coríndons, porém ocupando orientações cristalográficas distintas no mineral hospedeiro. A boehmita forma-se ao longo dos planos de partição romboédrica (10 1) como resultado do stress induzido pela exsolução do excesso de alumina na estrutura e/ou alteração do coríndon ao longo destes planos. Por outro lado, a presença do rutilo sob a forma de agulhas finíssimas, é o produto da assimilação do TiO_2 na estrutura do coríndon durante o crescimento do cristal. O rutilo forma uma solução sólida com o coríndon pela elevação da temperatura durante o crescimento; quando o cristal resfria, a sua cela unitária se contrai e expulsa literalmente todo o rutilo para fora. Neste caso o rutilo cristaliza-se na porção mais compatível da estrutura do coríndon, ou seja, vai alojar-se como solução sólida em planos perpendiculares ao eixo cristalográfico "c", e

paralelamente aos três pares de faces de prisma formando 6 ângulos de 60° a partir do centro de cruzamento das agulhas (Koivala 1985).

No coríndon de Barra Velha é comum o aparecimento de asterismo após a lapidação na forma de cabochão originando estrelas de 6 pontas formando ângulos de 60° entre os raios. Apesar de freqüente, o efeito é de baixa intensidade, ou seja, as estrelas são tênues destacando-se apenas sob a ação de luz intensa. Na maior parte dos cristais examinados por meio de microscopia óptica de grandes aumentos, é possível a observação de agulhas finíssimas em arranjo trigonal, quando as seções são cortadas perpendicularmente ao eixo cristalográfico "c", conforme está mostrado nas Fotomicrografias 6.3 A, B, C e D. No caso de cortes aleatórios, ou paralelos ao eixo "c", pode-se perceber claramente a presença das agulhas saindo da superfície da seção, geralmente com um certo ângulo o que forma um padrão semelhante ao efeito chuva, exibido por algumas esmeraldas.

Na tentativa de identificar as agulhas mencionadas, foram realizadas várias análises por microscopia óptica, microsonda eletrônica, espectroscopia micro Raman e microscopia eletrônica de varredura, em cortes nas mais diversas posições do cristal. As Fotomicrografias 6.4 A e B, ilustram uma série destas feições aciculares vistas sob microscopia óptica de grandes aumentos, com luz plano polarizada (A), onde pode-se observar o tamanho e a disposição destas agulhas, e com os polarizadores cruzados (B), onde se observa que estas feições não apresentam respostas ópticas.

Sob espectroscopia micro Raman, as agulhas existentes no coríndon de Barra Velha, também não forneceram respostas, sendo que os espectros mostraram apenas os valores correspondentes ao coríndon hospedeiro.

Sob microscopia eletrônica de varredura, em seções não perpendiculares ao eixo cristalográfico "c", observa-se que as feições encontradas não possuem preenchimento, tratando-se portanto de cavidades alongadas e vazias, conforme pode-se observar nas Micrografias eletrônicas 6.3 A e B.

Fotomicrografias 6.3 - Aspectos gerais das feições aciculares encontradas no coríndon de Barra Velha, vistos sob microscopia óptica, A) faixas formadas pela presença de concentrações de agulhas, B) detalhe da região das faixas, C) Agulhas em seção paralela ao eixo cristalográfico "c", D) detalhe das agulhas vistas sob luz refletida.

Fotomicrografias 6.4 - Feições aciculares encontradas nas seções do coríndon de Barra Velha vistas sob microscopia óptica, em luz transmitida, A) Com luz plano paralela, B) Com polarizadores cruzados. Observa-se que as agulhas não mostram reação à luz polarizada.

Micrografias eletrônicas 6.3 - Cavidades poligonais correspondentes ao corte dos tubos vazios, vistas em seção paralela ao eixo cristalográfico "c", agrupadas em (A), e orientadas em (B).

6.8.2 OUTROS EFEITOS

A chatoyance, ou efeito olho de gato, pode ocorrer no coríndon proveniente de certos locais do mundo, e é formada quando os planos de seda encontram-se com um espaçamento muito fechado, constituindo um efeito muito raro neste mineral. Para exibir o efeito olho de gato, o coríndon deve ser lapidado com a base do cabuchão paralela ao eixo cristalográfico "c", ao contrário do asterismo, que para ser evidenciado deve ser lapidado de modo que a sua base seja perpendicular ao eixo óptico (Webster 1975).

Em alguns exemplares lapidados do coríndon de Barra Velha, foram observados efeitos de chatoyance, porém de forma muito sutil. Normalmente, o referido efeito é exibido sob condições de iluminação intensa, e somente em talhe cabuchão, cuja base deve ser paralela ao eixo cristalográfico "c" do cristal.

Outro efeito óptico exibido pelos cristais de Barra Velha, lapidados em cabuchão, é o efeito seda, o qual consiste em um brilho sedoso e pontual, às vezes metalizado em tons de dourado ou prateado, que aparenta estar abaixo da superfície polida. Este efeito, que em alguns casos pode ser confundido com chatoyance, parece ter sua origem relacionada com a presença de diásporo ao longo dos planos de geminação romboédrica do coríndon.

É comum ainda no coríndon de Barra Velha, a ocorrência de crescimento em zonas, onde pode-se perceber a presença de hexágonos circunscritos no plano basal dos cristais. Geralmente as faixas ou linhas hexagonais variam de cor e espessura, produzindo um aspecto muito interessante no material

A mudança de cor ou efeito alexandrita, ocorre em algumas safiras da Tailândia, (Umba Valley), Mianma e Sri Lanka, e em produtos sintéticos fabricados pelo método Verneuil (Hughes 1990). Quando ocorre, é caracterizado pelo mineral apresentar coloração verde ou esverdeada sob luz natural, e púrpura ou vermelha sob luz incandescente artificial.

Gübelin & Schemetzer (1982), demonstraram que todas as pedras que exibem a mudança de cor apresentam feições similares de absorção, ou seja, transmissão balanceada no azul, verde e vermelho, e absorção no amarelo.

No decorrer desse trabalho, examinamos diversos lotes de exemplares de coríndon (rubi e safiras), sob luz natural e artificial. Em nenhum caso foram observadas variações de cor, mostrando que o coríndon de Barra Velha não exibe o efeito alexandrita.

Sintetizando, o estudo das propriedades físicas realizado nesse capítulo, mostra que o coríndon de Barra Velha, constitui uma ocorrência singular no contexto gemológico brasileiro. Como já foi visto nos capítulos precedentes, esse mineral ocorre na forma de cristais centimétricos, predominantemente avermelhados, baços a opacos, exibindo os efeitos seda e asterismo. A possibilidade de utilizar esses coríndons como material gemológico abre perspectivas interessantes para a lavra desse material. Esse fato é reforçado considerando-se ainda a notável extensão dos depósitos verificada no decorrer dos trabalhos de campo.

CAPÍTULO 7 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ORIGEM DA COR

A composição química do coríndon é bastante simples dificultando a obtenção de informações a respeito de sua gênese. Contudo, a identificação e quantificação dos elementos menores, principalmente os metais de transição tais como Fe^{3+} , Fe^{2+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} e V^{3+} , podem dar informações importantes na explicação das diversas cores exibidas por esse mineral. Considerando que a cor do coríndon está intimamente relacionada com sua composição em termos de impurezas, esse tópicos serão discutidos conjuntamente nesse capítulo.

7.1 CORÍNDON

Quimicamente o coríndon é representado pela fórmula Al_2O_3 nas proporções de 52,9% de alumínio para 47,1% de oxigênio. Trata-se de um óxido simples de alumínio, pertencente ao grupo da hematita. Neste grupo, a razão oxigênio/metal(ais) obedece a relação X_2O_3 , do qual fazem parte também a hematita (Fe_2O_3) e a ilmenita (FeTiO_3) (Deer et al.1993).

De acordo com vários autores, o coríndon quando puro apresenta-se incolor e transparente, fato verificado também em coríndon sintético formado a partir de alumina pura. Na natureza apenas em raríssimos casos são encontradas safiras incolores, pois nos ambientes de formação é comum a presença de outros elementos que podem conferir várias colorações ao cristal. Estes elementos podem estar presentes no coríndon tanto na forma de impurezas como de cromóforos; entre esses últimos podem ser citados o Cr^{+3} que produz a cor vermelha do rubi, e o Fe^{+3} e o Ti^{+3} que são responsáveis pela cor azul da safira. De acordo com Hänni (1986), safiras com outras cores possuem combinações de elementos de transição principalmente

Cr^{+3} , Ti^{+4} , Fe^{+3} , Fe^{+2} e V^{+3} em proporções diversas, que são os principais cromóforos desse mineral.

Algumas determinações dos principais elementos químicos presentes em corindon nas suas variedades rubi e safira, referentes a localidades e origens diversas, reportadas por vários autores, estão reproduzidas na Tabela 7.1. Observa-se nestas análises, que além do Al_2O_3 , as safiras possuem quantidades variáveis de ferro e titânio e normalmente um baixo teor em cromo. A safira verde apresenta um valor elevado de FeO, o mesmo ocorrendo em relação as safiras amarelas. Quanto ao rubi, o cromo é considerado o cromóforo responsável pela coloração vermelha, podendo ocorrer em quantidades variáveis produzindo variações desde o vermelho claro até o escuro. Outros elementos menores podem ainda estar presentes nesta espécie mineral, porém em quantidades pequenas, via de regra abaixo do limite de detecção dos equipamentos.

Particularmente, a cor do rubi é atribuída aos elétrons de transição envolvendo os íons Cr^{3+} que substituem os íons Al^{3+} em aproximadamente 1% em média. De acordo com Nassau (1983), quando a luz branca passa pelo rubi, ocorrem dois mecanismos de absorção. O primeiro envolve a transição eletrônica do estado $4A^2$ para o nível $4T^2$. Nesse caso, uma radiação de 2,2eV é absorvida, compreendendo a luz amarela e verde. O segundo envolve a transição para o nível $4T^1$, absorvendo radiação de 3,0eV ou luz violeta. Estes fenômenos ocasionam uma pequena transição para o azul e uma forte para o vermelho, atribuindo ao rubi sua forte coloração vermelha juntamente com tons púrpura.

O mecanismo que produz a cor azul nas safiras é muito mais eficiente, estimando-se cerca de 100 a 1.000 vezes mais intenso que no rubi. Para apresentar a cor vermelha, o rubi necessita de quantidades em torno de 1% de cromo, enquanto nas safiras quantidades de 0,001% de ferro e titânio, já são suficientes para produzir a coloração azul intensa (Nassau 1984). Neste caso, o processo que ocasiona a cor nas safiras é bastante distinto daquele do rubi.

Quanto ao coríndon de Barra Velha, análises químicas quantitativas realizadas por meio da microsonda eletrônica (WDS), principalmente em seções

Tabela 7.1 - Análises químicas (% em peso) de rubis e safiras de diversas localidades, reportadas por diferentes autores.

análise	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	0,20	0,68	0,137	0,542				
TiO ₂	0,32	tr	-	-	0,029	0,030	0,000-0,060	0,006-0,020
Al ₂ O ₃	98,84	96,72	98,80	97,50	99,546	99,336		
Cr ₂ O ₃	-tr	-	0,945	1,81	0,963	0,920	0,007-0,100	0,030-0,600
Fe ₂ O ₃	0,14	-	0,014	0,0252				
FeO	0,06	0,18	-	-	0,017	0,008	0,002-0,250	0,030-0,350
V ₂ O ₅	-	tr	0,032	0,058	0,039	0,027	0,002-0,010	0,000-0,020
NiO	tr	0,09	-	-				
MnO	tr	tr	-	-				
MgO	0,04	0,96	0,022	0,032				
CaO	0,34	1,16	-	-				
CuO	-	-	0,002	0,001				
CdO	-	-	0,016	0,035				
MoO ₃	-	-	0,004	0,011				
Total	99,94	99,79	99,97	100,02	100,59	100,32		

1- Coríndon azul escuro, proveniente de mármore , Urais (Gavrusevich 1941, in Deer et al.1993).

2- Coríndon verde, derivado de pegmatito sienítico, Urais (Gavrusevich 1941, in Deer et al. 1962).

3- Rubi vermelho claro (Alexander 1948, in Deer et el. 1993).

4- Rubi vermelho escuro (Alexander 1948, in Deer et el. 1993).

5 e 6- Rubi do Quênia derivado de terrenos granulíticos (Key & Ochieng 1991).

7- Rubi do Sri Lanka derivado de terrenos granulíticos (Heimann & Henn 1986).

8-Rubi da Tailândia derivado de basaltos alcalinos (Vichit 1978, In Hughes 1990).

cortadas perpendicularmente ao eixo cristalográfico "c" além de direções aleatórias, forneceram dados sobre sua composição. Os resultados destas análises estão apresentados nas Tabelas 7.2 e 7.3. As análises foram executadas em exemplares de coríndon nas principais cores que ocorrem na região, ou seja, vermelho, róseo, branco, cinza e preto. Nas amostras portadoras de zoneamentos perpendiculares ao eixo cristalográfico "c", foram executadas ainda análises nas porções claras e escuras desses exemplares, com o objetivo de determinar a causa da diferença de coloração nessas bandas.

Os resultados das análises químicas mostram que o coríndon de Barra Velha é composto basicamente por 94,62% a 98,56% de Al_2O_3 , variação esta em função dos outros elementos menores associados em diversas proporções, e de um certo conteúdo em água. Alguns desses elementos encontram-se em concentrações muitas vezes abaixo do limite de detecção do equipamento ($<0,02\%$). Entre os elementos menores, foram constatados principalmente o cromo e o ferro, os quais aparentemente exercem muita influência na cor dos exemplares. Os demais elementos detectados, tais como silício, titânio, manganês, magnésio, níquel, cálcio, sódio, potássio e bário, parecem não ter qualquer influência nas propriedades do coríndon, estando presentes apenas como impurezas naturais.

Observa-se na Tabela 7.2, que o coríndon de coloração vermelha possui as maiores concentrações de cromo, com teores de 0,55% a 0,83% desse elemento. O coríndon de coloração rósea, ou vermelha clara, apresenta valores menores, variando de 0,28% a 0,43%, enquanto as análises realizadas em coríndon branco, apresentam teores de 0,03% a 0,04%. O Ferro mostra concentrações de 0,12% a 0,26% no coríndon de coloração vermelha, 0,28% a 0,65% na coloração rósea e 0,61% a 69% na coloração branca. O titânio presente nas amostras analisadas, varia de 0,00% a 0,14%, não apresentando relação de dependência com nenhuma cor em particular. Entre os demais elementos analisados, ou seja, Si, Ti, Mn, Mg, Ca, Na, K, e Ba, apenas o Si, o Ti e o Mg aparecem com valores pouco mais elevados, variando entre 0,02% a 0,27%, 0,00% a 0,14% e 0,00% a 0,08%, respectivamente. Esses elementos apresentam um grande espalhamento quando são consideradas todas as amostras, e aparentemente não exercem influência sobre as cores observadas.

Tabela 7.2 - Resultado das análises químicas (% em peso), realizadas por microsonda eletrônica, em amostras do coríndon de Barra Velha, nas cores vermelha, rósea e branca.

cores	vermelha				rósea						branca	
amostra	14v	14v	14v	14v	3r	3r	26r	26r	26r	26r	15b	15b
SiO ₂	0,27	0,08	0,03	0,09	0,11	0,02	0,06	0,10	0,10	0,10	0,09	0,05
TiO ₂	0,07	0,14	0,10	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0,03	0,05	0,02	0,00
Al ₂ O ₃	97,99	96,67	97,77	96,72	98,00	98,19	94,83	97,88	98,56	94,62	98,56	97,31
Cr ₂ O ₃	0,83	0,75	0,55	0,69	0,28	0,29	0,30	0,39	0,44	0,43	0,03	0,04
FeO	0,17	0,12	0,26	0,23	0,65	0,68	0,28	0,35	0,61	0,64	0,69	0,61
MnO	0,04	0,03	0,00	0,00	0,08	0,04	0,06	0,00	0,06	0,00	0,04	0,01
MgO	0,09	0,05	0,04	0,02	0,05	0,06	0,01	0,09	0,11	0,01	0,02	0,02
NiO	0,06	0,00	0,00	0,07	0,00	0,04	0,08	0,06	0,00	0,00	0,07	0,08
CaO	0,03	0,00	0,02	0,04	0,07	0,00	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,00
Na ₂ O	0,02	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05
K ₂ O	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00
BaO	0,00	0,00	0,08	0,00	0,04	0,00	0,06	0,08	0,12	0,00	0,00	0,08
Total	99,55	97,84	98,86	97,90	99,36	99,35	95,84	99,03	100,0	95,89	99,63	98,24
Número de cátions na base de 3.000 átomos de oxigênios												
Si	4	1	0	1	2	0	1	2	2	2	2	1
Ti	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Al	1977	1983	1986	1984	1982	1987	1987	1985	1981	1983	1987	1990
Cr	11	10	7	9	4	4	4	5	6	6	0	0
Fe	2	2	3	3	9	9	4	5	9	9	10	9
Mn	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Mg	2	1	1	0	1	1	0	2	3	0	1	0
Ni	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1
Ca	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Na	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1997	1999	1998	1998	2002	2001	2000	1999	2003	2000	2000	2003

Tabela 7.3 - Resultado de análises químicas (% em peso), realizadas por microsonda eletrônica, em amostras do coríndon de Barra Velha, nas cores cinza e preta.

cores		cinza								preta		
amostra	8c	8c	8c	8c	22c	22c	23c	23c	23c	32p	32p	32p
SiO ₂	0,18	0,04	0,10	0,11	0,03	0,05	0,19	0,14	0,18	0,04	0,18	0,02
TiO ₂	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,03	0,00	0,08	0,17	0,00	0,00	0,05
Al ₂ O ₃	98,25	97,62	95,31	97,88	97,77	97,17	98,46	97,71	97,87	98,13	98,25	98,15
Cr ₂ O ₃	0,22	0,25	0,17	0,18	0,09	0,09	0,11	0,18	0,13	0,00	0,12	0,13
FeO	0,56	0,62	0,50	0,52	0,59	0,65	0,46	0,40	0,55	0,51	0,41	0,46
MnO	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01
MgO	0,09	0,05	0,05	0,04	0,05	0,01	0,06	0,03	0,08	0,00	0,07	0,03
NiO	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05
CaO	0,01	0,01	0,00	0,05	0,06	0,05	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,02	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,00	0,00	0,12	0,16
Total	99,30	98,66	96,20	98,93	98,68	98,08	99,41	98,66	99,00	98,79	99,23	99,06
Número de cátions na base de 3.000 átomos de oxigênios												
Si	3	6	2	2	0	0	3	2	3	1	3	0
Ti	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0
Al	1985	1988	1988	1987	1989	1989	1986	1987	1984	1993	1988	1990
Cr	3	3	2	2	1	1	1	2	1	0	1	2
Fe	3	9	7	3	8	9	7	5	8	7	6	7
Mn	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	2	1	1	1	1	0	2	1	2	0	1	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Na	0	0	0	3	0	0	1	0	0	2	0	0
K	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	1999	2008	2000	2000	2001	2000	2000	1998	2000	2003	1999	2000

Os resultados apresentados na Tabela 7.3, referem-se as análises realizadas no coríndon de Barra Velha com colorações cinza e preta. Observa-se que os cristais cinza apresentam valores de cromo entre 0,09% a 0,25%, e de 0,40% a 0,65% para o ferro, enquanto o coríndon preto mostra valores de 0,00% a 0,13% para o cromo e 0,41% a 0,51% para o ferro. Do mesmo modo que nos exemplares de cor vermelha, rósea e branca apresentados na Tabela 7.2, as colorações cinza e preta contêm algum conteúdo em Si, Ti e Mg, os quais não contribuem para as cores exibidas, sendo que os outros elementos analisados encontram-se presentes em pequenas quantidades.

