UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GERAÇÃO E MIGRAÇÃO DE MAGMAS GRANÍTICOS NA
CROSTA CONTINENTAL: ESTUDOS DE DETALHE EM
GRANITOS E MIGMATITOS DA REGIÃO DE NAZARÉ
PAULISTA (SP)**

LUCELENE MARTINS

Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO

2005

“Quando nós seguimos em direção às rochas de grau metamórfico mais alto, nós finalmente terminamos em um núcleo granítico... Isto não pode ser acidental, a associação de metamorfitos, migmatitos e granitos deve significar algo.”

Herbert Harold Read (1951)

“Ao mestre com carinho”

ÍNDICE REMISSIVO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. A ORIGEM DOS GRANITOS E ANATEXIA CRUSTAL.....	1
1.2. REAÇÕES DE FUSÃO E AS CARACTERÍSTICAS DO FUNDIDO.....	3
1.3. ANATEXIA NA REGIÃO DE ATIBAIA-PIRACAIA-AZARÉ PAULISTA (SP).....	5
1.4. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO.....	6
1.5. APRESENTAÇÃO DA TESE.....	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
2.1. INTRODUÇÃO.....	10
2.2. TRABALHO DE CAMPO E PETROGRÁFICO: COLETA E RECONHECIMENTO DAS AMOSTRAS.....	10
2.3. QUÍMICA DE ROCHA.....	10
2.3.1. ICP-OES e Fluorescência de Raios-X (FRX).....	10
2.3.2. Espectrômetro de Massa com Plasma Induzido acoplado (ICP-MS).....	11
2.4. GEOQUÍMICA ISOTÓPICA SM-Nd E Rb-Sr.....	12
2.5. QUÍMICA MINERAL.....	13
2.5.1. Análises minerais por microsonda eletrônica.....	13
2.5.1.1. Datação em monazita pelo método químico U-Th-Pb _(total)	14
2.5.2. Laser Ablation-ICPMS.....	16
3. SITUAÇÃO GEOLÓGICA.....	19
3.1. CONTEXTO TECTÔNICO.....	19
3.2. ROCHAS METAMÓRFICAS.....	19
3.3. ROCHAS GRANÍTICAS.....	22
4. GEOLOGIA DE DETALHE DE AFLORAMENTOS DE GRANITOS AZARÉ PAULISTA..	24
4.1. INTRODUÇÃO.....	24
4.2. AFLORAMENTO NP74.....	24
4.3. AFLORAMENTO NP40.....	30
4.4. UM SUMÁRIO: OS PRINCIPAIS TIPOS DE GRANITO ANATÉTICO.....	34
4.5. PETROGRAFIA.....	35
4.5.1. Granitos.....	35
4.5.2. Rochas metamórficas.....	36
4.6. TEMPERATURAS DE CRISTALIZAÇÃO.....	39
4.7. GEOCRONOLOGIA U-TH-Pb.....	39
4.8. CONCLUSÕES.....	41
5. MIGMATITOS E A FORMAÇÃO DE LEUCOSSOMAS IN SITU.....	43
5.1. INTRODUÇÃO.....	43
5.2. TIPOS DE GNAISSES MIGMATÍTICOS LOCAIS.....	45
5.3. DESCRIÇÃO DO MIGMATITO ESTUDADO.....	46
5.4. CONDIÇÕES DE MIGMATIZAÇÃO.....	52
5.5. GEOQUÍMICA.....	55
5.6. ISOTOPIA SR-Nd.....	62
5.7. QUÍMICA MINERAL.....	63
5.8. DISCUSSÃO.....	79
5.9. CONCLUSÕES.....	87
6. GRANITOS AZARÉ PAULISTA: GÊNESE INFERIDA PELAS ANÁLISES QUÍMICAS E ISOTÓPICAS SR-ND.....	89
6.1. INTRODUÇÃO.....	89
6.2. GEOQUÍMICA.....	89
6.2.1. Rochas Graníticas.....	90
6.2.2. Rochas metamórficas.....	101
6.3. ISOTOPIA SR-Nd.....	104
6.4. DISCUSSÃO DOS DADOS GEOQUÍMICOS E ISOTÓPICOS.....	106
6.4.1. O comportamento dos elementos traços Rb, Sr e Ba.....	106
6.4.2. O comportamento dos Elementos Terras Raras (ETR).....	107
6.4.3. O comportamento de Nb e Ta.....	109
6.4.4. Isotopia Sr-Nd.....	110

6.5.	GERAÇÃO E EVOLUÇÃO DOS GRANITOS NAZARÉ PAULISTA	111
6.5.1.	<i>Os prováveis protolitos dos Granitos Nazaré Paulista</i>	<i>111</i>
6.5.2.	<i>A formação de vênulas de leucogranito no granito cinza</i>	<i>113</i>
6.5.3.	<i>A diversidade dos granada leucogranitos</i>	<i>115</i>
6.5.4.	<i>Os modelos de reação de fusão</i>	<i>117</i>
7.	GRANITOS NAZARÉ PAULISTA: GÊNESE INFERIDA PELAS ANÁLISES QUÍMICAS DE MINERAIS	119
7.1.	INTRODUÇÃO	119
7.2.	QUÍMICA MINERAL	119
7.2.1.	<i>Granada</i>	<i>119</i>
7.2.1.1.	Elementos Maiores	120
7.2.1.2.	Padrões de ETR e elementos traços	122
7.2.1.3.	Perfis Composicionais	126
7.2.2.	<i>Monazita.....</i>	<i>131</i>
7.2.2.1.	Padrões de ETR	131
7.2.2.2.	Perfis Composicionais	135
7.2.3.	<i>Biotita.....</i>	<i>139</i>
7.2.4.	<i>Feldspatos</i>	<i>140</i>
7.3.	DISCUSSÃO	144
7.3.1.	<i>A presença de restitos.....</i>	<i>144</i>
7.3.2.	<i>A diversidade de granitos Nazaré Paulista</i>	<i>145</i>
7.3.3.	<i>A origem da venulação.....</i>	<i>145</i>
7.3.4.	<i>A diversidade dos granitos cinzentos</i>	<i>145</i>
7.3.5.	<i>A diversidade dos leucogranitos isolados</i>	<i>146</i>
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	148
9.	REFERÊNCIAS	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 -	Diagrama P-T mostrando as reações de fusão e solidificação determinadas experimentalmente para rochas metassedimentares.....	5
Figura 2 -	Mapa geológico simplificado da região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista.....	8
Figura 3 -	Aquisição de sinal das análises por LA-ICPMS no tempo.....	18
Figura 4 -	Reconstituição fotográfica do afloramento NP74.....	27
Figura 5 -	Reconstituição fotográfica do afloramento NP40.....	32
Figura 6 -	Diagrama ternário Ab-An-Or normativo para as porções do migmatito.....	49
Figura 7 -	(a) Diagramas tipo Harker de variação composicional de elementos maiores e menores; (b) padrão comparativo dos elementos maiores do migmatito.....	59
Figura 8 -	Diagrama de variação dos índices A/CNK e mg# (MgO/MgO+FeO) do migmatito.....	61
Figura 9 -	Padrão de ETR do migmatito.....	61
Figura 10 -	Diagramas de variação de multi-elementos normalizados para crosta continental para o migmatito.....	62
Figura 11 -	Diagramas de variação composicional de granadas das diferentes porções do migmatito estudado.....	66
Figura 12 -	Diagrama de variação multi-elementos (ppm) de granada do migmatito.....	67
Figura 13 -	Padrão de ETR de granada das diferentes porções do migmatito.....	68
Figura 14 -	Diagrama de variação da anomalia de Eu e fracionamento dos ETR pesados (Gd_N/Yb_N) de granada das diferentes porções do migmatito.....	69
Figura 15 -	Perfis de zoneamento dos elementos maiores (% em peso) de granada de diferentes porções do migmatito.....	69
Figura 16 -	Perfis de zoneamento dos elementos menores (metais de transição) de granada de diferentes porções do migmatito.....	70
Figura 17 -	Perfis de zoneamento de Y (ppm), ETR intermediários e pesados (ppm) e razões Yb/Dy e Yb/Er de granada de diferentes porções do migmatito.....	71
Figura 18 -	Diagramas ternários de monazita de leucossomas e mesossomas - variação de Th+U - ETRL - ETRP+Y.....	72
Figura 19 -	Combinação das trocas brabantita (Th,U)Ca(PO ₄) ₂ e huttonita (Th,U)SiO ₄	73
Figura 20 -	Padrão de ETR de monazita das diferentes porções do migmatito.....	73
Figura 21 -	Medidas do fracionamento dos ETRL/ETRP ((La/Dy) _N) e variação dos teores de Y de monazita das diferentes porções do migmatito.....	74
Figura 22 -	Medidas do fracionamento dos ETRL/ETRP ((La/Dy) _N) e variação dos teores de Y de monazita das diferentes porções do migmatito.....	74
Figura 23 -	Diagrama classificatório de biotita de leucossomas e mesossomas.....	75
Figura 24 -	Diagrama de variação multi-elementos de biotita das diferentes porções do migmatito.....	76
Figura 25 -	Variação dos teores de An e Ab de plagioclásio das diferentes porções do migmatito.....	77
Figura 26 -	Variação dos teores de Rb, Sr e Ba de plagioclásio das diferentes porções do migmatito.....	77
Figura 27 -	Distribuição de ETR de plagioclásio das diferentes porções do migmatito estudado.....	78
Figura 28 -	Variação dos teores de Sr, ETRL, Pb e Eu de plagioclásio das diferentes porções do migmatito.....	78
Figura 29 -	Variação da razão K ₂ O/Na ₂ O e Ba de feldspato potássico de leucossoma granítico e tonalítico.....	79
Figura 30 -	Diagrama triangular de composição dos leucossomas no sistema Qtz-Ab-Or.....	85
Figura 31 -	Diagrama ternário Ab-An-Or normativo para granitos.....	94
Figura 32 -	Diagrama triangular de composição dos granitos Nazaré Paulista no sistema Qtz-Ab-Or.....	94
Figura 33 -	Diagramas de variação geoquímica (elementos maiores) usando SiO ₂ como índice de diferenciação para granitos dos afloramentos NP74 e NP40.....	95
Figura 34 -	Diagramas de variação geoquímica (elementos maiores) usando FeO+MgO+TiO ₂ como índice de diferenciação para granitos dos afloramentos NP74 e NP40.....	96
Figura 35 -	(a) Diagramas de variação geoquímica (elementos menores) x FeO+MgO+TiO ₂ ; (b) variação das razões Rb/Sr e Ba/Sr de granitos dos afloramentos NP74 e NP40.....	97- 97
Figura 36 -	Diagramas de variação Na ₂ O/K ₂ O x CaO para granitos dos afloramentos NP74 e NP40.....	98
Figura 37 -	(a) Diagramas de variação ETRL x Th e ETRL x SiO ₂ , FeO e TiO ₂ ; (b) variação da anomalia de Eu x (La/Yb) _N de granitos da região de Atibaia-Nazaré Paulista.....	99
Figura 38 -	Diagramas de variação entre mg# e SiO ₂ , A/NK e A/CNK e variação geoquímica (elementos maiores) usando SiO ₂ e FeO+MgO+TiO ₂ como índice de diferenciação para paragneisses e ortogneisses da região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista (SP).....	102

Figura 39 -	Diagramas de variação geoquímica (elementos menores) usando $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ como índice de diferenciação para paragneisses e ortogneisses.....	103
Figura 40 -	Diagramas de variação das razões Sr/Ba e Rb/Sr de paragneisses e ortogneisses.....	103
Figura 41 -	Padrões de ETR e diagramas $\text{La} \times \text{La}/\text{Y}$ e La/Yb de paragneisses e ortogneisses.....	103
Figura 42 -	Diagrama $\epsilon\text{Nd} \times {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ para granitos crustais e rochas metamórficas da região de Nazaré Paulista.	106
Figura 43 -	Padrões de ETR normalizados pela composição de rocha total dos principais minerais portadores de ETR em amostras de leucogranito e gnaisses do afloramento NP74.....	109
Figura 44 -	Diagramas de variação composicional de granadas de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista-Atibaia (SP).	122
Figura 45 -	(a) Padrão de ETR de granada de granitos dos afloramentos NP40 e NP74; (b) medidas do fracionamento dos ETRL, ETRP e anomalia de Eu de granitos e gnaisses	124 -124
Figura 46 -	Diagramas de variação de elementos traços de granadas de granitos e gnaisses.....	126
Figura 47 -	Imagens de elétrons retroespalhados de cristais de granada de gnaisses e granitos.	127
Figura 48 -	Perfis de zoneamento de elementos maiores, Y, ETR e razões Yb/Dy e Yb/Er de granada de granitos e gnaisses.....	128
Figura 49 -	Diagramas ternários de variação catiônica de $\text{Th}+\text{U}$ - ETRL - ETRP+Y em monazita de granitos e gnaisses.....	132
Figura 50 -	Variação do padrão de fracionamento do ETR para granitos e gnaisses	133
Figura 51 -	Variação do padrão de fracionamento do ETR de monazita - $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} \times \text{La}/\text{Y}$ de granitos e gnaisses	134
Figura 52 -	Variação do padrão de fracionamento do ETR para granitos e gnaisses, padrões completos obtidos com LA-ICPMS.....	134
Figura 53 -	Imagens de elétrons retroespalhados (BSE) e perfil químicos de monazita	136
Figura 54 -	Diagramas de variação química para biotita de granitos e gnaisses.	140
Figura 55 -	Diagramas de variação química para plagioclásio de granitos e gnaisses.....	141
Figura 56 -	(a) Padrão de ETR de plagioclásio; (b) $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} \times$ anomalia de Eu.....	142
Figura 57 -	Diagramas de variação de elementos traços de plagioclásio de granitos e gnaisses.....	143

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 -	Biotita gnaiss homogêneo equigranular, de composição tonalítica (amostra NP100 A)	21
Foto 2 -	Biotita gnaiss, com porções estromatíticas (amostra NP100 B)	21
Foto 3 -	Sillimanita-granada-biotita gnaiss dobrado, com porções leucossomáticas boudinadas (amostra NP 108; pelito)	21
Foto 4 -	Fotomicrografia do sillimanita-granada-biotita gnaiss, com porfiroblasto de granada com inclusões de quartzo e contornada pela foliação	21
Foto 5 -	Detalhe de <i>boudins</i> de anfibolito e leucossomas (amostra NP109 D).....	21
Foto 6 -	Granada-biotita gnaiss tonalítico em contato com <i>boudin</i> de anfibolito. (amostra NP109 D).....	21
Foto 7 -	Aspecto "manchado" do granada-biotita gnaiss Nazaré Paulista dado pela presença de glomérulos granatíferos amostras NP74 C e D)	23
Foto 8 -	Aspecto microtextural do biotita granito róseo tipo Quatro Cantos, médio, equi- a inequigranular, com IC~10 (amostra NP90)	23
Foto 9 -	Fotografias de campo do granito Nazaré Paulista e rochas encaixantes (NP74).	29
Foto 10 -	Fotografias de campo do granito Nazaré Paulista e rochas encaixantes (NP40).	33
Foto 11 -	Fotomicrografias do Granito Nazaré Paulista e rochas encaixantes	38
Foto 12 -	Granada biotita gnaiss migmatítico em contato com granada-biotita granito venulado.	45
Foto 13 -	Migmatito estromático, com veios de leucossomas leucocráticos compostos e paralelos às porções xistosas mais escuras (mesossomas e/ou melanossomas).	45
Foto 14 -	Migmatito estromático, em parte boudinado, com injeção de granito hololeucocrático (leucossoma).....	46
Foto 15 -	Granada-biotita gnaiss migmatítico bandado, um metatextito típico do afloramento NP74.....	46
Foto 16 -	Seção transversal da amostra da Foto 15 (definidas as diferentes unidades de leucossomas e mesossomas).	47
Foto 17 -	Seção delgada 1, mostrando Lc1, M11 e Ms6.....	47
Foto 18 -	Seção delgada 2 apresentando o segmento dobrado correspondente ao Lc2 acompanhado do melanossoma M12.	47
Foto 19 -	Seção delgada 3 (continuação do segmento dobrado formado pelo leucossoma Lc2 e acompanhado do melanossoma M12).	47
Foto 20 -	Seção delgada 4 expondo o ápice da dobra formada pelo leucossoma Lc3 e seu respectivo melanossoma M13.	47
Foto 21 -	Seção delgada 5 mostrando o Lc4, M14 e o mesossoma Ms7.	47
Foto 22 -	Seção delgada 6 expondo o Lc5, envolvido pelo M15 e o Ms7	47
Foto 23 -	Aspecto microtextural geral apresentado pelo Ms7.....	50
Foto 24 -	Cristais de granada mostrando reação evidenciada pelo intercrescimento de simplectita de biotita, quartzo, plagioclásio e, localmente, sillimanita (processo de descompressão).	50
Foto 25 -	Cristais de monazita idiomórfica a subidiomórfica.....	50
Foto 26 -	Textura panxenomórfica típica do Leucossoma granítico Lc1	50
Foto 27 -	Textura granular hipidiomórfica dos leucossomas tonalíticos.	50
Foto 28 -	Granada subidiomórfica com inclusões arredondadas de quartzo (Lc3; seção delgada 4).....	50
Foto 29 -	Agregado de grãos de apatita idiomórfica a subidiomórfica bem desenvolvida (feição exclusiva do Lc2; seção delgada 2).	51
Foto 30 -	Sillimanita xenomórfica e parcialmente consumida por muscovita e outros minerais micáceos finos (feição rara encontrada no Lc2; seção delgada 2).	51
Foto 31 -	Pseudomorfo de mineral acessório completamente substituído por carbonato e mineral opaco não identificado (feição observada no Lc2; seção delgada 2).	51
Foto 32 -	Aspecto textural de porção observada no leucossoma 3, isoladamente formando modalmente um álcali feldspato granito (Lc3; seção delgada 4.	51
Foto 33 -	Granada subidiomórfica bastante fraturada. As fraturas são preenchidas por biotita verde claro (Lc1 – seção delgada 1).	51
Foto 34 -	Andaluzita parcialmente alterada para muscovita (Lc5; seção delgada 6).	51
Foto 35 -	Aspecto textural magmático do Lc5 (seção delgada 6) mostrando plagioclásio subidiomórfico, feldspato potássico e quartzo xenomórficos.....	52
Foto 36 -	Granada subidiomórfica contornada por e com inclusões de fibrolita (seção delgada 1; Lc1/M11)	52
Foto 37 -	Granada subidiomórfica e biotita associadas formando o M11, posicionado entre Ms6 e Lc1 (seção delgada 1).	52
Foto 38 -	Concentração de granada xenomórfica com biotita associada formando o M12	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 -	Padrões analíticos	13
Tabela 2 -	Parâmetros analíticos.....	15
Tabela 3 -	Composição modal aproximada (%) das diferentes unidades que compõem o migmatito.....	46

ANEXOS

Anexo 1 -	Análises de química total do migmatito (elementos maiores, menores, traços e isótopos).....	1
------------------	---	---

Anexo 2 - Análises de química mineral do migmatito

Anexo 2a -	Granada.	1
Anexo 2b -	Monazita.....	10
Anexo 2c.	Biotita	12
Anexo 2d.	Feldspatos.....	14

Anexo 3 -	Análises de química total dos granitos e gnaisses (elementos maiores, menores, traços e isótopos).....	1
------------------	--	---

Anexo 4 - Análises de química mineral dos granitos e gnaisses

Anexo 4a.	Granada.....	1
Anexo 4b -	Monazita.....	20
Anexo 4c.	Biotita	28
Anexo 4d.	Feldspatos.....	34

RESUMO

As condições de geração e migração de magmas na crosta continental foram investigadas a partir de estudos de detalhe em dois afloramentos de granitos anatóticos tipo Nazaré Paulista (Nappe Socorro Guaxupé, região de Atibaia, SP), utilizando como ferramentas principais a geoquímica de elementos maiores e traços em rochas e minerais e a isotopia Sr-Nd. O granito Nazaré Paulista tem uma ampla variedade composicional, sendo as duas variedades principais um granada leucogranito e um granada-biotita granito cinza com uma rede de vênulas de leucogranito (~625 Ma, U-Pb monazita). Ambos os tipos formam corpos sub-concordantes de dimensões decamétricas nos dois afloramentos; as relações de contato quando observadas indicam a intrusão posterior dos granada leucogranitos.

Dois tipos de leucossomas foram reconhecidos em paragneisses migmatíticas associados aos granitos Nazaré Paulista: (1) granada-biotita tonalito com baixa razão Rb/Sr (0,3), padrões de ETR pouco fracionados ($(La/Yb)_N = 4-5$) e com anomalia negativa de Eu e assinatura isotópica Sr-Nd idêntica à do mesossoma; (2) granada leucogranito, com razão Rb/Sr de ~0,56, padrões de ETR pouco fracionados ($(La/Yb)_N = 5$), com anomalia positiva de Eu e $\epsilon Nd_{(t)}$ idêntico ao do mesossoma, mas com $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)}$ mais baixa. Ambos os tipos de leucossomas são distintos dos granitos e foram interpretados como produtos da fusão em presença de água do paragneisse, respectivamente antes e depois da geração de feldspato potássico no protolito.

Alguns contrastes geoquímicos relevantes são observados entre os granitos cinza e os leucogranitos: os primeiros apresentam maior mg# e Zr e padrões de ETR mais fracionados; as razões Rb-Sr de ambos os tipos são semelhantes (0,4-0,7). A assinatura isotópica Sr-Nd dos granitos mostra importante variação ($\epsilon Nd_{(t)} = -16$ a -13 e $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)} = 0,716-0,728$); apenas duas amostras de leucogranito têm assinatura coincidente com o campo dos paragneisses regionais. Assumindo os paragneisses como fonte única dos granitos Nazaré Paulista, é necessário que a fusão tenha ocorrido em desequilíbrio e em presença de água.

A química de elementos traços em granada foi fundamental para a identificação dos diversos processos de diferenciação que respondem pela variedade de granitos observada. Parte dos granitos cinza carrega um componente restítico, representado por granadas com núcleos ricos em ETRP+Y semelhantes às granadas dos paragneisses encaixantes. As vênulas de granada leucogranito que cortam o granito cinza são formadas provavelmente pela “refusão” do *mush* original durante a rápida ascensão e exibem granadas pobres em ETRP, cujos teores aumentam para a borda, definindo um padrão tipicamente magmático.

Os leucogranitos que formam corpos isolados podem em parte corresponder a diferenciados do granito cinza, conforme indicado pelas relações de campo e pela geoquímica de rocha. No entanto os leucogranitos com alta $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)}$ apresentam granadas com núcleos ricos em ETRP+Y e monazita com composição similar a dos paragneisses, reforçando a hipótese de serem estes produtos da fusão direta de paragneisses.

ABSTRACT

The conditions of melt generation and migration in the continental crust were investigated through a detailed study of two outcrops of the anatectic Nazaré Paulista granites (Socorro-Guaxupé, Nappe, Atibaia region, SE Brazil), using as main tools the rock and mineral major and trace-element geochemistry and Sr-Nd isotopy. The Nazaré Paulista granite shows a wide compositional variation, and can be grouped into two main types: a garnet leucogranite and a veined grey garnet-biotite granite, the latter dated at ~625 Ma (monazite U-Pb ID-TIMS). These types occur as subconcordant bodies 10-50 m wide and are present in both outcrops; where observed, the contact relationships show that the garnet leucogranites intruded after the grey granites.

Two types of leucosome were recognized in migmatitic paragneisses associated to the Nazaré Paulista granites: (1) garnet-biotite tonalite with low Rb/Sr (0.3), slightly fractionated REE patterns ($(La/Yb)_N = 4-5$) with negative Eu anomalies and Sr-Nd isotope signature identical to that of the mesosome; and (2) garnet leucogranite, with Rb/Sr ~0.56, slightly fractionated REE patterns ($(La/Yb)_N \sim 5$) with positive Eu anomalies, $\epsilon Nd(t)$ identical to that of the mesosome, but lower $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)}$. Both leucosomes are different from the granites, and were interpreted as the products of water-present melting of the paragneiss, respectively before and after the crystallization of K-feldspar in the protolith.

Some relevant geochemical contrasts are observed between the two types of Nazaré Paulista granites: compared to the leucogranites, the gray granites show greater mg# and Zr and more fractionated REE patterns; the Rb/Sr ratios of both are low (0.4-0.7). The Sr-Nd isotope signature has important variations ($\epsilon Nd_{(t)} = -16$ to -13 and $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)} = 0.716-0.728$); only two leucogranite samples have signatures that are coincident with the field of the regional paragneisses. Assuming the paragneisses as the only source of the Nazaré Paulista granites would require that melting occurred under disequilibrium and water-present conditions.

The trace-element chemistry of garnet was important to identify the differentiation processes that respond for the observed variety of anatectic granites. Part of the gray granites carries a restitic component, represented by ETRP+Y-rich garnet cores that are similar to the garnets from the country-rock paragneisses. The garnet leucogranite veins that cut the gray granite were probably formed by "partial remelting" of the original mush during rapid ascent, their idiomorphic garnet crystals have a distinctive composition (low HREE in the cores, increasing slightly to the rims), interpreted as magmatic.

Some of the leucogranites forming isolated bodies may have been generated by fractionation from the gray granite, as indicated by field relations and rock geochemistry. On the other hand, the leucogranite with high $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)}$ has ETRP+Y-rich garnet cores and its monazite is compositionally similar to that of the paragneisses, features indicative that they were probably produced by direct melting of these rocks.

AGRADECIMENTOS

Onze anos, e que jornada.... Quanto apreço eu venho nutrindo por esse cantinho na Rua do Lago. Minha casa, minha balada, meu lugar. Senti-me em casa, já na primeira vez. Nada aqui me é hostil. Um lugar convidativo e de gente por demais aprazível. Não, não me engano, nem tudo foi fácil, mas honestamente, não me arrependo de nada. Afinal, não tenho motivos, fiz a escolha certa. Geologia. Muito provavelmente, essa sensação de gostar do que faço também é fruto das muitas relações de amizade e aprendizado que travei ao longo dos últimos anos. Assim, preciso agradecer às pessoas que de forma direta ou indireta me colocaram no caminho no qual eu me encontro hoje.

Valdecir, me faltam adjetivos para qualificá-lo. Você me impressionou, me impressiona ainda. Talvez você não tenha idéia de sua inteligência e perspicácia, mas eu tenho, e quanto respeito isso me inspira. Você me guiou, orientou, apoiou, criticou, ensinou tudo na dose certa, e quando eu achei que você não podia oferecer mais, foi aí que eu me surpreendi, pois você me ofereceu a sua amizade. Com você eu aprendi o que é ser mestre, guia, guru e amigo, tudo junto. Você me fez uma pessoa melhor e com certeza uma pesquisadora mais eficiente. Valdecir, minha gratidão a você é eterna.

Algumas pessoas muito especiais também foram importantes na minha formação pessoal e acadêmica, são eles: Silvio Vlach, Horstpeter H. G. J. Ulbrich, Gergely Szabó, Excelso Ruberti, Mabel C. Ulbrich, a eles gostaria de dizer meu muito obrigado.

Gostaria ainda de agradecer a Renato Moraes e Marcos Egydio pelo incentivo, que foi fundamental nas etapas finais do meu trabalho.

Agradeço a Marcos Mansueto pelo apoio que me tem dispensado durante toda a pós-graduação, sua ajuda tem sido imprescindível.

Quero agradecer aos amigos que fazem parte da equipe do laboratório de química e ICP-AES e MS do IG-USP, Sandra Andrade, Margareth Navarro, Maria Inês, Paulo Mori, Ricardo e José Paulo, muito obrigada, pela atenção dispensada e alta qualidade dos análises obtidas. Agradeço também à prestativa equipe do CEPEGEO. Muito obrigada também a Paulinho e Angélica por seu trabalho e atenção.

Eu preciso agradecer às minhas amigas Valéria, Sônia, Ana Paula, Magali e aos amigos Ericson e Tadeu por todo apoio e simpatia.

As vezes é difícil dizer apenas “muito obrigado” para algumas pessoas, pois parece pouco, uma vez que essas pessoas sempre estiveram ao meu lado me apoiando. Por isso, a essas pessoas eu ofereço mais que o meu muito obrigado, eu ofereço a minha amizade até o dia que elas quiserem, e acharem que eu tenha feito por merecer. Dedê, Pi, Glau, Cintia, Silvia, Bi, Aninha, She, Carina, Gaston, Hécio, Rogério, Márcia, Valéria, Cláudia, Roseane e Veridiana, por favor estejam sempre na minha vida.

Neste momento estou em débito com os amigos Adriana, Gaston e Rogério, assim aproveito para aqui agradecer pelos dias e noites que passaram me ajudando na conclusão desse volume. Bi, te devo uma, duas, mil..., pode cobrar. Aos amigos Cintia e Hécio agradeço por estarem sempre ali onde eu precisava, eu imagino que vocês não sabem a diferença que isso fez.

Quero agradecer a todos os funcionários da gráfica do Instituto de Geociências, que sempre me foram muito atenciosos.

Aos amigos da pós-graduação Aline, Juli, Josiane, Deborah, Ligia, Xazinha, Liza, Débora, Kauzinha, Serginho, Ivanety, Fred, Carlos, Agustin, Fernando Pelegrini, Fernando Camargo, Marcelo, Frederico, Andres e Paula eu quero dizer obrigada, por terem me dado o prazer da convivência diária e dividirem comigo o gosto pela pesquisa.

Aos meus novos amigos que compartilham comigo o mesmo mestre, Renato, Bruna, Camila, Ligia e Pedro, eu agradeço a paciência e compreensão de vocês.

Bom, e a Família, agradecê-la parece até absurdo, pois dela não se espera menos que o apoio integral. A minha não me deu menos, só mais, mais amor e compreensão do que em qualquer momento de minha vida. Aproveito também para agradecer à família de meu orientador, Lúcia e Lígia obrigada pela compreensão.

Finalmente, agradeço à FAPESP pela bolsa de doutorado (Proc. Nº 01/01101-8), e Projeto de Pesquisa Fapesp (Proc. Nº Proc. 2000/2509-8) e bolsa de estágio no exterior da CAPES (Proc. BEX 0494/03-8), financiamentos necessários para minha formação e concretização da tese.

1. INTRODUÇÃO

1.1. A origem dos Granitos e Anatexia Crustal

Os mecanismos de geração, coleta e migração de magmas na crosta continental terrestre são temas fundamentais da petrologia ígnea, e têm conhecido renovado interesse na literatura geológica (*e.g.*, Brown, 2004) graças, em boa parte, ao emprego de novas metodologias de estudo, que vêm permitindo quantificar de modo mais preciso as variáveis intensivas e extensivas envolvidas (P, T, t, *a*(fluidos) *etc.*).

As investigações de maior impacto na literatura recente têm sido desenvolvidas nos casos em que as áreas-fonte dos magmas graníticos estão bem caracterizadas, seja em terrenos anatóticos, onde magmas e fontes se encontram diretamente associados (Watt & Harley, 1993; Bea *et al.*, 1994; Barbero *et al.*, 1995; Nabelek & Bartlett, 1998; Solar & Brown, 2001; Johnson *et al.*, 2003), seja em casos como o dos Himalaias, onde estudos continuados ao longo das últimas décadas permitem identificar as áreas-fonte dos leucogranitos colisionais com relativa segurança (France-Lanord & Le Fort, 1988; Harris *et al.*, 1995; Harris *et al.*, 2000).

A identificação das áreas-fonte dos magmas graníticos é freqüentemente dificultada pela falta de exposição das porções mais profundas da crosta onde eles potencialmente se geraram. Mais ainda, muito provavelmente a grande maioria das suites graníticas composicionalmente mais expandidas tem origem complexa, envolvendo a participação de proporções variadas de magmas básicos derivados do manto, já que estudos experimentais mostram que o produto típico de anatexia crustal são leucogranitos, e o “modelo restítico” (Chappell *et al.*, 1987) não parece ser aplicável em muitos casos (ver Patiño Douce, 1999, para uma síntese recente).

Dessa forma, áreas migmatíticas oferecem uma oportunidade única para a investigação dos processos de geração de magmas na crosta continental terrestre, uma vez que têm o potencial de permitir correlacionar granitos e suas fontes e, a partir daí, quantificar as variáveis envolvidas, valendo-se das referências envolvendo estudos experimentais atualmente disponíveis na literatura.

A identificação de fontes usa tipicamente uma abordagem geoquímica, na qual elementos maiores, elementos traços e isótopos (em especial, Sr, Nd e Pb) fornecem informações fundamentais e complementares (*e.g.*, Inger & Harris, 1993; Harris *et al.*, 1995; Janasi, 1999; Pressley & Brown, 1999) que podem ser confrontadas com trabalhos experimentais (*cf.* Patiño Douce & Harris, 1998; Castro *et al.*, 1999; Knesel & Davidson, 2002).

A presença de material residual (restitos) é um dos indicadores mais seguros sobre as características das fontes de magmas crustais. Entre os principais critérios que podem ser utilizados na identificação desse material incluem-se características texturais macro e microscópicas (*e.g.*, aglomerados máficos ricos em minerais refratários; núcleos corroídos de

plagioclásio cálcico *etc*; *cf.* Chappell *et al.*, 1987), química de rochas (*e.g.*, variações composicionais a partir de composições de “mínimo” em direção à composição dos protolitos; *cf.* Janasi, 1999) e química mineral (comparação entre a composição dos minerais residuais no granito e na suposta fonte). Dadas as ambigüidades inerentes a praticamente todos esses critérios, a identificação de restitos é melhor caracterizada quando todos eles podem ser testados e fornecem indicações consistentes. Ferramentas mais sofisticadas, como a identificação de padrões de zoneamento de elementos traços em minerais (a partir de análises obtidas por LA-ICPMS ou SIMS), mostram também elevado potencial para resolução do problema, que começa a ser explorado na literatura (*cf.* Harris *et al.*, 1995).

A estimativa das condições P, T e atividade de fluidos em que ocorreu a geração e a cristalização de um determinado magma granítico é dificultada pela falta de critérios seguros. Em particular, as paragêneses minerais mais comumente observadas em granitos são pouco sensíveis a variações de P e T.

A geobarometria de granitos ganhou impulso significativo com o uso de equilíbrios baseados na presença e em variações composicionais de minerais relativamente comuns como hornblenda, muscovita e epidoto (*e.g.*, Zen, 1989; Anderson, 1996), mas as incertezas envolvidas são ainda muito grandes, e parte expressiva dos granitos comuns não exhibe esses minerais em condições favoráveis para a aplicação dos geobarômetros. Igualmente utilizáveis, mas sujeitas a problemas interpretativos que limitam muito a sua confiabilidade, são estimativas que levam em conta a variação da composição do mínimo granítico em função de P e a(H₂O) (*e.g.*, Anderson, 1983, 1996; Zen, 1989; Janasi, 1999), atualmente sustentada por um corpo de dados experimentais significativo (*cf.* Johannes & Holtz, 1996); claramente, sua aplicação está restrita a magmas de composição próxima à do mínimo, o que não é de fácil demonstração e certamente não se aplica em muitos casos.

Por outro lado, a possibilidade de estimar temperaturas de saturação em minerais acessórios (em especial, zircão, monazita e apatita; *cf.* Watson & Harrison, 1984; Montel, 1993) abriu amplas perspectivas para a termometria de magmas crustais e, em consequência, para a determinação das condições em que ocorrem os processos de anatexia, inclusive no que se refere à cinética de formação e extração dos magmas (*e.g.*, Harris *et al.*, 1995; Ayres *et al.*, 1997).

Este último aspecto, uma das áreas de pesquisa que desperta maior interesse na literatura atual (*cf.* Watt & Harley, 1993; Brown *et al.*, 1995; Bea, 1996; Sawyer, 1996; Sawyer, 2001; Brown, 2004), também vem ganhando impulso graças ao expressivo volume de determinações experimentais de coeficientes de difusão de elementos químicos em minerais comuns em função da temperatura que tem sido obtido em anos recentes (*cf.* Bea, 1996 para uma revisão). Esses dados mostram que, às temperaturas mais baixas de geração de magmas na crosta (650-750° C, intervalo em que se geram magmas em presença de água livre ou por quebra de muscovita), os

coeficientes de difusão de muitos elementos nos minerais principais de granitos são baixos o suficiente para que condições de desequilíbrio sejam comuns ou predominantes (Bea, 1996). Dessa forma, zoneamentos químicos em minerais como granada, zircão e monazita devem ser comuns, e podem mostrar registros de herança (bem conhecida em estudos isotópicos, mormente no sistema U-Th-Pb, mas também no sistema Sm-Nd; *cf.* Ayres & Harris, 1997), bem como a memória de processos como fusão progressiva e fracionamento magmático (*cf.* exemplos para granada em Harris *et al.*, 1995).

Estimativas da duração dos processos de anatexia ganham, portanto, uma ferramenta importante no uso dos coeficientes de difusão, a partir dos quais a variável tempo pode ser avaliada quando a temperatura é determinada de modo independente. Em paralelo, métodos precisos de determinação radiométrica desenvolvidos ou aprimorados nos últimos anos têm permitido “enxergar” a duração dos eventos anatéticos, eventualmente distinguindo pulsos separados por pequenos hiatos temporais (*e.g.*, 2-3 Ma; *cf.* datação de leucogranitos do Himalaia pelo método Th-Pb por microsonda iônica em monazitas por Harrison *et al.*, 1999), com conseqüências decisivas para modelos de geração de magmas e para a própria compreensão da evolução da crosta continental.

1.2. Reações de fusão e as características do fundido

Além da fusão em presença de água de rochas quartzo feldspáticas (*e.g.*, Ebani & Johannes, 1991), um importante mecanismo para a anatexia crustal é a fusão por quebra de minerais hidratados, como micas e anfibólio, componentes importantes em rochas metassedimentares em vários níveis crustais (*e.g.*, Clemens & Vielzeuf, 1987; Le Breton & Thompson, 1988; Patiño Douce & Johnston, 1991; Harris & Inger, 1992; Vielzeuf & Clemens, 1992; Vielzeuf & Montel, 1994; Patiño Douce & Beard, 1995; Thompson, 1996; Patiño Douce & Harris, 1998; Castro *et al.*, 1999; Otamendi & Patiño Douce, 2001).

O processo de fusão de um dado protolito é iniciado quando determinada assembléia mineralógica cruza sua curva *solidus* no espaço P-T devido a aquecimento progressivo, influxo de água ou descompressão. As reações saturadas em água mostram uma curva com inclinação negativa no espaço dP/dT , enquanto as reações por quebra de mineral hidratado mostram inclinação positiva, sendo que as reações de fusão por quebra de biotita mostram uma inclinação mais acentuada do que as reações por quebra de muscovita. Rochas que seguem um caminho P-T no sentido horário devem cruzar essas reações e gerar fundidos durante processo de exumação. Na Figura 1 são apresentadas as reações de fusão de rochas metassedimentares conforme sumarizadas por Whittington & Treloar (2002).

A fusão em presença de água de rochas quartzo feldspáticas é um mecanismo importante na anatexia crustal, pois o aumento da atividade de água abaixa o *solidus* quartzo + feldspatos

muito mais rapidamente que diminui a estabilidade das micas ou anfíbólio, limitando dessa forma a participação desses minerais nas reações de fusão (*cf.* reação: $Qtz + Ab + Or \rightarrow Fundido$). Por outro lado, com a diminuição da participação de uma fase fluida livre, aumenta a participação da proporção de minerais hidratados nas reações de fusão, de modo que é possível gerar uma diversidade de fundidos a partir de uma mesma fonte.

Patiño Douce & Harris (1998) conduziram trabalhos experimentais a 6, 8 e 10 kbar e no intervalo de 700 - 900 °C investigando a fusão de metapelitos provenientes do Himalaia, sem a adição de água (fusão por quebra de muscovita) e com adição de água ao sistema. A fusão por quebra de muscovita a temperaturas entre 750 e 800 °C produziu até 22% de fundido com características muito similares aos leucogranitos do Himalaia (*cf.* reação: $Ms + Pl + Qtz \rightarrow fundido + Kfs + Sil + Bt$). A adição de água ao sistema deslocou a curva dos *solidus* para temperaturas mais baixas, e a fusão se deu a temperaturas inferiores a 750 °C, produzindo um fundido de composição granítica a uma pressão de 6 kbar e de composição trondhjemítica a uma pressão de 10 kbar (*cf.* reação: $Ms + Pl + Qtz + H_2O \rightarrow fundido$), uma vez que, como constatado pelos autores, a proporção plagioclásio:muscovita aumenta com a pressão.

A fusão por quebra da biotita também tem sido alvo de diversos trabalhos experimentais (*e.g.*, Le Breton & Thompson, 1988; Patiño Douce & Beard, 1995; Stevens *et al.*, 1997; Pickering & Johnston, 1998). Stevens *et al.* (1997) conduziram experimentos de fusão por quebra da biotita, em um intervalo de temperatura de 750 a 1000 °C (5 – 10 Kbar), buscando investigar a influência do *mg#* ($Mg/(Mg+Fe)$) total da rocha e os efeitos da adição de TiO_2 no sistema. De acordo com os autores, a fusão por quebra incongruente da biotita de material pelítico começa entre 750 °C e 800 °C (5 e 10 Kbar, respectivamente), com a seguinte reação: $Bt + Pl + Sil + Qtz \rightarrow Kfs + Crd + Grt + Pl + fundido$. Já a fusão de metagrauvaca se inicia a 825 °C (5 Kbar), conforme a seguinte reação de fusão: $Bt + Qtz + Pl \rightarrow Kfs + Opx + Grt + Crd + Pl + Fundido$. Para ambas as reações a temperatura *solidus* foi menor para as rochas com menor *mg#*, enquanto que a adição de TiO_2 promoveu a ampliação do campo de estabilidade da biotita. Estes autores comprovaram que produção expressiva de fundido (30 - 60%; tipicamente monzogranitos peraluminosos) por quebra da biotita não ocorre antes de 850 °C (5 Kbar).

Figura 1 - Diagrama P-T mostrando as reações de fusão e solidificação determinadas experimentalmente para rochas metassedimentares, conforme reações sumarizadas por Whittington & Treloar (2002). Reação de fusão saturada em água (1) $Qtz + Ab + Or + H_2O = \text{Fundido}$. Reação de fusão por quebra de muscovita (2) $Qtz + Ms + Pl = Kfs + Sil + Bt + \text{Fundido}$ (sistema natural) para muscovita-biotita xisto (MBS) e muscovita xisto (MS) de Patiño Douce & Harris (1998). Reação de fusão por quebra de biotita (3) $Bt + Pl + Qtz = Opx + Grt + Kfs + \text{fundido}$ (sistema natural) de Vielzeuf & Montel (1994), (4) $Bt + Pl + Qtz = Opx + \text{fundido}$ (sistema natural) de Patiño Douce & Beard (1995), e (5) $Phl + Qtz = En + \text{Fundido}$ de Vielzeuf & Clemens (1992). Os gradientes geotérmicos para crosta continental também são apresentados. Os índices mg# apresentados são relativos à biotita. As abreviações minerais são conforme Kretz (1983).

1.3. Anatexia na Região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista (SP)

Extensas áreas do território brasileiro correspondem a exposições de terrenos de alto grau metamórfico, em boa parte descritos como “migmatíticos”. Volumes imensos de granitos que ocorrem em associação direta com esses terrenos são reconhecidos, com maior ou menor segurança, como de origem anatética.

A região de Atibaia-Nazaré Paulista (SP), situada no extremo sul da Nappe Socorro-Guaxupé (NSG), um terreno Neoproterozóico de alto grau alóctone sobre o extremo SW do cráton do São Francisco, reúne condições bastante favoráveis para a investigação detalhada dos processos de geração de magmas na crosta continental terrestre. Na região ocorrem diversos tipos de granitos anatéticos intimamente associados a rochas metamórficas afetadas por migmatização, com exposições satisfatórias de todos os tipos de rocha de interesse; em particular, alguns

afloramentos extensos revelam detalhes importantes da relação entre essas rochas. Ao longo das últimas duas décadas, reuniu-se para essas rochas um conjunto razoável de dados básicos de campo, petrografia, geoquímica e isotopia (Campos Neto *et al.*, 1983; Wernick *et al.*, 1987; Tassinari, 1988; Ragatki, 1998), que foram sintetizados e amplamente complementados na Tese de Livre-Docência de Valdecir de Assis Janasi, 1999, na qual um modelo geral para a geração de magmas graníticos na região foi apresentado. O modelo proposto por Janasi (1999) considera que os granada-biotita granitos tipo Nazaré Paulista foram gerados a temperaturas de aprox. 750 °C e pressão de 5 kbar pela fusão por quebra de muscovita de metagrauvas. O comportamento isotópico e de elementos traços e ETR dos granada-biotita granitos indicaram serem estes produtos de fontes intermediárias entre os granada-biotita gnaisses e biotita gnaisses granodioríticos regionais.

1.4. Motivação do Trabalho

Os dados geoquímicos e isotópicos previamente obtidos em granitos crustais e seus protolitos na região de Atibaia-Nazaré Paulista, a partir dos quais foram geradas hipóteses petrogenéticas bem sustentadas (*e.g.*, Janasi, 1999), constituem uma sólida base para a investigação de processos de geração e coleta de magmas na crosta continental, tema que ocupa amplo destaque na literatura petrológica recente (*e.g.*, Brown, 1994; Brown *et al.*, 1995; Sawyer, 1996; Harris *et al.*, 2000; Petford *et al.*, 2000; Milord *et al.*, 2001; Sawyer, 2001; Solar & Brown, 2001; Otamendi & Patiño Douce, 2001; Whittington & Treloar, 2002; Johnson *et al.*, 2003; Brown, 2004).

No presente trabalho, tomando proveito das vantagens acima descritas, ampliou-se a amostragem de granitos e protolitos na região de Atibaia-Nazaré Paulista. Muitos dos estudos prévios sobre os granada-biotita granitos Nazaré Paulista (Wernick *et al.*, 1987; Tassinari, 1988; Ragatki, 1998 e Janasi, 1999) têm incluído amostras provenientes de dois afloramentos extensos, e estruturalmente complexos, ambos na Rodovia D. Pedro I (pontos 40 e 74; Figura 2), que careciam de caracterização de modo sistemático. No presente trabalho foram mapeados em detalhe ambos os afloramentos, com ênfase nas relações de contato entre os diferentes tipos de granitos e rochas metamórficas, e amostradas todas as variedades encontradas, que foram alvo de estudos de química de rocha, química mineral (biotita, granada e monazita) e geoquímica isotópica Sr-Nd. Buscando complementar a amostragem, foram também coletadas amostras das unidades basais (gnaiesses tonalíticos) e de topo (mica-xistos) do Complexo Piracaia, que também podem constituir protolitos importantes para os granitos anatóticos da região (*cf.* Janasi, 1999).

Estão sendo investigadas as correlações entre variações químicas e isotópicas das rochas e dos minerais principais (granadas, biotitas, plagioclásios) e acessórios (*cf.* resultados preliminares

de análises de monazita de granito Nazaré Paulista apresentadas em Vlach & Gualda, 2000, e também discutidas em Janasi, 1999).

A abordagem proposta permitiu investigar com rigor hipóteses genéticas propostas recentemente (Janasi, 1999), que atribuem as diferenças entre os granitos Nazaré Paulista e leucogranitos colisionais dos Himalaias principalmente a contrastes nas áreas-fonte (que teriam abundante monazita disponível, e seriam pobres em apatita no primeiro caso, e o inverso no segundo), e não nas temperaturas de geração (estimadas em uma suíte mais ampla de rochas, utilizando simultaneamente os termômetros de saturação em apatita, zircão e monazita; *cf.* Watson & Harrison, 1984; Montel, 1993).

As possibilidades oferecidas pelas técnicas de microanálise foram exploradas, com ênfase em análises químicas de minerais principais e acessórios, tendo entre os principais objetivos a determinação das condições de cristalização de granitos e rochas encaixantes, a identificação de áreas-fonte, e a avaliação da importância de processos de diferenciação como cristalização fracionada e separação de restitos. Adicionalmente, análises de elementos traços de baixo coeficiente de difusão em minerais selecionados (granada, monazita) foram utilizadas para subsidiar avaliações sobre a cinética de fusão parcial e extração dos magmas, além de fornecer novas indicações sobre a idade do(s) evento(s) anatéticos.

Figura 2 - Mapa geológico simplificado da região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista. 1, 2, 3 = Complexo Metamórfico Piracaia (1= Bt gnaisses granodioríticos; 2 = Grt-Bt gnaisses; 3= (Sil)-Grt-Bt-xistos); 4 = granitos cálcio-alcalinos; 5 = Ms-Bt leucogranitos; 6 = Grt-Bt granitos Nazaré Paulista; 7 = Bt granitos Quatro Cantos; 8 = Tonalitos e granodioritos porfíricos; 9 = maciço monzodiorítico Piracaia; 10 = maciço granítico Atibaia. Para fontes utilizadas na compilação, ver texto. Números referem-se a pontos de amostragem.

1.5. Apresentação da tese

No **Capítulo 1** são abordados os temas da formação dos granitos e anatexia crustal, fazendo uma síntese das principais referências sobre o tema. A descrição de cada metodologia empregada e os objetos de estudo são apresentados no **Capítulo 2**. A situação geológica da área é desenhada no **Capítulo 3**. O trabalho de campo detalhado dos dois afloramentos principais, a confecção dos perfis, petrografia e condições de cristalização estão contidos no **Capítulo 4**, que também aborda a questão da idade dos granitos Nazaré Paulista. Dentro do contexto do tema da pesquisa, anatexia crustal, questões específicas, como a formação dos leucossomas no migmatito presente no afloramento NP74, são abordadas no **Capítulo 5**. A geoquímica de rocha e a isotopia Sr-Nd dos granitos e gnaisses presentes nos dois principais afloramentos são o tema do **Capítulo 6**. As análises de elementos maiores e menores em minerais, assim como a obtenção de imagens de zoneamento composicional, foram obtidas por microsonda eletrônica, enquanto os dados de elementos traços e ETR foram obtidos por LA-ICPMS. Esses dados forneceram valiosas informações referentes às condições de cristalização e aos processos envolvidos na geração e evolução dos magmas, e são apresentados no **Capítulo 7**. O **Capítulo 8** teve por objetivos alinhar as discussões apresentadas em cada capítulo e emoldurar a conclusão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Introdução

Todas as atividades de Campo e de laboratório contaram com o apoio financeiro de Auxílio de Pesquisa da FAPESP, coordenado pelo orientador da pesquisa (Proc. 2000/2509-8), bolsa e reserva técnica de doutorado da FAPESP (Proc. 01/01101-8) e bolsa de estágio no exterior fornecida pela CAPES (Proc. BEX 0494/03-8).

2.2. Trabalho de campo e petrográfico: coleta e reconhecimento das amostras

Foi realizado estudo detalhado das relações entre diferentes tipos de granitos anatóticos e gnaisses nos afloramentos dos pontos NP40 (Rodovia D. Pedro I, no trevo para Bom Jesus dos Perdões) e NP74 (Km 51-52 da Rodovia D. Pedro I), através da confecção de perfil geológico esquemático e registro fotográfico, realizados para definir as relações de contato entre os principais corpos amostrados. Diversos pontos nas folhas Piracaia e Atibaia (1:50.000) também foram alvo de coleta. Os pontos amostrados são apresentados em esboço geológico, uma compilação de mapas pré-existentes (Figura 2). O conjunto amostrado foi superior ao aqui apresentado (~ 150 amostras), uma vez que o presente trabalho sublinha os granitos e gnaisses coletados nos dois afloramentos-chave, que foram alvos de detalhamento (Figuras 4 e 5, Capítulo 4). As amostras de granitos e gnaisses, coletadas ao longo dos perfis, foram subdivididas de acordo com suas características petrográficas e posição. Descrições petrográficas e registros fotomicrográficos foram obtidos para todas as amostras de interesse do trabalho. Todas as abreviações utilizadas para designar as fases minerais são conforme Kretz (1983). Sempre que empregados, os termos granítico, granodiorítico e tonalítico são aqui utilizados apenas no sentido composicional, para referenciar as proporções relativas entre feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo.

2.3. Química de rocha

2.3.1. ICP-OES e Fluorescência de Raios-X (FRX)

Foram obtidas análises de elementos maiores e traços para 140 amostras por ICP-OES no Laboratório de Química e ICP do GMG-IGc-USP.

O procedimento resumido adotado para a realização das análises químicas de elementos maiores, menores e traços foi o seguinte:

1. limpeza das amostras, com a retirada de toda a parte alterada;
2. britagem em britador de mandíbula de ferro;
3. quartejamento da brita;

4. moagem em panela de agata do tipo planetário (pó ~ 200 mesh);
5. abertura da amostra (0,25 g) por fusão alcalina a 1000° C, utilizando mistura de tetra e metaborato de lítio (0,75 g) como fundente;
6. dissolução do material fundido por HNO₃, com o auxílio de placa agitadora;
7. filtragem e diluição a 250 ml em balão volumétrico;
8. acidular 50 ml de amostra final com 3 gotas de HF para estabilizar o Zr;
9. determinação dos elementos maiores, menores e traços no laboratório de Química e ICP-AES, com espectrômetro de plasma ARL 3410, seqüencial, com calibração feita através de padrões de referência internacionais.

Detalhes do procedimento podem ser encontrados em Janasi *et al.* (1995).

2.3.2. Espectrômetro de Massa com Plasma Induzido acoplado (ICP-MS)

Um conjunto expressivo de análises de elementos traços em pó de rocha foi obtido para o presente projeto. As primeiras análises (9 de granitos e 5 de gnaisses) de elementos traços e ETR por ICP-MS foram obtidas no laboratório ACTLABS, Canadá, e após a instalação do equipamento Plasma Quadrupolo ICP-MS ELAN 6100 DRC (Perkin Elmer) no IGc-USP o conjunto de dados foi ampliado.

Na configuração padrão de um ICP-MS ocorre a combinação de uma fonte de plasma de argônio, que pode alcançar elevadas temperaturas (da ordem de 7000 K) e é operado sob pressão atmosférica, com um analisador quadrupolo de massa, que requer um vácuo de 10⁻⁶-10⁻⁵ mbar. As amostras são geralmente introduzidas no ICPMS como um aerosol gerado pelo bombeamento da amostra líquida, por bomba peristáltica, através de um nebulizador. A descrição das diferentes partes que compõe o espectrômetro de massa, o sistema de vácuo, a fonte de íon, o analisador e o detector, assim como as condições de operação do equipamento, são descritas em detalhe no capítulo 1 da referência Sylvester, 2001.

O procedimento escolhido para a abertura das amostras foi o ataque por ácido do pó de rocha em bomba de teflon do tipo Parr, que é resumidamente descrito a seguir:

1. pesagem de 40 mg de amostra (pó de rocha < 200 mesh);
2. a amostra é transferida para um recipiente de teflon, que recebe a adição de 2 mL de ácido nítrico 14 N e 6 mL de ácido fluorídrico 40%;
3. o recipiente de teflon é aquecido em uma chapa elétrica até a obtenção de uma massa úmida;
4. os procedimentos 2 e 3 são repetidos até a obtenção de uma massa úmida;
5. são adicionados ao recipiente de teflon contendo a massa úmida 2 mL de ácido nítrico 14 N e 6 mL de ácido fluorídrico 40%;
6. o recipiente de teflon é inserido em uma jaqueta de aço-inox, que é levada a estufa sob uma temperatura constante de 200 °C e pressões de até 10 atm, onde permanece por 5 dias;

7. depois de alcançar a temperatura ambiente, os recipientes de teflon são retirados da jaqueta de aço inox e colocados em uma chapa elétrica e lá permanecem para a quase secagem para eliminação do HF;
8. são adicionados 5 ml de HNO₃ destilado e em uma chapa elétrica são levados a quase secagem;
9. são acrescentados mais 5 mL de HNO₃ e novamente o recipiente é aquecido para a completa dissolução do material;
10. a solução é transferida para um frasco de polipropileno de 125 mL, ao qual é adicionado água até atingir um peso de 80g, e a solução final está pronta para análise no ICP-MS.

O procedimento de abertura foi escolhido por ser o mais eficiente para a dissolução completa de minerais refratários, como por exemplo, o zircão, acessório comum em rochas graníticas. A descrição completa do método e desenvolvimento da rotina de ETR por ICP-MS utilizada no laboratório do IGc-USP pode ser encontrada em Navarro, 2004.

2.4. Geoquímica isotópica Sm-Nd e Rb-Sr

As análises isotópicas Sm-Nd e Rb-Sr foram feitas no Laboratório de Geocronologia do IGc-USP.

Os teores de Rb e Sr totais foram determinados preliminarmente por fluorescência de raios x, buscando saber qual o melhor método a ser empregado, o método por diluição isotópica, que consiste na mistura da amostra com traçadores ("spikes") dos elementos que se deseja dosar, ou o natural, sem adição de "spikes". As amostras analisadas apresentaram teores de Rb e Sr maiores que 50 ppm e menores que 650 ppm, e neste intervalo o método adequado é o natural. Para análise de Sm-Nd foi adicionado spike combinado Sm-Nd ao pó de rocha. A preparação para análises isotópicas Rb-Sr e Sm-Nd foi feita a partir do mesmo procedimento de abertura, que consistiu de ataque ácido com mistura de HF e HNO₃ (3:1 ml). As amostras foram aquecidas com a utilização de lâmpadas de infravermelho (60 °C), por 10 dias, em béquer Savillex fechado. Após o aquecimento, procedeu-se a evaporação da amostra em chapa aquecedora (100° C; béquer Savillex aberto). Aos resíduos foram adicionados 0,5 ml de HNO₃ concentrado, a seguir, procedeu-se a evaporação e posterior adição de 5 ml de HCl 6.0 N. A amostra foi aquecida novamente por uma noite sob lâmpada de 60° C (bequer Savillex fechado). Depois de uma noite procedeu-se nova evaporação e posterior dissolução com 0,2 ml de HCl 2,5 N.

A separação dos elementos foi feita em duas etapas, a primeira em coluna de troca iônica preenchida com resina catiônica do tipo AG 50 WX8 (200-400 mesh), e a segunda preenchida com resina LN, previamente tratada com ácido Di (2-etilexil) fosfórico conhecido como HDEHP. Na primeira coluna foi coletado primeiramente o Sr utilizando 7 ml de HCl 2,5 N, e seu resíduo após secagem foi levado para análise em espectrômetro de massa VG 354 multicoletor. O conjunto das terras raras foi coletado utilizando 7 ml de HCl 6,2 N. Na segunda coluna foi

separado o Sm e o Nd do restante das terras raras. O Nd foi o primeiro a ser coletado utilizando 1 ml de HCl 0,26 N e depois o Sm utilizando 0,8 ml de HCl 0.55 N. Os resíduos secos foram levados para análise em espectrômetro de massa VG 354 multicoletor.

2.5. Química Mineral

2.5.1. Análises minerais por microsonda eletrônica

Análises químicas quantitativas de granada, monazita, biotita e plagioclásio foram efetuadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências da USP. O equipamento utilizado foi um JEOL JXA-8600S, provido de cinco espectrômetros de dispersão de comprimento de onda (WDS), cada qual com dois cristais analisadores, com automação de fabricação NORAN, e sistema Voyager 3.6.1. As seções delgadas polidas foram metalizadas com carbono em câmara de vácuo.

Foram obtidas imagens de elétrons retro-espalhados em modo composicional (BEI-COMPO) para verificar possíveis zoneamentos composicionais em granada e monazita.

As determinações quantitativas dos elementos foram feitas com 15 kV de voltagem de aceleração e 20 nA de corrente do feixe eletrônico, e diâmetro variável, 5 μ m para granada, monazita e biotita e de 10 μ m para plagioclásio. Os tempos de integração de contagens estiveram entre 10 e 30 segundos. Foram realizadas correções de efeito de matriz (número atômico, absorção de massa e fluorescência secundária) com o procedimento PROZA (para referência ver Bastin *et al.*, 1984). As linhas espectrais, cristais analisadores e padrões analíticos estão listados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Padrões analíticos

Linha	Cristal	Padrões		
		<i>Granada</i>	<i>Micas</i>	<i>Feldspatos</i>
Si K α	TAP	Wollastonita	Wollastonita	Microclínio
Ti K α	LIF	Rutilo	Rutilo	Rutilo
Al K α	TAP	Anortita	Anortita	Anortita
Fe K α	LIF	Olivina	Olivina	Olivina
Mn K α	LIF	Olivina	Olivina	-
Mg K α	TAP	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio
Ca K α	PET	Wollastonita	Wollastonita	Anortita
Ba L α	LIF	-	Barita	-
Ba L α	PET	-	-	Barita
Sr L α	PET	-	-	Sr-anortita
Na K α	TAP	-	Albita	Albita
K K α	PET	-	Microclínio	Microclínio
Y L α	TAP	YALG	-	-
Cl K α	PET	-	Apatita	-
F K α	TAP	-	Fluorita	-

Os erros máximos estimados variam entre 1 e 2% para os elementos maiores, são da ordem de 5% para os menores (1-3% em peso de elemento) e estão em torno de 10% para os elementos traços (<1% em peso do elemento).

Para tratamento dos dados, recálculo das fórmulas estruturais dos minerais analisados e apresentação dos diagramas composicionais foram utilizadas planilhas e macros desenvolvidos com a utilização do Microsoft® Excel e do programa Minpet 2.02 (de autoria de Linda R. Richard, 1995).

2.5.1.1. *Datação em monazita pelo método químico U-Th-Pb_(total)*

A técnica de datação química Th-U-Pb em monazita utilizada foi desenvolvida e aplicada no IGC-USP por Vlach & Gualda, 2000.

Foram feitos estudos petrográficos em microscópio óptico com luz transmitida e refletida em cerca de 9 seções delgadas polidas, para identificar e selecionar grãos de monazita adequados para datação. As seções escolhidas foram metalizadas com uma película de carbono em evaporador AUTO 206 da EDWARDS.

Depois de escolhidos os grãos, uma rotina analítica foi elaborada e todos os elementos foram analisados sob as mesmas condições instrumentais. O equipamento utilizado foi uma microsonda JEOL JXA-8600s com sistema de automação WDS e EDS NORAN/Voyager. Para a otimização da rotina foram consideradas as interferências espectrais e correções envolvidas, além das condições de operação do aparelho: sinais de raios-X, correções de absorção, voltagem de aceleração do feixe eletrônico, corrente, diâmetro do feixe eletrônico e tempo de integração de contagens para as posições do característico e do contínuo (*background*), a fim de melhorar a resolução espacial. As condições analíticas instrumentais das análises foram:

Voltagem	20 kV
Ângulo de emergência dos raios-X (take-off)	40°
Corrente	100.1 ± 0.1 nA
Diâmetro do feixe	5 µm

As linhas M foram usadas nas análises de Th, U e Pb com cristais PET enquanto as linhas L para os ETR com cristais LIF. Os elementos maiores Ca e P foram analisados com cristal PET e Si e Y com TAP (Tabela 1). Foram selecionadas as linhas espectrais K, L e M para os elementos Th, U, Pb, La, Ce, Pr, Sm, Nd, Gd, Dy, Si, Ca, P e Y. Os padrões utilizados na rotina final estão listados na Tabela 2. Apenas o padrão de Pb é galena natural, os demais são sintéticos. Para calibração de U e Th foi utilizada amostra de monazita natural.

Inicialmente, foi feita uma varredura manual no padrão selecionado para cada elemento a fim de checar as linhas, ajustar janelas, BIAS, *background*, etc. Para testes da linha PbMβ foi

utilizada monazita de um granito estudado, buscando identificar a linha de interferência do Ce, já que o padrão de galena não possui Ce. Para a varredura foram usadas corrente de 300 nA e diâmetro do feixe de 10 µm, e uma voltagem de 20 kV, já que para a análise de elementos traços uma voltagem maior é mais vantajosa por conta da alta razão pico/background (*cf.*, Reed, 1995).

O Pb foi analisado inicialmente na linha $M\alpha$, mas como há interferência da linha $YL\gamma$, optou-se pela linha Pb $M\beta$. Para corrigir o efeito dessa interferência mediu-se a intensidade de $YL\gamma$ em padrão sintético de Y.

Os efeitos de matriz foram corrigidos com as correções ZAF ($Z=n^\circ$ atômico, A =absorção, F =fluorescência secundária) e PROZA no software NORAN.

Após essa etapa foi feita uma calibração em todas as linhas usando varreduras em padrões sintéticos (Tabela 2) e cristais naturais de monazita e galena, com tempo de procura do pico foi de 1s.

Foram obtidas imagens de elétrons retro-espalhados em modo composicional (BEI-COMPO), para verificar possíveis zoneamentos composicionais em monazita.

Tabela 2 - Parâmetros analíticos

Elemento	Linha	Cristal - Espectrômetro	Tempo de contagem (s)	Tempo de contagem Amostra (s)	Padrão
Th	$M\alpha$	PET – Spec4	20	100	ThO ₂
U	$M\beta$	PET– Spec3	20	150	UO ₂
Pb	$M\beta$	PET– Spec2	30	250 e 200	PbS
La	$L\alpha$	LIF– Spec5	40	10	REE 3
Ce	$L\alpha$	LIF– Spec5	20	10	CeO ₂
Pr	$L\beta_1$	LIF– Spec5	40	30	REE 3
Sm	$L\alpha_1$	LIF– Spec5	40	30	REE 2
Nd	$L\alpha_1$	LIF– Spec5	40	20	REE 2
Gd	$L\beta_1$	LIF– Spec5	40	30	REE 1
Dy	$L\beta_1$	LIF– Spec5	40	30	REE 4
Si	$K\alpha_1$	TAP– Spec1	20	30	ThSiO ₄
Ca	$K\alpha$	PET– Spec4	20	20	Ca ₂ P
P	$K\alpha_1$	PET– Spec3	10	10	Ca ₂ P
Y	$L\alpha_1$	TAP– Spec1	20	30	YALG

Para cada ponto analisado, foi efetuada correção para o U. As linhas de U $M\alpha$ ou $M\beta$ sofrem efeitos da interferência de picos do Th. Para corrigir esse efeito utilizou-se a correção de Scherrer *et al.* (2000), em que a concentração de U corrigida é:

$$U \text{ wt\%}_{\text{corrigido}} = U \text{ wt\%}_{\text{medido}} - (0.0052 \text{ Th wt\%}_{\text{medido}})$$

As idades pontuais foram calculadas utilizando-se Macro feita em planilha Excel (desenvolvida por Vlach & Gualda, inédito).

2.5.2. *Laser Ablation-ICPMS*

A composição química de minerais essenciais e acessórios fornece valiosas informações referentes às condições de cristalização e aos processos físico-químicos envolvidos na formação de rochas e depósitos minerais associados. Até muito recentemente os dados de química mineral *in situ* eram obtidos quase que exclusivamente por microsonda eletrônica, que apresentam limites de detecção bastante altos (centenas de ppm), ficando assim restritos aos elementos maiores, menores e alguns poucos traços. Dado que os principais elementos traçadores da evolução magmática são principalmente aqueles presentes em quantidades da ordem de dezenas a centenas de ppb, análises via microsonda eletrônica apesar de extremamente úteis não são suficientes para atender a uma crescente demanda por dados desta magnitude cada vez mais exatos e precisos.

A combinação de um sistema de amostragem por laser associado a um sistema de espectrômetros de massa acoplados a plasma induzido (LA-ICP-MS) tem possibilitado análises de elementos traços e isotópicos *in situ* e com limites de detecção da ordem 1 ppm a 1 ppb, com uma vasta aplicação em estudos mineralógicos, petrológicos e geocronológicos (para maiores detalhes do emprego da técnica ver referência Sylvester, 2001).

A técnica LA-ICPMS utiliza fótons de alta energia produzidos pelo laser que em interação com a amostra são convertidos em energia termal, responsável pelo micro-desgaste térmico da superfície de amostra exposta, resultando em uma cavidade de algumas dezenas a centenas de microns de diâmetro e com profundidade variável. A interação do laser com a amostra produz partículas que podem ser analisadas no espectrômetro de massa, que combina uma ionização eficiente de um plasma de argônio de alta temperatura, alta precisão e boa capacidade de resolução.

O sistema de laser utilizado neste trabalho foi um laser Nd:YAG 213 nm fabricado pela VG/Merchantek acoplado a um Plasma Quadrupolo VG EXCEL ICP-MS instalado no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Boston. As aquisições de dados consistiram da medida de 60 segundos do branco e outros 60 segundos do sinal da amostra (Figura 3a). Foram utilizados vidros com valores padronizados e reconhecidos internacionalmente (BCR, BIR, NIST610 e NIST612) para calibração externa. Os valores assumidos podem ser encontrados em Barth *et al.* (2001).