Observa-se nos resultados das análises químicas, que com exceção de um único caso os fechamentos das análises estão sempre abaixo dos 100% esperados, situando-se entre 95,84% e 99,63%, embora o equipamento tenha sido aferido com padrão de coríndon sintético, onde o fechamento foi de 100%. Como foi visto no Capítulo 6, o coríndon de Barra Velha possui diásporo sob a forma de filmes de espessuras variáveis ao longo de seus planos romboédricos, produzidos pela alteração do hospedeiro. Como esta alteração é gradativa, resulta que o teor de água varia ao longo das amostras, fato registrado nas análises químicas através das variações do conteúdo de água. As análises com fechamento próximo da estequiometria do coríndon, correspondem aos setores menos ou totalmente isentos de alteração. Já as análises onde o fechamento apresentou valores menores de 99% podendo chegar até 86%, correspondem à regiões de coríndon alterado para diásporo.

Os resultados obtidos em microsonda eletrônica apresentados nas Tabelas 7.2 e 7.3, mostraram que os principais elementos menores encontrados são silício, titânio, cromo, ferro e magnésio, com o restante apresentando valores muito baixos ou inexistentes. Neste caso, os elementos considerados cromóforos em potencial do coríndon tais como Ti, Cr, Fe, V, além do Ga, foram determinados também na fluorescência de raios X, em cristais de coloração vermelha, rósea e preta. Os resultados das análises realizadas por microsonda eletrônica e por fluorescência de raios X, permitiram determinar as variações dos diversos elementos encontrados no coríndon de Barra Velha, em cada cor especificamente. A tabela 7.4, reúne os resultados analíticos obtidos, estando dispostos de forma comparativa com os valores encontrados para coríndons de outras localidades geográficas.

Tabela 7.4 – Variação dos elementos-traço (% em peso) de rubis e safiras de Barra Velha, comparados com análises de coríndon de diversas localidades.

Barra Velha					
Cores	Cr₂O₃	V₂O₅	Fe₂O₃	TiO₂	Ga₂O₃
Branco ^(a)	0,03-0,04	0,01	0,61-0,69	0,00-0,02	0,01
Róseo ^(b)	0,13-0,43	0,01	0,12-0,68	0,00-0,08	0,01
Vermelho ^(b)	0,29-0,83	0,01	0,12-0,35	0,01-0,43	0,01-0,02
Cinza ^(a)	0,09-0,25	0,01	0,40-0,65	0,00-0,17	0,01
Preto ^(b)	0,00-0,70	0,01-0,02	0,41-1,51	0,10-0,10	0,01
Outras localidades					
Azul ⁽¹⁾ (Urais)			0,14	0,32	
Vermelho ⁽²⁾ (Vietnam)	0,19-2,01	0,03	0,01-0,04	0,01-0,23	
Vermelho ⁽³⁾ (Quênia)	0,963	0,03	0,01	0,02	
Vermelho ⁽⁴⁾ (Sri Lanka)	0,10	0,02	0,02	0,06	
Vermelho ⁽⁵⁾ (Tailândia)	0,60	0,02	0,03	0,02	

(a) Análise por microsonda eletrônica, (b) por fluorescência de raios X.

(1) - Derivado de pegmatitos (Kane et al. 1991).

(2) - Derivado de mármore (Kane et al. 1991).

(3) - Derivado de granulitos com anfibolito (Key & Ochien 1991).

(4) - Derivado de granulitos (Heilmann & Henn 1986).

(5) – Derivado de basaltos (Hänni & Schmetzer 1991).

Conforme se pode verificar na Tabela 7.4, o coríndon de Barra Velha possui como cromóforos principais o cromo e o ferro, pois o vanádio e o titânio não parecem influenciar na cor dos exemplares examinados. Em cristais de coloração vermelha ou rósea, o conteúdo do cromo varia conforme a intensidade da cor, sendo muito baixo na cor branca. Nos exemplares de cor escura, o conteúdo em cromo e ferro associados parecem ser os responsáveis por estas colorações, pois a cor cinza apresenta praticamente o mesmo conteúdo em ferro, enquanto na preta o teor em cromo é mais elevado. O teor em ferro encontrado nas amostras analisadas é considerado muito alto em relação aos valores encontrados para cristais de outras jazidas do mundo. Esse fato faz com que o coríndon de Barra Velha, embora apresente colorações adequadas para ser utilizado como gema, perca um pouco de sua qualidade por exibir tonalidades escuras e com saturação de cor. No linguajar gemológico esses materiais são referidos com coríndons de cor fechada, sendo adequados para o talhe em cabuchão.

Teores elevados em cromo foram determinados em coríndon vermelho por Grapes & Palmer (1996), os quais constataram valores de até 12%. Nesse caso esses autores utilizaram cristais de coríndon que ocorrem associados a rochas encontradas em morenas glaciais e rios da Nova Zelândia. Watt et al. (1994), encontraram também teores elevados de cromo em coríndon que ocorre como inclusão sólida em diamantes brasileiros procedentes da Lavra de São Luis em Mato Grosso, com teores da ordem de 8,5%. Observa-se de um modo geral, que teores muito elevados de cromo em coríndon ocorrem somente em casos raros e esporádicos, sendo importante salientar que de acordo com Thilo et al. (1955), a partir de teores acima de 12% de cromo, o coríndon começa a exibir tonalidades verdes.

Pelo exposto, observa-se que o coríndon contém teores variados de cromo, que podem alcançar 12% em peso. A média observada, entretanto, oscila em torno de 1% nos exemplares das principais localidades examinadas por vários autores. De acordo com Key & Ochieng (1991), coríndons na variedade rubi, procedentes das jazidas da Tanzânia, possuem teores de cromo variando entre 0,391 a 0,963, sendo considerados como exemplares gemológicos de excelente qualidade. Destaca-se ainda, que esses autores consideram que a fonte do cromo está relacionada com as rochas ultramáficas onde o coríndon está presente.

7.2 ZONEAMENTOS CRISTALINOS

Os zoneamentos exibidos pelo coríndon, de um modo geral são atribuídos por Key & Ochieng (1991) à feições primárias de crescimento, resultantes da difusão principalmente de cromo e titânio. Com o objetivo de se conhecer a causa dos zoneamentos de cor exibidos pelos coríndons de Barra Velha, algumas amostras foram cortadas perpendicularmente ao eixo cristalográfico "c", de modo a salientar as bandas de espessuras variáveis que formam estas feições hexagonais circunscritas. Essas bandas alternam-se em tonalidades claras e escuras desde o centro até a periferia dos cristais. As análises por meio da microsonda eletrônica realizadas nas faixas claras e escuras em cinco amostras zonadas, são apresentadas na Tabela 7.5. Os resultados mostram que em praticamente todos os casos existe um acréscimo, embora pequeno, nos teores de cromo, principalmente, seguido pelo ferro quando são analisadas as bandas escuras em relação as claras. Entretanto, os teores de titânio citados pelos autores acima, não parecem estar influenciando na tonalidade das faixas escuras das amostras analisadas.

7.3 DIÁSPORO

Análises em microsonda eletrônica foram realizada nos planos de partição romboédrica do coríndon de Barra Velha, onde ocorre uma fase microcristalina identificada como diásporo. Segundo Deer et al. (1993), o diásporo é representado pela fórmula $\text{AlO}(\text{OH})\text{-}\alpha$, para diferenciar da boehmita de composição idêntica, notada pela fórmula $\text{AlO}(\text{OH})\text{-}\beta$.

As análises referidas encontram-se na Tabela 7.6, onde observa-se que o diásporo caracteriza-se por conter valores menores de Al_2O_3 em relação ao coríndon, variando entre 85,46% a 87,94% em peso. Outra diferença significativa é a presença de água no diásporo, cujos teores podem alcançar 14% em peso. Os outros elementos presentes exibem teores semelhantes àqueles mostrados pelo coríndon. O ferro apresenta um comportamento particular em relação as demais impurezas, ocorrendo em teores menores no diásporo quando comparado com o coríndon.

Tabela 7.5 - Análises químicas (% em peso) realizadas nas bandas claras e escuras existentes em cristais zonados do corindon de Barra Velha.

amostras	14v		23c		27r		8c		32p	
zoneamento	claro	escuro	claro	escuro	claro	escuro	claro	escuro	claro	escuro
SiO ₂	0,03	0,09	0,19	0,18	0,09	0,10	0,18	0,04	0,10	0,03
TiO ₂	0,10	0,00	0,00	0,17	0,12	0,07	0,00	0,00	0,03	0,08
Al ₂ O ₃	97,77	96,72	98,46	97,87	97,80	97,45	98,25	97,62	95,31	96,26
Cr ₂ O ₃	0,55	0,69	0,11	0,13	0,08	0,13	0,22	0,25	0,17	0,19
FeO	0,26	0,23	0,46	0,55	0,29	0,31	0,56	0,62	0,50	0,55
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	0,06	0,00	0,04
MgO	0,04	0,02	0,06	0,08	0,02	0,06	0,09	0,05	0,05	0,06
NiO	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03
CaO	0,02	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01
Na ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
k ₂ O	0,01	0,03	0,03	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
BaO	0,08	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
Total	98,86	97,90	99,41	99,00	98,43	98,23	99,30	98,66	96,20	97,54
Número de cátions na base de 3.000 átomos de oxigênios										
Si	0	1	3	3	1	1	3	6	2	1
Ti	1	0	0	2	1	1	0	0	0	1
Al	1986	1984	1986	1984	1991	1989	1985	1988	1988	1986
Cr	7	9	1	1	1	2	3	3	2	3
Fe	3	3	7	8	4	4	3	9	7	8
Mn	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0
Mg	1	0	2	2	0	1	2	1	1	2
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Na	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1998	1998	2000	2000	1998	2000	1999	2008	2000	2001

Tabela 7.6 - Análises químicas realizadas nos planos de partição do coríndon de Barra Velha, onde ocorre a fase identificada como diásporo.

amostra	BV26r	BV26r	BV26r	BV32p	BV32p	BV3v	BV15b	BV22c
SiO ₂	0,10	0,14	0,13	0,11	0,16	0,09	0,13	0,09
TiO ₂	0,05	0,00	0,00	0,05	0,03	0,04	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	85,46	87,13	86,84	86,94	85,85	87,50	87,94	86,55
Cr ₂ O ₃	0,26	0,38	0,31	0,00	0,14	0,21	0,04	0,16
FeO	0,15	0,16	0,50	0,14	0,09	0,28	0,26	0,40
MnO	0,06	0,00	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03
MgO	0,00	0,07	0,08	0,07	0,00	0,04	0,07	0,02
NiO	0,06	0,01	0,07	0,02	0,02	0,00	0,00	0,09
CaO	0,00	0,00	0,07	0,00	0,04	0,00	0,04	0,04
Na ₂ O	0,08	0,05	0,05	0,12	0,03	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
BaO	0,00	0,04	0,00	0,14	0,21	0,00	0,00	0,08
total	86,22	88,00	88,08	87,65	86,57	88,21	88,50	87,48
Número de cátions na base de 2.000 átomos de oxigênios								
Si	1	1	1	1	2	1	1	1
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	993	993	991	995	995	994	995	994
Cr	2	3	2	0	1	2	0	1
Fe	1	1	8	1	1	2	2	3
Mn	1	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0	1	1	1	0	1	1	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	2	0	0	0	1	0	0	0
K	0	1	0	2	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1000	1000	1004	1000	1000	1000	999	999

CAPÍTULO 8 INCLUSÕES

Nos últimos anos, as inclusões cristalinas e fluidas presentes nos minerais tem sido intensivamente estudadas visando a determinação de várias características que em muitos casos podem solucionar questões relativas a história genética do cristal, e conseqüentemente dos depósitos. Normalmente as inclusões preservam informações valiosas à respeito do ambiente químico, das condições físicas e dos processos geológicos que atuaram durante a formação do mineral hospedeiro.

Gübelin (1983), classificou as inclusões cristalinas que ocorrem em minerais, segundo um esquema temporal genético onde correlaciona a formação das inclusões com a cristalização do hospedeiro. Esta classificação propõe chamar de protogenéticas as inclusões de natureza sólida preexistentes e que foram incorporadas ao mineral durante sua cristalização. As inclusões formadas durante a cristalização são denominadas de singenéticas ou contemporâneas à geração do hospedeiro. Este segundo grupo pode fornecer informações importantes a respeito da gênese do mineral hospedeiro. As inclusões adquiridas pelo cristal posteriormente à sua formação são denominadas de epigenéticas, sendo representadas por fases incorporadas acidentalmente após a formação do hospedeiro, tais como mudanças polimórficas de fases preexistentes, inclusões fluidas em fraturas cicatrizadas traduzindo eventos posteriores, além de alterações, exsoluções, entre outros.

Quanto às inclusões fluidas, a classificação temporal genética proposta por Roedder (1984) continua sendo a mais aceita, fazendo uso dos termos primárias, secundárias e pseudosecundárias para denominar aquelas aprisionadas durante a cristalização do hospedeiro, ou formadas por eventos posteriores, respectivamente.

Em gemologia, o estudo das inclusões presentes em um mineral-gema é conduzido de forma mais ampla para atender a necessidades do comércio, como a

identificação e a distinção entre as pedras naturais e as sintéticas. Nesse caso, além das cavidades contendo fluidos e as fases minerais presentes, considera-se também como inclusões todas as irregularidades internas tais como zoneamentos de cor, zoneamentos devidos a alterações, geminações, exsoluções, bem como planos de fratura, partição e clivagem (Webster 1975).

A terminologia empregada nos estudos gemológicos, também é particular tais como efeito chuva, bandeiras, nuvens, impressões digitais, etc. Por meio das inclusões, os laboratórios de gemologia devidamente equipados, além de identificar, podem definir o local de procedência da gema. Essa questão é importante principalmente para o rubi, a safira e a esmeralda, os quais constituem juntamente com o diamante, o grupo mais valorizado, no qual muitas vezes o preço de uma gema é influenciado pelo seu local de origem.

Outro ponto que merece ser destacado, é que até poucos anos atrás somente as inclusões sólidas do diamante haviam sido estudadas em profundidade. Para as demais gemas, incluindo o rubi e a safira, as informações disponíveis em literatura, eram descritivas e baseadas em observações visuais ou no máximo microscópicas. Somente em trabalhos publicados recentemente é que iniciou-se a utilização de equipamentos mais refinados, portanto com resultados mais confiáveis.

Normalmente, a identificação das fases sólidas é feita a princípio por microscopia óptica seguida de análises mais precisas como microscopia eletrônica de varredura, microsonda eletrônica e espectroscopia micro Raman. Em alguns casos é possível a remoção da inclusão sólida do hospedeiro, o que permite a utilização da difratometria de raios X.

No caso das inclusões fluidas, estas são primeiramente identificadas por meios ópticos, sendo em seguida analisadas por resfriamento e/ou aquecimento. Com estes procedimentos é possível a obtenção de certas características que podem permitir a determinação das condições mínimas de pressão e temperatura de aprisionamento dos fluidos.

8.1 INCLUSÕES SÓLIDAS

Inclusões sólidas referem-se a cristais diminutos de natureza variada, pré-existentes que foram englobadas pelo hospedeiro durante sua cristalização, ou que se formaram simultaneamente ao mineral, ou ainda, originados por eventos posteriores. A sua identificação e caracterização química é de grande valor pois a paragenese encontrada e a relação cronológica entre os minerais individuais podem, em princípio, ser utilizadas para identificar a fonte característica, os processos envolvendo a formação do hospedeiro e, em alguns casos, os outros fenômenos a que o mineral foi submetido após sua cristalização.

Vários autores vem se dedicando ao estudo das inclusões em minerais, podendo ser citados entre outros, Svisero (1978), Meyer (1987) e Gurney (1989), os quais realizaram trabalhos utilizando-se das fases minerais inclusas, visando informações genéticas a respeito do diamante. Portanto é possível utilizar-se de técnicas similares para o coríndon, que normalmente é privilegiado em termos de inclusões cristalinas.

Pelo fato do coríndon possuir um quimismo muito simples, os elementos presentes fornecem poucas informações a respeito de sua gênese. Além disso, raramente é encontrado intercrescido com outros minerais. Portanto as inclusões sólidas encontradas nos cristais, podem tornar-se fontes importantes de informações a respeito de seu processo gerador (Guo et al. 1996).

Rubis e safiras de diversos locais do mundo, apresentam o rutilo como inclusão mais freqüente. Quando este mineral apresenta-se sob a forma de finíssimas agulhas orientadas é considerado como o principal responsável pelo efeito óptico de asterismo, pois esse efeito não ocorre em cristais isentos de inclusões aciculares. Vários outros minerais, sob a forma de inclusões cristalinas, podem estar presentes no coríndon, tais como apatita, hematita, zircão, mica, boehmita, entre outros. Na Tabela 8.1, procurou-se reunir os minerais encontrados sob forma de inclusões sólidas em coríndon (rubi e safira) citados em bibliografia, referentes aos principais depósitos e ocorrências conhecidos até o presente.

Tabela 8.1 - Inclusões sólidas encontradas em coríndons dos principais depósitos conhecidos na atualidade.

JAZIDA	INCLUSÕES	AUTOR
Mianma	rutilo, zircão, espinélio, coríndon, apatita, esfalerita, titanita, mica, plagioclásio, calcita	Kammerling et al. (1994)
Sri Lanka	zircão, apatita, hematita, rutilo, espinélio, biotita/flogopita, turmalina, pirita, pirrotita, calcita	Gübelin et al. (1992), Heilmann & Henn (1986)
Vietnã	zircão, plagioclásio, pirocloro, columbita, ilmenita, pirrotita, espinélio, cromita, goethita, caulinita	Smith et al. (1995)
Tailândia e Cambodja	boehmita, granada, apatita, pirrotita, plagioclásio, olivina, diopsídio, hornblenda	(Vichit 1978, in Hughes 1990)
Índia	rutilo, turmalina, zircão, hornblenda, mica	Atkinson & Kothavala (1983), Gübelin & Koivula (1986)
Ruanda	rutilo, ilmenita, piroxênio, anfibólio, clorita, mica, espinélio, cheralita	Krzegmnicki et al. (1996)
Madagascar	rutilo, calcita, apatita, feldspato, flogopita, hornblenda, hedenbergita, óxidos de ferro, silicatos de Ca e Al	Schwarz et al. (1996)
Afganistão	rutilo, calcita, flogopita, granada, condrodita, apatita, pirita, espinélio, grafita, hornblenda, dolomita	Boewersox (1985)
Tanzânia	rutilo, espinélio, apatita, piropo, óxidos de ferro	Hänni & Schmetzer (1991)
Austrália	rutilo, hematita, boehmita, plagioclásio, hornblenda, mica	Pecover (1987), Guo et al. (1996)
Colômbia	rutilo, hematita, apatita, coríndon, titanita	Keller et al. (1985)
Rio Coxim, (MT)	rutilo, óxidos diversos	Souza Campos (1960)
Barra Velha, (SC)	biotita, clorita, zircão, rutilo, monazita, coríndon, pirita, óxidos de ferro	Chodur et al. (1996 e 1997b)

Cristais do coríndon de Barra Velha de dimensões, colorações e hábitos variados, foram cortados em lâminas finas as quais depois de montadas em suporte de vidro e polidas, foram selecionadas em microscopia óptica de reflexão. Neste caso, após o mapeamento detalhado das fases sólidas encontradas aflorando na superfície das seções, as amostras foram separadas para análises.

Devido as dimensões extremamente pequenas, as inclusões encontradas foram identificadas primeiramente por microscopia eletrônica de varredura, através de análises semi-quantitativas por dispersão de energia (EDS), com a determinação dos elementos presentes nas fases desconhecidas. Em seguida as inclusões de ocorrência mais freqüente, foram analisadas quantitativamente por dispersão de comprimento de onda (WDS), em microsonda eletrônica. Em inclusões maiores, em torno de 2mm, foi possível a realização de ensaios macroscópicos tais como traço, dureza, reação a ácidos e magnetismo. Ao total, foram examinadas 56 inclusões cristalinas, com a identificação de 8 espécies minerais distintas, a saber: biotita, clorita, rutilo, zircão, monazita, coríndon, pirita e óxido de ferro. As Fotomicrografias 8.1 (A – F), ilustram as inclusões sólidas identificadas nas amostras analisadas.

8.1.1 BIOTITA

Cristais de biotita constituem uma das inclusões cristalinas mais abundantes no coríndon de Barra Velha. Normalmente apresentam-se como livros de cor marrom acastanhada, com hábito lamelar, às vezes com formas pseudo-hexagonais, exibindo clivagem basal micácea típica e dimensões que variam de 10µm até 300µm (Fotomicrografias 8.1-A). Os cristais inclusos de biotita podem ocorrer dispersos pelo coríndon, ou constituindo pequenos agrupamentos, ocupando posições variadas e não apresentando orientação em relação ao hospedeiro. Sob microscopia óptica de transmissão, a biotita apresenta pleocroísmo acentuado, variando do castanho claro ao escuro. Outras propriedades ópticas não puderam ser obtidas, tendo em vista a influência do coríndon hospedeiro.

Fotomicrografias 8.1 - Principais inclusões sólidas encontradas no coríndon de Barra Velha observadas sob microscopia óptica. A) Biotita, B) Clorita, C) Rutilo, D) Zircão, E) Monazita, F) Pirita.

Inclusões de biotita encontradas no coríndon de Barra Velha, foram identificadas por meio de microscopia eletrônica de varredura, onde foi possível a visualização dos planos de clivagem e seu modo de ocorrência em relação ao coríndon, (Micrografia eletrônica 8.1). A composição química obtida por energia dispersiva revelou a presença de O, Mg, Al, Si, K, Ti e Fe (Figura 8.1).

Análises químicas das biotitas encontradas, foram executadas em microsonda eletrônica (WDS) nas amostras BV08, BV10, BV15, BV23 e BV27, e os resultados encontram-se na Tabela 8.2. Esta tabela apresenta ainda, para efeito comparativo, algumas análises de biotitas encontradas em rochas granulíticas examinadas por Bello et al. (1990), além daquelas encontradas em rochas graníticas e xistos micáceos reportadas por Deer et al. (1993).

Através dos resultados químicos obtidos nas inclusões de biotita, notou-se que existe uma grande variação nas porcentagens em peso do TiO_2 , (1,47 a 3,18), correspondendo a 0,169 e 0,371 cátions/6 posições octaédricas, respectivamente, predominando os valores maiores. Segundo Guidotti (1984), cristais de biotita presentes na fácies granulito, podem atingir valores de até 0,65 cátions/6 posições octaédricas para o titânio. Normalmente estes teores elevados de Ti conferem às biotitas, cores castanha avermelhadas mais pronunciadas. De acordo ainda com o mesmo autor, as considerações a respeito do grau de metamorfismo apenas com base na quantidade de titânio da biotita, não são conclusivas. Seria condição necessária sua coexistência com alguma fase titanífera, assegurando sua saturação em titânio, devido as interações dos elementos entre as fases titaníferas em equilíbrio tais como rutilo e ilmenita.

As análises comprovam ainda, que existem pequenas diferenças na composição dos elementos (% em peso) das biotitas estudadas, em relação as citadas na bibliografia. Pode-se perceber que o alumínio apresenta valores pouco superiores, podendo ser devido a influencia do coríndon hospedeiro, enquanto os valores encontrados para o ferro, são pouco inferiores. Quanto aos outros elementos analisados, esses situam-se dentro de valores considerados como normais para esta fase mineral.

Micrografia eletrônica 8.1 - Inclusão de biotita de forma placoidal típica.

Figura 8.1 - Espectro EDS (energia dispersiva) da inclusão de biotita.

Tabela 8.2 – Análises químicas (% em peso) realizadas em microsonda eletrônica, de inclusões de biotita encontradas no coríndon de Barra Velha, comparadas com biotitas de outros locais.

	BV10b	BV15b	BV23a	BV23b	BV23c	1	2	3
SiO ₂	34,56	35,19	35,68	35,33	35,84	34,12	35,38	35,03
TiO ₂	2,26	1,47	3,18	3,13	2,90	2,96	4,68	2,56
Al ₂ O ₃	18,88	18,86	19,35	19,65	19,06	15,70	13,17	20,38
Cr ₂ O ₃	0,15	0,05	0,07	0,07	0,12	Nd		
FeO	16,83	14,88	13,96	14,03	15,58	22,40	27,29	21,49
MnO	0,22	0,13	0,22	0,21	0,12	0,12	0,12	0,02
MgO	10,11	13,65	11,71	11,86	11,20	11,56	5,67	7,11
NiO	0,07	0,04	0,05	0,08	0,06	Nd		
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Nd	0,06	0,17
Na ₂ O	0,28	0,19	0,10	0,12	0,18	0,24		0,96
K ₂ O	9,29	9,07	9,58	9,53	9,16	9,42	9,76	8,62
BaO	0,24	0,16	0,32	0,22	0,23	0,03	0,56	
F						0,03	0,01	
Total	92,89	93,71	94,22	94,22	93,94	97,03	96,70	100,01
Si	5,502	5,338	5,536	5,467	5,551	5,257	5,601	5,339
Al ^{IV}	2,498	2,612	2,464	2,533	2,449	2,743	2,339	2,661
Al ^{VI}	1,042	0,789	1,072	1,048	1,028	0,102	0,059	1,001
Ti	0,271	0,169	0,371	0,364	0,338	0,342	0,557	0,293
Cr	0,019	0,006	0,009	0,009	0,015			
Fe	2,241	1,905	1,811	1,816	2,018	2,881	3,613	2,726
Mn	0,030	0,017	0,029	0,028	0,016	0,015	0,016	0,003
Mg	2,399	3,115	2,708	2,736	2,586	2,650	1,338	1,615
Ca							0,010	0,027
Na	0,086	0,056	0,030	0,036	0,054	0,072		0,282
K	1,887	1,772	1,896	1,881	1,810	1,861	1,971	1,676
Ba	0,015	0,010	0,019	0,013	0,014	0,021	0,035	
Z	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Y	6,002	6,001	6,000	6,001	6,001	5,990	5,583	5,64
X	1,988	1,838	1,945	1,930	1,878	1,954	2,016	1,99

1- biotita de granulito piroxenítico, 2- biotita de granulito norítico - (Bello et al. 1990).

3- biotita de micaxisto com granada e sillimanita – (Deer et al. 1993).

A biotita é freqüente em vários ambientes geológicos, ocorrendo em todos os tipos de rochas ígneas intrusivas, especialmente em rochas graníticas e pegmatíticas, bem como em rochas metamórficas, onde se forma sob grande intervalo de pressão e temperatura.

8.1.2 CLORITA

A clorita ocorre na forma de placas com coloração verde a verde acastanhada, constituindo cristais isolados com dimensões variando de 15µm até 500µm. Foram encontradas várias inclusões de clorita nas seções analisadas, especialmente nas amostras BV10 e BV27, com presença mais restrita em outros exemplares examinados. Ao microscópio petrográfico, a clorita distingue-se da biotita pela sua cor verde, e muitas vezes por apresentar dimensões maiores. Em alguns casos foi possível a observação de pleocroísmo fraco e clivagem perfeita segundo (001).

A identificação inicial desta fase mineral foi obtida por microscopia eletrônica de varredura (Micrografia eletrônica 8.2), onde o espectro acusou a presença dos elementos O, Si, Al, Fe e Mg (Figura 8.2). Análises em microsonda eletrônica revelaram as porcentagens destes elementos na forma de óxidos, conforme mostrado na Tabela 8.3, a qual inclui também uma análise da literatura como termo comparativo. Através dos resultados analíticos, foi possível identificar a fase mineral como pertencente ao grupo da clorita, e com o tratamento dos dados químicos, através do Programa Minpet, foi calculada a fórmula estrutural sendo o mineral classificado como Mg,Fe-clorita.

Segundo Deer et al. (1993), a clorita hipotética $[Mg_6Si_6O_{20}(OH)_4 + Mg_6(OH)_{12}]$ apresenta aproximadamente 10% de água sendo que o Si e o Mg podem ser substituídos pelo Al, e o Fe pelo Mg. As variações na composição química das cloritas são classificadas por critérios arbitrários. Hey (1954) citado pelos autores acima, propõe uma divisão denominando de cloritas oxidadas as que apresentam valores de Fe_2O_3 maiores que 4%, e de não oxidadas as de valores menores.

Micrografia eletrônica 8.2 - Inclusão de clorita placoidal, parcialmente quebrada.

Figura 8.2- Espectro EDS (energia dispersiva) da inclusão de clorita.

Tabela 8.3 - Análises químicas (% em peso) realizadas por microsonda eletrônica, em inclusões de clorita, presentes no corindon de Barra Velha, comparadas com uma análise da literatura.

	BV27b	BV27c	BV27d	BV27e	BV27f	BV27g	BV10a	BV10c	1
SiO ₂	23,28	25,35	29,46	24,74	21,63	24,01	23,31	24,60	25,62
TiO ₂	0,37	0,00	6,60	0,08	5,61	0,08	0,24	0,27	0,88
Al ₂ O ₃	23,38	22,00	20,97	20,84	24,45	23,67	23,49	21,52	21,19
Cr ₂ O ₃	0,04	0,03	0,10	0,00	0,10	0,04	0,14	0,10	Nd
FeO	23,82	22,49	17,57	23,63	21,91	21,02	25,91	25,27	25,43
MnO	0,58	0,38	0,27	0,56	0,47	0,37	0,17	0,15	0,35
MgO	12,63	14,96	11,02	14,97	11,02	14,03	9,52	10,18	15,28
NiO	0,06	0,04	0,01	0,00	0,02	0,01	0,08	0,08	Nd
CaO	0,02	0,09	0,05	0,13	0,82	0,07	1,55	0,15	0,16
Na ₂ O	0,02	0,03	0,08	0,06	0,05	0,02	0,07	0,01	0,00
K ₂ O	0,03	0,08	2,54	0,03	0,25	0,03	0,51	0,13	0,00
BaO	0,00	0,03	0,15	0,00	0,09	0,00	0,00	0,05	Nd
H ₂ O ⁺									10,87
H ₂ O ⁻									0,19
Total	84,22	85,47	88,82	85,04	86,03	83,33	84,98	82,51	99,97
Fórmula estrutural com base em 36 oxigênios (OH)									
Si	5,153	5,468	6,507	5,384	4,813	5,289	5,342	5,677	5,364
Al ^{IV}	2,847	2,532	1,493	2,616	3,187	2,711	2,658	2,323	2,636
Al ^{VI}	3,247	3,057	3,962	2,725	3,220	3,430	3,682	3,526	2,595
Ti	0,062	0,000	1,097	0,013	0,939	0,013	0,041	0,047	0,138
Cr	0,007	0,005	0,017	0,000	0,018	0,007	0,025	0,018	
Fe	4,409	4,057	3,246	4,301	4,077	3,873	4,966	4,877	4,386
Mn	0,109	0,069	0,051	0,103	0,089	0,069	0,033	0,029	0,062
Mg	4,167	4,818	3,629	4,857	3,656	4,608	3,253	3,502	4,767
Ca	0,005	0,021	0,012	0,030	0,196	0,017	0,381	0,037	0,035
Na	0,009	0,013	0,034	0,025	0,022	0,009	0,031	0,004	
K	0,008	0,022	0,716	0,008	0,071	0,008	0,149	0,038	
Ba	0,000	0,003	0,013	0,000	0,008	0,000	0,046	0,005	
Z	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,00
Y	12,023	12,058	12,764	12,062	12,296	12,024	12,607	12,083	11,98
(OH)	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	15,18

1 – Mg,Fe-clorita (Deer et al. 1993).

Quanto aos aspectos genéticos, Deer et al. (1993) cita que as cloritas estão presentes nas rochas metamórficas de baixo grau, sendo o mineral mais característico do fácies xistos verdes. Pode ser ainda um constituinte de rochas eruptivas, ou derivada de alteração hidrotermal de minerais ferromagnesianos primários como piroxênios, anfibólios e biotitas, podendo ser encontrada freqüentemente em sedimentos pelíticos.

8.1.3 ZIRCÃO

Cristais idiomórficos tetragonais, identificados como zircão, ocorrem com muita freqüência sob a forma de inclusões nas amostras do coríndon de Barra Velha. Geralmente apresentam-se com dimensões que variam de 5 μ m a 70 μ m ao longo do eixo maior, e orientações aleatórias, ocorrendo de forma isolada ou em agrupamentos de vários indivíduos.

Ao microscópio petrográfico apresentam-se com relevo elevado devido a seu maior índice de refração em relação ao coríndon. Foram observados em alguns casos, ao redor dos cristais de zircão, a presença de fissuras radiais no coríndon hospedeiro. Os cristais de zircão inclusos aparentam ser incolores, sendo porém as cores de difícil diagnóstico pois confundem-se com as do coríndon.

Sob microscopia eletrônica de varredura, as imagens mostram um alto contraste entre os cristais de zircão e o coríndon hospedeiro, como está ilustrado nas Micrografias eletrônicas 8.3 A – D. Estas imagens são importantes na caracterização desta fase mineral, pois revelam a presença de cristais com morfologias distintas, onde pode-se observar que o zircão ocorre em prismas curtos e longos, apresentando em alguns casos, um certo arredondamento das arestas. Observa-se ainda, a presença de fissuras radiais no coríndon, ao redor dos cristais de zircão. Este efeito, é atribuído por diversos autores tais como Hughes (1990) e Gübelin et al. (1992), à expansão volumétrica sofrida pelo cristal de zircão pelos processos metamíticos. O espectro obtido para as inclusões de zircão indicam apenas a presença de O, Si e Zr, demonstrando ausência de outros elementos associados (Figura 8.3).

Micrografias eletrônicas 8.3 - Imagens de inclusões de zircão no coríndon de Barra Velha . A) cristais em posições diversas mostrando a forma tetragonal característica, B) cristais apresentando subarredondamento, C) cristal de zircão apresentando-se em prisma longo, D) cristais de zircão subarredondados. Observa-se ainda a presença de fissuras radiais no hospedeiro.

Figura 8.3 - Espectros EDS (energia dispersiva) de uma inclusão de zircão.

8.1.4 RUTILO

De ocorrência mais restrita, o rutilo aparece como inclusão no coríndon de Barra Velha, sob a forma de cristais isolados com estrias na superfície, apresentando em alguns casos, a geminação em joelho característica. Foram encontrados indivíduos com dimensões de 5 a 30 μ m, de coloração vermelha profunda quando em seções finas, ou amareladas quando em cristais mais espessos.

O rutilo foi facilmente identificado sob microscopia óptica, principalmente pela sua cor vermelha, hábito prismático tetragonal alongado, relevo alto e geminação em joelho. Alguns cristais foram identificados também sob microscopia eletrônica de varredura (Micrografia eletrônica 8.4), onde mostram alto contraste na imagem, devido a presença do titânio em sua composição. Nestas imagens pode-se observar que o rutilo exibe em muitos casos a geminação característica em joelho, ocupando posições aleatórias nos cristais de coríndon. O espectro obtido para esta fase mineral registra a presença de O e Ti (Figura 8.4).

Trabalhos sobre coríndons de jazidas de outros locais do mundo, descrevem a presença de inclusões de rutilo sob a forma de cristais isolados ou de várias agulhas microscópicas, as quais conferem às pedras lapidadas o efeito óptico especial de asterismo. No coríndon de Barra Velha, as inclusões de rutilo encontradas referem-se somente a cristais isolados, não tendo sido constatada a presença desta fase mineral sob a forma de agulhas em nenhuma das amostras analisadas.

8.1.5 MONAZITA

A monazita é uma inclusão rara no coríndon de Barra Velha. Ao microscópio óptico apresenta-se na forma de cristais com dimensões de até 75 μ m, exibindo coloração castanha. Os cristais apesar de idiomorfos exibem setores arredondados sugerindo tratar-se de uma fase englobada pelo coríndon.

As inclusões de monazita foram identificadas por microscopia eletrônica de varredura, onde as imagens dessa fase mineral mostraram-se em tons muito claros, devido a sua composição química (Micrografia eletrônica 8.5). Como se pode observar nessa micrografia, as fraturas presentes no coríndon afetaram também a monazita. O

Micrografia eletrônica 8.4 - Inclusão de rutilo geminado segundo o padrão em joelho.

Figura 8.4 - Espectro EDS da inclusão de rutilo.

Micrografia eletrônica 8.5 - Inclusão de monazita subidiomórfica destacando-se o arredondamento de alguns setores do cristal.

Figura 8.5 - Espectro EDS (energia dispersiva) da inclusão de monazita.

espectro apresentado na Figura 8.5 obtido por EDS, indica a presença dos elementos O, P, Th, Ca, La, Ce e Nd, demonstrando trata-se de um fosfato complexo de terras raras, pertencente ao grupo da monazita. Nesse sentido é importante ressaltar que trabalhos realizados por Hänni (1986) e Krzemnicki et al. (1996), em coríndons da Tanzânia e Ruanda respectivamente, citam a ocorrência de minerais do grupo da monazita como inclusões encontradas nos cristais analisados. No caso de Ruanda, a monazita foi classificada como Cheralita-Ce.

8.1.6 CORÍNDON

Cristais idiomórficos de coríndon foram observados no microscópio óptico em seções claras e transparentes no interior do coríndon de Barra Velha. Estas inclusões apresentam coloração vermelha mais intensa que a do hospedeiro, dimensões em torno de 20µm e relevo baixíssimo dificultando sua observação. O contorno dos cristais que ocasionalmente encontram-se na superfície das seções, puderam ser melhor observados sob luz refletida, porém não permitiram sua identificação. Sob microscopia eletrônica de varredura, as inclusões tornaram-se invisíveis por possuir a mesma composição do hospedeiro. Porém, análises realizadas na microsonda eletrônica revelaram tratar-se de inclusões cristalinas de coríndon. A Tabela 8.4, traz o resultado de duas destas análises, onde pode-se perceber que as inclusões microscópicas possuem composição química idêntica a do hospedeiro, porém apresentando grau de pureza mais elevado e ausência de alteração. O fato do coríndon de Barra Velha possuir inclusões do próprio coríndon, pode indicar mais de uma fase de geração dessa fase mineral.