Como nem todos os elementos apresentam as mesmas características durante a micro-remoção térmica e transporte da amostra, um significativo fracionamento de elementos pode ocorrer. O fracionamento é dependente de diversos fatores (pulso de energia, foco do laser, comprimento de onda do laser, tempo de remoço e tipo amostrado). Para uma calibração precisa, principalmente onde matriz e condições de micro-remoção térmica não estão perfeitamente combinadas para o padrão de referência e amostra, o uso de padrões internos com comportamento similar dos elementos de interesse são essenciais. Assim, os dados obtidos por microsonda

eletrônica para os mesmos pontos analisados por laser foram utilizados como padrões internos (^{43}Ca para granada, feldspatos e monazita; ^{49}Ti para biotita).

Para a obtenção de isótopos de U, Pb e Th em monazita foram analisados padrões internos do laboratório intercalados a cada ponto amostrado, para correção das flutuações do sinal no tempo (*drift*) e efeitos de fracionamento de massa. Foram utilizados como padrões o vidro NIST610 e uma monazita (Elk Mountain) com características químicas bastante similares às de interesse, cujos dados químicos foram obtidos por Julie Baldwin do Massachusetts Institute of Technology (MIT) e podem ser acessados pelo site <http://bama.ua.edu/~mgbersch/Subweb-Research/Microprobe-Geochron/elk-mountain.htm>.

A frequência de repetição do laser foi de 5 Hz para monazita e 10 Hz para os outros minerais. Os diâmetros das crateras de análise (*spots*) criadas pelo laser variavam de acordo com o mineral analisado, de aproximadamente 50 μm para granada e biotita, 75 μm para feldspatos e de 15 a 20 μm para monazita. μ

Ao sistema de *laser ablation* é associado um microscópio óptico e um sistema de aquisição de imagens, geralmente reproduzidas na tela de um computador, possibilitando assim a visualização da amostra e localização dos pontos de interesse, inclusive em seções petrográficas delgadas. Também é possível acompanhar em tempo real o sinal gerado na interação do laser com a amostra, possibilitando visualizar todo o processo de amostragem e verificar quando o laser atravessava a amostra e começava a analisar o vidro (Figura 3b).

O tratamento dos dados foi *off-line* e com o auxílio do software LasyBoy produzido na Universidade de Boston pelo Dr. Joel Sparks.

As razões isotópicas em monazita foram calculadas para cada ponto amostrado a partir da intensidade de cada isótopo, descontado o background, que foram corrigidos para efeitos de flutuações do sinal e fracionamento de massa, sendo então calculadas as idades e os erros associados (2-sigma). Os isótopos de ^{204}Pb apresentaram erros muito altos, por isso foram descartados para os cálculos de idade. As idades também foram calculadas com o auxílio do software ISOPLOT/Ex produzido por Ken Ludwig.

Figura 3 - (a) Aquisição de sinal no tempo, sendo 60 s para o branco e 60 s para a amostra. Embora a medição dos isótopos seja relativamente constante, note o alto ruído no sinal. (b) Note a diminuição do sinal depois de 30 segundos de análise, pois o laser atravessa toda a amostra e começa a analisar o vidro, conforme evidencia o aumento do Si.

3. SITUAÇÃO GEOLÓGICA

3.1. Contexto tectônico

A região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista está inserida no contexto geológico da Nappe Socorro-Guaxupé (NSG), que é um terreno alóctone de alto grau empurrado sobre metasupracrustais de médio a baixo grau dos grupos Andrelândia e Itapira da margem passiva do sudoeste do cráton do São Francisco. Deformações pós-empurrão dividem o terreno em dois segmentos (Guaxupé, a norte, e Socorro, a sul) separados por uma estreita faixa onde os grupos Andrelândia e Itapira e seu embasamento são expostos. Uma faixa granulítica basal está presente em ambos os segmentos, mas é mais bem preservada no Domínio Guaxupé, onde pressões (≥ 11 Kbar) e temperaturas (ca. 950°C) extremas foram localmente identificadas por geotermobarometria (Vasconcelos *et al.*, 1991; Del Lama *et al.*, 2000; Campos Neto & Caby, 2000). Acima dos granulitos, em direção a sul, aparecem gnaisses migmatíticos, principalmente orto-derivados, que representam níveis mais rasos do segmento crustal, no qual pressões (6-8 kbar) e temperaturas ($700\text{-}850^{\circ}\text{C}$) mais baixas foram estimadas por diversos autores utilizando diferentes termobarômetros (*e.g.*, Oliveira & Ruberti, 1979; Vasconcelos *et al.*, 1991; Iyer *et al.*, 1995). Metasupracrustais (metapelitos, anfibolitos e quartzitos) ocorrem mais frequentemente para o sul, mas somente predominam acima dos ortognaisses na metade meridional do Domínio Socorro, que parece representar os níveis crustais mais rasos da NSG. A idade absoluta dos protolitos das rochas metamórficas como também as idades relativas das metasupracrustais e dos quartzo-feldspato-gnaisses são desconhecidas. As poucas idades absolutas disponíveis são restritas aos granitóides intrusivos e refletem uma grande extensão do forte metamorfismo brasileiro (650-550 Ma) impresso na área.

As mais antigas rochas plutônicas presentes na área são charnockitos gnaissificados com afinidade cálcio-alcalina de alto K datados em 660 Ma pelos métodos Rb-Sr e U-Pb (Figueiredo & Campos Neto, 1994; Basei *et al.*, 1995). Os extensos batólitos Pinhal-Ipuiúna (Haddad, 1995) e Socorro (Wernick, *et al.*, 1984) são compostos de suítes quimicamente expandidas com assinaturas típicas cálcio-alcalinas de alto K; o último foi recentemente datado em 629 ± 10 Ma por datação U-Pb em zircão (Topfner, 1996).

3.2. Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas são geralmente atribuídas ao Complexo Metamórfico Piracaia (Figura 2), constituído principalmente por seqüências metassedimentares afetadas por migmatização importante. Na coluna estratigráfica apresentada por Campos Neto *et al.* (1983), as três unidades principais do Complexo Metamórfico Piracaia se dispõem sobre um pacote de

equivalentes gnáissicos de granitos cálcio-alcálinos sin-orogênicos neoproterozóicos do “batólito Socorro”.

As unidades metassedimentares do Complexo Metamórfico Piracaia são compostas por três unidades principais, da base para o topo: (1) biotita ($\pm$ hornblenda) gnaisses graníticos a tonalíticos equi a inequigranulares; (2) granada-biotita gnaisses bandados, com bandamento composicional centimétrico a decimétrico, com variações para termos mais pelíticos (portadores de sillimanita) e mais cálcicos (com hornblenda e plagioclásio de composição andesina-labradorita), e intercalações frequentes de hornblenda gnaisses, rochas cálcio-silicáticas e para-anfibolitos; e (3) ($\pm$ sillimanita)-granada-muscovita-biotita-xistos rítmicos (alternância centimétrica-decimétrica com quartzitos e quartzo xistos), que ocasionalmente passam a pacotes de quartzito micáceo de pequena espessura.

No presente trabalho foi feito um ampliamiento da área de amostragem de Janasi (1999). Os gnaisses coletados formam três grupos identificados com base em suas características de campo e petrográficas:

► **Grupo 1** – Os Biotita Gnaisses Granodioríticos (BGnGd) são possivelmente ortoderivados, compostos pela assembléia mineral $Qtz + Pl + Bt + Kfs \pm Ap + Zr + Ilm$, equi- a inequigranulares, médios, com textura granoblástica, índice de cor (IC) entre 7 e 12, homogêneos ou com estruturas estromatíticas, coletados próximos à cidade de Piracaia (afloramentos NP100, NP101 e NP103; Fotos 1 e 2).

► **Grupo 2** - Os Granada-Biotita Gnaisses Granodioríticos a Tonalíticos (GBGnTn) pertencem a um pacote de rochas metassedimentares que aflora na Rodovia Fernão Dias, a norte de Atibaia (afloramentos NP108 e NP109). Apresentam assembléia mineral $Qtz + Pl + Bt + Grt \pm Sill + Kfs + Mz + Zr + Ilm$ e textura granoblástica. As amostras coletadas pertencem a um mesmo corte, com gradação de rochas francamente pelíticas (com bandas centimétricas de sillimanita-biotita xisto e porções leucossomáticas leucocráticas; Fotos 3 e 4; amostras NP108 e NP 109A) a gnaisses tonalíticos (granada-biotita gnaisse com *boudins* de anfibolito e rochas cálcio-silicáticas; Fotos 5 e 6; amostras NP 109C e D). A granada é em geral arredondada, com coloração rosada e inclusões de quartzo (Foto 6).

► **Grupo 3** - Granada-Biotita Gnaisses Graníticos bandados (GBGngr) e Biotita Gnaisses tonalíticos finos e escuros (BGnTn fino), do afloramento NP74, localizado na rodovia D. Pedro I, próximo à cidade de Nazaré Paulista. Foi incluída neste grupo uma amostra do Afloramento NP40 (BGnTn fino), localizado na rodovia Fernão Dias, próximo à cidade de Bom Jesus dos Perdões. Apresentam assembléia mineral $Qtz + Pl + Bt + Grt \pm Sill + Kfs + Mu + Mz + Zr + Ap + Ilm$ e textura granoblástica.

Foto 1 - Biotita gnaiss homogêneo equigranular, de composição tonalítica (amostra NP100 A)

Foto 2 - Biotita gnaiss, com porções estromatíticas (amostra NP100 B)

Foto 3 - Sillimanita-granada-biotita gnaiss dobrado, com porções leucossomáticas boudinadas (amostra NP 108; pelito)

Foto 4 - Fotomicrografia do sillimanita-granada-biotita gnaiss, com porfiroblasto de granada com inclusões de quartzo e contornada pela foliação

Foto 5 - Detalhe de boudins de anfibolito (porções escuras) e leucossomas (porções claras) (amostra NP109 D)

Foto 6 - Granada-biotita gnaiss tonalítico em contato com *boudin* de anfibolito. (amostra NP109 D)

3.3. Rochas graníticas

O extremo meridional do Domínio Socorro (região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista; Figura 2) é caracterizado pela abundância de granitos crustais intimamente associados à migmatização regional; destacam-se os peculiares granitos tipo Nazaré Paulista, granada-biotita granitos que exibem aspecto manchado (“catapora”) dado pela presença de glomérulos de granada e biotita (Fotos 7); além deles, ocorrem leucogranitos brancos a duas micas e os biotita granitos róseos tipo Quatro Cantos (BGr; Foto 8).

O granito Nazaré Paulista é bastante heterogêneo, com estruturas nebulíticas e schlieren, xenólitos de gnaiss, e diferentes variedades texturais (Foto 9). Dois extensos cortes na Rodovia Dom Pedro I (afloramentos NP40 e NP74) exibem algumas características peculiares, como, por exemplo, foliação que varia de leve a mais evidente, facies brancas hololeucocráticas (com cristais euédricos de granada e destituídas de biotita; GGr ou granitos brancos), e granada-biotita granito cinzento (GBGr ou granitos cinzentos) com densa venulação por granitos mais claros, com pouca ou nenhuma biotita. Os afloramentos NP74 e NP40 foram alvo de amostragem de detalhe, descritos no Capítulo 4.

As idades dos granitos Nazaré Paulista (624 ± 2 Ma) e dos leucogranitos brancos a eles associados (625 ± 4 Ma) foram recentemente obtidas pelo método U-Pb em monazita e zircão (Janasi, 1999). Além disso, três conjuntos de granitos (Nazaré Paulista, brancos a duas micas e Quatro Cantos) foram objeto de estudos geoquímicos e isotópicos (Nd, Sr), que permitiram identificar suas potenciais áreas-fonte nos pacotes supracrustais aflorantes na região e, possivelmente, em seu embasamento, ainda não reconhecido no campo. Em particular, a distribuição dos ϵNd_T de granitos e rochas metamórficas mostra um claro zoneamento geográfico em um perfil de W para E, entre Nazaré Paulista e Atibaia; valores progressivamente mais negativos para oeste sugerem que, nesse sentido, caminha-se em direção a áreas-fonte antigas (embasamento). Observa-se ainda que, em um dado local, os granitos exibem ϵNd_T mais negativos que suas encaixantes, mostrando tratar-se de corpos intrusivos, cujas fontes devem se localizar em porções um pouco mais profundas da crosta que provavelmente encontram-se expostas mais a oeste (Janasi, 1999).

Foto 7 - Aspecto "manchado" do granada-biotita gnaiss Nazaré Paulista dado pela presença de glomérulos granatíferos no detalhe do canto superior direito (amostras NP74 C e D)

Foto 8 - Aspecto macrotextural do biotita granito róseo tipo Quatro Cantos, médio, equi- a inequigranular, com IC~10 (amostra NP90)

4. GEOLOGIA DE DETALHE DE AFLORAMENTOS DE GRANITOS NAZARÉ PAULISTA

4.1. Introdução

O granito Nazaré Paulista foi primeiramente individualizado e mapeado por Campos Neto *et al.* (1983); este autor mapeou o núcleo principal do granada-biotita granito mais homogêneo, localizado a NW da cidade de Nazaré Paulista (SP), como um corpo mais ou menos circular, com 4-5 km de diâmetro e uma área de 14 km², e cercado por 0,5-3 km de migmatitos. A petrogênese do granito Nazaré Paulista têm sido alvo da investigação de diversos autores (*e.g.*, Campos Neto *et al.*, 1983; Wernick *et al.*, 1986; Tassinari, 1988; Artur *et al.*, 1993; Ragatky, 1998; Janasi 1997, 1999). A maioria dos resultados apresentados no presente trabalho vem do mesmo afloramento examinado por esses autores; um afloramento com excelente exposição de rocha localizado na rodovia D. Pedro I, próximo à cidade de Nazaré Paulista.

Para compreender a diversidade do granito Nazaré Paulista foram mapeadas duas extensas exposições (afloramentos NP74 e NP40; Figura 2), buscando identificar os diferentes corpos e amostrar cada variedade de granito e migmatito associado.

4.2. Afloramento NP74

O afloramento NP 74 é um corte de estrada localizado no Km 51-52 da Rodovia D. Pedro I, próximo à cidade de Nazaré Paulista, e consiste de uma exposição quase contínua de rocha fresca por ~360 m onde se associam granada-biotita granitos e migmatitos.

A Figura 4 é um perfil geológico simplificado desenhado sobre fotografias digitais a partir de levantamento de campo de detalhe. As distâncias assinaladas na Fig. 4 foram medidas no terreno e referem-se a uma origem arbitrária definida pelas primeiras exposições contínuas de rocha fresca no extremo NW do corte. Granitos e gnaisses migmatíticos se alternam ao longo do perfil, em proporções mais ou menos semelhantes. Também foram assinalados na Fig. 4 os pontos de amostragem para petrografia e geoquímica.

As rochas gnáissicas mostram foliação e bandamento metamórfico com direção N30-50E e mergulhos moderados a fortes (40-75°) para SE. Os corpos de granito e pegmatito são usualmente subconcordantes, mas com frequência cortam a foliação gnáissica. Esses corpos intrusivos têm dimensões variadas, e se intercalam com os gnaisses migmatíticos ao longo da exposição; no entanto, três corpos graníticos principais, aqui designados **74g1** a **74g3**, podem ser distinguidos.

A exposição contínua de rocha fresca tem início, a NW, com granada-biotita gnaisses nos quais sillimanita está presente muito localmente, e são invadidos por pequenos corpos de pegmatito.

O primeiro corpo maior de granito (**74g1**) aparece após cerca de 10 m (Fig. 4), e se estende por ~74 m no terreno. A variedade é aquela conhecida pela maior parte dos estudiosos como o granito Nazaré Paulista “típico”: um granada-biotita granito cinza (índice de cor (IC) = 5-7), densamente venulado por um granada leucogranito grosso médio a grosso (Foto 9a). Este corpo hospeda vários xenólitos de granada-biotita gnaiss (cf. Foto 9e), os maiores alcançando uns poucos metros (cf. ocorrências mostradas no perfil a ~30 m e 48 m) e os menores gradando a *schlieren* ricos em biotita. Os contatos com os xenólitos são, em sua maior parte, delineados por corpos de aplito ou pegmatito, petrograficamente similares aos veios que cortam o granito cinza (Foto. 9f). A ~85 m o granito cinza venulado dá lugar a um leucogranito (IC < 4) com textura aplítica (sacaroidal), em alguns locais mostrando finas camadas ricas em granada idiomórfica (Foto 9b). O contato é subconcordante e difuso; o leucogranito hospeda pelo menos três lentes maiores (dm) concordantes de gnaiss nesta porção (Fig. 4), e é sucedido, entre 113 e 120 m, por um septo mais largo dominado por biotita-plagioclásio gnaiss (amostras NP74O e NP74Q; granada-biotita gnaiss -NP7R- é subordinado). Uma possível interpretação para esse leucogranito é que se trata de uma facies de teto do corpo **74g1**, correspondendo a uma concentração maior do material félsico que preenche os veios em torno de inclusões de rocha gnáissica; alternativamente, poderia se tratar de uma intrusão independente. Levando em conta o mergulho médio dos contatos, o corpo **74g1** tem uma espessura estimada de ~50 m, com os 10 m superiores correspondendo à facies leucocrática e inclusões gnáissicas associadas.

O novo corpo de granito que aparece após 120 m (Fig. 4) é um granada leucogranito com <20 m de largura (Foto 9c) que tem bolsões de pegmatito com muscovita em direção ao seu contato superior. Essa rocha lembra a porção superior de **74g1**, mas é interpretada como uma intrusão separada (**74g2**) da qual três amostras foram coletadas (NP74S, T, U).

Uma extensa exposição de gnaisses migmatíticos ocupa toda a parte central do corte (de 150 a 280 m; espessura estimada, 65 m). Seus mergulhos são mais fortes nos primeiros metros, aparentemente como reflexo da intrusão do granito **74g2** (Fig. 4).

Esses gnaisses são intrudidos por vários corpos de pegmatito subconcordantes; os maiores, com 1 a 5 m, foram identificados e numerados na Fig. 4 (ap1, 2 etc, onde ap= aplito/pegmatito). Dois dos corpos maiores de pegmatito (**ap3**, **ap4**), ambos com ~5 m de espessura e corpos satélites com espessura de ~1 m injetados logo acima deles, afloram no intervalo de 200 a 250 m (amostras NP74AH/AG e NP74Z; cf. Fig. 4, Foto 9g).

Várias amostras de gnaiss foram coletadas na porção central do perfil. A SE de **ap4** (entre 245 e 275 m) eles são granada-biotita gnaisses grossos com composição “granítica” (rica em feldspato alcalino) (amostras NP74AA e AB; cf. Foto 9h). De 150 até pelo menos 180 m, no entanto, gnaisses isentos de granada são comuns (e.g., NP74V, que circunda **ap1**, um biotita

pegmatito), e pequenas intercalações de anfibolito e rocha cálcio-silicática, formando *boudins* decimétricos a centimétricos, ocorrem localmente (e.g., amostra NP74AF).

Entre 180 e 200 m, uma falha normal com rejeito de ~20-50 cm é observada; a estrutura é revelada pelo deslocamento do corpo de aplito **ap3** e seu veio satélite ao longo de uma zona de fratura (Fig. 4) que tem uma estreita (1-2 cm) porção de protomilonito. Falhas normais menos expressivas associadas são observadas nesta porção do afloramento; algumas são preenchidas por granito, mostrando que a extensão foi sin-magmática.

O contato do terceiro corpo principal de granito (**74g3**) com os gnaisses é subconcordante, mas em detalhe o acamamento gnáissico é truncado, e cristais grandes de biotita crescem no granito a partir do contato. Este corpo se estende por ~50 m (espessura estimada, 25 m), e é formado por um granada leucogranito central (amostras NP74AC, AD; Foto 9d), que localmente tem finos filmes preenchidos por fibrolita (em parte substituída por muscovita). No seu contato meridional, ocorre um granito cinza-claro com venulação difusa, mas que lembra o granito cinza venulado de 74g1.

Nesta porção do afloramento, um biotita granito róseo tardio ocorre como um dique de 10-20 cm de largura cortando o granada leucogranito (Fig. 4). O dique foi fortemente afetado por cisalhamento sin-magmático; como resultado, o granito mostra textura milonítica nas bordas.

A porção final da exposição é formada por biotita gnaisses cinza-escuros que têm o aspecto de migmatitos de injeção (Foto 9i). O gnaiss, isoladamente, é homogêneo e se assemelha a um granito cinza-escuro deformado; é praticamente isento de granada, o mesmo ocorrendo com os leucossomas. Embora sejam ladeados por melanossomas ricos em biotita, em sua maior parte os leucossomas parecem ser espessos demais (10-30 cm) para terem derivado por segregação “*in situ*” a partir do gnaiss adjacente. Granada-biotita gnaisses reaparecem após o marco de 330 m, como matacões imersos no solo, e localmente têm uma fina camada de rocha metabásica granatífera.

Figura 4 - Reconstituição fotográfica do afloramento NP74 ao longo do corte de estrada, superposta pela interpretação geológica, que é repetida abaixo das fotografias.

Figura 4 - (continuação) Reconstituição fotográfica do afloramento NP74 ao longo do corte de estrada, superposta pela interpretação geológica, que é repetida abaixo das fotografias.

Foto 9 - Fotografias de campo do granito Nazaré Paulista e rochas encaixantes no afloramento NP74. **a)** Granada-biotita granito cinza venulado; veios de leucogranito branco cortando o granito cinza são predominantemente retilíneos (a ~50 m na Figura 4); **b)** Granada leucogranito do teto de 74g1 mostrando uma camada rica em granada idiomórfica afetada por uma falha extensional preenchida por granito mais grosso, a ~89 m; **c)** Granada aplito-pegmatito de 74g2, equivalente à amostra NP74t, a ~134 m; **d)** Granada leucogranito típico de 74g3; finos filmes de fibrolita paralelos à foliação (mergulhando suavemente para a direita da foto) ocorrem nesta porção, mas são difíceis de ver devido à cor branca; ~315 m; **e)** Estrutura do granada-biotita gnaiss encontrado como xenólitos dentro de 74g1; equivalente à amostra NP74i, 48 m; **f)** *Schlieren* rico em biotita ladeado por concentração de granito claro (material de veio) dentro do corpo de granito cinza (74g1), a ~65 m; **g)** Corpo de pegmatito concordante ap3 com um par satélite de largura ~1 m acima; local da amostra NP74aj, a ~230 m; **h)** Estrutura do granada-biotita gnaiss migmatítico a ~267 m (equivalente à amostra NP74ab); note o aspecto estromático, com fino melanossoma bordejando alguns leucossomas. Um veio tardio corta o bandamento migmatítico; **i)** Migmatito de injeção com “mesossoma” de biotita gnaiss e camadas de biotita granito de espessuras variáveis de cm a dm; ~350 m.

4.3. Afloramento NP40

O afloramento NP40 é um outro corte de estrada na Rodovia D. Pedro I, localizado cerca de 10 km a NW de NP74, próximo a Bom Jesus dos Perdões (Fig. 2). Consiste de duas exposições paralelas, uma em um nível inferior, adjacente à rodovia (com 96 m de extensão e <1 até 3 m de altura), e outro em nível acima, numa alça de retorno da rodovia. Um conjunto variado de granada-biotita granitos cinza e granada leucogranitos brancos similares àqueles descritos no afloramento NP74 é encontrado. Os contatos entre as diferentes litologias são mostrados nos dois perfis da Figura 5, desenhados a partir de um levantamento detalhado. As Figuras 5a e b mostram a geologia da exposição inferior e superior, respectivamente.

Ambas as exposições são formadas essencialmente por granito, mas trata-se de uma ocorrência de expressão muito pequena, que não está representada em mapas geológicos regionais na escala 1:50.000 (e.g., Campos Neto *et al.*, 1983); como mostrado pelo exame de rochas alteradas vizinhas, ela está totalmente circundada por gnaisses migmatíticos. Uma pequena porção de granada-biotita gnaiss fresco ocorre sobre o granito na extremidade setentrional da exposição superior (Fig. 5b).

Os granitos mostram foliação, bandamento e contatos mútuos quase ortogonais à exposição (~N10E, com mergulhos 50-60° NW), subconcordantes com a foliação dos gnaisses vizinhos. A integração dos dois perfis detalhados permitiu a identificação de quatro corpos de granito principais.

Granito cinza venulado ocorre na porção central do corte inferior (entre 29 e 66 m; espessura estimada ~ 20 m) e no início do corte superior (de 5a 42 m; espessura estimada ~ 25 m). Este corpo, aqui designado **40g2**, é constituído de um granito cinza que lembra **74g1**, mas é mais fino e mais claro (IC = 4-5), e possui venulação menos retilínea (Foto 10a). **40g2** é cortado, em ambas as exposições, por um granito mais claro (a ~35 m no corte inferior; Foto 10e) que, no corte superior, constitui um corpo mais espesso (~9 m) e tem uma estrutura aplítico-pegmatítica mais evidente; esse corpo intrusivo foi designado **40g3**. Um exame de detalhe do contato mostra que material de veio do granito cinza adentra o corpo de granito claro (Foto 10f), sugerindo que ele pode ter se formado por drenagem dos veios. De fato, localmente dentro do granito cinza alguns veios mais largos preenchidos por leucogranito grosso foram claramente formados desta maneira.

Na exposição superior, duas camadas finas (5-20 cm) de granito cinza mais escuro (amostra NP40AJ; IC ~10), ambas flanqueadas por um leucogranito grosso semelhante àquele que forma os veios (Foto 10b), aparecem dentro de **40g2** logo depois do corpo intrusivo **40g3**.

O início e o final de ambas as exposições são formados por granada leucogranitos heterogêneos com IC médio entre 3 e 5, e foram designados **40g1** e **40g4**, respectivamente. Um granito hololeucocrático com textura aplítica, variando a pegmatítica, predomina em ambos os

corpos (Foto 10c). Uma feição comum em ambos é a presença de bandamento, definido pela intercalação de granitos com M' e granulação variados, mostrando vários *schlieren* ricos em biotita, especialmente na exposição inferior (Foto 10i). Um xenólito grande (~1 m) de granada-biotita gnaiss fino a médio ocorre próximo ao contato superior de **40g1**, e é totalmente envolvido por granito grosso a pegmatítico.

O contato entre **40g1** e **40g2** é subconcordante, mas as relações observadas sugerem que **40g1** invadiu mais tarde. Na exposição inferior, o pegmatito que envolve o xenólito tem contatos irregulares, parecendo localmente invadir o granito cinza (Foto 10d). Na exposição superior, o granito venulado é truncado pelo aplito-pegmatito.

O contato entre **40g4** e **40g2** é mais complexo, mas também interpretado como indicativo de que o leucogranito (**40g4**) é intrusivo no granito cinza venulado. Um forte argumento em favor desta relação de idade relativa é a presença de um corpo irregular, aparentemente um xenólito de ~ 3 m (espessura máxima) de granito cinza dentro de **40g4**, observado no marco de 60 m da exposição superior (Foto 10b).

Na exposição inferior (a ~ 65 m), ambos os granitos mostram fortes variações estruturais próximo ao contato. No granito cinza venulado, os veios não se dispõem mais de modo irregular, mas sim paralelos ao contato, de tal modo que, conforme este é aproximado, a rocha tem o aspecto de um gnaiss (Foto 10g). Uma possível interpretação para essa feição é que o granito cinza venulado invade o leucogranito, e a deformação mais intensa em direção ao contato reflete compressão contra uma massa já solidificada. No entanto, os primeiros sete metros do leucogranito preservam um acamamento simétrico delicado, que parece ter se desenvolvido contra uma parede que deve ter sido o granito cinza. O acamamento é definido por uma porção central de granito cinza-escuro (~ 50 cm) que é envolvido por aplito com *schlieren* locais e pequenos bolsões de pegmatito (~ 150 cm; cf. Foto 10h), por sua vez flanqueado, próximo aos contatos externos (o inferior com o granito cinza gnáissico), por pegmatito (~ 150 cm). Nossa interpretação preferida para este contato é que o leucogranito **40g4** é intrusivo em **40g2**, e desenvolveu o acamamento contra a parede de seu contato inferior. Se isto é verdade, o incremento na deformação observado em **40g2** teria sido causado pelo esforço associado à injeção de **40g4**, implicando que o granito cinza ainda se comportava de modo plástico, e já tinha desenvolvido a venulação. Em todo caso, é evidente que não existiu um hiato temporal significativo entre a intrusão de **40g2** e **40g4**.

Um dique de biotita granito tardio, discordante, com 20-30 cm de largura e afetado por forte cisalhamento sin-magmático, que lembra aqueles observados no afloramento NP74, é observado na parte de trás da exposição inferior (não mostrada na Fig. 5).

Figura 5 - Reconstrução fotográfica do afloramento NP40, mostrando as exposições superior e inferior, ambas superpostas pela interpretação geológica, que é repetida abaixo das fotográficas.

Foto 10 - Fotografias de campo do granito Nazaré Paulista e rochas encaixantes no afloramento NP40. **a)** Detalhe da estrutura do granada-biotita granito cinza venulado; note os cristais maiores de granada (parcialmente substituídos por biotita) nos veios claros (exposição superior, a ~10m); **b)** Uma camada com largura de ~ 20 cm de granito cinza-escuro ladeada por leucogranito grosso semelhante ao material de preenchimento de veio no granito cinza venulado (exposição superior, a ~35 m); **c)** Textura do granada leucogranito (exposição inferior, 40g1, a ~18m); note a distribuição heterogênea dos minerais, especialmente a granada idiomórfica; **d)** Contato superior do leucogranito 40g1, que contém um xenólito de granada-biotita gnaiss calcico. O contato irregular com o granito cinza venulado 40g2 se localiza imediatamente acima do xenólito; **e)** O pequeno corpo de leucogranito 40g3 (uma camada subconcordante com 2 metros de largura) dentro do granito cinza venulado 40g2, visto na exposição inferior, a 33m; **f)** Detalhe do contato entre 40g3 e 40g2: veios de leucogranito que venula o granito cinza parecem continuar no granito branco 40g3. Mesma porção mostrada na Fig. 5e; **g)** Um detalhe do contato superior do granito venulado 40g2, mostrando uma estrutura foliada, o contato algo irregular, e a estrutura pegmatítica da borda de 40g4 (exposição inferior, ~64 m); **h)** Camada de granito cinza-escuro no centro de um corpo zonado, circundada por aplito heterogêneo rico em schlieren e pequenas lentes de granito cinza-escuro. Exposição inferior, imediatamente acima da porção mostrada na Foto 10g; **i)** Detalhe da estrutura da porção pegmatítica de 40g4 a ~70 m na exposição inferior. Note os grandes cristais de feldspato potássico (com largura acima de 8 cm) e abundantes *schlierens*.

4.4. Um sumário: os principais tipos de granito anatótico

Dois tipos contrastados de fácies petrográficas são facilmente distinguidos em ambas as exposições aqui estudadas em detalhe: granada-biotita *granito cinza venulado* e *granada leucogranito*.

Um granada-biotita *granito cinza venulado* constitui o corpo setentrional e mais espesso no afloramento NP74 (74g1), e consiste de um granito de granulação média com IC = 5-7 cortado por veios usualmente retilíneos de granada leucogranito comumente pobre em granada e mais grosso. O material de veio parece corresponder a fundido residual que foi separado do granito cinza devido à deformação sin-magmática e ao longo das margens de xenólitos. A porção superior de 74g1, rica em inclusões de gnaiss, é formada por granada leucogranito que pode corresponder a fundido residual coletado no teto.

Uma porção significativa do afloramento NP40 é constituída de granada-biotita granito cinza venulado. Ali, no entanto, o granito é mais claro (IC = 4-5), e os veios têm contornos menos retilíneos, sugerindo segregação sob condições mais plásticas.

A rocha predominante que forma os corpos independentes de *granada leucogranito* é caracterizada por M' muito baixo (2-3), ausência ou raridade de biotita, e cristais idiomórficos de granada rosada. Em alguns casos pode ser difícil distingui-la dos veios no granada-biotita granito cinza, pois ambas são rochas hololeucocráticas que mostram texturas aplíticas a pegmatíticas macroscopicamente similares. Como consequência, fica alguma dúvida durante os trabalhos de campo na identificação da porção superior de 74g1 como material de veios coletado no teto ou um novo corpo, talvez relacionado a 74g2. Pode-se também especular se o pequeno corpo de leucogranito (40g3) que intrude o centro do granito cinza no afloramento NP40 corresponde a líquidos residuais derivados deste último ou uma intrusão separada.

Os corpos principais de granada leucogranito são internamente muito heterogêneos e distintos entre si. Os corpos 40g1 e 40g4 são similares em sua heterogeneidade, e podem ser correlacionados: ambos são ricos em *schlieren* biotíticos e têm, em boa parte, caráter aplítico-pegmatítico. No afloramento 74, o corpo zonado de leucogranito 74g3 difere das outras ocorrências de leucogranito devido à presença de filmes de fibrolita em algumas amostras, e também devido à composição menos cálcica de seu plagioclásio.

4.5. Petrografia

4.5.1. Granitos

O principal contraste petrográfico entre os diferentes tipos de granito Nazaré Paulista é a abundância de biotita, que é ausente ou rara nos leucogranitos, e um constituinte principal dos granitos cinza, nos quais alcança 3-5% em volume. Modalmente, a maior parte das amostras é monzogranítica. No entanto, os corpos métricos aplítico-pegmatíticos, bem como as porções aplítico-pegmatíticas de alguns corpos de leucogranito, são heterogêneos: os bolsões pegmatíticos são ricos em grandes cristais de feldspato potássico, enquanto o aplito vizinho é enriquecido em plagioclásio, de forma que algumas amostras de mão de aplitos são quase isentas de feldspato alcalino.

A textura dos granitos é usualmente panxenomórfica, com umas poucas faces cristalinas desenvolvidas em minerais máficos (granada e ocasionalmente biotita) e por vezes plagioclásio. O feldspato potássico é um microclínio levemente pertítico com geminação em grade bem desenvolvida, e esparsas inclusões de quartzo arredondado, biotita e minerais acessórios. O plagioclásio é levemente zonado ou mesmo não zonado, e tem por vezes geminação polissintética pouco definida; sericitização é normalmente discreta. Os conteúdos de An são da ordem de 20, tanto nos granitos cinza como nos leucogranitos do afloramento NP40. No afloramento NP74, eles variam de ~An25 no granito cinza **74g1** até ~An20 no leucogranito com fibrolita do corpo **74g3** e ~An30 no leucogranito NP74U (do corpo **74g2**) e no pegmatito NP74Z (do corpo pegmatítico **ap3**). Quartzo é tipicamente anedral e frequentemente dividido em subgrãos com contatos serrilhados. Outra ocorrência típica é como inclusões arredondadas em ambos os feldspatos (mais comumente no plagioclásio) e na granada.

Granada é o mineral máfico principal em todas as fácies de granito. É em geral rica em inclusões de quartzo e biotita, além de alguns minerais acessórios como zircão e monazita. No granito cinza ela é usualmente anédrica a subédrica, rica em inclusões de quartzo, e parcialmente substituída por biotita verde nas bordas e ao longo de fraturas (cf. Foto 11a). As inclusões de biotita primária são marrom-avermelhadas, mas raramente preservadas. Nos leucogranitos, particularmente nas variedades pegmatíticas, a granada é geralmente euédrica, e mais pobre em inclusões (Foto 11b). No entanto, um zoneamento marcante é observado em cristais de uma amostra do corpo de leucogranito **74g3**, onde um núcleo rico em pequenas inclusões irregulares de quartzo é manteado por uma borda larga praticamente isenta de inclusões (Foto 11c).

Cristais subédricos de biotita primária marrom-avermelhada são típicos do granito cinza (cf. Foto 11d), e ocorrem em menores proporções em alguns corpos de leucogranito (e.g., porções de **74g3**). A maior parte dos leucogranitos exibem apenas biotita verde secundária, geralmente associada à reações de consumo da granada. A muscovita está presente em alguns granitos isentos de biotita, e pode formar cristais relativamente grandes (de tamanho milimétrico) em algumas

variedades pegmatíticas, mas é sempre xenomórfica, e evidências inequívocas de crescimento primário não foram encontradas.

Andaluzita ocorre como uns poucos cristais, parcialmente substituídos por muscovita, em um veio de leucogranito no granito cinza de 74g1. Finos feixes de fibrolita branca são vistos paralelos à foliação do leucogranito (marcada pelo alinhamento de esparsos cristais pequenos de biotita) em uma porção do corpo de leucogranito 74g3. A observação microscópica mostra que esses planos correspondem a superfícies de foliação que circundam cristais de feldspato deformados e localmente cortam grãos xenomórficos de quartzo e feldspato (Foto 11e). Em algumas amostras a fibrolita é circundada ou totalmente substituída por placas de muscovita.

Os principais minerais acessórios são ilmenita, zircão e monazita. Na maior parte das amostras a apatita está quase ausente; rutilo xenomórfico associa-se por vezes à biotita em algumas amostras de granito cinza. Zircão e monazita podem ocorrer como inclusões em todos os minerais fêlsicos e máficos principais e também nos contatos entre grãos de quartzo e feldspato (e.g., Foto. 11f). Os cristais de zircão são curtos e podem ter faces piramidais bem terminadas. Monazita está presente em todas as variedades de granito, mas é mais abundante no granito cinza e veios de leucogranito associados, onde pequenos grãos são comuns como inclusões no microclínio.

4.5.2. Rochas metamórficas

As rochas metamórficas de ambos os afloramentos são predominantemente granada-biotita gnaisses migmatíticos de composição “granítica”. As principais variações são: (1) sillimanita, sempre em pequena proporção (<1% em volume), aparece em algumas amostras do início (extremo NW) e da segunda metade do afloramento NP74 (amostras NP74A/ NP74E e NP74AB, respectivamente); (2) biotita gnaisses sem granada são o tipo de rocha predominante na porção média do afloramento NP74, onde eles estão comumente associados com pequenos “*boudins*” anfibolíticos ou cálcio-silicáticos, e são ocasionalmente ricos em cálcio, como evidenciado pelas composições de plagioclásio e granada (e.g., amostras NP74V, NP74Y); (3) a proporção plagioclásio/feldspato potássico pode aumentar em algumas amostras, especialmente nos biotita gnaisses sem granada, alguns dos quais têm composição “tonalítica”.

Todas as rochas têm uma textura granoblástica característica nas porções de “mesossoma”; leucossomas milimétricos a centimétricos, quando presentes, são de granulação mais grossa, e têm texturas xenomórfica a subidiomórfica, em alguns casos são envoltos por um melanossoma rico em biotita. Os leucossomas são modalmente diversos, mas dois tipos principais, ambos portadores de granada, podem ser reconhecidos, com base na abundância de feldspato potássico: (1) leucossomas monzograníticos a sienograníticos que lembram os granada

leucogranitos intrusivos, e (2) leucossomas “trondhjemíticos” ricos em quartzo, que localmente parecem estar associados com um evento mais antigo, pois se encontram afetados por dobramento intrafolial.

As composições do plagioclásio são levemente mais cálcicas que as dos granitos associados ($\sim\text{An}_{30-40}$ em granada-biotita gnaisses típicos; até An_{70} em biotita gnaisses associados com “*boudins*” cálcio-silicáticos). Embora não seja feição tão comum como nos granitos Nazaré Paulista, inclusões de quartzo arredondado são vistas em alguns cristais de plagioclásio e feldspato potássico. Microclínio levemente pertítico tem geminação em grade bem desenvolvida e o quartzo normalmente mostra extinção ondulante. Biotita, o mineral máfico mais abundante (5-15% em volume), é pleocróica em tons de marrom, e tem inclusões abundantes de zircão e monazita que desenvolvem halos pleocróicos bem definidos. Sillimanita, quando presente, associa-se à biotita, ao longo dos planos de foliação dos gnaisses.

Como nos granitos, a granada é com frequência parcialmente substituída por biotita verde e clorita em fraturas. Reações de consumo de granada são localmente evidenciadas por intercrescimentos simplectíticos com biotita + quartzo $\pm$ plagioclásio $\pm$ sillimanita (Fotos 11g,h). A geração de plagioclásio às expensas de granada pode refletir descompressão, o que também é sugerido pelo manteamento de granada por plagioclásio em amostras de anfibólito de afloramentos vizinhos (Janasi, 1999).

Minerais acessórios nos granada-biotita gnaisses são ilmenita, zircão, monazita e apatita. Monazita é com frequência associada com biotita (e.g., Foto 11i) e pode mostrar zoneamento setorial típico de cristais metamórficos em imagens de elétrons retroespalhados. Apatita é usualmente muito subordinada, exceto em algumas amostras de biotita gnaisses.

Foto 11 - Fotomicrografias do Granito Nazaré Paulista e rochas encaixantes nos afloramentos NP74 e NP40. **a)** Granada poiquilítica rica em inclusões de quartzo e parcialmente substituída por biotita; feição típica dos granitos cinza de ambos os afloramentos (amostra NP40AB); **b)** Granada subidiomórfica com inclusões de quartzo (principalmente no núcleo) e biotita verde secundária ao longo das fraturas (amostra NP74U; corpo 74g2); **c)** Granada subidiomórfica zonada com um núcleo rico em pequenas inclusões de quartzo; biotita em fraturas e no núcleo parece ser principalmente secundária (amostra NP74AD; corpo 74g3); **d)** Biotita subidiomórfica com uma inclusão de monazita desenvolvendo um amplo halo pleocróico (granito cinza NP40AJ; corpo 40g2); **e)** Sillimanita (fibrolita) secundária ao longo de superfícies de “strain” circundando um cristal de plagioclásio (amostra NP74AD; polarizadores cruzados; corpo de leucogranito 743g); **f)** Grande cristal de monazita no contato entre quartzo e plagioclásio (amostra NP74Z; polarizadores; pegmatito 74ap3); **g)** Plagioclásio secundário intercrescido com biotita, aparentemente produzido por reação de descompressão; borda de um cristal de granada (amostra NP74A; extremo NW do afloramento NP74); **h)** Simplectitas com quartzo, plagioclásio, biotita e localmente sillimanita mantendo cristais de granada no Kfs-Pl-Grt-Bt gnaiss NP74AB; **i)** Cristais de monazita associados com biotita no Kfs-Pl-Grt-Bt gnaiss NP74AB.

4.6. Temperaturas de Cristalização

Wernick *et al.* (1987) fez estudo de tipologia de zircão nos granitos Nazaré Paulista, concluindo serem estes de origem crustal e inferindo altas de temperaturas de cristalização para os monzogranitos a granodioritos cinza (680-720 °C) se comparados aos sienogranitos brancos (~660° C).

Janasi (1997) estudou três tipos principais de granitos de origem crustal localizados em diferentes níveis da Nappe Socorro-Guaxupé. Os granitos tipo Nazaré Paulista, separados em granitos cinza e leucogranitos, são interpretados como produto de fusão por quebra de muscovita (~750° C), derivados de fontes ricas em biotita (com um importante componente metapelítico).

Janasi (1999) fez uma cuidadosa avaliação das temperaturas de saturação em monazita, zircão e apatita dos granitos Nazaré Paulista, discutiu detalhadamente as formulações disponíveis e fez uma análise sobre a solubilidade das fases envolvidas, saturação do magma nos elementos de interesse (Zr, ETR e P), possíveis heranças e atividade de água no magma. Os valores de temperaturas de saturação em zircão obtidos por Janasi (1999) para os granitos Nazaré Paulista situaram no intervalo entre 750 e 780 °C para granitos cinza e entre 710 e 730 °C para os leucogranitos. O autor também calculou as temperaturas de saturação em monazita utilizando a formulação de Montel (1993), que leva em conta o conteúdo de água e composição química do magma, bem como a fração do membro final monazita (X_{REEPO_3}), esta última calculada com base na fórmula estrutural da monazita, que no caso foi de 0,89, valor obtido por Vlach *et al.* (1999), conforme o autor. Deste modo, as temperaturas de saturação em monazita obtidas por Janasi (1999) para teores de água de 8%, embora considerado um teor elevado, foram as que mais se aproximaram das temperaturas de saturação em zircão.

As temperaturas de saturação observadas por outros autores na área são concordantes com as temperaturas obtidas utilizando o geotermômetro granada-biotita para os paragneisses do afloramento NP74 (~ 720-780°C; estimativas inéditas da autora).

4.7. Geocronologia U-Th-Pb

Janasi (1999) obteve idade convencional U-Pb de 625 ± 4 Ma para o granito cinza venulado do corpo **40g2** do afloramento NP40, interpretada como sendo a idade de cristalização dos granitos Nazaré Paulista.

Vlach & Gualda (2000) fizeram datação química de monazita com microsonda eletrônica no granito cinza venulado **74g1** do afloramento NP74, e obteve uma idade de 614 ± 14 Ma. Embora o erro desta idade esteja dentro idade obtida por Janasi (1999), dados obtidos recentemente em amostras do afloramento NP74 são claramente mais jovens. Allan Fetter (comunicação pessoal) datou monazita do leucossoma granítico do afloramento NP74 obtendo

uma idade convencional U-Pb de 608 ± 1 Ma, e Ragatki (1998) obteve idade isocrônica Sm-Nd de granada-rocha total de 610 ± 8 Ma para o leucogranito **74g3**.

Colombo Tassinari obteve recentemente idade U-Pb pelo método convencional de 614 ± 2 para o granito **74g3** (dados inéditos).

No presente trabalho foram obtidas algumas idades U-Pb para monazita utilizando diferentes metodologias, inclusive em amostras e grãos previamente datados por outros métodos por diferentes autores.

Amostra de monazita do granito cinza **74g1** foi datada pelo método U-Pb isotópico convencional e forneceu idade de 622 ± 2 Ma.

Foram obtidas idades U-Th-Pb totais em monazita *in situ* por microsonda eletrônica (cf., Montel *et al.* 1996) para o granito **74g3** (596 ± 17 Ma) e para o granito cinza **40g2** (593 ± 14 Ma).

Finalmente, idades isotópicas U-Pb-Th para monazita também foram obtidas *in situ* (seções delgadas) utilizando laser 213 nm (LAM) acoplado a um Plasma Quadrupolo ICP-MS. Os grãos de monazita provenientes do granito **74g2** forneceram idade U-Pb-Th de 605 ± 29 Ma. O granito cinza **40g2** forneceu idade de 605 ± 36 Ma. A idade U-Pb-Th obtida para a o gnaiss migmatítico do afloramento NP74 foi de 603 ± 30 Ma. As idades obtidas por La-ICPMS, embora preliminares, estão de acordo com as obtidas por outros métodos, porém necessitam de uma melhor revisão das estimativas de erros.

Quadro resumo das idades obtidas para o granito Nazaré Paulista

Amostras	Monazita U-Pb (convencional)	Monazita U-Th-Pb Totais (microsonda eletrônica)	Monazita U-Pb LA-ICPMS	Outras metodologias
74g1	622 ± 2 Ma ⁽⁶⁾	614 ± 14 Ma ⁽²⁾		
74g2			605 ± 29 Ma ⁽⁶⁾	
74g3	614 ± 2 Ma ⁽⁵⁾	596 ± 17 Ma ⁽⁶⁾		610 ± 8 Ma ⁽⁴⁾
40g2	625 ± 4 Ma ⁽¹⁾	593 ± 14 Ma ⁽⁶⁾	605 ± 36 Ma ⁽⁶⁾	
Migmatito	608 ± 1 Ma ⁽³⁾		603 ± 30 Ma ⁽⁶⁾	

⁽¹⁾Janasi, 1999; ⁽²⁾Vlach & Gualda, 2000; ⁽³⁾A. Fetter (inédito); ⁽⁴⁾Ragatki (1998); ⁽⁵⁾C.Tassinari (inédito); ⁽⁶⁾presente trabalho

A idade de 622 Ma obtida para o granito cinza 74g1 confirmou a contemporaneidade dessa facies nos dois afloramentos principais.

As diferentes idades, em especial as de monazita U-Pb convencional, obtidas para os diferentes granitos e para o migmatito, apontam para a possibilidade da anatexia na região de Nazaré Paulista (SP) ter ocorrido em um intervalo de aproximadamente 15 Ma.

4.8. Conclusões

O granito Nazaré Paulista é muito heterogêneo, como esperado de sua origem anatética, mas a falta de um estudo detalhado da variação composicional observada trouxe alguma confusão à literatura ao longo do tempo. O estudo detalhado das duas melhores exposições existentes revela que esses granitos são heterogêneos mesmo na escala de afloramento, e ocorrem como vários corpos subconcordantes, discretos e com espessuras que não excedem 50 m.

Dois tipos petrográficos principais de “granitos tipo Nazaré Paulista” são facilmente distinguidos no campo: *granada-biotita granito cinza venulado* e *granada leucogranito*. Ambos são abundantes nos dois afloramentos detalhados aqui, e têm distribuição regional ampla. Variedades rosadas dos dois tipos são encontradas em afloramentos vizinhos, especialmente a NE do afloramento NP74 (Fig. 2), mas a mudança de cor parece refletir processos secundários.

O granada-biotita granito cinza tem uma composição de fundido não-mínimo, e por isso foi capaz de gerar um líquido residual que foi localmente coletado como uma densa rede de veios, provavelmente refletindo deformação sin-magmática. Esse fundido residual cristalizou como um granada leucogranito grosso (pegmatítico em alguns bolsões maiores), que também foi coletado ao redor de inclusões de gnaiss e provavelmente no teto de alguns corpos.

Granada leucogranito também forma vários corpos independentes, fortemente heterogêneos que têm abundantes porções de aplito-pegmatito, bandamento magmático e *schlieren* ricos em biotita. A biotita é com frequência ausente nessas rochas, ou ocorre como cristais muito pequenos da matriz. Muscovita e fibrolita podem ocorrer, esta última de origem aparentemente secundária, como filmes delgados ao longo da foliação em uma porção do corpo **74g3**. A petrografia microscópica pode ajudar a distinguir esses granada leucogranitos daqueles associados com os granitos cinza, uma vez que estes últimos usualmente têm monazita abundante, e podem mostrar alguns cristais de granada xenomórficos e ricos em inclusões.

Todos os corpos de granito tipo Nazaré Paulista são intrusivos nos paragneisses migmatíticos regionais; eles ocorrem invariavelmente como corpos tabulares concordantes com o acamamento gnáissico, e apenas localmente são vistos truncando sua foliação. Relações de idade relativa entre os diferentes corpos de granito só foram estabelecidas no afloramento NP40, onde eles aparecem em contato. Ali, interpreta-se que os granada leucogranitos que aparecem nas duas extremidades do afloramento intrudiram o granada-biotita granito cinza venulado quando este ainda tinha um comportamento plástico.

Esta observação, que implica que ambas as fácies intrudiram contemporaneamente, não implica, entretanto, que uma relação semelhante existe em outros afloramentos. Como já destacado, os dados geocronológicos disponíveis, embora ainda precisem de refinamento, podem implicar que pelo menos alguns granitos do afloramento NP74 são até 15 milhões de anos mais

jovens que a idade de ~625 Ma obtida por Janasi (1999) para o granito cinza de NP40. A necessidade de datar com exatidão os diferentes pulsos de granitos crustais aparentemente simples foi recentemente destacada pelo reconhecimento de que o Granito Manaslu no Himalaia foi formado em dois diferentes pulsos de geração de magma separados por 4 milhões de anos (Harrison *et al.*, 1999), possivelmente sob regimes tectônicos e condições de fusão distintos (Knesel & Davidson, 2002).

A identificação de feições indicativas de extensão sin-magmática no afloramento NP74 é significativa, uma vez que oferece um cenário favorável para a migração e possivelmente para a própria geração de magma (por fusão associada a descompressão), talvez semelhante àquele reconhecido em estudos recentes para os leucogranitos do Himalaia (Scaillet *et al.*, 1995; Patiño Douce & Harris, 1998). Texturas indicativas de descompressão observadas em algumas rochas da região de Nazaré Paulista, tais como coronas de plagioclásio em cristais de granada de gnaisses e anfibolitos (e.g., Janasi, 1999), são consistentes com um regime extensional tardio na evolução metamórfica da região. Caso se confirme que os granitos “tipo Nazaré Paulista” se geraram em um intervalo de tempo relativamente grande, contudo, é possível que eles tenham resultado de regimes tectônicos variados, cujas impressões estruturais e geoquímicas nesses granitos ainda precisam ser claramente identificadas.

5. MIGMATITOS E A FORMAÇÃO DE LEUCOSSOMAS *IN SITU*

5.1. Introdução

O termo migmatito foi cunhado por J. J. Sederholm em 1907 para definir uma mistura de fundido e sólidos. Mehnert (1968) demonstrou as dificuldades para caracterizar os migmatitos, rochas de aparência tão heterogênea, e optou por uma definição essencialmente descritiva. Segundo o autor, migmatitos são rochas macroscopicamente compostas por duas ou mais partes petrograficamente diferentes, uma das quais de aparência metamórfica e a outra de aparência pegmatítica, aplítica, granítica ou simplesmente plutônica.

As definições dos termos relacionados aos migmatitos foram objeto de diversos artigos, que procuraram expandir, revisar e padronizar estes termos, bem como descrever as propriedades e discutir a petrogênese concernentes à migmatização (Mehnert, 1968; Brown, 1973; Ashworth, 1985). A nomenclatura mais recente proposta para migmatitos tem por base as definições propostas por Mehnert (1968), e foi recomendada por um grupo de trabalho designado pela IUGS (Wimmenauer & Bryhni, 2002). O grupo produziu em caráter provisório as seguintes definições revisadas, que foram adotadas ao longo do presente texto:

Migmatito - Uma rocha silicática pervasivamente heterogênea da micro- à macro escala. Consiste tipicamente de partes mais claras e mais escuras. As partes mais escuras exibem usualmente características de rochas metamórficas enquanto as partes mais claras são de aparência plutônica.

Leucossoma - Parte mais clara de um migmatito

Mesosoma - Porção de um migmatito intermediária em cor entre leucossoma e melanossoma. Se presente, o mesossoma é uma parte mais ou menos modificada remanescente da rocha original (protolito) de um migmatito.

Melanossoma - Parte mais escura de um migmatito, normalmente com a predominância de minerais máficos. Ele ocorre entre dois leucossomas ou entre o mesossoma e o leucossoma.

Anatexia - Fusão de uma rocha. A utilização do termo deve vir seguida dos adjetivos inicial, avançada, parcial, diferencial, seletiva ou completa. O anatexito é a rocha que continua mostrando a evidência de formação *in situ* por anatexia.

Metatexia - Estágio inicial de anatexia onde a rocha original (paleossoma) foi separada em uma parte mais móvel, uma discreta porção mais clara, e uma parte restítica não mobilizada (empobrecida). O metatexito é uma variedade de migmatito com leucossomas discretos, mesossomas e melanossomas.

Diatexia - Estágio avançado de anatexia onde os minerais máficos são também envolvidos na fusão. O fundido formado não foi removido de seu lugar de origem. O diatexito é uma variedade de migmatito onde as partes claras e escuras formam estruturas nebulíticas e *schlieren* que se misturam um ao outro.

Restitos - “Restos” da rocha metamórfica da qual uma quantidade substancial de um ou mais componentes móveis foram extraídos sem serem substituídos.

Diferenciação metamórfica - Redistribuição de minerais por espécie e ou segregação de componentes químicos durante o metamorfismo para formar uma estrutura não homogênea de duas ou mais variedades dentro de um corpo de rocha.

Numerosos estudos focalizaram os processos de formação dos migmatitos, e pelo menos quatro processos diferentes foram sugeridos: injeção de material externo, metassomatismo, diferenciação metamórfica e fusão parcial (*e.g.*, Mehnert, 1968; Ashworth, 1985). Atualmente, é de relativo consenso que as porções de aparência ígnea dos migmatitos (leucossomas) devem possuir componentes de fusão parcial (anatexia), tida como um processo fundamental no metamorfismo de alto grau e que pode contribuir sobremaneira para a diferenciação da crosta continental (*e.g.*, Le Breton & Thompson, 1988; Patiño Douce & Johnston, 1991; Castro *et al.*, 1999).

Vários trabalhos produzidos na última década têm sido conduzidos, com considerável progresso, na compreensão dos processos que levam ao desenvolvimento de leucossomas (*e.g.*, Jung *et al.*, 1998; Jung & Mezger, 2001; Kriegsman, 2001; Mengel *et al.*, 2001; Fornelli *et al.*, 2002). Muitos autores têm demonstrado que leucossomas registram não somente os sítios de segregação do fundido, mas também o caminho para sua migração na crosta (Brown, 1994; Brown *et al.*, 1995). Assim, os leucossomas retidos nos migmatitos são interpretados como o registro de uma rede de permeabilidade remanescente que foi utilizada para a extração de material fundido (Brown *et al.*, 1999; Sawyer, 2001; Brown, 2004). Muito ainda está sendo feito para compreender como essa rede de permeabilidade evolui e como poderia ser ampliada durante orogêneses colisionais, possibilitando a segregação, extração e o acúmulo de magmas na crosta continental (para maiores referências ver Brown, 2004). Outras implicações são que a extração incompleta do fundido produzido durante a anatexia poderia causar reações retro-metamórficas nos melanossomas, bem como levar a reações de volta (*back-reactions*) entre o fundido cristalizado *in situ* (leucossoma) e o material restítico, as quais poderiam ter decorrências geoquímicas importantes na composição dos leucossomas (*e.g.*, Clemens & Droop, 1998; Kriegsman & Hensen, 1998; Spear *et al.*, 1999; Kriegsman, 2001; Otamendi & Patiño Douce, 2001; Brown, 2002).

O conhecimento do contexto geológico, assim como a definição do papel protagonizado pela P, T, composição dos protolitos e de seus componentes mineralógicos, são essenciais para decifrar os processos de formação das diferentes partes que compõem os migmatitos (mesossoma, melanossoma e leucossoma) e sua relação genética com corpos graníticos associados, uma vez que vários autores interpretam que migmatitos podem representar a fonte de magmas graníticos (*e.g.* Sawyer, 1998; Milord *et al.*, 2000; Solar & Brown, 2001).

A proposta deste estudo foi a de determinar a natureza da migmatização dos granada-biotita gnaisses do Complexo Metamórfico Piracaia (Campos Neto *et al.*, 1983), mais precisamente de amostra do afloramento NP74 da região de Nazaré Paulista-Atibaia. Foi feita a separação, estudo petrográfico, geoquímica de rocha (elementos maiores, menores e traços) e

minerais para caracterizar o processo de geração e segregação de leucossomas. A compreensão desses processos foi fundamental para respaldar as discussões sobre as relações destas rochas com outras litologias presentes no afloramento, em especial os granada leucogranitos, que são alvo de estudo nos Capítulos 6 e 7.

5.2. Tipos de Gnaisses Migmatíticos Locais

O migmatito estudado é proveniente do afloramento NP74, localizado nas proximidades das cidades de Nazaré Paulista e Atibaia, SP (Figura 2), onde se expõem predominantemente granada-biotita gnaisses migmatíticos e granada-biotita granitos intimamente associados (Foto 12).

Diversas rochas expostas no afloramento NP74 podem ser descritas como migmatitos, com diferentes proporções de porções escuras e claras (Fotos 13 a 15). Os granada-biotita gnaisses migmatíticos, litologia mais freqüente, apresentam composição granítica a granodiorítica. As principais variações observadas entre os migmatitos foram: a proporção entre os feldspatos, intercalações locais de biotita gnaisses finos sem granada e a presença local de sillimanita e/ou muscovita. A monazita é o mineral acessório mais comum, porém em algumas litologias a apatita pode suplantá-la. O zircão também está presente e a xenotima é fase bastante rara.

Os migmatitos presentes no afloramento são metatexitos, com uma clara distinção dos leucossomas, arranjados em uma matriz de coloração escura, formada pelos melanossomas e mesossomas. Os leucossomas formam lentes milimétricas a métricas, alongadas e paralelas no sentido da lineação da rocha. Os grãos de minerais félsicos observados nos leucossomas são um pouco maiores do que aqueles presentes nos domínios vizinhos. A amostra escolhida para o estudo foi um granada-biotita gnaisse migmatítico, com claros sinais de fusão parcial *in situ*, que representa a fácies mais expressiva do afloramento (Foto 15).

Foto 12 - Granada biotita gnaiss migmatítico em contato com granada-biotita granito venulado. Note a presença de leucogranito no contato. O lado maior da caderneta tem 21 cm.

Foto 13 - Migmatito estromático, com veios de leucossomas leucocráticos compostos e paralelos às porções xistosas mais escuras (mesossomas e/ou melanossomas). O lado maior da caderneta tem 21 cm.

Foto 14 - Migmatito estromático, em parte boudinado, com injeção de granito hololeucocrático (leucossoma). Um fino melanossoma se forma no contato do mesossoma (porção cinza) como o leucossoma. O lado maior da caderneta tem 21 cm.

Foto 15 - Granada-biotita gnaiss migmatítico bandado, um metatexito típico do afloramento estudado. Note: os mesossomas, melanossomas e lentes leucossomáticas milimétricas a centimétricas formadas *in situ* são facilmente reconhecíveis em amostra de mão (cf. foto de detalhe à esquerda). Os migmatitos são comumente recortados por veios graníticos (na diagonal; foto maior).

5.3. Descrição do Migmatito Estudado

A amostra de migmatito escolhida para o estudo de detalhe (NP74AB) é um metatexito com camadas paralelas centimétricas de leucossomas *in situ* circundadas por melanossomas (Fotos 16 a 22). Foram extraídas três porções de mesossomas (Ms6, Ms7, MS8) e cinco de leucossomas (Lc1, Lc2, Lc3, Lc4, L5), todos eles circundados por melanossomas, que têm numeração correspondente (MI1, MI2, MI3, MI4, MI5). Foi analisada ainda uma amostra do migmatito “total” (denominada “migmatito”), coletada na mesma porção do afloramento; dada a heterogeneidade do material, contudo, ela pode não ser um equivalente exato da soma dos componentes individuais. Na Tabela 3 é apresentada uma composição modal aproximada de cada amostra.

Tabela 3 - Composição modal aproximada (%) das diferentes unidades que compõem o migmatito estudado

Unidade	Composição modal
Ms6, Ms7 e Ms8	Qtz(30), Pl(25), Bt(20-15), Grt(10), Kfs(15-10) - Mnz, Zrn, Ap e Xn (acessórios)
Lc1	Pl(30), Qtz(30), Kfs(30), Grt(5) - Zrn (acessório)
Lc2, Lc3 e Lc4	Qtz(55-60), Pl(25), Grt(5-10), Kfs(5) - Mnz, Zrn, Ap e Xt (acessórios)
Lc5	Qtz(35), Pl(35), Kfs(28), Bt(<2) - Mnz, Zrn (acessórios)
Melanossomas	Grt e Bt (proporções variáveis) - Mnz e Zrn (acessórios)

Abreviações de acordo com Kretz (1983)

Foto 16 - Seção transversal da amostra da Foto 15. Estão bem definidas as diferentes unidades de leucossomas e mesossomas. Os retângulos brancos correspondem à localização das seções delgadas numeradas de 1 a 6, que são apresentadas nas fotos seguintes.

Foto 17 - Seção delgada 1, mostrando Lc1, M11 e Ms6. A granulometria apresentada pelo leucossoma e melanossoma, em especial o da esquerda, é mais grossa que aquela apresentada pelo mesossoma. Foram destacadas as localizações de alguns minerais analisados por microsonda eletrônica e LA-ICPMS.

Foto 18 - Seção delgada 2 apresentando o segmento dobrado correspondente ao Lc2 acompanhado do melanossoma M12. No melanossoma da porção central da dobra fechada em “M”, predomina a biotita, enquanto na parte interna da dobra, predomina a granada.

Foto 19 - Seção delgada 3 (continuação do segmento dobrado formado pelo leucossoma Lc2 e acompanhado do melanossoma M12). Também expõe o mesossoma Ms6.

Foto 20 - Seção delgada 4 expõe o ápice da dobra formada pelo leucossoma Lc3 e seu respectivo melanossoma M13. O mesossoma Ms6 também envolve o Lc3.

Foto 21 - Seção delgada 5 mostrando o Lc4, M14 e o mesossoma Ms7.

Foto 22 - Seção delgada 6 expõe o Lc5, envolvido pelo M15 e o Ms7. Também mostra o Ms8 no canto inferior direito.

Os mesossomas correspondem a um granada-biotita gnaiss monzogranítico a granodiorítico, sem diferenças modais significativas entre cada porção. A textura é granoblástica, com mineralogia dominante de quartzo, plagioclásio, biotita, granada e feldspato potássico (Foto 23). A biotita é orientada e mostra pleocroísmo variando de castanho claro a marrom, com inclusões freqüentes de zircão e monazita. A sillimanita (fibrolita) aparece associada à biotita, principalmente nas bordas e fraturas. A granada é xenomórfica, forma porfiroblastos, por vezes com fraturas preenchidas por biotita verde clara. As inclusões mais freqüentes são de quartzo, e imprimem ao grão um aspecto poiquilítico. É comum a formação de simplectitas com o intercrescimento de plagioclásio, biotita, quartzo e sillimanita ao redor de cristais de granada (Foto 24). A formação do plagioclásio ao redor da granada é sugestiva de processo de descompressão, identificado regionalmente (*cf.* Janasi, 1999). O mineral acessório mais comum é a monazita (Foto 25), seguida do zircão; menos freqüentes são a apatita e xenotima.

Com base em sua composição normativa, os leucossomas são de dois tipos, um granítico (Lc1 e Lc5) e o outro granodiorítico a tonalítico rico em quartzo (Lc2, Lc3 e Lc4), denominado doravante genericamente de tonalítico (Figura 6). Ambos os tipos têm textura magmática, panxenomórfica a granular hipidiomórfica, com grãos de feldspato xenomórficos a subidiomórficos, granada subidiomórfica a idiomórfica e quartzo intersticial (Fotos 26 e 27). Os grãos apresentam granulometria variando de fina a grossa, porém sistematicamente mais grossa que a do mesossoma. O índice de cor varia de 5 a 10 para os leucossomas tonalíticos e é menor do que 5 para os leucossomas graníticos.

As três amostras de leucossoma tonalítico analisadas são bastante homogêneas, e representam, aparentemente, uma mesma banda repetida por dobramento (*cf.* item anterior; Foto 16). Nos leucossomas tonalíticos, a granada é subidiomórfica, com freqüentes inclusões de quartzo, e mais raramente de monazita (Foto 28). No Lc2 ocorrem algumas feições locais, que merecem destaque: apatita forma agregados de grãos idiomórficos bem desenvolvidos (Foto 29), e ocorrem sillimanita xenomórfica (Foto 30) e carbonato, este último em pseudomorfos de mineral acessório não identificado (Fotos 31 e 28). O dobramento que afeta leucossomas tonalíticos pode ser indicativo de que estes são anteriores aos leucossomas graníticos, uma vez que estes últimos não parecem estar dobrados. Outra feição local que merece destaque é a concentração, em determinada porção do leucossoma tonalítico dobrado (Lc3), de feldspato potássico, que não parece ter sido reproduzida pela química de rocha (ver localização na Foto 20 e detalhe na Foto 32). Os minerais acessórios são monazita, zircão e menos freqüente a apatita.

Os dois leucossomas graníticos, embora bastante similares entre si, são de dois tipos, granada leucogranito (Lc1) e biotita leucogranito (Lc5). No leucossoma granítico Lc1 a granada ocorre formando megacristais subidiomórficos, com fraturas preenchidas por biotita clara (Foto 33). No Lc5, além da biotita, a muscovita também está presente, formando raras palhetas

subidiomórficas. A presença da andaluzita, caracterizada opticamente, é registrada em associação com a muscovita no Lc5 (Foto 34). A biotita, rara, é mais freqüente apenas no Lc5 e forma cristais subidiomórficos, com pleocroísmo variando de castanho para castanho avermelhado (Foto 35). Os minerais acessórios do leucossoma granítico Lc5 são monazita, mais abundante, e zircão; enquanto no Lc1 o zircão é fase muito rara e a monazita parece estar ausente. A sillimanita aparece como fibrolita, bastante dispersa, formando finas agulhas associadas muitas vezes a granada (Foto 36).