8.1.7 OUTRAS INCLUSÕES

Outras fases minerais foram observadas nas seções do coríndon de Barra Velha, porém não foram submetidas à análises mais refinadas, por trata-se de materiais secundários. Análises macroscópicas realizadas após remoção do hospedeiro, indicam tratar-se de pirita, óxidos de ferro e minerais de argila, principalmente.

A pirita exibe brilho metálico de cor dourada (latão), ausência de clivagem e traço preto. Os óxidos de ferro apresentam-se com colorações

Tabela 8.4 - Análises químicas (% em peso) de inclusões de coríndon presentes no coríndon de Barra Velha, obtidas por microsonda eletrônica.

amostra	8c	32p
análise	14	29
SiO ₂	0,04	0,17
TiO ₂	0,04	0,03
Al ₂ O ₃	98,89	99,25
Cr ₂ O ₃	0,15	0,05
FeO	0,18	0,58
MnO	0,00	0,00
MgO	0,13	0,02
NiO	0,02	0,06
CaO	0,01	0,00
Na ₂ O	0,01	0,00
K ₂ O	0,00	0,04
BaO	0,12	0,08
total	99,60	100,29
Número de cátions na base de 3.000 oxigênios		
Si	1	3
Ti	0	0
Al	1991	1986
Cr	2	1
Fe	3	8
Mn	0	0
Mg	3	1
Ni	0	0
Ca	0	0
Na	0	1
K	0	0
Ba	0	0
Total	2000	2000

Avermelhadas e dureza baixa, fragmentando-se facilmente. Cavidades e canais próximos à superfície dos cristais contêm em geral cristais de pirita, minerais de argila e outras impurezas adquiridas nos aluviões.

8.2 INCLUSÕES FLUIDAS

Pequenas proporções de fluidos podem ficar retidos nos minerais durante sua cristalização, recristalização ou processos de cicatrização de fraturas de diversas gerações, constituindo as inclusões fluidas. Esses fluidos são aprisionados em irregularidades da superfície de crescimento dos minerais, que por razões diversas, nem sempre se desenvolvem de maneira uniforme. Sua origem pode estar relacionada a eventos metamórficos, magmáticos, meteóricos ou hidrotermais ou, ainda, à sobreposição de um ou mais desses processos.

Os fluidos podem ter as mais diversas composições, sendo normalmente constituídos por CO_2 , CH_4 , H_2S , S_2 , N_2 , SO_2 , CO , H_2O e outros voláteis, em combinações simples ou complexas. Na grande maioria das inclusões fluidas observa-se, normalmente, a presença de um líquido de baixa viscosidade e de uma bolha de gás (CO_2 , CH_4 , etc) ou vapor (H_2O). Nas fases líquidas predomina a fase H_2O , com quantidades variáveis de solutos, como Na, K, Ca, Mg, Cl e SO_4 . Também não é incomum a presença de CO_2 , que, quando ocorre junto à água, constitui uma fase líquida imiscível. Podem ainda estar presentes fases sólidas, constituídas por cloretos de sódio, de potássio, de cálcio, de magnésio, de ferro, sulfatos, carbonatos, óxidos e alguns silicatos (Roedder 1984, Fuzikawa 1985). Dependendo do número de fases presentes, as inclusões são classificadas como monofásicas, bifásicas, trifásicas ou polifásicas.

Quanto à origem, as inclusões fluidas podem ser classificadas em primárias, secundárias ou pseudosecundárias. As primárias são aquelas aprisionadas durante o crescimento do mineral hospedeiro, enquanto as secundárias relacionam-se a eventos posteriores à sua cristalização, tais como processos deformacionais e de cicatrização de fraturas. Finalmente, são denominadas inclusões pseudosecundárias, aquelas que se desenvolvem pelos processos de cicatrização de fraturas originadas

ainda durante a cristalização do mineral (Roedder 1984, Shepherd et al. 1985, Fuzikawa 1985, entre outros).

O estudo das inclusões fluidas possui grande interesse na atualidade pois permite o estabelecimento das salinidades, densidades e composições dos fluidos mineralizantes. Pode ainda auxiliar na determinação das temperaturas e pressões reinantes durante a cristalização ou recristalização do mineral hospedeiro e, também, fornecer informações a respeito das modificações dessas condições físico-químicas por eventos metamórficos e tectônicos posteriores.

8.2.1 DESCRIÇÃO DAS INCLUSÕES FLUIDAS

Cerca de 17 amostras de coríndon da região de Barra Velha foram submetidas ao estudo de suas inclusões fluidas. Através da microscopia, inicialmente foi realizada a petrografia detalhada das inclusões, com o estabelecimento de uma possível cronologia relativa, tendo sido selecionadas para as análises microtermométricas aquelas com ausência de feições indicativas de terem sofrido processos de escape de fluidos e estrangulamento, os quais modificam suas características originais.

O estudo óptico dos cristais de coríndon de Barra Velha revelou a presença de inclusões fluidas primárias, secundárias e pseudosecundárias, com dimensões variáveis ($< 5\mu\text{m}$ - $30\mu\text{m}$, ou mesmo maiores), constituídas essencialmente por CO_2 , podendo conter fases sólidas. Em raros casos foi observada uma película fina de água envolvendo a fase CO_2 . Muitas inclusões exibem seccionamentos paralelos às direções cristalográficas, parecendo subdivididas em duas ou mais partes. Essas feições são, em alguns casos, decorrentes da presença de um sólido prismático birrefringente, tendo sido caracterizado como rutilo através da espectroscopia micro Raman. Outras vezes, resultam de reentrâncias relacionadas à própria forma da cavidade (Fotomicrografias 8.2 A-F, 8.3 A-D e 8.4 E). Observa-se, ainda, que as inclusões são geralmente orientadas segundo uma das direções cristalográficas, enquanto que os seccionamentos são paralelos às outras duas (Fotomicrografias 8.3 C-D).

Fotomicrografias 8.2 - Inclusões fluidas primárias, essencialmente cabônicas, presentes no coríndon de Barra Velha. Observam-se seccionamentos ora decorrentes da própria forma da cavidade ora da presença de um sólido birrefringente. (A) inclusão fluida isolada, de contôro hexagonal, contendo fases sólidas ocasionais. (B) inclusão fluida isolada, contendo fases sólidas, com morfologia de cristal negativo (forma hexagonal alongada orientada segundo uma das direções cristalográficas do coríndon). Na mesma foto observa-se ainda inclusões alongadas dispostas paralelamente a uma das direções cristalográficas, bem como agulhas em três direções. (C e D) agrupamentos de inclusões fluidas com morfologia tendendo a cristal negativo com contornos aproximadamente hexagonais. (E e F) inclusão fluida semelhante as anteriores, com feições sugestivas de seccionamento, sendo um deles decorrente da própria forma da cavidade e outro da presença de um sólido birrefringente, como pode ser observado em (F), onde a fotomicrografia foi obtida com polarizadores cruzados, observa-se ainda uma inclusão cristalina euédrica.

constituindo agrupamentos; possuem, geralmente, formas de cristais negativos, mostrando os contornos hexagonais do hospedeiro (Fotomicrografias 8.2 A-F).

O segundo, caracteriza-se por agrupamentos de inclusões com morfologias quase sempre regulares (contornos hexagonais e retangulares), apresentando um paralelismo aos planos romboédricos e basal (Fotomicrografias 8.3 A-D). Esses dois grupos possuem distribuição e modo de ocorrência característicos de inclusões primárias. O terceiro grupo é representado por inclusões pseudo-secundárias e secundárias de diversas gerações, com morfologias irregulares ou em formas de cristais negativos de contornos retangulares ou, ainda, constituindo canais alongados, muitas vezes com feições representativas de processos de "necking down" (Fotomicrografias 8.4 A-F). Encontram-se dispostas ao longo de planos de fraturas cicatrizadas, algumas vezes paralelos a uma das direções cristalográficas do mineral. Localmente destacam-se agrupamentos de inclusões, normalmente alongadas, dispostas em alinhamentos relativamente pronunciados que algumas vezes parecem sugerir ocorrerem ao longo de fraturas bastante antigas, com intenso grau de cicatrização (Fotomicrografias 8.4 C).

8.2.2 DADOS MICROTERMOMÉTRICOS

Os dados discutidos abaixo referem-se ao estudo microtermométrico de cerca de 417 inclusões fluidas contidas nas 17 amostras de coríndon de Barra Velha.

Em todos os casos, as temperaturas de fusão do CO_2 variaram de $-58,6$ a $-56,6^\circ\text{C}$ (Figura 8.6), indicando, algumas vezes, a ocorrência de outros componentes associados. No entanto, essas temperaturas apresentaram maior quantidade de valores situados entre $-57,6$ e $-56,6^\circ\text{C}$, como pode ser observado na Figura 8.6, indicando que a quantidade das impurezas associadas ao CO_2 é relativamente pequena ($< 1\%$ de voláteis adicionais). Portanto, para a interpretação dos dados, pode-se considerar tratar-se de um sistema carbônico praticamente puro, embora sejam comuns em fluidos naturais a presença de CH_4 , N_2 , entre outros. Estudos realizados através da espectroscopia micro Raman em inclusões fluidas de várias amostras apenas detectaram a presença do CO_2 (Figuras 8.7 A, B) não permitindo a determinação dos componentes voláteis adicionais devido a ocorrência de uma forte

Fotomicrografias 8.3 - Agrupamento de inclusões fluidas essencialmente carbônicas com formas alongadas, dispostas segundo uma das direções cristalográficas do coríndon hospedeiro ou distribuídas aleatoriamente. (A e B) grupo de inclusões alongadas com seccionamentos ora dado pela presença de um mineral birrefringente ou representando a própria forma da cavidade. (C) inclusões alongadas, orientadas segundo as direções cristalográficas do mineral, apresentando aparente seccionamento. Observa-se ainda inclusões aciculares orientadas segundo direções cristalográficas do coríndon. (D) grupo de inclusões fluidas alongadas, tendendo a cristais negativos, orientadas segundo uma das direções cristalográficas do mineral. Os seccionamentos dispõem-se paralelamente às outras duas direções que são evidenciadas pelas agulhas orientadas.

Fotomicrografias 8.4 - Inclusões fluidas secundárias e pseudo-secundárias dispostas em planos de fraturas cicatrizadas. (A) minúsculas inclusões localizadas segundo um plano de fratura cicatrizada, sugerindo fratura conchoidal. (B) inclusões fluidas alongadas e de pequenas dimensões ($< 3 \mu m$) distribuídas segundo vários planos de fratura. (C) alinhamento pronunciado de inclusões fluidas alongadas, dispostas ao longo de um plano de fratura cicatrizada, provavelmente bastante antiga. Observa-se ainda, fraturas mais recentes em outras direções contendo inclusões menores. (D) grupo de inclusões fluidas com formas mais arredondadas dispostas em um plano de fratura cicatrizada. (E) agrupamento de inclusões com morfologias variáveis e algumas feições em necking down. (F) detalhe de uma inclusão fluida com feição característica de necking down.

Figura 8.6 - Alguns histogramas representativos das temperaturas de fusão do CO₂ para as inclusões fluidas do coríndon de Barra Velha. Observa-se que na maior parte dos casos os valores são inferiores a -56,6 °C (ponto triplo do CO₂ puro), indicando a presença de pequenas proporções de outros componentes voláteis associados.

Figura 8.7 – Espectros micro Raman de inclusões fluidas presentes no coríndon de Barra Velha. (A) Destaque dos principais picos referentes ao coríndon (751, 843, 920 cm^{-1}). (B) Destaque dos picos correspondentes ao CO_2 (1280 e 1384 cm^{-1}).

luminescência sempre presente durante as análises do mineral hospedeiro, a qual pode ser observada na Figura 8.7, pelo acentuado ruído de fundo ("background") e pela ascensão da curva acima de 1600 cm^{-1} .

As temperaturas de homogeneização do CO_2 apresentaram intensas variações, tanto no caso das inclusões com características de primárias como naquelas dispostas em alinhamentos mais pronunciados, talvez resultantes de fraturas antigas. A homogeneização ocorreu invariavelmente para o estado líquido e, de modo geral, os valores obtidos situaram-se essencialmente entre -25 e $+25^\circ\text{C}$ (Figuras 8.8 e 8.9), sendo a dispersão provavelmente indicativa de modificações posteriores ao aprisionamento. Observa-se entretanto, que para cada amostra individual os valores de ThCO_2 são relativamente constantes em inclusões de um dado alinhamento, embora exista algum espalhamento quando são considerados diferentes planos de inclusões do grupo 3. Por outro lado, em cada agrupamento de inclusões aparentemente primárias os valores dessa temperatura já apresentam intensas variações.

Os valores ao redor de -25 e -20°C , indicam densidades de CO_2 de $1,055$ e $1,032\text{g/cm}^3$, respectivamente, sendo essas inclusões provavelmente as mais representativas dos fluidos originais. Os histogramas das Figuras 8.8 e 8.9 mostram, ainda, que as ThCO_2 apresentaram outros intervalos de maiores concentrações ao redor de -12 , -2 , $+5$, $+10$, $+16$ e $+24^\circ\text{C}$, com densidades de CO_2 em torno de $0,994$, $0,940$, $0,903$, $0,869$, $0,813$, $0,712\text{g/cm}^3$, respectivamente, sugerindo que houve um sucessivo decréscimo de valores, possivelmente relacionado aos eventos posteriores à cristalização do coríndon. Para cada um desses valores de densidade foram construídas as respectivas isócoras (Figura 8.10) utilizando-se as equações de estado, relativas ao CO_2 puro, presentes no programa "FLINCOR" (Brown 1989), específico para cálculo das propriedades termodinâmicas das inclusões fluidas. Deve ainda ser enfatizado que uma única medida de ThCO_2 forneceu valor de -41°C , o qual seria indicativo de CO_2 com densidade mais elevada ($d\text{CO}_2 = 1,121\text{ g/cm}^3$).

Figura 8.8 - Alguns histogramas representativos das ThCO₂ de inclusões aparentemente primárias (valores de -25 a +25 °C aproximadamente) e daquelas dispostas em trilhas, com picos característicos em temperaturas mais elevadas.

Figura 8.9 - Histogramas representativos das ThCO_2 de inclusões aparentemente primárias, cujos valores apresentam um maior espalhamento (-41 a +25 °C) e daquelas dispostas em trilhas que apresentaram maiores freqüências de medidas em temperaturas mais elevadas.

8.2.3 CONDIÇÕES DE APRISIONAMENTO

Como foi discutido no capítulo 4, a região é representada por gnaisses anfibolíticos e granulíticos de alto grau metamórfico constituindo parte do Complexo Granulítico de Santa Catarina (Hartmann et al. 1979) ou Domínio Tectônico Luís Alves (Siga Jr. 1995), sendo caracterizada por eventos polimetamórficos. Hartmann (1988), a partir de considerações paragenéticas e da aplicação do geotermometro de Wells (1977), determinou que o metamorfismo granulítico ocorreu em temperaturas situadas ao redor de 800°C, para uma pressão estipulada em 7 Kb. No entanto, considerou a pressão de 6,5 kb, obtida por Girardi & Ulbrich (1980) em áreas contíguas, como um valor mais representativo. Esses resultados encontram-se também na Figura 8.10, junto às isócoras representativas das densidades de CO₂ de 1,055 (1), 1,032 (2), 0,994 (3), 0,940 (4), 0,903 (5) e 0,813 (6) g/cm³ obtidas a partir dos estudos microtermométricos. As isócoras 1 e 2, de maior densidade, cruzam o campo de pressões e temperaturas citadas acima, sugerindo que seu aprisionamento e, portanto, a cristalização do coríndon, são compatíveis com condições de metamorfismo de fácies granulito citadas acima. A inclusão que apresentou ThCO₂ de -41°C, (dCO₂ = 1,121g/cm³) seria indicativa de maiores pressões. Entretanto, a isócora representativa dessa densidade não foi considerada por se tratar de um único valor num universo de 417 medidas.

Os alinhamentos e agrupamentos de inclusões menos densas (isócoras 3, 4, 5 e 6), por outro lado, são sugestivos da existência de reequilíbrios que ocorreram após o aprisionamento, demonstrando a complexa história de resfriamento e soerguimento posterior ao evento granulítico.

Figura 8.10 - Isócoras representativas das inclusões fluidas primárias (1 e 2), e de algumas secundárias e pseudo-secundárias (3, 4, 5 e 6) do coríndon de Barra Velha. O campo hachurado representa as condições de P e T determinadas por Hartmann (1988).

CAPÍTULO 9 ASPECTOS GENÉTICOS

O coríndon é um mineral com características especiais não somente por seu valor comercial ou por sua beleza, mas também por suas propriedades e características de formação, pois as associações litológicas das diversas províncias produtoras demonstram que esse mineral é formado sob condições especiais e pouco freqüentes.

Hunstiger (1989) chama atenção para o fato de que apesar do alumínio ocupar a terceira posição (8,1%) em termos de abundância dos elementos na crosta terrestre, abaixo apenas do oxigênio (46,6%) e do silício (27,7%), depósitos econômicos de coríndon e especificamente de rubi, são relativamente raros em todo o mundo. O acúmulo relativo de Al_2O_3 comparado ao SiO_2 é o principal requisito para a formação do coríndon. Além disso, para a formação do rubi e safira existe a necessidade também de ambientes contendo certos conteúdos em cromo, ferro e titânio que são os cromóforos dessas variedades gemológicas.

Dados bibliográficos revelam que o coríndon origina-se de várias maneiras, podendo existir em quantidades razoáveis em pegmatitos ou em outras rochas tais como nefelina sienitos, xenólitos ricos em alumina presentes em rochas eruptivas, ou como produto de metamorfismo de contato ou regional, sendo o ambiente de rochas aluminosas o requisito básico para sua formação.

Apesar de ocorrer na forma de depósitos primários relacionados à essas rochas, o coríndon é lavrado principalmente a partir de depósitos secundários, incluindo aqui jazidas coluviais e aluviais.

9.1 DISTRIBUIÇÃO DO CORÍNDON NO MUNDO

Vários autores estudaram a gênese de depósitos primários e secundários de coríndon das principais localidades do mundo, sendo que a síntese desses resultados está apresentada na Tabela 9.1. Observa-se que a maioria dos grandes depósitos são secundários ou aluviais, e que somente em alguns locais como na Índia, nos Estados Unidos e no Afeganistão, o mineral pode ser lavrado diretamente na rocha.

Apesar de existirem numerosas localidades em todo o mundo produzindo rubis e safiras, apenas os principais depósitos foram descritos no tocante à sua geologia e caracterização mineralógica do material produzido. Algumas ocorrências não são exploradas sistematicamente, ou foram encontradas mais recentemente como é o caso de alguns depósitos recém descobertos no Vietnã e Cambodja.

De acordo com o mapa de ocorrências mundiais da Figura 9.1, os principais países produtores de rubi e safira estão localizados principalmente nos continentes asiático e africano. Ocorrem também algumas jazidas importantes na Austrália e no continente americano, enquanto a Europa, embora possua algumas pequenas ocorrências, não se destaca como centro produtor de coríndon gemológico.

Mianma: a antiga Birmânia possui depósitos conhecidos há séculos por produzir os melhores rubis do mundo em termos de cor e transparência. As principais jazidas produtoras estão situadas nas proximidades da localidade de Mogok. Estudos realizados por (Brown 1887 e Iyer 1953, In Hughes 1990) identificaram cinco unidades litológicas básicas incluindo rochas graníticas, gnaisses e xistos, intrusivas ultramáficas, mármore e aluviões recentes. O rubi é encontrado principalmente nos mármore, em seus contatos com as rochas gnáissicas e com as intrusões graníticas, enquanto as safiras estão presentes nos veios pegmatíticos.

Tailândia: Os depósitos eluviais e aluviais contendo coríndon nesta região, são produtos da alteração de basaltos pleistocênicos (Vichit 1978, in Hughes 1990). Segundo estes autores, o coríndon foi formado em grandes profundidades por metamorfismo e/ou metassomatismo, sendo trazido a superfície pelos derrames basálticos. O mineral é encontrado tanto na rocha basáltica alterada, bem como em

Tabela 9.1 - Características geológicas dos principais depósitos de coríndon conhecidos na atualidade. Extraído e modificado de Hughes (1990).

Localização	Tipo de Jazida	Fonte primária	Material produzido	Referências
Mianma (Mogok)	aluvial	mármores pegmatitos	rubi e safiras de várias cores	Iyer (1953)*
Tailândia (Chanthaburi) Cambodja (Pailin)	aluvial eluvial	basaltos alcalinos	rubi e safiras azul, amarela, verde e preta	Vichit (1978)*
Sri Lanka (vários locais)	aluvial	granulitos gnaisses pegmatitos	rubi e safiras de todas as cores	Heilmann & Henn (1986)
Índia (Kashmir)	in-situ aluvial	pegmatitos	safira azul, raramente rosa	Atkinson & Kothavala (1983)
Austrália (Queensland e New South Wales)	aluvial eluvial	tufos basálticos	safiras azul, verde, amarela e preta astérica	Pecover (1987)
Afganistão (Jagdalek)	in-situ aluvial	mármores	rubi	Bowersox (1985)
Tanzânia (Umba Valley)	aluvial eluvial	mármores e pegmatitos	todas as variedades	Bridges (1982)
Quênia (Mangari)	in-situ aluvial	ultramáficas	rubi	Bridges (1982)
EUA (Yogo Gulch)	in-situ aluvial eluvial	dique lamprofítico	safira, azul e lilás	Brown (1982)
Nigéria (Kaduna)	aluvial	basaltos alcalinos	safiras, azul, verde, amarela e bicolores (verde/amarela e azul/amarela)	Kiefert & Schmetzer (1987)
EUA (Carolina do Norte)	in-situ aluvial	rochas básicas magnesianas	rubi e safira de várias cores	Pratt (1933)*
Paquistão (Kunza Valley)	in-situ	mármores dolomíticos	rubi e safira lilás	Gübelin (1982)*
China (Mingxi, Penglai e Sichuan)	aluvial	basaltos alcalinos	safira azul, verde e bicolor	Keller & Keller (1986)* Keller & Fuquan (1986)*
Colômbia (Mercaderes)	aluvial	basaltos alcalinos	rubi e safira azul, verde, amarelo e rosa	Keller et al. (1985)
Zimbábue (Barauta)	in-situ aluvial	pegmatitos	safira azul	Sweeney (1971)*
Malawi (Chimwadzulu Hill)	in-situ aluvial	anfibolito epidotizado	todas as variedades	Rutland (1969)*
Brasil (Rio Coxim), MT	aluvial	desconhecida	safira azul	Eppler (1964), Souza Campos (1960)

* In Hughes (1990)

Figura 9.1 - Localização dos principais depósitos produtores de corindon de atualidade, de acordo com Hughes (1990): Mianma(1), Tailândia(2), Sri Lanka(3), Afeganistão(4), Austrália(5), Paquistão(6), Tanzânia(7), Quênia(8), Nigéria(9), Estados Unidos(10), EUA Carolina do Norte(11), Índia(12), China(13), Colômbia(14), Rio Coxim (Brasil)(15), Barra Velha, Malawi(16), Zimbábue(17). Pode-se observar que nos continentes asiático e africano concentram-se a maior parte das jazidas as quais respondem por grande parte da produção mundial.

solos de cobertura, sendo a presença do mesmo nos basaltos inalterados bastante rara. Nestes depósitos além do rubi, são encontradas safira verde, amarela e preta, com esta última dotada de asterismo.

Sri Lanka: o contexto litológico destas ilhas é representado por rochas metamórficas tais como quartzitos, gnaisses, charnoquitos, migmatitos e granulitos. De um modo geral, os depósitos de coríndon do Sri Lanka estão distribuídos em diversas localidades, onde cada um tem características distintas. Maesschalck & Oen (1989), descrevem a ocorrência de safiras em granulitos feldspáticos, rochas sillimaníticas, pegmatitos, margas em contato com sienito, biotita sillimanita gnaisses, skarnito, e gnaisses granatíferos. O estudo das inclusões sólidas e fluidas desenvolvido pelos autores citados acima, demonstrou que o coríndon do Sri Lanka tem sua origem correlacionada com rochas metamórficas de alto grau como gnaisses e granulitos. O coríndon do Sri Lanka é formado em terrenos metamórficos arqueanos de alto grau, onde as rochas foram originalmente enriquecidas em alumínio. De acordo com Munasinghe & Dissanayake (1981), o coríndon é tipicamente encontrado em rochas ricas em alumínio onde pode ter sido formado por: 1) metamorfismo de rochas aluminosas, 2) por efeito do fácies granulito sobre rochas ultramáficas, anortositos e xistos biotíticos, 3) dessilicificação de pegmatitos intrusivos que cortam xistos tremolíticos e hornblendíticos, 4) metamorfismo de anfibolitos, xistos biotíticos e serpentinitos. Dahanayake & Ranasinghe (1981), estudaram os minerais pesados de sedimentos e rochas coletadas em bacias de drenagem dos depósitos do Sri Lanka e concluíram que o coríndon nestas áreas está associado a gnaisses granatíferos e granulíticos formados sob condições de 700-800°C e 6Kb.

Índia: possui depósitos de coríndon famosos há séculos por produzir rubi e safiras de excelente qualidade, principalmente na região de Kashmir. As safiras desta região ocorrem em pegmatitos feldspáticos e os sedimentos derivados destas rochas situam-se a 250 metros de distância da fonte primária, onde são lavrados facilmente por métodos tradicionais. Os cristais provenientes destas jazidas apresentam hábito piramidal simples com pequenos planos basais, variando de transparentes a translúcidos, apresentando superfícies foscas e ásperas.

Afeganistão: possui várias jazidas de coríndon, sendo que a principal está localizada nas proximidades de Jagdalek. Neste local são encontrados cristais "in situ"

em calcários dolomíticos metamorfizados e cortados por intrusões graníticas do Oligoceno. Normalmente os cristais provenientes destas rochas exibem uma crosta de matriz calcária revestindo sua superfície, evidenciando sua rocha fonte.

Tanzânia: na principal área mineralizada denominada de “Umba Valley”, o coríndon ocorre associado a cascalhos aluvionares derivados de calcários ou veios pegmatíticos, sendo que nesses últimos, ocorrem ainda vermiculita, actinolita e clorita. O contexto litológico da região é representado por granulitos, gnaisses granatíferos, biotita gnaiss e calcários cristalinos contendo flogopita e grafita. O material produzido consiste de rubi de boa qualidade, além de safiras de cores azul, verde, róseo, amarelo e lilás.

Quênia: segundo Bridges (1982), o coríndon encontrado no distrito de Mangari, ocorre “in situ” ou em cascalhos eluviais e aluviais derivados de veios dessilicificados que cortam rochas ultramáficas alteradas e serpentinizadas, ou ainda, pode ser encontrado próximo às zonas de contato de um corpo serpentizado associado com segregações pegmatóides dessilicificadas. Na região de Mangari, ocorre somente a variedade rubi em duas minas exploradas sobre um mesmo corpo de rocha ultrabásica alterada; porém, o material destes dois locais possui características muito diferentes. Normalmente o rubi do Quênia exibe coloração vermelho escuro a rosa muito escuro, ocorrendo acompanhado de micas e turmalina verde.

Nigéria: seus depósitos mais importantes estão localizados em Kaduna, onde safiras azuis, verdes, amarelas e bicolores (amarelo/verde ou amarelo/azul), são encontradas em depósitos secundários associados a basaltos alcalinos (Kiefert & Schmetzer 1987). Algumas safiras produzidas nestas jazidas possuem características muito similares às mineradas na Tailândia e Austrália.

Austrália: vem destacando-se como centro produtor, onde seus depósitos mais importantes estão localizados na região central do país, denominada “New South Wales”. Nestes locais, a geologia é representada por vulcanismo basáltico de idades cenozóica-mesozóica e os depósitos são encontrados em rios que drenam esta região. A princípio acreditava-se que os basaltos eram a rocha fonte do coríndon; porém, trabalhos mais recentes relacionam a gênese com os tufos basálticos (Pecover 1987). Embora intensamente alterados, os tufos são comuns e consistem de

clastos grossos ou finos, de coloração vermelha, marrom, cinza e branco. Aparentemente, o coríndon foi formado em profundidade e posteriormente carreado por rochas tufáceas, as quais foram mais tarde recobertas pelas lavas basálticas. Não são encontrados exemplares de coríndon “in-situ” nos tufo, mas sim junto ao basalto alterado; isto se deve ao fato do tufo se intemperizar muito mais facilmente que o basalto. De acordo com Coenraads (1992), o coríndon desta região está associado a zircão, espinélio, magnetita e ilmenita, principalmente. Os cristais de rubi e safira caracterizam-se por apresentar superfícies de reabsorção ou corrosão, marcas de impacto e marcas negativas. Sutherland & Coenraads (1996) estudando aluviões derivados de província basáltica terciária de Barrington, os quais contem rubi, safira, espinélio e safirina, afirmam que a origem precisa do coríndon é duvidosa em relação aos basaltos como rocha fonte. Assim sendo, continua incerta a origem desses depósitos.

Estados Unidos: possui jazidas de coríndon situadas em Yogo Gulch em Montana e Carolina do Norte. A de Yogo Gulch foi estudada por Brown (1982), o qual descreve que as safiras provêm de um dique ígneo máfico de composição lamprofírica, que possui 5,6km de extensão com espessuras que variam de 1,0 a 2,0m. Neste caso, tanto a rocha como os cascalhos provenientes da decomposição deste dique, são lavrados, produzindo safira azul e lilás. Acredita-se que as safiras tenham sido formadas a grandes profundidades e carreadas pelo dique o qual intrudiu-se em camadas de rochas sedimentares. A ocorrência da Carolina do Norte está associada a rochas básicas magnesianas como peridotitos, piroxenitos e anfibolitos, e sua lavra é executada em sedimentos aluvionares derivados destas rochas, onde são produzidos rubi e safiras de várias colorações.

Vários outros depósitos no mundo produzem coríndon, porém não com a quantidade e a qualidade dos citados anteriormente. Entre os países portadores de depósitos considerados menores em relação a sua produção destacam-se Paquistão, China, Rússia, Malawi, Zimbábue, Madagascar, República Malgaxe, África do Sul, Namíbia, Colômbia e Brasil (Figura 9.1). Entretanto faltam dados geológicos e mineralógicos para que seja possível uma avaliação melhor sobre o tema, pois muitos depósitos ainda não foram descritos ou avaliados em seu potencial.

Diversos autores consideram o leste africano como a futura fonte mundial na produção de coríndon. A sua vasta área continental com grande potencial para mineralizações, aliada ao fato de que muitos locais ainda não foram explorados, fazem com que desde 1960 a região venha sendo alvo de vários trabalhos prospectivos, onde novas ocorrências importantes já foram encontradas.

Pela revisão bibliográfica apresentada observa-se que a origem do coríndon está correlacionada com províncias magmáticas e/ou metamórficas, porém na maior parte dos casos, este mineral ocorre atualmente em áreas sedimentares.

9.2 FORMAÇÃO DO CORÍNDON EM TERRENOS GRANULÍTICOS

De acordo com outras jazidas de coríndon do mundo, derivadas de terrenos granulíticos, a exemplo do Sri Lanka e Madagascar, vários autores, entre os quais pode-se citar Katz (1972), Dahanayake et al. (1980), Munasinghe & Dissanayake (1981) e Rapasinghe & Dissanayake (1985), sugerem diferentes rochas fonte para a formação do coríndon e atribuem uma origem a partir de sedimentos aluminosos submetidos ao fácies granulito. Quanto às ocorrências de coríndon recém descobertas em terrenos granulíticos no sudoeste de Madagascar, Milisenda & Henn (1996) descrevem que esses minerais são derivados de mármore alterados e gnaisses calciossilicatados formados em ambientes sedimentares sob condições de fácies granulito.

Munasinghe & Dissanayake (1981), citam que os granulitos do Sri Lanka apresentam muitas similaridades com os granulitos brasileiros descritos por Wernick & Almeida (1979) e Cordani & Iyer (1979), podendo apresentar mineralizações similares.

Levinson e Cook (1994) propuseram um modelo para a formação do coríndon envolvendo tectônica de placas e metamorfismo. Neste caso, a origem pode ocorrer a partir de dois minerais, a muscovita e o diásporo, na seguinte seqüência. Sedimentos ricos em alumínio, contendo principalmente minerais aluminosos como muscovita (illita) e caulinita, são carregados a profundidades significativas nas áreas de margem de placas em zonas de subducção do assoalho oceânico. Neste caso os minerais sujeitos às novas condições físico-químicas de alta pressão e temperatura,

sofrem transformações significativas. O coríndon, o feldspato potássico e a água, podem ser originados a partir de minerais micáceos como a muscovita do seguinte modo: $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}_2) \Rightarrow \text{KAlSiO}_8 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Esta reação tem lugar em ambientes com ausência de quartzo e ricos em silicatos de alumínio como a cianita (Al_2SiO_5). O coríndon pode ser formado também a partir de outros materiais, particularmente hidróxidos de alumínio (óxidos de alumínio hidratados) como a gibbsita $\text{Al}(\text{OH})_3$ e o diásporo ou boehmita $\text{AlO}(\text{OH})$, onde a reação pode ser expressa por $2\text{AlO}(\text{OH}) \Rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Estes óxidos hidratados de alumínio são típicos de extensos terrenos ricos em lateritas e bauxitas como podem ser encontrados atualmente em grandes áreas na Austrália, Índia, África, América do Sul, além de outras regiões tropicais.

9.3 ORIGEM DO CORÍNDON DE BARRA VELHA

Os trabalhos de campo realizados até o presente momento indicam que o coríndon de Barra Velha ocorre em depósitos sedimentares inconsolidados resultantes da alteração das rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina. Como foi visto no Capítulo 5, esse mineral ocorre disseminado em cascalheiras recentes de pequenas espessuras, juntamente com fragmentos de quartzo exibindo algumas feições que sugerem transporte pequeno a partir da fonte primária. Embora a rocha matriz desse coríndon não seja ainda conhecida, as evidências de campo e os dados de laboratório obtidos no decorrer desse trabalho, permitem estabelecer uma série de considerações a respeito da gênese do coríndon desta região.

Como foi visto no Capítulo 4, a geologia básica do nordeste de Santa Catarina está bem estabelecida podendo ser aqui citados, entre outros, os trabalhos de Hartmann et al. (1979), Silva & Dias (1981 a, b e c) e Siga Jr. (1995). Nesse caso, é importante salientar que entre os litotipos presentes na área de Barra Velha e adjacências, predominam gnaisses granulíticos (Figura 4.1), ocorrendo de forma subordinada ultramafitos e quartzitos. Sugestiva também é a presença de gnaisses kinzigíticos encontrados por Silva & Dias (1981a), na porção Sul do Complexo Granulítico de Santa Catarina. Essas rochas estão relacionadas possivelmente à evolução metamórfica de uma seqüência pelítica que foi submetida aos diversos graus

do metamorfismo regional.

Os levantamentos de campo indicaram que o coríndon de Barra Velha ocorre com extensão regional, sendo encontrado a distâncias que superam 50km entre as extremidades visitadas (Figura 5.5). Nesse caso, é importante ressaltar que em todos os locais em que foi constatada a presença desse mineral, a litologia é composta basicamente por rochas gnáissicas pertencentes ao Complexo Granulítico de Santa Catarina. Esse fato indica em princípio que o coríndon está relacionado aos gnaisses regionais, de onde por erosão foi distribuído para os solos e os depósitos recentes.

Merece destaque o fato dos depósitos de cascalhos mineralizados em coríndon serem constituídos principalmente por calhaus e seixos angulosos, sugestivos de transporte a curta distância. O próprio coríndon, por sua vez, ocorre segundo cristais bem formados, relativamente bem desenvolvidos, sugerindo que o transporte a partir da fonte matriz, se houve, foi pequeno. O mesmo se pode dizer do quartzo associado nas cascalheiras, que em geral exibe formas poliédricas e dimensões centimétricas. Além disso, as feições exibidas pelos níveis mineralizados evidenciam uma deposição por fluxos gravitacionais de encostas, indicando as porções superiores do relevo como fornecedoras do material detrítico depositado. Esse fato revela que o coríndon, juntamente com os fragmentos de quartzo leitoso, minerais pesados e outras litologias, estão relacionados às rochas gnáissicas que são o litotipo predominante em todos os locais observados. A Figura 9.2 ilustra a situação através de perfis esquemáticos representando observações sistemáticas efetuadas no campo, e dados obtidos na Lavra do Escalvado, que como já foi informado anteriormente é o único local de lavra em atividade. Os depósitos contêm também contribuições significativas das rochas quartzíticas que ocorrem como cristas alinhadas em cotas mais elevadas. Como já foi descrito no Capítulo 5, os depósitos de cascalhos associados contêm fragmentos de quartzito, muitas vezes fucsíticos, além de pequenos fragmentos de cianita.

Procurou-se representar também na Figura 9.2, as rochas ultramáficas que ocorrem associadas aos gnaisses em certos locais. Nesse sentido, os trabalhos de Silva & Dias (1981a), descrevem a ocorrência dessas rochas como lentes e intercalações concordantes nos gnaisses granulíticos regionais. As intercalações podem ser de poucos centímetros a alguns decímetros, podendo em certos casos atingir vários metros, como nas proximidades da cidade de Barra Velha.

Figura 9.2 – Perfis esquemáticos dos depósitos de cascalhos mineralizados em coríndon na região de Barra Velha.

Em certos locais ocorrem fases onde os gnaisses granulíticos exibem certa mobilidade, penetrando nas rochas ultramáficas num processo de remobilização no estado sólido. A ocorrência dessas rochas é um aspecto muito importante no que diz respeito à presença de coríndon vermelho, ou seja, a variedade rubi. Como foi visto no Capítulo 7, a cor vermelha é dada pelo cromo, que por sua vez está presente nas ultramáficas da região. Portanto as rochas ultramáficas associadas aos gnaisses regionais poderiam ser a fonte do cromo tanto para o coríndon, como para a fuchsite encontrada nos quartzitos. Fato semelhante foi encontrado para os depósitos estudados por Key & Ochieng (1991), onde esses autores atribuem a presença do cromo em coríndon às rochas ultramáficas associadas a algumas jazidas da Tailândia.

Tudo indica, portanto, que o coríndon ocorra regionalmente associado aos granulitos do Complexo Granulítico de Santa Catarina, e que somente aqueles formados nas proximidades de rochas ultramáficas possuam características gemológicas de cor, ou seja, coloração vermelha ou rósea conferida pelos elementos cromóforos (cromo) que estão presentes nas ultramáficas. Os estudos realizados, confirmam que de fato, a porcentagem de cristais com características gemológicas (cor vermelha) é menor em relação ao restante dos cristais lavrados nos cascalhos.