Os melanossomas são faixas densas compostas por granada e biotita, em proporções variáveis, que circundam os leucossomas (Fotos 37). Os grãos de granada e biotita são xenomórficos, de granulometria maior que a dos mesossomas. A foliação é dada pela biotita orientada. Os melanossomas contêm quartzo e plagioclásio, cuja proporção é de difícil quantificação devido a sua proximidade com os leucossomas. A mineralogia acessória é formada por monazita, zircão e ilmenita. Os melanossomas que circundam o Lc2 mostram uma maior concentração de granada em relação à biotita, resultado provável de segregação puramente mecânica, induzida por deformação, uma vez que a mesma encontra-se no meio da dobra (Foto 38).

Figura 6 - Diagrama ternário Ab-An-Or normativo para leucossomas, mesossomas e migmatito total, com campos classificatórios de rochas ígneas silicáticas conforme proposto por Barker (1979).

Foto 23 - Aspecto microtextural geral apresentado pelo Ms7. Granada xenomórfica associada com biotita orientada (Grt2 – Seção delgada 6). Os furos arredondados e alinhados, indicados pelas setas, são os locais amostrados para análise por LA-ICPMS.

Foto 24 - Cristais de granada mostrando reação evidenciada pelo intercrescimento de simplectita de biotita, quartzo, plagioclásio e, localmente, sillimanita. O crescimento de plagioclásio às expensas de granada deve refletir processo de descompressão.

Foto 25 - Cristais de monazita idiomórfica a subidiomórfica, com halos pleocróicos, incluídas em biotita. Os dois grãos apresentam furos gerados quando da análise por LA-ICPMS.

Foto 26 - Textura panxenomórfica típica do Leucossoma granítico Lc1, com cristais xenomórficos de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo intersticial. O grão de plagioclásio da direita apresenta furos gerados quando da análise por LA-ICPMS.

Foto 27 - Textura granular hipidiomórfica comumente apresentada pelos leucossomas tonalíticos, mostrando grãos de plagioclásio idiomórficos a subidiomórficos e quartzo, em geral, xenomórfico e intersticial.

Foto 28 - Granada subidiomórfica com inclusões arredondadas de quartzo (Lc3; seção delgada 4). Os grãos apresentam ainda inclusão de monazita bem desenvolvida. A granada e a monazita apresentam furos gerados quando da análise por LA-ICPMS.

Foto 29 - Agregado de grãos de apatita idiomórfica a subidiomórfica bem desenvolvida (feição exclusiva do Lc2; seção delgada 2); pontos vermelhos são marcas de caneta utilizadas para localizar os grãos.

Foto 30 - Sillimanita xenomórfica e parcialmente consumida por muscovita e outros minerais micáceos finos (feição rara encontrada no Lc2; seção delgada 2).

Foto 31 - Pseudomorfo de mineral acessório completamente substituído por carbonato e mineral opaco não identificado (feição observada no Lc2; seção delgada 2).

Foto 32 - Aspecto textural de porção observada no leucossoma 3, isoladamente formando modalmente um álcali feldspato granito (Lc3; seção delgada 4; ver localização na Foto 20) .

Foto 33 - Granada subidiomórfica bastante fraturada. As fraturas são preenchidas por biotita verde claro (Lc1 – seção delgada 1). Na parte esquerda da foto aparece o MII praticamente formado por biotita. A granada apresenta furos gerados quando da análise por LA-ICPMS.

Foto 34 - Andalusita parcialmente alterada para muscovita (Lc5; seção delgada 6).

Foto 35 - Aspecto textural magmático do Lc5 (seção delgada 6) mostrando plagioclásio subidiomórfico, feldspato potássico e quartzo xenomórficos. No centro da foto aparece biotita; o plagioclásio apresenta furos gerados quando da análise por LA-ICPMS.

Foto 36 - Granada subidiomórfica contornada por e com inclusões de fibrolita (seção delgada 1; Lc1/M11)

Foto 37 - Granada subidiomórfica e biotita associadas formando o M11, posicionado entre Ms6 e Lc1 (seção delgada 1). A granada e a biotita apresentam furos gerados quando da análise por LA-ICPMS.

Foto 38 - Concentração de granada xenomórfica com biotita associada formando o M12. A ilmenita também ocorre com mais frequência (seção delgada 2). A granada apresenta furos gerados quando da análise por LA-ICPMS.

5.4. Condições de Migmatização

As condições metamórficas alcançadas na área são da ordem de 720-780 °C e 5-6 kbar (estimativas inéditas da autora baseadas no geotermômetro granada-biotita e o geobarômetro GASP). Foram também calculadas as temperaturas de saturação em monazita e zircão dos leucossomas, a partir dos modelos formulados, respectivamente, por Montel (1993) e Watson & Harrison (1983). As temperaturas de saturação em zircão para o leucossoma tonalítico variaram entre 730 e 790 °C, enquanto as temperaturas de saturação em monazita, para 6% de conteúdo de H₂O, ficaram em torno de 795 °C. As temperaturas de saturação em monazita foram calculadas considerando a composição química das monazitas de cada porção (Anexo 1a). A variação em 2% no conteúdo de H₂O, para mais ou para menos, promove diferenças da ordem de 10 °C nas

temperaturas de saturação em monazita. As temperaturas de saturação em zircão e monazita obtidas para o leucossoma granítico Lc5 foram concordantes, em torno de 745 °C. A temperatura de saturação em zircão obtida para o leucossoma granítico Lc1 foi de 640 °C, já a temperatura de saturação em monazita foi de 715 °C, ambas inferiores às observadas nos outros leucossomas, muito provavelmente, refletindo o caráter insaturado em monazita e zircão do Lc1, conforme constatado pela análise petrográfica (item 5.3).

As temperaturas de saturação dos leucossomas tonalíticos estão, provavelmente, superestimadas, uma vez que heranças foram reconhecidas a partir da análise da composição química dos grãos de monazita presentes nestes leucossomas (ver item 5.7). Deste modo, utilizando o modelo inverso do cálculo de temperatura de saturação em monazita formulado por Montel (1993), conforme descrito por Hoskin *et al.* (2000), foi calculada a composição do magma que estaria em equilíbrio com a borda da monazita intersticial presente nos leucossomas, que é interpretada como produto de cristalização do magma anatético. Os padrões de ETR obtidos para esse magma, para avaliar os resultados obtidos. Os valores de temperatura obtidos foram da ordem de 750 °C, utilizando teores de 6% de H₂O. O padrão dos magmas calculados mostrou enriquecimento em Gd em relação ao padrão observado nos leucossomas, que pode estar refletindo a partição deste elemento entre a monazita e outras fases anatéticas ricas em ETRP, como, por exemplo, a granada que permaneceu no restito. Dessa forma, a temperatura calculada pelo modelo inverso pode estar um pouco superestimada, conferindo aos dados obtidos um caráter de temperatura máxima. Foram calculadas também as temperaturas de saturação utilizando o modelo inverso para o magma em equilíbrio com a borda da monazita do leucossoma tonalítico, obtendo-se o resultado de ~750 °C, enquanto para o leucossoma granítico Lc5 o resultado foi de 725 °C.

A situação metamórfica em vigor colocou as condições de migmatização bem acima do *solidus* granítico na presença de fase fluida aquosa livre. Assim, a anatexia na área poderia ter se dado por fusão na presença de uma fase fluida aquosa livre (fluxo de H₂O) ou fusão associada à desidratação, onde a H₂O necessária para a fusão seria fornecida pela quebra de mineral hidratado (*e.g.*, biotita e/ou muscovita).

A participação de H₂O livre durante a fusão de muscovita de um metapelito (*cf.*, Harris & Inger, 1992 e Harris *et al.*, 1995) pode ser representada pelo equilíbrio:

A reação acima também foi calculada por Patiño Douce & Harris (1998), sob condições de adição de 2% de H₂O, 6 kbar e 750 °C, e obtiveram o seguinte resultado:

onde x é o coeficiente estequiométrico para a adição de água.

O pico metamórfico alcançado na área de estudo teria sido suficiente para permitir fusão parcial associada à quebra de muscovita (Patino Douce & Harris, 1998), até sua completa exaustão, mesmo na ausência de uma fase fluida livre, por meio de reações como:

A presença de água como reagente na equação de fusão (1b) resulta em balanço estequiométrico no qual existe um maior consumo do plagioclásio frente à muscovita quando comparado à equação de fusão (2). Uma outra consequência é a produção de feldspato potássico peritético na equação 2 (*e.g.*, Harris *et al.*, 1995). A quantidade de fundido gerado a partir da equação 2 é uma função direta da quantidade de muscovita presente no protolito. Patino Douce & Harris (1998) obtiveram experimentalmente a produção de ~ 25% de volume de fundido em uma amostra de metapelito, que equivale a 1,14 vezes a massa de muscovita presente no protolito original.

Pickering & Johnston (1998) demonstraram que pequenas quantidades de granada peritética também podem ser produzidas por meio de fusão incongruente por quebra de muscovita. Por outro lado, a presença de fases máficas peritéticas pode ser indicativa de fusão incongruente por quebra de biotita.

Stevens *et al.* (1997) e outros autores indicam que a fusão de metapelitos ou metagrauvas por quebra de biotita inicia-se a partir de 775 °C e 5 kbar, por meio da reação:

Otamendi & Patiño Douce (2001), analisando fusão parcial de metagrauvas aluminosas, inferiram que migmatitos produzidos por anatexia em condições de transição metamórfica de fácies anfibolito para granulito, com a participação de pelo menos uma pequena quantidade de água, pode se dar de acordo com reação de fusão incongruente de biotita:

As fases máficas peritéticas formadas em equilíbrio com o fundido durante a fusão por quebra da biotita (reações 3 e 4) são uma função direta do tipo de rocha e da pressão. Vielzeuf & Montel (1994) mostraram que granada é uma fase estável em pressões maiores que 5 kbar, enquanto a cordierita é estável em pressões menores que 5 kbar.

O feldspato potássico pode ser tanto produto quanto reagente nas reações de fusão da biotita, dependendo sobretudo da razão H_2O/K_2O da biotita relativa ao fundido formado (Carrington & Watt, 1995).

A inclinação das curvas dP/dT de quebra da biotita e muscovita implicará na intersecção destas duas curvas a partir de uma certa pressão (Le Breton & Thompson, 1988), acima da qual muscovita e biotita poderão competir durante a fusão, conforme a seguinte reação:

As condições metamórficas estimadas para a área de estudo seriam suficientes para, além de fusão por quebra de muscovita, dar início à fusão por quebra da biotita; entretanto, estima-se na literatura que volumes expressivos de fundido formado por quebra de biotita somente seriam produzidos no intervalo de temperatura entre 800 e 875 °C (Stevens *et al.*, 1997).

5.5. Geoquímica

As análises químicas de elementos maiores, menores, traços e ETR do migmatito total e dos leucossomas e mesossomas individualizados são apresentadas nos diagramas 4 a 7. Não foi possível obter análises químicas dos melanossomas, devido à pouca representatividade do material separado. Os resultados geoquímicos de todas as porções analisadas são apresentados no Anexo 1a. Para detalhes dos procedimentos analíticos, ver Capítulo 2.

Mesosomas

Diagramas tipo Harker são apresentados na Figura 7. Os mesossomas mostram boa correlação negativa entre SiO_2 e FeO_t , Al_2O_3 , MgO , TiO_2 e CaO (Figuras 7a). Os elementos Rb, Zr, V e Y, assim como a maioria dos elementos maiores, mostram correlação negativa (Figura 7b). Os outros elementos não mostram correlação com uma tendência clara, muito provavelmente, devido ao pequeno número de amostras apresentado (Figuras 7a e 7b).

Os mesossomas apresentaram composição química similar à de grauvacas típicas (Figura 7c; *cf.* valores de Taylor & McLennan, 1985; Wedepohl, 1995), em média, com alto teor de SiO_2 (63-68%) e baixos teores de Al_2O_3 (12-14%). Os teores de MgO (2,8-3,4%), FeO_t e TiO_2 (~1 %) são relativamente altos (Figura 7a e 7c), indicando um caráter mais máfico em relação a metagrauvacas típicas. Por outro lado, o migmatito total apresenta teores de SiO_2 mais altos (74%) e caráter menos máfico que grauvacas típicas, indicativos de que seu protolito possa ter sido um sedimento clástico imaturo com componente mais pelítico.

Os índices A/CNK em torno de 1,3, indicam que os mesossomas são tipicamente peraluminosos, com $mg\#$ ($=MgO/MgO+FeO_t$) variando entre 44,4 e 45,2 (Figura 8). Além disso, são levemente empobrecidos em CaO (1,4-1,9 %) e Na₂O (1,9-2,2%) quando comparados com as metagrauvacas típicas (Figura 7c). Por outro lado, possuem alto teor de K₂O (3,4-4,2 %), que se reflete em uma maior contribuição modal de feldspato potássico nos mesossomas em relação às metagrauvacas típicas.

Os teores de P₂O₅ são relativamente baixos (0,02-0,03%), evidenciando a pouca abundância de apatita nestas rochas.

O conteúdo total de ETR nos mesossomas é relativamente alto ($REE_{total} = 265-286$ ppm), porém com fracionamento ETRL/ETRP $[(La/Yb)_N = 7-8,5]$ bastante similar ao apresentado por metagrauvacas típicas (Figura 9). O fracionamento entre os ETRP é muito baixo e, conforme esperado para este tipo de rocha, mostrando um padrão normalizado pelo condrito muito pouco inclinado $[(Gd/Yb)_N = 1,5]$; Figura 9]. A anomalia negativa de Eu ($Eu/Eu^* = Eu_N / \sqrt{(Sm_N \times Gd_N)}$) é pronunciada (~ 0.5).

Nos diagramas de variação multi-elementos normalizados pela crosta média (*cf.* valores de Wedepohl, 1995; Figura 10) o Sr e Ba apresentam fortes anomalias negativas, enquanto o Rb mostra forte anomalia positiva. Conseqüentemente, as razões Rb/Sr ($\sim 1,40$) são altas. Os mesossomas são levemente mais ricos em K, U, Th, Zr, Hf, Zr, Th, U, K e ETR que a média crustal. O migmatito total é em geral menos enriquecido em elementos incompatíveis que os mesossomas em separado. Portanto, se considerarmos que os mesossomas têm caráter restítico, o enriquecimento relativo nestes de elementos incompatíveis é sugestivo de que parte destes elementos possa ter ficado retido em fases que não participaram da fusão parcial que deu origem aos leucossomas.

Os mesossomas mostram entre si algumas variações composicionais relevantes (*e.g.*, teores de SiO₂), resultado provável de diferenças na composição das camadas do protolito original.

Leucossomas

Nos diagramas tipo Harker é possível observar que os leucossomas apresentam correlação negativa entre SiO₂ e Al₂O₃, K₂O, Sr, Rb e Ba (Figuras 7a e 7b). Os outros elementos não mostram correlação com uma tendência muito clara, ou mostram em específico dentro do conjunto de cada leucossoma, porém, o número de análises é muito restrito para maiores tergiversações (Figuras 7a e b). A exemplo dos mesossomas, os teores de P₂O₅ nos leucossomas também são relativamente baixos (0,04-0,05%).

Comparados com os mesossomas, os leucossomas graníticos são enriquecidos em K₂O, SiO₂, Sr e Ba, têm teores similares de Na₂O e Al₂O₃, são levemente empobrecidos em CaO e

como esperado são significativamente mais pobres em FeO, MgO e TiO₂ (Figura 7a e 7b). Os leucossomas graníticos são menos peraluminosos que os mesossomas e leucossomas tonalíticos, com A/CNK entre 1,1 e 1,12 (Figura 8). Os dois leucossomas graníticos analisados mostram algumas diferenças químicas relevantes, como por exemplo, o Lc5 (biotita granito) apresenta maior mg# (41,6), maior CaO (1,25) e menor K₂O (5,3). O leucossoma granítico Lc1 mostra o caráter menos máfico entre as porções analisadas (mg# = 28). Os leucossomas graníticos mostram as menores concentrações de REEt (83-130 ppm), fracionamento ETRL/ETRP levemente mais acentuado [(La/Yb)_N = 5,8-11,2] e anomalia positiva de Eu (Eu/Eu* = 1,3-2,5) (Figura 9). O leucossoma granítico Lc5 é mais empobrecido em ETRP que o Lc1, evidenciando a ausência de fases minerais portadoras destes elementos no Lc5, como por exemplo, a granada. Os leucossomas graníticos apresentam menor razão Rb/Sr (0,55-0,69) e Sr/Ba (0,19-0,21) que os mesossomas.

Os leucossomas tonalíticos mostram baixos teores de K₂O (0,8-1,3%) e os mais altos teores de SiO₂ do conjunto estudado (~ 80%) (Figura 7a). Do mesmo modo que os leucossomas graníticos, os leucossomas tonalíticos são significativamente mais empobrecidos em FeO, MgO e TiO₂ que os mesossomas (Figura 7a). Apresentam A/CNK de aproximadamente 1,24, bastante similares aos dos mesossomas. Os teores de CaO e Na₂O também são similares aos apresentados pelos mesossomas, assim como os padrões de ETR também são muito parecidos, porém com REEt *algo* menores (180 - 208 ppm) e fracionamento ETRL/ETRP [(La/Yb)_N = 4,2-5,3] um pouco menor (Figura 9). Os conteúdos de Ba (234-307 ppm) e Rb (40-48 ppm) são os menores do conjunto estudado (Figura 7b). Os teores Sr (132-141 ppm) são similares aos dos apresentados pelos mesossomas (Figura 7b). Assim, as razões Sr/Ba são as maiores e Rb/Sr as menores do conjunto estudado (Figura 7d).

Nos diagramas de variação multi-elementos normalizados pela crosta média (*cf.* valores de Wedepohl, 1995) é possível observar que em geral os leucossomas graníticos são relativamente mais pobres em REE, U e Th (componentes essenciais em monazita) que os mesossomas e os leucossomas tonalíticos (Figura 10). Além disso, o Lc1 é bastante pobre em Zr e Hf, diferente do Lc5 que mostra teores *algo* mais similares aos teores observados nos leucossomas tonalíticos. O Lc5 é o mais rico em Nb, Ta, Ti, componentes presentes em biotita, mais freqüente neste leucossoma. Os leucossomas graníticos são relativamente mais enriquecidos em Sr, Ba e K, componentes importantes em feldspatos. Os leucossomas tonalíticos mostram padrão de comportamento de elementos traços um pouco mais parecido ao dos mesossomas, porém são mais pobres em Ta, Nb e Ti, componentes menores em biotita, e também em Zr e Hf, componentes principais em zircão (Figura 10). As razões Ba/Rb nos leucossomas tonalíticos e graníticos são bem mais elevadas que as observadas nos mesossomas e migmatito total, devido aos mais altos teores de Rb neste último (Figura 10).

Comparativamente, os dois tipos de leucossomas apresentam composição bastante distinta, resultado em grande parte da diferença na proporção entre feldspato potássico e plagioclásio, refletido na razão K_2O/N_2O , que varia de 0,39 a 0,58 para os leucossomas tonalíticos e de 2,8 a 3,6 para os leucossomas graníticos.

Figura 7 - (a) Diagramas tipo Harker de variação composicional de elementos maiores e menores (% em peso) de leucossomas, mesossomas e migmatito total.

Figura 7 - (b) Diagramas tipo Harker de variação composicional de elementos traços (ppm) de leucossomas, mesossomas e migmatito total.

Figura 7 - (c) Padrão comparativo de elementos maiores e menores de mesossomas e migmatito total normalizado para grauvacas típicas (*cf.* valores de Taylor & McLennan, 1985 e Wedepohl, 1995).

Figura 7 - (d) Diagrama de variação das razões Rb/Sr e Sr/Ba dos leucossomas, mesossomas e migmatito total.

Figura 8 - Diagrama de variação dos índices A/CNK e mg# (MgO/MgO+FeO) de leucossomas, mesossomas e migmatito total.

Figura 9 - Padrão de ETR normalizados para o condrito (*cf.* Valores de Boyton, 1984) de leucossomas, mesossomas e migmatito total. Os valores de grauvaca típica são de Taylor & McLennan, 1985 e Wedepohl, 1995.

Figura 10 - Diagramas de variação de multi-elementos normalizados para crosta continental média (cf., valores de Wedpohl, 1985) para leucossomas, mesossomas e migmatito total.

5.6. Isotopia Sr-Nd

Foram obtidos dados isotópicos Sr-Nd para leucossoma granítico Lc1, leucossoma tonalítico Lc3, mesossoma Ms6 e para o migmatito total. Os valores de $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ e ϵNd foram calculados para 610 Ma, idade média mais provável da anatexia envolvendo os migmatitos do afloramento NP74. Os resultados são apresentados no Anexo 1a, onde se observa que os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(610)}$ são significativamente menores para o leucossoma granítico, de $\sim 0,71641$, enquanto que para o leucossoma tonalítico, mesossoma e migmatito total os valores observados são bastante similares ($\sim 0,72763 - 0,72933$). O $\epsilon\text{Nd}_{(610)}$ varia de -8 a -9, sendo que o migmatito total e o leucossoma granítico apresentaram o menor valor (-9).

5.7. Química Mineral

As análises de elementos maiores de granada, monazita, biotita e feldspatos foram obtidas diretamente em seções delgadas polidas de rocha (de $\sim 40 \mu\text{m}$ de espessura) utilizando uma microsonda eletrônica Jeol-8600S, com sistema de automação EDS e WDS Noram/Voyager, instalada no Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Análises de elementos menores e traços para os mesmos minerais foram obtidas utilizando sistema de laser Nd:YAG 213 nm fabricado pela VG/Merchantek acoplado a um Plasma Quadrupolo VG EXCEL ICP-MS instalado no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Boston. Os resultados obtidos são apresentados no Anexo 2 (a-granada, b-monazita, c-biotita e d-feldspatos). Para maiores detalhes dos procedimentos analíticos, ver Capítulo 2.

Granada

Os grãos de granada analisados de todas as porções (mesossomas, melanossomas e leucossomas) são ricos no componente almandina (60 - 70%), com piropo entre 15 e 30%, grossulária entre 3,5 e 5% e essartita entre 2 e 7%, componentes relativamente menores (Figura 11; Anexo 2a). A análise de granada dos leucossomas graníticos ficou restrita ao Lc1, uma vez que o Lc5 não contém granada. A granada do leucossoma granítico Lc1 é algo mais rica no componente essartita e relativamente mais pobre no componente piropo frente ao componente almandina que a granada dos leucossomas tonalíticos e mesossomas (Figura 11). No entanto, o intervalo de variação para os componentes maiores é amplo, em geral, sem distinção muito clara entre as granadas das diferentes porções. As granadas analisadas contêm entre 95 e 870 ppm de Y, sendo que os menores teores foram observados na granada do leucossoma granítico e os maiores na granada do leucossoma tonalítico, porém o intervalo de variação de Y é amplo para as granadas de todas as porções. Além do Y, a granada apresentou teores de outros metais de transição bastante elevados (*e.g.*, Sc, V, Cr, Co e Zn; Figura 12).

O padrão de ETR observado nas granadas é pobre em ETRL, com forte anomalia negativa de Eu; as principais variações se concentram nos ETRP (Figura 13). Os padrões de ETR apresentados pela granada dos mesossomas são parecidos com os dos leucossomas tonalíticos, com predomínio dos padrões mais ricos em ETRP em relação à granada do leucossoma granítico. O fracionamento entre os ETR intermediários (Gd-Dy) e pesados (Ho-Lu) observado na granada do leucossoma granítico é bastante acentuado devido ao abrupto empobrecimento em ETRP (Er-Lu) para as bordas do grão analisado ($\text{Gd}_N/\text{Yb}_N = 0,05\text{-}4,7$; Figura 14). A anomalia negativa de Eu (Eu/Eu^*) observada na granada do leucossoma granítico, variando entre 0,08 e 0,17, é um pouco mais pronunciada que a observada na granada dos mesossomas e leucossomas tonalíticos ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,05\text{-}0,15$; Figura 14). A granada do leucossoma granítico mostra núcleo bastante rico em

ETRP, com um padrão que parece não estar correlacionado com o do restante do grão e lembra o dos mesossomas. O zoneamento apresentado pela granada do leucossoma granítico e do melanossoma que o circunda é bastante complexo e sugestivo de pelo menos 3 diferentes estágios de crescimento ou crescimento em desequilíbrio, uma vez que as abundâncias de ETRP entre a borda e o núcleo dos grãos varia bem mais que uma ordem de magnitude (Figura 13).

A forte natureza refratária da granada e os baixos coeficientes de difusão de cátions em sua estrutura dificultam seu equilíbrio com a matriz da rocha e/ou fundidos anatéticos (*e.g.*, Otamendi *et al.*, 2002), via de regra evidenciados por zoneamentos químicos. Destarte, foram feitos perfis de elementos maiores, menores e terras raras para granada do mesossoma, leucossoma tonalítico e leucossoma granítico (Figuras 15, 16 e 17). Foram escolhidos grandes cristais de granada (> 1mm) para analisar os padrões de zoneamento; no entanto, cabe ressaltar que os perfis não são detalhados, pois apresentam descontinuidades e baixa densidade de pontos analisados.

Os perfis composicionais da granada do mesossoma (Ms7 - seção delgada 6 - Grt1) revelaram tendência contínua de empobrecimento de MgO e CaO enquanto FeO e MnO aumentam em direção à borda do grão (Figura 15). Em comum aos elementos maiores, a granada apresentou zoneamento de elementos menores, como os metais de transição V, Sc, Cr, Co, Zn, que assim como CaO e MgO diminuem em direção à borda do grão (Figura 16). O padrão de zoneamento algo similar do MgO, CaO e metais de transição indicou que estes elementos podem ter sido controlados por fatores similares durante o crescimento da granada (*e.g.*, as mesmas fases reagentes fornecendo os elementos de interesse). Com relação ao Y e ETRP, ocorreu empobrecimento em direção à borda do grão, com variação mais acentuada para Y, Dy, Er e Yb, que apresentaram o mesmo padrão de distribuição espacial (Figura 17).

A granada do leucossoma tonalítico (Lc3 - seção delgada 4 - Grt1) mostrou perfil de zoneamento um pouco mais complexo que a granada do mesossoma. A tendência apresentada pela borda do grão (ponto 1; ver foto do grão na Figura 15) com relação ao ponto intermediário mais próximo (ponto 2) é a mesma apresentada pela granada do mesossoma, ou seja, diminuição de MgO, CaO, metais de transição e ETRP enquanto FeO e MnO aumentam (Figura 15). Entretanto, a tendência de aumento ou diminuição não é contínua; uma vez que a partir do ponto 2 (posição intermediária) em direção aos pontos mais centrais (pontos 3 e 4 - núcleo?) a tendência ou se modificou (*e.g.*, FeO aumenta e ETRP diminuem em direção ao núcleo; Figuras 15 e 17) ou não mostrou variação (*e.g.*, MgO, Zn e Y; Figuras 15, 16 e 17). Muito embora a baixa densidade de pontos analisados desestime maiores considerações, é razoável suspeitar que a borda (ponto 1) represente um estágio de crescimento diferente do restante do grão, uma vez que as variações mais acentuadas foram observadas entre a borda (ponto 1) e o restante do grão.

O único perfil com uma densidade de pontos um pouco mais expressiva, de borda a borda, foi realizado na granada do leucossoma granítico (Lc1 - seção 1 - Grt2). Ao perfil razoavelmente

linear dos pontos 1 ao 6, foi acrescentado o ponto 8, na tentativa de incluir um ponto mais interno, alinhado ao ponto 4 (núcleo; ver foto da Grt2-Lc1 na Figura 15). Assim como observado na granada do leucossoma tonalítico, a borda mais extrema (ponto 1; ver fotos da Figura 15) da granada do leucossoma granítico mostrou uma variação diferenciada em relação ao restante do grão, por exemplo, aumento do FeO e Mn e diminuição do CaO e MgO em relação ao ponto intermediário mais próximo (ponto 2; ver fotos da Figura 15). Analisando as variações do núcleo (pontos 4 e/ou 8) em direção às “bordas”, aqui considerados os pontos 2 e 6 (ver foto da Figura 15), foi possível observar perfil de zoneamento com razoável simetria para maioria dos elementos (Figuras 15, 16 e 17). A tendência é de diminuição do CaO, Mn, ETRP e Y em direção à borda do grão, enquanto MgO e FeO aumentam. A diminuição do Y é progressiva e linear em direção à borda (Figura 17). Em relação aos outros metais de transição, ocorre um aumento do V, pouco ou nenhuma variação do Co ou Zn, enquanto Cr e Sc oscilam. Com relação aos ETRP, cabe ressaltar que o aumento do Er e Yb é bastante acentuado para o ponto 8, tornando evidente uma tendência até então tênue de diminuição dos ETRP para a borda do grão (Figura 17). Por outro lado, o Dy mostra a mesma simetria do padrão zoneamento do CaO, com inflexão côncava, razoavelmente diferente dos outros ETRP, sugestivo de que fatores diferentes possam estar controlando os ETRP intermediários e pesados durante o crescimento do grão (Figuras 15 e 17).

Os dados apresentados mostraram que os ETR pesados e intermediários sofreram fracionamento durante o crescimento da granada do Ms7, Lc3 e Lc1 (Figura 17). A inversão das razões Yb/Er e Yb/Dy entre o núcleo e a borda observada na granada do Ms7, Lc3 e Lc1 (Figura 17) é assinatura comum na granada das diferentes porções do migmatito estudado. Os elementos Y, Yb, Er e Dy são todos fortemente compatíveis em granada, porém seus coeficientes de partição ($D_{\text{grt/matriz}}$) são diferentes: ($D_{\text{Yb}} > D_{\text{Er}} > D_{\text{Y}} > D_{\text{Dy}}$), o que poderia explicar a inversão nas razões Yb/Er e Yb/Dy da borda para o centro dos grãos (Otamendi *et al.*, 2002).

Figura 11 - Diagramas de variação composicional de granadas das diferentes porções do migmatito estudado.

Figura 12 - Diagrama de variação multi-elementos (ppm) de granada de leucossomas, melanossomas e mesossomas.

Figura 13 - Padrão de ETR normalizado para o Condrito (Boyton, 1984) de granada das diferentes porções do migmatito estudado (mesossomas, melanossomas e leucossomas).

Figura 14 - Diagrama de variação da anomalia de Eu ($Eu/Eu^* = Eu_N / \sqrt{(Sm_N \times Gd_N)}$) e fracionamento dos ETR pesados (Gd_N/Yb_N) de granada das diferentes porções do migmatito estudado (mesossomas, melanossomas e leucossomas).

Figura 15 - Perfis de zoneamento dos elementos maiores (% em peso) de granada do mesossoma, leucossoma tonalítico e leucossoma granítico. A assimetria nos perfis é devida às diferentes escalas, descontinuidades nos perfis e baixa densidade de pontos.

Figura 16 - Perfis de zoneamento dos elementos menores (metais de transição; ppm) de granada do mesossoma, leucossoma tonalítico e leucossoma granítico. A assimetria nos perfis é devida às diferentes escalas, descontinuidades nos perfis e baixa densidade de pontos.

Figura 17 - Perfis de zoneamento de Y (ppm), ETR intermediários e pesados (ppm) e razões Yb/Dy e Yb/Er de granada do mesossoma, leucossoma tonalítico e leucossoma granítico. A assimetria nos perfis é devida às diferentes escalas, descontinuidades nos perfis e baixa densidade de pontos.

Monazita

O intervalo de variação observado para as concentrações de ETRL na monazita é praticamente restrito a La, Ce e Nd, que representam aproximadamente 75% da proporção de cátions (excluindo P), com concentração em média de 0,17, 0,40 e 0,15 cátions/4 oxigênios, respectivamente (Fig. 18a; Anexo 2b). Os cátions adicionais presentes são Th, U, ETRP e Y (Fig. 18b; Anexo 2b). A concentração de Y é menor que 0,07 cations/ 4 oxigênios (Anexo 2b). A variação composicional apresentada pela monazita é expressivamente acomodada pelo vetor de troca brabantita $[(Ca((Th,U,Pb)PO_4)_2]$, conforme mostra a excelente correlação entre Th+U e Ca (Fig. 19). Ao mesmo tempo, alguma quantidade de Th+U trocado pode ter sido compensada pelo Si (substituição huttonita $[(Th,U,Pb)SiO_4]$; Fig. 19). Os padrões completos de ETR foram obtidos por microsonda eletrônica e Laser Ablation-ICPMS e mostram inclinação negativa e forte anomalia de Eu (Fig. 20). A análise de monazita dos leucossomas graníticos ficou restrita ao Lc5, uma vez que o Lc1 não contém monazita. Os padrões de ETRL são bastante similares entre as

diferentes áreas de um grão isolado e entre os grãos das diferentes porções, com fracionamento de ETRL $[(La/Sm)_N]$ variando entre 3 e 4 (Fig. 20). A anomalia de Eu é algo mais acentuada na monazita dos leucossomas 0,04-0,12, enquanto no mesossoma varia entre 0,03 e 0,05; entretanto, a amostragem neste último é menor, o que pode responder pela diferença. O padrão de ETRP também é similar, porém a monazita do mesossoma mostra, em média, tendência de ser menos fracionada que a monazita dos leucossomas, com $(La/Dy)_N$ variando entre ~ 10 e 100 (Fig. 21; Anexo 2b). A monazita do leucossoma tonalítico Lc3 apresenta padrão de ETRP mais pobre em ETRP e Y que a monazita do Lc4 (Figs. 20 e 21). A monazita do leucossoma granítico Lc5As variações químicas observadas na monazita parecem refletir mais diretamente a posição textural dos grãos (*e.g.*, como inclusão em quartzo, feldspatos, biotita e granada ou posição intersticial) do que a porção do migmatito na qual ela se encontra (Fig. 22). Os grãos encontrados com inclusão em biotita e/ou granada apresentam menor fracionamento ETRL/ETRP e maiores teores de Y (Fig. 22). Por outro lado, os grãos posicionados intersticialmente mostram maior fracionamento ETRL/ETRP e menores teores de Y (Fig. 22). Zoneamentos de grãos individuais não foram determinados devido ao pequeno tamanho dos grãos (em média entre 50 -100 μm) e ausência de imagens/mapas composicionais.

A monazita dos leucossomas mostra anomalias positivas (*kinks*) em Er e Yb, que pode ser reflexo de co-precipitação com granada, uma vez que o crescimento da granada tem profunda influência sobre os conteúdos de Y e ETRP em monazita (Pyle *et al.*, 2001) e uma rápida extração de fundido poderia resultar em desequilíbrio entre cristal e fundido.

Figura 18 - Diagramas ternários de monazita de leucossomas e mesossomas. **(a)** composição de monazita (note o restrito intervalo de composição). **(b)** variação de Th+U - ETRL - ETRP+Y em monazita (note a sobreposição das composições).

Figura 19 - Combinação das trocas brabantita $(\text{Th,U})\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ e huttonita $(\text{Th,U})\text{SiO}_4$. Note a boa correlação positiva Th+U vs. Ca sugerindo que a troca brabantita é a dominante nos grãos de monazita analisados.

Figura 20 - Padrão de ETR normalizado para o condrito (valores de Boyton, 1984) de monazita das diferentes porções do migmatito estudado (mesossomas, melanossomas e leucossomas). A análise completa dos ETRs foi obtido por meio de duas metodologias: microsonda eletrônica (ETRL e Gd e Dy) e Laser Ablation- ICPMS (Eu, Tb e Ho-Lu). A área em cinza claro representada nos diagramas de monazita dos leucossomas corresponde ao padrão de ETR apresentado pela monazita do mesossoma.

Figura 21 - Medidas do fracionamento dos ETRL/ETRP $((La/Dy)_N)$ e variação dos teores de Y de monazita das diferentes porções do migmatito estudado. Note que apenas grãos do mesossoma posicionados intersticialmente apresentam baixo fracionamento ETRL/ETRP e baixos teores de Y (observe a seta indicando os pontos).

Figura 22 - Medidas do fracionamento dos ETRL/ETRP $((La/Dy)_N)$ e variação dos teores de Y de monazita das diferentes porções do migmatito estudado agrupadas conforme a posição textural do grão (ver fotos das monazitas analisadas). Os furos arredondados são os locais amostrados para análise por LA-ICPMS (diâmetro ~ 15 - 20µm).

Biotita

No diagrama de classificação (Al tetraédrico *versus* Fe/(Fe+Mg)) a biotita de todas as porções situa-se em uma posição intermediária entre os membros finais annita e flogopita (Fig. 23). Os cristais de biotita analisados não apresentaram variações significativas para os elementos maiores, com exceção do TiO₂, que mostrou variação de 2,8 a 4,1% para os mesossomas, 3,6 a 4,2% para os melanossomas e de 3,9 a 4,5% para o leucossoma Lc5 (Anexo 2c). A biotita das diferentes porções é no geral rica em Ba (858-1944 ppm), Rb (850-1380 ppm) e Zn (450-784 ppm). A biotita do leucossoma granítico apresentou os maiores teores de Rb e Ba, com zoneamento no sentido de aumento destes elementos do núcleo para a borda do grão, sendo que o núcleo do grão tende a apresentar teores e comportamento similar ao apresentado pela biotita do mesossoma (Anexo 2c; Fig. 24). O teor de Zn apresentado pela biotita do leucossoma Lc5 é pelo menos 200 ppm menor que o apresentado pela biotita do mesossoma (Anexo 2c). A biotita do mesossoma Ms6 é em geral mais pobre em elementos traços que a biotita do mesossoma Ms7. A biotita do melanossoma é em geral parecida com a do mesossoma; entretanto, a biotita do M11 mostrou teores de Ba superiores em até 230 ppm (Anexo 2c). A biotita das diversas porções também apresentou teores intermediários de V e Cr (160-498 ppm), assim como baixas concentrações de Li, Co, Ni, Nb (< 130 ppm) e muito baixas de Cs, Sr, Pb, Sc, Cu, Ta (< 20 ppm), muito embora os teores de Nb e Ta sejam mais expressivos na biotita do Lc5. As concentrações de ETR, Y, Th, U foram menores (< 0,01 ppm) ou muito próximas dos limites de detecção (< 0,1 ppm). A biotita das diferentes porções do migmatito mostra sinais claros de reequilíbrio, por exemplo, composição química pouco variável (Fig. 24). Porém a biotita do leucossoma granítico Lc5 mostra borda mais rica em Ba e Rb, sugerindo que processos de reequilíbrio não foram capazes de apagar por completo sua história de cristalização.

Figura 23 - Diagrama classificatório de biotita de leucossomas e mesossomas. Note a pequena dispersão das análises, evidenciando pouca ou nenhuma variação composicional entre os grãos de biotita das diferentes porções, em relação aos membros finais da série biotita-flogopita.

Figura 24 - Diagrama de variação multi-elementos (ppm) de biotita de leucossomas, melanossomas e mesossomas. Note as semelhanças no comportamento dos elementos traços para biotita das diferentes porções do migmatito estudado.

Plagioclásio

Os grãos de plagioclásio analisados não apresentaram variações de elementos maiores muito significativas, com teores de An variando entre 29 e 33 (Figs. 25; Anexo 2d). Os grãos de plagioclásio analisados são em geral ricos em Sr e Ba (Fig. 26; Anexo 2d) e têm concentrações moderadas de ETR (Fig. 27; Anexo 2d).

O plagioclásio dos mesossomas apresentou teores de Ba em torno de 100 ppm, e teores de Sr, um pouco mais variáveis, em torno de 112–209 ppm.

O plagioclásio do Lc1 mostrou os maiores teores de Ba (119 - 166 ppm), que, contrariamente ao observado nas demais amostras, suplanta o do Sr (58 - 145 ppm). Enquanto isto, o plagioclásio do Lc5 apresentou os maiores teores de Sr, com enriquecimento do núcleo para a borda do grão (211 - 415 ppm), e teores de Ba variando entre 65 e 100 ppm (Fig. 26).

O único ponto analisado para o plagioclásio do Lc3 apresentou teores de Ba e Sr parecidos com os apresentados pelo plagioclásio do Lc5 (Fig. 26).

Os padrões de ETR normalizados para o condrito do plagioclásio dos leucossomas mostram fracionamento ETRL/ETRP de intenso [Lc3; $(La/Lu)_N \sim 190$], a moderado [Lc5; $(La/Lu)_N = 24 - 105$] e fraco [Lc1; $(La/Lu)_N = 4 - 30$] (Fig. 27). Os mesossomas mostram fracionamento ETRL/ETRP dentro do mesmo intervalo apresentado pelo Lc5 [$(La/Lu)_N = 42 - 116$] (Fig. 28). As anomalias de Eu são positivas e bastante variáveis ($Eu/Eu^* = 3,4 - 12,9$ nos leucossomas e de 3,4 - 4,5 nos mesossomas). A correlação positiva entre Sr, ETRL, Pb e Eu é bastante marcada para todo o conjunto (Figura 28). As concentrações da maioria dos elementos traços são bastante baixas, muito próximas dos limites de detecção (< 0.1 ppm).

Figura 25 - Variação dos teores de An e Ab de plagioclásio das diferentes porções do migmatito estudado (mesossomas, leucossomas e melanossomas).

Figura 26 - Variação dos teores de Rb, Sr e Ba (ppm) de plagioclásio das diferentes porções do migmatito estudado.

Figura 27 - Distribuição de ETR normalizados pelo condrito (valores de Boynton, 1984) de plagioclásio das diferentes porções do migmatito estudado.

Figura 28 - Variação dos teores de Sr, ETRL, Pb e Eu de plagioclásio das diferentes porções do migmatito estudado. Note a boa correlação positiva do Sr com ETRL, Pb e Eu, com alguma exceção para o plagioclásio do Lc5.

Feldspato potássico

Foram realizadas apenas análises de feldspato potássico dos leucossomas. O feldspato potássico do leucossoma granítico Lc1 mostrou zoneamento bastante acentuado, com K_2O/Na_2O variando de 4 para 14 do núcleo para a borda, respectivamente (Figura 29). Os teores de Ab e Or observados na borda do feldspato potássico do Lc1 foram de 90 e 10, respectivamente, enquanto o núcleo mostrou valores parecidos aos apresentados pelo feldspato do leucossoma tonalítico ($\sim Or = 75$ e $Ab = 25$) (Anexo 2d). O feldspato de ambas as porções é rico em Ba, com variação entre núcleo e borda de 2200 - 3000 ppm e 1500 - 3800 ppm, para feldspato dos leucossomas tonalíticos e graníticos, respectivamente (Figura 29).

Figura 29 - Variação da razão K_2O/Na_2O e Ba de feldspato potássico de leucossoma granítico e tonalítico das diferentes porções do migmatito estudado.

5.8. Discussão

Migmatitos frequentemente registram múltiplas gerações de leucossoma pré-, sin- e pós-deformação, que resultam em significativas mudanças mineralógicas do protolito devido às condições de P, T e, conseqüentemente, grau de fusão. Algumas das maiores dificuldades no estudo de migmatitos residem em estabelecer a relação entre a fonte e o fundido e definir se o sistema estava fechado ou aberto, por exemplo, para entrada ou saída de fluidos ou fundido do protolito. Outras questões são relativas à origem do fundido, se gerado *in situ* ou de origem externa.

Variações químicas da granada e monazita

Granada metamórfica e granada peritética produzida em associação com a quebra de mineral hidratado apresentam ampla variação composicional e zoneamento significativo de elementos traços, mostrando núcleos freqüentemente mais ricos em ETRP e Y que as bordas (*e.g.*, Hickmott & Shimizu, 1990; Hickmott *et al.*, 1987; Chernoff & Carlson, 1999; Otamendi *et al.*, 2002). Os principais fatores atribuídos ao zoneamento de elementos traços em granada são: sistema aberto para fluidos enriquecidos em elementos traços (Hickmott *et al.*, 1987), lenta taxa de difusão de ETR e Y a temperaturas crustais (Harris & Inger, 1992), não disponibilidade dos elementos traços durante rápido crescimento da granada (Hickmott & Shimizu, 1990), mudanças na paragênese mineral dentro do campo de estabilidade da granada (Hickmott *et al.*, 1987; Spear & Kohn, 1996), história de fusão progressiva caracterizada pela dissolução dentro do magma de fases ricas em ETR (Harris *et al.*, 1995; Bea, 1996; Bea & Monteiro, 1999), fatores cinéticos, como a competição provocada pelo crescimento de fases acessórias ricas em elementos traços (Chernoff & Carlson, 1999) ou simplesmente o fracionamento Rayleigh durante o crescimento da granada (Otamendi *et al.*, 2002). A dissolução de fases acessórias ricas em ETR e Y (*e.g.*, xenotima, monazita, apatita e zircão) parece representar um importante papel no comportamento desses elementos durante a anatexia crustal; por sua vez, esses elementos têm seu comportamento controlado pelas fases minerais hospedeiras, que podem ou não participar das reações de fusão (Bea, 1996).

Mudanças nas paragêneses reagentes e no produto das reações podem ocorrer em diferentes momentos durante a história de cristalização de cristais de diferentes tamanhos, que não necessariamente resultam de eventos que afetam a rocha por inteiro, como mudanças na P, T e atividade de fluidos. Do mesmo modo, correlacionar estágios de crescimento entre diferentes grãos de diferentes porções não é tarefa fácil, uma vez que determinada fração de um grão (*e.g.*, borda e ou núcleo) pode não corresponder necessariamente ao mesmo estágio de crescimento de um grão de tamanho diferente ou posicionado em uma porção diferente da rocha. Por exemplo, fatores cinéticos (*e.g.*, diferentes coeficientes de difusão e/ou partição) que impossibilitem o alcance do equilíbrio de Ca, Y, Yb, Sc e outros traços durante o crescimento da granada devem ser considerados para explicar as variações químicas freqüentemente observadas. Além do mais, mudanças nas concentrações destes elementos podem estar registrando apenas estágios de desequilíbrios passageiros que são de alcance local e não correlacionados no tempo (Chernoff & Carlson, 1999).

As modificações observadas na concentração de CaO acompanhadas por mudanças na concentração de elementos traços nas granadas aqui analisadas podem ser resultado da participação transitória de diferentes fases enriquecidas em elementos traços nas reações de formação da granada. Do mesmo modo, os núcleos mais ricos em ETRP das granadas dos

leucossomas podem representar núcleos metamórficos herdados e apenas as porções extremas de borda, com mais baixos teores de ETRP e Y estariam relacionadas com crescimento magmático a partir do fundido anatótico. O empobrecimento em ETRP e Y na granada magmática pode ser explicado pela não participação da granada do protolito nas reações de fusão que deram origem ao fundido anatótico, uma vez que a granada representa o principal portador desses elementos no protolito original. A forte assinatura de empobrecimento de Yb em relação a Y e Dy mostrada pela granada dos leucossomas é típica em granada formada em magmas produzidos pela fusão de metassedimentos (Otamendi *et al.*, 2002). A cristalização precoce (núcleo) da granada causaria o empobrecimento em Yb relativo a Er e Dy na matriz da rocha, portanto o equilíbrio da cristalização final (borda) dos grãos de granada ocorreria em uma matriz de composição diferente daquela na qual o núcleo se formou, mostrando que o equilíbrio não foi mantido entre o cristal e o fundido/matriz durante o crescimento do grão (Otamendi *et al.*, 2002).

As variações químicas observadas na monazita, que refletem em parte a posição textural dos grãos, mostram que os cristais de monazita mais tardios na história de cristalização, ou seja, aquele posicionado intersticialmente, são mais pobres em Y e ETRP, a exemplo das bordas dos grãos de granada tidas como produto da cristalização dos líquidos que deram origem aos leucossomas. Por outro lado, grãos de monazita provenientes dos leucossomas e que se encontram inclusos em granada e biotita são relativamente mais ricos em Y e ETRP, como a maioria dos grãos de monazita dos mesossomas, sugerindo que estes podem representar grãos herdados, que não estiveram disponíveis para as reações de fusão, muito provavelmente devido a sua posição textural. Tendo em vista as variações composicionais observadas é razoável afirmar que o equilíbrio químico não foi mantido entre alguns grãos de monazita (herdada?) e o fundido que deu origem aos leucossomas, uma vez que parte desses grãos se manteve inerte em suas fases hospedeiras, em especial biotita.

Variações químicas de rocha total

A composição química apresentada pelos mesossomas estudados não tem um caráter claramente restítico, sugestivo de que apenas uma pequena quantidade de fundido foi de fato gerada ou mesmo segregada.

Nos diagramas composicionais é possível observar que ocorre um alinhamento frequente entre as composições químicas dos mesossomas, migmatito total e leucossomas tonalíticos, enquanto as dos leucossomas graníticos encontram-se fora deste alinhamento. Porém, no diagrama da Fig. 6, onde são apresentadas as composições normativas Ab-Or-An, ocorre o alinhamento perfeito entre todos os dados, mostrando cada tipo de leucossoma nos extremos entre as porções de mesossoma e migmatito total; tal característica é sugestiva de processos de geração *in situ* com importante participação dos feldspatos na formação das diferentes porções do migmatito.

Em uma rocha metapelítica o Sr se concentra majoritariamente no plagioclásio, enquanto o Rb tem preferência pelas micas; assim, a fusão por quebra de muscovita na ausência de uma fase fluida livre, conforme a equação (2) do item 5.4, produz um fundido com mais alta razão Rb/Sr que a de seu protolito (Harris & Inger, 1992, Harris *et al.*, 1995). Deste modo, as razões de Rb/Sr obtidas para o leucossomas, em geral menores que as dos mesossomas, são incompatíveis com fusão nestas condições. Como os teores de Sr observados nos leucossomas graníticos são mais altos que os dos mesossomas, enquanto os teores de Rb são mais baixos, é necessária uma maior participação de plagioclásio em relação a muscovita nas reações de fusão, o que é sugestivo de fusão em presença de água (*cf.* equação 1b; item 5.4). O mesmo deve ter ocorrido com os leucossomas tonalíticos, que apresentam teores de Sr relativamente similares ao dos mesossomas e Rb consideravelmente menores. Além disso, a fusão em presença de H₂O ajudaria a explicar a própria composição tonalítica deste leucossoma, uma vez que o aumento da atividade de água baixa o *solidus* plagioclásio + quartzo muito mais intensamente do que diminui a estabilidade das micas (Patiño Douce, 1996; Patiño Douce & Harris, 1998). Deste modo, o leucossoma tonalítico deve ter sido gerado em presença de água com a participação predominante de plagioclásio e quartzo nos reagentes.

A dissolução de fases acessórias ricas em ETR e Y (*e.g.*, xenotima, monazita, apatita e zircão) tem um importante papel no comportamento desses elementos durante a anatexia crustal (Bea, 1996). Monazita e granada são os principais portadores, respectivamente, de ETRL e ETRP(+Y) no migmatito analisado, como fica evidente pela menor abundância ou ausência de outras fases acessórias ricas nestes componentes. As temperaturas de migmatização alcançadas na área de estudo, da ordem de 720-750 °C (*cf.*, item 5.4), teriam sido suficientes para a completa dissolução da monazita no fundido. Muito embora ocorra como mineral acessório, monazita possui teores de ETR muito superiores a qualquer outro mineral presente no migmatito (*cf.*, item 5.7); deste modo sua participação ou não nas reações de fusão foi fundamental para a definição dos padrões de ETR dos fundidos. A granada é fase residual no mesossoma, pois não participa das reações de fusão; assim, o comportamento dos ETRP(Y) no fundido gerado deve ser controlado por acessórios ricos nestes componentes, como, por exemplo, monazita e em menor quantidade zircão e xenotima.

Os padrões de ETR dos leucossomas tonalíticos, moderadamente fracionados e com anomalias negativas de Eu, muito similares aos dos mesossomas e migmatito total, parece responder pela presença expressiva da monazita nas reações de fusão (Ayres & Harris, 1997). A monazita imprime especialmente sua assinatura de anomalia negativa de Eu aos leucossomas tonalíticos, a despeito da presença modalmente superior do plagioclásio, que possui pronunciada anomalia positiva de Eu (*c.f.*, item 5.7).

Os leucossomas graníticos são mais pobres em ETR, em especial o Lc1, e possuem anomalia positiva de Eu, características indicativas de que a monazita pode não ter sido completamente dissolvida nos fundidos que deram origem aos leucossomas graníticos. Neste momento é importante lembrar que no leucossoma granítico Lc1 a monazita está ausente, assim como a granada no Lc5. Especificamente do caso do leucossoma granítico Lc1, o padrão de ETR parece refletir o padrão dos feldspatos, principalmente com relação à anomalia positiva de Eu bastante pronunciada. Desse modo, é razoável supor que a monazita provavelmente não estava disponível para a formação do Lc1, uma vez que as condições de atividade de água e temperatura de fusão eram adequadas. Uma observação petrográfica fundamental é que a monazita dos mesossomas ocorre freqüentemente como inclusão em outros minerais, em especial biotita (ver item 5.7). Visto que as temperaturas alcançadas para a anatexia na área não foram suficientes para a quebra da biotita em larga escala, os grãos de monazita inclusos neste mineral não devem ter entrado em contato com o fundido gerado. No caso do Lc5, algo mais rico em ETR e com anomalia positiva de Eu menos pronunciada que a do Lc1, a monazita pode ter sido parcialmente dissolvida.

Utilizando apenas os padrões de ETR e considerando que os mesossomas analisados representam o protolito dos diferentes tipos de leucossoma analisados, é admissível avaliar que no momento em que o leucossoma tonalítico foi formado, as condições para a dissolução da monazita eram bastante adequadas, condições estas que diminuíram na formação do leucossoma granítico Lc5 e que eram bastante desfavoráveis durante a formação do Lc1. Um fator fundamental que condiciona a dissolução da monazita durante a fusão é a atividade de água; o aumento do conteúdo de água promove um aumento da dissolução da monazita no fundido (*e.g.*, Montel, 1993; Zeng *et al.*, 2005a). Muito embora parte dos grãos de monazita do leucossoma tonalítico possa ter caráter restítico, é muito provável que o conteúdo de ETR desses leucossomas, bastante similar ao do protolito, é resultado de fusão em presença de água. Como sugerido no item 5.3, o leucossoma tonalítico provavelmente precedeu os leucossomas graníticos, e como os grãos de monazita disponíveis no mesossoma, em especial os grãos posicionados intersticialmente ou inclusos em quartzo ou feldspatos, podem ter sido dissolvidos durante a geração do leucossoma tonalítico, é razoável supor que a disponibilidade de monazita para fusões posteriores foi mais reduzida, o que pode explicar a escassez de monazita no Lc1.

O sistema isotópico Rb-Sr e Sm-Nd

Zeng *et al.* (2005a) mostram por meio de modelamento petrogenético que a razão Sm/Nd e as composições isotópicas de Nd dos fundidos dependem da quantidade de apatita e monazita dissolvida dentro do fundido, e que a relativa proporção de micas (muscovita e biotita) e de feldspatos (plagioclásio e feldspato potássico) que entra no fundido é o parâmetro chave para

determinar as razões de Rb/Sr e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do fundido. Ainda segundo esses autores, as principais variáveis que controlam a dissolução de fases acessórias (e conseqüentemente o sistema Sm-Nd) e as reações de fusão (e conseqüentemente o sistema Rb-Sr) são temperatura e o conteúdo de água.

Fusão na presença de uma fase fluida livre deve retardar a completa extração do fundido de sua fonte, e assim o fundido produzido pela reação hidratada deveria ter composição isotópica de Sr e Nd próxima do equilíbrio com sua fonte (Zeng *et al.*, 2005a). Em contraste, quando da fusão na ausência de uma fase fluida livre, alta tensão de dilatação gerada pela mudança de volume positiva associada à quebra de muscovita/biotita deve favorecer uma rápida segregação e extração de fundido, estimulando disequilíbrios isotópicos para os sistemas Rb-Sr e Sm-Nd (Zeng *et al.*, 2005a). Os disequilíbrios isotópicos freqüentemente observados sugerem que fusão e segregação devem ser processos relativamente “rápidos”, os quais por sua vez implicam que terrenos migmatíticos devem ser episódicos, com processo de fusão parcial controlado provavelmente pelo fornecimento de calor e ou água que induz a específicas reações de fusão (Ayres *et al.*, 1997). Durante a anatexia o equilíbrio isotópico dificilmente é mantido, mesmo em escala de amostra de mão, pois seriam necessárias várias dezenas de milhões de anos para alcançar o equilíbrio isotópico de Sr e Nd em feldspatos e fases acessórias, respectivamente (*cf.*, Davies & Tommasini, 2000). No caso em estudo, como o leucossoma tonalítico apresenta composição isotópica Sr-Nd idêntica à do mesossoma, a interpretação preferida é que se trata de produto de fusão “*in situ*” em presença de água, sem disequilíbrio isotópico.

Porque dois tipos de leucossomas?

As razões normativas de Qtz-Ab-Or dos leucossomas são apresentadas na Fig. 30. Apenas os leucossomas graníticos se posicionam próximos ou sobre a curva cotética que separa os campos primários do quartzo e do feldspato potássico. Os leucossomas graníticos se posicionam à direita do ponto eutético a 5 kbar para o sistema Qtz-Ab-Or saturado em água, muito provavelmente devido à insaturação em água e presença de CaO no sistema, confirmada pelo plagioclásio modal. Os leucossomas graníticos devem ser resultado de segregação de fundido e representam, muito provavelmente, parte da rede de conexão e/ou transporte de fundido, porém é difícil dizer quanto ou se uma porção de fundido foi extraído do migmatito em estudo. O alinhamento perfeito entre as diferentes litologias observado no diagrama normativo An-Ab-Or (Figura 6), com tendência de empobrecimento em feldspato potássico e enriquecimento em plagioclásio em direção ao leucossoma tonalítico, pode ser indicativo de que um mesmo processo anatético envolveu as diferentes litologias (porções), cada qual registrando um componente do processo. Entretanto, os leucossomas graníticos encontram-se freqüentemente fora do alinhamento mostrado pelos mesossomas, leucossomas tonalíticos e migmatito total na maioria dos diagramas composicionais, sugerindo que este pode ser um produto de fusão externo ao migmatito, que foi posteriormente

introduzido ao sistema, ou ainda representar produto de fusão em desequilíbrio. Por outro lado, ocorre uma tendência muito clara do migmatito total de se posicionar intermediariamente entre os leucossomas tonalíticos e os mesossomas nos diagramas composicionais, sugerindo que a mistura destas duas porções poderia resultar no migmatito total. Assumindo que os leucossomas graníticos e tonalíticos foram derivados de uma fonte similar, outros processos devem ser levados em conta para explicar as diferenças observadas.

Embora mais considerações sobre a origem dos dois tipos leucossomas sejam discutidas a seguir, é importante lembrar que diferenças composicionais entre as camadas no protolito poderiam resultar na produção ou segregação desiguais de fundido (leucossomas). O regime cinemático em vigor também poderia levar à produção e difusão diferenciada de fundido sin-cinemático nas diferentes camadas (*e.g.*, Solar & Brown, 2001). E uma vez que o leucossoma tonalítico mostra sinais de deformação, pois compõe uma dobra, e os leucossomas graníticos não mostram sinais dessa deformação, é razoável supor que o leucossoma tonalítico precedeu o leucossoma granítico, tendo permanecido portando sujeito a regime cinemático diferenciado, que por sua vez poderia responder por algumas das diferenças observadas entre os leucossomas analisados.

Figura 30 - Diagrama triangular mostrando composição dos leucossomas no sistema Qtz-Ab-Or. As linhas internas são referentes às curvas cotéticas para 5 kbar, composição de mínimo/eutético do sistema Qtz-Ab-Or-H₂O para determinadas atividades de água (triângulos e números correspondentes). Fonte de dados: Becker *et al.*, 1998.

As características do leucossoma tonalítico são compatíveis com origem por anatexia?

Os leucossomas tonalíticos não parecem representar composição de fundido formado pela fusão em equilíbrio por quebra de mineral hidratado a partir de uma metagrauvaca ou mesmo um metapelito, uma vez que o fundido formado nestas condições é em geral leucogranítico e com teores de $\text{SiO}_2 < 73\%$ (e.g., Patiño Douce, 1996; Otamendi & Patiño Douce, 2001). Os leucossomas tonalíticos estão muito longe de apresentarem composição de mínimo granítico devido ao excesso de quartzo e plagioclásio. Por outro lado, apresentam textura granular hipidiomórfica mostrando, comumente, grãos de plagioclásio e granada idiomórficos a subidiomórficos e quartzo e feldspato alcalino, em geral, xenomórficos e intersticiais, o que sugere crescimento a partir de um magma e descartaria sua origem por diferenciação metamórfica.

Assim, se anatético, qual seria a condição mais provável para sua formação? O leucossoma tonalítico poderia ter um caráter cumulático, uma vez que migmatitos são freqüentemente interpretados como representantes de segregação *in situ*, onde os leucossomas representam o registro de uma rede de permeabilidade, pela qual fundidos ricos em potássio foram extraídos (e.g., Sawyer, 1998; Brown *et al.*, 1999; Solar & Brown, 2001). Alternativamente, trabalhos experimentais de fusão incongruente de muscovita e quartzo têm mostrado que a rápida produção de fundido devido à infiltração de fase fluida em rochas que estão acima do *solidus* em presença de água, resultará em desequilíbrios de fases e formação de fundido fortemente enriquecido em Si e Na devido à dissolução de quartzo e do componente paragonita de muscovita (Brearley & Rubie, 1990). Por outro lado, o leucossoma tonalítico parece representar o produto de reação em presença de água livre com larga predominância de plagioclásio no reagente (*cf.* Patiño Douce & Harris, 1998), já que sua composição química é compatível com fusão do mesossoma em presença de água (mais baixa razão Rb/Sr, altos teores de ETR e isotopia Sr-Nd idênticos ao do mesossoma).

Os leucossomas granítico têm a composição esperada de um produto de fusão parcial do mesossoma?

Os leucossomas graníticos Lc1 e Lc5 mostram textura tipicamente magmática, descartando sua formação por diferenciação metamórfica. Entretanto, os leucossomas graníticos não mostram composição de mínimo granítico, pois são mais potássicos. A presença da granada modal no Lc1 pode ser uma indicação de fusão por quebra de biotita (reação 3; item 5.4); entretanto os argumentos apresentados no item de variação química da granada sugerem que somente a borda mais externa deve ser produto anatético. Além disso, os leucossomas apresentam teores de Nb e Ta menores que os apresentados pelos mesossomas e como esses elementos se concentram principalmente em biotita, um fundido gerado por quebra de biotita deveria ser mais enriquecido em Nb e Ta que seu protolito original (*cf.* Harris *et al.*, 1995). Os leucossomas

graníticos mostram razão Rb/Sr menor que a apresentada pelo mesossoma, sugerindo fusão em presença de água (Patiño Douce & Harris, 1998), com uma maior participação proporcional de feldspatos que micas nas reações de fusão (reações de fusão 1a ou 4; item 5.4). Por outro lado, os teores de Ba dos leucossomas graníticos são muito superiores ao do mesossoma, indicando a participação na reação de uma fase rica neste componente e pobre em Rb, pois os teores de Rb destes leucossomas são muito baixos. Deste modo, o feldspato potássico pode ter participado da reação de fusão, fornecendo o potássio necessário, e não a muscovita. A presença no mesossoma do feldspato potássico, como fase rica em potássio, deve ter tido sua origem associada a uma fusão anterior, provavelmente, por quebra de muscovita em um sistema com alta razão H_2O/K_2O (*e.g.*, Carrington & Watt, 1995), que resulta na origem ao feldspato potássico peritético, consumido posteriormente na formação em presença de água dos leucossomas graníticos aqui estudados.

5.9. Conclusões

As semelhanças isotópicas Sr-Nd entre o leucossoma tonalítico e o mesossoma são características fortes que indicam sua associação genética. Por outro lado, o leucossoma granítico mostra $^{87}Sr/^{86}Sr(t)$ diferente do mesossoma, enquanto o $\epsilon Nd(t)$ é o mesmo. No capítulo 6 são apresentadas razões isotópicas para um conjunto grande de rochas que ocorrem intimamente associadas ao migmatito estudado, e muito embora a variação destas razões seja muito grande, nenhuma amostra apresenta o mesmo ϵNd obtido para as diferentes porções do migmatito estudado. A similaridade do ϵNd , embora não seja conclusiva, é uma característica aqui utilizada para pensar na associação genética entre as diferentes porções do migmatito. Múltiplos estágios de fusão são freqüentemente observados em terrenos migmatíticos (Fornelli *et al.*, 2002), deste modo, pelo menos três episódios de fusão sob condições variáveis da atividade de água são admitidos aqui como prováveis para a geração dos leucossomas analisados.

Deste modo, assumindo que o leucossoma tonalítico precedeu os leucossomas graníticos, e que ambos são produtos da fusão de uma litologia com composição química similar à do mesossoma, é necessário posicionar um evento de formação de feldspato potássico entre os eventos de formação dos leucossomas tonalítico e granítico. No momento da formação do leucossoma tonalítico, o mesossoma não apresentava feldspato potássico em sua composição, pois se estivesse presente, reagiria com o plagioclásio, quartzo e água para gerar um fundido de composição granítica. De tal modo, o fundido de composição tonalítica deve ter como protolito uma litologia onde o feldspato potássico estava ausente (Patiño Douce & Harris, 1998). A muscovita provavelmente era a fase rica em potássio do protolito original, e durante a formação do leucossoma tonalítico permaneceu em grande parte no restito. Porém, em algum momento entre a formação do leucossoma tonalítico e dos leucossomas graníticos, ocorreu a quebra

completa da muscovita, formando feldspato potássico peritético (*cf.* equação 1a; item 5.3). Os leucossomas de composição granítica parecem ter sido gerados por meio de uma reação em presença de água onde o feldspato potássico estava presente, como indicado pelos altos teores de Ba, excesso de feldspato potássico e razão Rb/Sr mais alta que a do mesossoma, características inconsistentes com sua formação por fusão em equilíbrio por quebra da muscovita (*cf.* Patiño Douce & Harris, 1998). Deste modo, um evento de fusão por quebra de muscovita com formação de um fundido de composição granítica e feldspato potássico peritético deve ter ocorrido; porém, nenhum dos leucossomas amostrados parece representar esse fundido granítico, que muito provavelmente não foi amostrado ou foi segregado e extraído para fora do sistema. Deste modo, o fundido que deu origem aos leucossomas graníticos foi formado essencialmente pela reação de feldspatos e quartzo em presença de água, além da incorporação ao fundido de alguma granada e feldspato potássico peritético, que promoveu seu enriquecimento em potássio em relação ao mínimo granítico. Nesse modelo, o empobrecimento em ETR dos leucossomas graníticos em relação ao mesossoma pode ser explicado considerando que boa parte dos grãos de monazita restantes no mesossoma depois de consecutivos eventos de fusão estavam preferencialmente inclusos em fases que não participaram da reação, ou ainda sua geração pode ter se dado sob temperaturas inferiores às necessárias para a dissolução da monazita.

Os leucossomas analisados, em especial os leucossomas graníticos, mostram algumas singularidades que podem fazer supor uma origem diferente daquela aqui proposta, como, por exemplo, uma origem externa ao migmatito analisado. Por outro lado, o que se procurou mostrar é que a luz de diversos trabalhos que vêm sendo conduzidos ao longo dos últimos anos, parte das singularidades observadas nestes leucossomas podem ser explicadas, e a origem *in situ* de muitos leucossomas que apresentam composição algo diferente daquelas propostas por trabalhos experimentais deve ser sempre considerada. Os leucossomas em geral não apresentam composição de mínimo granítico (Kriegsman, 2001; Solar & Brown, 2001; Fornelli *et al.*, 2002; Johnson *et al.*, 2003; entre outros), mesmo que o protolito seja considerado fértil e as condições de P, T e atividade de água sejam adequadas (Thompson, 1996); pois a presença de restitos, fusão em desequilíbrio, extração de fundido, atividade de água, regime cinemático diferenciado, entre outros fatores, podem levar à formação de uma variedade de leucossomas a partir de um mesmo protolito.

6. GRANITOS NAZARÉ PAULISTA: GÊNESE INFERIDA PELAS ANÁLISES QUÍMICAS E ISOTÓPICAS SR-ND

6.1. Introdução

A conexão entre granitos e migmatitos tem sido objeto de diversos estudos petrológicos, muitos dos quais têm sido conduzidos ao longo dos últimos anos (*e.g.*, Brown, 1994; Barbey *et al.*, 1996; Sawyer, 1996; Castro *et al.*, 1999; Jung *et al.*, 1999; Nabelek, 1999; Milord *et al.*, 2001; Solar & Brown, 2001; Johannes *et al.*, 2003; Johnson *et al.*, 2003). Os migmatitos são frequentemente tidos como o representante da rocha fonte, parcialmente fundida, dos magmas graníticos, uma vez que alguns migmatitos são empobrecidos em um componente equivalente aos leucogranitos (*e.g.* Sawyer, 1998; Milord *et al.*, 2000; Solar & Brown, 2001). Além disto, tem sido demonstrado que proporção significativa das rochas da crosta continental constitui um reservatório fértil para a produção de expressivos volumes de magmas graníticos (*e.g.*, Clemens & Vielzeuf, 1987; Le Breton & Thompson, 1988; Patiño Douce & Johnston, 1991; Thompson, 1996; Patiño Douce & Harris, 1998, Harris *et al.*, 2000).