Conforme discutido no Capítulo 8.1, o coríndon contém uma série de inclusões minerais entre as quais se destacam biotita, clorita, zircão, rutilo, monazita e pirita. A biotita identificada situa-se entre o campo da annita e da flogopita, tratando-se de uma mica de coloração castanha característica do fácies granulito. A clorita é representada pela variedade rica em Mg, Fe e Al, característica de sedimentos pelíticos ricos nesses elementos. Nesse caso, os cristais de clorita aparecem como relíctos preservados no interior do coríndon. Schreyer et al. (1981), encontraram a mesma variedade de clorita (ripidolita segundo a classificação de Deer et al. 1977) associada à rochas fuchsíticas portadoras de coríndon que ocorrem no sul da África. Os cristais de zircão, aparentemente arredondados, sugerem uma derivação a partir de sedimentos preexistentes associados aos pelitos. Nesse caso, a datação por meio de microsonda iônica (SHRIMP) desta fase, poderia acrescentar dados novos à história genética do coríndon. A aparente ausência de inclusões cristalinas de anfibólio e piroxênio afasta a possibilidade de filiação do coríndon com rochas máficas e ultramáficas.

Outra linha de pesquisa que reforça uma origem do coríndon a partir de granulitos, é representada pelo estudo das inclusões fluidas. As análises microtermométricas forneceram a composição dos fluidos aprisionados, ou seja, foram encontradas inclusões fluidas essencialmente carbônicas com temperaturas de fusão do CO₂ em torno de -56,6°C, refletindo desse modo, ambiente anidro típico do fácies granulito. As temperaturas de homogeneização do CO₂ obtidas via microtermometria nas inclusões encontradas, acusaram variações de -25°C a +25°C, sendo que os valores situados entre -20°C a -25°C são indicativos dos fluidos originais. Portanto, os resultados obtidos demonstram que a cristalização do coríndon de Barra Velha é compatível com o metamorfismo de fácies granulito. Maesschalck & Oen (1989) encontraram para os coríndons do Sri Lanka, resultados semelhantes aos obtidos nesse trabalho para o coríndon de Barra Velha. Esses autores encontraram temperaturas de CO₂ variando de -25°C a +25°C, e as isócoras resultantes indicaram que o coríndon daquela região formou-se também sob condições do fácies granulito.

Apesar de não termos ainda um conhecimento completo desses depósitos, as evidências reunidas sugerem a princípio uma relação genética com as rochas granulíticas que são o litotipo mais comum na região de Barra Velha. A granulitização que afetou rochas da região poderia ter afetado também sedimentos preexistentes ricos em alumínio, gerando desta forma coríndon à partir de minerais aluminosos. A presença de cianita nos depósitos e em solos da região além da ocorrência de gnaisses kinzigíticos contendo cordierita, granada e sillimanita, poderia confirmar tal fato. De acordo com Boyle (1976) e Platen (1988), minerais aluminosos como o coríndon, a cianita e a cordierita entre os principais, são desenvolvidos em terrenos arqueanos, metamórficos de alto grau, especialmente em sedimentos pelíticos e rochas enriquecidas em alumínio.

Como foi visto no início deste Capítulo, na maior parte das ocorrências mundiais o coríndon está sempre associado a depósitos sedimentares, e em muitos casos a rocha de origem não foi ainda identificada, fazendo com que os pesquisadores atribuam os aspectos genéticos através das evidências reveladas pelas associações de campo e pelas características do próprio coríndon.

Finalizando, os dados obtidos neste trabalho demonstram que o coríndon de Barra Velha originou-se à partir de sedimentos pelíticos aluminosos por processos

tectono-metamórficos, envolvendo provavelmente fusão parcial em condições de pressão e temperatura de moderadas a altas. As porções de rochas ultramáficas existentes como lentes ou intercalações nos gnaisses atuaram como fontes do cromo, fato evidenciado pela variação de cores exibida pelos cristais. As evidências de campo mostram que o coríndon pode encontrar-se disseminado nos gnaisses granulíticos, o que explica o notável grau de espalhamento desse mineral na região.

Tudo indica que a possança desses depósitos motivarão trabalhos prospectivos e de lavra num futuro próximo. Acreditamos que o emprego de equipamentos de sondagem de grande resolução, permitirão conhecer melhor esses depósitos, e ao mesmo tempo obter novos dados relativos a origem do coríndon.

CAPÍTULO 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema abordado nesta Tese, relativo a ocorrência de coríndon na região de Barra Velha, foi escolhido por se tratar de um assunto praticamente desconhecido na literatura geológica brasileira. Além de não serem conhecidas jazidas de coríndon no Brasil, os estudos da geologia dos depósitos gemológicos brasileiros também são pouco desenvolvidos justificando a escolha do tema mencionado. Destacamos a seguir, as conclusões mais importantes obtidas no decorrer deste trabalho.

1- Os depósitos de coríndon nas suas variedades rubi e safira, da região nordeste de Santa Catarina foram descobertos na metade dos anos oitenta, e até o momento são pouco conhecidos. Conforme foi observado no decorrer destes trabalhos, o coríndon ocorre associados a depósitos aluviais distribuídos ao longo da bacia de drenagem do Rio Itapocu, cobrindo uma área de aproximadamente 80km². Foram observadas ocorrências menores nas planícies da porção norte do Rio Itajaí Açu, situadas a aproximadamente 40km a Sul da cidade de Barra Velha. O montante dessas reservas ainda não é conhecido, mas tudo indica que o volume total em coríndon é considerável, tratando-se provavelmente da principal ocorrência desse mineral no país. Esses depósitos estão situados na porção nordeste do Estado de Santa Catarina, a meio caminho entre as cidades de Curitiba e Florianópolis, em área servida por uma excelente malha viária que facilitará eventuais atividades minerárias na região. Embora o Brasil seja um dos principais produtores de gemas coradas do mundo, não são conhecidas jazidas de rubi ou de safiras em seu território, com o mesmo porte de outras gemas famosas tais como turmalina, água marinha, esmeralda, ametista, ágata, entre outras. As ocorrências conhecidas no momento no Rio Coxim (MT) e no Rio do Peixe (GO) e outras esporádicas menores, além de

pouco estudadas, não possuem o potencial já verificado nos depósitos de Barra Velha. Os trabalhos executados mostraram que a maior parte do coríndon ocorre na forma de cristais avermelhados, porém desprovidos de transparência e limpidez necessárias para um bom aproveitamento gemológico. Entretanto, considerando que o volume dos depósitos conhecidos já é expressivo e poderá aumentar a medida que forem realizados trabalhos no futuro, a parcela de coríndons gemológicos poderá também se tornar expressiva permitindo o seu aproveitamento na indústria joalheira. Tendo em vista que o coríndon, principalmente a variedade rubi, é tido como o principal mineral gemológico após o diamante, as ocorrências de Barra Velha adquirem caráter de grande importância, pois poderão tornar-se a futura fonte brasileira na produção de rubis e safiras.

2- Tratando-se de um depósito novo e de um material pouco conhecido, procuramos no decorrer da Tese, efetuar primeiro uma caracterização mais completa possível tanto do coríndon como das fases a ele associadas. Assim sendo, foram estudados também o diásporo resultante da alteração do próprio coríndon, bem como os minerais pesados associados nos depósitos aluviais. Nesse sentido foram desenvolvidos levantamentos geológicos de campo visando conhecer a extensão dos depósitos na região de ocorrência do coríndon. Os trabalhos de laboratório incluíram estudos cristalográficos e mineralógicos gerais por meio de uma metodologia ampla para o conhecimento das propriedades ópticas, roentgenográficas, químicas, espectroscópicas, térmicas, além de inclusões sólidas e fluidas presentes no coríndon. Comparando os dados de campo e laboratório, procurou-se, estabelecer dentro do possível, um modelo genético para os depósitos estudados.

3- Do ponto de vista geomorfológico, a região de Barra Velha caracteriza-se pela presença de extensas planícies aluviais que circundam o relevo de morros dômicos do embasamento antigo, cuja erosão forneceu detritos para essas planícies subjacentes. O clima reinante na região de Barra Velha é do tipo subtropical mesotérmico úmido, favorecendo o intemperismo das rochas do embasamento que

constituem os morros salientes em meio as planícies. A região está inserida na faixa da Mata Atlântica, porém pela prática de culturas intensivas, a vegetação original foi substituída por campos ralos e áreas de reflorestamentos.

4- A região de Barra Velha está inserida em um domínio gnáissico de alto grau constituindo parte do Complexo Granulítico de Santa Catarina, onde predominam gnaisses granulíticos. Esses litotipos são constituídos por quartzo e feldspatos predominando o plagioclásio (oligoclásio) sobre o ortoclásio, sendo os máficos representados principalmente por hiperstênio, diopsídio, hornblenda e biotita acastanhada. Os acessórios mais comuns são representados por zircão, magnetita, rutilo e pirrotita. Ocorrem ainda de forma subordinada rochas ultramáficas representadas por piroxenitos e anfibolitos, além de quartzitos e formações ferríferas bandadas de pequena expressão.

5- O coríndon da região de Barra Velha ocorre associado a depósitos rudáceos de origem coluvionar e aluvionar constituídos principalmente por fragmentos de quartzo leitoso e quartzito com granulometria de calhaus a seixos, em meio a uma matriz areno argilosa. Trata-se de depósitos inconsolidados de pequena espessura constituindo rampas coluviais formadas ao longo de baixas vertentes. O coríndon está distribuído nas planícies aluviais mas encontra-se concentrado principalmente nos depósitos coluvionares. Um dos principais locais mineralizados está situado nas proximidades da localidade de Escalvado, e nesse local foi verificado que os níveis de cascalhos apresentam concentrações de coríndon de até 6.000g/m^3 . Tanto o coríndon quanto os fragmentos de quartzo e quartzito que formam os depósitos, mostram superfícies poliédricas isentas de arredondamento sugerindo que a fonte desse material é proximal, sendo derivado das rochas dos morros que se destacam em meio as planícies circundantes. A camada de cascalho cuja espessura atinge até 2,0m, assenta diretamente sobre as rochas gnáissicas alteradas do complexo granulítico e em alguns locais, sobre as intercalações de rochas ultramáficas, do mesmo modo alteradas. Além do coríndon, os depósitos contêm uma assembléia de minerais pesados não muito abundante, representados principalmente

por magnetita, ilmenita, hematita, rutilo, zircão, monazita, hiperstênio, hornblenda e epidoto, os quais são compatíveis com rochas de alto grau metamórfico, com exceção do epidoto que é gerado sob condições de fácies anfibolito. Chama atenção, o fato de que apesar dos depósitos serem texturalmente imaturos, a quantidade de minerais pesados instáveis é muito pequena. Isto pode ser explicado, provavelmente, pelo fato de que o material que originou o depósito já era previamente empobrecido em minerais instáveis, como pode ser comprovado também pelas análises dos pesados encontrados nos solos. A presença dessa assembléia sugere como rochas fonte possíveis, gnaisses do fácies granulito, migmatitos e rochas ácidas ou intermediárias de grau metamórfico alto. Dessa forma, a assembléia de minerais pesados identificada nos depósitos corroboram as evidências geológicas de campo, bem como os dados fornecidos pelo estudo das inclusões sólidas e fluidas.

6- O coríndon de Barra Velha ocorre na forma de cristais subédricos a irregulares, em uma faixa granulométrica ampla concentrando-se no intervalo de 2,3mm a 4,7mm. Os cristais exibem hábito em barrilete, geralmente truncados por faces resultantes da partição romboédrica bem desenvolvida. Determinações por raios X mostraram que a cela unitária é praticamente idêntica a coríndons de outras localidades e não é influenciada pelas variações de cores exibidas. Exames de lotes representativos, mostraram que o vermelho (rubi) é a cor predominante, ocorrendo de forma subordinada indivíduos nas cores branca, rósea, cinza e preta (safiras). A grande maioria dos exemplares são opacos ou de transparência limitada, dificultando seu aproveitamento gemológico. Entretanto a maior parte das amostras examinadas revelaram a presença de asterismo pouco desenvolvido mas suficiente para permitir sua utilização como gema. A presença desse efeito associado ao efeito seda, imprime um aspecto atraente nas pedras lapidadas em talhe cabuchão. Seções delgadas examinadas sob microscopia óptica, mostraram a existência de um padrão em rede onde as faixas correspondem a zonas de alteração do coríndon transformado no mineral diásporo. Essa alteração pode ser tanto de origem hidrotermal como intempérica, ou ainda de ambas combinadas. As análises térmicas confirmaram a presença do diásporo em proporções variáveis nos cristais de coríndon, mostrando que essa alteração varia de indivíduo para indivíduo.

7- Análises na microsonda eletrônica mostram que o coríndon de Barra Velha é praticamente isento de impurezas, sendo constituído essencialmente por Al_2O_3 em teores que variam de 96 a 99%. Entre os elementos menores, destaca-se a presença do cromo cujo valor na variedade vermelha varia de 0,5 a 0,8%, confirmando tratar-se do elemento cromóforo tal como observado em outras localidades. Outra impureza é o FeO cujos valores são baixos na variedade vermelha e relativamente maiores nos coríndons branco, róseo, cinza e preto. Este elemento ocorre em teores bastante variáveis parecendo influir mais na saturação do que na cor propriamente dita.

8- Observações sistemáticas mostraram que o coríndon de Barra Velha, possui grande número de inclusões sólidas sendo a maior parte com dimensões microscópicas, em geral abaixo de 0,5mm. Análises por meio de microscopia eletrônica de varredura e microsonda eletrônica, permitiram identificar entre as fases inclusas biotita, clorita, zircão, rutilo, monazita, coríndon, pirita e óxidos de ferro, sendo as duas últimas consideradas como produto secundário que penetrou pelos canais existentes nos cristais. Análises na microsonda eletrônica revelaram que a biotita possui teor em cromo elevado, compatíveis com biotitas de fácies granulito. A clorita identificada em algumas amostras e classificada como variedade rica em ferro, alumínio e magnésio, é característica de ambientes pelíticos. As demais inclusões sólidas encontradas são compatíveis com os litotipos regionais. O zircão mostra evidências de arredondamento, sugerindo tratar-se de uma inclusão protogenética. Entre as inclusões fluidas examinadas, foram encontradas feições que sugerem origem primária, tendo em vista sua distribuição e modo de ocorrência no mineral hospedeiro. Também foram encontradas inclusões secundárias e pseudosecundárias, principalmente as dispostas em planos de fraturas cicatrizadas formadas em diferentes etapas. Medidas microtermométricas mostraram que a temperatura de fusão do CO_2 ficou próxima de $-56,6^\circ\text{C}$, indicando a presença de inclusões essencialmente carbônicas. As temperaturas de homogeneização do CO_2 variaram de -25 a $+25^\circ\text{C}$, sendo as mais baixas (-20 a -25°C) consideradas como as

mais representativas dos fluidos originais. Os histogramas construídos a partir dos dados microtermométricos forneceram elementos para a construção das isócoras, as quais mostram que as inclusões de maiores densidades são compatíveis com as condições de metamorfismo do fácies granulito, enquanto as outras evidenciam os eventos que ocorreram durante os reequilíbrios posteriores. Esse quadro guarda similaridade com as mineralizações de coríndon relacionadas aos terrenos granulíticos do Sri Lanka, sugerindo que os depósitos de Barra Velha estão associados às rochas granulíticas que ocorrem na região.

9- A formação do coríndon tem sido relacionada ao metamorfismo de sedimentos contendo minerais aluminosos como muscovita e formas hidratadas de alumina tais como diásporo ($\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$) e boehmita ($\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$). Em alguns locais bem estudados como no Sri Lanka, a origem do coríndon está associada a ação de fenômenos tectônicos e metamórficos, sobre sedimentos aluminosos antigos submetidos a condições de metamorfismo de alto grau. As evidências encontradas no decorrer deste trabalho mostraram que o coríndon da região de Barra Velha origina-se também de gnaisses granulíticos regionais. Essas evidências são dadas primeiramente pela extensão das mineralizações, que como foi verificado nos levantamentos de campo, coincidem com as áreas de ocorrência dos gnaisses granulíticos. Também são evidentes que os depósitos rudáceos mineralizados em coríndon e formados por materiais isentos de arredondamento, encontram-se localizados no sopé dos morros constituídos por esses gnaisses. Considerando que os gnaisses granulíticos constituem atualmente as porções mais elevadas do relevo, e que os minerais pesados encontrados nos depósitos podem ser derivados dessas rochas, o coríndon bem como os fragmentos de quartzo seguramente são o produto liberado pelo intemperismo que atuou sobre esses gnaisses. A presença de rochas ultramáficas entre os gnaisses influi decisivamente na formação do coríndon, uma vez que essas rochas contêm teores apreciáveis de cromo, que é o elemento cromóforo do rubi. Coríndons formados sem a influência de rochas ultramáficas desenvolvem outras colorações constituindo variedades de safira.

10- Finalmente deve-se considerar o fato de que os depósitos de coríndon existentes na região de Barra Velha, ocorrem em áreas extensas demonstrando que a quantidade de material existente é expressiva e ainda não conhecida até o momento. Na verdade, a Lavra do Escalvado e outras pequenas catas que foram realizadas na região, produziram um volume de coríndon insuficiente para permitir uma avaliação mais apurada da presença de cristais com qualidades gemológicas desejáveis. Considerando que apenas 1% do coríndon minerado em todo o mundo é de natureza gemológica, é perfeitamente possível, que a medida que forem sendo realizados trabalhos de lavra na região de Barra Velha, venham a ser encontrados cristais com qualidades comparáveis a de outras jazidas da atualidade. Outro fato que deve ser levado em conta, é a possibilidade do coríndon vir a ser utilizado como material industrial. Neste caso, a lavra forneceria como subproduto uma fração pequena de cristais com qualidades gemológicas, cujo valor poderia tornar viável o aproveitamento econômico desses depósitos.

CAPÍTULO 11 AGRADECIMENTOS

Ao encerrar esta Tese onde tive que despendar uma soma de trabalho que muitas vezes me privou do convívio familiar, verifico por outro lado, que o esforço foi gratificante, pois motivou uma série de atividades novas que surgiram a medida que essa pesquisa progrediu. Durante o desenvolvimento da obtenção de dados analíticos, fui obrigado a procurar outras instituições além daquelas onde estou lotado e onde desenvolvi meu programa de Pós Graduação. Essa etapa, de um lado trouxe uma série de dificuldades pessoais, porém de outro, tornou possível o conhecimento de novos laboratórios, a familiarização de técnicas que até então eu não conhecia, e por fim o conhecimento de pessoas que me auxiliaram em técnicas específicas, com as quais espero continuar desenvolvendo trabalhos em minhas atividades futuras.

Ao trabalhar com um material que tem aplicação industrial, tive oportunidade de conhecer pessoas ligadas à mineração e à exploração de materiais industriais. Além de adquirir novos conhecimentos nesse setor, recebi de todos tratamento simpático e apoio para a realização das pesquisas desenvolvidas. Meus agradecimentos são para todas essas pessoas que, direta ou indiretamente, criaram condições para que essa Tese se tornasse possível.

Assim sendo, desejo inicialmente expressar os meus agradecimentos particulares ao orientador do trabalho, Professor Dr. Darcy Pedro Svisero pelas suas participações nos trabalhos de campo, acompanhamento dos trabalhos laboratoriais e revisão dos textos desse volume, durante toda sua realização.

Agradecimentos especiais são devidos a diversos pesquisadores, das muitas instituições que procurei no decorrer desta Tese durante a fase de obtenção dos dados analíticos. Dessa forma, estendo os meus mais sinceros agradecimentos ao Prof. Luiz Eduardo Mantovani da UFPR pelas valiosas sugestões no capítulo de geomorfologia da região estudada. A Dra. Rosa Maria Silveira Bello do

Laboratório de Inclusões Fluidas do IG-USP, pela sua participação em todas as etapas dos estudos microtermométricos realizados. Agradeço também ao Prof. João Carlos Biondi da UFPR pelo auxílio e sugestões nos trabalhos de campo e amostragens; o Prof. Paulo César Fonseca Giannini da UFPR pelas sugestões apresentadas nos estudos dos minerais pesados; o Prof. Ireno Denicoló da UFPR pelo auxílio na obtenção dos difratogramas de raios X; o Prof. Silvio R. F. Vlach do laboratório de microsonda eletrônica do IG-USP pelas discussões proveitosas durante as análises na microsonda eletrônica; os Profs. Kazuo Fuzikawa da CENEN e Marcos Pimenta da UFMG pela participação e ajuda prestada durante a realização de análises por espectroscopia micro Raman; a Profa. Vitória Régia R. P. O. Marciano da UFMG pelo auxílio na obtenção de dados de espectroscopia no infravermelho; o Dr. Dietmar Schwarz do Gübelin Gemmological Laboratory na Suíça pelas análises de espectroscopia no visível e fluorescência de raios X; o Prof. Rayner A. Schults Guttler do IG-USP pelas proveitosas discussões relativas a gênese do coríndon; o Prof. Egon Torres Berg da UEPG pelo auxílio na interpretação das análises térmicas; e o Dr. Maurício Pereira Cantão do Laboratório da COPEL pelo auxílio nas análises de microscopia eletrônica de varredura e análises térmicas.

Do mesmo modo, diversos colegas prestaram ajuda valiosa no decorrer dos trabalhos realizados, aos quais somos extremamente gratos. Nesse caso, agradecemos o Prof. Pedro Luiz Juchen da UFRGS pela ajuda no decorrer dos trabalhos realizados nessa Tese; a Profa. Eleonora Gouvêa Vasconcellos da UFPR pelo auxílio na obtenção das fotomicrografias; o Prof. José Manoel dos Reis Neto da UFPR pelas diversas sugestões oferecidas; o Prof. Arnoldo Sobanski da UFPR pelo auxílio nos trabalhos de campo e discussões; e o Prof. Paulo César Soares do PADCT-UFPR CTn^o 6591.0303 pelas facilidades colocadas a disposição na realização dos trabalhos de campo.

Não poderíamos deixar de agradecer também aos diversos técnicos que gentilmente auxiliaram na realização das análises efetuadas no decorrer dessa Tese. Nesse sentido, estendo meus agradecimentos a geóloga Jackeline Silveira Kogut da UFPR pela participação no estudo dos minerais pesados; a laboratorista Schirley Rolim Cercal pelos trabalhos de preparação de amostras; a geóloga Rosemari Fabianovicz da UFPR e ao acadêmico Alexandre Guilherme Serafini do IG-USP pelo auxílio no mapeamento das inclusões fluidas; aos técnicos Marcos A. de Souza, George H.

Bezerra, Roseane D. Silva e Marcos Mansuelo pelo auxílio nas análises na microsonda eletrônica; ao Sr Antonio Bertoná Alano do Laboratório da Mineropar pela moagem e separação de minerais pesados de rochas; às bibliotecárias Eliane Maria Stroparo da UFPR, e Maria Aparecida Bezzerra e Maristela Prestes Severino do IG-USP, pelo auxílio e revisão das citações bibliográficas; ao desenhista Oto Laurentino Rosa da UFPR, além dos técnicos em computação Caius Marcellus Ferreira e Henrique Leone Mathoso, pelo auxílio na confecção das ilustrações; ao Sr José Carlos da Silva pela ajuda na digitação do texto, e finalmente, aos senhores Claudionor Barbosa e Edimir de Oliveira da gráfica do IG-USP, pelos serviços executados.

Finalmente desejo expressar a minha gratidão a pessoas e entidades que colaboraram para o bom andamento dos trabalhos desta Tese. Neste caso, agradeço em primeiro lugar ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, por ter concedido afastamento de minhas atividades docentes, tornando possível a realização deste curso. Agradeço também ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo a franquia de todos os seus laboratórios, biblioteca e outras facilidades que tornaram possível a realização de meu trabalho. Por fim, estendo os meus agradecimentos ao CNPq e ao programa PICDT-CAPES pela concessão de uma bolsa de pós-graduação durante a realização do curso.

Não poderíamos deixar de agradecer também ao Sr. Euclides Secco proprietário de uma das áreas de lavra ao franquear acesso aos locais atuais de exploração permitindo plena liberdade de amostragem. Agradeço também o Sr. Elenoir da Luz pela abertura dos poços de amostragens que tornaram possível a obtenção das amostras estudadas.

Por fim mas não por último, agradeço a todos os meus amigos particulares, entre outros o geólogo Antonio Fialho Sobanski, pela incessante ajuda nas etapas de campo, bem como o geólogo Osama Muhamed Harara pela ajuda paciente e sugestões variadas no decorrer das etapas do trabalho realizado.

Finalizando esses agradecimentos, desejo externar um muito obrigado especial aos meus familiares incluindo minha esposa Mariléia e as minhas filhas Andressa e Vanessa, que souberam compreender as dificuldades e estender seu apoio durante todas as etapas deste trabalho.

CAPÍTULO 12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.F. (1945). Fundamentos geográficos da mineração brasileira. **Revista Brasileira de Geografia**, v.7, n.1, p.3-173.
- ALBUQUERQUE, L.F.F.; ARIOLI, E.E.; DIAS, A.D.A.; KIRCHNER, C.A. (1971) **Geologia das quadriculas de Blumenau e Joinville, SC.** Porto Alegre, DNPM/CPRM, 101p. (Relatório interno).
- ALMEIDA, F.F.M. (1948). Contribuição a geomorfologia da região oriental de Santa Catarina. **Boletim. Associação dos Geógrafos Brasileiros**. São Paulo, v.3, n.1, p. 10-37.
- ANGULO, R.J.; LESSA, G.C. (1997). **The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia Regions.** **Marine Geology.** (No prelo).
- ATKINSON, D.; KOTHAVALA, R.Z. (1983). Kaschmir sapphire. **Gems & gemology**, v.19, p.64-76.
- ATLAS DE SANTA CATARINA (1986) . Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral, Subsecretaria de Estatística, Geografia, e Informática. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro.173p.
- AZÀROFF, L.V.; BUERGER, M.J. (1958). **The powder method in x-ray crystallography.** New York, Mcgraw-Hill. p.342.
- BARBOSA, O. (1940). Reservas de minérios de ferro em Santa Catarina. **Mineração e Metalurgia**, v.5, n.25, p. 21-24.
- BARKER, A.S. (1963). Infrared lattice vibrations and dielectric dispersion in corundum. **Physics Review**, n.132, 1474-1481.
- BASEI, M. S. A. (1985). **O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina.** São Paulo, 190p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BASEI, M. S. A.; TEIXEIRA, W. (1987). Geocronologia dos terrenos pré-cambrianos a eopaleozóicos de Santa Catarina. In: SILVA, L. A.; BORTOLUZZI, C. A. (eds.). **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina - 1:500.000.** Florianópolis, DNPM/CPRM. 215p.
- BASEI, M.S.A.; SIGA JR., O.; MACHIAVELLI, A.; MANCINI, F. (1992). Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v.22, n.2. p.216-21.

- BELLO, R.M.S., VALARELLI, J.V., RUBERTI, E. (1990). Aspectos mineralógicos, texturais e químicos das biotitas de surubim, Vale do Rio Curaça, Bahia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.62, n.4, p.373-392.
- BESSA JR., O. (1996). **Estratigrafia e sedimentação dos depósitos continentais cenozóicos da planície costeira do Estado do Paraná**. São Paulo, 143p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BESSLER, K. E. (1983). **Fundamentos da espectroscopia de infravermelho e suas aplicações na mineralogia**. Brasília, DQ/UNB. p.1-32.
- BIGARELLA, J.J. (1949). Contribuição ao estudo da planície sedimentar da parte norte da ilha de Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. Curitiba, v.4, n.16, p.107-140.
- BIGARELLA, J.J.; TIBURTIUS, G.; SOBANSKI A. (1954) Contribuição ao estudo dos sambaquis do litoral norte de Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. Curitiba, n.9, p.99-140.
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. (1961). Ocorrência de sedimentos continentais na região litorânea de Santa Catarina e sua significação paleoclimática. **Boletim Paranaense de Geografia**. Curitiba, n.4/5, p. 179-187.
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. (1965). **Processes and environments of the brazilian quaternary**. Curitiba, UFPR. 71 p.
- BIGARELLA, J.J.; SUGUIO, K. (1990). **Ambientes fluviais**. 2.ed. Florianópolis, UFSC/UFPR. 183 p.
- BOEWERSOX, G.W.(1985). A status report on gemstones from Afghanistan. **Gems & Gemology**, v.21, p.192-204.
- BOYLE, R.W.(1976). Mineralization processes in Archean greenstone and sedimentary belts. **Canadian Geological Survey Paper**, n.75/15. p.1-43.
- BRANCO, P.M. (1984). **Glossário gemológico**. Porto Alegre, Ed. UFRGS.200p.
- BRANNER, B. (1919) Outlines of the geology of Brazil to accompany the geological map of Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, v.30, n.2, p.189-338.
- BRIDGES, C.R. (1982). **Gems of East Africa**. Proceedings of the International Gemological Symposium. p.266-275.
- BROWN, D.L. (1982). Geology of the Yogo sapphire deposits. In: HUGHES, R.W. (1990). **Corundum**. London, Butterworth Heinemann. p. 301-307.
- BROWN, P.E. (1989). FLINCOR: a fluid inclusion data reduction and exploration program (abstracts). In: BIENAL PAN-AMERICAN CONFERENCE ON RESEARCH ON FLUID INCLUSIONS, 2.,1989. **Program with Abstracts**. p.14

- BRUM, T. M. M.; JUCHEN, P. L.; HOFMEISTER, T.; RIPOLL, V. M. (1990). Caracterização mineralógica e gemológica do coríndon de Santa Catarina, Brasil. **Acta Geológica Leopoldensia**, v.30, n.13, p.187-96.
- CARNEIRO, C.D.R. (1974). Esboço e diferenciação tectônica do pré-cambriano superior no sul-sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. **Resumo das publicações**. Porto Alegre, SBG, v.1, p. 698-700.
- CARUSO, F.G. JR. (1987). Geologia do cenozóico do Estado de Santa Catarina. In: SILVA, L.C.; BORTULUZZI, C.A. **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina**. DNPM/CPRM. p.193-204.
- CARVALHO, P.F.; PINTO, E.A. (1938). Reconhecimento geológico no Estado de Santa Catarina, Brasil, Rio de Janeiro. **Boletim. DNPM/DGM**, n.92, p.1-30.
- CASTRO, V.H.S.; CASTRO, E.C. (1969). **Geologia da quadrícula de Laguna, Brasil**. Porto Alegre, DNPM. 38 p. (Relatório Inédito).
- CHODUR, N.L.; GIANNINI, P.C.F.; KOGUT, J.S.; BARTOSIEVICZ, A. (1993). Sedimentologia dos depósitos rudáceos com coríndon em aluviões quaternários da bacia de drenagem do Rio Itapocu, SC: considerações preliminares. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6., Curitiba, 1993. **Boletim de Resumos e Programas**. Curitiba, SBG. p.93.
- CHODUR, N.L.; SVISERO, D.P. (1994). Diásporo em rubi e safiras do depósito de Barra Velha SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camboriú, SBG. v.3, p.58-59.
- CHODUR, N.L.; BELLO, R.M.S.; SVISERO, D.P.; SERAFINI, A.G. (1996). Inclusões fluidas e origem do coríndon de Barra Velha, SC In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996. **Anais**. Salvador, SBG-BA. v.7, p.480-482.
- CHODUR, N.L.; SVISERO, D.P.; MANTOVANI, L.E. (1997a). Sedimentos continentais recentes portadores de coríndon, associados ao Complexo Granulítico de Santa Catarina. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO / REUNIÃO SOBRE O QUATERNÁRIO DA AMÉRICA DO SUL. (No prelo).
- CHODUR, N.L.; BELLO, R.M.S.; SVISERO, D.P.; SERAFINI, A.G. (1997b). Inclusões fluidas e origem do coríndon de Barra Velha, SC. **Rem. Revista da Escola de Minas Ouro Preto. MG**. (no prelo)
- COENRAADS, R.R. (1992). Sapphires and rubies associated with volcanic provinces: inclusions and surface features shed light on their origin. **Australian Gemmology**, v.18, n.3, p.70-78.

- CORDANI, U.G. (1974) Comentários sobre as determinações geocronológicas disponíveis nas folhas Assunción e Curitiba . **Carta geológica do Brasil ao Milionésimo, folha assunción-SG.21/ Curitiba-SG.22**. Brasília, DNPM. p.58-67.
- CORDANI, U.G.; IYER, S.S. (1979). Geochronological investigations on the precambrian granulitic terrain of Brazil. **Precambrian Research**, v.9,n.3/4, p.255-274.
- DAHANAYAKE, K.; LIYANAGE, A.N.; RANASINGHE, A.P. (1980). Genesis of sedimentary gem deposits in Sri Lanka. **Sedimentary Geology**, v.25, n.1/2, p.105-115.
- DAHANAYAKE, K.; RANASINGHE, A.P. (1981). Source rocks of gem minerals. **Mineralium Deposita** , v.16, n.103, p.103-11.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1962). **Rock-forming minerals-non silicates**. 2.ed. London, Longman. 919p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1977). **Minerais constituintes da rochas: uma introdução**. Lisboa, Fundação Calouste Guilbenkia. 558p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1993). **Introduction to the rock-forming minerals**. 2.ed. Harlow, Longman. 696p.
- DIEHL, F.L.; HORN FILHO, N. O. (1996). Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina, Porto Alegre. **Notas Técnicas**, n 9, p.39-50.
- DONNAY, J.D.H.; NOWACKI, W. (1954). **Crystal Data: Classification of substances by space groups and theyr identifications from cell dimensions**. The geological society of America. Memoir 60. 719p.
- DUARTE, G.M. (1981). **Estratigrafia e evolução do Quaternário do plano costeiro norte da ilha de Santa Catarina**. Porto Alegre,279p. (Dissertação - Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DUARTE, G.M. (1988). O futuro do litoral de Santa Catarina. **Geosul**, v.6, p.39-52.
- EPPLER, W.F. (1964). Sapphire from Rio Coxim, Mato Grosso. **Journal of Gemmology**, n.9, p.199-204.
- EPPLER, W.F. (1973) . **Praktsche gemmologie**. Stuttgart, Rühle Diebener Verlang. p.77-79.
- ERICHSEN, A.I. (1925) Nota preliminar sobre a jazida de ferro dos Municípios de Joinville e São Francisco do Sul, Brasil, Rio de Janeiro. **Boletim. DNPM/DGM**, n.13, p.1-34.

- FIGUEIREDO, M. C. H.; BASEI, M.A.S.; MANTOVANI, M.S.M.; FRYER, B.J. (1991). O Complexo Granulítico de Santa Catarina: um arco insular arqueano? **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, n.9, p.35-40.
- FORMOSO, M.L.L. (1984) Difractometria de raios X. In: GOMES, C.B. **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia**. São Paulo, Edgard Blücher. p.2-43.
- FRAYA, R. (1944). **Dados complementares do "Plano de Bom Aproveitamento" da jazida de ferro do Banhado Dona Cristina e Morro da Serenata, domínio de Dona Francisca**. Rio de Janeiro, Companhia Brasileira de Aços Finos. p.47 (Relatório interno).
- FRITSCH, E.; ROSSMAN, G.R. (1987). An update on color in gems part 1: introduction and colors caused by dispersed metal ions. **Gems & Gemology**, v.23, n.3, p.126-139.
- FRYE, K. (1990). **Modern mineralogy**. New Jersey, Prentice-Hall. 253 p.
- FUZIKAWA, K. (1985) Inclusões fluidas: métodos usuais de estudo e aplicações. In: COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO. **Contribuições à geologia e petrologia**. Belo Horizonte. SBG/CBMM. p. 29-44.
- GABRIEL, B.L. (1992). **Sem: A user's manual for materials science**. American Society for Metals. Library of Congress Catalog (EUA) 198p.
- GADSDEN, J.A. (1975). **Infrared spectra of minerals and related inorganic compounds**. London, Butterworths, 277 p.
- GIRARDI, V.A.V.; CORDANI, U.G.; CANDIA, A.J.; KAWASHITA, K. (1974) .Geocronologia do Complexo Básico-Ultrabásico pré-brasiliano de Piên, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. **Resumo das Comunicações**. Porto Alegre, SBG. p.532-533.
- GIRARDI, V.A.V.; ULBRICH, H.H.G.J. (1980). Origin and evolution of the Pien Mafic-Ultramafic Complex, southern Brazil. **Journal of Geology**, v. 88, n.3, p.251-269.
- GITZEM, W.H. (1970). Alumina as a Ceramic Material. In:____. **The American Ceramic Society**. Columbus, Ohio. 272 p.
- GOLDSCHMIDT, V. (1918) . **Atlas der krystallformer**. Heidelberg, Carl Winter. v.2
- GOMES, C.B. (1984). Microsonda eletrônica: princípios e aplicações na geologia. In:____. **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia**. São Paulo, Edgard Blücher. p. 159-208.
- GRAPES, R.; PALMER, K. (1996). Ruby, sapphire, chromian mica, tourmaline rocks westland, New Zealand. **Journal of Petrology**, v. 37,n.2, p. 293-315.

- GRÉ, J.C.R. (1983). **Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina**. Santa Catarina, 91p. (Dissertação - Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GÜBELIN, E.J. (1974). Reisebericht aus Sudostasien (II). **Schwerische Uhrmacher und Goldschmiede-Zeitung**, v.11, p.78-82.
- GÜBELIN, E.J.; SCHEMETZER, K. (1982). Gemstones with the alexandrite effect. **Gems & Gemology**, v.18, p.197-203.
- GÜBELIN, E.J.(1983). Genetische aspekte der mineraleinchlüsse. **Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft**, v.32, n.1, p.10-27.
- GÜBELIN, E.J.; KOYVULA, J.I. (1986). **Photoatlas of inclusions in gemstones**. Zurich, ABC. 531p.
- GÜBELIN, E. J.; EDUARD, J.; KOYVULA J.I. (1992). **Photoatlas of inclusions in gemstones**. 2 ed. Zurich, ABC . 532p.
- GUERRA, A.T. (1975). **Dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro, IBGE. 439p.
- GUO, J.F.; REILLY, S.Y.O.; GRIFFIN, W.L. (1996). Corundum from basaltic terrains a mineral inclusion approach to the enigma. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v.122, p.368-386.
- GURNEY, J.J. (1989). Diamonds. In: **KIMBERLITES AND RELATED ROCKS / INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 4., Singapore, 1989. Proceedings**. Singapore, Geological Society of Australia. v.2, n.14, p.935-965.
- HÄNNI, H.A. (1986). Korunde aus dem Umba-tal, Tansania. **Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gessellschaft**, v. 35, n.1/2, p.1-13.
- HÄNNI, H.A. (1987). On corundums from Umba Valley, Tanzania. **Journal of Gemmology**, v.20, n.5, p.278-284.
- HÄNNI, H. A.; SCHMETZER, K. (1991). New rubies from the Morogoro Area, Tanzania. **Gems & Gemology**, v. 27, n. 3, p. 156-167.
- HARARA, M.O. (1996). **Análise estrutural, petrológica e geocronológica dos litotipos da região de Piên (PR) e adjacências**. São Paulo, 196p. (Dissertação-Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- HARTMANN, L.A. (1976). Ocorrência de granulitos em Luís Alves, SC. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Belo Horizonte, 1976. Boletim de Resumos**. Belo Horizonte, SBG. p.321.
- HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C.; ORLANDI FILHO, V. (1979). O Complexo Granulítico de Santa Catarina: descrição e implicações genéticas. **Acta Geologica Leopoldensia**, v.3, n.6, p.93-112.