Nas ultimas décadas muito tem sido publicado sobre as causas, mecanismos e conseqüências da fusão crustal. Para uma revisão detalhada, ver Janasi (1999), Brown, 2001; Whittington & Treloar (2002) e as referências citadas por estes autores.

Nossa pesquisa envolveu intensa caracterização química e isotópica das principais unidades de granitos anatóticos e rochas metamórficas associadas que ocorrem nos dois afloramentos estudados, buscando inferir as condições de fusão, processos de diferenciação e a identificação da participação das unidades metamórficas regionais como fonte potencial para os diferentes granitos anatóticos tipo Nazaré Paulista que ocorrem na região de Atibaia-Nazaré Paulista-Piracaia (SP), em especial os afloramentos NP40 e NP74 (apresentados detalhadamente no Capítulo 4).

6.2. Geoquímica

As assinaturas geoquímicas resultantes de processos anatóticos são melhor reconhecidas quando componentes particionados para o líquido são lançados em diagramas contra aqueles que particionam para o resíduo ou para as fases precocemente cristalizadas (Sawyer, 1999; Brown & Solar, 1999). No modelo aqui adotado para a geração dos granitos anatóticos estudados (fusão parcial por quebra da muscovita ou biotita, conforme Janasi, 1999), as principais fases residuais são a biotita e a granada, podendo ser representadas por $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$, enquanto que a fração fundida pode ser compreendida pelos termos SiO_2 , Na_2O e K_2O . Os diagramas de variação composicional são apresentados em função de SiO_2 e $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$, sendo que este último se

mostrou um melhor indicador de diferenciação em alguns casos, uma vez que a variação de SiO_2 , mais usual, é pequena e menos sensível dentro do conjunto de granitos mais fracionados (Figuras 33-36).

Foram incluídos em alguns diagramas dados provenientes de trabalhos anteriores (Janasi, 1997 e 1999), para que se discuta de modo integrado todo o conjunto de dados existentes. Todos os dados geoquímicos e isotópicos aqui adquiridos são apresentados no Anexo 3.

6.2.1. Rochas Graníticas

Com base em sua composição normativa, os granitos Nazaré Paulista são essencialmente granito *s.s.*, com exceção de duas amostras de pegmatitos do afloramento NP74 que projetam no campo dos granodioritos e tonalitos (Figura 31). Na Figura 32 são apresentadas as razões normativas de Qtz-Ab-Or dos granitos, onde é possível observar que as amostras de granitos se posicionam sobre a curva cotética ou um pouco acima dela e à direita do ponto eutético a 5 kbar para o sistema Qtz-Ab-Or saturado em água.

Os teores de SiO_2 para os granitos Nazaré Paulista são relativamente altos, variando de 68 a 77% (Figura 33). As diferenças dos teores de SiO_2 entre os granitos do afloramento NP74 são mais sensíveis que entre os granitos do afloramento NP40, pois mostram clara distinção entre granitos cinza e leucogranitos; tipicamente as facies mais leucocráticas apresentam os maiores teores de SiO_2 (Figura 33). Os conteúdos de $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ dos granitos cinza dos dois afloramentos são em média os mais elevados do conjunto analisado, variando entre 1,57 e 2,62% (Figura 34); porém as vênulas de leucogranitos a eles associadas mostram conteúdos de $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ iguais ou até superiores (entre 1,88 e 2,82%). Já os leucogranitos dos corpos independentes mostram conteúdo de $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ em média mais baixos (~1%).

As razões Rb/Sr dos granitos analisados variam entre 0,28 e 0,74 e as razões Sr/Ba entre 0,24 e 0,75; dentro desse intervalo não foi possível notar uma distinção muito clara entre os corpos de granitos (Figura 35b). Apenas uma amostra de leucogranito do corpo **74g3** apresentou razão Rb/Sr fora do intervalo acima citado (razão Rb/Sr = 1,15) e dentro do intervalo apresentado pelas amostras de paragneisses do mesmo afloramento (*cf.* próximo item), devido principalmente ao seu mais baixo teor de Sr (Figura 35a).

Os granitos Nazaré Paulista são em geral mais pobres em metais de transição (*e.g.*, Sc, V, Co, Zn) e elementos HFS (Nb, Ta, entre outros; Anexo 3) que os gnaisses a eles associados (ver próximo item e Anexo 3), sendo que as facies mais leucocráticas apresentam em média teores ainda menores desses metais.

Os granitos, brancos e cinzentos venulados, de ambos afloramentos, apresentam altos teores de Al_2O_3 (entre 12 e 17%; Figura 34) e mostram caráter moderadamente peraluminoso, com índices A/CNK entre 0,98 e 1,16, e A/NK, muito mais contrastados, variando de 1,23 a 2,02

(Anexo 3). A amostra NP74Z apresenta os maiores valores de A/NK e A/CNK, e contrasta bastante com todo o conjunto analisado.

Comparando os granitos dos dois afloramentos, é fácil constatar que os granitos cinza venulados do afloramento NP40 são mais félsicos, como sugerido pelo seu IC ligeiramente menor (*cf.* Capítulo 4), que os seus similares do afloramento NP74 (Figuras 33 e 34). As principais diferenças geoquímicas entre os granitos cinza venulados dos dois afloramentos são: o índice $mg\#$ ($= MgO/(MgO+FeO_T)$) mais baixo dos granitos cinza de NP40 (em média, 30 contra 35 em NP74; porém as bandas de granito cinza mais escuro do afloramento NP40 têm $mg\#$ tão alto quanto os granitos cinza venulados do afloramento NP74), e também menores teores de TiO_2 , CaO , FeO , P_2O_5 , Ba , Sr , e Zr , entre outros (*cf.* Figuras 33 a 35; Anexo 3). Os teores de TiO_2 observados são em geral baixos, variando de 0,03 a 0,27% para as amostras do afloramento NP40, e 0,01 a 0,38% para as amostras do afloramento NP74 (Figura 33). O menor teor de CaO para uma mesma razão Na_2O/K_2O do granito cinza venulado do afloramento NP40, quanto comparado ao seus similares do afloramento NP74 (Figura 36), reflete, muito provavelmente, seu plagioclásio menos cálcico (ver Capítulo seguinte). Além disso, os teores de Na_2O da rocha total são claramente mais elevados nos granitos cinza de NP40 (3,3-4,6% contra 3-3,6% em NP74; Figura 34).

As análises das vênulas que se associam ao granito cinza nos dois afloramentos mostram várias diferenças sistemáticas, composição distinta e caráter algo mais félsico que o granito cinza que as hospeda. Os contrastes mais notáveis são a diminuição do $mg\#$, que reflete, sobretudo, o aumento de FeO paralelo à diminuição de MgO (Fig. 33), e também o aumento importante de K_2O/Na_2O (Fig. 36), que é em parte acompanhado da diminuição de Sr/Ba (Figura 35b), claramente refletindo uma maior proporção do feldspato potássico em relação ao plagioclásio nas vênulas. Embora alguns elementos traços que se hospedam em fases acessórias ocorram em teores mais baixos (*e.g.*, Zr ; Fig. 35a), outros têm sua concentração aumentada nas vênulas; tal é o caso, claramente, dos ETRL (Figura 37; daí a abundância maior em monazita observada na petrografia), e possivelmente do P e mesmo do Ti (Anexo 3). O aumento dos teores de P poderia refletir o incremento da solubilidade do P com o aumento da atividade de Al no magma (*e.g.*, Pichavant *et al.*, 1992), mas os baixos teores de P , já próximos ao limite de detecção analítica, não estimulam considerações mais detalhadas. Cumpre destacar, de todo modo, a identidade entre as vênulas e os granitos cinza aos quais elas se associam, e sua distinção geoquímica dos leucogranitos que formam corpos independentes. De fato, apenas existe identidade química evidente entre as vênulas e pegmatitos que ocorrem nos bordos de xenólitos dentro do corpo **74g1**; nesse caso, parece claro que, ao menos em parte, esses pegmatitos correspondem a concentrações maiores do líquido que deu origem às vênulas formadas ao redor de inclusões sólidas no magma.

Comparados aos granitos cinza venulados, os leucogranitos que formam os diversos corpos independentes nos afloramentos NP40 e NP74 são claramente mais fracionados (menor

mg#, Ti, Zr, Sr etc). Chama a atenção a maior dispersão das composições nos corpos de leucogranitos independentes, que reflete em parte as heterogeneidades internas (segregações entre porções aplíticas e pegmatíticas, que foram analisadas em separado), e em parte diferenças entre os vários corpos.

A segregação entre facies aplítica e pegmatítica ocorre quando da saturação do magma em H₂O; na presença de uma fase aquosa, ocorre migração e redistribuição de elementos. Entre os elementos envolvidos estão K e Na; o primeiro tende a se concentrar na fase pegmatítica e o segundo na fase aplítica (cf. Jahns & Tuttle, 1963). Essa segregação pode ser melhor observada na Figura 36, onde os diversos pares aplito-pegmatito do afloramento NP40 analisados mostram forte correlação positiva entre CaO e a razão Na₂O/K₂O. Em vista desse processo, fica claro que nenhuma das análises individuais de aplito ou pegmatito corresponde à composição do magma original, que poderia ser estimada pela média ponderada das composições dos diversos componentes presentes no corpo. Embora ilustrada para os leucogranitos do afloramento NP40, onde a razão Na₂O/K₂O varia entre 0,45 e 1,14, essa segregação composicional é também evidente nos corpos de pegmatito isolados de NP74 (cf. casos extremos do aplito de **74ap5**, NP74Z, com razão ~5, e do pegmatito de **74ap1**, NP74W, com razão ~0,3) e ainda por todo o corpo aplítico-pegmatítico **74g2** e nos pegmatitos que contornam xenólitos em **74g1**.

Em contraste com os leucogranitos das vênulas dos granitos cinza, os leucogranitos e pegmatitos que formam corpos independentes exibem teores de La mais baixos, que se refletem em padrões de ETR menos fracionados (Figura 37b). Ao lado do menor teor de máficos, do caráter mais sódico do plagioclásio, e do menor teor de Zr, esses padrões sugerem temperaturas de geração mais baixas para esses magmas, se comparados aos granitos cinza venulados. O teor de P igual ou ligeiramente mais alto dos leucogranitos de NP40 se comparados aos granitos cinza venulados do mesmo afloramento podem também aqui refletir o aumento da solubilidade do P com o aumento da atividade de Al.

No afloramento NP40, a identidade química entre os corpos **40g1** e **40g4** é notável; reforçada pela identidade petrográfica observada no campo, e pela observação de que ambos são intrusivos no granito cinza **40g2**, sugere que as ocorrências são co-magmáticas. Já os leucogranitos de **40g3**, composicionalmente muito heterogêneos, mostram contrastes importantes; em particular, os teores de Ba e Sr e o mg# são mais próximos aos do granito cinza venulado. A ocorrência de **40g3** como um corpo de contatos pouco definidos no núcleo de **40g2** e a importante identidade química com os granitos cinza venulados podem ser evidências de um caráter co-magmático entre ambos.

No afloramento NP74, onde o contraste petroográfico entre os dois corpos de leucogranito principais é também evidente (caráter pegmatítico bem desenvolvido apenas em **74g2**; presença de sillimanita apenas em **74g3**), a observação cuidadosa revela contrastes químicos significativos. Os granitos de **74g3** são mais pobres em Ba e Sr e têm maior mg# (30-40, contra 21-27) que os aplitos-pegmatitos de **74g2** (Figuras 33 e 35). Esses contrastes são também evidentes nos padrões

de ETR (Figura 37b): NP74AD, um leucogranito de **74g3**, tem padrão mais fracionado com anomalia negativa de Eu bem definida, enquanto NP74U, de **74g2**, é mais pobre em ETRL, e apresenta uma sutil anomalia positiva de Eu (Figura 37). Por outro lado, considerando os dados relativos aos corpos **74g1**, **74g2** e **74g3**, excetuados os corpos menores de aplito-pegmatito, é possível verificar uma consistência de correlação nas variações químicas entre esses corpos, onde os granitos cinza (**74g1**) representam os termos menos evoluídos (*e.g.*, menor SiO₂, maior razão Na₂O/K₂O e maior mg#), os leucogranitos do corpo **74g3** e as vênulas de leucogranitos do **74g1** apresentam composição intermediária e por fim os leucogranitos do corpo **74g2** são as facies mais evoluídas (*e.g.*, maior SiO₂, menor razão Na₂O/K₂O e menor mg#), em parte, consistente com processo de fracionamento magmático na diferenciação entre esses corpos.

Por outro lado, diferenças por vezes sutis, mas sistemáticas e significativas, mostram que os corpos de leucogranito identificados nos dois afloramentos podem ter se originado a partir de mais de um tipo de magma, porém não necessariamente de fontes diferentes.

As razões ETRL/Th se mantêm constantes entre as amostras de cada afloramento; entretanto, apenas os granitos do afloramento NP74 mostram correlação negativa bem marcada entre SiO₂ e o conteúdo de ETRL, com tendência de diminuição de ETRL para as facies mais leucocráticas (Figura 37a). Uma exceção notável é o aumento dos conteúdos de ETRL nas vênulas de leucogranitos em relação ao granito cinza hospedeiro (Figura 37a). Os conteúdos de ETRL variam positivamente com FeO e TiO₂, em especial, nas amostras do afloramento NP74, indicando que parte do controle desses elementos pode ter sido dado pela biotita (Figura 37a).

A Figura 37b mostra que o padrão típico dos granitos cinza venulados dos dois afloramentos tem fracionamento acentuado ((La/Yb)_N = ca. 50), e moderada anomalia negativa de Eu (Eu/Eu* ~ 0,7). Os pares granitos cinzentos-veios mostram claramente o aumento do teor de La, do fracionamento dos ETR e da anomalia negativa de Eu com a diferenciação (Figura 37b). Enquanto isto, alguns dos leucogranitos brancos têm padrões muito pouco fracionados, relativamente pobres em ETRL e algo mais enriquecidos em ETRP, alguns (*e.g.*, aplito NP74Z) com anomalias positivas de Eu, refletindo o padrão de ETR dos feldspatos, em consequência da pequena quantidade de monazita nos magmas. Os granitos cinza claro do corpo **74g3** mostram padrão de ETR algo paralelo ao dos granitos cinza venulados, porém mais empobrecido (Figura 37b).

Figura 31 - Diagrama ternário Ab-An-Or normativo para granitos, com campos classificatórios de rochas ígneas silicáticas conforme proposto por Barker (1979).

Figura 32 - Diagrama triangular mostrando composição dos granitos Nazaré Paulista no sistema Qtz-Ab-Or. As linhas internas são referentes às curvas cotéticas para 5 kbar, composição de mínimo/eutético do sistema Qtz-Ab-Or-H₂O para determinadas atividades de água (triângulos de borda vermelha e números correspondentes). Fonte de dados: Becker *et al.*, 1998.

Figura 33 - Diagramas de variação geoquímica (elementos maiores) usando SiO_2 como índice de diferenciação para granitos dos afloramentos NP74 e NP40 da região de Atibaia-Nazaré Paulista (SP).

Figura 34 - Diagramas de variação geoquímica (elementos maiores) usando FeO+MgO+TiO₂ como índice de diferenciação para granitos dos afloramentos NP74 e NP40 da região de Atibaia-Nazaré Paulista (SP).

Figura 35 - (a) Diagramas de variação geoquímica (elementos menores) usando FeO+MgO+TiO₂ como índice de diferenciação para granitos dos afloramentos NP74 e NP40 da região de Atibaia-Nazaré Paulista (SP).

Figura 35 - (b) Diagramas de variação das razões Rb/Sr e Ba/Sr para granitos dos afloramentos NP74 e NP40 da região de Atibaia-Nazaré Paulista (SP).

Figura 36 - Diagramas de variação $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \times \text{CaO}$ para granitos dos afloramentos NP74 e NP40 da região de Atibaia-Nazaré Paulista (SP). Note a boa correlação positiva, em especial, entre os pares aplito e pegmatito do afloramento NP40.

Figura 37 - (a) Diagramas de variação ETRL x Th e ETRL x SiO₂, FeO e TiO₂ de granitos da região de Atibaia-Nazaré Paulista (SP). Note a boa correlação positiva entre ETRL e TiO₂ e FeO, em especial, nos granito do afloramento NP74.

Figura 37 - (b) Diagramas de variação da anomalia de Eu (Eu/Eu^*) versus fracionamento La/Yb_N e padrões de ETR normalizados para condrito (valores de Boyton, 1984) de granitos da região de Atibaia-Nazaré Paulista (SP).

6.2.2. Rochas metamórficas

Para facilitar a interpretação dos diagramas, dois grupos de gnaisses mais distintos petrografica e quimicamente foram definidos, correspondentes, em parte, aos grupos petrográficos definidos no **item 3.2.**, São eles: ortognaisses, correspondentes ao Grupo 1 (Biotita Gnaisses Granodioríticos e Tonalíticos), e os paragnaisses, correspondentes aos Grupos 2 (Granada-Biotita Gnaisses Granodioríticos a Tonalíticos) e 3 (Granada-Biotita Gnaisses Graníticos bandados e Biotita Gnaisses tonalíticos finos e escuros dos afloramentos NP74 e 40).

As análises químicas das rochas metamórficas mostram um conjunto de gnaisses bastante diversificado, variando de levemente metaluminosos para os ortognaisses a peraluminosos para os paragnaisses, com índices A/CNK entre 0,92 e 2,42, e ANK entre 1,31 e 3,1 (Figura 38). A amostra NP108 apresenta os maiores valores de A/NK e A/CNK, e representa o termo mais pelítico analisado.

Os teores de SiO₂ são bastante variáveis dentro das diferentes facies analisadas, entre 63,2 e 67,7% para os ortognaisses, e entre 62,4 e 73,7% para os paragnaisses. Na Figura 38 é possível observar a diminuição progressiva dos teores de Fe₂O₃ e do MgO para os termos mais ricos em SiO₂. Os ortognaisses apresentam mg# entre 27 e 45, semelhantes ou menores que os dos paragnaisses (34-62). As rochas mais máficas de todo o conjunto analisado são os biotita gnaisses tonalíticos finos e escuros dos afloramentos NP74 e NP40, com mg# entre 47 e 62, baixos teores de SiO₂ (~64%) e altos de CaO (3,7-4,5%), refletindo sua mineralogia (biotita e plagioclásio).

Os teores de P₂O₅ para os ortognaisses variam entre 0,2-0,4% (Figura 38). Para os paragnaisses os teores de P₂O₅ são extremamente baixos na maioria das amostras (<0,01-0,17%), refletindo a quase total ausência de apatita nestas rochas. A única exceção fica por conta da amostra NP74R (P₂O₅ = 0,26 %). Os teores de Zr são bastante variáveis dentro e entre os grupos de gnaisses (94-476 ppm; Figura 39). Os teores de Ba são bastante variáveis e por vezes muito altos, entre 230 e 2800 ppm; os maiores valores são encontrados nos ortognaisses tonalíticos (*e.g.*, amostra NP100C; Figura 39). O Sr tem comportamento bem distinto entre os grupos (Figura 39), com teores mais baixos nos paragnaisses (128-290 ppm), com exceção das amostras de paragnaisses do grupo 3 (~500-600 ppm), enquanto nos ortognaisses os teores de Sr são bastante elevados (1212-566 ppm). Os teores de Rb variam, entre 81 e 216 ppm, e não têm comportamento distinto entre os grupos (Figura 39). Destarte, os paragnaisses apresentam maiores razões Rb/Sr (0,87-1,5) e menores razões Sr/Ba (0,13-0,4) que os ortognaisses (Figura 40); esse comportamento se reflete na maior proporção de plagioclásio em relação à biotita destes últimos. A exceção fica por conta do paragnaisse NP41c, que foi analisada por Janasi (1999), e mostra razões Sr/Ba e Rb/Sr bastante parecidas com a dos ortognaisses (Figura 40).

Os paragneisses mostram padrão de fracionamento de ETR menos acentuado que os dos ortogneisses e granitos a eles associados, com razões $(La/Yb)_N$ variando entre 7,6 e 9,7 e anomalias negativas de Eu (0,5-0,88; Fig. 41). A amostra de paragneisse do grupo 2 (NP108) é a mais pobre em ETR totais, com anomalia de Eu levemente negativa (Fig. 41). A única amostra de ortogneisse analisada mostra o mais alto fracionamento ETRL/ETRP e anomalia negativa de Eu menos acentuada (0,76). A razão La/Y, calculada para os orto- e paragneisses, é sensivelmente maior para o primeiro e pouco variável para o segundo grupo (Fig. 41), devido aos mais altos conteúdos de La nos ortogneisses, refletido na maior concentração de fosfatos ricos em ETRL, como allanita.

Figura 38 - Diagramas de variação entre mg# e SiO_2 , A/NK e A/CNK e variação geoquímica (elementos maiores) usando SiO_2 e $FeO+MgO+TiO_2$ como índice de diferenciação para paragneisses e ortogneisses da região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista (SP).

Figura 39 - Diagramas de variação geoquímica (elementos menores) usando $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ como índice de diferenciação para paragnaisses e ortognaisses da região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista (SP).

Figura 40 - Diagramas de variação das razões Sr/Ba e Rb/Sr de paragnaisses e ortognaisses da região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista (SP).

Figura 41 - Padrões de ETR normalizados para condrito (valores de Boyton, 1984) e diagramas La versus La/Y e La/Yb de paragnaisses e ortognaisses da região de Atibaia-Piracaia-Nazaré Paulista (SP).

6.3. Isotopia Sr-Nd

A Figura 42 reúne todo o conjunto de determinações isotópicas Sm-Nd e Rb-Sr disponível (incluindo o acervo prévio apresentado em Janasi, 1999) para rochas graníticas e gnáissicas da região estudada.

Dois granitos do afloramento NP40 foram analisados: um leucogranito de **40g3** (NP40AF) e outro de **40g4** (NP40AL). Os resultados são idênticos, dentro do erro, e também praticamente não se diferenciam do granito cinza de **40g2** (amostra NP40F; apresentada por Janasi, 1999), que tem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{625}$ levemente mais baixo (0,716 contra 0,718 nos leucogranitos). O ϵNd_{625} das três amostras é o mesmo (-16, o valor mais baixo obtido para granitos crustais na região).

Três leucogranitos do afloramento NP74 e do vizinho NP75 foram analisados. Neste caso, o contraste da assinatura isotópica desses leucogranitos com a dos granitos cinza venulados do mesmo afloramento (NP41a) e do vizinho NP51 é evidente. Os três leucogranitos têm ϵNd_{625} um pouco mais negativo (-14 a -15), intermediário entre o dos granitos cinzentos de NP74 (-13) e os granitos de NP40. As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{625}$ diferenciam os leucogranitos entre si e dos granitos cinza venulados (Fig. 42). Os leucogranitos NP74AD e NP74AT dos corpos **74g3** e **74g2** tem razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{625}$ notavelmente mais elevada (0,728), situando-se dentro do campo dos paragneisses regionais. O leucogranito NP74U, do corpo **74g2**, e o aplito NP74AJ têm razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{625}$ (0,719) e ϵNd_{625} (-13) idênticos ao dos granitos cinzentos de **74g1**; mostrando que não existem diferenças significativas, em termos de isótopos de Sr e Nd, entre esses granitos e os granitos cinzentos de **74g1**.

A amostra NP74AB corresponde ao granada-biotita gnaiss típico do pacote central do afloramento, e tem assinatura isotópica Sr-Nd muito semelhante à de NP53, gnaiss quimicamente similar de um afloramento vizinho, e analisado por Janasi (1999), apresentando valores de ϵNd_{625} muito menos negativos que o de todos os granitos presentes nesse afloramento. Por outro lado, a amostra NP74I, um granada-biotita gnaiss composicionalmente muito parecido, mas mais fino e presente em um septo (xenólito?) dentro do corpo de granito cinza **74g1**, tem ϵNd_{625} muito mais negativo, já dentro do intervalo mostrado pelos granitos (-14). Embora algumas diferenças químicas possam ser “descobertas” (em particular, a menor razão Sm/Nd de NP74I deve-se a um padrão de ETR menos rico em ETRM se comparado aos demais granada-biotita gnaisses do mesmo afloramento), é notável a afinidade química entre as duas amostras, a despeito da grande diferença de ϵNd_{625} . O biotita gnaiss tonalítico NP74V do grupo 3, do início do pacote principal de gnaisses, e associado a boudins cálcio-silicáticos, tem comportamento isotópico Sr-Nd intermediário (Fig. 42), confirmando a grande dispersão dos valores de ϵNd_{625} nos paragneisses do afloramento NP74.

O metapelito NP108 do grupo 2, do pacote de paragneisses da região de Atibaia, é a rocha metamórfica mais “evoluída” de todo o conjunto a 625 Ma, e confirma que os paragneisses dessa região tendem a exibir ϵNd_{625} mais negativos que aqueles situados mais a leste (*cf.* Janasi, 1999).

O ortognaiss NP101 do grupo 1 é o gnaiss isotopicamente mais “primitivo” de todo o

conjunto analisado, especialmente por seu valor de ϵNd_{625} pouco negativo (-7) (Figura 42). A rocha possui razão Sm/Nd dentro do intervalo típico da crosta continental ($\sim 0,11$), de modo que sua idade-modelo Sm-Nd (1,7 Ga segundo o modelo de DePaolo, 1988) parece colocar um limite superior consistente para a formação do pacote, descartando se tratar de embasamento Transamazônico. A amostra anteriormente analisada (PI-346b de Janasi 1999, proveniente do afloramento NP100) tem T_{DM} Sm-Nd semelhante (1,76 Ga), mas deve seu ϵNd_{625} bem mais negativo a 625 Ma (-12,7) ao seu padrão de ETR fracionado, resultando em razão Sm/Nd muito baixa ($\sim 0,08$). As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{625}$ dos ortognaisses são as menores entre todas as amostras analisadas ($\sim 0,714$) (Figura 42). Os granitos Quatro Cantos, provável produto de fusão por quebra de biotita dos ortognaisses (*cf.* Janasi, 1999), apresentam isotopia Sr-Nd dentro do mesmo intervalo apresentado por seus possíveis protolitos (Figura 42).

Amplas variações na assinatura isotópica de Nd são observadas nos pacotes identificados, por vezes no mesmo afloramento e para amostras geoquimicamente parecidas. Muito embora a ampla variação do ϵNd dos paragnaisses encontre correspondentes nos granitos, sua notável dispersão inibe maiores conjecturas com base apenas neste termo.

O contraste em termos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{625}$ entre ortognaisses e paragnaisses é mais claro, e reflete a notável diferença nas razões Rb/Sr dos dois conjuntos que, no tempo, tende a aumentar de modo mais significativo essa razão nos metassedimentos (ver Figura 40; item anterior). Os granitos se destacam por apresentar valores $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{625}$ intermediários ($\sim 0,718$) entre os ortognaisses e paragnaisses, exceção feita ao granada leucogranito portador de sillimanita do corpo **74g3** e ao granada leucogranito do corpo **74g2**, que têm assinaturas de Sr e Nd compatíveis com geração por fusão direta dos metassedimentos regionais em condições de equilíbrio isotópico. Enquanto isso, os ortognaisses mostram como provável produto de fusão os granitos Quatro Cantos (*cf.* Janasi, 1999), que têm razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ muito baixas e ϵNd bastante variável, podendo ser tão baixo quanto os observados nos granitos do afloramento NP40.

O comportamento das rochas metamórficas regionais em termos dos isótopos de Sr e Nd mostra que a identificação das fontes dos granitos crustais da região estudada por parâmetros unicamente isotópicos é muito difícil em virtude da ampla variação observada.

Figura 42 - Diagrama ϵNd x $^{87}Sr/^{86}Sr$ para granitos crustais e rochas metamórficas da região de Nazaré Paulista. O ϵNd e $^{87}Sr/^{86}Sr$ foram calculados para 625 Ma.

6.4. Discussão dos dados geoquímicos e isotópicos

Os dados geoquímicos de rocha mostram que a gênese dos granitos Nazaré Paulista é bastante complexa em escala de afloramento, conforme já foi revelado em trabalhos prévios realizados na área (Wernick *et al.*, 1987; Ragatky, 1998; Janasi 1997 e 1999). A grande heterogeneidade mostrada pelos granitos Nazaré Paulista é recorrente em regiões de anatexia crustal (*e.g.*, Milord *et al.*, 2001; Otamendi & Patiño Douce, 2001; Solar & Brown, 2001; Villaseca *et al.*, 2001). A literatura no tema de anatexia crustal suporta idéias de que os processos envolvidos na geração dos granitos Nazaré Paulista são variáveis e compreendem provavelmente fontes originalmente distintas (*cf.* Janasi, 1999), processos de fusão em desequilíbrio, mistura de material residual, mudanças na atividade de água, fracionamento *in situ* e/ou diferentes graus de extração de fundido. Deste modo, as questões inicialmente propostas neste trabalho somadas a algumas perguntas e respostas retomadas da literatura sobre a gênese dos granitos Nazaré Paulista e sua(s) possível(s) fonte(s) serão agora discutidas a partir dos dados geoquímicos e isotópicos aqui adquiridos.

6.4.1. O comportamento dos elementos traços Rb, Sr e Ba

Harris & Inger (1992) mostraram que os elementos traços Rb, Sr e Ba são importantes no modelamento petrogenético de fundidos anatóticos, uma vez que Rb reside preferencialmente em biotita e muscovita e Sr e Ba em feldspato alcalino e plagioclásio, componentes fundamentais nas reações de fusão. Os autores realizaram modelamento de fusão em equilíbrio por lote (*batch-melting*) de muscovita e biotita, na ausência e na presença de uma fase vapor. De acordo com os autores a fusão por quebra de muscovita na ausência de uma fase vapor resultaria em baixo grau

de fusão, produzindo um fundido caracterizado por alta razão Rb/Sr, baixa razão Sr/Ba e uma anomalia negativa de Eu mais proeminente, devido à retenção de algum plagioclásio no restito. A fusão por quebra de biotita também resultaria em fundido com mais alta razão Rb/Sr que a de sua fonte. Ainda de acordo com esses autores, fusão em presença de água resulta em fundido caracterizado por mais baixa razão Rb/Sr e mais alta razão Sr/Ba em relação ao seu protolito, refletindo o maior consumo de plagioclásio frente a muscovita nas reações de fusão. Os granitos analisados mostram razões Rb/Sr mais baixas que as observadas nos paragneisses, principalmente, devido aos seus mais altos teores de Sr. A única exceção foi um leucogranito do corpo 74g3 que apresentou razão Rb/Sr bastante similar à dos paragneisses. Desta maneira, utilizando os critérios de Harris & Inger (1992), os granitos Nazaré Paulista com razões Rb/Sr mais baixas que as da possível fonte demandariam fusão em presença de água. Patiño Douce & Harris (1998) e Knesel & Davidson (2002) mostraram que fusão em presença de água irá produzir fundido de composição granítica e com mais alto teor de Sr somente se a fração de fundido formada nestas condições for alta o suficiente (~ 20-25% em peso) para requerer uma substancial participação da muscovita nas reações; caso contrário, o fundido terá composição trondhjemítica. Assim, os granitos Nazaré Paulista deveriam representar uma fração substancial de fundido, que empobreceu sua fonte nos componentes graníticos (Qtz+Ab+Or) em uma fração não menor que 20% em peso.

Diversos autores têm mostrado que fusão parcial é comumente não modal (Le Breton & Thompson 1988; Inger and Harris 1993; Harris *et al.* 1995; Zeng *et al.*, 2005a), ou seja, a proporção das fases minerais na fonte é diferente da proporção das fases que reagem para formar o fundido, produzindo desequilíbrios, em especial, isotópicos (Tommasini & Davies, 1997; Knesel & Davidson, 2002). Adicionalmente, o fundido pode não alcançar o equilíbrio químico com as fases do restito, devido, por exemplo, à taxa de formação e extração de fundido exceder a taxa de difusão química dos elementos de interesse (Harris *et al.*, 1995).

Por outro lado, como proposto por Janasi (1999), os elevados teores de Sr e ETRL presentes nos granitos estudados, particularmente nos granitos cinza, podem ser indício da participação de uma fonte rica nesses elementos, diferente dos paragneisses, ou mais especificamente os ortogneisses.

6.4.2. O comportamento dos Elementos Terras Raras (ETR)

A compreensão da distribuição dos elementos traços e terras raras (ETR) nas rochas e nas fases minerais é a base importante para muitos estudos petrogenéticos, pois cada fase mineral principal ou acessória participa da gênese da rocha e deixa sua própria assinatura no padrão de ETR desta rocha (Bea, 1996). A geoquímica dos ETR (exceto Eu), Th e U em granitos e seus protolitos crustais é essencialmente controlada pelo comportamento dos minerais acessórios ricos em ETR, como por exemplo, monazita, xenotima, apatita e zircão (e.g. Hanson, 1978; Evans &

Hanson, 1993; Bea *et al.*, 1994; Bea, 1996). No caso dos granitos estudados a fase rica em ETRL é a monazita, seguida dos feldspatos, que são os principais portadores de Eu das rochas, e a fase rica em ETRP é a granada, além da monazita (Figura 43).

Boa parte do contraste observado nos padrões de ETR entre os diferentes corpos de granito pode ser sintetizada em uma correlação negativa entre a razão $(La/Yb)_N$ (medida do grau de fracionamento) e a razão Eu/Eu^* (medida da anomalia de Eu). Esta correlação sugere que a definição do padrão de ETRL é dada pela monazita nos granitos cinza e vênulas de leucogranito, uma vez que estes apresentam mais altos teores de ETRL e anomalia negativa de Eu, e pelos feldspatos nos leucogranitos dos corpos independentes, já que estes apresentam menores teores de ETR, fracionamento ETRL/ETRP fraco e anomalia positiva de Eu (Figura 43).

Os padrões de ETR observados no granito cinza e nas vênulas de leucogranito a ele associadas de ambos os afloramentos são, em média, os mais fracionados ($(La/Yb)_N > 50$) de todos os granitos analisados e apresentam anomalia negativa de Eu, que se torna mais acentuada nas vênulas de leucogranito. Esse comportamento, que contrasta com o observado nos corpos de leucogranitos independentes, parece compatível com caráter comagmático entre granito cinza e vênula. Por outro lado, as vênulas de leucogranitos não parecem ter nenhuma associação com os leucogranitos dos corpos independentes.

O comportamento dos elementos terras raras nos granitos cinza do afloramento NP74, corpo 74g1, contrasta sobremaneira com o padrão observado nos leucogranitos dos corpos 74g2, principalmente, e 74g3. O padrão de ETR dos leucogranitos, tanto do corpo 74g2, quanto corpos aplito-pegmatito independentes, é tipicamente menos fracionado, mais empobrecido em ETRL e com significativas anomalias positivas de Eu. Os leucogranitos do afloramento NP40 apresentam fracionamento ETRL/ETRP e conteúdos totais de ETR similares aos apresentados pelos leucogranitos do corpo 74g2, porém quase sem anomalia de Eu. O leucogranito do corpo 74g3 apresenta padrão algo mais fracionado que os leucogranitos do corpo 74g2, assim como uma sutil anomalia negativa de Eu. A diminuição dos teores de ETRL nos leucogranitos quando comparados aos granitos cinza pode estar associada a diminuição da disponibilidade de fases minerais portadoras destes elementos no protolito, por exemplo, a monazita, depois de sucessivos eventos de fusão. A retenção de monazita em fases residuais que não participaram das reações de fusão, como a granada e a biotita, poderia ter conduzido à diminuição da concentração de ETRL nos granitos mais evoluídos quimicamente. Além disso, a boa correlação positiva entre ETRL e TiO_2 é indicativa de que a biotita pode ter controlado fisicamente a incorporação dos ETRL no fundido (*cf.* Bea *et al.*, 1994), já que a biotita controla o Ti, mas apresenta baixos teores de ETR.

As variações dos ETR entre os diferentes corpos de granitos poderiam também ser consideradas compatíveis com processo de fracionamento do corpo de granito cinza, em direção aos corpos de leucogranitos, uma vez que ocorre uma correlação negativa marcada entre os

conteúdos de SiO₂ e ETRL, em especial entre as amostras do afloramento NP74, com a diminuição dos conteúdos de ETRL para as facies mais fracionadas, ou seja os leucogranitos.

Por outro lado, as variações observadas podem estar indicando que os diferentes corpos de granitos apresentam fontes diferentes, embora não necessariamente estas fontes representem pacotes metassedimentares muito distintos, ou alternativamente que o controle principal seja dado pela temperatura e/ou da atividade de água, uma vez que a solubilidade da monazita aumenta com o aumento da temperatura e/ou atividade de água (*e.g.*, Montel, 1993; Zeng *et al.*, 2005a).

Comparados com os gnaisses regionais os leucogranitos apresentam fracionamento ETRL/ETRP (medido pela razão (La/Yb)_N) algo similar, porém mais empobrecido em ETRL, enquanto os granitos cinza mostram fracionamento bem mais acentuado. O fracionamento observado no granito cinza é muito superior ao observado nos paragneisses, pois são mais empobrecidos que estes em ETRP, fato que poderia ser interpretado em termos de retenção de ETRP em fases residuais, em especial a granada, ou alternativamente indicar a participação de fontes adicionais pobres em ETRP como os ortogneisses (Janasi, 1999).

Figura 43 - Padrões de ETR normalizados pela composição de rocha total dos principais minerais portadores de ETR em amostras de leucogranito e gnaisses do afloramento NP74.

6.4.3. O comportamento de Nb e Ta

Em rochas metapelíticas, Nb e Ta residem quase que inteiramente em micas, com uma distribuição de Nb entre biotita e muscovita maior que 10:1 (Ayres, citado por Harris *et al.*, 1995). Nb e Ta compartilham muitas propriedades químicas e ocupam a mesma posição atômica nas estruturas de seus minerais hospedeiros. A partir de deduções semi-quantitativas, Harris *et al.* (1995) observaram que a fusão incongruente da muscovita de uma paragênese metapelítica resulta em fundido relativamente mais empobrecido em Nb, desde que uma ou mais fases com alto coeficiente de partição cristal/fundido (biotita, ilmenita e zircão) permaneçam no restito. Por outro lado, fusão incongruente de biotita irá enriquecer relativamente (acima de cinco vezes) o

fundido em Nb. Os granitos estudados apresentam teores de Nb menores que os paragnaisses e ortognaisses analisados, sugerindo sua geração por meio de fusão de muscovita apenas, se considerarmos que estes gnaisses representam sua(s) fonte(s).

6.4.4. Isotopia Sr-Nd

Zeng *et al.* (2005a) mostram por meio de modelamento petrogenético que a razão Sm/Nd e as composições isotópicas de Nd dos fundidos graníticos anatéticos dependem da quantidade de apatita e monazita dissolvida, e que a relativa proporção de micas (muscovita e biotita) e de feldspatos (plagioclásio e feldspato potássico) que entra no fundido é o parâmetro chave para determinar as razões de Rb/Sr e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do fundido. Ainda segundo esses autores, as principais variáveis que controlam a dissolução de fases acessórias (e conseqüentemente o sistema Sm-Nd) e as reações de fusão (e conseqüentemente o sistema Rb-Sr) são temperatura e o conteúdo de água.

A isotopia Sr-Nd mostra diferenças consistentes entre os granitos dos dois afloramentos estudados e entre estes e os gnaisses. Os granitos apresentam, com exceções, Sr_i intermediário entre ortognaisses ($\text{Sr}_i = 0,713\text{-}0,714$) e paragnaisses ($\text{Sr}_i = 0,723\text{-}0,730$). Em relação ao $\epsilon\text{Nd}(t)$, os paragnaisses mostram uma grande dispersão dos dados (-9 a -16), enquanto os granitos de cada afloramento mostram um intervalo mais restrito (NP40 $\cong$ -16; NP74 entre -13 e -14,6). A grande dispersão do ϵNd entre os paragnaisses do afloramento NP74 é principalmente devida ao baixo valor obtido para a amostra NP74I (-14), que é um septo de paragnaisse dentro do corpo de granito cinza 74g1. Essa amostra apresenta valor isotópico Sr-Nd intermediário entre os granitos 74g1 e 74g3, podendo representar segmento de sua fonte localizada a mais níveis mais profundos. O padrão isotópico homogêneo dos granitos do afloramento NP40 pode ser indicativo de que os diferentes corpos ali presentes possam ser derivados de uma mesma fonte. Entretanto, apenas o metapelito NP108 possui ϵNd tão negativo quanto estes granitos, sugerindo que sua fonte possa ter um componente mais metapelítico e menor porção metagrauvaca. Por outro lado, trabalhos conduzidos por Zeng *et al.* (2005a) em migmatitos pelíticos mostraram que leucossomas anatéticos podem preservar um registro de desequilíbrio isotópico de Nd ($(\epsilon\text{Nd}_{(100\text{ Ma})} -6,0 \text{ a } -11,0)$) de grande magnitude com relação a sua fonte pelítica ($\epsilon\text{Nd}_{(100\text{ Ma})} -8,7 \text{ a } -11,3$).

Os granitos cinza do corpo 74g1 mostram assinatura isotópica distinta do leucogranito 74g3, que por sua vez apresenta uma identidade isotópica com os paragnaisses estudados. Aliados aos dados geoquímicos, os dados isotópicos sugerem que os granitos 74g1 e 74g3 foram derivados a partir de fontes ou processos distintos. Os leucogranitos do corpo 74g2 mostram assinatura isotópica dúbia, com correspondentes nos corpos 74g1 e 74g3. Os contrastes observados são sugestivos de que apenas o leucogranito 74g3 tem como fonte única os paragnaisses estudados, enquanto os outros granitos possam ser resultado de fontes outras ou mesmo mistas, por exemplo, entre orto e paragnaisses. Entretanto, processos de fusão não modal poderiam dar conta de boa

parte das diferenças observadas entre os granitos, uma vez que, os fundidos anatéticos apresentam intrincada composição de elementos traços e isotópicos (*e.g.*, Hammouda *et al.*, 1996; Ayres & Harris, 1997; Patino Douce & Harris, 1998; Knesel & Davidson, 2002; Zeng *et al.*, 2005a).

6.5. Geração e evolução dos granitos Nazaré Paulista

Comparando o conjunto de granitos de cada afloramento estudado, encontramos diferenças geoquímicas e isotópicas significativas, compatíveis com geração a partir de fontes diferentes e ou eventos anatéticos separados no tempo e no espaço dando origem aos diversos granitos amostrados. Entretanto, várias características, algumas bem peculiares, observadas em um afloramento, encontram correspondente no outro, por exemplo, a formação e intrincada relação das mesmas diferentes facies (granito cinza, leucogranitos e pares aplito-pegmatito) e o caráter nebulítico da facies granítica cinza, com presença de restitos e intensa venulação. Ou seja, embora as condições de geração (P, T, atividade de H₂O), protolito e regime cinemático entre os dois afloramentos possam não ter sido os mesmos, foram de alguma forma análogos. Deste modo, serão discutidos a seguir o processo de venulações de leucogranitos nos granitos cinza, a formação dos diferentes corpos de leucogranitos, e também os processos gerais de reações de fusão e a relação entre as diferentes facies e os prováveis protolitos.

6.5.1. Os prováveis protolitos dos Granitos Nazaré Paulista

Os paragnaisses mostraram um amplo intervalo de variação geoquímica que satisfaz quase que integralmente a composição de protolitos ideais para os granitos Nazaré Paulista. Entretanto, algumas inconsistências, em especial na isotopia Rb-Sr (*cf.*, Janasi, 1999), mostraram que tentar identificar a(s) fonte(s) dos granitos Nazaré Paulista não é uma tarefa trivial. Assim, a busca da fonte desse granito passou pela tentativa de responder algumas questões: (1) são os paragnaisses os únicos protolitos diretos de **todos** os granitos Nazaré Paulista; (2) os ortognaisses representam um importante componente na gênese do granito cinza (*cf.* proposto por Janasi, 1999); (3) são necessários outros protolitos ainda não identificados; (4) quais processos de diferenciação podem responder pela grande diversidade de granitos Nazaré Paulista.

Janasi (1999) apresentou modelo de geração dos granitos Nazaré Paulista onde propõe que a diversidade observada é devida entre outros à mistura de fontes. Segundo o autor, os granada leucogranitos e granitos a duas micas regionais seriam produto da fusão direta por quebra de muscovita dos paragnaisses, enquanto o granito cinza de Nazaré Paulista representaria a mistura de fundido proveniente da fusão dos paragnaisses, ou seja os granada leucogranitos, e dos ortognaisses regionais, no caso o granito Quatro Cantos.

Muito embora os modelos de geração propostos anteriormente constituam uma alternativa viável para a gênese dos granitos Nazaré Paulista, a ampliação da amostragem nos dois

afloramentos principais revelou serem esses granitos ainda mais diversos e complexos que o descrito em trabalhos anteriores (Ragatki, 1998; Janasi, 1999).

No capítulo 5 foi realizada uma análise de detalhe do principal corpo de paragnaisse do afloramento NP74, escolhido por ser um metatexito, com leucossomas bem desenvolvidos, e representar um provável protolito dos granitos Nazaré Paulista. Os leucossomas do metatexito foram analisados por representarem o produto direto da fusão dos paragnaises, em condições, provavelmente, não muito diferentes das experimentadas pelos granitos presentes no mesmo afloramento. Foram observados dois tipos de leucossomas, um granítico e outro tonalítico; entretanto, nenhum desses mostrou composição química similar à apresentada pelos granitos Nazaré Paulista; mesmo os leucossomas graníticos, que são mais potássicos. Embora não seja possível fazer uma generalização maior com os dados disponíveis, dificilmente os leucossomas dos metatexitos representam um fundido relacionado aos corpos de granada leucogranitos ou ao granito cinza. Por outro lado, a análise dos leucossomas mostrou que os processos anatéticos na área foram múltiplos, envolvendo fusão em presença de água, fusão por quebra de micas e desequilíbrio isotópico provocado por fusão não modal.

A partir da análise dos dados isotópicos Sr-Nd e razão Rb-Sr foi possível confirmar que apenas o corpo de granada leucogranito com sillimanita 74g3 representa o produto direto da fusão de rocha de composição parecida com a dos paragnaises analisados (*cf.* já havia sido proposto por Janasi, 1999).

Os paragnaises e mesmo os ortognaises analisados são protolitos férteis e apresentam composição de elementos maiores propícia para fusão e geração de granitos; entretanto, a composição de elementos traços e isotopia Sr-Nd restringem a participação de algumas amostras na formação dos granitos Nazaré Paulista. Por exemplo, o corpo principal de paragnaises do afloramento NP74, representado pela amostra NP74AB, possui $\epsilon\text{Nd}(t)$ bem menos negativo que os granitos em geral; além disso, a análise de seus leucossomas não mostrou terem estes correlação com os granitos Nazaré Paulista, de modo que o corpo de metatexito principal do afloramento NP74 não representa um protolito provável dos granitos Nazaré Paulista.

Muito embora nenhuma amostra de paragnaisse ou ortognaisse apresente composição isotópica similar à dos granitos Nazaré Paulista, talvez a amostra NP74I, que é um septo de gnaiss dentro do corpo de granito cinza 74g1, seja a rocha que melhor represente a fonte desses granitos, uma vez que foi trazida de níveis crustais mais profundos, mais próximo provavelmente da área fonte desses granitos. Além disso, essa amostra apresenta composição isotópica Sr-Nd intermediária entre todos os granitos. Se pensarmos em processos de fusão episódicos envolvendo essa mesma fonte, porém sob condições de diferentes atividades de água, mesmo com pequena variação no campo P-T, é possível obter uma diversidade de fundidos leucograníticos, com algum desequilíbrio na assinatura isotópica (*e.g.*, Knesel & Davidson, 2002;

Zeng *et al.*, 2005b). Entretanto, a fusão de uma fonte isotopicamente heterogênea ou o envolvimento de mais de uma fonte na gênese dos granitos Nazaré Paulista não pode ser descartada.

Em todo caso, a gênese do granito cinza venulado parece mais complexa que a dos granada leucogranitos, pois envolve provavelmente a assimilação de restitos, como mostra seu mais alto teor de $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ (1,5-2,8%). Além disso, o granito cinza não parece representar em nenhuma escala a mistura entre o produto de fusão dos paragnaisses e o fundido proveniente da fusão dos ortognaisses, conforme o modelo proposto por Janasi (1999). Em termos isotópicos, a mistura procede, pois o granito cinza apresenta isotopia Sr-Nd intermediária entre os prováveis protolitos; entretanto, o granito cinza não possui uma composição química intermediária entre dois componentes propostos para a mistura (granada leucogranito 74g3 e granito Quatro Cantos), visto que seus teores de K_2O são os menores entre os granitos analisados. Além disso o granito cinza venulado possui teores de CaO tão elevados quanto os dos granitos Quatro Cantos e seus teores de P_2O_5 são, em média, os menores entre todos os granitos da área, representando assim obstáculos à idéia de mistura. Entretanto o modelo de mistura não foi testado com o detalhe necessário, devido à falta de amostragem mais adequada dos granitos QC, uma vez que as poucas amostras analisadas desses granitos apresentaram uma ampla variação composicional.

Em síntese, o protolito de ambos os tipos de granito Nazaré Paulista não pode ser identificado de maneira totalmente isenta de ambiguidades, mas os argumentos aqui apresentados favorecem a idéia de que a sua composição química não precisa ser muito diferente da apresentada pelos paragnaisses, e eventualmente corresponderia a equivalentes com $\epsilon\text{Nd}(t)$ mais negativo presentes em níveis mais profundos, como a amostra NP74I. No entanto, tão importante quanto a identificação da fonte, é a compreensão da possível correlação entre os diferentes corpos de granitos, uma vez que importante parte da variação faciológica observada parece envolver processo de diferenciação por fracionamento do granito cinza levando à formação de granada leucogranitos. Adicionalmente, alguns processos pós-magmáticos podem ser responsáveis pelo grande espalhamento químico observado entre alguns corpos de aplito e pegmatito, em especial no afloramento NP40. Desse modo, esses processos de diferenciação serão analisados mais detalhadamente nos itens a seguir.

6.5.2. A formação de vênulas de leucogranito no granito cinza

As vênulas de granada leucogranito no granito cinza não apresentam um controle estrutural aparente, formam uma rede que se estende em várias direções, e em alguns pontos as vênulas se conectam e formam diques maiores, que conduzem o leucogranito para fora do granito cinza hospedeiro. As semelhanças geoquímicas entre a vênula e o granito cinza hospedeiro indicam um processo de formação *in-situ*, fortalecido pela completa ausência de indicações de

formação das vênulas por injeção de material externo. A continuidade petrográfica (mineralogia, moda e textura) e semelhança geoquímica do material das vênulas em diferentes porções do afloramento são sugestivas de que esse material se cristalizou a partir de uma rede contínua de material “remobilizado”.

As vênulas mostram contatos irregulares indicativos de processo de formação no estado dúctil em regime extensional, com a transferência de material para áreas com menor gradiente de pressão (Sawyer, 2001). A formação das vênulas no granito pode seguir o modelo de segregação e extração de fundidos de rochas parcialmente fundidas, como os migmatitos (Brown, 1994; Sawyer, 1996; Brown & Solar, 1999; Marchildon & Brown, 2001). O fundido se forma ao longo das bordas das fases reagentes (*e.g.*, Sawyer, 2001; Brown, 2004). Uma vez que a fusão é estabelecida em um determinado sítio, este é energeticamente favorecido para que a fusão ali continue e para que os produtos sólidos se desenvolvam naquele sítio devido a processos de transferência de massa por difusão (*e.g.*, Hand & Dirks, 1992; Brown, 2004). Os fundidos formados em diferentes sítios podem se interconectar, e uma vez remobilizados, formam veios que resultam em uma rede contínua e tridimensional, também fomentada por descontinuidades, como contatos litológicos e fraturas, que passam a representar um importante caminho de transporte e penetração de material fundido remobilizado (*e.g.*, Brown, 2004). Assim descrito, o processo de segregação e formação de veios com material remobilizado e interconectados pode valer tanto para formação de leucossomas em migmatitos, quanto para a formação das vênulas de leucogranitos no granito cinza. Por outro lado, as vênulas não são leucossomas típicos, e a questão fica em torno da sua natureza, se geradas *in-situ* por remobilização de material fundido ou mesmo fracionado.

Em linhas gerais, as vênulas de leucogranito que cortam o granito cinza apresentam composição geoquímica e isotópica compatível com sua formação a partir do fracionamento do granito cinza. De acordo com Abbott (1981) a diferenciação de biotita-granada granitos para granada leucogranitos avança com o aumento da razão $Mn/(Mn+Fe+Mg)$ no magma silicático. Segundo o autor, o equilíbrio $Grt+Bt+fundido$ não é mantido durante o fracionamento, levando ao desaparecimento da biotita durante os estágios finais da cristalização fracionada ($Líquido+Bt \rightarrow Grt$), conduzindo à formação de leucogranitos, onde o único componente máfico é a granada rica no componente espessartita. Entretanto, a granada presente no leucogranito das vênulas mostra componente espessartita menor que a do granito cinza (*cf.* item 7.2); deste modo, se as vênulas representam um fracionado remobilizado do granito cinza, outros mecanismos, que não somente o aumento da atividade de Mn no magma granítico, devem responder por esse processo.

O granito cinza com seu caráter nebulítico, com vênulas e *schlierens* frequentes, é muito similar a diatexitos, que são formados por alto grau de fusão, onde o fundido e frações de resíduo

não se separam totalmente; adicionalmente, o fluxo de magma ocorre destruindo estruturas, como bandamento metamórfico, fornecendo uma “textura ígnea” aos diatexitos (e.g, Sawyer, 1998). Embora seja difícil afirmar quanto de material residual esteja presente no granito cinza (e.g., granada, biotita e acessórios), é inegável que ocorre uma importante participação de resíduos na sua formação, porém, sua textura é sobretudo ígnea. Entre os diferentes corpos de granitos analisados, o granito cinza é o notadamente o mais “primitivo”, ou seja, possui uma composição química e mineralógica mais próxima da composição da fonte (?) que os leucogranitos.

As características indicativas de um regime extensional no afloramento NP74 (cf. Capítulo 4) favorecem a idéia de geração de magma por processo descompressivo. Harris *et al.* (2004) associam a ausência de biotita em leucossomas com granada à quebra de biotita durante o resfriamento sob regime descompressivo. Analogamente, a ausência ou diminuição de biotita nas vênulas de leucogranito poderia estar associada a “refusão parcial” do granito cinza por quebra de biotita durante descompressão adiabática, porém com incorporação ao fundido de alguma fase acessória residual, como a monazita, liberada provavelmente na quebra da biotita, induzindo ao enriquecimento em ETR nas vênulas. A “refusão” do *mush* que deu origem ao granito cinza pela quebra da biotita promoveria um aumento da porção fundido durante a ascensão, que por sua vez poderia ter proporcionado um aumento da pressão interna no *mush* silicático provocando fraturas dúcteis e remobilização de material leucocrático fundido para esses novos sítios de menor pressão (e.g., Sawyer, 2001; Marchildon & Brown, 2003).

Porém cabe uma ressalva, pois Harris *et al.* (2004) não associam a presença modal de granada nos leucossomas ao processo de fusão por quebra de biotita durante a descompressão, mas ao processo anterior de fusão por quebra de muscovita. No entanto, a granada das vênulas de leucogranito está presente em proporção modal igual ou superior a dos granitos cinza, e portanto se a granada é magmática e os leucogranitos são o produto do aumento da proporção de fusão do *mush* que gerou granitos cinza, a formação da granada deve estar associada à quebra de biotita no processo de refusão, pois essa reação tem entre seus produtos a granada peritética (cf. equações de fusão apresentadas no Capítulo 1, item 1.2).

6.5.3. A diversidade dos granada leucogranitos

Os diversos corpos de granada leucogranitos presentes nos dois afloramentos principais mostram gênese de natureza diversa, e representam provavelmente fundidos diretos dos paragnaisses e corpos diferenciados por fracionamento e ou por processos tardi-magmáticos.

Com relação aos granitos do afloramento NP40, os diferentes corpos mostram identidade isotópica sugestiva de que esses estão geneticamente relacionados e possuem a mesma fonte. Os corpos de granada leucogranitos 40g1 e 40g4 mostram grande similaridade geoquímica e representam muito provavelmente o mesmo pulso de magma intrusivo no corpo de granito cinza

40g2. O granada leucogranito 40g3, por outro lado, mostra uma grande heterogeneidade química, que em parte está refletindo a separação na amostragem das porções aplíticas (mais sódicas) e pegmatíticas (mais potássicas) de uma mesma amostra; deste modo, a composição do magma original deve se aproximar dessas duas rochas, e assim deve ser próxima do mínimo no sistema Q-Or-Ab-H₂O (Jahns & Tuttle, 1963). O mesmo procedimento de separação foi adotado com algumas amostras dos leucogranitos 40g1 e 40g4, entretanto não foi observado um espalhamento tão significativo.

As composições médias dos leucogranitos 40g3 mostram razoável afinidade química em termos de elementos maiores com os leucogranitos dos corpos 40g1 e 40g4, mas alguns contrastes importantes são observados, por exemplo, os teores de Ba e Sr, razão Sr/Ba e o mg# do leucogranito 40g3 são mais elevados e mais próximos aos do granito cinza venulado 40g2. Outro importante fator é que o leucogranito 40g3 ocorre como uma intrusão de contato pouco definido no núcleo do granito cinza venulado 40g2, de modo que é razoável propor um caráter comagmático entre ambos. Os principais contrastes entre estes dois granitos são: os menores valores de FeO_T+MgO e ETRL do leucogranito 40g3, que pode ser resultado da diferenciação por fracionamento do biotita-granada granito para granada leucogranito (*cf.* Abbot, 1981). Embora o mesmo processo não possa ser completamente descartado para a gênese dos leucogranitos 40g1 e 40g4, as diferenças sistemáticas (menores teores de Zr, Ba, Sr, ETRL, razão Ba/Sr, mg#) observadas entre estes e o granito cinza venulado 40g2 pode ser indicativa de se tratar de um outro evento de fusão de uma fonte geoquimicamente homogênea.

Os granitos do afloramento NP74 possuem assinatura isotópica mais heterogênea que a dos granitos do afloramento NP40. No entanto, mesmo com essa heterogeneidade isotópica, o espalhamento geoquímico apresentando pelas amostras do afloramento NP74 é bem menor que a do afloramento NP40. Nos diagramas de variação composicional, os diversos corpos de granitos do afloramento NP74 mostram alinhamentos frequentes, sugestivos de que essas rochas devem estar associadas umas às outras através de algum processo de diferenciação. Como já vem sendo destacado, o corpo de granada leucogranito 74g3, em especial a amostra NP74AD, mostra razão Rb/Sr maior que a dos outros granitos, isotopia de Sr mais próxima da dos paragneisses, e em geral, composição intermediária entre o corpo de granito cinza 74g1 e o leucogranito 74g2. Além disso, o leucogranito 74g3 apresenta sillimanita frequente, que também é considerado um diferencial importante. Esses contrastes conduzem à interpretação de que o granada leucogranito 74g3 apresenta gênese distinta da apresentada pelos outros dois corpos, devida, provavelmente, às condições de reação (ver próximo item). Os granada leucogranitos do corpo 74g2 mostram composição totalmente compatível com formação pelo fracionamento do granito cinza. Esses leucogranitos não representam o material das vênulas de leucogranito no granito cinza, pois possuem composição diversa destas, porém dentro do mesmo alinhamento, podendo representar

assim um fracionamento das vênulas coletado por diques maiores levando à formação de um novo corpo. E por fim, os corpos isolados de aplito-pegmatito são bastante heterogêneos e mostram as mesmas amplas variações apresentadas pelo corpo de leucogranito 40g3, que também podem estar relacionadas a processos tardi-magmáticos de separação de corpos aplíticos mais sódicos e pegmatíticos mais potássicos, em presença de uma fase aquosa, liberada no estágio final da cristalização. Alternativamente, como alguns desses corpos de aplito-pegmatito encontram-se no contato do granito cinza com gnaisses, estes podem representar material fundido que foi segregado para o contato entre as duas rochas.

6.5.4. Os modelos de reação de fusão

As condições metamórficas alcançadas na área (720-780 °C e 5-6 kbar) foram suficientes para garantir a fusão na ausência de água livre, promovida pela quebra de muscovita e, em menor proporção, pela quebra de biotita. Entretanto, as razões Rb/Sr persistentemente menores dos leucogranitos e granitos cinza em relação aos paragneisses, suas potenciais fontes, são incompatíveis com a fusão destas rochas por quebra de micas em condições de equilíbrio, uma vez que fundidos formados nestas condições apresentam sempre razões Rb/Sr maiores que as de sua fonte (Harris & Inger, 1992; Harris *et al.*, 1995). Como destacado no item 6.2.1, as mais baixas razões Rb/Sr dos granitos, devidas principalmente aos mais altos teores de Sr, são compatíveis com fusão em presença de água. A exceção, como já destacado, é o granito com sillimanita do corpo 74g3, que apresenta composição química, FeO+MgO+TiO₂ total, padrão de ETR, razão Rb/Sr e isotopia Rb-Sr compatíveis com fusão por quebra de muscovita e talvez em menor quantidade biotita de paragneisses similares aos do afloramento NP74.

A presença de água livre no sistema diminui a temperatura do *solidus* granítico promovendo a fusão de Qtz+Plg+Kfs, e formação de um fundido de composição de mínimo granítico. Porém, no caso dos paragneisses estudados o feldspato potássico é considerado em grande parte fase peritética, formada pela fusão incongruente da muscovita (ver Capítulo 5). Assim, na fusão dos paragneisses em presença de água livre, o K inicialmente teria sido fornecido pela muscovita, em uma reação não modal, com uma maior participação do plagioclásio nos reagentes frente a muscovita ($Mu + Qtz + Plg + H_2O \rightarrow \text{fundido} + Als$). Caso a fração de fundido formado nestas condições tenha sido pequena (menor que 10% em peso), este apresentaria composição trondhjemitica, e se tiver sido maior que 20-25% em peso o fundido teria composição granítica (*cf.* Patiño Douce & Harris, 1998). Como as rochas estudadas são sempre granitos *s.s.*, sua geração por meio a reação em presença de água, requer que a fração fundida tenha sido maior que 20%.

A presença de granada e biotita, em especial no granito cinza, são indicativos da participação de fases ricas em componentes importantes na formação desses minerais nas reações

de fusão, como, por exemplo, a biotita. Entretanto, os mais baixos teores de Nb e Ta dos granitos quando comparados com gnaisses, seus potenciais protolitos, são inconsistentes com sua geração por fusão envolvendo proporção significativa de biotita. Além disso, as condições metamórficas alcançadas na área de estudo seriam suficientes apenas para dar início à fusão por quebra de biotita, com a geração de volume pouco expressivo de fundido (Stevens *et al.*, 1997). Assim, a granada pode ter sido produzida por meio de fusão incongruente por quebra de muscovita (*cf.*, Pickering & Johnston, 1998). Por outro lado, na fusão incongruente por quebra de muscovita ou mesmo de biotita os teores totais de $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ dos fundidos formados nunca ultrapassam 2% (Whittington & Treolar, 2002). Desse modo, os granitos cinza e os leucogranitos presentes nas vênulas devem ser constituídos, em parte, de material restítico, incluindo granada e biotita, pois apresentam conteúdos totais de $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ variando entre 1,5 e 2,8%. A presença de material residual nos granitos cinza é confirmada pela formação freqüente de *schlieren* biotíticos de tamanhos variáveis, centimétricos a métricos. Assim sendo, o modelo favorecido por nossos dados é que os granitos cinza e as vênulas de leucogranitos devem ter sido gerados em presença de água livre, por meio de reação envolvendo $\text{Plg}+\text{Qtz}+\text{Ms}$, com a formação de fundido granítico e incorporação de restitos.

De acordo com as razões Rb/Sr observadas nos leucogranitos, estes, assim como os granitos cinza, devem ter sido gerados em presença de água, se considerarmos os paragnaisses sua única fonte. Os leucogranitos também apresentam granada modal, indicativa da participação de fases ricas nos constituintes da granada nas reações de fusão, ou mesmo de heranças (ver capítulo 7). Por outro lado, como discutido no item 6.5.2, processos de fracionamento do granito cinza (granada-biotita granito) poderiam ter levado à formação de leucogranitos nos quais a granada ocorre como fase máfica única.

7. GRANITOS NAZARÉ PAULISTA: GÊNESE INFERIDA PELAS ANÁLISES QUÍMICAS DE MINERAIS

7.1. Introdução

Estudos experimentais têm demonstrado que o comportamento dos elementos traços hospedados preferencialmente por minerais formadores de rochas pode ser bastante diferente daqueles hospedados principalmente em minerais acessórios (*e.g.*, Watson & Harrison, 1984; Nabelek & Glascock, 1995; Nabelek, 1999; Bea, 1996; Bea & Montero, 1999; Zeng *et al.*, 2005a).

O comportamento dos minerais acessórios durante o metamorfismo de alto grau e anatexia depende principalmente da cinética de solubilidade e dissolução, estabilidade *sub-solidus*, envolvimento nas reações metamórficas, posição textural e disponibilidade de interação com o fundido e as fases residuais (*e.g.*, Watson *et al.*, 1989; Poitrasson *et al.*, 1996; Bea, 1996a,b; Ayres & Harris, 1997; Pan, 1997; Bea & Montero, 1999; Spear & Pyle, 2002; Pyle & Spear, 2003; Föster *et al.*, 2004; Kohn & Malloy, 2004). A composição dos elementos traço e isotópica dos minerais acessórios, em particular para as suas variações intra- e inter-grãos, são indicadores muito importantes, pois permitem registrar de forma quantitativa o comportamento destes minerais durante o metamorfismo de alto grau e anatexia (*e.g.*, Bea, 1996; Bea *et al.*, 1999; Williams *et al.*, 1999). A composição do material gerado por fusão parcial é uma função principalmente da proporção e composição das fases principais e acessórios envolvidas no processo (Bea, 1996).

Elementos de interesse como Zr, elementos terras raras (ETR), Th e U residem preferencialmente em fases acessórios, como zircão, monazita, xenotima e apatita, minerais acessórios comuns em rochas de origem crustal (Bea, 1996). Entre os minerais principais, a granada é o mais rico em ETRP (Elementos Terras Raras Pesados) e Y e pode em muitos casos controlar o comportamento destes elementos no magma (*e.g.*, Harris *et al.*, 1995). Zoneamentos químicos, em minerais como granada, zircão e monazita podem mostrar registros de herança, bem como a memória de processos como fusão progressiva e fracionamento magmático (*cf.* exemplos para granada em Harris *et al.*, 1995).

7.2. Química Mineral

Todos os dados de química mineral foram apresentados no Anexo 4 (a- granada, b- monazita, c- biotita e d- feldspatos).

7.2.1. Granada

Granada é o mineral formador de rocha que particiona mais fortemente Y e ETRP; além disso, comumente preserva zoneamento de ETR devido a sua forte natureza refratária e os baixos

coeficientes de difusão de cátions, que dificultam seu equilíbrio com a matriz da rocha e/ou fundidos anatéticos (e.g., Hickmott *et al.*, 1987; Harris *et al.*, 1992; Otamendi *et al.*, 2002).

Análises de variações químicas em granada ajudam a determinar processos como cristalização fracionada, zoneamentos químicos, se metamórficos ou ígneos, e possíveis heranças, que representam o vínculo entre os magmas anatéticos e os seus protolitos.

A literatura recente tem demonstrado que, em muitas granadas de rochas associadas à anatexia crustal, núcleos de granada com altos teores de Y e ETRP podem ser interpretados como tendo sido formados em ambiente metamórfico sem a presença de um fundido, enquanto que as bordas com baixos teores de Y e ETRP são tidas como cristalizadas na presença de um fundido (e.g., Harris *et al.*, 1995; Otamendi *et al.*, 2002; Jung & Hellenbrand, 2005). Isso ocorre pois muitos dos fundidos anatéticos devem ser incapazes de particionar elementos traços com a granada residual, ou seja a granada metamórfica que fica inerte durante a fusão, mas devem ser capazes de equilibrar com a granada peritética, formada pela reação de fusão incongruente (Otamendi *et al.*, 2002). A diminuição contínua dos teores de ETRP geralmente observada em direção à borda dos grãos de granada metamórfica tem sido em muitos casos explicada por processo de fracionamento Rayleigh (e.g., Otamendi *et al.*, 2002).