- HARTMANN, L.A. (1981). **Petrogênese dos granulitos e ultramafitos de Luís Alves (SC)**. Porto Alegre, 104p. (Tese - Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HARTMANN, L.A. (1988). Geoquímica de terras raras e geotermobarometria de granulitos de Dom Pedrito e Luís Alves, no extremo sul do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 2, n.1, p. 1-14.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. (1975). The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v.5, n.4, p.257-266.
- HATAKEYAMA, T.; QUINN, F.X. (1994). **Thermal analysis fundamentals and applications to polymer science**. Chichester, John Wiley & Sons. 158 p.
- HEILMANN, G.; HENN, U. (1986). On the origin of blue sapphire from Elahera Sri Lanka. **The Australian Gemmologist**, v.16, n.1, p.2-4.
- HENN, U.; BANK, H.; BANK, F. H. (1989). Orangefabene korunde aus Malawi. **Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft**, n.38, p. 164-166.
- HEROLD, P.G.; DODD, C.M. (1939). Thermal dissociation of diaspore clay. **Journal of American Ceramic Society**, v.22, n.11, p. 388-91.
- HEY, M.H. (1954). A new review of the chlorites. **Mineralogical Magazine**, v.30, p.277-299.
- HUGHES, R. W. (1990). **Corundum**. London, Butterworths Gem Books. 314p.
- HUSTINGER, C. (1989). Darstellung und verglerch primärer rubinvorkommen in metamorphen muttergesteinen. **Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gessellschaft**, v.38, n.4, p.113-138.
- KAMMERLING, R.C., SCARRATT, K., BOSSHART, G., JOBBINS, E.A., KANE, R.E., GÜBELIN, E.J., LEVISON, A.A. (1994). Myanmar and its gems: an update. **Journal of Gemmology**, n.1, p.3-40.
- KANE, R.E.; McCLURE, S.E.; KAMMERLING, R.C.; KHOA, N.D.; MORA, C.; REPETTO, S.; KHAI, N.D.; KOIVULA, J.I. (1991). Rubies and fancy sapphires from Vietnan. **Gems & Gemology**, v.27, n.3, p.136-155.
- KATZ, M.B. (1972). On the origin of the Ratnapura gem deposits of Ceylon. **Economic Geology**, v. 67, p.113-115.
- KAUL, P.F.T. (1980). O Cráton de Luís Alves. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1979. **Anais**. Camboriú, SBG, v.5, p.2677-2683.
- KAUL, P.F.T.; TEIXEIRA, W. (1982). Archean and early proterozoic complexes of Santa Catarina, Paraná and São Paulo states, south-southeaster, Brasil: an outline of their geological evolution. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 12, n.1/3, p.172-182.

- KAUL, P.F.T. (1984). Significado dos granitos anorogênicos da Suite Intrusiva Serra do Mar na evolução da crosta do sul-sudeste do Brasil, no âmbito das folhas SC-22 - Curitiba e SG-23 Iguape. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais**. Rio de Janeiro, SBG, v.6. p. 2815-2825.
- KAUL, P.F.T. (1985). Magmatismo e evolução da crosta no sul-sudeste do Brasil, durante o Proterozóico Superior e Eopaleozóico. in: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2., Florianópolis, 1985. **Anais**. Florianópolis, SBG, p.126-127.
- KAUL, P.F.T.; CORDANI, U.G. (1994). Aspectos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos dos maciços graníticos da Serra do Mar no leste do Paraná e vizinhanças. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camboriú, SBG. v.2, p.371-372.
- KELLER, P.C.; KOIVULA, J.I.; JARA, G. (1985). Sapphire from the Mercaderes - Rio Mayo area, Cauca, Colombia. **Gems & Gemology**, v.21,n.1, p.20-25.
- KEY, R.M.; OCHIENG, F.O. (1991). The growth of rubies in south-east Kenya. **Journal of Gemmology**, v.22, n.8, p.484-489.
- KIEFERT, L.; SCHMETZER, K. (1987). Blue and yellow sapphires from Kaduna province, Nigéria. **Journal of Gemmology**, v.20,n.7/8, p.427 - 442.
- KLEIN, C.; HURLBUT JR., C.S. (1993). **Manual of mineralogy**: after J. D. DANA. 21.ed. New York, John Wiley & sons. 681p.
- KOIVALA, J. (1985). More on needles. **Lapidary Journal**, v.39, n.9, p.25.
- KRZEMNICKI, M.S.; HÄNNI, H.A.; GUGGENHEIN, R.; MATHYS, D. (1996). Investigations on sapphires from an alkali basalt, south West Rwanda. **Journal of Gemmology**, v.25, n.2, p.90-106.
- LAMEGO, A.R. (1940). Restingas na costa do Brasil. **Boletim. DNPM/DGM**, n. 96, p.1-63.
- LANARI, C. (1944). **Resumos dos ensaios de concentração de minério de ferro magnético de Joinville, Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, Companhia Brasileira de Aços Finos S/A. p.32. (Relatório inédito).
- LEONARDOS, O.H. (1938). Concheiros naturais e sambaquis. **Avulso. DNPM/DGM**, n.37, p. 1-109.
- LEVINSON A.A.; COOK F.A. (1994). Gem corundum in alkali basalt, origin and occurrence. **Gems & Gemology**, v. 30, n. 4, p. 253-262.
- MAACK, R. (1947). Breves notícias sobre a geologia dos Estados de Santa Catarina e Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.2, p.65-154.

- MACKENZIE (1957). **The differential thermal investigation of clays**. London, Mineralogical Society. 456p.
- MAESSCHALCK, A.A.; OEN, I.S. (1989). Fluid and mineral inclusions in corundum from Gem gravels in Sri Lanka. **Mineralogical Magazine**, v. 53, p. 539 - 545.
- MAREL, H.W.; BEUTELPACKER, H. (1976). **Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures**. Amsterdam, Elsevier. 396 p.
- MARTIN, L., SUGUIO, K. (1986). Coastal quaternary deposits of the states of Paraná and Santa Catarina. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SEA LEVEL CHANGES AND QUATERNARY SHORELINES, São Paulo, 1986. **Special Publication**. São Paulo, INQUA. n.1, 124 p.
- MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J.M. (1984). Informações fornecidas pelos sambaquis na reconstrução de paleoclimas de praia quaternária - exemplos da Costa Brasil. **Revista pré-história**. São Paulo, n. 6, p. 128-148.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A E.G. (1988) **Mapa geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina**. Brasília, DNPM. 40p. (Série Geologia 28, Seção Geologia Básica 18).
- MEYER, H.O.A. (1987). Inclusion in diamond. In: NIXON, P. H. (ed.). **Mantle Xenoliths**. Chichester. John Wiley & Sons. p.501-522.
- MILISENDA, C.C.; HENN, U. (1996). Sapphire aus einem neuen Vorkommen in Madagaskar. **Zetschrift der Detschen Gemmologischen Gesellschaft**, v.45, n.1, p.13-21.
- MINIOLI, B. (1972). **Aspectos Geológicos da região litorânea de Piçarras, Barra Velha, SC**. São Paulo, 104p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MINERAL POWDER DIFFRACTION FILE, DATABOOK, SETS 1-42 (1993). **International Centre for Diffraction Data – ICDD**. Park Lane, Swarthmore, Pensilvania. 781p.
- MOENKE,H. (1962). **Mineralspektren, I**. Berlim, Akademie - Verlag. (Coleção de fichas).
- MOENKE,H. (1966). **Mineralspektren, II**. Berlim, Akademie - Verlag. (Coleção de fichas).
- MOREIRA, M.L.O.; MARIMON, M.P. (1980). Ensaio petrográfico e petroquímico das rochas do fácies granulito: Complexo Granulítico de Santa Catarina, Folha SC-22-ZB, Camboriú, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. **Anais**. Camboriú, SBG. v.4, p.2119-2133.

- MUEHE, D.; CARUSO, F.G. JR. (1983). Batimetria e algumas considerações sobre a evolução geológica da lagoa da Conceição. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE OCEANOGRAFIA BIOLOGICA, 8., Montevideo, 1983. **Resumo**. Montevideo, Aliamar. 83 p.
- MUNASINGHE, T.; DISSANAYAKE, C.B. (1981). The origin of gemstones of Sri Lanka. **Economic Geology**, n.76, p.1216-25.
- NASSAU, K. (1983). **The physics and chemistry of color**: the fifteen causes of color. New York, John Wiley & Sons. 454p.
- NASSAU, K. (1984). Heat treatment used on gemstones materials. Parts I, II. **Lapidary Journal**, v.38, n.1, p.18-24.
- NOE, F.G., WAHLE, E. (1945). Magnetita de Joinville, SC, Brasil. **Boletim LPM/DNPM**, n.15, p.61-79.
- ODEBRECHT, C.; CARUSO, F.G.JR. (1987). Hidrografia e matéria particulada em suspensão na lagoa da Conceição ilha de Santa Catarina. **Revista Atlântica**. Rio Grande, v.9,n.1, p. 83-104.
- OLIVEIRA, A.I.; LEONARDOS, O.M. (1943). **Geologia do Brasil**. Rio de Janeiro, Ministério de Agricultura. p.813. (Série Didática, 2).
- OLIVEIRA, B. (1948). Restingas do sul catarinense, contribuição para o estudo do litoral do município de Laguna. **Boletim. Associação dos Geógrafos Brasileiros**. Rio de Janeiro, n. 4, p. 3-16.
- PARFENOFF, A.; POMEROL, C.; TOURENQ, J. (1970). **Les minéraux en grains**: méthodes d'étude et détermination. Paris, Masson. 578p.
- PECOVER, S.R. (1987). New concepts on the origin of sapphires in Northeastern New South Wales. **The Australian Gemmologist**, v.16, n.6, p. 221-226.
- PELUSO JR., V.A. (1986). O relevo do território catarinense. **Geosul**, n. 2, p.7-69.
- PETTIJOHN, F.J. (1975). **Sedimentary rocks**. 3.ed. New York, Harper International. 628p.
- PIMIENTA, J. (1958) A faixa costeira meridional de Santa Catarina. **Boletim. DNPM/DGM**, n.176, p.1-104.
- PLATEN, M.H.V. (1988). Zur Genese von Korund in metamorphen Bauxiten und Tonen. **Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft**, v.37, n. 3/4, p. 129-137.
- PORTO, S.P.S.; KRISHNAN, R.S. (1967). Raman effect of corundum. **The Journal of Chemical Physics**, v.47, n.3, p.1009-1012.

- POTY, B.; LEROY, J.; JACHIMOWICS, L. (1976). Un nouvel appareil pour la mesure des temperatures sous le microscope: L'installation de microthermometrie CHAIXMECA. **Bulletin de la Societe francaise de Minerologie et de Cristallographie**, v.99, n.2/3, p. 182-186.
- RAPASINGHE, M.S.; DISSANAYAKE, C.B. (1985). Charnockites and the genesis of gem minerals. **Chemical Geology**, v.53, p.1-16.
- RICHARD, L. (1994). **Minpet 2.0**: Programa para cálculo de fórmulas químicas de minerais e rochas. (Inédito).
- RIPOLL, V. M.; BRUM, T. M. M.; JUCHEM, P. L.; HOFMEISTER, T. (1987). Mineralogical and gemological characterization of corundum from Santa Catarina, Brazil. In: INTERNATIONAL GEMOLOGICAL CONFERENCE, Rio de Janeiro, 1987. **Transactions**. Rio de Janeiro. p.57-59.
- ROEDDER, E. (1984). Fluid inclusions. **Reviews in Mineralogy**, v. 12, p. 1-644.
- SCANGARELLI, E. S. (1985). Primeiras notícias sobre a descoberta de coríndon (variedade rubi) no Estado de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2. , Florianópolis, 1985. **Anais**. Florianópolis, SBG. v.1, p.273.
- SCHREYER W.; WERDING, G.; ABRAHAM, K. (1981). Corundum-Fuchsite rocks in Greenstone belts of Southern Africa: petrology, geochemistry, and possible origin. **Journal of Petrology**, v.22, n.2, p. 191-231.
- SCHUBNEL, H.J. (1972). **Pierres precieuses dans le monde**. Paris, Horizons de france. 167 p.
- SCHULZ JR., A.; ALBUQUERQUE, L.F.F.; GIFFONI, L.E. (1969). **Geologia da Quadrícula Rio do Sul, SC**. Porto Alegre, DNPM. (Relatório interno).
- SCHWARZ, D. (1996). Sapphires from the Andranondambo Region, Madagascar. **Gems & Gemology**, v. 32, n. 2, p.80-99.
- SHEPHERD, T.J.; RANKIN, A.H.; ALDERTON, D.H.H. (1985). **A practical guide to fluid inclusions studies**. New York, Blackie & Sons. 239p.
- SIGA JR.; O.; BASEI, M.A.S.; MACHIAVELLI, A. (1990a). Evolução geotectônica do Maciço de Joinville, PR e SC. In: JORNADAS CIENTIFICAS DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS-USP, São Paulo, 1990. **Boletim especial**. São Paulo, IGUSP. p.116-118.
- SIGA JR., O.; BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K. (1990b). Perfil térmico K-Ar através do Maciço de Joinville (PR e SC) e do Cinturão Dom Feliciano (SC), implicações tectônicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais**. Natal, SBG. v.6, p.2773-2785.

- SIGA JR., O.; BASEI, M.S.A.; REIS NETO, J.M.; BUBA, R.M. (1994b). Maciços graníticos da porção sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e implicações tectônicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994. **Boletim de Resumos Expandidos**. Camboriú, SBG. v.2, p.400-401.
- SIGA JR., O. (1995). **Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: Geocronologia e evolução crustal**. São Paulo, 212 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SILVA, L.C.; DIAS, A.A. (1981a). **Projeto Timbó-Barra Velha, Brasil**. Porto Alegre, DNPM/CPRM, p.282. (Relatório interno).
- SILVA, L.C.; DIAS, A.A. (1981b). Os segmentos mediano e setentrional do Escudo Catarinense: I - Geologia. **Acta Geológica Leopoldensia**, v.5, n.10, p.3-120.
- SILVA, L.C.; DIAS, A.A. (1981c). Os segmentos mediano e setentrional do Escudo Catarinense: II - Organização e evolução geotectônica. **Acta Geológica Leopoldensia**, v.5, n.10, p.121-140.
- SILVA, L.C. (1984). Os terrenos de médio a alto grau do pré-Cambriano de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais**. Rio de Janeiro, SBG. v.3, p.3069-3080.
- SILVA, L.C. (1987). Geologia do pré-Cambriano - Eopaleozóico de Santa Catarina. In: SILVA, L.C.; BORTOLUZZI, C.A. **Texto explicativo para mapa geológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, DNPM/CPRM. p.12-90.
- SILVEIRA, J.D. (1964). Morfologia do litoral. In: AZEVEDO, A. (ed). **Brasil: a terra e o homem**. São Paulo, Ed. Nacional, p.253-305.
- SMITH C.P.; KAMMERLING R.C.; KELLER A.; PERETTI A.; SCARRATT K.V.; KHOA N.G.; REPETTO, S. (1995). Sapphires from southern Vietnam. **Gems & Gemology**, v. 31, n. 3, p. 168-186.
- SMITH, G.F.H. (1972). **Gemstones**. 14ed. London, Chapman and Hall. 537p.
- SOARES, R. M. C. (1975). **Petrologia do complexo máfico ultramáfico de Barra Velha, SC**. São Paulo, 79 p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SOARES, R.M.C.; GOMES, C.B.; RUBERTI, E. (1978). Coexisting pyroxene in mafic and ultramafic rocks from Barra Velha, Santa Catarina, Brazil. **Journal of Mineralogy**, v.7, p.129-134.
- SOUZA CAMPOS, J. E. (1960). Safiras do Rio Coxim, Mato Grosso. **Gemologia**, v.6, n.21, p.1-8.
- SUGUIO, K. (1980). **Rochas sedimentares**. São Paulo, Edgard Blücher/Edusp. 500p.

- SUTHERLAND, F.L.; COENRAADS, R.R. (1996). An unusual ruby-sapphire-sapphirine-spinel assemblage from the Tertiary Barrington volcanic province, New South Wales, Australia. **Mineralogical Magazine**, v. 60, p. 623-638.
- SVISERO, D.P. (1978). **Composição química, origem e significado geológico de inclusões minerais de diamantes do Brasil**. São Paulo, 165p. (Tese - Livre-Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SVISERO, D.P.; FRANCO, R.R. (1987). A província gemológica brasileira. **REM. Revista Escola de Minas**, v.40, n.3, p.37-42.
- TAKEDA, F.K. (1958). **Esboço geológico de Santa Catarina**. Florianópolis, Conselho Regional de Geografia.
- TEIXEIRA, G.R. (1950). Contribuição ao estudo da geomorfologia e quaternário do litoral de laguna, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 13,n.4,p. 535-564.
- TEIXEIRA, W. (1979). Avaliação preliminar do acervo geocronológico das folhas Assunción, Curitiba e Iguape. In: **Projeto RADAMBRASIL**. DNPM/MME, 30p. (Relatório Interno).
- TEIXEIRA, W. (1982). Folhas Assunción, Curitiba e Iguape considerações sobre os dados radiométricos e evolução geocronológica. In: **Projeto RADAMBRASIL**. DNPM/MME, 38p. (Relatório Interno).
- THYLO, V.E.; JANDER, J.; SEEMANN, H. (1955). Die farbe des rubins und der $(Al,Cr)_2O_3$ -Mischkristalle. **Zeitschrift für anorganische und allgemeine chemie**, v.279, p.1-17.
- VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI J.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E. A.; HORN F°, N.; BACHI, F.A ; DEHNARDT, B. A. (1986). Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: RABASSA, J. (ed). **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**. Rotterdam, A.A. Balkema. v.4, p. 79-97.
- VILLWOCK, J.A. (1994). Costa Brasileira: geologia e evolução. **Notas Técnicas**, n. 7, p.38-49.
- WEBSTER, R. (1975). **Gems: their sources, descriptions and identification**. 3.ed. London, Butterworths. 938p.
- WELLS, P.R.A. (1977). Pyroxene Thermometry in simple and complex system. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 62, p. 123-139.
- WERNICK, E.; PENALVA, F. (1978). Contribuição ao conhecimento das rochas granitóides do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.8, n.2, p.113-133.
- WERNICK, E.; ALMEIDA, F.F.M. (1979). The geotectonic environments of early Precambrian granulites in Brazil. **Precambrian Research**, v.8, p.1-17.
- WHITE, J.S. (1979) Boehmite exsolution in corundum. **American Mineralogist**, v.64,p.1300-1302.