Zoneamento distinto, com aumento do conteúdo de ETR na granada ígnea foi interpretada por Harris *et al.*, 2004 como um registro da progressiva história de fusão, que é caracterizada pela dissolução de fases acessórias ricas em ETR. Além disso, Bea (1996) mostrou que granadas cristalizadas em magmas graníticos podem ter uma composição com baixa razão $(\text{Sm/Gd})_N$ e sem anomalia de Eu. Granadas magmáticas tipicamente apresentam alta concentração de MnO e mostram aumento contínuo em MnO do núcleo para a borda do grão.

7.2.1.1. Elementos Maiores

A Figura 44 mostra as variações químicas em granada de todo conjunto de amostras analisado. A granada proveniente de granitos de ambos os afloramentos estudados é rica no componente almandina (Fe) (~70-85%), com 8-25% de piropo (Mg), 2-5% de grossulária (Ca) e 1-6% de espessartita (Mn) (Figura 44). As composições da granada mostram um aumento do componente espessartita para os leucogranitos do afloramento NP40 (**40g1**) e para os termos mais diferenciados do afloramento NP74 (**74g2** - granada leucogranitos), se comparadas com a da granada de leucogranitos NP74AD (**74g3**), NP74D (vênula do granito cinzento NP74C; **74g1**) e granitos cinzentos do afloramento NP40. A granada da amostra NP74C, única amostra de granito cinzento do afloramento NP74 analisada, mostra dispersão muito grande dos valores obtidos, sem nenhuma tendência especial. Quando comparamos a granada das amostras dos afloramentos NP74 e 40, observamos que a granada do granito cinzento do afloramento NP40 (**40g2**) apresenta uma

maior contribuição do componente almandina (até 85%) em sua composição, e conseqüente diminuição do componente piropo.

A composição química da granada de gnaisses do afloramento NP74 mostra uma sobreposição com o campo da granada de leucogranitos mais aplíticos desse mesmo afloramento (**74g2**), e em parte do granito cinza (**74g1**).

Na Figura 44 também se observa, em destaque, uma sobreposição do campo de variação química da granada do paragnaisse granodiorítico do afloramento NP109 (grupo 2) com uma granada, em especial, do afloramento NP74, que corresponde a um núcleo bem preservado de um cristal maior da amostra do paragnaisse granítico NP74AB (grupo 3). Essa granada de gnaiss preserve intenso zoneamento químico, com aumento do componente espessartita para o núcleo do grão. A granada da amostra de gnaiss tonalítico fino NP40AO é mais rica que o restante do conjunto no componente grossulária (entre 7 e 10%).

As granadas dos granitos cinza e leucogranitos de ambos os afloramentos, quando comparadas às granadas presentes em porções leucossomáticas do gnaiss granítico migmatítico do afloramento NP74, (grupo 3; amostra NP74AB) são, em geral, bem mais ricas no componente almandina e mais pobres nos outros componentes (ver capítulo 5).

Figura 44 - Diagramas de variação composicional de granadas de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista-Atibaia (SP).

7.2.1.2. Padrões de ETR e elementos traços

A granada exerce uma grande influência no controle da distribuição de ETRP e Y no magma, principalmente na ausência de fases acessórias, como por exemplo, a xenotima $(Y,HREE)PO_4$ (e.g., Harris *et al.*, 1995). A difusão dos ETRP e Y na granada é muito lenta e resulta em zoneamentos químicos que podem permitir a definição de padrões evolutivos primários que se correlacionam com os eventos metamórficos, de anatexia e cristalização magmática (Otamendi *et.al.*, 2002; Jung & Hellenbrand, 2005).

O padrão de terras raras observado nas granadas é em geral pobre em ETRL, com forte anomalia negativa de Eu e as principais variações se concentram nos ETRP (Figuras 45a). As

granadas dos granitos apresentam geralmente padrões com menores teores de ETRP se comparados aos dos gnaisses, assim como anomalia negativa de Eu (Eu/Eu^*) mais pronunciada, que nos granitos varia entre 0 e 0,5 (Figura 45b). As granadas de algumas amostras de granitos mostram núcleos bastante enriquecidos e ETRP, com um padrão que parece não estar correlacionado com o do restante do grão (Figura 45a). As abundâncias de ETRP entre a borda e o núcleo dos grãos varia bem mais que uma ordem de magnitude, refletindo que não foi mantido o equilíbrio entre o cristal e o líquido durante a cristalização (Figuras 45a; Harris, 1995). O núcleo dos cristais tem alta concentração de ETRP, Y, Sc e V, com exceção da granada do granito cinza 40g2, do leucogranito 40g3 e do leucogranito da vênula que corta o granito cinza 74g1, que não apresentam núcleos enriquecidos, diferenciados do restante do grão.

A granada das duas amostras de granito cinza (74g1 e 40g2) são bastante diferentes entre si, não só em relação aos elementos maiores, mas também aos ETR, uma vez que a granada do granito cinza 40g2 é mais pobre em ETRP e Y, mostrando razões $(\text{Sm}/\text{Gd})_N$ e $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ muito mais parecidas com as do leucogranito das vênulas (Figura 45a; cf. Também Harris et al., 1995). A granada do leucogranito 40g3 mostra padrão de ETR paralelo ao observado na granada do granito cinza 40g2, porém mais enriquecida em ETR (diagrama não apresentado).

As granadas dos gnaisses também apresentam padrões com empobrecimento dos ETRP para as bordas, mas predominam amplamente os núcleos ricos em ETRP. Quando se compara as granadas dos leucogranitos com a dos leucossomas graníticos dos gnaisses migmatíticos do afloramento NP74 (ver Capítulo 5), observa-se que os padrões são parecidos, principalmente o forte empobrecimento dos ETRP em direção à borda dos grãos (Figuras 45a). O zoneamento apresentado por esses grãos é bastante complexo e sugestivo de diferentes estágios de crescimento ou crescimento em desequilíbrio.

A única granada que mostra aumento dos ETRP e Y em direção à borda do grão é a da amostra NP74D, leucogranito que venula o granito (Figura 45a). Esse comportamento estaria relacionado a cristalização fracionada, ou seja crescimento ígneo (e.g., Jung et al., 2005).

As concentrações de Y são bastante variáveis, porém os granitos cinza e leucogranitos dos dois afloramentos apresentam os menores valores quando comparadas às granadas do paragneisse e corpos aplítico-pegmatíticos (Figura 46). A granada desses granitos também é mais pobre em Sc e Cr que a granada dos leucogranitos aplíticos-pegmatíticos e os gnaisses (Figura 46). A granada da amostra 74AD apresenta os menores teores de V (Figura 46).

Figura 45 - (a) Padrão de ETR normalizado para o Condrito (Boynton, 1984) de granada de granitos dos afloramentos NP40 e NP74. Note a intensa anomalia negativa de Eu e o empobrecimento de ETRP para as bordas.

Figura 45 - (b) Medidas do fracionamento dos ETRL ($(\text{Sm}/\text{Gd})_N$), Pesados ($(\text{Gd}/\text{Yb})_N$) e da anomalia de Eu (Eu/Eu^*) de granada de gnaisses e granitos da região de Nazaré Paulista-Atibaia (SP). Note que algumas granadas de leucogranitos e granito cinza apresentam um maior fracionamento dos ETRP.

Figura 46 - Diagramas de variação de elementos traços de granadas de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

7.2.1.3. Perfis Composicionais

As análises químicas de elementos maiores e imagens de elétrons retroespalhados nos cristais de granada dos granitos e gnaisses estudados revelaram zonalidade secundária, associada a reequilíbrios entre granada e biotita durante o resfriamento das rochas (Figuras 47 e 48). Essa zonalidade secundária muita vezes dificulta a interpretação, em especial quando os perfis são irregulares e apresentam poucos pontos. O perfil apresentado para a granada da amostra NP74AB, somente para elementos maiores, ilustra a zonalidade da granada metamórfica borda-borda, tipicamente simétrica, sendo que a borda mais externa (pontos 2 e 10) é facilmente distinguida do

restante do grão, por acentuar ou mudar a tendência até então observada (Figura 48). A zonalidade mais marcada nesse grão é dada pelo Mn, que diminui fortemente em direção à borda (Figura 48).

Os perfis composicionais para elementos maiores da granada dos granitos mostram zoneamentos por vezes sutis, porém sistemáticos, que revelaram tendência comum de aumento do Fe associado à diminuição do Mg para a borda dos grãos (Figura 48). Nos granitos a tendência é de aumento de Mn para a borda dos grãos. Com relação ao Y e ETRP, como discutido no item anterior, em geral ocorre empobrecimento em direção à borda dos grãos, com variação mais acentuada para Y, Dy, Er e Yb, que apresentaram o mesmo padrão de distribuição espacial (Figura 48). As granadas dos granitos 74g1, 74g2 e 40g3 mostraram um núcleo com razões Yb/Er e Yb/Dy mais elevadas em relação ao restante do grão; esse comportamento não foi observado nos granitos 40g2, 40g3 e no pegmatito NP74Z. Além disso, as granadas dos granitos de 74g1, 74g2 e 40g3 mostraram que os ETR pesados e intermediários sofreram fracionamento durante o crescimento, devido provavelmente a diferenças nos coeficientes de partição ($D_{grt/matriz}$), que devem ter conduzido à inversão das razões Yb/Er e Yb/Dy entre o núcleo e a borda dos grãos (Otamendi et al., 2002). Essa assinatura também é comum na granada das diferentes porções do migmatito estudado no Capítulo 5.

Figura 47 - Imagens de elétrons retroespalhados de cristais de granada de gnaisses e granitos da região de Nazaré Paulista (SP).

Figura 48 - Perfis de zoneamento de elementos maiores (% em peso), Y (ppm), ETR leves, ETR intermediários e pesados (ppm), e razões Yb/Dy e Yb/Er de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP). A assimetria nos perfis é devida às diferentes escalas, discontinuidades nos perfis e baixa densidade de pontos.

Figura 48 - (continuação) Perfis de zoneamento de elementos maiores (% em peso), Y (ppm), ETR leves, ETR intermediários e pesados (ppm), e razões Yb/Dy e Yb/Er de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP). A assimetria nos perfis é devida às diferentes escalas, descontinuidades nos perfis e baixa densidade de pontos.

Figura 48 - (continuação) Perfis de zoneamento de elementos maiores (% em peso), Y (ppm), ETR leves, ETR intermediários e pesados (ppm), e razões Yb/Dy e Yb/Er de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP). A assimetria nos perfis é devida às diferentes escalas, descontinuidades nos perfis e baixa densidade de pontos.

7.2.2. Monazita

A monazita $[(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th})\text{PO}_4]$ é um dos principais minerais acessórios portadores de ERTL (Elementos Terras Raras Leves) e exerce uma importante influência na evolução da composição do magma, de modo que o estudo de seu comportamento tem se mostrado fundamental nos estudos de petrologia ígnea e metamórfica (Bea, 1996). Dentre os minerais estudados a monazita é o mineral mais rico em ETRL, Th e U, além de ser relativamente rico em Y (Figura 49; Anexo 4b).

7.2.2.1. Padrões de ETR

A Figura 50 mostra diagramas de variação dos ETRL de monazita, obtidos por microsonda eletrônica, comparando todos os tipos de granitos do afloramento NP74 entre si e entre os paragneisses a eles associados (grupo 3; amostras NP74AB e A). Na comparação entre a monazita do granito cinza (**74g1**) com a dos leucogranitos (**74g2** e **74g3**), a primeira apresenta padrão de fracionamento mais acentuado que a dos leucogranitos em geral. O leucogranito NP74AD (**74g3**) mostra o padrão menos fracionado do conjunto de granitos (Figura 51). Quando comparamos os padrões de ETRL da monazita dos granitos com a dos gnaisses, observamos que a do gnaiss mostra padrão de fracionamento para os ETRL menos acentuado que a dos granitos em geral. Os únicos padrões com alguma identidade observável são: (1) granito cinza (NP74C; **74g1**) e a vênula de leucogranito a ele associada (NP74D), e (2) leucogranito (NP74AD; **74g3**) e o gnaiss (NP74AB; grupo 3).

A variação de ETRL para monazita de granitos do afloramento NP40 pode ser observada na Figura 51, onde se nota que a monazita deste apresenta o maior fracionamento dos ETRL, medido pela razão $(\text{La}/\text{Sm})_N$, enquanto o leucogranito NP40AL (**40g4**) apresenta razão $(\text{La}/\text{Sm})_N$ muito mais parecida com a dos leucogranitos do afloramento NP74.

Na Figura 51 é possível observar a diminuição da razão $(\text{La}/\text{Sm})_N$ para granitos mais diferenciados (leucogranitos do afloramento NP74 e 40), e aumento para os termos com maior índice de cor (granitos cinzentos).

Análises de padrões completos de ETR foram obtidas por LA-ICPMS para monazita de algumas amostras-chave (Figura 52). Nota-se que os padrões de ETR são altamente fracionados, sendo que as monazitas dos granitos apresentam em média fracionamento ETRL/ETRP maior que a dos gnaisses (em especial, amostra NP74D), assim como maior anomalia negativa de Eu (Eu/Eu^*), que nos granitos varia entre 0 e 0,1 e nos gnaisses de 0.05 a 0.25. A monazita dos granitos mostra anomalias positivas (*kinks*) em Er e Yb, relacionadas provavelmente à sua co-precipitação com granada, que tem grande influência sobre os conteúdos ETRP em monazita (Pyle et al., 2001).

Figura 49 - Diagramas ternários de variação catiônica de Th+U - ETRL - ETRP+Y (cátions/4 oxigênios) em monazita de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista – Atibaia (SP). Note a ampla sobreposição das composições.

Figura 50 - Variação do padrão de fracionamento do ETR para granitos e gnaisses de afloramentos da região de Nazaré Paulista (SP). As amostras foram normalizadas para os dados de Boynton (1984).

Figura 51 - Variação do padrão de fracionamento do ETR de monazita, refletido nas variações das razões $(La/Sm)_N$ e La/Y de todo o conjunto de granitos e gnaisses analisados. As amostras foram normalizadas conforme os dados de Boynton (1984). Ver legenda na figura anterior.

Figura 52 - Variação do padrão de fracionamento do ETR para granitos e gnaisses de afloramentos da região de Nazaré Paulista (SP), padrões completos obtidos com LA-ICPMS. As amostras foram normalizadas para os dados de Boynton (1984).

7.2.2.2. *Perfis Composicionais*

Foram feitos alguns perfis químicos para monazita de algumas amostras buscando informações adicionais sobre o comportamento dos ETRL+Y, Th, U e Pb e sua participação no processo de fracionamento dos magmas anatóticos. Uma descrição geral do comportamento químico observado nos perfis é apresentada a seguir.

As Figuras **53a** a **53e** mostram imagens de elétrons retroespalhados e perfis de variação dos padrões de ETR, Y_2O_3 , ThO_2 , PbO obtidos por microsonda eletrônica em de cristais de monazita de granitos e gnaisses dos afloramentos NP74, NP40 e NP109.

Granitos

A amostra NP74D (vênula de leucogranito associada ao granito cinza **74g1**) é muito rica em monazita, em geral alongada, subidiomórfica a idiomórfica (Figuras 53a). Os cristais de monazita nesta amostra apresentam núcleos externo e interno, que nas imagens de elétrons retroespalhados equalizadas aparecem respectivamente com cor bem clara e outra escura. Os núcleos internos, mais escuros, são corroídos, mostrando que estes núcleos sofreram processo de reabsorção antes do crescimento do núcleo externo e borda. O contraste de coloração observado nas imagens é dado principalmente pela variação do ThO_2 e Y_2O_3 . Ocorre uma diminuição do núcleo para à borda do cristal nos teores de PbO, Y_2O_3 e UO_2 , e diminuição das razões La/Y e teores de ThO_2 (Figura 53a). A razão La/Sm mostra uma leve diminuição em direção à borda do cristal, como reflexo do decréscimo da concentração de ETRL ao final da cristalização.

A amostra NP74AD (**74g3**), um leucogranito de um corpo maior isolado, mostra no perfil químico A-B (borda-borda) para monazita, aumento da razão La/Y em direção à borda do grão (Figura 53b). Um outro grão da amostra NP74AD, pequeno (*ca.* 40 μm de comprimento) e idiomórfico, com zoneamento composicional do tipo oscilatório, presente como inclusão em feldspato alcalino, preserva possivelmente a história de evolução magmática inicial da amostra. Esse grão mostra aumento da razão La/Y em direção às bordas do cristal.

A monazita da amostra NP40AB (**40g2**), um granada-biotita granito (cinza) venulado do início do afloramento NP40, não mostra uma tendência de variação núcleo-borda tão clara como nos exemplos acima, sendo parcialmente mascarada por zoneamento composicional oscilatório, provavelmente magmático (Figura 53c). No Perfil2 C-D (Figura 53c) ocorre um aumento brusco da razão La/Y em direção à borda do grão.

Gnaisses

A amostra NP74AB, um granada-biotita gnaiss bandado típico do afloramento NP74 (grupo 3), mostra padrão de fracionamento dos ETRL para monazita, traduzido na diminuição da

razão $(La/Sm)_N$ em direção às bordas do cristal, comportamento muito parecido ao das amostras de leucogranito (Figura 53d). Entretanto, o fracionamento dos ETRP, traduzido na diminuição em direção às bordas do grão da razão La/Y , é o oposto do observado na monazita de amostras de leucogranitos do mesmo afloramento.

Os grãos de monazita da amostra NP109, um granada biotita paragneisse coletado na Rodovia Fernão Dias (grupo 2), mostram zoneamento composicional oscilatório, bastante marcado, que é visível na imagem de elétrons retroespalhados apresentada na Figura 53e. No ponto 7, porção bastante clara e central do perfil, é possível observar aumento relativamente forte das razões $(La/Sm)_N$ e $(La/Dy)_N$ e Th/U . Outro grão aparentemente homogêneo dessa mesma amostra também apresenta zoneamento composicional oscilatório (Figura 53e), com forte diminuição da razão La/Y e aumento da razão $(La/Sm)_N$ para uma das bordas do grão.

Figura 53 - (a) Imagens de elétrons retroespalhados (BSE) e perfil químico A-B (Borda - Núcleo claro - núcleo escuro) de monazita da amostra NP74D (vênula de leucogranito no granito cinza **74g1**). A porção mais clara do grão apresenta alto Th (baixo U) e a porção mais escura possui alto U (baixo Th). Note: o grão de monazita é idiomórfico com um núcleo externo, mais claro, e núcleo interno mais escuro e com contato irregular.

Figura 53 - (b) Imagens de elétrons retroespalhados (BSE) e perfil químico A-B (Borda - Borda) de monazita do leucogranito 74AD (74g3). Note as bordas de coloração mais clara com alto Th.

Figura 53 - (c) Imagens de elétrons retroespalhados (BSE) e perfil químico C-D (Borda - Borda) de monazita do granito cinza 40AB (40g2). Note as bordas de coloração mais clara com alto Th.

Figura 53 - (d) Imagens de elétrons retroespalhados (BSE) e perfil químico A-B (Borda - Borda) da monazita 1 da amostra de gnaiss 74AB. Note o pequeno núcleo zonado.

Figura 53 - (e) Imagens de elétrons retroespalhados (BSE) e perfil químico A-B (Borda - Borda) da monazita 1 do paragneiss 109A. Note a ausência de zoneamento aparente que não se confirma nos perfis químicos.

7.2.3. Biotita

A biotita dos granitos é consistentemente distinta da dos gnaisses, com #mg mais baixos (<0,42 para todas as amostras analisadas, exceto NP74AD (**74g3**), que tem valores entre 0,42 e 0,50). Entretanto, os valores de Al^{IV} são pouco variados (entre 2,53 e 2,66 átomos p.f.u.; Figura 54; Anexo 4c) e semelhantes aos dos gnaisses. Os teores de Ti são relativamente baixos, variando entre 0 e 0,47% para os granitos. Os aumento nos valores de Ti encontra correspondente na diminuição do #mg ($Mg/(Mg+Fe^{2+})$), melhor observado na amostra de leucogranito NP74AD (Figura 54). Os baixos valores de Ti observados em algumas análises refletem provavelmente processos secundários, como a troca de Fe e Mg entre granada e biotita, formando biotita esverdeada com altos teores de Mg. Os teores de Mn são baixos, sendo que as amostras de leucogranitos aplíticos NP74U e Z (**74g2**), apresentam os valores mais altos, variando entre 0,01 e 0,05 átomos p.f.u., enquanto o restante do conjunto mostra valores inferiores a 0,01 átomo p.f.u (Figura 54). A biotita dos granitos cinza **74g1** e **40g2** mostra composição similar à dos leucogranitos das vênulas, que em parte se sobrepõe à do leucogranito **74g3**.

A biotita dos gnaisses, assim como nos granitos, mostra pequena variação dos teores de Al^{IV} dentro dos conjuntos analisados, variando entre 2,4 e 2,7 átomos p.f.u. A biotita dos gnaisses mais finos NP74V e NP40AO (grupo 3) apresenta os menores valores de Al^{IV} , assim como os menores valores de fe# (0,35 - 0,45), destacando-se dessa forma dos conjuntos analisados (Figura 54). Os valores de Ti variam entre 0,26 e 0,48 átomos p.f.u., e valores menores que estes devem estar refletindo processos secundários, pois são acompanhados de uma diminuição do fe# em análises em bordas de grão (Figura 54). Os valores de Mn são muito baixos, inferiores a 0,031 átomos p.f.u. (Figura 54).

As concentrações de ETR em biotita obtidas por LA-ICPMS são muito baixas, sendo em muitos casos próximas dos limites de detecção (0.01 ppm). Apresentam anomalia positiva de Eu bastante variável ($Eu/Eu^* \sim 0.2$ e 200), porém em média maiores que a do plagioclásio das mesmas amostras (próximo item). As biotitas dos granitos são em geral bem mais pobres em Cr e Ni quando comparadas às dos gnaisses. A biotita da amostra 74AD do leucogranito **74g3** apresenta os menores valores de Ba.

Figura 54 - Diagramas de variação química para biotita de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

7.2.4. Feldspatos

O plagioclásio dos granitos dos afloramentos NP40 e NP74 tem composição de oligoclásio, com uma pequena variação para o campo da andesina dada pelas amostras de leucogranitos aplíticos e pegmatíticos do afloramento NP74 (**74g2**; amostras NP74U e Z) (Figura 55; Anexo 4d). Os teores de An do plagioclásio dos leucogranitos aplíticos variam entre 24 e 31, do leucogranito NP74AD (**74g3**) entre 20 e 21, dos granitos cinza do afloramento NP40 entre 18 e 23 e dos leucogranitos do afloramento **NP40** entre 13 e 21 (Figura 55). O plagioclásio dos gnaisses dos afloramentos NP40, NP74 e NP109 tem composição no campo da andesina com uma pequena variação para o campo do oligoclásio, com teores de An entre 28 e 50. A amostra de gnaiss tonalítico fino NP74V (grupo 3) é uma exceção dentro do conjunto, pois mostra teores de An variando entre 60 e 75 (labradorita - bytownita) (Figura 55).

O plagioclásio apresenta anomalia positiva de Eu, com valores menos acentuados que aqueles encontrados na literatura (*e.g.*, Bea, 1996), sendo mais acentuada nos gnaisses ($Eu/Eu^* \sim 2 - 7$). Mostra um forte fracionamento dos ETRL/ETRP, principalmente nos granitos (Figuras 56a e b). Os teores de Ba e Sr apresentados por granitos e gnaisses são intermediários, e os menores valores são observados no plagioclásio do leucogranito **74g3**. Embora os valores de Sc (~ 5 e 20 ppm) e Y ($\sim 0.2 - 2$ ppm) não sejam elevados, eles permitem delimitar campos entre os granitos e gnaisses, sendo que os granitos são mais pobres nestes elementos (Figura 57).

Foram também analisados alguns poucos grãos de feldspato alcalino de leucogranitos dos dois principais afloramentos (**40g1**, **74g2** e **74g4**). O intervalo de variação composicional observado foi de $Ab_{20}Or_{80}$ a Ab_8Or_{92} . Os teores de Ba são relativamente altos e variam de 1000 a 3500 ppm, sendo que este intervalo é dado pelo plagioclásio do leucogranito **74g2**, que apresentou os maiores e menores valores observados (Anexo 4d).

Figura 55 - Diagramas de variação química para plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Figura 56 - (a) Padrão de ETR normalizado para o condrito (Boyton, 1984) de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista-Atibaia (SP). Note a pequena anomalia positiva de Eu do plagioclásio das amostras NP40AB e NP74AD.

Figura 56 - (b) Medidas do fracionamento dos ETR ($(La/Yb)_N$) e da anomalia de Eu (Eu/Eu^*) de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista – Atibaia (SP).

Figura 57 - Diagramas de variação de elementos traços de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista – Atibaia (SP).

7.3. Discussão

7.3.1. A presença de restitos

Como discutido em capítulos anteriores, a presença de restitos nos granitos Nazaré Paulista, em especial no granito cinza do corpo 74g1, é uma hipótese bastante provável, e a química mineral é uma ferramenta importante para testá-la, em particular no caso da granada.

Entre os granitos estudados apenas a granada do granito cinza **40g2** e a do leucogranito que venula o granito cinza 74g1 não apresentam núcleos enriquecidos em ETRP e Y, reconhecidos como herança de núcleos metamórficos (e.g. Otamendi *et al.*, 1992). A granada desses dois granitos é pobre em ETRP e representa o produto peritético formado durante reação de fusão incongruente. A granada da vênula mostra aumento, embora sutil, dos ETRP em direção a borda do grão, que é interpretado como sendo registro da fusão progressiva e dissolução de fases ricas em ETRP, com a incorporação desses elementos no fundido (Harris, *et al.*, 1995).

Os núcleos enriquecidos em ETRP e Y da granada dos outros granitos são interpretadas como o registro da presença de restitos no magma. A variação química na granada desses granitos é bastante acentuada e registra provavelmente eventos metamórficos e anatéticos. Em geral, a granada apresenta bordas pobres em ETRP e Y, que devem representar o produto peritético da reação de quebra de micas, onde nenhuma fase rica em ETRP participa da fusão.

A monazita do leucogranito da vênula mostra freqüente núcleo com alto Y, baixo Th e ETR, de contorno irregular, mantido por uma porção idiomórfica de menor Y e mais baixa razão (Sm/Nd)_N. Muito provavelmente esses núcleos representam um evento anterior à anatexia, e portanto representam monazita restítica, até então inclusa em biotita e liberada durante a fusão. No entanto, essa monazita não foi completamente dissolvida no fundido, servindo de núcleo para monazita magmática dos leucogranitos. Enquanto isto, a borda deve representar cristalização a partir de um magma que se enriqueceu em ETRL devido à dissolução (ainda que incompleta) de cristais de monazita. Essa monazita deve ter crescido em equilíbrio com granada, e o leve enriquecimento em ETRP para as bordas da granada poderia ser também reflexo da dissolução de monazita no magma, uma vez que a granada tem preferência na incorporação desses elementos, também presentes na monazita.

Embora os cristais de monazita, em geral, apresentem zoneamentos bem marcados, não foram observados grãos em outras amostras, que não os do par granito cinza-vênula, com núcleos com aspecto textural indicativo de processos de dissolução incompletos, mantidos por porção ígnea.

Além da granada e monazita, plagioclásio e quartzo também devem em parte ser restíticos, no granito cinza, como mostram evidências texturais (quartzo como inclusões arredondadas em feldspatos e granada) e geoquímicas (*cf.* Janasi, 1999).

Desse modo, a química mineral confirma a presença de restitos nos granitos Nazaré Paulista, inclusive nos leucogranitos, como já indicado pela química de rocha. O processo não eficiente entre a separação do fundido e fases não fundidas da rocha fonte é sem dúvida um mecanismo importante de diferenciação, pois desloca para longe do mínimo granítico o *mush* primário (Chappell *et al.*, 1987).

7.3.2. A diversidade de granitos Nazaré Paulista: fontes variadas versus processos de fracionamento magmático

Um objetivo principal deste capítulo é utilizar a composição química dos minerais para investigar os processos responsáveis pela diversidade composicional dos granitos Nazaré Paulista.

Como discutido no item anterior, restitos estão presentes em muitas das variedades de granito Nazaré Paulista, e sua separação representa um importante mecanismo de diferenciação (Chappell *et al.*, 1987). Outros mecanismos devem ter sido também muito importantes.

7.3.3. A origem da venulação

A venulação dos granada-biotita granitos cinza por granada leucogranitos não parece estar relacionada a processos simples de fracionamento por separação de restitos. A hipótese preferida na discussão principal (*cf.* capítulo 6) foi a de que o granito cinza representa um *mush* de fundido e restitos (incluindo granada, biotita e fases acessórias) e as vênulas de leucogranito foram formadas pela refusão, de parte, desse *mush* durante processo de descompressão (associado à ascensão do magma). Essa hipótese é suportada pelos dados de química mineral: (1) a formação de granada leucogranitos isentos de biotita é normalmente atribuída a significativo aumento do Mn no magma residual, que se refletiria no aumento do componente espessartita na granada do leucogranito (Abbott, 1981), o que não é observado; (2) núcleos de monazita do leucogranito com textura de corrosão são compatíveis com dissolução parcial e incorporação ao fundido, registrando assim episódios discretos na história de cristalização desse granito; esses núcleos mostram composição química similar à de porções da monazita do granito cinza, e devem estar relacionados à história de formação do granito, anterior à formação das vênulas; (3) a granada dos leucogranitos da vênula mostra enriquecimento de ETRP para as bordas, que provavelmente coincide com a liberação e dissolução de fases acessórias ricas em ETR no fundido, que até então estavam inclusas em biotita; (4) a biotita e o plagioclásio do leucogranito da vênula apresentam composição química similar à do granito cinza, não apontando para o fracionamento dessas fases.

7.3.4. A diversidade dos granitos cinzentos

Embora os granitos cinza dos dois afloramentos principais tenham a mesma idade de cristalização, esses dois granitos apresentaram diferenças significativas na química de rocha e de

granada. A granada do granito cinza 40g2 é mais rica no componente no almandina e não mostrou presença de herança, ou seja núcleos ricos em ETRP e Y. Além disso, a granada do granito cinza 40g2 apresenta razões $(\text{Sm/Gd})_N$ maiores em comparação com a granada do granito cinza 74g1, provavelmente refletindo o meio mais rico em ETRL no qual essas granadas cresceram.

7.3.5. A diversidade dos leucogranitos isolados

A química mineral oferece vários elementos importantes na avaliação sobre o significado da diversidade de leucogranitos formando corpos isolados. Por outro lado, os dados de geoquímica de rocha não permitiram identificar com segurança se o leucogranito 74g2 é produto de fracionamento do granito cinza 74g1, ou da fusão de uma fonte diferente. A presença de restitos no leucogranito 74g2, no caso a granada com alto ETRP e Y, é mais uma vez um entrave ao processo de fracionamento. Por outro lado, granada magmática com altos teores de Y e ETRP já foi registrada na literatura (Harris *et al.*, 1995). Desse modo, a granada desse granito apresenta alto componente espessartita, que deve estar refletindo o meio, uma vez que a pouca biotita presente nesse granito também mostra os mais altos teores de Mn. Além disso, a sua formação a partir do fracionamento do granito cinza deveria ser registrada pelo fracionamento do plagioclásio, que deveria ser mais sódico, porém o plagioclásio do leucogranito mostra composição similar à do granito cinza, incompatível assim com fracionamento simples. Raciocínio similar pode ser feito para os corpos de leucogranitos 40g1 e 40g4, em relação ao granito cinza do mesmo afloramento.

O leucogranito do corpo 40g3 é um bom candidato a produto de fracionamento do granito cinza. Esse granito não acusou a presença de restitos, mostrou padrão de ETR da granada paralelo ao dos granitos cinza, porém mais enriquecido. A granada desse leucogranito (40g3) mostrou um amplo espectro de variação, com enriquecimento em Mn e Fe em direção às bordas dos grãos, compatíveis com processos de fracionamento. Esses dados, aliados aos dados de química de rocha e relações de contato, reforçam a hipótese de sua formação por fracionamento do granito cinza 40g2.

A hipótese de que o leucogranito 74g3 corresponde a um produto direto da fusão de paragnaisses similares aos presentes no afloramento NP74, ganhou um reforço na química mineral. A granada desse leucogranito também apresentou núcleos com alto ETRP e Y, provavelmente núcleos metamórficos herdados. Cabe contudo frisar que a granada desse leucogranito mostra teores de V sempre muito baixos, enquanto que a granada dos paragnaisses mostra os maiores teores de V (~20 ppm). Por outro lado, a monazita desse leucogranito mostra muita semelhança com a monazita dos paragnaisses, característica considerada aqui de grande reforço na hipótese do paragnaisse como fonte direta e única desse leucogranito.

Em conclusão, as boas correlações apresentadas nos diagramas de química de rocha, apontando muitas vezes a formação dos leucogranitos por processo de fracionamento, em especial, do granito cinza, não encontraram em muitos casos correspondência na química mineral. Assim, essas boas correlações da química de rocha, muito mais que processos de diferenciação de um mesmo magma, podem estar apontando para uma fonte grosso modo similar, da qual foram produzidos diferentes magmas, seja por mudanças nas condições de fusão, ou seja por diferenças da eficiência na formação, segregação e extração de fundido.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo terá por objetivos alinhar as principais conclusões apresentadas nos capítulos anteriores, e tecer algumas considerações aplicáveis aos processos de geração de granitos na crosta.

Diversos trabalhos têm sido conduzidos em regiões onde a área fonte de magmas graníticos encontra-se exposta (regiões migmatíticas, como por exemplo, Toledo na Espanha, Barbero *et al.*, 1995; e nos Apalaches, EUA, Solar & Brown, 2001) ou encontra-se bem caracterizada, como é o caso do Himalaia (e.g., Harris *et al.*, 1995). No extremo meridional da Nappe Socorro Guaxupé, região de Atibaia (SP), afloram os granada-biotita granitos anatéticos Nazaré Paulista e rochas metassedimentares migmatizadas, seus potenciais protolitos, que vêm sendo alvo de diversas investigações, motivadas principalmente pela composição peculiar e pela boa exposição dessas rochas. Dois extensos afloramentos foram alvo de levantamentos de campo de detalhe, que procuraram reconhecer toda a diversidade de rochas presentes e suas relações mútuas. A investigação de processos de geração e coleta de magmas na crosta continental foi conduzida nestes dois afloramentos utilizando como ferramentas principais a geoquímica de elementos maiores e traços em rochas (por FRX e ICP-MS) e minerais (por microsonda eletrônica e LA-ICPMS) e a isotopia Sr-Nd (ID-TIMS).

O granito Nazaré Paulista tem uma ampla variedade composicional, sendo as duas variedades principais um granada leucogranito e um granada-biotita granito cinza com uma rede de vênulas de leucogranito (~625 Ma, U-Pb monazita). Ambos os tipos formam nos dois afloramentos corpos de dimensões decamétricas; onde foram observadas as relações de contato que indicam a intrusão posterior dos granada leucogranitos. Os corpos principais de granada leucogranito são internamente muito heterogêneos e distintos entre si. Esses granitos formam corpos sub-concordantes, gerados provavelmente em níveis mais profundos, que invadem paragneisses migmatizados e equilibraram a temperaturas de 720-780 °C e pressões de 5-6 kbar. Alguns desses granitos carregam xenólitos com assinatura isotópica de $\epsilon\text{Nd}(t)$ distinta dos paragneisses encaixantes, provavelmente mais consistentes com a esperada de sua fonte. Os corpos de dimensões maiores são formados pelos granitos cinza, interpretados como *mushes* carregados de restito, que aparentemente precisam de condutos de dimensões maiores quando comparados com os leucogranitos, que ocorrem em corpos menores e devem corresponder a líquidos próximos do mínimo (*cf.* Sawyer, 1994). A migração desses magmas se deu sob condições extensionais, como revelado pelas estruturas observadas nos afloramentos principais (e.g., falhas normais preenchidas, mostrando que a extensão foi sin-magmática). Conforme o modelo de Brown (2004), a ascensão vertical desses magmas ocorreria depois de uma drenagem horizontal (leucossomas), estabelecendo assim uma conexão entre os migmatitos e os granitos, que foi investigada neste trabalho. Conforme

Sawyer (1994) a segregação do fundido se inicia quando uma rede interconectada de fundido é formada e a fonte se torna permeável e esse fundido é levado por gradientes de pressão, do restito em direção a sítios extensionais. O aumento da pressão dos poros promovido por reações de fusão que envolvem o aumento de volume (reações de quebra de micas) seria um fator secundário uma vez que se observa segregação eficiente mesmo em terrenos em que a fusão se dá por reações com dV negativo (em presença de água).

A relação genética entre os granitos Nazaré Paulista e os migmatitos associados foi investigada em uma amostra de metatexitos típicos sendo reconhecidos dois tipos de leucossomas: (1) granada-biotita tonalito com baixa razão Rb/Sr (0,3), padrões de ETR pouco fracionados ($(La/Yb)_N = 4-5$) e com anomalia negativa de Eu e assinatura isotópica Sr-Nd idêntica à do mesossoma ($^{87}Sr/^{86}Sr(t) = \sim 0,728$ e $\epsilon Nd_{(t)} = -8$); (2) granada leucogranito, com razão Rb/Sr de 0,56, padrões de ETR pouco fracionados ($(La/Yb)_N = 5$), porém com teores totais de ETR menores, com anomalia positiva de Eu e $\epsilon Nd_{(t)}$ idêntico ao do mesossoma, mas com $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)}$ mais baixa. A similaridade do ϵNd foi uma das características utilizadas para relacionar geneticamente as diferentes porções do migmatito. Ambos os tipos de leucossomas são distintos dos granitos e foram interpretados como produtos da fusão em presença de água do paragnaisse, respectivamente antes e depois da geração de feldspato potássico no protolito. Diferentemente dos leucossomas estudados por Solar & Brown (2001) os leucossomas tonalíticos não exibem um caráter residual, caracterizado pela anomalia positiva de Eu, e portanto não podem ser interpretados como resíduos deixados após a extração de frações líquidas de composição granítica.

Alguns contrastes geoquímicos relevantes são observados entre os granitos cinza e os leucogranitos: os primeiros apresentam maior mg# e Zr e padrões de ETR mais fracionados; as razões Rb-Sr de ambos os tipos são semelhantes (0,4-0,7). A assinatura isotópica Sr-Nd dos granitos mostra importante variação ($\epsilon Nd_{(t)} = -16$ a -13 e $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t)} = 0,716-0,728$); apenas duas amostras de leucogranito têm assinatura coincidente com o campo dos paragnaisses regionais. Uma diferença sistemática, embora sutil, é observada na assinatura isotópica de Nd, onde todo o conjunto de granitos do afloramento NP40 apresenta $\epsilon Nd \sim 2$ unidades mais negativos que os corpos do afloramento NP74. Outras diferenças químicas são observadas, como por exemplo, razões $Ca/(Na+K)$ mais baixas, sugerindo origem a partir de magmas distintos. Embora na literatura existam propostas de que a assinatura isotópica dos paragnaisses encaixantes não é compatível com a esperada da fonte dos granitos Nazaré Paulista (Ragatki, 1998) ou que um componente adicional, como os ortognaisses regionais, pode estar presente nos granitos cinza (Janasi, 1999), nesta tese foi explorada a possibilidade de que esses granitos tenham como fonte única o pacote de paragnaisse regional. Conforme argumentado por Harris *et al* (1995) só é possível gerar fundidos graníticos com razão Rb/Sr menor que a de seus protolitos metassedimentares se a fusão ocorrer em desequilíbrio e em presença de água. Knesel & Davidson (2002) mostram que leucogranitos dos Himalaias podem

ter se gerado em dois episódios distintos a partir de uma mesma fonte, o primeiro por quebra de muscovita e o segundo em presença de água. Nesse sentido a fusão em presença de água e em condições de desequilíbrio podem ter gerado granitos Nazaré Paulista com baixa razão Rb/Sr e assinatura isotópica variável a partir de uma mesma fonte metassedimentar.

A química de elementos traços em granada foi fundamental para a identificação dos diversos processos de diferenciação que respondem pela variedade de granitos observada. Parte dos granitos cinza carrega um componente restítico, representado por granadas com núcleos ricos em ETRP+Y semelhantes às granadas dos paragnaisses encaixantes. As vênulas de granada leucogranito que cortam o granito cinza são formadas provavelmente pela “refusão” do *mush* original durante a rápida ascensão e exibem granadas pobres em ETRP, cujos teores aumentam para a borda, definindo um padrão tipicamente magmático.

Os leucogranitos que formam corpos isolados podem em parte corresponder a diferenciados do granito cinza, conforme indicado pelas relações de campo e pela geoquímica de rocha. No entanto os leucogranitos com alta $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ apresentam granadas com núcleos ricos em ETRP+Y e monazita com composição similar a dos paragnaisses, reforçando a hipótese de serem estes produtos da fusão direta de paragnaisses.

Embora não possa ser descartada a fusão por quebra de mica, as evidências acima apontam fortemente para fusão em presença de água na geração dos granitos Nazaré Paulista. As datações U-Pb disponíveis mostram que a geração dos granitos Nazaré Paulista cobrem um intervalo de tempo (625-610 Ma) coincidente com a geração do principal volume de granitos cálcio alcalinos na Nappe Socorro Guaxupé (e.g., Ebert *et al.*, 1996; Janasi, 1999). Nesse cenário a anatexia na área pode ter sido promovida pela mobilização de fluidos associada à movimentação e cristalização de expressivo volume de magmas cálcio alcalinos no ambiente de arco magmático, que também deve ser responsável pelo forte gradiente térmico na área que possibilitou a fusão em níveis relativamente rasos. Essa situação é análoga à observada em migmatitos gerados em tetos pendentes do batólito Serra Nevada, oeste dos EUA (Zeng *et al.*, 2005b).

9. REFERÊNCIAS

- Anderson, J.L.** 1983. Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America. *Geological Society of America Memoir*, **161**: 133-154.
- Anderson, J.L.** 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **87**: 125-138.
- Artur, A.C.; Wernick, E.; Hormann, P.K. & Weber-Diebenfach, K.** 1993. Associações plutônicas do Complexo Granitóide Socorro (Estados de São Paulo e Minas Gerais, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, **23**:265-273.
- Ashworth, J. R.** 1985. Introduction. In: Ashworth, J. R. (ed) *Migmatites*, 1-35, Blackie, Glasgow.
- Ayres, M. & Harris, N.** 1997. REE fractionation and Nd-isotope disequilibrium during crustal anatexis: constraints from Himalayan leucogranites. *Chemical Geology*, **129**: 249-269.
- Ayres, M.; Harris, N. & Vance, D.** 1997. Possible constraints on anatectic melt residence times from accessory mineral dissolution rates: an example from Himalayan leucogranites. *Mineralogical Magazine* **61**: 29-36.
- Barbero, L.; Villaseca, C.; Rogers, G. & Brown, P.E.** 1995. Geochemical and isotopic disequilibrium in crustal melting: An insight from the anatectic granitoids from Toledo, Spain. *Journal of Geophysical Research*, **100(B8)**: 15745-15765.
- Barbey, P.; Brouand, M.; Le Fort, P. & Pêcher, A.** 1996. Granite-migmatite genetic link : The example of the Manaslu granite and Tibetan Slab migmatites in central Nepal. *Lithos*, **38**: 63-79.
- Barker, F.** 1979. Trondhjemite: Definition, environment and hypothesis of origin. In: Barker F. ed. *Trondhjemites, Dacites and Related Rocks*, pp. 1-12. Elsevier, Amsterdam.
- Barth, A.P.; Wooden, J.L. & Coleman, D.S.** 2001. SHRIMP-RG U-Pb zircon geochronology of Mesoproterozoic metamorphism and plutonism in the southwesternmost United States. *Journal of Geology*, **109**: 319-327.
- Basei, M.A.S.; Siga Jr., O.; Sato, K. & Sproesser, W. M.** 1995. A metodologia urânio chumbo na Universidade de São Paulo: princípios metodológicos, aplicações e resultados obtidos. *Anais da Acad. Brás. Cienc.* **67(2)**: 221-237.
- Bastin, G.F.; van Loo, F.J.J. & Heijligers, H.J.M.** 1984. Evaluation and use of gaussian ($\Phi(pz)$) curves in quantitative electron probe microanalysis: a new optimization. *X-ray Spectrometry*, **13**: 91-97.
- Bea F. & Montero P.** 1999. Behavior of accessory phases and redistribution of Zr, REE, Y, Th, and U during metamorphism and partial melting of metapelites in the lower crust: an example from the Kinzigite Formation of Ivrea-Verbano, NW, Italy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **63**: 1133-1153.
- Bea, F.; Pereira, M.D. & Stroh, A.** 1994. Mineral/leucosome trace-element partitioning in a peraluminous migmatite (a laser-ablation-ICP-MS study). *Chemical Geology*, **117**: 291-312.
- Bea F.; Montero P.; Stroh A. & Baasner J.** 1996. Microanalysis of minerals by an Excimer UV-LA-ICP-MS system. *Chemical Geology*, **133**:145-156.
- Bea, F.** 1996a. Residence of REE, Y, Th and U in granites and protoliths; implications for the chemistry of crustal melts. *Journal of Petrology*, **37 (3)**: 521-552.
- Bea, F.** 1996b. Controls on the trace-element composition of crustal melts. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **87**: 33-41.

- Becker, A.; Holtz, F. & Johannes, W.** 1998. Liquidus temperatures and phase compositions in the system Qz-Ab-Or at 5 kbar and very low water activities *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **130**: 213-224.
- Boyton, W.R.** 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements meteorite studies. In: *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam: 63-114.
- Brearley, A.J. & Rubie, D.C.** 1990. Effects of H₂O on the disequilibrium breakdown of muscovite and quartz. *Journal of Petrology*, **31**: 925-956.
- Brown, M. & Solar, G. S.** 1999. The mechanism of ascent and emplacement of granite magma during transpression: a syntectonic granite paradigm. *Tectonophysics*, **312**:1-33..
- Brown, M.; Rushmer T. & Sawyer, E. W.** 1995. Introduction to special section: Mechanisms and consequences of melting segregation from crustal protoliths. *Journal of Geophysical Research* **100** (B8): 15,551-15,563.
- Brown, M. A.; Brown, M.; Carlson, W. D. & Denison, C.** 1999. Topology of syntectonic melt flow networks in the deep crust: inferences from three-dimensional images of leucosome geometry in migmatites. *American Mineralogist*, **84**: 1793-1818.
- Brown, M.** 1973. The definition of metatexis, diatexis and migmatite. *Procedures of the Geological Association*, **84**: 371-382.
- Brown, M.** 1994. The generation, segregation, ascent and emplacement of granite magma: the migmatite-to-crustally-derived granite connection in thickened orogens. *Earth-Science Reviews*, **36**: 83-100.
- Brown, M.** 2001. Crustal Melting and Granite Magmatism: Key Issues. *Phys. Chem. Earth (A)*, **26(4-5)**: 201-212.
- Brown, M.** 2002. Retrograde processes in migmatites and granulites revisited. *J. Metamorphic Geol.*, **20**: 25-40.
- Brown, M.** 2004. The mechanism of melt extraction from lower continental crust of orogens. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **95**: 35-48.
- Campos Neto, M.C. & Caby, R.**, 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics*, **19(4)**: 669-687.
- Campos Neto, M.C.; Basei, M.A.S.; Artur, A.C.; Silva, M.E.; Machado, R.; Dias Neto, C.M.; Fragoso Cesar, A.R.** 1983. Geologia das Folhas Piracaia e Igaratá. In: 1ª Jornada sobre a Carta Geológica do Estado de São Paulo em 1:50.000. PRÓ-MINÉRIO, São Paulo, p. 61-78.
- Carrington D. P. & Watt G. R.** 1995. A geochemical and experimental study of the role of K-feldspar during water-undersaturated melting of metapelites. *Chemical Geology*, **122**: 59-76.
- Castro, A.; Patiño Douce, A.E.; Corretgé, L.G.; De La Rosa, J.D.; El-Biad, M. & El-Hmidi, H.** 1999. Origin of peraluminous granites and granodiorites, Iberian massif, Spain. An experimental test of granite petrogenesis. *Contributions to Mineralogy & petrology*, **135**: 255-276.
- Chappell, B.W.; White, A.J.R. & Wyborn, D.** 1987. The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis. *Journal of Petrology*, **28(6)**: 1111-1138.
- Chernoff, C. B. & Carlson, W. D.** 1999. Trace element zoning as a record of chemical disequilibrium during garnet growth. *Geology*, **27**: 555-558.
- Clemens, J.D. & Droop, G.R.T.** 1988. Fluids, P-T paths and the fates of anatetic melts in the Earth's crust. *Lithos*, **44**, 21-36.
- Clemens, J.D. & Vielzeuf, D.** 1987. Constraints on melting and magma production in the crust. *Earth and Planetary Science Letters*, **86**: 287-306.

- Clemens, J.D.** 1988. Volume and composition relationships between granites and their lower crustal sources: an example from central Victoria, Australia. *Aust. J. Earth Sci.*, **35**:445-49.
- Davies R.G & Tommasini S.** 2000. Isotopic disequilibrium during rapid crustal anatexis: implications for petrogenetic studies of magmatic processes. *Chemical Geology*, **162**: 169-191.
- Del Lama, E.A.; Zanardo, A.; Oliveira, M.A.F. & Morales, N.** 2000. Exhumation of high-pressure granulites of the Guaxupé Complex, Southeastern Brazil. *Geological Journal*, **35**: 231-249.
- DePaolo, D.J.** 1988. Neodymium Isotope Geochemistry, An Introduction. Springer-Verlag, Berlin, 187.
- Ebadi, A. & Johannes, W.** 1991. Beginning of melting and composition of first melts in the system Qz-Ab-Or-H₂O-CO₂. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **106**: 286-295.
- Ebert, H.D.; Chemale Jr., F.; Babinski, M.; Artur, A.C. & Van Schmus, W.R.** 1996. Tectonic setting and U/Pb zircon dating of the plutonic Socorro Complex in the Transpressive Rio Paraíba do Sul Shear Belt, SE Brazil. *Tectonics*, **15**(2): 688-699.
- Evans, O. C. & Hanson, G. N.** 1993. Accessory-mineral fractionation of rare-earth element (REE) abundances in granitoid rocks. *Chemical Geology*, **110**, 69-93.
- Figueiredo, M. C. H. & Campos Neto, M. C.** 1994. O arco magmático cálcio-alcalino de alto-K da microplaca Apiaí-Guaxupé. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú-SC, SBG, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*, **1**:620-621.
- Fornelli, A.; Piccarreta, G.; Del Moro, A. & Acquafredda, P.** 2002. Multi-stage melting in the lower crust of Serre (Southern Italy). *Journal of Petrology*, **43**: 2191-2217.
- Foster, G.; Parrish, R.R.; Horstwood, M.S.A.; Chenery, S.; Pyle, J. & Gibson, H.D.** 2004. The generation of prograde P-T-t points and paths; a textural, compositional, and chronological study of metamorphic monazite. *Earth and Planetary Science Letters*, **228**: 125-142.
- France-Lanord, C. & Le Fort, P.** 1988. Crustal melting and granite genesis during the Himalayan collision orogenesis. *Transactions of the Royal Society of Edinbourg*, **79**: 183-195.
- Haddad, R. C.** 1995. Batolito granitóide Pinhal-Ipuiuna (SP-MG):um exemplo do magnetismo calcio-alcalino potassico neoproterozoico no sudeste brasileiro. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, USP, 270 pp.
- Hammouda, T.; Pichavant, M. & Chaussidon, M.** 1996. Isotopic equilibration during partial melting: an experimental test of the behaviour of Sr. *Earth and Planetary Science Letters*, **144**: 109-121.
- Hand, M. & Dirks, P. H. G. M.** 1992. The influence of deformation on the formation of axial-planar leucosomes and the segregation of small melt bodies within the migmatitic Napperby Gneiss, central Australia. *Journal of Structural Geology*. **14**: 591-604.
- Hanson, G.H.** 1978. The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rock of granitic composition. *Earth and Planetary Science Letters*, **38**: 26-43.
- Harris, N. B. W. & Inger, S.** 1992. Trace element modelling of pelite-derived granites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **110**: 46-56.
- Harris, N. B. W., Gravestick & Inger, S.** 1992. Ion microprobe determinations of trace-element concentrations in garnet from anatectic assemblages. *Gemical Geology*, **100**: 41-59.
- Harris, N.B.W.; Ayres, M. & Massey, J.** 1993. The role of fluids in the formation of High Himalayan Leucogranites. In: Himalayan Tectonics, Ed., by P.J.Treolar & M.P Searle, *Spec. Public. Geol. Soc. London*. **74**: 391-400.

- Harris, N.B.W.; Ayres, M. & Massey, J.** 1995. Geochemistry of granitic melts produced during the incongruent melting of muscovite: Implications for the extraction of Himalayan leucogranite magmas. *Journal of Geophysical Research*, **100**(B8): 15767-15777.
- Harris, N.B.W.; Vance, D. & Ayres, M.W.** 2000. From sediment to granite: timescale of anatexis in the upper crust. *Chemical Geology*, **162**: 155-167.
- Harris, N.B.W.; Vance, D. & Ayres, M.W.** 2000. From sediment to granite: timescale of anatexis in the upper crust. *Chemical Geology*, **162**: 155-167.
- Harris, N.B.W.; Caddick, M.; Kosler, J.; Goswami, S.; Vance, D. & Tindle, A.G.** 2004. The pressure-temperature-time path of migmatites from the Sikkim Himalaya. *Journal of Metamorphic Geology*, **22**: 249-264.
- Harrison, T.M.; Grove, M.; McKeegan, K.D.; Coath, C.D.; Lovera, O.M. & Le Fort, P.** 1999. Origin and episodic emplacement of the Manaslu Intrusive Complex, Central Himalaya. *Journal of Petrology*, **40**(1): 3-19.
- Hickmott, D.D. & Shimizu, N.** 1990. Trace-element zoning in garnet from the Kwoiek area, British Columbia: Disequilibrium partitioning during garnet growth?. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **104**: 619-630.
- Hickmott, D.D.; Shimizu, N.; Spear, F.S. & Selverstone, J.** 1987. Trace-element zoning in a metamorphic garnet. *Geology*, **15**: 573-576.
- Hickmott, D.D.; Sorensen, S. & Rogers, P.** 1990. Trace-element abundances in minerals from a metasomatised garnet-amphibolite, Catalina Schist, Southern California. *GSA Abstr. w. Prog.*, **22**: A349.
- Hoskin, P.W.O.; Kinny, P.D.; Wyborn, D. & Chappell, B.W.** 2000. Identifying accessory mineral saturation during differentiation in granitoid magmas: an integrated approach. *Journal of Petrology*, **41**(9): 1365-1396.
- Inger, S. & Harris, N.** 1993. Geochemical constraints on leucogranite magmatism in the Langtang Valley, Nepal Himalaya. *Journal of Petrology* **34** (2): 345-368.
- Iyer, S. S.; Choudhuri, A.; Pattison, D. R. M.; De Paoli, G. R.** 1996. Petrology and geochemistry of the Neoproterozoic Guaxupe granulite facies terrain, southeastern Brazil. *Precambrian Research*, **77** (1-2): 23-40.
- Jahns, R. H. & Tuttle, O. F.** 1963. Layered pegmatite-aplite intrusives. *Mineralogical Society of America. Special Paper 1*: 78-92.
- Janasi, V.A.; Andrade, S. & Ulbrich, H.H.G.J.** 1995. A correção do *drift* instrumental em ICP-AES com espectrômetro sequencial e a análise de elementos maiores, menores e traços em rochas. *Boletim IG-USP, Série Científica*, **26**: 45-58.
- Janasi, V.A.** 1997. Crustal anatexis and granite genesis in the Socorro-Guaxupé Thrust Nappe, southeastern Brazil: some constraints from elemental geochemistry. *Revista Brasileira de Geociências*, **27**(1): 139-150.
- Janasi, V.A.**; 1999. Petrogênese de granitos crustais na nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica. Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 304pp. (inédita)
- Johannes, W. & Holtz, F.** 1996. *Petrogenesis and experimental petrology of granitic rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 335 p.
- Johannes, W.; Ehlers, C.; Kriegsman, M.L. & Mengel, K.** 2003. The link between migmatites and S-type granites in the Turku area, southern Finland. *Lithos*, **68**: 69-90. Elsevier

- Johnson, T.E.; Brown, M. & Solar, G.S.** 2003. Low-pressure subsolidus and suprasolidus phase equilibria in the MnNCKFMASH system: Constraints on conditions of regional metamorphism in western Main, northern Appalachians. *American Mineralogist*, **88**: 624-638.
- Jung, S. & Mezger, K.** 2001: Geochronology in migmatites: a Sm-Nd, U-Pb and Rb-Sr study from the Proterozoic Damara belt (Namibia): implications for polyphase development of migmatites in high-grade terranes. *J. metam. Geol.*, **19**: 77-97.
- Jung, S.; Hoernes, S.; Masberg, P. & Hoffer, E.** 1999. The petrogenesis of some migmatites and granites (Central Damara Orogen, Namibia): Evidence for disequilibrium melting, wall rock contamination and crystal fractionation. *Journal of Petrology*, **40**: 1241-1269.
- Jung, S.; Mezger, K.; Masberg, P.; Hoffer, E. & Hoernes, S.** 1998: Petrology of an intrusion-related high-grade migmatite: implications for partial melting of metasedimentary rocks and leucosome forming processes. *J. metam. Geology*, **16**, 425-445.
- Jung, S. & Hellebrand E.** 2005. Trace element fractionation during high-grade metamorphism and crustal melting—constraints from ion microprobe data of metapelitic, migmatitic and igneous garnets and implications for Sm–Nd garnet chronology . *Lithos* (in press).
- Knesel K. M. & Davidson J. P.** 2002. Insight into collisional magmatismo from isotopic fingerprints of melting reactions. *Science* **296**: 2206-2208.
- Kohn, M.J. & Malloy, M.A.** 2004. Formation of monazite via prograde metamorphic reactions among common silicates: implications for age determinations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **68**(1):101-113
- Kretz, R.** 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **68**: 277-279.
- Kriegsman, L.M. & Hensen, B. J.** 1998. Back reaction between restite and melt: Implications for geothermobarometry and pressure-temperature paths. *Geology*, **26**: 1111-1114.
- Kriegsman, L.M.** 2001. Partial melting, partial melt extraction, and partial back reaction in anatectic migmatites. In: Kriegsman, L.M. (ed.), Prograde and retrograde processes in migmatites. *Lithos*, **56**: 75-96.
- Le Breton, N. and Thompson, A.B.** 1988. Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **99**: 226-237.
- Mehnert, K.R.** 1968. Migmatites and the origin of granitic rocks. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 405 p.
- Mengel, K.; Richter, M. & Johannes, W.** 2001. Leucosome-forming small-scale geochemical processes in the metapelitic migmatites of the Turku area, Finland. *Lithos*, **56**: 47-73.
- Milord, I; Sawyer, E.W. & Brown, M.** 2001. Formation of diatexite migmatites and granite magma during anatexis of semi-pelitic metasedimentary rocks: An example from St. Malo, France. *Journal of Petrology*, **42**: 487-505.
- Montel, J-M., Foret, S.; Veschambre, M.; Nicollet, C. & Provost, A.** 1996. Electron microprobe dating of monazite. *Chemical Geology*, **131**: 37-53.
- Montel, J.M.** 1993. A model for monazite/melt equilibrium and application to the generation of granitic magmas. *Chemical Geology*, **110**(1/3): 127-146.
- Nabelek, P. I. & Bartlett, C. D.** 1998. Petrologic and geochemical links between the post-collisional Proterozoic Harney Peak leucogranite, South Dakota, USA, and its source rocks: *Lithos*, **45**: 71-85.
- Nabelek, P.I. & Glascock, M.D.** 1995. Rare earth element-depleted leucogranites Black Hills, South Dakota: A consequence of disequilibrium melting of monazite-bearing schists. *Journal of Petrology*, **36**: 1055-1071.

- Nabelek, P.I.** 1999. Trace element distribution among rock-forming minerals in Black Hills migmatites, South Dakota: a case for solid-state equilibrium. *American Mineralogist*, **84**:1256-1269.
- Navarro, M.S.** 2004. A implementação de rotina, e seu refinamento, para a determinação de elementos terras raras em materiais geológicos por ICP-OES e ICP-MS. Aplicação ao caso dos granitóides de Piedade-Ibiúna (SP e Cunhaporanga (PR). *Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências - USP*. 132p.
- Oliveira, M. A. F. & Ruberti, E.,** 1979. Granada-cordierita gnaisses do complexo granulítico-migmatítico de São José do Rio Pardo-Caconde, SP: indicações sobre pressão e temperatura de formação. *Boletim Mineralógico*, Recife, **6**, 15-29.
- Otamendi, J.E. & Patiño Douce, A.** 2001. Partial Melting of Aluminous Metagreywackes in the Northern Sierra de Comechingones, Central Argentina. *J. Petrology*, **42**: 1751-1772.
- Otamendi, J.E.; de la Rosa, J.D.; Patiño Douce, A.E. & Castro A.** 2002. Rayleigh fractionation of heavy rare earths and yttrium during metamorphic garnet growth. *Geology*, **30**: 159-162.
- Pan, Y.** 1997. Zircon and monazite-forming reactions at Manitouwadge, Ontario. *Can Mineral.*, **35**: 105–118
- Patiño Douce A. E. & Beard J. S.** 1995. Dehydration-melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 kbar. *Journal of Petrology*, **36 (3)**: 707-738.
- Patiño Douce A. E. & Harris N.** 1998. Experimental constraints on Himalayan anatexis. *Journal of Petrology*, **39 (4)**: 689-710.
- Patiño Douce, A.E. & Johnston, A.D.** 1991. Phase equilibria and melt productivity in the pelitic system: implications for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **107**: 202-218.
- Patiño Douce A. E.** 1995. Experimental generation of hybrid silicic melts by reaction of high-Al basalt with metamorphic rocks. *Journal of Geophysical Research*, **100(B8)**: 15623-15639.
- Patino Douce, A.E.** 1996. Effects of pressure and H₂O content on the composition of primary crustal melts. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **87**:11-21.
- Patino Douce, A.** 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: A. Castro, C. Fernández & J.L. Vigneresse (Eds.): *Understanding granites: integrating new and classical techniques*. Geological Society, London, Special Publications, **168**, 55-75.
- Petford, N.; Cruden, A.R.; McCaffrey, K.J.W. & Vigneresse. J.-L.** 2000. Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust. *Nature*, **408**: 660-673.
- Pichavant M.; Montel J. M. & Richard L. R.** 1992. Apatite solubility in peraluminous liquids: Experimental data and an extension of the Harrison-Watson model. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **56**: 3855-3861.
- Pickering, J.M. & Johnston, A.D.** 1998. Fluid-absent behavior of two-mica metapelite: experimental constraints on the origin of Black Hills granite. *Journal of Petrology*, **39 (10)**: 1787-1804.
- Poitrasson, F.; Chenery, S. & Bland, D.J.** 1996. Contrasted monazite hydrothermal alteration mechanisms and their geochemical implications. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **145**: 79-96.
- Pressley, R. A. & Brown, M.** 1999. The Phillips Pluton, Maine, USA: Evidence of heterogeneous crustal sources and implications for granite ascent and emplacement mechanisms in convergent orogens. *Lithos*, **49**: 335-366.
- Pyle J. M. & Spear F. S.** 2003. Four generations of accessory-phase growth in low-pressure migmatites from SW New Hampshire. *American Mineralogist*, **88**: 338-351.

- Pyle, J.M.; Spear, F.S.; Rudnick, R.L. & McDonough, W.F.** 2001. Monazite-xenotime-garnet equilibrium in metapelites and a new monazite-garnet thermometer. *Journal of Petrology*, **42**: 2083-2107.
- Ragatki, D.** 1998. Contribuição à geoquímica e geocronologia do Domínio São Roque e da nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé na região de Igaratá e Piracaia, SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 131pp.
- Reed, S.J.B.** 1995. Eletron microprobe microanalysis. In: Potts *et al.*, (Ed.) Microprobe Techniques in the Earth Sciences. Chapman & Hall, 49-90.
- Richard, L.L.** 1995. MINPET Geological Software- mineralogical and petrological data processing system.
- Sawyer, E. W.** 1994. Melt segregation in the continental crust. *Geology*, **22**: 1019-1022.
- Sawyer, E. W.** 1996. Melt segregation and magma flow in migmatites: implications for the generation of granite magmas. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* **87**: 85-94.
- Sawyer, E. W.** 1998. Formation and evolution of granite magmas during crustal reworking, the significance of diatexites. *Journal of Petrology*, **39**: 1147-1167.
- Sawyer, E. W.** 1999. Criteria for the recognition of partial melting. *Physics and Chemistry of the Earth*, **24**: 269-279.
- Sawyer, E.W.** 2001. Melt segregation in the continental crust: distribution and movement of melt in anatetic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, **19**: 291-310.
- Scaillet B., Pêcher A.; Rochette P. & Champenois M.** 1995. The Gangroti granite (Garhwal Himalaya): Laccolithic emplacement in an extending collisional belt. *Journal of Geophysical Research*, **100** (B1):585-607.
- Scherrer, N.C.; Engi, M.; Gnos, E.; Jakob, V. & Liechti, A.** 2000 - Monazite analysis: from sample preparation to microprobe age dating and REE quantification. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, **80**:93-105.
- Solar, G. S. & Brown, M.** 2001. Petrogenesis of Migmatites in Maine, USA: Possible source of peraluminous leucogranite in plutons. *Journal of Petrology*, **42**: 789-823.
- Spear, F.S. & Daniel, C. G.** 2001. Diffusion control of garnet growth, Harpswell Neck, Maine, USA. *Journal of Metamorphic Geology*, **19** (2): 179-195.
- Spear, F. S. & Kohn, M. J.** 1996. Trace element zoning in garnet as a monitor of crustal melting. *Geology*, **24**: 1099-1102.
- Spear, F. S. & Pyle, J. M.** 2002. Phosphates in metamorphic rocks. *Rev. Mineral*, **48**: 293-335.
- Spear, F.S.; Kohn, M.J. & Cheney, J.T.** 1999. *P-T* paths from anatetic pelites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **134**: 17-32.
- Stevens, G.; Clemens, J.D. & Droop, G.T.R.** 1997. Melt production during granulite facies anatexis: experimental data from 'primitive' metasedimentary protoliths. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **128**: 352-370.
- Sylvester, P.** 2001. Trace Element Analysis of Fused Whole Rock Glasses by Laser-Ablation ICPMS. In: Laser-Ablation-ICPMS in the Earth Sciences: Principles and Applications, edited by P. Sylvester, **29**: 147-162. Short Course Series. *Mineralogical Association of Canada*, St. Johns, Newfoundland.
- Tassinari, C.C.G.** 1988. As idades das rochas e dos eventos metamórficos da porção sudeste do Estado de São Paulo e sua evolução crustal. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 236 pp. (inédita)

- Taylor, S.R. & McLennan, S.M.** 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- Thompson, A. B.** 1996. Fertility of crustal rocks during anatexis. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **87**: 1-10.
- Tommasini, S. & Davies, G.R.** 1997. Isotopic disequilibrium during anatexis: a case study of contact melting. Sierra Nevada, California. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **48**: 273-285.
- Topfner, C.** 1996. Brasiliano Granitoide in den Bundesstaaten São Paulo und Minas Gerais, Brasilien - Eine Vergleichende Studie. *Müchner Geologische Hefte* **A17**: 258p.
- Vasconcellos, A. C. B. C.; Harris, N. B. W. & Tindle, A. G.,** 1991. The relationship between metamorphism and tectonics: evidence from the Socorro-Guaxupé thrust nappe, southeastern Brazil. *Res. Terrae*, Ser. A, number 5, Oulu, Finland, p. 86
- Vielzeuf, D. and Clemens, J.D.** 1992. The fluid-absent melting of phlogopite + quartz: experiments and models. *American Mineralogist*, **77**: 1206-1222.
- Vielzeuf D. & Montel J. M.** 1994. Partial melting of metagreywackes. Part I. Fluid-absent experiments and phase relationships. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **117**: 375-393.
- Villaseca, C.; Martín Romera, C. & Barbero, L.** 2001. Melts and residua geochemistry in a low-to-mid crustal section (Central Spain). *Phys. Chem. Earth*, **26**: 273-280.
- Vlach, S.R.F.; Gualda, G.A.R. & Chiessi, C.M.** 1999. Electron microprobe monazite dating: first results for two granites from Southeastern Brazil. In: II South American Symposium on Isotope Geology, 1999, Cordoba, Argentina. Actas of the II South American Symposium on Isotope Geology, p. 518-521.
- Vlach, S.F. & Gualda, G.A.R.** 2000. Microprobe monazite dating and the ages of some granitic and metamorphic rocks from southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30(1-3)**: 214-218.
- Watson E. B. & Harrison T. M.** 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, **64**: 295-304.
- Watson, E.B. & Harrison, T.M.** 1984. Accessory minerals and the geochemical evolution of crustal magmatic systems: a summary and prospectus of experimental approaches. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **35**:19-30.
- Watson, E.B.; Vicenzi, E.P. & Rapp, R.P.** 1989. Inclusion/host relations involving accessory minerals in high-grade metamorphic and anatectic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **101**: 220-231.
- Watt, G.R. & Harley, S. L.** 1993. Accessory phase controls on the geochemistry of crustal melts and restites produced during water-undersaturated partial melting. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **114**: 550-566.
- Wedepohl, K.H.** 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59(7)**: 1217-1232.
- Wernick, E., Weber-Diefenbach, K. & Correia, P.R.** 1987. O granitóide Nazaré Paulista: dados petrográficos, químicos e de tipologia do zircão. In: Simpósio Regional de Geologia, 6, Rio Claro, SP. Atas, SBG-NSP, **1**: 123-134.
- Wernick, E., Hormann, P. K., Artur, A. C. & Eulert, H.** 1984. Aspectos petrológicos do complexo granítico de Socorro (SP/MG): dados analíticos e discussão preliminar. *Rev. Bras. Geoc.* **14**: 23-29.
- Whittington A.G. & Treloar, P.J.** 2002. Crustal anatexis and its relation to the exhumation of collisional orogenic belts, with particular reference to the Himalaya. *Mineralogical Magazine*, **66(1)**: 53-91.

- Wimmenauer, W., & Bryhni, I.** 2002. Towards a unified nomenclature of metamorphism: Migmatites and related rocks. A proposal on behalf of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. Provisional recommendations (*website version*).
- Zen, E-an.** 1989. Plumbing the depths of batholiths. *American Journal of Science*, **289**:137-1157.
- Zeng, L., Asimow, P., Saleeby J.B.** 2005a. Coupling of anatectic reactions and dissolution of accessory phases and the Sr and Nd isotope systematics of anatectic melts from a metasedimentary source. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **69**:3671-3682.
- Zeng, L., Saleeby, J.B. & Ducea, M.** 2005b. Geochemical characteristics of crustal anatexis during the formation of migmatite at the Southern Sierra Nevada, California. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **150**: 386–402.

ANEXOS

Anexo 1

Anexo 1 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP). 1

Anexo 2

Anexo 2a - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de **granada** de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP). 1

Anexo 2b - Resultados de análises químicas de cristais de **monazita** de migmatitos por microsonda eletrônica. Análises por *laser ablation* de algumas amostras são apresentadas na página seguinte 10

Anexo 2c. Composição química, em porcentagem de peso, de **biotita** de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP). Análises por *laser ablation* de algumas amostras são apresentadas na página seguinte 12

Anexo 2d - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de plagioclásio e feldspato alcalino de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP). Dados de feldspato alcalino na pág. 16. 14

Anexo 3

Anexo 3 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP). 1

Anexo 4

Anexo 4a - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, Laser Ablation-ICPMS) de **granada** de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP). As análises de LA-ICPMS são apresentadas a partir da partir da página 14.... 1

Anexo 4b - Resultados de análises químicas de cristais de **monazita** de granitos e paragneisses por microsonda eletrônica. Análises por *laser ablation* de algumas amostras apresentadas a partir da página 26..... 20

Anexo 4c. Composição química, em porcentagem de peso, de **biotita** das rochas graníticas e gnáissicas da região de Nazaré Paulista (SP). 28

Anexo 4d - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de **plagioclásio** de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista. Dados para **feldspato alcalino** na pág.42..... 34

Anexo 1

Anexo 1 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Leucossoma granítico			Leucossoma tonalítico			Mesosoma		
	Migmatito total	Leuc1	Leuc5	Leuc2	Leuc3	Leuc4	Mes6	Mes7	Mes8
SiO ₂	73.76	73.24	75.3	80.41	80.01	80.12	68.53	67.47	62.93
TiO ₂	0.62	0.05	0.32	0.15	0.12	0.11	1.02	1.06	1.16
Al ₂ O ₃	11.16	13.51	12.37	9.18	10.31	10.26	12.85	13.38	14.18
Fe ₂ O ₃	4.89	2.19	2.64	2.66	3.24	3.01	6.82	6.69	8.43
FeO	4.4	1.97	2.38	2.39	2.92	2.71	6.14	6.02	7.59
MnO	0.08	0.1	0.05	0.07	0.09	0.009	0.1	0.1	0.16
MgO	1.93	0.43	0.95	0.71	0.79	0.76	2.84	2.85	3.4
CaO	1.51	1.05	1.25	1.8	1.86	1.89	1.4	1.77	1.85
Na ₂ O	1.87	1.88	1.88	2.04	2.18	2.23	1.92	2.21	2.23
K ₂ O	2.92	6.72	5.27	0.79	1.26	1.1	4.18	3.5	3.37
P ₂ O ₅	0.03	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
Perda ao fogo	0.48	0.46	0.55	0.44	0.34	0.31	0.6	0.6	0.64
Total	99.25	99.68	100.62	98.3	100.25	99.84	100.29	99.65	98.37
Q	42.87	32.56	38.46	59.65	54.73	55.57	30.53	29.9	24.34
Or	16.74	39.28	30.43	4.66	7.25	6.36	23.36	19.7	18.93
An	7.09	4.86	5.83	8.62	8.69	8.95	6.4	8.25	8.61
ab	15.32	15.7	15.51	17.2	17.92	18.43	15.33	17.78	17.9
Cr	56								
Ni	20								
Co	12								
Sc	10	7.61	5.68	10.48	14.5		13.8	11	
V	61	15	22	15	15	15	84	85	98
Cu	32								
Pb	33	47.7	35.8	14.2	18.6		20.3	17.7	
K	24236	55776	43741	6557	10458	9130	34694	29050	27971
Rb	129	136	139	40.4	48.03		208	194	
Cs	3	0.86	1.57	0.54	0.6		4.05	3.98	
Ba	440	1299	966	234	307	271	585	449	428
Sr	128	243	201	132	141	146	142	144	139
Ta	0.86	0.31	0.54	0.13	0.17		0.98	1.16	
Nb	10.6	3.01	7.11	3.5	3.76		17.4	18.4	
Hf	6.8	0.6	3.31	3.12	2.29		9.37	9.94	
Zr	254	20.5	117	125.8	79.6	61	332	369	358
Y	39.8	17.3	14.3	37.5	52.9	46	43.9	45.6	53
Th	16.4	5.06	7.6	10.04	12.03		18.9	15.9	
U	2.38	0.75	1.43	1.69	2.3		3.25	3.25	
La	40.7	14.6	22.6	29	32.9	37	50.2	44.4	47
Ce	74.2	27.2	44.3	58.8	65		93.5	88.1	
Pr	9.5	3.07	5.39	7.1	8.24		11.5	10.2	
Nd	35.5	11.8	20.8	27.3	31.7		46.6	41.9	
Sm	7.07	2.36	4.31	6.02	7.1		9.47	8.66	
Eu	1.12	1.81	1.62	1.14	1.31		1.5	1.35	
Gd	6.55	2.14	3.38	5.8	6.79		7.25	7.87	
Tb	1.11	0.41	0.44	0.9	1.18		1.21	1.15	
Dy	6.45	2.76	2.41	5.6	7.6		7.4	7.36	
Ho	1.41	0.66	0.53	1.4	1.98		1.67	1.69	
Er	4.13	1.77	1.43	3.9	5.78		4.49	5.09	
Tm	0.63	0.29	0.22	0.6	0.81		0.57	0.65	
Yb	3.86	1.9	1.36	3.7	5.28		3.95	4.24	
Lu	0.564	0.28	0.21	0.52	0.75		0.61	0.66	
A/CNK	1.24	1.1	1.12	1.23	1.24	1.24	1.26	1.26	1.33
A/NK	1.79	1.3	1.41	2.18	2.08	2.11	1.67	1.8	1.94
mg#	43.88	28.01	41.57	34.62	32.53	33.33	45.19	45.76	44.39
FeO+TiO ₂ +MgO	6.95	2.45	3.65	3.25	3.83	3.58	10	9.93	12.15
K/Rb	187.88	410.12	314.68	162.3	217.74		166.8	149.74	
Rb/Sr	1.01	0.56	0.69	0.31	0.34		1.46	1.35	
Sr/Ba	0.29	0.19	0.21	0.56	0.46	0.54	0.24	0.32	0.32
Eu/Eu*	0.5	2.46	1.3	0.59	0.58		0.55	0.5	
(La/Yb) _N	7.11	5.18	11.2	5.28	4.2		8.57	7.06	
(La/Sm) _N	3.62	3.89	3.3	3.03	2.91		3.33	3.23	
(Gd/Yb) _N	1.37	0.91	2.01	1.26	1.04		1.48	1.5	
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.124	0.123			0.135		0.125		
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.51188	0.51187			0.51197		0.51191		
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.75244	0.73107			0.73699		0.76265		
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	2.85	1.686			0.8805		4.007		
εNd _(610 Ma)	9	9			8		8.4		
Sr _(610 Ma)	0.727	0.716406			0.72914		0.727796		
TDM	1.98	2			2.1		1.9		
T _{Zr} sat °C		640	748	795	755	735			
T _{ETR} sat °C		702	730	780	790				

Elementos maiores em % em peso; elementos menores e traços em ppm; Q-Ab-Or-An normativo CIPW; mg# = Mg/Mg+Fe; Eu/Eu* = Eu_N/√(Sm_N x Gd_N); TDM = idade modelo segundo DePaolo, 1988; T_{Zr} = temperatura de saturação em zircão, Watson & Harrison, 1983; T_{ETR} = temperatura em saturação em monazita, Montel, 1993.

Anexo 2

Anexo 2a - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostras	Leucossoma granítico									
	Leuc1-L1- Grt2-1	Leuc1-L1- Grt2-2	Leuc1-L1- Grt2-3	Leuc1-L1- Grt2-4	Leuc1-L1- Grt2-5	Leuc1-L1- Grt2-6	Leuc1-L1- Grt2-7	Leuc1-L1- Grt2-8	Leuc1-L1- Grt2-9	Leuc1-L1- Grt3-1
SiO ₂	37.77	38.05	38.35	37.83	38.06	38.17	37.99	38.22	37.66	37.79
Al ₂ O ₃	22.14	21.88	22.18	22.44	22.63	22.25	21.91	22.11	22.08	22.35
FeO	30.98	29.75	28.66	29.03	29.04	29.79	30.53	29.22	30.53	30.76
MnO	1.83	1.60	1.87	1.98	1.82	1.61	1.86	1.89	2.03	1.69
MgO	5.38	7.03	6.68	6.66	6.76	6.97	6.33	6.63	5.73	6.22
CaO	1.45	1.62	1.66	1.70	1.67	1.55	1.53	1.72	1.64	1.62
Total	99.55	99.94	99.40	99.63	99.99	100.33	100.17	99.82	99.66	100.43
TSi	5.991	5.953	6.029	5.937	5.946	5.947	5.959	5.991	5.954	5.913
TAI	0.009	0.047	0	0.063	0.054	0.053	0.041	0.009	0.046	0.087
ΣT	6	6	6.029	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	4.125	3.984	4.106	4.084	4.11	4.029	4.007	4.074	4.065	4.029
ΣA	4.126	3.984	4.108	4.084	4.111	4.029	4.01	4.081	4.065	4.03
Fe ²⁺	4.109	3.892	3.769	3.811	3.793	3.881	4.005	3.831	4.037	4.024
Mg	1.273	1.639	1.566	1.557	1.575	1.62	1.481	1.55	1.349	1.45
Mn	0.246	0.212	0.248	0.263	0.241	0.212	0.247	0.25	0.272	0.223
Ca	0.246	0.272	0.28	0.285	0.279	0.259	0.258	0.288	0.277	0.272
ΣB	5.874	6.016	5.863	5.916	5.889	5.971	5.99	5.919	5.935	5.97
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes moleculares										
Almandina	70	64.7	64.3	64.4	64.4	65	66.9	64.7	68	67.4
Piropo	21.7	27.2	26.7	26.3	26.7	27.1	24.7	26.2	22.7	24.3
Essessartita	4.2	3.5	4.2	4.4	4.1	3.5	4.1	4.2	4.6	3.7
Grossulária	4.2	4.5	4.8	4.8	4.7	4.3	4.3	4.9	4.7	4.6
Elementos traços (ppm)										
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05	10.63	10.10	15.28
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07	12.96	19.09	43.02
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31	4.48	1.91	25.05
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84	33.58	30.61	22.41
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73	96.36	89.01	44.45
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23	10.92	19.87	18.06
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26	0.26	0.47	0.45
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17	204.18	142.27	46.58
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.07
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03		0.05	0.05	0.14
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24	0.08	0.31	0.69
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13	0.19	0.09	0.12
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07	0.53	0.33	0.35
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03			0.02
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99	1.63	1.32	1.46
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65	4.07	6.72	3.42
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91	748.62	462.67	234.58
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01			0.02
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02		0.01		0.04
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40	0.04	0.46	0.23
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38	1.16	0.88	1.15
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.13	0.15
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71	9.81	9.12	10.50
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38	3.35	3.33	3.82
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03	51.97	42.61	52.02
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17	21.35	11.32	12.31
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56	88.40	25.13	26.20
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51	20.76	3.35	2.93
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36	146.37	16.46	15.74
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40	25.16	2.50	1.96
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13	0.11	0.14	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19	0.16	0.13	0.15
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31	0.05	0.45	0.54
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69	0.23	1.68	2.15

Anexo 2

Anexo 2a – (cont.) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostras	Leucossoma granítico									
	leuc1-L1- Grt3-2	leuc1-L1- Grt3-3	leuc2-L2- Grt11	leuc2-L2- Grt12	leuc2-L2- Grt13	leuc2-L2- Grt4-1	leuc2-L2- Grt4-2	leuc2-L2- Grt6-1	leuc2-L2- Grt6-2	leuc2-L2- Grt6-3
SiO ₂	37.99	38.24	38.16	38.19	38.48	37.69	37.86	38.17	38.32	38.13
Al ₂ O ₃	22.12	21.99	21.91	22.27	21.90	22.04	21.91	22.22	22.47	22.13
FeO	30.10	31.03	31.73	30.13	29.81	30.73	31.25	29.95	29.30	29.32
MnO	1.44	1.57	1.27	1.03	1.12	1.09	1.42	1.09	1.07	1.07
MgO	6.41	6.39	6.28	7.29	7.39	6.94	5.79	7.61	7.62	7.49
CaO	1.64	1.39	1.49	1.55	1.55	1.37	1.51	1.59	1.51	1.52
Total	99.72	100.69	100.83	100.51	100.28	99.88	99.74	100.64	100.33	99.68
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios										
TSi	5.971	5.97	5.955	5.929	5.986	5.906	5.983	5.907	5.941	5.956
TAl	0.029	0.03	0.045	0.071	0.014	0.094	0.017	0.093	0.059	0.044
ΣT	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	4.065	4.012	3.981	4.001	3.998	3.974	4.06	3.957	4.043	4.025
ΣA	4.072	4.021	3.981	4.006	4.002	3.976	4.062	3.962	4.05	4.031
Fe ²⁺	3.957	4.052	4.141	3.912	3.878	4.027	4.13	3.876	3.799	3.83
Mg	1.503	1.488	1.461	1.688	1.714	1.622	1.364	1.755	1.761	1.743
Mn	0.192	0.208	0.167	0.135	0.148	0.145	0.189	0.142	0.14	0.142
Ca	0.276	0.232	0.25	0.258	0.258	0.23	0.255	0.264	0.25	0.254
ΣB	5.928	5.979	6.019	5.994	5.998	6.024	5.938	6.038	5.95	5.969
Componentes moleculares										
Almandina	66.8	67.8	68.8	65.3	64.7	66.8	69.6	64.2	63.8	64.2
Piropo	25.4	24.9	24.3	28.2	28.6	26.9	23	29.1	29.6	29.2
Espessartita	3.2	3.5	2.8	2.3	2.5	2.4	3.2	2.4	2.4	2.4
Grossulária	4.7	3.9	4.2	4.3	4.3	3.8	4.3	4.4	4.2	4.3
Elementos traços (ppm)										
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05	10.63	10.10	15.28
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07	12.96	19.09	43.02
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31	4.48	1.91	25.05
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84	33.58	30.61	22.41
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73	96.36	89.01	44.45
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23	10.92	19.87	18.06
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26	0.26	0.47	0.45
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17	204.18	142.27	46.58
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.07
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03		0.05	0.05	0.14
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24	0.08	0.31	0.69
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13	0.19	0.09	0.12
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07	0.53	0.33	0.35
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03			0.02
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99	1.63	1.32	1.46
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65	4.07	6.72	3.42
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91	748.62	462.67	234.58
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01			0.02
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02		0.01		0.04
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40	0.04	0.46	0.23
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38	1.16	0.88	1.15
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.13	0.15
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71	9.81	9.12	10.50
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38	3.35	3.33	3.82
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03	51.97	42.61	52.02
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17	21.35	11.32	12.31
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56	88.40	25.13	26.20
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51	20.76	3.35	2.93
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36	146.37	16.46	15.74
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40	25.16	2.50	1.96
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13	0.11	0.14	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19	0.16	0.13	0.15
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31	0.05	0.45	0.54
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69	0.23	1.68	2.15

Anexo 2

Anexo 2a – (cont.) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostras	Leucossoma Tonalítico									
	leuc3-L3- Grt3-1	leuc3-L3- Grt3-2	leuc3-L3- Grt3-3	leuc3-L3- Grt3-4	leuc3-L3- Grt 3-5	leuc3-L4- Grt 11	leuc3-L4- Grt 12	leuc3-L4- Grt 13	leuc3-L4- Grt 14	leuc3-L4- Grt 15
SiO ₂	38.30	38.09	38.25	38.14	38.11	37.88	37.86	37.56	37.31	37.22
Al ₂ O ₃	22.39	22.14	22.22	22.17	22.10	22.00	22.08	22.06	22.10	22.00
FeO	30.02	29.89	29.78	29.59	29.86	29.66	28.72	29.35	29.66	32.05
MnO	1.18	1.30	1.28	1.25	1.35	1.28	1.21	1.11	1.17	1.50
MgO	7.32	7.28	7.24	7.20	7.12	6.84	7.31	7.41	7.39	5.39
CaO	1.53	1.46	1.57	1.70	1.57	1.60	1.73	1.70	1.69	1.45
Total	100.75	100.20	100.34	100.10	100.12	99.25	98.93	99.21	99.32	99.64
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios										
TSi	5.93	5.934	5.947	5.945	5.945	5.965	5.957	5.898	5.854	5.907
TAI	0.07	0.066	0.053	0.055	0.055	0.035	0.043	0.102	0.146	0.093
ΣST	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	4.013	3.995	4.016	4.015	4.006	4.045	4.048	3.977	3.939	4.02
ΣA	4.015	4	4.019	4.022	4.006	4.049	4.053	3.978	3.939	4.024
Fe ²⁺	3.887	3.894	3.873	3.857	3.896	3.905	3.779	3.854	3.892	4.254
Mg	1.69	1.692	1.679	1.672	1.657	1.606	1.714	1.734	1.728	1.274
Mn	0.154	0.171	0.168	0.165	0.178	0.17	0.161	0.148	0.156	0.202
Ca	0.254	0.244	0.261	0.284	0.263	0.27	0.292	0.286	0.284	0.246
ΣB	5.985	6	5.981	5.978	5.994	5.951	5.947	6.022	6.061	5.976
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes moleculares										
Almandina	64.9	64.9	64.8	64.5	65	65.6	63.6	64	64.2	71.2
Piropo	28.2	28.2	28.1	28	27.6	27	28.8	28.8	28.5	21.3
Espessartita	2.6	2.8	2.8	2.8	3	2.9	2.7	2.5	2.6	3.4
Grossulária	4.2	4.1	4.4	4.8	4.4	4.5	4.9	4.7	4.7	4.1
Elementos traços (ppm)										
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05	10.63	10.10	15.28
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07	12.96	19.09	43.02
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31	4.48	1.91	25.05
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84	33.58	30.61	22.41
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73	96.36	89.01	44.45
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23	10.92	19.87	18.06
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26	0.26	0.47	0.45
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17	204.18	142.27	46.58
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.07
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03		0.05	0.05	0.14
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24	0.08	0.31	0.69
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13	0.19	0.09	0.12
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07	0.53	0.33	0.35
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03			0.02
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99	1.63	1.32	1.46
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65	4.07	6.72	3.42
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91	748.62	462.67	234.58
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01			0.02
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02		0.01		0.04
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40	0.04	0.46	0.23
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38	1.16	0.88	1.15
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.13	0.15
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71	9.81	9.12	10.50
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38	3.35	3.33	3.82
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03	51.97	42.61	52.02
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17	21.35	11.32	12.31
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56	88.40	25.13	26.20
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51	20.76	3.35	2.93
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36	146.37	16.46	15.74
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40	25.16	2.50	1.96
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13	0.11	0.14	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19	0.16	0.13	0.15
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31	0.05	0.45	0.54
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69	0.23	1.68	2.15

Anexo 2

Anexo 2a – (cont.) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Leucossoma tonalítico										
Amostras	leuc3-L4- Grt 2-1	leuc3-L4- Grt 2-2	leuc3-L4- Grt 2-3	leuc4-L5- Grt 11	leuc4-L5- Grt 12	leuc4-L5- Grt 13	leuc4-L5- Grt 2-1	leuc4-L5- Grt 2-2	leuc4-L5- Grt 2-3	leuc4-L5- Grt 3-1
SiO ₂	37.38	37.53	37.68	38.14	37.71	37.58	37.56	38.15	37.98	37.12
Al ₂ O ₃	21.93	21.89	22.07	21.96	21.98	21.97	21.82	22.17	21.78	21.58
FeO	31.34	30.20	30.19	30.36	30.60	32.22	32.26	30.24	29.66	34.18
MnO	1.17	1.07	1.12	1.08	1.07	1.19	1.15	1.18	1.07	1.77
MgO	5.89	6.77	7.09	6.93	6.77	5.80	5.95	7.14	7.40	3.73
CaO	1.49	1.50	1.53	1.55	1.51	1.46	1.47	1.48	1.51	1.48
Total	99.22	98.97	99.66	100.07	99.68	100.22	100.21	100.36	99.41	99.92
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios										
TSi	5.933	5.935	5.907	5.963	5.925	5.916	5.911	5.938	5.955	5.95
TAI	0.067	0.065	0.093	0.037	0.075	0.084	0.089	0.062	0.045	0.05
ΣST	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	4.032	4.012	3.982	4.006	3.993	3.988	3.954	4.002	3.978	4.023
ΣA	4.037	4.013	3.982	4.013	3.997	3.991	3.957	4.003	3.983	4.033
Fe ²⁺	4.159	3.993	3.958	3.97	4.021	4.242	4.245	3.937	3.89	4.581
Mg	1.394	1.595	1.656	1.615	1.586	1.361	1.396	1.658	1.731	0.891
Mn	0.158	0.144	0.148	0.143	0.142	0.159	0.154	0.156	0.143	0.241
Ca	0.253	0.255	0.256	0.259	0.254	0.247	0.248	0.247	0.254	0.253
ΣB	5.963	5.987	6.018	5.987	6.003	6.009	6.043	5.997	6.017	5.967
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes moleculares										
Almandina	69.7	66.7	65.8	66.3	67	70.6	70.2	65.6	64.6	76.8
Piropo	23.4	26.6	27.5	27	26.4	22.6	23.1	27.6	28.8	14.9
Essessartita	2.6	2.4	2.5	2.4	2.4	2.6	2.5	2.6	2.4	4
Grossulária	4.2	4.3	4.3	4.3	4.2	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2
Elementos traços (ppm)										
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05	10.63	10.10	15.28
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07	12.96	19.09	43.02
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31	4.48	1.91	25.05
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84	33.58	30.61	22.41
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73	96.36	89.01	44.45
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23	10.92	19.87	18.06
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26	0.26	0.47	0.45
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17	204.18	142.27	46.58
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.07
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03		0.05	0.05	0.14
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24	0.08	0.31	0.69
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13	0.19	0.09	0.12
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07	0.53	0.33	0.35
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03			0.02
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99	1.63	1.32	1.46
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65	4.07	6.72	3.42
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91	748.62	462.67	234.58
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01			0.02
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02		0.01		0.04
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40	0.04	0.46	0.23
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38	1.16	0.88	1.15
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.13	0.15
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71	9.81	9.12	10.50
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38	3.35	3.33	3.82
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03	51.97	42.61	52.02
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17	21.35	11.32	12.31
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56	88.40	25.13	26.20
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51	20.76	3.35	2.93
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36	146.37	16.46	15.74
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40	25.16	2.50	1.96
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13	0.11	0.14	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19	0.16	0.13	0.15
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31	0.05	0.45	0.54
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69	0.23	1.68	2.15

Anexo 2

Anexo 2a – (cont.) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostras	Leuc. ton.		Melanossoma							
	leuc4-L5- Grt 3-2	mel1-L1- Grt11	mel1-L1- Grt 12	mel1-L1- Grt 13	mel1-L1- Grt 14	mel1-L1- Grt 15	mel1-L1- Grt 16	mel1-L1- Grt 4-1	mel1-L1- Grt 4-2	mel2-L2- Grt 2-1
SiO ₂	37.71	38.34	38.11	38.12	37.99	37.82	38.12	37.75	37.96	37.21
Al ₂ O ₃	21.69	22.20	22.50	22.19	22.20	22.43	22.01	22.06	22.08	21.79
FeO	32.69	29.50	29.85	29.92	29.24	30.03	29.70	30.65	30.29	33.09
MnO	1.40	1.21	1.29	1.23	1.31	1.23	1.21	1.74	1.57	1.69
MgO	4.80	7.12	6.82	7.15	6.71	7.12	6.80	5.81	6.05	5.19
CaO	1.47	1.58	1.58	1.68	1.67	1.67	1.64	1.60	1.63	1.51
Total	99.75	100.00	100.16	100.29	99.12	100.32	99.54	99.64	99.59	100.54
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios										
TSi	6.001	5.983	5.946	5.932	5.987	5.885	5.989	5.966	5.989	5.873
TAI	0	0.017	0.054	0.068	0.013	0.115	0.011	0.034	0.011	0.127
ΣST	6.001	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	4.064	4.063	4.081	3.999	4.108	3.995	4.061	4.073	4.093	3.922
ΣA	4.069	4.071	4.084	4.005	4.112	4	4.069	4.076	4.095	3.932
Fe ²⁺	4.351	3.849	3.896	3.894	3.854	3.908	3.902	4.05	3.997	4.367
Mg	1.14	1.656	1.586	1.66	1.576	1.652	1.592	1.37	1.423	1.22
Mn	0.189	0.16	0.17	0.162	0.175	0.162	0.161	0.233	0.21	0.226
Ca	0.25	0.264	0.264	0.28	0.283	0.278	0.275	0.271	0.275	0.255
ΣB	5.93	5.929	5.916	5.995	5.888	6	5.931	5.924	5.905	6.068
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes moleculares										
Almandina	73.4	64.9	65.9	64.9	65.5	65.1	65.8	68.4	67.7	72
Piropo	19.2	27.9	26.8	27.7	26.8	27.5	26.8	23.1	24.1	20.1
Espessartita	3.2	2.7	2.9	2.7	3	2.7	2.7	3.9	3.6	3.7
Grossulária	4.2	4.5	4.5	4.7	4.8	4.6	4.6	4.6	4.7	4.2
Elementos traços (ppm)										
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05	10.63	10.10	15.28
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07	12.96	19.09	43.02
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31	4.48	1.91	25.05
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84	33.58	30.61	22.41
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73	96.36	89.01	44.45
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23	10.92	19.87	18.06
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26	0.26	0.47	0.45
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17	204.18	142.27	46.58
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.07
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03		0.05	0.05	0.14
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24	0.08	0.31	0.69
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13	0.19	0.09	0.12
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07	0.53	0.33	0.35
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03			0.02
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99	1.63	1.32	1.46
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65	4.07	6.72	3.42
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91	748.62	462.67	234.58
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01			0.02
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02		0.01		0.04
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40	0.04	0.46	0.23
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38	1.16	0.88	1.15
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.13	0.15
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71	9.81	9.12	10.50
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38	3.35	3.33	3.82
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03	51.97	42.61	52.02
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17	21.35	11.32	12.31
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56	88.40	25.13	26.20
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51	20.76	3.35	2.93
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36	146.37	16.46	15.74
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40	25.16	2.50	1.96
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13	0.11	0.14	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19	0.16	0.13	0.15
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31	0.05	0.45	0.54
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69	0.23	1.68	2.15

Anexo 2

Anexo 2a – (cont.) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostras	Melanossoma									
	mel2-L2- Grt 2-2	mel2-L2- Grt 2-3	mel2-L2- Grt 3-1	mel2-L2- Grt 5-1	mel2-L2- Grt 5-2	mel2-L2- Grt 5-3	mel2-L3- Grt 2-1	mel2-L3- Grt 2-2	mel3-L4- Grt 3-1	mel3-L4- Grt 3-2
SiO ₂	38.04	38.06	37.58	37.77	37.48	37.39	37.43	37.40	37.69	37.84
Al ₂ O ₃	22.14	22.18	21.77	21.67	21.91	21.82	22.02	21.92	22.16	22.06
FeO	30.72	29.89	31.22	32.07	31.49	30.57	31.70	32.31	30.75	29.93
MnO	1.08	1.13	1.33	2.14	1.71	1.63	2.23	2.52	1.18	1.13
MgO	6.99	7.09	5.34	5.20	5.61	6.16	5.05	4.69	6.59	6.96
CaO	1.55	1.57	1.69	1.54	1.34	1.53	1.55	1.50	1.52	1.48
Total	100.54	99.92	98.92	100.39	99.56	99.18	100.01	100.33	99.91	99.40
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios										
TSi	5.917	5.948	5.999	5.965	5.943	5.928	5.931	5.926	5.914	5.948
TAI	0.083	0.052	0.001	0.035	0.057	0.072	0.069	0.074	0.086	0.052
ΣST	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	3.974	4.03	4.092	3.995	4.034	4.002	4.04	4.017	4.008	4.032
ΣA	3.983	4.031	4.092	3.995	4.041	4.013	4.043	4.019	4.011	4.036
Fe ²⁺	3.996	3.906	4.169	4.235	4.176	4.053	4.201	4.282	4.035	3.934
Mg	1.62	1.653	1.27	1.224	1.326	1.455	1.193	1.107	1.542	1.63
Mn	0.142	0.149	0.18	0.286	0.229	0.219	0.299	0.338	0.156	0.151
Ca	0.259	0.262	0.289	0.26	0.228	0.26	0.263	0.254	0.256	0.249
ΣB	6.017	5.969	5.908	6.005	5.959	5.987	5.957	5.981	5.989	5.964
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes moleculares										
Almandina	66.4	65.4	70.6	70.5	70.1	67.7	70.5	71.6	67.4	66
Piropo	26.9	27.7	21.5	20.4	22.3	24.3	20	18.5	25.7	27.3
Espessartita	2.4	2.5	3	4.8	3.8	3.7	5	5.7	2.6	2.5
Grossulária	4.3	4.4	4.9	4.3	3.8	4.3	4.4	4.2	4.3	4.2
Elementos traços (ppm)										
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05	10.63	10.10	15.28
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07	12.96	19.09	43.02
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31	4.48	1.91	25.05
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84	33.58	30.61	22.41
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73	96.36	89.01	44.45
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23	10.92	19.87	18.06
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26	0.26	0.47	0.45
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17	204.18	142.27	46.58
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.07
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03		0.05	0.05	0.14
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24	0.08	0.31	0.69
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13	0.19	0.09	0.12
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07	0.53	0.33	0.35
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03			0.02
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99	1.63	1.32	1.46
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65	4.07	6.72	3.42
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91	748.62	462.67	234.58
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01			0.02
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02		0.01		0.04
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40	0.04	0.46	0.23
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38	1.16	0.88	1.15
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.13	0.15
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71	9.81	9.12	10.50
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38	3.35	3.33	3.82
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03	51.97	42.61	52.02
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17	21.35	11.32	12.31
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56	88.40	25.13	26.20
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51	20.76	3.35	2.93
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36	146.37	16.46	15.74
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40	25.16	2.50	1.96
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13	0.11	0.14	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19	0.16	0.13	0.15
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31	0.05	0.45	0.54
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69	0.23	1.68	2.15

Anexo 2

Anexo 2a – (cont.) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostras	Melanossoma									
	mel3-L4- Grt 3-3	mel3-L4- Grt 3-4	mel3-L4- Grt 4-1	mel3-L4- Grt 4-2	mel3-L4- Grt 4-3	mel4-L5- Grt 4-1	mel4-L5- Grt 4-2	mel4-L5- Grt 4-3	mel5-L6- Grt 3-2	mel3-L4- Grt 3-3
SiO ₂	37.52	37.18	36.69	37.56	37.37	37.11	37.69	37.18	37.47	37.52
Al ₂ O ₃	22.39	21.84	21.87	22.00	22.03	21.78	22.21	21.81	21.79	22.39
FeO	30.43	31.76	32.31	31.41	30.74	31.53	30.69	30.20	32.20	30.43
MnO	1.08	1.43	2.05	1.33	1.16	1.74	1.19	1.26	1.60	1.08
MgO	6.80	5.81	4.84	6.19	6.72	5.45	6.67	6.70	5.47	6.80
CaO	1.47	1.50	1.52	1.58	1.45	1.61	1.67	1.68	1.47	1.47
Total	99.72	99.56	99.27	100.07	99.52	99.25	100.16	98.90	100.00	99.72
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios										
TSi	5.886	5.89	5.867	5.904	5.883	5.909	5.894	5.888	5.927	5.886
TAI	0.114	0.11	0.133	0.096	0.117	0.091	0.106	0.112	0.073	0.114
ΣST	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	4.022	3.965	3.986	3.978	3.968	3.993	3.984	3.956	3.986	4.022
ΣA	4.027	3.974	3.988	3.978	3.977	3.999	3.993	3.964	3.986	4.027
Fe ²⁺	3.993	4.208	4.321	4.13	4.048	4.198	4.014	3.999	4.259	3.993
Mg	1.59	1.373	1.153	1.449	1.576	1.294	1.556	1.582	1.29	1.59
Mn	0.143	0.191	0.278	0.177	0.154	0.235	0.158	0.169	0.215	0.143
Ca	0.248	0.254	0.26	0.266	0.245	0.274	0.279	0.284	0.249	0.248
ΣB	5.973	6.026	6.012	6.022	6.023	6.001	6.007	6.036	6.014	5.973
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes moleculares										
Almandina	66.8	69.8	71.9	68.6	67.2	70	66.8	66.3	70.8	66.8
Piropo	26.6	22.8	19.2	24.1	26.2	21.6	25.9	26.2	21.5	26.6
Espessartita	2.4	3.2	4.6	2.9	2.6	3.9	2.6	2.8	3.6	2.4
Grossulária	4.2	4.2	4.3	4.4	4.1	4.6	4.6	4.7	4.1	4.2
Elementos traços (ppm)										
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05	10.63	10.10	15.28
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07	12.96	19.09	43.02
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31	4.48	1.91	25.05
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84	33.58	30.61	22.41
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73	96.36	89.01	44.45
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23	10.92	19.87	18.06
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26	0.26	0.47	0.45
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17	204.18	142.27	46.58
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.07
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03		0.05	0.05	0.14
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24	0.08	0.31	0.69
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13	0.19	0.09	0.12
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07	0.53	0.33	0.35
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03			0.02
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99	1.63	1.32	1.46
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65	4.07	6.72	3.42
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91	748.62	462.67	234.58
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01			0.02
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02		0.01		0.04
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40	0.04	0.46	0.23
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38	1.16	0.88	1.15
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.13	0.15
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71	9.81	9.12	10.50
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38	3.35	3.33	3.82
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03	51.97	42.61	52.02
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17	21.35	11.32	12.31
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56	88.40	25.13	26.20
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51	20.76	3.35	2.93
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36	146.37	16.46	15.74
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40	25.16	2.50	1.96
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13	0.11	0.14	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19	0.16	0.13	0.15
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31	0.05	0.45	0.54
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69	0.23	1.68	2.15

Anexo 2

Anexo 2a - (cont.) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostras	Melanoss.			Mesossoma						
	mel5-L6- Grt 3-3	Mes6-L1- Grt 5-1	Mes6-L1- Grt 5-2	Mes6-L1- Grt 5-4	Mes6-L1- Grt 6-1	Mes6-L1- Grt 6-2	Mes6-L1- Grt6-3	Mes6-L3- Grt 11	Mes6-L3- Grt 12	Mes6-L3- Grt 13
SiO ₂	37.29	37.78	37.23	37.56	37.54	37.99	37.82	37.39	38.26	37.91
Al ₂ O ₃	22.13	22.27	22.00	22.26	22.15	21.99	22.42	21.89	21.92	21.98
FeO	31.29	31.28	32.62	32.78	30.56	30.51	30.56	32.27	30.77	31.06
MnO	1.16	1.53	2.34	2.22	1.26	1.11	1.16	2.16	1.36	1.57
MgO	6.55	5.77	4.28	4.55	6.36	6.91	6.69	5.08	6.69	6.21
CaO	1.55	1.47	0.91	1.46	1.53	1.54	1.54	1.53	1.56	1.56
Total	100.00	100.13	99.38	100.85	99.51	100.09	100.21	100.32	100.62	100.29
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios										
TSi	5.852	5.946	5.968	5.925	5.918	5.939	5.909	5.909	5.963	5.945
TAI	0.148	0.054	0.032	0.075	0.082	0.061	0.091	0.091	0.037	0.055
ΣST	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlVI	3.942	4.074	4.121	4.061	4.031	3.988	4.035	3.984	3.987	4.004
ΣA	3.946	4.077	4.13	4.064	4.05	3.995	4.037	3.992	3.996	4.004
Fe ²⁺	4.107	4.117	4.373	4.324	4.03	3.99	3.994	4.265	4.01	4.073
Mg	1.532	1.355	1.024	1.069	1.495	1.61	1.559	1.196	1.555	1.453
Mn	0.154	0.204	0.317	0.297	0.168	0.147	0.153	0.289	0.179	0.209
Ca	0.26	0.248	0.156	0.246	0.258	0.258	0.257	0.259	0.26	0.262
ΣB	6.054	5.923	5.87	5.936	5.95	6.005	5.963	6.008	6.004	5.996
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes moleculares										
Almandina	67.9	69.5	74.5	72.8	67.7	66.4	67	71	66.8	67.9
Piropo	25.3	22.9	17.4	18	25.1	26.8	26.1	19.9	25.9	24.2
Espessartita	2.5	3.4	5.4	5	2.8	2.4	2.6	4.8	3	3.5
Grossulária	4.3	4.2	2.7	4.1	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4
Elementos traços (ppm)										
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05	10.63	10.10	15.28
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07	12.96	19.09	43.02
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31	4.48	1.91	25.05
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84	33.58	30.61	22.41
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73	96.36	89.01	44.45
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23	10.92	19.87	18.06
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26	0.26	0.47	0.45
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17	204.18	142.27	46.58
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.07
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03		0.05	0.05	0.14
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24	0.08	0.31	0.69
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13	0.19	0.09	0.12
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07	0.53	0.33	0.35
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03			0.02
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99	1.63	1.32	1.46
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65	4.07	6.72	3.42
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91	748.62	462.67	234.58
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01			0.02
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02		0.01		0.04
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40	0.04	0.46	0.23
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38	1.16	0.88	1.15
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16	0.12	0.13	0.15
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71	9.81	9.12	10.50
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38	3.35	3.33	3.82
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03	51.97	42.61	52.02
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17	21.35	11.32	12.31
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56	88.40	25.13	26.20
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51	20.76	3.35	2.93
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36	146.37	16.46	15.74
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40	25.16	2.50	1.96
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13	0.11	0.14	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19	0.16	0.13	0.15
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31	0.05	0.45	0.54
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69	0.23	1.68	2.15

Anexo 2

Anexo 2a – (cont.) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de granada de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostras	Mesossoma						
	Mes7-L6- Grt 11	Mes7-L6- Grt 12	Mes7-L6- Grt13	Mes7-L6- Grt14	Mes7-L6- Grt 2-1	Mes7-L6- Grt 2-2	Mes7-L6- Grt 2-3
SiO ₂	37.31	37.51	38.00	38.15	37.83	38.34	38.01
Al ₂ O ₃	22.43	21.84	22.17	22.35	22.05	22.05	22.19
FeO	32.02	31.09	28.84	29.78	29.85	28.94	29.13
MnO	1.39	1.28	1.13	1.25	1.17	1.11	1.12
MgO	5.88	5.95	7.40	6.36	6.94	7.25	7.11
CaO	1.45	1.52	1.70	1.67	1.57	1.70	1.75
Total	100.56	99.19	99.23	99.62	99.41	99.39	99.31
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios							
TSi	5.848	5.953	5.959	5.998	5.947	6.01	5.967
TAI	0.152	0.047	0.041	0.002	0.053	0	0.033
ΣST	6	6	6	6	6	6.01	6
AlVI	3.989	4.036	4.053	4.137	4.029	4.07	4.069
ΣA	3.999	4.037	4.053	4.146	4.029	4.071	4.07
Fe ²⁺	4.197	4.126	3.782	3.917	3.924	3.793	3.824
Mg	1.375	1.407	1.729	1.49	1.626	1.694	1.663
Mn	0.185	0.172	0.15	0.166	0.156	0.148	0.149
Ca	0.243	0.258	0.285	0.281	0.265	0.285	0.294
ΣB	6.001	5.963	5.947	5.854	5.971	5.919	5.93
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16
Componentes moleculares							
Almandina	70	69.2	63.6	66.9	65.7	64.1	64.5
Piropo	22.9	23.6	29.1	25.5	27.2	28.6	28
Espessartita	3.1	2.9	2.5	2.8	2.6	2.5	2.5
Grossulária	4.1	4.3	4.8	4.8	4.4	4.8	5
Elementos traços (ppm)							
Li	6.36	9.57	8.02	8.71	6.83	6.90	8.05
Cr	25.59	14.43	20.90	21.55	24.91	17.56	28.07
Ni	3.84	3.04	3.18	4.05	3.55	4.62	4.31
Co	26.62	34.42	35.35	34.81	36.86	37.98	33.84
Sc	48.40	78.84	109.23	109.05	108.72	72.25	85.73
V	24.58	25.21	16.69	15.81	17.64	27.09	23.23
Cu	0.36	0.31	0.31	0.28	0.37	0.42	0.26
Pb	0.00	0.01				0.02	0.01
Zn	97.81	203.45	208.27	204.32	209.03	190.43	171.17
Rb		0.02	0.08	0.07	0.07	0.04	0.10
Cs	0.06	0.02	0.04	0.05	0.07	0.03	
Ba			0.12	0.44	0.10	0.01	0.24
Sr	0.04		0.06	0.12	0.11	0.04	0.13
Ta	0.09	0.15	0.25	0.27	0.27	0.08	0.07
Nb		0.05		0.01	0.04	0.00	0.03
Hf	0.60	1.58	1.22	1.43	1.16	0.77	0.99
Zr	8.96	29.94	7.92	7.47	9.16	9.32	14.65
Y	94.79	180.50	396.87	552.69	448.91	109.67	136.91
Th	0.03	0.04	0.00	0.02		0.01	0.01
U	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
La	0.02	0.03		0.02	0.01	0.02	
Ce	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04
Pr	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02	0.03
Nd	0.49		0.17	0.27	0.41	0.40	0.40
Sm	1.06	1.65	1.09	0.69	0.74	1.35	1.38
Eu	0.07	0.14	0.13	0.14	0.11	0.13	0.16
Gd	7.27	15.06	8.85	9.07	9.17	7.77	9.71
Tb	2.44	4.96	3.26	3.26	3.25	2.80	3.38
Dy	17.48	36.27	41.34	46.85	42.81	21.44	28.03
Ho	2.52	5.08	9.95	13.19	10.84	3.21	4.17
Er	4.10	7.19	21.01	33.85	24.47	4.35	5.56
Tm	0.41	0.61	2.75	4.83	3.29	0.44	0.51
Yb	1.82	2.61	12.79	23.95	15.05	1.75	2.36
Lu	0.36	0.44	1.93	3.72	2.32	0.37	0.40
Eu/Eu*	0.08	0.09	0.13	0.17	0.13	0.12	0.13
(Sm/Gd)N	0.19	0.15	0.16	0.10	0.11	0.23	0.19
(Gd/Yb)	3.23	4.66	0.56	0.31	0.49	3.59	3.31
(Dy/Yb)N	6.25	9.03	2.10	1.27	1.85	7.97	7.69

Anexo 2

Anexo 2b - Resultados de análises químicas de cristais de monazita de migmatitos por microsonda eletrônica. Análises por *laser ablation* de algumas amostras apresentadas na página seguinte

Amostra	Leucossoma tonalítico									
	Leuc2	Leuc2	Leuc2	Leuc2	Leuc2	Leuc3	Leuc3	Leuc3	Leuc3	Leuc4
Localização	L2-10	L2-10	L2-11	L2-11	L2-7	L4-21	L4-21	L4-21	L4-21	L5-24
Análise	1	2	1	2	1	1	2	ex1	ex2	ex
SiO ₂	0.36	0.30	0.15	0.17	0.19	0.15	0.15	0.20	0.13	0.14
CaO	1.25	0.76	1.15	1.05	1.26	1.20	1.12	1.14	0.58	1.00
P ₂ O ₅	30.84	30.34	31.36	30.53	30.09	31.04	30.83	30.90	30.88	31.30
La ₂ O ₃	11.69	12.73	11.76	11.57	11.60	12.49	13.01	11.92	13.32	12.72
Ce ₂ O ₃	29.26	28.24	26.94	26.74	28.08	27.68	28.20	29.32	28.95	27.71
Y ₂ O ₃	0.50	2.02	1.70	2.97	1.03	1.04	1.13	0.90	2.81	2.46
ThO ₂	6.66	4.29	5.22	4.64	5.00	5.29	4.89	5.09	2.39	3.97
PbO	0.20	0.18	0.16	0.21	0.29	0.21	0.23	0.22	0.06	0.18
Pr ₂ O ₃	2.85	3.03	2.62	3.25	2.95	2.95	2.87	3.08	2.81	2.70
Nd ₂ O ₃	11.64	11.86	11.51	10.65	11.66	11.38	10.94	11.84	11.95	10.89
Sm ₂ O ₃	2.00	1.84	2.29	2.16	2.31	2.22	2.26	2.20	2.17	2.04
Gd ₂ O ₃	1.66	1.51	2.22	2.13	1.99	2.08	2.02	1.77	1.59	1.91
UO ₂	0.53	0.58	0.72	0.99	1.53	0.94	0.82	0.88	0.33	1.03
Dy ₂ O ₃	0.29	0.62	0.84	1.20	0.56	0.38	0.43	0.36	0.61	1.01
Total	99.7	98.3	98.6	98.2	98.5	99.0	98.9	99.8	98.6	99.0
LREE_ppm	490956	493134	471158	464547	483796	484690	489530	498732	505922	479026
HREE_ppm	20860	34414	39916	52327	30295	29551	30170	25477	41248	44657
LaN_SmN	3.63	4.32	3.19	3.34	3.12	3.50	3.58	3.37	3.82	3.88
La_Y	25.47	6.81	7.51	4.21	12.15	12.96	12.47	14.37	5.14	5.61
Th_U	12.48	7.31	7.23	4.67	3.25	5.60	5.93	5.74	7.34	3.85

Amostra	Leucossoma granítico				Melanosomas				
	Leuc5	Leuc5	Leuc5	Leuc5	MI2	MI2	MI2	MI2	MI2
Localização	L6-31	L6-31	L6-35	L6-35	L2-9	L2-9	L3-15	L4-17	L4-17
Análise	1	2	1	2	1	2	1	1	2
SiO ₂	0.16	0.165	0.142	0.16	0.097	0.12	0.637	0.283	0.277
CaO	0.987	0.954	1.108	1.065	0.934	0.948	1.254	1.419	1.21
P ₂ O ₅	30.483	30.993	31.105	30.711	31.339	31.202	29.793	31.168	30.878
La ₂ O ₃	12.592	12.504	11.651	11.725	11.727	11.251	12.168	11.459	12.496
Ce ₂ O ₃	28.823	28.51	28.66	28.101	28.823	28.2	27.545	27.783	28.185
Y ₂ O ₃	2.807	2.604	1.58	1.459	2.01	2.223	0.567	1.013	0.461
ThO ₂	4.274	3.989	4.884	4.828	4.156	4.057	7.634	7.04	5.919
PbO	0.157	0.185	0.205	0.219	0.148	0.209	0.267	0.181	0.188
Pr ₂ O ₃	2.56	2.911	2.61	2.91	2.743	2.755	2.996	2.84	2.788
Nd ₂ O ₃	10.663	11.106	11.373	12.186	12.197	11.465	11.24	11.197	12
Sm ₂ O ₃	1.907	2.05	2.366	2.334	2.297	2.384	2.191	2.254	2.228
Gd ₂ O ₃	1.664	1.71	2.202	2.224	1.899	1.919	1.799	1.835	1.793
UO ₂	0.871	0.846	0.805	0.716	0.553	0.56	0.646	0.714	0.66
Dy ₂ O ₃	0.71	0.71	0.496	0.506	0.806	0.921	0.231	0.294	0.154
Total	98.648	99.237	99.187	99.144	99.732	98.214	98.968	99.48	99.237
LREE_ppm	483208	487816	484266	489382	493912	479111	479803	474631	493123
HREE_ppm	42725	41526	35867	35192	39325	42178	22085	26458	20528
LaN_SmN	4.11	3.79	3.06	3.12	3.18	2.94	3.45	3.16	3.49
La_Y	4.86	5.20	7.99	8.70	6.32	5.48	23.24	12.25	29.35
Th_U	4.89	4.70	6.05	6.72	7.49	7.22	11.78	9.83	8.94

Anexo 2

Anexo 2b - Resultados de análises químicas de cristais de monazita de migmatitos por ICP-MS *laser ablation*

Leucossoma tonalítico Lc3									
Amostra	Leuc2	Leuc2	Leuc3	Leuc3	Leuc3	Leuc3	Leuc4	Leuc4	Leuc4
Localização	L3-13	L3-13	L4-19	L4-19	L4-20	L4-20	L5-24	L5-24	L5-24
Análise	1	2	1	2	1	2	1	2	3
Y	9902	7003	5595	5600	27190	25129	12647	12446	14731
Zr	35.38	15.77	13.53	11.66	35.39	30.79	13.85	12.05	12.33
La	107611	62515	92706	80262	132227	104279	40567	48678	53796
Ce	203626	123188	188793	162682	260909	214806	81167	97108	112964
Pr	34163	20002	23185	19734	42596	30056	12365	13071	14611
Nd	167854	93672	86032	70628	202107	131080	55814	53695	58327
Sm	49809	20172	14857	12909	39967	21920	10746	8978	9902
Eu	1094.7	469.5	236.0	212.8	2110.7	1548.7	705.2	582.9	587.5
Gd	127247	26694	10474	9356	55999	19595	11194	7772	8180
Tb	20636	4320	1721	1547	9243	3685	2095	1518	1611
Dy	11843	5945	2956	2867	15793	10597	5650	4662	4970
Ho	1002	511	223	231	2040	1473	754	615	612
Er	23386	3229	450	433	9021	3252	1761	1111	1013
Tm	60.48	29.59	11.81	14.52	289.10	240.81	88.89	71.79	60.86
Yb	5284.5	748.4	124.5	120.5	2769.3	1402.8	526.0	341.9	273.4
Lu	245.97	47.30	14.66	14.30	161.81	91.46	35.20	25.22	22.50
Hf	170.81	66.28	24.49	22.24	190.63	105.76	60.58	44.36	42.92
Pb_206	46522	12999	4474	4170	37744	17704	11720	7023	5646
Pb_207	30983	8749	3005	2847	25074	11886	8038	4676	3819
Pb_208	9016	2604	1077	975	5723	2368	1275	744	721
Th	127391	55764	35284	31671	122994	61189	29868	19732	20178
U	16737	6228	3263	2816	19897	11018	5975	3903	3305
LREE	563064	319548	405572	346215	677806	502142	200658	221530	249599
HREE	189705	41524	15975	14583	95316	40338	22105	16117	16743
LaN_YbN	13.73	56.32	502.07	448.89	32.19	50.12	51.99	95.99	132.68
Eu_Eu*	0.04	0.06	0.06	0.06	0.14	0.23	0.20	0.21	0.20

Mesossomas						
Amostra	MS6	MS6	MS6	MS7	MS7	MS7
Localização	L3-1	L-3-1-2	L-3-1-2	L6-30	L6-36	L6-36
Análise	1-L	2-L	1-L	1-L	1-L	2-L
Y	15252.41	10841.06	11352.23	11622.57	10792.16	25080.42
Zr	10.083	9.049	6.98	25.466	13.69	18.559
La	73644.7	73415.21	53868.81	95153.25	84155.12	97891.27
Ce	150439	150609.4	109110.9	187094.6	177872	211987.7
Pr	18798.31	18521.71	13521.29	29953.74	21582.4	24635.75
Nd	70702.98	70537.79	50235.3	142034.7	78188.51	88941.54
Sm	12428.61	11980.63	8212.75	28167.49	14663.17	16006.09
Eu	283.34	213.92	167	888.71	511.72	984.24
Gd	9469.705	8987.602	6005.377	36182.54	10075.68	11860.92
Tb	1837.428	1656.776	1126.692	6032.004	1766.021	2316.137
Dy	5042.157	3971.188	3336.252	8495.821	3780.956	6842.582
Ho	568.449	403.775	443.081	857.872	387.758	875.783
Er	997.353	678.512	863.561	4997.335	763.865	1620.377
Tm	68.779	38.207	72.437	89.545	49.22	128.605
Yb	335.239	206.06	353.838	1263.088	269.68	683.099
Lu	29.533	20.08	26.582	73.804	24.54	49.24
Hf	43.049	32.307	26.31	91.612	27.462	50.241
Pb_206	3200.001	3320.362	2172.096	29038.99	6213.512	5571.969
Pb_207	2422.779	2469.247	1543.993	19672.03	4060.918	4108.179
Pb_208	1080.36	1017.76	757.711	3844.544	984.559	1349.884
Th	24675.54	25366.36	19414.25	84520.25	32779.32	38810.88
U	1557.116	1713.398	1135.557	14350.51	4604.467	3476.346
LREE	326013.6	325064.7	234949	482403.7	376461.2	439462.3
HREE	18348.64	15962.2	12227.82	57992.01	17117.72	24376.74
LaN_YbN	148.11	240.20	102.64	50.79	210.39	96.62
Eu_Eu*	0.08	0.06	0.07	0.09	0.13	0.22

Anexo 2

Anexo 2c. Composição química, em porcentagem de peso, de biotitas de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP). Análises por *laser ablation* de algumas amostras apresentadas na página seguinte

Amostra Análise	Leucossoma			Melanossoma						Mesossoma				
	Leuc5 L6-P1-1	Leuc5 L6-P1-2	Leuc5 L6-P1-3	Mel1 L1-P2-1	Mel1 L1-P2-2	Mel1 L1-P2-3	Mel3 L4-P3-1	Mel3 L4-P3-2	Mel3 L4-P3-3	Mes6 L1-P3-1	Mes6 L1-P3-2	Mes7 L6-P2-1	Mes7 L6-P2-2	Mes7 L6-P2-3
SiO ₂	34.99	35.15	35.32	35.92	35.79	35.82	35.09	35.62	35.25	36.37	35.70	35.34	35.21	35.29
TiO ₂	17.67	17.47	17.82	18.46	18.38	18.46	17.96	18.15	17.90	18.68	18.49	17.83	18.01	17.85
Al ₂ O ₃	4.48	4.48	3.93	3.62	3.74	3.57	4.05	3.86	4.21	3.11	2.80	4.01	4.12	3.86
FeO	18.03	17.61	17.59	18.30	18.66	18.13	17.84	17.59	17.78	18.38	18.01	17.58	17.63	17.72
MnO	0.08	0.09	0.05	0.09	0.08	0.09	0.07	0.03	0.06	0.07	0.06	0.05	0.09	0.05
MgO	10.18	10.29	10.36	10.38	10.29	10.45	10.21	10.21	10.32	10.45	10.75	10.08	10.10	10.07
BaO	0.20	0.13	0.24	0.19	0.12	0.16	0.09	0.21	0.10	0.06	0.14	0.23	0.12	0.12
Na ₂ O	0.04	0.14	0.12	0.11	0.13	0.09	0.11	0.10	0.10	0.12	0.12	0.11	0.12	0.10
K ₂ O	9.17	9.41	9.28	9.60	9.50	9.51	9.14	9.33	9.09	9.48	9.39	9.37	9.40	9.18
F	0.66	0.25	0.51	0.29	0.39	0.33	0.50	0.42	0.41	0.41	0.53	0.35	0.43	0.27
Cl	0.23	0.19	0.20	0.24	0.22	0.22	0.16	0.16	0.19	0.14	0.14	0.22	0.18	0.20
	95.74	95.22	95.41	97.18	97.30	96.82	95.23	95.70	95.41	97.27	96.13	95.16	95.40	94.70
-O=F,Cl	0.33	0.15	0.26	0.17	0.21	0.19	0.25	0.21	0.22	0.20	0.25	0.20	0.22	0.16
Total	95.41	95.07	95.15	97.01	97.09	96.63	94.98	95.49	95.19	97.07	95.88	94.96	95.18	94.54
Fórmula estrutural calculada na base de 22 oxigênios														
Si	5.336	5.360	5.381	5.373	5.358	5.373	5.353	5.395	5.358	5.419	5.394	5.393	5.361	5.399
Al ^{IV}	2.664	2.640	2.619	2.627	2.642	2.627	2.647	2.605	2.642	2.581	2.606	2.607	2.639	2.601
Al ^{VI}	0.509	0.497	0.578	0.624	0.599	0.634	0.579	0.633	0.563	0.696	0.683	0.596	0.590	0.615
Ti	0.514	0.514	0.451	0.407	0.421	0.402	0.465	0.440	0.481	0.349	0.318	0.461	0.472	0.444
Fe ²⁺	2.300	2.246	2.241	2.289	2.336	2.274	2.276	2.228	2.260	2.291	2.276	2.243	2.244	2.266
Mn	0.010	0.012	0.006	0.012	0.010	0.011	0.008	0.004	0.007	0.009	0.008	0.006	0.011	0.007
Mg	2.315	2.340	2.354	2.314	2.297	2.336	2.321	2.304	2.338	2.322	2.420	2.292	2.293	2.296
Ba	0.012	0.008	0.014	0.011	0.007	0.010	0.005	0.013	0.006	0.003	0.008	0.013	0.007	0.007
Na	0.012	0.041	0.037	0.031	0.037	0.025	0.033	0.030	0.030	0.035	0.036	0.033	0.034	0.029
K	1.785	1.830	1.804	1.831	1.815	1.819	1.779	1.804	1.762	1.802	1.810	1.824	1.825	1.791
Total Cátions	15.457	15.488	15.485	15.519	15.522	15.511	15.470	15.459	15.447	15.507	15.559	15.468	15.476	15.455
F	0.633	0.236	0.493	0.272	0.37	0.311	0.485	0.402	0.398	0.383	0.505	0.334	0.416	0.258
Cl	0.118	0.1	0.101	0.119	0.11	0.111	0.083	0.083	0.1	0.07	0.069	0.114	0.095	0.103
Mg#	0.50	0.51	0.51	0.50	0.50	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50	0.52	0.51	0.51	0.50

Anexo 2

Anexo 2c . Composição química, em ppm, de elementos-traço (ICP-MS Laser Ablation) de biotitas de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra Análise	Leucossoma			Melanossoma						Mesossoma				
	Leuc5 L6-P1-1	Leuc5 L6-P1-2	Leuc5 L6-P1-3	Mel1 L1-P2-1	Mel1 L1-P2-2	Mel1 L1-P2-3	Mel3 L4-P3-1	Mel3 L4-P3-2	Mel3 L4-P3-3	Mes6 L1-P3-1	Mes6 L1-P3-2	Mes7 L6-P2-1	Mes7 L6-P2-2	Mes7 L6-P2-3
Li	123.20	123.51	114.75	130.23	131.59	124.09	116.58	117.91	128.56	126.75	116.24	131.98	135.79	128.71
Sc	13.35	11.79	10.93	17.80	17.97	16.81	27.21	26.67	29.71	34.68	34.27	14.88	14.78	14.29
V	490.00	498.99	434.81	341.31	332.88	328.26	370.48	365.75	394.77	253.42	222.74	444.10	475.16	432.34
Cr	373.25	328.18	258.57	283.08	268.58	268.52	208.17	210.63	217.45	160.01	158.66	267.69	284.40	270.37
Co	69.40	70.64	68.49	62.53	60.21	59.25	64.42	62.76	68.32	60.76	54.93	71.89	72.75	69.71
Ni	74.73	59.88	53.81	58.77	56.56	56.63	51.82	50.75	55.67	49.31	45.43	60.40	61.86	57.99
Cu	9.18	7.77	7.28	7.36	7.39	7.63	7.79	7.56	8.00	6.50	5.88	8.56	7.97	7.20
Zn	449.69	551.04	575.78	780.13	775.35	767.55	696.72	689.73	751.67	684.50	641.22	784.25	739.10	717.35
Rb	1381.13	1127.90	957.41	960.60	964.33	909.25	849.35	862.06	915.57	742.65	638.58	998.53	1036.37	950.26
Sr	1.51	1.38	0.78	0.94	1.21	1.37	1.35	1.03	0.98	1.22	1.28	0.98	1.18	1.20
Y	0.23	0.11	0.08	0.13	0.13	0.12	0.06	0.11	0.12	0.07	0.11	0.13	0.11	0.13
Zr	2.23	1.39	0.79	0.40	0.89	1.03	0.79	0.47	0.44	1.24	2.45	0.42	0.44	0.58
Nb	126.12	126.04	94.47	130.61	113.35	112.88	71.66	68.41	73.07	66.85	61.00	82.72	85.92	77.80
Cs	39.56	29.40	21.73	21.03	20.64	17.76	20.02	19.68	20.77	13.99	14.56	22.92	23.05	21.40
Ba	1944.61	1707.11	1202.14	1508.65	1508.08	1394.56	1166.76	1162.99	1218.87	968.75	858.19	1271.18	1279.32	1237.22
La	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03		0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
Ce	0.01	0.01				0.01	0.01	0.01		0.04	0.03	0.01		0.01
Pr				0.01							0.01			0.01
Nd	0.18		0.14	0.02	0.11	0.10	0.01	0.07				0.11		0.08
Sm	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07		0.03	0.03	0.02	0.07	0.03
Eu	0.59	0.34	0.23	0.29	0.27	0.23	0.23	0.21	0.20	0.19	0.14	0.22	0.22	0.23
Gd			0.02		0.02		0.01		0.01			0.02	0.01	
Tb														
Dy	0.01				0.02	0.01		0.01			0.01			0.03
Ho														
Er				0.01		0.01				0.01				
Tm												0.01		0.01
Yb	0.01	0.01	0.02		0.02	0.01	0.01		0.02			0.02	0.02	
Lu														
Hf	0.33	0.17	0.15	0.10	0.12	0.10	0.09	0.11	0.13	0.12	0.14	0.15	0.10	0.07
Ta	19.08	12.08	8.63	5.61	5.93	6.28	4.55	4.31	4.43	3.47	3.14	4.82	5.07	4.86
Pb	9.36	5.18	2.96	3.13	3.16	3.23	3.89	3.66	3.87	2.54	2.49	3.94	4.36	3.91
Th				0.01	0.01								0.01	
U						0.01			0.01		0.01		0.01	
Eu/Eu*	207.33		32.99		38.69		27.45	47.67				29.90	35.24	
(La/Lu) _N	0.60			3.00			0.13	0.71		0.20				0.78
(La/Yb) _N	0.60	1.00	0.78		1.09	1.80	0.14		0.22			0.18	1.00	

Anexo 2

Anexo 2d - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de plagioclásio e feldspato alcalino de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP). Dados de feldspato alcalino na pág. 16.

Amostra	Leucossomas												
	leuc1	leuc1	leuc1	leuc1	leuc1	leu3	leuc3	leu3	leuc3	leuc5	leuc5	leuc5	leuc5
Localização	P1	P1	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
Análise	1	2	1	2	3	1	2	3	4	3	4	1	2
SiO ₂	60.87	60.97	60.60	60.83	60.51	60.11	60.45	60.00	59.73	60.31	59.68	60.54	60.17
Al ₂ O ₃	24.76	24.80	25.21	25.11	25.12	24.72	25.01	24.66	24.79	24.69	24.94	24.52	25.12
TiO ₂	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.04	0.09	0.05	0.01	0.04
Fe ₂ O ₃	0.09	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.05	0.02	0.05	0.06	0.00
MnO	0.00	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	6.23	6.50	6.90	6.70	6.95	6.50	6.65	6.42	6.56	6.38	6.97	6.13	6.86
Na ₂ O	7.60	7.84	7.71	7.78	7.65	7.71	7.23	7.90	7.58	7.62	7.42	7.88	7.40
K ₂ O	0.34	0.29	0.27	0.32	0.23	0.24	0.28	0.14	0.38	0.29	0.29	0.31	0.32
Total	99.93	100.48	100.73	100.74	100.51	99.30	99.67	99.21	99.14	99.41	99.39	99.45	99.91
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios													
Si	10.82	10.8	10.72	10.76	10.73	10.77	10.78	10.77	10.73	10.79	10.7	10.83	10.72
Al	5.19	5.17	5.25	5.23	5.24	5.22	5.25	5.21	5.25	5.2	5.27	5.16	5.27
Fe ³⁺	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0
Σ _T	16.02	15.97	15.98	15.99	15.97	15.99	16.03	15.98	15.99	15.99	15.98	16	15.99
Ca	1.19	1.23	1.31	1.27	1.32	1.25	1.27	1.23	1.26	1.22	1.34	1.17	1.31
Na	2.62	2.69	2.65	2.67	2.63	2.68	2.5	2.75	2.64	2.64	2.58	2.73	2.56
K	0.08	0.07	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.03	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07
Σ _M	3.89	3.99	4.02	4.01	4	3.98	3.83	4.01	3.99	3.93	3.99	3.97	3.94
Ab	67.4	67.4	65.9	66.6	65.8	67.3	65.3	68.6	66.2	67.2	64.7	68.8	65
An	30.6	30.8	32.6	31.7	33	31.4	33.2	30.7	31.6	31	33.6	29.5	33.2
Or	2.1	1.8	1.5	1.7	1.3	1.3	1.6	0.7	2.3	1.8	1.8	1.8	1.8
Li	0.64		1.09	1.10	2.62	2.32					1.88	2.29	0.71
Sc	5.02		7.93	6.98	7.36	6.12					17.64	5.91	6.68
V	0.27		0.27	0.31	0.30	0.10					0.03	0.07	0.05
Cr			1.88	0.99	1.93	2.86					4.21	2.95	2.64
Co	0.15		0.48	0.25	0.25	0.16					0.12	0.14	0.08
Ni	0.64		1.23	0.70	1.04	2.03					2.21	1.85	2.07
Cu	1.03		0.89	0.89	1.15	0.57					0.12	1.20	0.79
Zn	2.93		0.77	0.76	1.51	1.10					0.19	3.77	3.07
Rb	6.04		7.46	7.09	7.99	2.03					0.35	0.64	0.84
Sr	77.02		58.57	67.42	145.34	259.49					211.14	290.78	415.36
Y	0.87		0.93	0.91	0.99	0.78					0.41	0.75	1.02
Zr	11.69		13.76	13.88	12.51	3.61					0.07	0.55	0.29
Nb	0.18		0.19	0.22	0.22	0.07					0.00	0.02	0.01
Cs	0.05		0.10	0.09	0.11	0.04					0.02	0.03	0.01
Ba	115.38		166.04	136.59	131.78	87.42					65.81	82.62	103.32
La	2.56		1.93	2.21	3.92	5.32					2.30	6.43	4.57
Ce	4.34		3.25	4.34	7.45	10.22					4.02	11.23	7.75
Pr	0.52		0.45	0.50	0.82	1.20					0.53	1.23	0.82
Nd	1.92		1.89	1.73	2.82	3.80					2.17	4.45	2.61
Sm	0.36		0.38	0.38	0.53	0.84					0.72	0.82	0.51
Eu	0.47		0.42	0.39	0.70	1.59					1.88	1.65	1.85
Gd	0.35		0.52	0.25	0.41	0.63					1.60	0.61	0.45
Tb	0.05		0.07	0.04	0.06	0.08					0.19	0.08	0.04
Dy	0.22		0.25	0.15	0.24	0.26					0.29	0.24	0.23
Ho	0.03		0.05	0.04	0.03	0.03					0.02	0.03	0.03
Er	0.10		0.17	0.09	0.12	0.06					0.26	0.07	0.07
Tm	0.02		0.02	0.01	0.02						0.01	0.02	0.01
Yb	0.10		0.16	0.37	0.09	0.02					0.06		0.03
Lu	0.02		0.02	0.02	0.03						0.00	0.01	0.01
Hf	0.33		0.53	0.40	0.29	0.11					0.01	0.07	
Ta	0.02		0.03	0.02	0.01	0.00					0.00	0.01	
Pb	7.48		8.63	6.37	9.80	15.91					41.20	20.25	23.98
Th	0.45		0.33	0.25	0.20	0.05					0.01	0.27	0.17
U	0.10		0.17	0.12	0.11	0.02					0.00	0.00	0.01
Eu/Eu*	4.06		2.88	3.90	4.59	6.66					5.36	7.14	11.82

Anexo 2

Anexo 2d - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de plagioclásio de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Mesossoma							
	mel1	mel1	mel1	mes6	mes6	mes6	mes7	mes7
Localização	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P1	P1
Análise	1	2	3	1	2	3	1	2
SiO ₂	60.61	61.19	61.44	61.04	60.79	60.48	60.26	60.22
Al ₂ O ₃	24.65	25.00	24.82	24.88	25.08	24.94	25.20	24.85
TiO ₂	0.06	0.00	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.06
Fe ₂ O ₃	0.07	0.06	0.02	0.00	0.04	0.01	0.01	0.02
MnO	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
CaO	6.76	6.49	6.46	6.52	6.73	6.47	6.72	6.88
Na ₂ O	7.84	7.86	7.94	7.69	7.84	7.87	7.51	7.37
K ₂ O	0.22	0.21	0.11	0.22	0.26	0.24	0.23	0.28
Total	100.23	100.81	100.82	100.35	100.82	100.03	99.93	99.66
Fórmula Estrutural Calculada na base de 32 oxigênios								
Si	10.78	10.8	10.83	10.81	10.74	10.76	10.73	10.75
Al	5.16	5.19	5.15	5.19	5.22	5.23	5.28	5.23
Fe ³⁺	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0
Σ _T	15.95	16	15.98	16	15.96	15.99	16.01	15.98
Ca	1.29	1.23	1.22	1.24	1.28	1.23	1.28	1.32
Na	2.7	2.69	2.71	2.64	2.69	2.72	2.59	2.55
K	0.05	0.05	0.03	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06
Σ _M	4.04	3.97	3.96	3.93	4.03	4	3.92	3.93
Ab	66.8	67.8	68.4	67.2	66.7	68	66.1	64.9
An	31.9	31	30.8	31.6	31.8	30.8	32.7	33.6
Or	1.2	1.3	0.8	1.3	1.5	1.3	1.3	1.5
Li	0.93	1.07			0.95	1.11	1.16	1.63
Sc	8.20	6.49			5.81	5.27	5.04	5.73
V	0.05	0.20			0.29	0.30	0.26	0.17
Cr	2.07	2.27			2.95	2.81	1.78	2.27
Co	0.04	0.17			0.26	0.26	0.25	0.18
Ni	2.20	1.03			1.37	1.57	1.54	1.93
Cu	0.40	0.78			1.14	1.70	0.77	1.12
Zn	1.19	1.60			1.53	1.57	0.99	1.06
Rb	0.66	3.92			5.04	5.14	4.78	3.14
Sr	477.39	253.28			153.55	112.77	119.32	209.76
Y	1.32	1.20			0.92	0.97	1.11	1.25
Zr	0.67	8.11			12.18	11.80	11.54	7.22
Nb	0.01	0.12			0.20	0.20	0.17	0.11
Cs	0.01	0.04			0.06	0.07	0.05	0.03
Ba	119.89	119.00			109.38	99.51	103.67	99.08
La	12.71	7.32			4.31	4.35	4.05	6.86
Ce	22.74	13.35			8.44	7.62	7.21	13.37
Pr	2.33	1.42			0.89	0.81	0.85	1.52
Nd	7.06	4.53			2.91	2.47	2.89	5.08
Sm	1.09	0.77			0.51	0.45	0.58	1.06
Eu	2.28	1.17			0.72	0.57	0.62	1.16
Gd	0.98	0.64			0.40	0.28	0.53	0.81
Tb	0.16	0.10			0.05	0.06	0.05	0.10
Dy	0.38	0.29			0.19	0.16	0.21	0.33
Ho	0.06	0.03			0.02	0.03	0.04	0.05
Er	0.10	0.09			0.05	0.09	0.10	0.06
Tm	0.02	0.01			0.01	0.01	0.00	0.02
Yb	0.02	0.13			0.05	0.07	0.06	0.04
Lu	0.00	0.00			0.00	0.01	0.01	0.01
Hf	0.04	0.19			0.24	0.28	0.33	0.12
Ta	0.00	0.01			0.01	0.01	0.02	0.01
Pb	32.91	14.76			9.00	6.91	7.51	12.72
Th	267.77	0.18			0.14	0.15	0.66	0.10
U	0.00	0.06			0.08	0.06	0.06	0.04
Eu/Eu*	6.76	5.09			4.85	4.94	3.42	3.82

Anexo 2

Anexo 2d (cont.) - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de plagioclásio de diferentes porções de migmatito da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Leucossomas			
	Leuc1	Leuc1	Leuc3	Leuc3
	P1	P1	P1	P1
Localização	1	2	1-x	2
Análise				
SiO ₂	64.96	65.28	64.04	63.95
Al ₂ O ₃	18.41	18.98	19.22	18.57
TiO ₂	0.03	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.02	0.18	0.83	0.37
MnO	1.04	2.85	2.45	2.51
MgO	14.94	12.28	12.21	12.61
CaO	0.18	0.42	0.25	0.34
Na ₂ O	99.57	99.99	98.99	98.35
K ₂ O	1594	3798	2212	3081
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios				
Si	12.01	11.93	11.83	11.92
Al	4.01	4.09	4.18	4.07
Fe3	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.01	0.04	0.16	0.07
Ba	0.01	0.03	0.02	0.03
Na	0.37	1.01	0.88	0.91
K	3.52	2.86	2.88	3.00
Ab	9.60	25.80	22.40	22.80
An	0.10	0.90	4.20	1.90
Or	90.30	73.30	73.40	75.30
Li	0.04	0.03	0.17	0.06
Sc	0.20	0.16	0.70	0.30
V	0.01	0.01	0.04	0.02
Cr	0.09	0.06	0.34	0.13
Co	0.01	0.01	0.03	0.02
Ni	0.03	0.01	0.08	0.00
Cu	0.04	0.02	0.14	0.06
Zn	0.03	0.02	0.12	0.06
Rb	0.27	0.20	2.79	0.80
Sr	0.69	0.48	5.13	1.55
Y	0.04	0.02	0.12	0.05
Zr	0.62	0.45	2.04	0.97
Nb	0.01	0.01	0.03	0.01
Cs	0.00	0.00	0.02	0.00
Ba	2.28	1.52	26.72	6.33
La	0.04	0.03	0.16	0.06
Ce	0.07	0.05	0.27	0.12
Pr	0.01	0.01	0.03	0.01
Nd	0.03	0.02	0.11	0.05
Sm	0.01	0.00	0.02	0.01
Eu	0.00	0.00	0.04	0.01
Gd	0.01	0.00	0.02	0.01
Tb	0.00	0.00	0.00	0.00
Dy	0.01	0.00	0.02	0.01
Ho	0.00	0.00	0.00	0.00
Er	0.00	0.00	0.01	0.00
Tm	0.00	0.00	0.00	0.00
Yb	0.00	0.00	0.01	0.01
Lu	0.00	0.00	0.00	0.00
Hf	0.02	0.01	0.04	0.02
Ta	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.08	0.06	0.96	0.22
Th	0.91	0.00	0.03	0.17
U	0.00	0.00	0.02	0.01
Eu Eu	0.00	0.00	6.10	3.01

Anexo 3

Anexo 3 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Ortognaisses Grupo 1					Paragnaisses Grupo 2					
Biotita Gnaisses Granodioríticos					Granada-Biotita Gnaisses Granodioríticos a Tonalíticos					
Amostra	NP100A	NP100B	NP101A	NP101B	NP107A	NP108	NP109A	NP109B	NP109C	NP109D
SiO ₂	67.03	63.25	66.65	67.76	66.28	68.63	69.88	68.57	66.83	64.31
TiO ₂	0.68	0.82	0.94	0.75	0.84	0.83	0.61	0.65	1.1	1
Al ₂ O ₃	15.62	16.4	15.45	15.17	13.23	15.06	13.83	12.81	12.6	13
Fe ₂ O ₃	3.69	4.17	5.25	4.72	7.64	6.96	5.53	6.09	8.03	8.6
FeO	3.32	3.75	4.72	4.25	6.87	6.26	4.98	5.48	7.23	7.74
MnO	0.04	0.04	0.1	0.09	0.17	0.08	0.14	0.09	0.12	0.18
MgO	0.94	1.72	1.24	1.17	3.7	2.13	2.14	3.1	3.41	3.64
CaO	2.54	3.33	4.15	2.96	3.29	0.63	2.69	3.07	3.32	3.52
Na ₂ O	3.27	3.39	3.42	2.68	1.69	0.7	2.16	1.9	1.26	1.24
K ₂ O	4.89	4.84	2	4.07	2.57	3.63	2.16	2.56	2.76	2.61
P ₂ O ₅	0.2	0.38	0.25	0.24	0.17	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01
Perda ao fogo	0.95	0.76	0.51	0.57	0.67	1.08	0.63	0.74	0.82	1.01
Total	99.85	99.1	99.96	100.18	100.25	99.74	99.78	99.65	100.26	99.12
Q	21.58	14.98	26.56	26.8	30.14	42.02	36.86	33.35	32.3	29.77
Or	28.3	28.04	11.36	23.18	14.28	20.46	12.27	14.51	15.3	14.58
An	11.19	14.01	18.37	12.79	14.4	2.92	12.77	14.21	15.4	16.45
ab	27.04	28.06	27.75	21.81	13.42	5.64	17.53	15.38	9.98	9.9
Cr										
Ni										
Co										
Sc						6.56				
V	30	58	89	63	90	72	71	108	133	122
Cu										
Pb						21.3				
Zn										
Sn										
W										
Mo										
K	40587	40172	16600	33781	21331	30129	17928	21248	22908	21663
Rb			96.1			143				131.5
Cs						4.38				
Ba	1885	2809	814	1390	633	1012	597	360	700	637
Sr	630	1212	566.2	574	173	135	219	142	139	151.7
Ta						0.68				
Nb						14.2				
Hf						7.83				
Zr	445	306	240	202	164	263	230	204	476	407
Y	10	13	24	14	38	13	25	10	10	15
Th						5.8				
U						0.85				
La	154	128	48	41	65	14.7	39	15	20	18
Ce						31.5				
Pr						3.28				
Nd			45.44			11.7				11.42
Sm			8.819			2.21				1.83
Eu						0.62				
Gd						2.12				
Tb						0.37				
Dy						2.16				
Ho						0.54				
Er						1.37				
Tm						0.23				
Yb						1.53				
Lu						0.24				
A/CNK	1.02	0.97	1.01	1.07	1.15	2.42	1.28	1.12	1.14	1.15
A/NK	1.46	1.52	1.98	1.72	2.38	2.96	2.35	2.17	2.49	2.67
mg#	33.54	44.98	31.89	32.92	48.98	37.75	43.37	50.2	45.67	45.6
FeO+TiO ₂ +MgO	4.94	6.29	6.9	6.17	11.41	9.22	7.73	9.23	11.74	12.38
K/Rb			172.74			210.69				164.74
Rb/Sr			0.17			1.06				0.87
Sr/Ba	0.33	0.43	0.7	0.41	0.27	0.13	0.37	0.39	0.2	0.24
Eu/Eu						0.88				
(La/Yb) _N						6.48				
(La/Sm) _N						4.18				6.19
(Gd/Yb) _N						1.12				
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd			0.117			0.103				0.097
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd			0.511965			0.51145				0.511592
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr			0.718518			0.75705				0.751219
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr			0.492			3.01				2.52
□Nd _(610 Ma)			-6.8			-15.7				-12.5
Sr _(610 Ma)			0.714132			0.7302				0.72876
TDM			1.7			2.2				1.9

Elementos maiores em % em peso; elementos menores e traços em ppm; Q-Ab-Or-An normativo CIPW; mg# = Mg/Mg+Fe; Eu/Eu = Eu_N/√(Sm_N x Gd_N); TDM = idade modelo segundo DePaolo, 1988.

Anexo 3

Anexo 3 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Paragneisses Grupo 3 Granada-Biotita Gnaisses Graníticos Bandados					Paragneisses Grupo 3 Biotita Gnaisses Tonalíticos finos e escuros				
	NP74A	NP74AA	NP74AB	NP74E	NP74I	NP74O	NP74Q	NP74R	NP74V	NP74Q
SiO ₂	62.4	64.33	73.76	68.46	71.46	68.85	62.73	63.65	63.93	62.73
TiO ₂	0.89	0.99	0.62	0.08	0.54	0.55	0.72	0.85	0.78	0.72
Al ₂ O ₃	16.22	14.72	11.16	14.73	13.06	14.61	18.72	14.48	14.11	18.72
Fe ₂ O ₃	7.85	7.71	4.89	6.36	5.05	3.82	4.33	6.55	6.27	4.33
FeO	7.06	6.94	4.4	5.72	4.54	3.44	3.9	5.89	5.64	3.9
MnO	0.1	0.13	0.08	0.08	0.09	0.07	0.04	0.1	0.09	0.04
MgO	3.26	3.03	1.93	2.03	1.73	1.39	1.6	3.92	5.11	1.6
CaO	2.15	1.43	1.51	2.54	1.2	3.16	3.82	4.04	4.55	3.82
Na ₂ O	2.92	2.21	1.87	3.36	1.81	3.68	4.81	1.71	0.85	4.81
K ₂ O	3.3	4.33	2.92	1.74	4.38	2.16	1.83	2.59	3.08	1.83
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.11	0.13	0.26	0.08	0.13
Perda ao fogo	0.74	0.87	0.48	0.59	0.5	0.83	0.9	1.08	0.94	0.9
Total	99.87	99.78	99.25	100	99.85	99.23	99.63	99.23	99.79	99.63
Q	19.83	23.73	42.87	29.95	36.12	29.02	16	26.94	26.94	16
Or	18.38	24.2	16.74	9.79	24.94	12.55	10.55	14.72	17.44	10.55
An	9.83	6.54	7.09	11.83	5.56	14.77	17.73	17.81	21.17	17.73
ab	23.24	17.65	15.32	27.01	14.72	30.54	39.61	13.89	6.88	39.61
Cr	93	95	56		87			125	60	
Ni	45	36	20		24			41	30	
Co	22	16	12		14			19	15	
Sc	3	14	10		7			13	16.7	
V	121	109	61	159	71	91	59	130	86	59
Cu	10	52	32		18			18	48	
Pb	62	30	33		63			21	11.4	
Zn	159	130	75		88			89	91	
Sn	1		1		1					
W	0.5		0.5		0.5					
Mo	2		2		2					
K	27390	35939	24236	14442	36354	17928	15189	21497	25564	15189
Rb	192	216	129		183			208	184	
Cs	2.8		3		2.5				9.62	
Ba	474	622	440	264	1260		312	560	573	312
Sr	190	147	128	159	177	500	594	193	182	594
Ta	0.9		0.86		0.61				1.07	
Nb	14.4	13	10.6		9			14	17	
Hf	6.5		6.8		6.7				5.17	
Zr	238	321	254	113	251	167	72	260	186	72
Y	36.6	21	39.8	28	34.7	15	-10	15	26.1	-10
Th	17.2	11	16.4		16.6			14	22.4	
U	1.64	1	2.38		1.4			1	3.72	
La	49.2	35	40.7	55	44.9	71	43	35	53	43
Ce	90.9	87	74.2		80			80	86	
Pr	11.6		9.5		9.7				12.5	
Nd	43.7	37	35.5		35.5			31	53	
Sm	8.45		7.07		5.9				8.18	
Eu	1.36		1.12		1.1				1.29	
Gd	7.46		6.55		5				6.63	
Tb	1.19		1.11		0.8				0.99	
Dy	6.61		6.45		5.1				5.22	
Ho	1.32		1.41		1.2				1	
Er	3.79		4.13		3.8				2.57	
Tm	0.564		0.633		0.6				0.35	
Yb	3.64		3.86		3.8				2.29	
Lu	0.526		0.564		0.5				0.33	
A/CNK	1.32	1.35	1.24	1.22	1.32	1.03	1.11	1.12	1.09	1.11
A/NK	1.94	1.77	1.79	1.99	1.69	1.74	1.89	2.58	2.98	1.89
mg#	45.14	43.76	43.88	38.75	40.45	41.87	42.24	54.26	61.76	42.24
FeO+TiO ₂ +MgO	11.21	10.96	6.95	7.83	6.81	5.38	6.22	10.66	11.53	6.22
K/Rb	142.66	166.38	187.88		198.66			103.35	138.93	
Rb/Sr	1.01	1.47	1.01		1.03			1.08	1.01	
Sr/Ba	0.4	0.24	0.29	0.6	0.14		1.9	0.34	0.32	1.9
Eu/Eu	0.52		0.5		0.62				0.54	
(La/Yb) _N	9.11		7.11		7.97				15.6	
(La/Sm) _N	3.66		3.62		4.79				4.08	
(Gd/Yb) _N	1.65		1.37		1.06				2.34	
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd			0.124		0.105				0.121	
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd			0.51188		0.511527				0.511734	
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr			0.752441		0.7486				0.749525	
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr			2.85		2.83				2.81	
□Nd _(610 Ma)			-9		-14.4				-11.6	
Sr _(610 Ma)			0.727		0.7234				0.7245	
TDM			1.98		2.13				2.16	

Elementos maiores em % em peso; elementos menores e traços em ppm; Q-Ab-Or-An normativo CIPW; mg# = Mg/Mg+Fe; Eu/Eu = Eu_N/√(Sm_N x Gd_N); TDM = idade modelo segundo DePaolo, 1988.

Anexo 3

Anexo 3 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de granitos e gnaiss da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Paragnaisse Grupo 3	40g1 Granada Leucogranito				40g2 Granada Biotita Granito				
	NP40AO	NP40AA(1)	NP40AA(2)	NP40AP	NP40AP(2)	NP40AB(1)	NP40AB(2)	NP40AC(1)	NP40AC(2)	NP40AD(1)
SiO ₂	64.19	73.78	74.53	72.74	74.78	73.75	72.63	72.79	74.24	74.39
TiO ₂	0.85	0.04	0.03	0.06	0.08	0.21	0.21	0.15	0.15	0.19
Al ₂ O ₃	14.39	14.49	14.44	15.29	14.79	14.09	14.44	14.22	14.11	14.57
Fe ₂ O ₃	7.11	0.68	0.62	0.91	0.67	1.54	1.6	1.33	1.77	1.3
FeO	6.4	0.61	0.56	0.82	0.6	1.39	1.44	1.2	1.59	1.17
MnO	0.13	0.04	0.037	0.049	0.032	0.04	0.06	0.03	0.05	0.01
MgO	3.15	0.1	0.09	0.13	0.11	0.33	0.23	0.26	0.24	0.29
CaO	3.65	1.34	1.15	1.49	1.59	1.6	1.41	1.61	0.98	1.66
Na ₂ O	2.19	3.61	3.44	3.58	3.75	3.7	3.15	3.91	2.72	3.61
K ₂ O	2.23	4.29	4.72	4.72	4.1	4.28	5.29	4.76	6.14	4.14
P ₂ O ₅	0.06	0.05	0.06	0.07	0.07	0.04	0.05	0.05	0.07	0.03
Perda ao fogo	1.24	0.56	0.44	0.5	0.46	0.59	0.72	0.46	0.51	0.46
Total	99.19	98.98	99.56	99.54	100.43	100.17	99.79	99.57	100.98	100.65
Q	27.22	33.56	33.9	30.37	33.5	31.29	30.19	27.76	31.41	32.86
Or	12.64	25.62	28.01	27.96	24.11	25.07	31.13	28.07	35.58	24.16
An	17.03	6.42	5.37	7	7.44	7.63	6.67	7.13	4.36	7.96
ab	17.74	30.81	29.17	30.3	31.51	30.97	26.49	32.94	22.52	30.1
Cr										
Ni										
Co										
Sc				2.52	1.75	2.03				
V	114	-15	-15	-15	-15	23	-15	3		
Cu										
Pb				52.5	49.7	48				
Zn										
Sn										
W										
Mo										
K	18509	35607	39176	39176	34030	35524	43907	39508	50962	34362
Rb				147	120	126				
Cs				0.56	0.49	0.84				
Ba	468	283	337	361	348	850	847	929		
Sr	172	166	167	208	209	299	287	323		
Ta				0.26	0.22	0.25				
Nb				4.33	5.31	8.73				
Hf				0.97	3.05	4.6				
Zr	233	-25	28	31.9	72.6	159	112	126		
Y	10	12	10	10.9	5.07	6.28	-10	9		
Th				4.52	2.08	15				
U				1.77	1.76	2.48				
La	31	-15	-15	12.3	9.88	43.4	63	49		
Ce				21.9	18	74.1				
Pr				2.29	2.05	7.37				
Nd				8.42	6.27	26.5				
Sm				1.84	1.55	4.48				
Eu				0.55	0.56	0.75				
Gd				1.49	1.38	2.33				
Tb				0.24	0.18	0.28				
Dy				1.4	0.92	1.42				
Ho				0.35	0.17	0.22				
Er				1.04	0.44	0.51				
Tm				0.17	0.08	0.06				
Yb				1.16	0.48	0.41				
Lu				0.19	0.08	0.06				
A/CNK	1.14	1.11	1.12	1.12	1.1	1.03	1.07	0.98	1.09	1.08
A/NK	2.39	1.37	1.34	1.39	1.39	1.31	1.32	1.23	1.27	1.4
mg#	46.73	22.61	22.27	22.03	24.63	29.73	22.16	27.86	21.2	30.64
FeO+TiO ₂ +Mg										
O	10.4	0.75	0.68	1.01	0.79	1.93	1.88	1.61	1.98	1.65
K/Rb				266.5	283.58	281.94				
Rb/Sr				0.71	0.57	0.42				
Sr/Ba	0.37	0.59	0.5	0.58	0.6	0.35	0.34	0.35		
Eu/Eu				1.02	1.17	0.71				
(La/Yb) _N				7.15	13.88	71.37				
(La/Sm) _N				4.2	4.01	6.09				
(Gd/Yb) _N				1.04	2.32	4.59				
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd										
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd										
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr										
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr										
□Nd _(610 Ma)										
Sr _(610 Ma)										
TDM										

Elementos maiores em % em peso; elementos menores e traços em ppm; Q-Ab-Or-An normativo CIPW; mg# = Mg/Mg+Fe; Eu/Eu = Eu_N/√(Sm_N x Gd_N); TDM = idade modelo segundo DePaolo, 1988.

Anexo 3

Anexo 3 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de granitos e gnaiss da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	40g2 Granada-Biotita Granito					40g3 Granada Leucogranito				
	NP40AD(2)	NP40AI	NP40AJ	NP40AM	NP40AR	NP40AE(1)	NP40AE(2)	NP40AF	NP40AH(1)	NP40AH(2)
SiO ₂	73.2	74.18	70.32	73.67	74.27	76.96	74.41	73.21	73.28	73.91
TiO ₂	0.13	0.13	0.27	0.19	0.18	0.18	0.1	0.07	0.04	0.07
Al ₂ O ₃	14.26	14.21	15.76	14.27	14.35	11.88	14.28	14.76	15.01	14.96
Fe ₂ O ₃	1.85	1.52	1.9	1.28	1.36	1.82	0.68	0.98	0.87	0.46
FeO	1.66	1.37	1.71	1.15	1.22	1.64	0.61	0.88	0.78	0.41
MnO	0.03	0.01	0	0.02	0.021	0.037	0.014	0.03	0.035	0.01
MgO	0.28	0.31	0.59	0.31	0.28	0.33	0.18	0.15	0.11	0.1
CaO	1.3	1.53	2.34	1.46	1.48	0.79	1.3	1.45	1.07	1.89
Na ₂ O	3.27	3.54	4.57	3.75	3.47	2.22	3.41	3.63	2.96	4.14
K ₂ O	5.4	4.43	3	4.58	4.51	4.98	4.95	4.7	5.73	3.64
P ₂ O ₅	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.07	0.06	0.07	0.08	0.02
Perda ao fogo	0.57	0.46	0.58	0.36	0.54	0.55	0.42	0.47	0.54	0.38
Total	100.35	100.38	99.38	99.95	100.51	99.82	99.8	99.52	99.73	99.58
Q	29.44	32.17	25.88	30.34	32.61	42.03	32.56	30.66	31.58	31.78
Or	31.49	25.87	17.65	26.89	26.36	29.19	29.28	27.82	33.9	21.61
An	6.01	7.15	11.27	6.84	6.97	3.48	6.1	6.79	4.84	9.3
ab	27.24	29.54	38.43	31.46	28.98	18.59	28.82	30.7	25.03	35.13
Cr										
Ni										
Co										
Sc			2.72	1.98				1.21		
V	-10	-15	-33	16	-15	-15	-15	15	-15	-15
Cu										
Pb			41.9	53.3				49.7		
Zn										
Sn										
W										
Mo										
K	44820	36769	24900	38014	37433	41334	41085	39010	47559	30212
Rb			123	171				135		
Cs			0.98	0.77				0.76		
Ba	1211	808	443	787	999	816	758	577	1095	708
Sr	339	299	332	295	331	221	275	270	319	340
Ta			0.79	0.35				0.66		
Nb			20.6	8.9				5.43		
Hf			4.32	3.74				2.09		
Zr	106	119	150	123	127	95	52	59.1	53	106
Y	5	-10	4.68	4.47	-10	13	-10	7.78	-10	-10
Th			12.6	14.3				5.86		
U			3.02	7.12				1.93		
La	54	20	30.4	37.5	49	37	25	15.2	23	26
Ce			53.1	61.2				31.6		
Pr			5.96	6.95				3.15		
Nd			20.7	24.3				10.3		
Sm			3.75	3.83				2.34		
Eu			0.79	0.75				0.56		
Gd			3	2.7				1.73		
Tb			0.3	0.28				0.25		
Dy			1.02	0.96				1.33		
Ho			0.16	0.16				0.26		
Er			0.34	0.37				0.62		
Tm			0.04	0.05				0.09		
Yb			0.18	0.29				0.57		
Lu			0.03	0.04				0.08		
A/CNK	1.05	1.06	1.05	1.04	1.08	1.13	1.07	1.08	1.15	1.05
A/NK	1.27	1.34	1.46	1.28	1.36	1.31	1.3	1.33	1.36	1.39
mg#	23.11	28.74	38.08	32.45	29.03	26.4	34.47	23.3	20.09	30.3
FeO+TiO ₂ +MgO	2.07	1.81	2.57	1.65	1.68	2.15	0.89	1.1	0.93	0.58
K/Rb			202.44	222.3				288.96		
Rb/Sr			0.37	0.58				0.5		
Sr/Ba	0.28	0.37	0.75	0.37	0.33	0.27	0.36	0.47	0.29	0.48
Eu/Eu			0.72	0.71				0.85		
(La/Yb) _N			113.86	87.18				17.98		
(La/Sm) _N			5.1	6.16				4.09		
(Gd/Yb) _N			13.45	7.51				2.45		
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd								0.125		
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd								0.51152		
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr								0.730777		
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr								1.49		
□Nd _(610 Ma)								-16.1		
Sr _(610 Ma)								0.71776		
TDM								2.62		

Elementos maiores em % em peso; elementos menores e traços em ppm; Q=Ab-Or-An normativo CIPW; mg# = Mg/(Mg+Fe); Eu/Eu = Eu_N/√(Sm_N x Gd_N); TDM = idade modelo segundo DePaolo, 1988.

Anexo 3

Anexo 3 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de granitos e gnaiss da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	40g3					74g1				
	Granada-Biotita Granito					Granada-Biotita granito				
	NP40AQ	NP40AK	NP40AL	NP40AS(1)	NP40AS(2)	NP74C	NP74D	NP74M	NP74J	NP74K
SiO ₂	73.9	73.92	72.69	73.78	72.02	73.12	71.47	72.65	68.23	71.98
TiO ₂	0.07	0.05	0.04	0.11	0.25	0.26	0.38	0.24	0.24	0.28
Al ₂ O ₃	14.8	14.95	14.61	14.22	14.89	14.28	14.57	14.72	16.97	15.06
Fe ₂ O ₃	0.48	0.86	0.97	1.09	1.91	1.96	2.28	1.79	2.31	1.9
FeO	0.43	0.77	0.87	0.98	1.72	1.76	2.05	1.61	2.08	1.71
MnO	0.01	0.03	0.04	0.041	0.013	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02
MgO	0.11	0.13	0.15	0.18	0.49	0.53	0.39	0.46	0.67	0.59
CaO	1.78	1.37	1.32	1.18	1.88	1.89	1.57	2.25	1.78	2.16
Na ₂ O	4	3.44	3.61	3.31	3.84	3.13	2.92	3.5	3.33	3.62
K ₂ O	3.99	4.41	4.71	5.24	3.76	4.26	5.04	3.61	5.87	3.79
P ₂ O ₅	0.06	0.07	0.06	0.07	0.04	0.04	0.07	0.05	0.08	0.03
Perda ao fogo	0.45	0.59	0.44	0.51	0.57	0.64	0.48	0.63	0.91	0.51
Total	99.65	99.82	98.64	99.73	99.66	100.14	99.21	99.92	100.42	99.94
Q	31.55	33.8	30.71	31.45	29.88	32.91	30.6	32.32	20.75	30.15
Or	23.69	26.08	28.12	30.93	22.06	24.88	29.58	21.16	34.18	22.16
An	8.52	6.39	6.26	5.44	9.02	9.03	7.33	10.78	8.24	10.43
ab	33.93	29.07	30.8	27.92	32.19	26.12	24.49	29.32	27.7	30.25
Cr						20	20	52		
Ni						20	20	20		
Co						3	2	3		
Sc			7.53			3	4.16	3		
V	-15	15	15	-15	27	14	8	14	44	-15
Cu						10	10	10		
Pb			53.5			106	91	91		
Zn						40	30	40		
Sn						1	1	1		
W						0.5	0.5	0.5		
Mo						2	2	6		
K	33117	36603	39093	43492	31208	35358	41832	29963	48721	31457
Rb			148			137	142	126		
Cs			0.35			1.3	1.3	1.8		
Ba	807	314	397	558	595	838	987	777	1035	747
Sr	306	175	199	215	283	247	257	455	296	277
Ta			0.24			0.16	0.46	0.36		
Nb			5.1			4.7	7.7	7.4		
Hf			1.68			4.6	4	6.7		
Zr	102	25	48.7	74	108	163	141	246	59	155
Y	-10	10	11.3	-10	-10	6.3	9.6	7.5	17	-10
Th			6.89			19.9	43.9	22.3		
U			8.5			1.63	2.63	2.21		
La	27	15	16.7	35	27	47.5	89.4	55.6	101	32
Ce			31.1			78.2	154	92.5		
Pr			3.39			8.69	18.2	10.3		
Nd			12.3			29.4	64	35.1		
Sm			2.83			4.67	10.5	5.39		
Eu			0.46			1.01	1.05	1.15		
Gd			2.36			3.07	6.81	3.51		
Tb			0.34			0.37	0.68	0.4		
Dy			1.79			1.55	2.53	1.61		
Ho			0.41			0.22	0.32	0.24		
Er			1.19			0.49	0.72	0.65		
Tm			0.19			0.056	0.081	0.079		
Yb			1.2			0.31	0.46	0.53		
Lu			0.18			0.046	0.057	0.079		
A/CNK	1.05	1.16	1.09	1.07	1.08	1.08	1.11	1.07	1.13	1.08
A/NK	1.36	1.43	1.32	1.28	1.43	1.46	1.42	1.52	1.43	1.5
mg#	31.32	23.13	23.51	24.66	33.68	34.93	25.32	33.74	36.47	38.08
FeO+TiO ₂ +MgO	0.61	0.95	1.06	1.27	2.46	2.55	2.82	2.31	2.99	2.58
K/Rb			264.14			258.09	294.59	237.8		
Rb/Sr			0.74			0.55	0.55	0.28		
Sr/Ba	0.38	0.56	0.5	0.39	0.48	0.29	0.26	0.59	0.29	0.37
Eu/Eu			0.54			0.82	0.38	0.81		
(La/Yb) _N			9.38			103.3	131.03	70.73		
(La/Sm) _N			3.71			6.4	5.36	6.49		
(Gd/Yb) _N			1.59			7.99	11.95	5.34		
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd			0.141							
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd			0.511605							
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr			0.737028							
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr			2.1							
□Nd _(610 Ma)			-15.7							
Sr _(610 Ma)			0.71831							
TDM			3.08							

Elementos maiores em % em peso; elementos menores e traços em ppm; Q-Ab-Or-An normativo CIPW; mg# = Mg/(Mg+Fe); Eu/Eu = Eu_N/√(Sm_N x Gd_N); TDM = idade modelo segundo DePaolo, 1988.

Anexo 3

Anexo 3 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de granitos e gnaiss da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	74g1	74g2 Granada Leucogranito Aplítico				NP74AS	74g3 Grt granito com sill.		Aplitos/Pegmatitos Corpos Isolados	
	NP74L	NP74S	NP74T	NP74U	NP74AT		NP74AD	NP74AN	NP74AG	NP74AH
SiO ₂	72.5	74.96	73.96	73.9	74.18	73.45	73.78	73.11	72.43	71.04
TiO ₂	0.05	0.05	0.15	0.06	0.01	0.17	0.1	0.17	0.11	0.29
Al ₂ O ₃	15.16	14.34	14.66	14.32	14.66	14.14	14.6	14.41	14.95	15.77
Fe ₂ O ₃	0.97	0.73	1.22	1.11	0.84	1.46	1.06	1.2	1.75	2.05
FeO	0.87	0.66	1.1	1	0.76	1.31	0.95	1.08	1.57	1.84
MnO	0.03	0.02	0.04	0.03	0.048	0.031	0.02	0.015	0.05	0.03
MgO	0.16	0.14	0.16	0.18	0.07	0.3	0.23	0.3	0.35	0.49
CaO	1.54	1.9	1.61	1.57	0.68	1.29	1.23	1.45	1.52	2.09
Na ₂ O	3	3.25	3.19	3.19	2.98	3.21	3.03	3.3	2.73	3.52
K ₂ O	6.61	4.27	5.45	4.83	6.23	4.71	5.01	4.84	5.97	4.32
P ₂ O ₅	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.09	0.04	0.05	0.05
Perda ao fogo	0.42	0.32	0.33	0.51	0.4	0.48	0.45	0.45	0.59	0.4
Total	100.49	100.01	100.81	99.75	100.14	99.27	99.6	99.29	100.5	100.05
Q	25.76	35.15	30.12	32.9	31.05	33.16	33.88	31.65	29.02	27.98
Or	38.73	25.17	31.73	28.5	36.67	27.83	29.6	28.65	34.8	25.18
An	7.28	9.22	7.64	7.48	3.13	6.22	5.57	6.97	7.15	9.93
ab	25.12	27.37	26.54	26.9	25.06	27.1	25.58	27.91	22.74	29.31
Cr		37		20			24			
Ni		3		20			20			
Co		-2		1			1			
Sc		3		14	2.2	2.92		1.79		
V	44	4	39	5	9	16	5	17		-15
Cu		2		16			14			
Pb		52		104	57	46	110	49.83		
Zn		7		30			30			
Sn				1			1			
W				0.5			0.5			
Mo				3			2			
K	54863	35441	45235	40089	51709	39093	41583	40172	49551	35856
Rb		114		148	169	123	154	148		
Cs				2.2	0.84	0.86	0.5	0.93		
Ba	1161	648	715	625	792	671	428	627		1165
Sr	313	275	237	230	255	235	134	227		413
Ta				0.07	0.06	0.33	0.07	0.11		
Nb		1		1.7	2.12	6.68	4.5	6.11		
Hf				3.2	2.05	2.76	1.9	3.16		
Zr	66	42	41	100	43.1	86.7	56	91.42		156
Y	12	5	-10	9.2	16	6.83	6.9	3.93		10
Th		-3		6.66	4.26	17.3	9.8	10.52		
U		1		0.89	1.35	2	1.97	1.77		
La	42	-17	21	19.1	16.7	40.6	24.9	28.5		38
Ce		-29		30.8	26.3	82.7	46.2	50		
Pr				3.41	3	8.44	5.57	6.01		
Nd		19		11.6	9.86	29	19.8	21.6		
Sm				2	2.11	5.25	4.46	3.89		
Eu				0.708	0.87	0.73	0.593	0.87		
Gd				1.63	1.67	2.93	3.51	2.89		
Tb				0.28	0.27	0.28	0.45	0.29		
Dy				1.59	1.93	1.42	1.65	0.92		
Ho				0.33	0.66	0.24	0.22	0.14		
Er				0.92	2.25	0.67	0.55	0.26		
Tm				0.138	0.38	0.09	0.073	0.03		
Yb				0.88	2.77	0.64	0.41	0.14		
Lu				0.13	0.41	0.11	0.056	0.02		
A/CNK	1.02	1.07	1.04	1.07	1.14	1.11	1.15	1.08	1.09	1.11
A/NK	1.25	1.44	1.32	1.37	1.26	1.36	1.4	1.35	1.36	1.51
mg#	24.69	27.43	20.59	24.29	14.1	28.99	30.14	33.11	28.43	32.19
FeO+TiO ₂ +MgO	1.08	0.85	1.41	1.24	0.84	1.78	1.28	1.55	2.03	2.62
K/Rb		310.89		270.87	305.97	317.83	270.02	271.43		
Rb/Sr		0.41		0.64	0.66	0.52	1.15	0.65		
Sr/Ba	0.27	0.42	0.33	0.37	0.32	0.35	0.31	0.36		0.35
Eu/Eu				1.2	1.42	0.57	0.46	0.79		
(La/Yb) _N				14.63	4.06	42.77	40.94	137.25		
(La/Sm) _N				6.01	4.98	4.86	3.51	4.61		
(Gd/Yb) _N				1.49	0.49	3.69	6.91	16.66		
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd				0.111	0.119		0.142			
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd				0.511586	0.511623		0.511667			
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr				0.733511	0.742225		0.756524			
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr				1.75	1.636		3.22			
□Nd _(610 Ma)				-13.7	-13.6		-14.6			
Sr _(610 Ma)				0.719	0.727992		0.72785			
TDM				2.16	2.3		2.15			

Elementos maiores em % em peso; elementos menores e traços em ppm; Q-Ab-Or-An normativo CIPW; mg# = Mg/(Mg+Fe); Eu/Eu = Eu_N/√(Sm_N x Gd_N); TDM = idade modelo segundo DePaolo, 1988.

Anexo 3

Anexo 3 - Resultado de análises químicas, parâmetros geoquímicos, razões de traços, ETR e isotopia Sr-Nd de granitos e gnaiss da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Aplitos/Pegmatitos Corpos Isolados			Granito Quatro Cantos				
	NP74F	NP74AJ(1)	NP74Z	NP112	NP43	NP54	NP56A	NP86
SiO ₂	74.93	74.34	75.06	69.4	69.89	66.33	73.61	67.46
TiO ₂	0.03	0.02	0.02	0.58	0.5	0.85	0.19	0.85
Al ₂ O ₃	14.02	14.74	15.39	14.89	14.74	14.8	14.49	15.6
Fe ₂ O ₃	0.74	0.58	0.65	2.97	2.3	4.11	1.05	4.07
FeO	0.67	0.52	0.58	2.67	2.07	3.7	0.94	3.66
MnO	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02
MgO	0.14	0.09	0.1	0.7	0.66	1.13	0.26	0.99
CaO	2.25	1.38	3.07	1.79	1.95	2.17	1.66	1.85
Na ₂ O	4.24	2.88	4.1	3.11	3.11	3.13	3.43	3.05
K ₂ O	2.21	5.59	0.82	5.42	5.23	5.07	4.75	5.35
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.03	0.29	0.16	0.32	0.02	0.23
Perda ao fogo	0.37	0.44	0.27	0.66	0.73	0.86	0.59	0.71
Total	98.98	100.12	99.54	99.84	99.29	98.81	100.08	100.18
Q	36.92	32.93	41.27	25.26	26.37	21.91	31.2	22.78
Or	13.17	33	4.86	31.48	30.74	29.5	27.98	30.68
An	11.01	6.6	15.09	7.05	8.69	8.75	8.09	7.6
ab	36.09	24.29	34.7	25.81	26.12	26.02	28.86	25
Cr			20		5.3	9.3	2.5	24
Ni			20		4.8	4.2	2.7	20
Co			1		2.5	4.7	1.1	7
Sc		1.08	2.36		4	4	2.5	
V	15	24	5	29	15	37		59
Cu			11					11
Pb		52.2	49		38	33	45	102
Zn			30					98
Sn			1					2
W			0.5		0.03	0.05	0.09	0.5
Mo			2		0.56	0.34	0.28	2
K	18343	46397	6806	44986	43409	42081	39425	44405
Rb		151	18		164	157	208	173
Cs		1.41	0.3		0.82	0.98	2.02	0.8
Ba	381	811	70	1692	1920	2145	731	2180
Sr	227	284	232	748	570	766	309	578
Ta		0.28	0.03		0.57	0.64	0.27	0.24
Nb		4.05	0.5		8.6	12.6	4.8	8.8
Hf		2.16	1.7		6.89	9.26	3.04	17
Zr	49	66.1	51	259	272	393	71	705
Y	10	4.76	6.9	51	12.1	164	11.5	9.7
Th		3.06	1.04		23.49	25.67	13.63	41.6
U		1.17	0.51		1.84	1.15	1.84	0.38
La	-15	13.2	9.55	165	127.72	189.22	34.68	265
Ce		20.5	14.6		205.19	312.96	64.73	496
Pr		1.99	1.53		20.3	34.36	7.32	48.8
Nd		6.95	4.88		64.92	111.15	25.74	156
Sm		1.2	0.85		8.86	13.22	4.49	16.3
Eu		1.01	0.658		1.65	2.01	0.95	2.46
Gd		0.79	0.74		5.14	6.95	2.81	8.24
Tb		0.11	0.15		0.68	0.94	0.36	0.64
Dy		0.6	1.05		3.01	4.2	1.53	2.05
Ho		0.14	0.24		0.41	0.6	0.24	0.29
Er		0.38	0.73		1.09	1.69	0.65	0.69
Tm		0.05	0.118					0.094
Yb		0.34	0.72		0.47	0.89	0.33	0.6
Lu		0.06	0.105		0.07	0.12	0.05	0.082
A/CNK	1.04	1.11	1.16	1.05	1.03	1.01	1.05	1.1
A/NK	1.5	1.37	2.02	1.36	1.37	1.39	1.34	1.44
mg#	27.14	23.58	23.51	31.85	36.24	35.25	33.02	32.53
FeO+TiO ₂ +MgO	0.84	0.63	0.7	3.95	3.23	5.68	1.39	5.5
K/Rb		307.26	378.11		264.69	268.03	189.54	256.68
Rb/Sr		0.53	0.08		0.29	0.20	0.67	0.30
Sr/Ba	0.6	0.35	3.31	0.44	0.30	0.36	0.42	0.27
Eu/Eu		3.17	2.54		0.75	0.64	0.82	0.65
(La/Yb) _N		26.17	8.94		183.21	143.34	70.85	297.77
(La/Sm) _N		6.92	7.07		9.07	9.00	4.86	10.23
(Gd/Yb) _N		1.87	0.83		8.82	6.30	6.87	11.08
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd		0.108			0.076	0.066	0.099	
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd		0.511609			0.51132	0.511408	0.511737	
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr		0.732538			0.719826	0.717409	0.730531	
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr		1.408			0.79	0.58	1.9	
□Nd _(610 Ma)		-13			-16.1	-13.6	-9.8	
Sr _{i(610 Ma)}		0.719986			0.71276	0.712197	0.713605	
TDM		2.1			1.89	1.68	1.73	

Elementos maiores em % em peso; elementos menores e traços em ppm; Q-Ab-Or-An normativo CIPW; mg# = Mg/Mg+Fe; Eu/Eu = Eu_N/√(Sm_N x Gd_N); TDM = idade modelo segundo DePaolo, 1988.

Anexo 4

Anexo 4a - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, Laser Ablation-ICPMS) de **granada** de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP). As análises de LA-ICPMS são apresentadas a partir da partir da página 14.

Paragneisses Grupo 2								Paragneisses Graníticos – Grupo 3		
Amostra	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP74A	NP74A	NP74A
	Grt1- 2		Grt2 -1							
Análise	Grt1-1 (80)	(80)	Grt1-3 (80)	(80)	Grt2-2 (80)	Grt4-1(80)	Grt4-2(80)	F17-1b	F20-1b	F20-2b
SiO ₂	37.947	38.081	38.185	37.808	38.003	38.363	38.263	37.301	37.109	37.173
TiO ₂	0.011	0	0	0	0	0.015	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	21.962	22.114	22.016	21.966	22.021	22.174	22.125	21.393	21.386	21.272
FeO	29.833	30.221	28.93	29.017	28.473	28.92	28.939	33.866	34.176	33.942
MnO	2.237	2.242	2.11	2.138	2.166	1.781	1.727	1.241	1.743	1.732
MgO	6.313	6.26	7.393	7.014	7.229	7.368	7.339	5.294	4.674	4.751
CaO	1.758	1.76	1.541	1.777	1.814	1.702	1.82	1.291	1.288	1.294
Total	100.061	100.678	100.175	99.72	99.706	100.323	100.213	100.386	100.376	100.164
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.955	5.944	5.945	5.924	5.944	5.96	5.951	5.901	5.896	5.915
TAl	0.045	0.056	0.055	0.076	0.056	0.04	0.049	0.099	0.104	0.085
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	4.014	4.008	3.982	3.977	3.999	4.017	4.004	3.886	3.898	3.902
ΣA	4.015	4.008	3.982	3.977	3.999	4.019	4.004	3.886	3.898	3.902
Fe ²⁺	3.915	3.945	3.767	3.802	3.724	3.757	3.764	4.48	4.541	4.517
Mg	1.477	1.457	1.716	1.638	1.685	1.706	1.702	1.248	1.107	1.127
Mn	0.297	0.296	0.278	0.284	0.287	0.234	0.228	0.166	0.235	0.233
Ca	0.296	0.294	0.257	0.298	0.304	0.283	0.303	0.219	0.219	0.221
ΣB	5.985	5.992	6.018	6.023	6.001	5.981	5.996	6.114	6.102	6.098
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	65.4	65.8	62.6	63.1	62.1	62.8	62.8	73.3	74.4	74.1
Piropo	24.7	24.3	28.5	27.2	28.1	28.5	28.4	20.4	18.1	18.5
Espessartita	5	4.9	4.6	4.7	4.8	3.9	3.8	2.7	3.9	3.8
Grossulária	4.9	4.9	4.3	4.9	5.1	4.7	5.1	3.6	3.6	3.6

Paragneisses Graníticos – Grupo 3										
Amostra	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A
Análise	F17-2i	F17-3c	F20-central	F17-4t	F20-4c	F17-5c	F16	Grt17-5b	Grt3-2c(80)	Grt3-3 (80)
SiO ₂	37.501	37.688	37.012	37.4	37.648	37.978	37.701	38.148	38.03	37.68
TiO ₂	0	0.009	0	0.064	0.035	0	0.103	0	0	0
Al ₂ O ₃	21.734	21.57	21.137	21.369	21.361	21.637	21.616	22.074	22.042	21.784
FeO	31.875	31.58	34.021	33.803	32.901	32.193	32.88	30.853	31.049	32.377
MnO	1.048	1.035	2.151	1.277	1.448	0.996	1.162	1.046	0.981	1.384
MgO	6.481	6.717	3.998	4.992	5.423	6.465	6.19	6.701	6.598	5.415
CaO	1.208	1.257	1.203	1.268	1.281	1.221	1.338	1.352	1.368	1.375
Total	99.847	99.856	99.522	100.173	100.097	100.49	100.99	100.174	100.068	100.015
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.906	5.927	5.956	5.939	5.962	5.947	5.892	5.968	5.96	5.961
TAI	0.094	0.073	0.044	0.061	0.038	0.053	0.108	0.032	0.04	0.039
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	3.937	3.921	3.962	3.934	3.946	3.938	3.87	4.035	4.029	4.02
ΣA	3.937	3.922	3.962	3.942	3.95	3.938	3.883	4.035	4.029	4.02
Fe ²⁺	4.198	4.153	4.579	4.489	4.358	4.216	4.297	4.037	4.07	4.284
Mg	1.522	1.575	0.959	1.182	1.28	1.509	1.442	1.563	1.542	1.277
Mn	0.14	0.138	0.293	0.172	0.194	0.132	0.154	0.139	0.13	0.185
Ca	0.204	0.212	0.207	0.216	0.217	0.205	0.224	0.227	0.23	0.233
ΣB	6.063	6.078	6.038	6.058	6.05	6.062	6.117	5.965	5.971	5.98
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	69.2	68.3	75.8	74.1	72	69.5	70.2	67.7	68.2	71.7
Piropo	25.1	25.9	15.9	19.5	21.2	24.9	23.6	26.2	25.8	21.4
Essersartita	2.3	2.3	4.9	2.8	3.2	2.2	2.5	2.3	2.2	3.1
Grossulária	3.4	3.5	3.4	3.6	3.6	3.4	3.7	3.8	3.9	3.9

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Paragnaisses Graníticos – Grupo 3										
Amostra	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB
Análise	Gr3-3 (80)	Gr3-3 (80)	Gr3-3 (80)	Gr4-3c (80)	Gr5-1 (80)	Gr5-1 (80)	F03-1	F05-b	F04-b	F04-bt
SiO ₂	37.502	37.589	37.328	37.479	37.408	37.786	37.024	37.271	37.536	37.257
TiO ₂	0.027	0	0.021	0.009	0.051	0	0.061	0	0.033	0.034
Al ₂ O ₃	21.967	21.755	21.797	21.674	21.837	21.768	21.085	21.376	21.336	21.238
FeO	33.61	33.276	34.381	33.312	32.704	32.738	32.481	30.121	30.758	32.392
MnO	1.238	1.8	1.754	1.822	1.498	1.423	2.018	1.445	1.399	1.822
MgO	4.898	4.571	4.151	4.49	5.09	5.361	5.037	6.719	6.981	5.317
CaO	1.232	1.199	1.101	1.367	1.258	1.386	1.393	1.45	1.479	1.214
Total	100.474	100.19	100.533	100.153	99.846	100.462	99.099	98.382	99.522	99.274

Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios

TSi	5.931	5.975	5.936	5.963	5.943	5.957	5.937	5.938	5.912	5.952
TAl	0.069	0.025	0.064	0.037	0.057	0.043	0.063	0.062	0.088	0.048
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	4.022	4.047	4.018	4.023	4.028	3.999	3.919	3.948	3.869	3.948
ΣA	4.025	4.047	4.02	4.024	4.034	3.999	3.926	3.948	3.873	3.952
Fe ²⁺	4.445	4.423	4.572	4.432	4.345	4.317	4.356	4.013	4.051	4.328
Mg	1.155	1.083	0.984	1.065	1.205	1.26	1.204	1.596	1.639	1.266
Mn	0.166	0.242	0.236	0.246	0.202	0.19	0.274	0.195	0.187	0.247
Ca	0.209	0.204	0.188	0.233	0.214	0.234	0.239	0.248	0.25	0.208
ΣB	5.975	5.953	5.98	5.976	5.966	6.001	6.074	6.052	6.127	6.048
Σcations	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Componentes Moleculares

Almandina	74.4	74.3	76.5	74.2	72.8	71.9	71.7	66.3	66.1	71.5
Piropo	19.3	18.2	16.5	17.8	20.2	21	19.8	26.4	26.8	20.9
Espessartita	2.8	4.1	3.9	4.1	3.4	3.2	4.5	3.2	3.1	4.1
Grossulária	3.5	3.4	3.1	3.9	3.6	3.9	3.9	4.1	4.1	3.4

Paragnaisses Graníticos – Grupo 3										
Amostra	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB
Análise	F3-b	F05-2b	F05-3b	F03-1	F03-4i	F05-4i	F03-5c	F05-5c	F03-6c	F05-6i
SiO ₂	37.697	37.629	37.317	37.613	37.674	37.409	37.549	37.032	37.589	36.949
TiO ₂	0.031	0.044	0	0.016	0	0.017	0.024	0	0.053	0
Al ₂ O ₃	21.299	21.547	21.175	21.375	21.43	21.247	21.516	21.241	21.566	21.141
FeO	30.838	30.416	31.671	29.222	29.014	32.476	28.594	32.635	28.669	32.944
MnO	1.23	1.274	1.156	1.888	2.346	1.114	2.59	1.157	2.829	1.629
MgO	6.771	6.839	6.261	7.29	7.208	5.916	7.033	5.776	6.839	5.043
CaO	1.464	1.517	1.369	1.646	1.685	1.573	1.697	1.456	1.696	1.446
Total	99.33	99.266	98.949	99.05	99.357	99.752	99.003	99.297	99.241	99.152

Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios

TSi	5.954	5.939	5.94	5.931	5.926	5.923	5.93	5.896	5.931	5.921
TAl	0.046	0.061	0.06	0.069	0.074	0.077	0.07	0.104	0.069	0.079
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	3.916	3.944	3.909	3.901	3.896	3.885	3.931	3.879	3.938	3.911
ΣA	3.92	3.949	3.909	3.902	3.896	3.887	3.934	3.879	3.944	3.911
Fe ²⁺	4.074	4.015	4.216	3.854	3.817	4.3	3.776	4.346	3.783	4.415
Mg	1.594	1.609	1.486	1.714	1.69	1.396	1.656	1.371	1.609	1.205
Mn	0.165	0.17	0.156	0.252	0.313	0.149	0.346	0.156	0.378	0.221
Ca	0.248	0.257	0.233	0.278	0.284	0.267	0.287	0.248	0.287	0.248
ΣB	6.08	6.051	6.091	6.098	6.104	6.113	6.066	6.121	6.056	6.089
Σcations	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Componentes Moleculares

Almandina	67	66.4	69.2	63.2	62.5	70.4	62.3	71	62.5	72.5
Piropo	26.2	26.6	24.4	28.1	27.7	22.8	27.3	22.4	26.6	19.8
Espessartita	2.7	2.8	2.6	4.1	5.1	2.4	5.7	2.5	6.2	3.6
Grossulária	4.1	4.2	3.8	4.6	4.7	4.4	4.7	4.1	4.7	4.1

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, Laser Ablation-ICPMS) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Paragnaisses Graníticos – Grupo 3										
Amostra	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB
Análise	F05-7b	F03-7c	F04-8c	F04-9i	Grt1-1b (80)	Grt1-2i (80)	Grt2-1 (80)	Grt2-2(80)	Grt2-1 (80)	Grt2-2(80)
SiO ₂	36.963	37.81	37.668	37.593	37.428	37.477	38.113	38.154	37.803	38.025
TiO ₂	0	0.028	0.072	0	0.017	0.08	0.016	0.022	0.005	0.02
Al ₂ O ₃	21.084	21.32	21.474	21.599	21.465	21.641	22.194	21.819	21.569	21.777
FeO	33.475	28.774	28.792	28.821	32.319	33.199	30.41	31.093	31.944	30.474
MnO	1.739	2.865	2.61	2.252	1.122	1.234	1.038	1.05	1.242	0.962
MgO	4.577	6.998	7.17	7.29	5.79	5.606	7.151	6.804	5.694	6.997
CaO	1.315	1.705	1.651	1.661	1.473	1.268	1.7	1.673	1.555	1.691
Total	99.153	99.5	99.437	99.216	99.614	100.505	100.622	100.615	99.812	99.946
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.944	5.949	5.923	5.915	5.935	5.905	5.917	5.944	5.981	5.951
TAl	0.056	0.051	0.077	0.085	0.065	0.095	0.083	0.056	0.019	0.049
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	3.937	3.9	3.899	3.917	3.943	3.92	3.975	3.948	4	3.965
ΣA	3.937	3.903	3.908	3.917	3.945	3.93	3.977	3.95	4	3.968
Fe ²⁺	4.502	3.786	3.786	3.792	4.286	4.375	3.948	4.051	4.227	3.989
Mg	1.097	1.641	1.681	1.71	1.369	1.317	1.655	1.58	1.343	1.633
Mn	0.237	0.382	0.348	0.3	0.151	0.165	0.137	0.139	0.166	0.128
Ca	0.227	0.287	0.278	0.28	0.25	0.214	0.283	0.279	0.264	0.284
ΣB	6.063	6.097	6.092	6.083	6.055	6.07	6.023	6.05	6	6.032
Σcations	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	74.3	62.1	62.1	62.3	70.8	72.1	65.5	67	70.4	66.1
Piropo	18.1	26.9	27.6	28.1	22.6	21.7	27.5	26.1	22.4	27.1
Espessartita	3.9	6.3	5.7	4.9	2.5	2.7	2.3	2.3	2.8	2.1
Grossulária	3.7	4.7	4.6	4.6	4.1	3.5	4.7	4.6	4.4	4.7

Paragnaisses Graníticos – Grupo 3										
Amostra	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74E	NP74E	NP74E	NP74E	NP74E	NP74E
Análise	Grt2-1 (80)	Grt3-2 (80)	Grt4-1 (80)	Grt4-2 (80)	F8-1	F10-1	F08-2	F10-2	F08-3	F10-3
SiO ₂	37.754	37.997	37.75	38.081	37.261	37.078	36.984	37.338	36.771	36.965
TiO ₂	0.057	0.023	0.064	0.035	0	0.028	0.017	0.008	0	0.007
Al ₂ O ₃	21.76	21.85	21.518	21.536	21.216	21.232	21.227	21.514	21.012	21.273
FeO	32.345	31.331	32.847	32.311	34.889	35.119	34.657	35.327	35.587	35.104
MnO	1.282	1.07	2.057	1.474	1.013	1.322	1.902	1.072	2.049	1.572
MgO	5.877	6.527	4.916	5.568	4.926	4.147	3.939	4.505	3.087	4.198
CaO	1.452	1.451	1.428	1.524	1.103	1.176	1.155	1.27	1.178	1.26
Total	100.527	100.249	100.58	100.529	100.408	100.102	99.881	101.034	99.684	100.379
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.929	5.952	5.968	5.993	5.914	5.93	5.935	5.903	5.95	5.896
TAl	0.071	0.048	0.032	0.007	0.086	0.07	0.065	0.097	0.05	0.104
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	3.954	3.983	3.974	3.984	3.88	3.93	3.947	3.908	3.954	3.891
ΣA	3.961	3.986	3.981	3.988	3.88	3.933	3.949	3.909	3.954	3.892
Fe ²⁺	4.248	4.105	4.343	4.252	4.631	4.698	4.651	4.671	4.816	4.682
Mg	1.376	1.524	1.159	1.306	1.166	0.989	0.942	1.062	0.745	0.998
Mn	0.171	0.142	0.275	0.196	0.136	0.179	0.259	0.144	0.281	0.212
Ca	0.244	0.244	0.242	0.257	0.188	0.202	0.199	0.215	0.204	0.215
ΣB	6.039	6.014	6.019	6.012	6.12	6.067	6.051	6.091	6.046	6.108
Σcations	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	70.3	68.2	72.2	70.7	75.7	77.4	76.9	76.7	79.7	76.7
Piropo	22.8	25.3	19.3	21.7	19	16.3	15.6	17.4	12.3	16.3
Espessartita	2.8	2.4	4.6	3.3	2.2	2.9	4.3	2.4	4.6	3.5
Grossulária	4	4.1	4	4.3	3.1	3.3	3.3	3.5	3.4	3.5

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Paragneisses Graníticas – Grupo 3								Paragneisses Toleíticas – Grupo 3		
Amostra	NP74E	NP74E	NP74I	NP74I	NP74I	NP74I	NP74I	NP40AO	NP40AO	NP40AO
Análise	F10-4	F10-5	F02-1b	F02-2c	F02-3i	F02-4b	F02-5b	C1-1	C1-2	C1-3
SiO ₂	37.29	37.324	37.574	37.497	37.869	37.663	37.619	37.727	38.156	38.145
TiO ₂	0.058	0.013	0.01	0.034	0.014	0.005	0.033	0	0.031	0.005
Al ₂ O ₃	21.44	21.459	21.335	21.483	21.356	21.27	21.478	21.654	21.947	21.987
FeO	34.401	34.311	32.915	32.781	31.44	32.237	31.033	29.418	28.666	28.398
MnO	1.155	1.019	1.036	0.913	0.969	1.105	0.937	1.625	1.548	1.418
MgO	4.763	4.966	5.717	6.476	6.359	5.76	6.633	6.038	6.177	6.189
CaO	1.214	1.314	1.309	1.194	1.223	1.346	1.375	2.521	3.309	3.418
Total	100.321	100.406	99.896	100.378	99.23	99.386	99.108	98.983	99.834	99.56
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.923	5.914	5.95	5.885	6.003	5.988	5.957	5.982	5.982	5.991
TAl	0.077	0.086	0.05	0.115	0	0.012	0.043	0.018	0.018	0.009
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	3.934	3.919	3.929	3.856	3.987	3.97	3.962	4.025	4.033	4.057
ΣA	3.94	3.92	3.93	3.86	3.988	3.971	3.966	4.025	4.037	4.058
Fe ²⁺	4.57	4.547	4.359	4.303	4.168	4.286	4.109	3.901	3.758	3.73
Mg	1.128	1.173	1.35	1.515	1.503	1.365	1.566	1.427	1.444	1.449
Mn	0.155	0.137	0.139	0.121	0.13	0.149	0.126	0.218	0.206	0.189
Ca	0.207	0.223	0.222	0.201	0.208	0.229	0.233	0.428	0.556	0.575
ΣB	6.06	6.08	6.07	6.14	6.009	6.029	6.034	5.975	5.963	5.942
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	75.4	74.8	71.8	70.1	69.4	71.1	68.1	65.3	63	62.8
Piropo	18.6	19.3	22.2	24.7	25	22.6	26	23.9	24.2	24.4
Espessartita	2.6	2.3	2.3	2	2.2	2.5	2.1	3.6	3.5	3.2
Grossulária	3.4	3.7	3.7	3.3	3.5	3.8	3.9	7.2	9.3	9.7

Paragneisses Toleíticas – Grupo 3										
Amostra	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO
Análise	C1-4	C1-5	C1-6	C2-1	C2-2	C2-3	C2-4	C2-5	Grt1-1b (80)	Grt1-2i (80)
SiO ₂	37.977	38.201	37.945	37.649	37.99	38.059	38.137	37.631	38.131	38.467
TiO ₂	0	0.078	0.014	0.042	0.04	0.002	0.017	0.041	0.035	0.011
Al ₂ O ₃	21.771	22.034	22.025	21.411	21.804	21.923	21.856	21.857	22.528	22.194
FeO	27.857	28.166	28.397	30.212	28.069	27.838	28.004	29.03	28.646	28.175
MnO	1.422	1.378	1.359	2.039	1.495	1.463	1.466	1.704	1.573	1.613
MgO	6.49	6.567	6.624	4.952	6.338	6.341	6.428	5.67	6.5	6.637
CaO	3.352	3.446	3.432	3.499	3.356	3.388	3.285	3.373	3.429	3.518
Total	98.869	99.87	99.796	99.804	99.092	99.014	99.193	99.306	100.842	100.615
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.993	5.968	5.932	5.963	5.99	6.001	6.003	5.95	5.904	5.964
TAl	0.007	0.032	0.068	0.037	0.01	0	0	0.05	0.096	0.036
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	4.04	4.022	3.987	3.957	4.038	4.071	4.051	4.02	4.011	4.016
ΣA	4.04	4.031	3.989	3.962	4.043	4.071	4.053	4.025	4.015	4.017
Fe ²⁺	3.677	3.68	3.713	4.002	3.701	3.671	3.686	3.839	3.709	3.653
Mg	1.527	1.529	1.544	1.169	1.49	1.49	1.508	1.337	1.5	1.534
Mn	0.19	0.182	0.18	0.274	0.2	0.195	0.195	0.228	0.206	0.212
Ca	0.567	0.577	0.575	0.594	0.567	0.572	0.554	0.571	0.569	0.584
ΣB	5.96	5.969	6.011	6.038	5.957	5.929	5.944	5.975	5.985	5.983
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	61.7	61.7	61.8	66.3	62.1	61.9	62	64.3	62	61.1
Piropo	25.6	25.6	25.7	19.4	25	25.1	25.4	22.4	25.1	25.6
Espessartita	3.2	3	3	4.5	3.4	3.3	3.3	3.8	3.4	3.5
Grossulária	9.5	9.7	9.6	9.8	9.5	9.6	9.3	9.6	9.5	9.8

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

	Paragneisses Toleíticos – Grupo 3					Granito cinza 40g2				
Amostra	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB
Análise	Grt1-3c (80)	Grt1-4b (80)	Grt1-6i (80)	Grt2-2 (80)	Grt2-3 (80)	C1-1	C1-2	C1-3	C2-1	C2-2
SiO ₂	38.125	38.021	38.35	37.775	38.265	36.91	36.91	36.954	36.795	36.935
TiO ₂	0	0	0	0.003	0	0.029	0.059	0	0	0
Al ₂ O ₃	22.218	21.625	21.702	21.993	21.998	21.381	21.106	21.323	21.159	21.338
FeO	28.203	29.74	28.266	29.609	29.294	36.488	36.479	36.169	35.158	35.691
MnO	1.619	1.655	1.691	1.619	1.604	0.801	1.054	0.768	0.785	0.751
MgO	6.935	5.921	6.839	6.055	6.02	3.082	2.592	3.308	3.593	3.491
CaO	3.419	3.326	3.519	3.391	3.384	1.154	1.184	1.064	1.026	1.136
Total	100.519	100.288	100.367	100.445	100.565	99.845	99.384	99.586	98.516	99.342
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.908	5.955	5.96	5.898	5.966	5.957	6.005	5.97	5.993	5.971
TAl	0.092	0.045	0.04	0.102	0.034	0.043	0	0.03	0.007	0.029
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.01	6.00	6.00	6.00
AlVI	3.963	3.944	3.933	3.942	4.004	4.021	4.044	4.027	4.051	4.034
ΣA	3.963	3.944	3.933	3.943	4.004	4.024	4.051	4.027	4.051	4.034
Fe ²⁺	3.655	3.896	3.674	3.866	3.819	4.925	4.963	4.887	4.789	4.825
Mg	1.602	1.383	1.585	1.409	1.399	0.742	0.629	0.797	0.872	0.841
Mn	0.213	0.22	0.223	0.214	0.212	0.109	0.145	0.105	0.108	0.103
Ca	0.568	0.558	0.586	0.567	0.565	0.2	0.206	0.184	0.179	0.197
ΣB	6.037	6.056	6.067	6.057	5.996	5.976	5.944	5.973	5.949	5.966
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	60.5	64.3	60.5	63.8	63.7	82.4	83.5	81.8	80.5	80.9
Piropo	26.5	22.8	26.1	23.3	23.3	12.4	10.6	13.3	14.7	14.1
Espessartita	3.5	3.6	3.7	3.5	3.5	1.8	2.4	1.8	1.8	1.7
Grossulária	9.4	9.2	9.7	9.4	9.4	3.3	3.5	3.1	3	3.3

	Granito Cinza 40g2									
Amostra	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB
Análise	C2-3	C2-4	C2-5	C2-6	Grt1-1(80)	Grt1-2 (80)	Grt2 - (80)	Grt2-2 (80)	Grt2-3 (80)	Grt2-4 (80)
SiO ₂	36.902	36.77	36.933	37.435	37.77	37.63	37.336	37.457	37.425	37.086
TiO ₂	0.056	0.019	0.022	0	0.028	0.034	0.035	0.019	0	0.009
Al ₂ O ₃	21.346	21.318	21.369	21.285	21.364	21.607	21.411	21.338	21.28	21.093
FeO	35.922	35.734	36.116	33.935	35.134	35.358	36.37	35.484	34.794	37.505
MnO	0.867	0.895	0.847	0.798	0.735	0.672	0.921	0.879	0.754	0.922
MgO	3.373	3.125	3.16	4.42	4.168	4.256	3.707	3.908	4.486	2.935
CaO	0.973	1.149	1.063	1.165	1.13	1.046	1.176	1.008	1.079	1.191
Total	99.439	99.01	99.51	99.038	100.329	100.603	100.956	100.093	99.818	100.741
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.968	5.978	5.976	6.026	6.02	5.979	5.941	5.998	5.984	5.95
TAl	0.032	0.022	0.024	0	0	0.021	0.059	0.002	0.016	0.05
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.02	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	4.034	4.059	4.048	4.035	4.01	4.021	3.952	4.021	3.991	3.935
ΣA	4.041	4.061	4.05	4.035	4.014	4.025	3.957	4.023	3.991	3.936
Fe ²⁺	4.859	4.858	4.887	4.568	4.683	4.698	4.839	4.752	4.653	5.032
Mg	0.813	0.757	0.762	1.061	0.99	1.008	0.879	0.933	1.069	0.702
Mn	0.119	0.123	0.116	0.109	0.099	0.09	0.124	0.119	0.102	0.125
Ca	0.169	0.2	0.184	0.201	0.193	0.178	0.2	0.173	0.185	0.205
ΣB	5.959	5.939	5.95	5.939	5.966	5.975	6.043	5.977	6.009	6.064
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	81.5	81.8	82.1	76.9	78.5	78.6	80.1	79.5	77.4	83
Piropo	13.6	12.7	12.8	17.9	16.6	16.9	14.5	15.6	17.8	11.6
Espessartita	2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	2.1	2	1.7	2.1
Grossulária	2.8	3.4	3.1	3.4	3.2	3	3.3	2.9	3.1	3.4

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Granito cinza 40g2									
	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ
Análise	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4	C1-5	C1-6	Grt1-1	Grt1-2 (80)	Grt1-01 (80)	Grt1-4 (80)
SiO ₂	36.605	36.821	37.044	36.86	36.962	36.868	37.516	37.06	37.059	37.411
TiO ₂	0.062	0	0.046	0.035	0.067	0.012	0.024	0	0.001	0.028
Al ₂ O ₃	21.196	21.29	21.244	21.406	21.236	21.338	21.673	21.388	21.187	21.521
FeO	37.277	35.851	35.333	35.355	35.218	36.456	35.037	37.204	38.319	35.247
MnO	0.475	0.338	0.302	0.402	0.318	0.34	0.307	0.396	0.314	0.353
MgO	2.646	3.739	4.093	3.955	4.126	3.507	4.807	3.267	2.848	4.637
CaO	1.005	1.018	0.997	1.042	0.974	1.027	1.088	1.011	1.022	1.028
Total	99.266	99.057	99.059	99.055	98.901	99.548	100.452	100.326	100.75	100.225

Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios

TSi	5.963	5.961	5.983	5.956	5.977	5.952	5.946	5.95	5.949	5.952
TAI	0.037	0.039	0.017	0.044	0.023	0.048	0.054	0.05	0.051	0.048
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	4.03	4.021	4.023	4.03	4.022	4.009	3.991	3.995	3.955	3.984
ΣA	4.038	4.021	4.029	4.034	4.03	4.01	3.994	3.995	3.955	3.988
Fe ²⁺	5.079	4.854	4.772	4.778	4.763	4.922	4.644	4.996	5.145	4.69
Mg	0.643	0.902	0.985	0.953	0.995	0.844	1.136	0.782	0.682	1.1
Mn	0.066	0.046	0.041	0.055	0.044	0.046	0.041	0.054	0.043	0.048
Ca	0.175	0.177	0.173	0.18	0.169	0.178	0.185	0.174	0.176	0.175
ΣB	5.962	5.979	5.971	5.966	5.97	5.99	6.006	6.005	6.045	6.012
Σcations	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Componentes Moleculares

Almandina	85.2	81.2	79.9	80.1	79.8	82.2	77.3	83.2	85.1	78
Piropo	10.8	15.1	16.5	16	16.7	14.1	18.9	13	11.3	18.3
Espessartita	1.1	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8
Grossulária	2.9	3	2.9	3	2.8	3	3.1	2.9	2.9	2.9

Amostra	Granito cinza 40g2									
	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM
Análise	Grt1-5 (80)	Grt4-1(80)	Grt4-1(80)	Grt4-3c (80)	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4	C1-5	C1-6
SiO ₂	37.325	36.803	36.899	37.301	37.494	37.238	37.03	37.027	36.497	36.843
TiO ₂	0.032	0.051	0.024	0.062	0.002	0.048	0.005	0	0.032	0
Al ₂ O ₃	21.471	20.913	21.062	21.335	21.875	21.455	21.232	21.41	21.026	21.379
FeO	36.37	38.341	38.14	36.031	34.325	36.569	36.712	36.298	36.98	35.788
MnO	0.305	0.643	0.529	0.26	0.66	0.744	0.845	0.748	1.022	0.671
MgO	4.086	2.554	2.752	4.079	4.743	3.557	2.628	3.47	2.502	3.367
CaO	0.989	0.95	0.882	1.048	1.017	0.961	0.943	1.036	0.979	1.032
Total	100.578	100.255	100.288	100.116	100.116	100.572	99.395	99.989	99.038	99.08

Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios

TSi	5.945	5.954	5.957	5.966	5.958	5.953	6.022	5.953	5.968	5.976
TAI	0.055	0.046	0.043	0.034	0.042	0.047	0	0.047	0.032	0.024
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.02	6.00	6.00	6.00
AlVI	3.972	3.938	3.961	3.985	4.052	3.992	4.066	4.007	4.016	4.06
ΣA	3.976	3.944	3.964	3.993	4.053	3.998	4.067	4.007	4.02	4.06
Fe ²⁺	4.844	5.187	5.149	4.82	4.562	4.889	4.993	4.881	5.057	4.855
Mg	0.97	0.616	0.662	0.973	1.124	0.848	0.637	0.832	0.61	0.814
Mn	0.041	0.088	0.072	0.035	0.089	0.101	0.116	0.102	0.142	0.092
Ca	0.169	0.165	0.153	0.18	0.173	0.165	0.164	0.178	0.172	0.179
ΣB	6.024	6.056	6.036	6.007	5.947	6.002	5.911	5.993	5.98	5.94
Σcations	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Componentes Moleculares

Almandina	80.4	85.7	85.3	80.2	76.7	81.4	84.5	81.4	84.6	81.7
Piropo	16.1	10.2	11	16.2	18.9	14.1	10.8	13.9	10.2	13.7
Espessartita	0.7	1.5	1.2	0.6	1.5	1.7	2	1.7	2.4	1.5
Grossulária	2.8	2.7	2.5	3	2.9	2.7	2.8	3	2.9	3

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Granito cinza 40g2						Granada leucogranito 40g3			
	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF
Análise	C2-1	C2-2	C2-3	C2-4	C2-5	C2-6	C110	C1-11	C1-12	C1-1
SiO ₂	36.923	37.397	37.114	37.405	37.262	36.389	36.787	37.606	37.451	37.64
TiO ₂	0.058	0.014	0	0.034	0.034	0.018	0	0.022	0.075	0.031
Al ₂ O ₃	21.326	21.485	21.33	21.518	21.285	21.122	21.065	21.655	21.533	21.489
FeO	36.212	34.206	34.786	34.5	34.415	37.021	35.977	32.556	34.273	32.778
MnO	0.709	0.647	0.606	0.625	0.572	0.854	1.956	1.055	1.142	1.057
MgO	3.578	4.704	4.434	4.759	4.755	2.803	2.322	5.485	4.241	5.239
CaO	0.967	0.852	0.892	1.06	1.033	0.737	1.013	1.005	1.104	1.024
Total	99.773	99.305	99.162	99.901	99.356	98.944	99.12	99.384	99.819	99.258
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.947	5.996	5.974	5.962	5.973	5.945	6.013	5.987	5.992	6.011
TAl	0.053	0.004	0.026	0.038	0.027	0.055	0	0.013	0.008	0
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.01	6.00	6.00	6.01
AlVI	3.992	4.053	4.017	4.001	3.991	4.009	4.055	4.047	4.049	4.042
ΣA	3.999	4.055	4.017	4.005	3.995	4.012	4.055	4.05	4.058	4.045
Fe ²⁺	4.878	4.587	4.683	4.599	4.614	5.058	4.918	4.335	4.586	4.378
Mg	0.859	1.124	1.064	1.131	1.136	0.683	0.566	1.302	1.012	1.247
Mn	0.097	0.088	0.083	0.084	0.078	0.118	0.271	0.142	0.155	0.143
Ca	0.167	0.146	0.154	0.181	0.177	0.129	0.177	0.171	0.189	0.175
ΣB	6.001	5.945	5.983	5.995	6.005	5.988	5.932	5.95	5.942	5.943
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	81.3	77.2	78.3	76.7	76.8	84.5	82.9	72.9	77.2	73.7
Piropo	14.3	18.9	17.8	18.9	18.9	11.4	9.5	21.9	17	21
Espessartita	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	2	4.6	2.4	2.6	2.4
Grossulária	2.8	2.5	2.6	3	2.9	2.2	3	2.9	3.2	2.9

Amostra	Granada leucogranito 40g3									
	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF
Análise	C1-2	C1-2c	C1-4c	C1-5	C1-6	C1-7	C1-8	C1-9	C2-1b	C2-2
SiO ₂	36.658	36.575	36.239	36.86	37.347	37.768	37.421	37.006	37.701	37.541
TiO ₂	0.071	0.009	0.018	0	0	0.015	0.032	0	0.015	0.018
Al ₂ O ₃	21.102	20.906	20.91	21.014	21.455	21.687	21.498	21.261	21.57	21.664
FeO	36.035	36.234	35.979	35.267	33.872	32.106	32.977	34.877	32.404	32.947
MnO	1.601	1.96	2.206	1.739	1.144	1.003	1.078	1.347	1.057	1.096
MgO	2.781	2.477	1.879	3.002	4.189	5.685	5.166	3.763	5.631	5.466
CaO	0.96	0.867	0.95	0.986	1.093	1.001	1.038	0.986	1.033	0.98
Total	99.208	99.028	98.181	98.868	99.1	99.265	99.21	99.24	99.411	99.712
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.971	5.984	5.999	6.011	6.016	6.009	5.983	5.98	5.996	5.962
TAl	0.029	0.016	0.001	0	0	0	0.017	0.02	0.004	0.038
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.01	6.02	6.01	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	4.019	4.013	4.075	4.036	4.07	4.063	4.031	4.025	4.035	4.014
ΣA	4.028	4.014	4.078	4.036	4.07	4.065	4.035	4.025	4.037	4.016
Fe ²⁺	4.909	4.958	4.981	4.81	4.563	4.272	4.41	4.713	4.31	4.376
Mg	0.675	0.604	0.464	0.73	1.006	1.348	1.231	0.906	1.335	1.294
Mn	0.221	0.272	0.309	0.24	0.156	0.135	0.146	0.184	0.142	0.147
Ca	0.168	0.152	0.168	0.172	0.189	0.171	0.178	0.171	0.176	0.167
ΣB	5.972	5.986	5.922	5.952	5.914	5.926	5.965	5.975	5.963	5.984
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	82.2	82.8	84.1	80.8	77.2	72.1	73.9	78.9	72.3	73.1
Piropo	11.3	10.1	7.8	12.3	17	22.7	20.6	15.2	22.4	21.6
Espessartita	3.7	4.5	5.2	4	2.6	2.3	2.4	3.1	2.4	2.5
Grossulária	2.8	2.5	2.8	2.9	3.2	2.9	3	2.9	3	2.8

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Granada leucogranito 40g3										
Amostra	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF
Análise	C3-3	C2-3	C3-4	C2-4	C3-5	C2-5	Grt1-1	Grt1-2 (80)	Grt1-3c (80)	Grt2-1 (80)
SiO ₂	37.538	37.467	36.494	37.119	37.23	36.967	37.51	37.885	37.834	36.989
TiO ₂	0.026	0.004	0.008	0.049	0.028	0.034	0	0	0.013	0.035
Al ₂ O ₃	21.583	21.43	21.093	21.441	21.372	21.424	21.285	21.576	21.56	20.889
FeO	33.125	33.186	35.561	34.735	35.288	34.964	33.48	32.36	32.474	35.866
MnO	1.048	1.106	2.119	1.384	1.153	1.135	1.006	0.98	1.045	1.639
MgO	5.242	4.92	2.306	3.59	3.552	3.752	5.209	5.926	5.812	2.938
CaO	0.99	1.064	0.928	0.959	1.004	1.033	1.03	1.106	1.061	0.991
Total	99.552	99.177	98.509	99.277	99.627	99.309	99.52	99.833	99.799	99.347
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.98	6.002	6.001	5.999	6	5.967	5.984	5.989	5.989	6.012
TAl	0.02	0	0	0.001	0	0.033	0.016	0.011	0.011	0
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.01
AlVI	4.029	4.043	4.084	4.079	4.056	4.039	3.983	4.006	4.008	3.998
ΣA	4.032	4.044	4.085	4.085	4.06	4.044	3.983	4.006	4.01	4.003
Fe ²⁺	4.413	4.446	4.89	4.694	4.756	4.72	4.467	4.278	4.299	4.875
Mg	1.245	1.175	0.565	0.865	0.853	0.903	1.239	1.397	1.372	0.712
Mn	0.141	0.15	0.295	0.189	0.157	0.155	0.136	0.131	0.14	0.226
Ca	0.169	0.183	0.163	0.166	0.173	0.179	0.176	0.187	0.18	0.173
ΣB	5.968	5.954	5.914	5.915	5.94	5.956	6.017	5.994	5.99	5.985
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	73.9	74.7	82.7	79.4	80.1	79.2	74.2	71.4	71.8	81.4
Piropo	20.9	19.7	9.6	14.6	14.4	15.2	20.6	23.3	22.9	11.9
Espessartita	2.4	2.5	5	3.2	2.6	2.6	2.3	2.2	2.3	3.8
Grossulária	2.8	3.1	2.8	2.8	2.9	3	2.9	3.1	3	2.9

Granada leucogranito 40g4										
Amostra	NP40AF	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL
Análise	Grt2-2 (80)	C3-1b	C3-2c	C4-1b	C4-2i	C4-3i	C4-4c	C4-5b	Grt1-1b (80)	Grt1-2i (80)
SiO ₂	36.825	37.377	37.6	37.431	37.969	37.786	37.813	37.467	37.562	37.623
TiO ₂	0.029	0	0.016	0	0	0	0.06	0.038	0	0
Al ₂ O ₃	21.314	21.514	21.683	21.623	21.689	21.574	21.728	21.504	21.318	21.402
FeO	35.969	34.368	33.838	34.619	33.202	33.647	33.006	35.146	33.499	32.758
MnO	1.376	1.923	1.789	1.955	1.729	1.667	1.817	2.532	1.774	1.797
MgO	3.44	3.978	4.475	3.737	4.873	4.961	4.85	3.057	4.56	4.968
CaO	1.015	0.991	0.878	0.928	1.014	0.994	0.931	0.966	1.03	0.93
Total	99.968	100.151	100.279	100.293	100.476	100.629	100.205	100.71	99.743	99.478
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.927	5.976	5.982	5.985	6.009	5.974	6.001	5.998	6.005	6.011
TAl	0.073	0.024	0.018	0.015	0	0.026	0	0.002	0	0
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.01	6.00	6.00	6.00	6.01	6.01
AlVI	3.967	4.026	4.044	4.056	4.043	3.991	4.061	4.052	4.013	4.027
ΣA	3.97	4.026	4.046	4.056	4.043	3.991	4.068	4.056	4.013	4.027
Fe ²⁺	4.842	4.595	4.502	4.629	4.395	4.449	4.381	4.705	4.479	4.377
Mg	0.825	0.948	1.061	0.891	1.15	1.169	1.147	0.73	1.087	1.183
Mn	0.188	0.26	0.241	0.265	0.232	0.223	0.244	0.343	0.24	0.243
Ca	0.175	0.17	0.15	0.159	0.172	0.168	0.158	0.166	0.176	0.159
ΣB	6.03	5.974	5.954	5.944	5.948	6.009	5.931	5.944	5.982	5.962
Σcátions	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	80.3	76.9	75.6	77.9	73.9	74	73.9	79.2	74.9	73.4
Piropo	13.7	15.9	17.8	15	19.3	19.5	19.3	12.3	18.2	19.8
Espessartita	3.1	4.4	4	4.5	3.9	3.7	4.1	5.8	4	4.1
Grossulária	2.9	2.8	2.5	2.7	2.9	2.8	2.7	2.8	2.9	2.7

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Granada leucogranito 40g4							Granito cinza 74g1			
Amostra	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C
Análise	Grt1-3c (80)	Grt2-1b (80)	Grt2-2i (80)	Grt2-3c (80)	Grt2-4L (80)	Grt2-5L (80)	F13-1b	F13-2i	F13-3b	F13-4c
SiO ₂	37.087	37.254	37.419	37.676	37.786	37.485	37.184	37.043	36.613	37.33
TiO ₂	0	0.03	0.006	0.021	0	0	0	0.042	0	0
Al ₂ O ₃	21.232	21.248	21.372	21.552	21.751	21.841	21.333	20.989	20.875	21.075
FeO	33.427	33.664	33.22	33.119	33.252	33.827	33.173	34.108	35.078	34.581
MnO	1.874	1.772	1.866	1.872	1.841	1.867	1.257	1.737	2.339	1.871
MgO	4.88	4.655	4.863	4.821	4.876	4.507	5.171	4.759	3.416	4.416
CaO	0.967	1.018	0.927	0.917	0.918	1.038	1.316	0.991	0.946	1.043
Total	99.467	99.641	99.673	99.978	100.424	100.565	99.434	99.669	99.267	100.316
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.937	5.962	5.975	5.997	5.985	5.943	5.936	5.93	5.94	5.952
TAI	0.063	0.038	0.025	0.003	0.015	0.057	0.064	0.07	0.06	0.048
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	3.94	3.966	3.994	4.036	4.042	4.02	3.946	3.887	3.929	3.909
ΣA	3.94	3.97	3.995	4.039	4.042	4.023	3.946	3.892	3.929	3.909
Fe ²⁺	4.475	4.505	4.436	4.408	4.404	4.485	4.428	4.566	4.759	4.611
Mg	1.165	1.111	1.158	1.144	1.151	1.065	1.231	1.136	0.826	1.05
Mn	0.254	0.24	0.252	0.252	0.247	0.251	0.17	0.236	0.321	0.253
Ca	0.166	0.175	0.159	0.156	0.156	0.176	0.225	0.17	0.164	0.178
ΣB	6.06	6.03	6.005	5.961	5.958	5.977	6.054	6.108	6.071	6.091
Σcations	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares										
Almandina	73.8	74.7	73.9	74	73.9	75	73.1	74.8	78.4	75.7
Piropo	19.2	18.4	19.3	19.2	19.3	17.8	20.3	18.6	13.6	17.2
Espessartita	4.2	4	4.2	4.2	4.1	4.2	2.8	3.9	5.3	4.2
Grossulária	2.7	2.9	2.6	2.6	2.6	2.9	3.7	2.8	2.7	2.9

Granito cinza 74g1										
Amostra	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74D	NP74D	NP74D
Análise	F13-5c	Novo1	Novo3	Novo4	Grt4-1b (80)	Grt4-2b (80)	Grt4-1b (80)	Grt4-1	Grt4-2	Grt4-3
SiO ₂	36.91	37.19	37.70	37.61	37.70	37.00	37.57	37.24	37.54	37.48
TiO ₂	0.00	0.03	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.10	0.00
Al ₂ O ₃	20.99	21.71	21.96	21.60	21.47	21.02	21.37	21.40	21.42	21.34
FeO	34.06	33.11	31.51	32.05	32.12	35.32	32.91	32.45	31.50	32.12
MnO	1.83	0.83	0.58	0.73	0.69	1.27	0.77	0.63	0.57	0.64
MgO	4.28	5.16	6.31	5.87	5.61	3.35	5.42	6.48	6.85	6.85
CaO	1.24	1.34	1.31	1.32	1.26	1.20	1.26	1.25	1.26	1.30
Total	99.31	99.36	99.41	99.23	98.85	99.15	99.30	99.51	99.24	99.73
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.943	5.932	5.957	5.976	6.024	6.001	5.991	5.889	5.933	5.902
TAI	0.057	0.068	0.043	0.024	0.000	0.000	0.009	0.111	0.067	0.098
ΣST	6.000	6.000	6.000	6.000	6.024	6.001	6.000	6.000	6.000	6.000
AlVI	3.923	4.009	4.044	4.018	4.039	4.016	4.003	3.876	3.921	3.859
ΣA	3.923	4.015	4.051	4.027	4.039	4.016	4.003	3.883	3.932	3.859
Fe ²⁺	4.586	4.416	4.164	4.260	4.292	4.791	4.389	4.293	4.164	4.229
Mg	1.028	1.228	1.486	1.390	1.336	0.809	1.288	1.527	1.613	1.607
Mn	0.249	0.112	0.078	0.099	0.093	0.175	0.104	0.085	0.077	0.086
Ca	0.214	0.229	0.221	0.224	0.216	0.208	0.216	0.212	0.214	0.220
ΣB	6.077	5.985	5.949	5.973	5.937	5.983	5.997	6.117	6.068	6.141
Σcations	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Componentes Moleculares										
Almandina	75.5	73.8	70.0	71.3	72.3	80.1	73.2	70.2	68.6	68.9
Piropo	16.9	20.5	25.0	23.3	22.5	13.5	21.5	25.0	26.6	26.2
Espessartita	4.1	1.9	1.3	1.7	1.6	2.9	1.7	1.4	1.3	1.4
Grossulária	3.5	3.8	3.7	3.8	3.6	3.5	3.6	3.5	3.5	3.6

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Granito cinza 74g1										74g2
Amostra	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74U
Análise	Grt4-4	Grt4-5	Grt1-1b (80)	Grt1-2i (80)	Grt1	Grt3	Grt3	Grt3	Grt4	F32-1b
SiO ₂	37.50	36.86	37.83	37.59	37.63	38.09	37.83	38.21	37.70	37.11
TiO ₂	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	0.05	0.00	0.08
Al ₂ O ₃	21.29	21.20	21.37	21.59	21.48	21.49	21.65	21.58	21.47	21.29
FeO	33.59	34.05	32.29	32.03	32.25	33.17	31.89	31.32	32.12	33.78
MnO	0.72	0.76	0.67	0.68	0.67	0.64	0.65	0.76	0.69	1.86
MgO	5.74	4.96	5.87	6.41	6.04	5.37	6.38	6.79	5.61	4.70
CaO	1.15	1.29	1.31	1.34	1.32	1.40	1.31	1.29	1.26	1.24
Total	100.00	99.13	99.35	99.63	99.43	100.15	99.72	99.99	98.85	100.05
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.936	5.914	6.009	5.933	5.967	6.024	5.965	5.994	6.024	5.914
TAl	0.064	0.086	0.000	0.067	0.033	0.000	0.035	0.006	0.000	0.086
ΣST	6.000	6.000	6.009	6.000	6.000	6.024	6.000	6.000	6.024	6.000
AlVI	3.906	3.919	3.998	3.947	3.977	4.002	3.986	3.981	4.039	3.910
ΣA	3.906	3.920	3.998	3.947	3.984	4.002	3.988	3.987	4.039	3.919
Fe ²⁺	4.448	4.568	4.289	4.229	4.276	4.386	4.205	4.109	4.292	4.502
Mg	1.355	1.186	1.390	1.508	1.427	1.266	1.500	1.587	1.336	1.116
Mn	0.097	0.104	0.091	0.091	0.089	0.085	0.086	0.100	0.093	0.251
Ca	0.195	0.222	0.223	0.226	0.224	0.236	0.221	0.216	0.216	0.212
ΣB	6.094	6.080	5.993	6.053	6.016	5.974	6.012	6.013	5.937	6.081
Σcátions	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Componentes Moleculares										
Almandina	73.0	75.1	71.6	69.9	71.1	73.4	69.9	68.3	72.3	74.0
Piropo	22.2	19.5	23.2	24.9	23.7	21.2	25.0	26.4	22.5	18.4
Espessartita	1.6	1.7	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.7	1.6	4.1
Grossulária	3.2	3.7	3.7	3.7	3.7	4.0	3.7	3.6	3.6	3.5

Granada leucogranito 74g2									
Amostra	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U
Análise	F35-1b	F32-2b	F35-2i	F32-3i	F35-3i	F35-4c	F35-5c	F32-5i	F35-bt
SiO ₂	37.13	37.37	37.05	37.50	37.10	37.40	37.26	37.42	36.82
TiO ₂	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	21.50	21.41	21.58	21.38	21.44	21.40	21.31	21.40	20.94
FeO	32.95	31.38	31.73	31.48	31.88	31.67	31.81	31.77	34.44
MnO	1.58	1.47	1.41	1.49	1.38	1.46	1.45	1.50	1.82
MgO	5.62	6.23	6.42	6.49	6.59	6.58	6.53	6.31	4.32
CaO	1.22	1.30	1.16	1.06	1.04	1.01	0.97	1.06	1.19
Total	100.00	99.17	99.35	99.39	99.47	99.51	99.35	99.46	99.52
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios									
TSi	5.880	5.934	5.869	5.937	5.869	5.913	5.904	5.927	5.919
TAl	0.120	0.066	0.131	0.063	0.131	0.087	0.096	0.073	0.081
ΣST	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
AlVI	3.890	3.937	3.894	3.924	3.863	3.897	3.881	3.920	3.883
ΣA	3.890	3.939	3.894	3.924	3.867	3.898	3.883	3.920	3.883
Fe ²⁺	4.365	4.168	4.204	4.167	4.217	4.187	4.216	4.208	4.630
Mg	1.326	1.476	1.516	1.531	1.553	1.550	1.542	1.490	1.035
Mn	0.212	0.198	0.189	0.199	0.185	0.195	0.194	0.201	0.247
Ca	0.207	0.221	0.198	0.179	0.177	0.170	0.165	0.180	0.205
ΣB	6.110	6.061	6.106	6.076	6.133	6.102	6.117	6.080	6.117
Σcátions	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Componentes Moleculares									
Almandina	71.4	68.7	68.8	68.6	68.8	68.6	68.9	69.2	75.7
Piropo	21.7	24.3	24.8	25.2	25.3	25.4	25.2	24.5	16.9
Espessartita	3.5	3.3	3.1	3.3	3.0	3.2	3.2	3.3	4.0
Grossulária	3.4	3.6	3.2	2.9	2.9	2.8	2.7	3.0	3.4

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra	Granada leucogranito 74g2									
	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U
Análise	F32-7c	F32-8i	F32-9i	Grt3-1b (80)	Grt3-2i (80)	Grt3-3c (80)	Grt3-4	Grt3-5	Grt4-1b (80)	Grt4-2i (80)
SiO ₂	37.24	37.54	37.57	37.55	37.75	37.93	37.81	37.81	37.84	38.18
TiO ₂	0.07	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01	0.04
Al ₂ O ₃	21.52	21.32	21.27	21.57	21.54	21.57	21.90	22.02	21.60	21.74
FeO	31.91	30.97	32.01	31.57	31.07	31.97	31.87	31.36	31.15	31.02
MnO	1.47	1.53	1.29	1.24	1.14	1.14	1.17	1.20	1.18	1.24
MgO	6.42	6.45	6.16	5.78	6.09	6.29	6.15	6.31	6.05	6.40
CaO	1.04	1.08	1.13	1.34	1.35	1.00	1.37	1.43	1.29	1.15
Total	99.66	98.89	99.43	99.07	98.93	99.90	100.27	100.18	99.11	99.78

Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios

TSi	5.885	5.970	5.959	5.980	6.005	5.979	5.936	5.933	6.010	6.014
TAl	0.115	0.030	0.041	0.020	0.000	0.021	0.064	0.067	0.000	0.000
ΣST	6.000	6.000	6.000	6.000	6.005	6.000	6.000	6.000	6.010	6.014
AlVI	3.889	3.961	3.932	4.026	4.035	3.984	3.986	4.003	4.041	4.033
ΣA	3.898	3.961	3.932	4.028	4.035	3.984	3.988	4.010	4.042	4.038
Fe ²⁺	4.217	4.119	4.246	4.205	4.134	4.216	4.186	4.115	4.138	4.086
Mg	1.512	1.529	1.456	1.372	1.444	1.478	1.440	1.477	1.433	1.503
Mn	0.196	0.206	0.173	0.167	0.153	0.152	0.156	0.159	0.159	0.165
Ca	0.176	0.184	0.193	0.229	0.230	0.169	0.231	0.240	0.219	0.194
ΣB	6.102	6.039	6.068	5.972	5.960	6.016	6.012	5.990	5.948	5.948
Σcátions	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000

Componentes Moleculares

Almandina	69.1	68.2	70.0	70.4	69.4	70.1	69.6	68.7	69.6	68.7
Piropo	24.8	25.3	24.0	23.0	24.2	24.6	23.9	24.7	24.1	25.3
Espessartita	3.2	3.4	2.9	2.8	2.6	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8
Grossulária	2.9	3.0	3.2	3.8	3.9	2.8	3.8	4.0	3.7	3.3

Amostra	74g2	Granada leucogranito 74g3								
	NP74U	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD
Análise	Grt4-3c (80)	F28-1i	F28-2b	F28-1i	F28-2b	F28-1i	F28-2b	F28-1i	F28-2b	F28-1i
SiO ₂	38.00	37.67	37.06	37.37	37.22	37.31	37.40	37.39	37.12	37.38
TiO ₂	0.00	0.01	0.03	0.00	0.09	0.06	0.00	0.00	0.00	0.05
Al ₂ O ₃	21.60	21.58	21.41	21.47	21.26	21.36	21.17	21.15	21.33	21.20
FeO	31.63	32.71	32.50	32.67	33.13	32.50	32.90	32.42	32.27	32.37
MnO	1.24	0.81	0.82	0.88	0.97	0.93	0.78	0.99	0.96	0.97
MgO	6.53	6.04	6.02	6.04	6.42	6.33	6.09	6.28	6.35	6.25
CaO	1.04	1.13	1.02	0.95	0.95	1.00	1.07	0.94	0.91	1.05
Total	100.04	99.96	98.86	99.39	100.05	99.50	99.42	99.15	98.93	99.27
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.973	5.946	5.916	5.935	5.870	5.912	5.940	5.946	5.911	5.939
TAl	0.027	0.054	0.084	0.065	0.130	0.088	0.060	0.054	0.089	0.061
ΣST	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
AlVI	3.971	3.959	3.941	3.951	3.819	3.896	3.900	3.907	3.911	3.904
ΣA	3.971	3.960	3.945	3.951	3.830	3.903	3.900	3.907	3.911	3.911
Fe ²⁺	4.158	4.319	4.338	4.339	4.370	4.306	4.370	4.312	4.298	4.301
Mg	1.530	1.421	1.432	1.430	1.510	1.495	1.442	1.488	1.506	1.479
Mn	0.164	0.109	0.111	0.119	0.130	0.125	0.105	0.134	0.129	0.131
Ca	0.176	0.192	0.174	0.161	0.160	0.170	0.182	0.160	0.155	0.179
ΣB	6.029	6.040	6.055	6.049	6.170	6.097	6.100	6.093	6.089	6.089
Σcátions	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Componentes Moleculares										
Almandina	69.0	71.5	71.6	71.7	70.8	70.6	71.7	70.8	70.6	70.6
Piropo	25.4	23.5	23.6	23.6	24.5	24.5	23.6	24.4	24.7	24.3
Espessartita	2.7	1.8	1.8	2	2.1	2.1	1.7	2.2	2.1	2.2
Grossulária	2.9	3.2	2.9	2.7	2.6	2.8	3	2.6	2.5	2.9

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Granada leucogranito 74g3										
Amostra	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD
		Grt1-2b	Grt1-3i	Grt1-4c						
Análise	Grt1-1 (80)	(80)	(80)	(80)	Grt1-5	Grt1-6	Grt1-7	Grt2-1 (80)	Grt2-2 (80)	Grt2-3 (80)
SiO ₂	37.61	36.90	37.32	37.63	37.26	37.22	37.35	37.94	37.79	37.34
TiO ₂	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Al ₂ O ₃	21.49	20.96	21.44	21.48	21.58	21.49	21.65	21.74	21.56	21.25
FeO	33.44	35.80	35.25	34.58	32.46	32.16	31.16	33.33	33.29	33.44
MnO	0.73	1.25	0.79	0.73	0.73	0.67	0.68	0.74	0.78	0.83
MgO	5.49	3.42	4.37	4.70	5.29	5.91	6.04	5.59	5.46	5.12
CaO	1.04	1.05	1.07	1.08	1.10	1.09	1.09	1.06	1.08	1.08
Total	99.80	99.42	100.26	100.20	98.41	98.55	97.96	100.39	99.97	99.07
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios										
TSi	5.970	5.973	5.948	5.983	5.992	5.957	5.996	5.980	5.987	5.984
TAI	0.030	0.027	0.052	0.017	0.008	0.043	0.004	0.020	0.013	0.016
ΣST	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
AlVI	3.987	3.969	3.973	4.006	4.079	4.008	4.089	4.015	4.011	3.995
ΣA	3.987	3.974	3.977	4.006	4.080	4.010	4.091	4.015	4.012	3.995
Fe ²⁺	4.438	4.846	4.698	4.598	4.365	4.304	4.184	4.395	4.412	4.483
Mg	1.299	0.826	1.037	1.114	1.268	1.410	1.445	1.313	1.289	1.223
Mn	0.098	0.172	0.106	0.098	0.099	0.090	0.093	0.099	0.104	0.113
Ca	0.178	0.183	0.182	0.184	0.189	0.186	0.188	0.178	0.182	0.186
ΣB	6.013	6.026	6.023	5.994	5.920	5.990	5.909	5.985	5.988	6.005
Σcátions	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Componentes Moleculares										
Almandina	73.8	80.4	78	76.7	73.7	71.9	70.8	73.4	73.7	74.7
Piropo	21.6	13.7	17.2	18.6	21.4	23.5	24.5	21.9	21.5	20.4
Espeartita	1.6	2.9	1.8	1.6	1.7	1.5	1.6	1.7	1.7	1.9
Grossulária	3	3	3	3.1	3.2	3.1	3.2	3	3	3.1

Granada leucogranito 74g3							
Amostra	NP74N	NP74N	NP74N	NP74N	NP74N	NP74N	NP74N
Análise	Grt1-1b (80)	Grt1-2i (80)	Grt1-3b (80)	Grt1-4i (80)	Grt1-5c (80)	Grt2-1b (80)	Grt2-2i (80)
SiO ₂	37.51	37.31	37.57	37.84	37.72	37.52	37.64
TiO ₂	0.01	0.00	0.06	0.02	0.00	0.00	0.03
Al ₂ O ₃	21.53	21.52	21.50	21.43	21.63	21.10	21.27
FeO	32.38	31.11	31.78	31.25	31.31	32.68	32.66
MnO	2.80	2.59	2.46	2.63	2.60	2.39	2.85
MgO	4.59	5.57	5.26	5.68	5.63	4.72	4.33
CaO	1.12	1.24	1.22	1.28	1.28	1.17	1.28
Total	99.94	99.34	99.85	100.12	100.15	99.59	100.06
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios							
TSi	5.980	5.940	5.967	5.977	5.956	6.002	6.006
TAI	0.020	0.060	0.033	0.023	0.044	0.000	0.000
ΣST	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.002	6.006
AlVI	4.022	3.975	3.987	3.964	3.977	3.975	3.997
ΣA	4.023	3.975	3.994	3.966	3.977	3.975	4.001
Fe ²⁺	4.318	4.143	4.221	4.128	4.135	4.372	4.359
Mg	1.091	1.321	1.246	1.337	1.325	1.126	1.030
Mn	0.378	0.349	0.331	0.352	0.347	0.323	0.385
Ca	0.191	0.212	0.208	0.217	0.216	0.201	0.219
ΣB	5.977	6.025	6.006	6.034	6.023	6.023	5.993
Σcátions	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Componentes Moleculares							
Almandina	72.2	68.8	70.3	68.4	68.7	72.6	72.7
Piropo	18.3	21.9	20.7	22.2	22	18.7	17.2
Espeartita	6.3	5.8	5.5	5.8	5.8	5.4	6.4
Grossulária	3.2	3.5	3.5	3.6	3.6	3.3	3.7

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Aplitos e Pegmatitos – Corpos Isolados								
Amostra	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z
Análise	C2-1	C2-2b	C2-3	C2-4	C3-1b	C3-2i	C3-3c	C3-4b
SiO ₂	37.693	37.277	37.283	37.181	37.073	37.808	37.93	37.97
TiO ₂	0.016	0.01	0.038	0.094	0.039	0	0.008	0.036
Al ₂ O ₃	21.654	21.442	21.483	21.422	21.141	21.712	21.692	21.818
FeO	31.744	33.018	33.306	33.922	34.011	30.559	30.567	30.261
MnO	1.518	2.16	1.923	2.396	2.084	1.52	1.349	1.36
MgO	5.394	3.901	4.102	3.602	3.346	6.439	6.538	6.419
CaO	1.36	1.561	1.396	1.32	1.66	1.301	1.374	1.431
Total	99.379	99.369	99.531	99.937	99.354	99.339	99.458	99.295
Fórmula Estrutural Calculada na base de 24 oxigênios								
TSi	5.999	5.996	5.983	5.969	5.993	5.977	5.985	6
TAl	0.001	0.004	0.017	0.031	0.007	0.023	0.015	0
ΣST	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
AlVI	4.057	4.058	4.043	4.019	4.018	4.019	4.015	4.06
ΣA	4.059	4.059	4.047	4.031	4.023	4.019	4.016	4.064
Fe ²⁺	4.225	4.442	4.47	4.554	4.598	4.04	4.033	3.999
Mg	1.28	0.935	0.981	0.862	0.806	1.517	1.538	1.512
Mn	0.205	0.294	0.261	0.326	0.285	0.204	0.18	0.182
Ca	0.232	0.269	0.24	0.227	0.288	0.22	0.232	0.242
ΣB	5.941	5.941	5.953	5.969	5.977	5.981	5.984	5.935
Σcations	16	16	16	16	16	16	16	16
Componentes Moleculares								
Almandina	71.1	74.8	75.1	76.3	76.9	67.5	67.4	67.4
Piropo	21.5	15.7	16.5	14.4	13.5	25.4	25.7	25.5
Essartita	3.5	4.9	4.4	5.5	4.8	3.4	3	3.1
Grossulária	3.9	4.5	4	3.8	4.8	3.7	3.9	4.1

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos traço (ppm, **Laser Ablation-ICPMS**) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Paragnaisse Granítico Grupo 2							Paragnaisse Granítico Grupo 3			
Amostra	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A
Análise	Grt1- 2 (80)	Grt1-1 (80)	Grt1-3 (80)	Grt2 -1 (80)	Grt4-1(80)	Grt4-2(80)	Grt17-5b	Grt3-2c(80)	Grt3-3 (80)	Grt5-1 (80)
Li	16.44	18.13	16.47	8.96	12.00	16.30	10.90	9.26	7.83	11.91
Sc	130.31	94.83	132.99	68.04	73.13	100.35	70.30	56.17	84.79	79.55
V	17.94	20.32	19.69	20.69	24.11	24.13	17.62	17.42	17.52	19.64
Cr	231.90	238.97	247.23	163.64	119.38	122.71	31.98	2.20	56.41	116.67
Co	31.92	30.50	31.42	24.16	33.14	36.37	30.41	29.18	24.28	23.87
Ni	5.23	5.46	10.22	6.29	12.05	13.29	13.10		8.24	12.20
Cu	1.19	0.38	0.43	1.74	0.77	0.47	0.55	0.15	0.25	0.94
Zn	99.59	80.17	104.38	204.27	98.86	116.27	63.28	91.19	69.36	69.33
Rb	0.28	0.10	0.11	0.09	0.07	0.12	0.10	0.08	0.08	0.09
Sr	0.23	0.12	0.16	0.08	0.17	0.10	0.19		0.14	0.09
Y	813.85	608.39	671.57	251.79	213.18	762.67	426.29	469.87	186.08	340.27
Zr	6.11	6.13	11.97	4.66	7.23	3.61	2.92	2.43	5.81	8.17
Nb	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.02		0.02	0.05
Cs	0.04	0.01	0.20	0.05	0.06	0.11	0.07			0.04
Ba	0.03	0.09	0.07	0.27	0.28		0.16	0.26		0.82
La	0.03	0.03	0.02				0.01		0.01	0.03
Ce	0.09	0.03	0.04	0.02	0.10	0.04	0.03	0.01	0.03	0.02
Pr	0.02	0.04	0.02	0.01	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02
Nd	0.59	0.69	0.11	0.22	1.12	0.86	0.59	0.37	0.30	
Sm	0.95	1.48	0.88	1.02	1.78	1.47	1.07	0.69	2.51	1.32
Eu	0.18	0.20	0.12	0.04	0.21	0.20	0.05	0.04	0.08	0.03
Gd	12.83	15.98	14.20	10.24	12.70	11.55	13.41	9.52	14.85	11.21
Tb	3.97	5.50	4.30	3.68	4.09	3.97	4.30	3.10	3.63	3.68
Dy	79.37	84.02	70.45	35.47	36.53	67.38	62.52	51.93	32.22	41.59
Ho	32.28	22.36	21.18	7.58	6.06	21.68	18.43	17.70	6.36	11.22
Er	149.56	67.79	70.67	16.82	12.28	74.58	64.80	73.86	17.78	36.50
Tm	27.47	8.05	9.27	2.11	1.18	10.08	9.68	12.24	2.59	5.03
Yb	259.47	52.32	60.46	11.89	7.63	72.99	76.99	100.93	18.01	35.78
Lu	42.14	6.81	7.66	1.65	0.88	9.70	11.09	14.76	2.69	5.82
Hf	2.22	2.34	1.78	0.97	1.00	1.58	1.33	1.44	0.96	1.01
Ta	0.63	0.50	0.46	0.17	0.11	0.45	0.45	0.38	0.14	0.27
Pb	0.05	0.18	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.17
Th	0.00	0.09	0.00		0.00		0.01	0.02	0.04	0.07
U	0.05	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Eu/Eu*	0.16	0.13	0.10	0.04	0.14	0.15	0.04	0.05	0.04	0.02
(Gd/Yb)N	0.04	0.25	0.19	0.70	1.34	0.13	0.14	0.08	0.67	0.25
(SmN/Gd)N	0.10	0.12	0.08	0.13	0.19	0.17	0.11	0.10	0.22	0.16

Paragnaisse granítico Grupo 3									
Amostra	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB
Análise	F03-1	F03-4i	F03-i	F04-b	F04-bt	F05-2b	F05-3b	F05-4i	F3-b
Li	18.09	7.68	17.44	10.97	10.05	7.94	89.43	5.67	10.48
Sc	55.26	51.14	35.46	58.21	58.53	55.97	31.66	55.96	35.86
V	22.97	21.19	12.64	22.71	20.20	19.81	10.23	22.61	10.56
Cr	23.41	55.20	33.27	31.18	29.64	32.82	96.61	56.32	23.41
Co	19.83	20.98	23.47	21.31	23.77	22.61	25.86	21.99	25.12
Ni	9.38	7.51	14.67	6.85	4.23	6.54	17.45	5.67	9.38
Cu	1.31	0.57	0.35	0.36	0.38	0.84	0.48	0.08	0.15
Zn	47.75	70.74	29.79	69.24	88.40	76.71	11.95	75.81	97.24
Rb	0.34	0.08	0.15	0.15	0.19	0.19	0.32	0.08	0.07
Sr	0.47	0.09	0.09	0.10	0.15	0.24	0.22		0.01
Y	1345.19	169.95	310.30	611.23	574.01	687.64	189.53	173.51	437.79
Zr	7.10	6.38	5.92	4.40	1.84	3.83	3.35	5.66	17.75
Nb		0.03	0.00				0.00	0.05	0.00
Cs	0.01	0.08	0.26		0.05	0.09	0.45	0.04	
Ba	1.08	0.30	0.96	0.40	0.64	0.69	2.16	0.09	
La	0.02		0.06	0.04		0.02	0.08	0.03	
Ce	0.01	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.08
Pr		0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
Nd	0.21	0.47	0.28	0.22	0.15	0.17		0.36	0.32
Sm	1.11	1.76	1.19	1.01	0.95	0.61	0.61	1.50	1.40
Eu	0.03	0.14	0.11	0.08	0.10	0.08	0.04	0.08	0.05
Gd	21.84	11.80	12.88	10.07	8.30	10.19	8.79	11.74	16.91
Tb	6.69	3.35	4.02	3.43	2.61	3.51	2.55	3.31	5.87
Dy	102.99	25.92	49.34	54.20	47.02	61.90	32.70	27.57	78.63
Ho	36.43	4.62	13.58	19.12	17.53	20.44	8.83	4.84	26.00
Er	157.83	12.58	49.22	82.13	88.07	86.89	34.54	12.16	67.47
Tm	30.52	1.52	8.30	16.28	21.35	16.71	7.17	1.59	9.11
Yb	185.39	8.10	51.91	102.18	164.67	103.75	57.38	8.42	51.34
Lu	35.29	1.30	7.44	17.78	32.37	17.80	7.11	1.41	7.71
Hf	2.29	0.84	1.48	0.99	1.06	1.61	1.47	0.76	2.51
Ta	1.11	0.11	0.42	0.47	0.48	0.51	0.27	0.20	0.62
Pb	0.51	0.09	0.09	0.18	0.14	0.25	0.09		0.04
Th	0.09	46.91	0.02	0.01	0.01	0.00	0.04	0.00	0.02
U	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
Eu_Eu	0.02	0.09	0.09	0.08	0.11	0.10	0.05	0.06	0.03
GdN_YbN	0.10	1.18	0.20	0.08	0.04	0.08	0.12	1.12	0.27
SmN_GdN	0.07	0.20	0.12	0.13	0.15	0.08	0.09	0.17	0.11

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos traço (ppm, **Laser Ablation-ICPMS**) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Paragnaisse tonalítico Grupo 3										40g2
Amostra	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AO	NP40AM
Análise	C1-1	C1-3	C1-4	C1-6	Grt1-1b (80)	Grt1-2i (80)	Grt1-3c (80)	Grt1-4b (80)	Grt1-6i (80)	C1-6
Li	9.13	9.64	8.32	9.04	14.28	8.22	5.46	5.59	7.00	4.46
Sc	58.77	66.72	71.79	82.09	109.20	76.15	98.27	87.97	80.96	19.19
V	26.71	31.10	34.24	35.31	23.54	26.63	30.88	27.46	26.33	6.53
Cr	115.15	147.83	130.02	101.64	51.94	85.49	120.42	112.96	116.24	
Co	24.28	33.16	34.08	35.82	28.64	30.30	29.59	26.04	29.38	12.07
Ni	2.60	3.25	3.88	6.13	26.44	2.37	4.16	5.06	5.37	1.59
Cu	1.06	0.95	1.25	0.64	0.73	0.27	0.46	0.26	0.34	0.11
Zn	46.67	74.96	90.50	96.46	37.56	74.98	82.81	50.91	80.03	134.34
Rb	0.17	0.22	0.19	0.10	0.17	0.12	0.02	0.04	0.13	
Sr	0.15	0.23	0.20	0.13	0.19	0.14	0.06	0.05	0.09	
Y	315.48	824.58	676.72	600.56	365.49	943.48	408.90	288.51	972.39	56.97
Zr	4.19	3.86	5.10	3.20	5.26	3.12	4.42	4.02	3.29	16.95
Nb	0.02	0.03	0.07	0.03				0.00	0.01	0.01
Cs		0.03	0.03	0.05	0.26		0.03		0.03	
Ba	0.26	0.95	1.47	0.00	1.12	0.13	0.19	0.01	0.43	
La	0.04	0.02	0.04	0.03	0.10	0.02	0.03	0.01	0.02	0.06
Ce	0.16	0.15	0.16	0.15	0.12	0.10	0.16	0.11	0.12	0.04
Pr	0.08	0.06	0.08	0.09	0.11	0.09	0.08	0.11	0.09	0.02
Nd	1.52	0.95	1.63	1.80	2.29	1.08	1.08	2.34	1.59	0.52
Sm	4.04	2.45	3.08	4.69	8.38	1.99	3.67	6.16	1.76	1.39
Eu	0.30	0.20	0.25	0.28	0.63	0.17	0.26	0.37	0.17	0.03
Gd	20.76	21.95	23.60	25.09	38.05	24.51	25.71	36.93	23.55	6.01
Tb	5.95	7.63	7.77	8.00	10.58	8.67	8.03	10.36	8.55	1.46
Dy	56.74	103.15	86.47	82.95	95.68	114.27	72.12	77.53	113.84	9.49
Ho	13.11	28.99	22.69	20.31	17.24	29.76	12.52	13.01	30.89	1.68
Er	43.50	119.13	74.24	67.81	39.93	90.79	28.91	28.68	96.08	3.61
Tm	7.20	22.60	12.60	11.22	4.86	13.91	3.51	3.33	15.48	0.46
Yb	48.66	156.50	79.72	67.17	25.16	77.40	16.56	16.65	87.40	2.94
Lu	7.11	25.92	11.99	10.38	2.78	9.86	2.22	2.19	11.49	0.54
Hf	1.75	3.01	2.22	2.23	2.58	3.15	1.95	2.15	2.98	0.44
Ta	0.34	0.82	0.60	0.54	0.43	0.88	0.28	0.32	0.74	0.05
Pb	0.10	0.09	0.14	0.06	0.06	0.02	0.05	0.09	0.05	0.01
Th		0.01	0.02		0.01		0.00		0.00	
U	0.05	0.03	0.03	0.06	0.06	0.02	0.01	0.04	0.03	0.03
Eu/Eu*	0.10	0.08	0.09	0.08	0.11	0.07	0.08	0.07	0.08	0.03
(Gd/Yb)N	0.34	0.11	0.24	0.30	1.22	0.26	1.25	1.79	0.22	1.65
(SmN/Gd)N	0.26	0.15	0.17	0.25	0.29	0.11	0.19	0.22	0.10	0.31

Granito cinza 40g2									
Amostra	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM
Análise	C1-1	C1-3	C2-2	C2-5	C2-6	C1-1	C1-2	C1-3	C1-4
Li	3.73	3.88	3.87	4.46	4.97	10.98	6.02	5.78	4.21
Sc	45.82	32.07	45.71	43.03	48.53	17.37	17.93	20.43	18.45
V	5.13	4.60	5.42	5.39	5.75	6.02	6.15	4.48	6.09
Cr			1.33	0.57	0.03	14.86			
Co	9.15	9.01	9.45	8.04	12.73	13.90	9.83	12.06	10.86
Ni	1.46	0.98	2.55	2.23	2.85	10.03	2.96	1.19	0.55
Cu	0.61	0.72	1.37	1.93	10.95	0.54	0.08	0.78	0.21
Zn	70.60	67.99	69.89	56.04	103.01	107.29	82.02	140.27	126.24
Rb	0.06	0.05	0.10	0.11	0.18	0.08	0.03	1.43	0.00
Sr	0.15	0.19	0.26	0.34	0.31	0.24	0.00	0.24	0.04
Y	70.12	77.35	58.83	66.82	52.46	49.58	51.06	53.70	62.67
Zr	7.72	6.10	10.37	10.58	11.35	11.04	23.95	8.65	8.63
Nb	0.02	0.01	0.03	0.02	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01
Cs		0.02	0.01	0.04	0.00	0.23	0.02	0.07	0.02
Ba	0.70	0.07	1.51	1.06	1.76	1.21	0.19	0.51	0.10
La	0.01	0.03	0.09		0.07	0.05	0.01	0.03	0.00
Ce	0.09	0.09	0.13	0.10	0.17	0.05	0.04	0.12	0.02
Pr	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.03	0.04	0.04	0.02
Nd	0.42	0.55	0.65	0.67	0.63	0.62	0.58	0.53	0.31
Sm	3.23	2.06	2.67	2.59	2.94	1.56	1.79	1.95	0.89
Eu	0.04	0.03	0.04	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04	0.03
Gd	11.68	9.06	10.05	10.96	12.08	7.45	6.90	7.44	5.51
Tb	2.82	2.16	2.35	2.45	2.78	2.16	1.85	1.91	1.60
Dy	13.95	15.20	12.26	13.06	13.43	13.88	11.39	11.78	11.62
Ho	2.15	2.60	1.68	1.77	1.74	2.34	1.68	1.58	1.84
Er	4.35	6.34	3.20	3.84	3.37	4.99	4.02	3.25	3.87
Tm	0.57	0.88	0.39	0.42	0.29	0.60	0.51	0.35	0.51
Yb	3.47	6.09	2.21	2.91	1.75	4.17	3.24	1.96	3.19
Lu	0.65	0.97	0.41	0.50	0.30	0.65	0.56	0.28	0.48
Hf	0.39	0.57	0.51	0.53	0.62	0.57	0.91	0.48	0.46
Ta	0.07	0.08	0.04	0.04	0.03	0.05	0.08	0.04	0.05
Pb	0.08	0.21	0.06	0.10	0.26	0.09	0.06	0.30	0.04
Th	0.01	0.23	0.02	0.03	0.03	0.01	0.00	0.10	0.00
U	0.03	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.50	0.02
Eu_Eu	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
GdN_YbN	2.72	1.20	3.68	3.04	5.58	1.44	1.72	3.06	1.39
SmN_GdN	0.37	0.30	0.35	0.31	0.32	0.28	0.34	0.35	0.21

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos traço (ppm, **Laser Ablation-ICPMS**) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Granito cinza 40g2										
Amostra	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ
Análise	C1-1	C1-4	C1-5	C1-6	Grt1-01 (80)	Grt1-1	Grt1-2 (80)	Grt1-4 (80)	Grt1-5 (80)	Grt1-6 (80)
Li	13.56	4.03	3.80	4.73	15.20	24.67	11.09	16.33	14.42	14.09
Sc	34.60	34.93	40.73	41.02	41.33	37.03	38.54	38.27	35.86	46.72
V	15.37	22.35	19.41	20.63	13.45	13.37	16.44	19.03	16.42	1.59
Cr	14.67	2.52	2.90	2.49		49.27		2.81	1.93	2.61
Co	11.03	14.65	12.63	10.88	10.73	16.64	13.76	13.34	13.98	10.34
Ni	12.47	2.27	1.80	2.39	2.07	31.93	5.80	3.49	4.72	7.61
Cu	0.67	0.61	0.46	1.03	0.16	0.55	0.16	0.24	0.17	0.36
Zn	55.38	148.76	111.81	88.66	68.30	98.70	85.68	139.43	106.71	112.59
Rb	0.18	0.03	0.06	0.21	0.11	0.19	0.14	0.12	0.06	0.02
Sr	0.41	0.02	0.00	0.21	0.06	0.29	0.11	0.04	0.07	0.04
Y	66.12	48.87	63.33	66.04	274.45	151.36	83.76	560.69	164.04	152.84
Zr	5.60	7.25	5.53	6.55	11.38	8.31	8.38	28.39	9.74	15.21
Nb	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.04	0.01	0.04		0.03
Cs	0.32	0.06	0.03	0.33		0.34		0.05	0.02	0.06
Ba	1.48	0.37	0.24	0.93	0.36	0.75	0.49	0.13		
La	0.04		0.07	0.07		0.07	0.01	0.04		0.02
Ce	0.03	0.05	0.05	0.10	0.03	0.05	0.05	0.02	0.02	0.03
Pr	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.04
Nd	1.07	0.28	0.31		0.04	0.95	0.65	0.21		0.48
Sm	1.12	1.43	1.35	1.19	0.49	0.91	1.46	0.63	0.97	1.08
Eu	0.06	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.02	0.02
Gd	7.03	6.87	7.26	6.88	5.94	8.60	7.11	12.85	5.43	10.56
Tb	2.34	1.95	2.14	2.01	1.92	2.81	2.22	4.28	1.72	3.82
Dy	18.13	10.07	12.76	11.94	30.19	33.00	17.12	63.63	20.20	33.35
Ho	2.62	1.29	1.70	2.05	9.65	6.58	2.91	18.59	5.13	4.87
Er	5.15	2.36	3.16	3.72	33.44	15.30	6.02	59.81	14.97	5.46
Tm	0.60	0.24	0.38	0.41	5.58	2.11	0.73	9.02	2.31	0.47
Yb	3.33	1.36	2.49	2.36	36.71	11.26	4.23	53.86	14.40	1.92
Lu	0.51	0.27	0.45	0.49	5.58	1.22	0.59	8.26	1.91	0.29
Hf	0.56	0.35	0.40	0.53	0.98	1.18	0.71	2.15	0.71	1.28
Ta	0.07	0.03	0.05	0.05	0.23	0.16	0.06	0.58	0.11	0.10
Pb	0.13	0.06	0.06	0.10	0.13	0.02	0.06	0.05	0.01	0.04
Th	0.01			0.03	0.06	0.00	0.05	0.01		0.01
U	0.05	0.02	0.05	0.02	0.01	0.04	0.08	0.02	0.01	0.01
Eu/Eu*	0.07	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02
(Gd/Yb)N	1.70	4.08	2.35	2.35	0.13	0.62	1.36	0.19	0.30	4.44
(SmN/Gd)N	0.21	0.28	0.25	0.23	0.11	0.14	0.27	0.07	0.24	0.14

Granada Leucogranito 40g3										
Amostra	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF
Análise	C1-11	C1-12	C1-5	C1-6	C1-7	C1-8	C1-9	C2-1b	C2-2	C2-3
Li	7.09	7.39	7.30	7.56	6.59	7.31	6.30	5.35	5.90	4.55
Sc	38.35	39.34	30.07	36.27	35.94	36.29	31.35	29.03	27.13	29.31
V	12.21	13.98	9.80	10.23	9.11	11.47	10.46	12.57	12.92	11.27
Cr	1.51	0.88				0.37	0.96	1.09	1.40	1.18
Co	17.23	16.59	11.81	17.10	17.13	16.12	11.42	15.81	16.33	13.59
Ni	2.55	3.01	4.02	1.50	2.06	1.90	2.23	2.57	2.44	2.72
Cu	0.34	0.40	0.30	0.61	0.50	0.45	0.18	0.40	0.25	0.34
Zn	164.24	166.73	75.60	180.21	219.07	202.06	98.81	173.72	218.55	141.38
Rb	0.04	0.08	0.08	0.09	0.09	0.04	0.07	0.06	0.03	0.01
Sr	0.07	0.08	0.10	0.12	0.08	0.02	0.08	0.08	0.01	0.05
Y	266.64	251.54	193.62	217.53	237.69	256.62	206.73	164.01	247.39	167.85
Zr	8.07	8.83	5.75	7.22	5.92	9.54	5.42	5.43	9.40	5.20
Nb	0.01		0.00	0.01	0.03		0.01		0.01	
Cs	0.04	0.05	0.12	0.03	0.03	0.03		0.01		0.06
Ba	0.32		0.09	0.13	0.03	0.17			0.18	0.25
La		0.01	0.02	0.02	0.04			0.01	0.04	0.00
Ce	0.00	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02
Pr	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01
Nd	0.46		0.32	0.11	0.74	0.33	0.17	0.48	0.29	0.19
Sm	0.80	0.63	0.37	0.36	0.33	0.46	0.55	0.48	0.48	0.67
Eu	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
Gd	5.28	5.39	4.76	4.50	4.15	5.03	5.31	5.34	4.67	6.41
Tb	1.86	1.89	1.88	1.69	1.42	1.73	1.79	1.98	1.64	2.15
Dy	27.89	25.88	27.40	24.05	23.86	26.43	22.66	21.87	23.39	22.94
Ho	8.32	7.83	7.45	6.84	7.15	7.57	5.68	4.02	6.67	4.49
Er	22.92	22.00	19.60	17.27	21.34	21.54	13.04	8.03	17.11	9.57
Tm	2.78	2.55	2.22	1.89	2.46	2.62	1.25	0.78	1.79	0.81
Yb	13.49	11.96	11.39	9.99	12.51	13.02	5.88	3.69	8.45	3.82
Lu	2.14	2.05	1.75	1.44	1.89	2.09	0.92	0.53	1.24	0.72
Hf	0.94	1.02	0.79	0.91	0.75	0.89	0.73	0.73	0.64	0.63
Ta	0.23	0.19	0.22	0.17	0.21	0.18	0.11	0.11	0.15	0.12
Pb	0.02	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	0.01
Th	0.00	0.01	0.03	0.10	0.00	0.06	0.03	0.00		
U	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02
Eu_Eu	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03	0.04	0.02	0.04	0.04	0.02
GdN_YbN	0.32	0.36	0.34	0.36	0.27	0.31	0.73	1.17	0.45	1.35
SmN_GdN	0.20	0.16	0.10	0.11	0.11	0.12	0.14	0.12	0.14	0.14

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos traço (ppm, **Laser Ablation-ICPMS**) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Granada Leucogranito 40g3						Granada leucogranito 40g4				
Amostra	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL
Análise	C3-3	C3-4	Grt1-1	Grt1-2 (80)	Grt1-3c (80)	C4-3i	C4-4c	Grt1-1b (80)	Grt1-2i (80)	Grt1-3c (80)
Li	4.73	4.73	20.28	5.26	7.58	10.80	10.25	26.53	16.13	17.66
Sc	33.49	30.96	25.95	33.85	33.40	79.77	73.01	35.84	37.40	28.44
V	10.68	15.63	8.79	9.94	9.67	20.13	12.34	5.04	4.43	9.43
Cr	0.64	8.26	21.33	0.66	1.31	139.06		80.02	6.86	
Co	15.29	8.66	15.92	19.71	18.60	26.18	28.02	10.78	12.54	12.35
Ni	2.31	2.16	9.79	2.08	2.60	12.36		26.45	12.20	2.48
Cu	0.24	0.36	1.00	0.21	0.69	0.25	1.03	0.54	0.55	0.58
Zn	190.76	71.32	73.71	266.45	260.12	80.67	157.43	65.48	130.15	185.56
Rb	0.06	0.04	0.22	0.03	0.12	0.02	0.16	0.20	0.10	0.24
Sr		0.09	0.17	0.05	0.09	0.18	0.06	0.30	0.04	0.20
Y	204.17	127.82	111.20	160.34	252.56	126.08	523.20	173.23	197.70	502.03
Zr	3.25	12.98	5.87	5.44	9.63	8.96	5.73	4.01	3.05	6.42
Nb			0.03	0.01	0.04	0.10	0.01	0.03	0.01	0.02
Cs		0.06	0.31		0.04	0.10		0.25	0.07	0.04
Ba	0.09	0.41	1.38	0.36	0.31			0.66	1.01	0.35
La		0.01	0.05	0.01		0.01		0.10	0.07	0.01
Ce	0.01	0.08	0.04	0.02		0.04	0.05	0.07	0.01	0.03
Pr	0.03	0.03	0.02	0.01			0.02	0.04		0.02
Nd		0.84	0.18	0.31	0.16	0.28	0.88	0.17	0.65	0.52
Sm	0.73	2.58	1.07	0.61	0.49	1.25	1.81	1.36	0.50	0.99
Eu	0.01	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0.00
Gd	4.50	12.84	9.63	6.42	5.99	9.89	21.32	13.21	5.15	10.55
Tb	1.34	3.47	3.02	2.46	2.00	2.90	7.97	4.51	1.83	3.68
Dy	18.44	22.79	35.53	23.02	29.44	22.75	93.42	55.47	29.40	60.25
Ho	5.24	3.27	6.31	4.54	7.56	3.81	28.02	10.18	9.89	20.14
Er	13.72	6.27	12.38	9.30	17.90	9.35	68.36	20.72	38.25	71.87
Tm	1.58	0.60	1.20	0.98	1.82	0.94	9.20	2.51	6.43	11.82
Yb	8.18	2.85	7.26	5.40	9.36	7.21	52.00	14.58	43.79	72.13
Lu	1.24	0.64	1.43	1.03	1.42	0.85	6.68	1.75	6.00	9.85
Hf	0.59	0.88	1.42	0.77	0.86	0.80	2.79	1.72	0.75	1.68
Ta	0.13	0.12	0.13	0.09	0.18	0.10	0.69	0.23	0.24	0.52
Pb	0.06	0.05	0.02	0.04	0.05		0.11	0.03	0.10	0.18
Th		0.01	0.01	0.01	0.04	0.00	0.11	0.00	0.01	0.14
U	0.03	0.02	0.05	0.01	0.01	0.00	0.09	0.05	0.04	0.04
Eu/Eu*	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01	0.04	0.00
(Gd/Yb)N	0.44	3.64	1.07	0.96	0.52	1.11	0.33	0.73	0.09	0.12
(SmN/Gd)N	0.22	0.27	0.15	0.13	0.11	0.17	0.11	0.14	0.13	0.12

Granada Leucogranito 40g4						Granito cinza 74g1				
Amostra	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	74C
Análise	Grt2-1b (80)	Grt2-2i (80)	Grt2-3c (80)	Grt2-4L (80)	Grt2-5L (80)	Grt4-1b (80)	Grt4-1b (80)	Grt4-2b (80)	Novo1	Novo2
Li	10.59	10.89	13.07	14.02	8.70	8.76	7.83	11.52	5.86	4.42
Sc	47.34	38.82	40.42	31.77	56.60	45.33	44.35	56.28	44.54	35.03
V	6.67	3.08	3.34	3.10	6.13	10.66	8.98	9.02	10.87	9.50
Cr				2.44	3.30	6.63		6.11		
Co	13.48	12.68	13.06	12.93	10.04	23.07	17.27	15.08	21.90	16.04
Ni	5.36	5.87	4.97	7.18	7.82	5.98	2.74	8.00	11.47	
Cu	0.42	0.33	0.38	0.31	0.29	0.34	0.37	0.27	0.38	0.09
Zn	239.20	221.08	213.25	238.51	162.16	111.68	60.32	60.70	54.28	45.16
Rb	0.06	0.08	0.08	0.06	0.12	0.08	0.06	0.06	0.04	
Sr	0.07	0.04	0.10	0.09	0.05	0.04	0.05	0.07	0.05	
Y	270.15	330.55	516.94	268.99	284.32	478.51	322.75	318.47	124.75	56.36
Zr	4.48	6.30	6.49	7.70	4.37	19.76	9.84	10.05	10.50	14.05
Nb	0.06		0.03	0.01	0.05	0.06		0.03		0.00
Cs	0.02	0.05	0.03	0.03	0.11	0.07		0.09	0.01	
Ba	0.51	0.16	0.37	0.30	0.81		0.22	0.26		
La	0.01	0.04	0.01	0.01		0.01	0.02	0.02	0.00	
Ce	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.09	0.09	0.06	0.04
Pr		0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.06	0.03
Nd	0.11	0.26	0.19	0.27	0.39	1.18	0.44	0.70	1.32	0.71
Sm	0.49	0.44	0.37	0.22	1.14	1.50	1.54	1.34	5.27	3.09
Eu	0.02	0.05	0.04	0.00	0.03	0.05	0.06	0.02	0.11	0.08
Gd	6.62	9.43	8.68	5.22	12.78	14.92	9.60	8.80	29.90	19.20
Tb	2.43	3.35	3.12	1.79	4.61	5.20	3.34	2.91	8.38	5.73
Dy	34.15	42.83	52.38	28.46	47.36	59.51	38.82	35.08	57.65	29.79
Ho	8.14	9.97	18.00	9.20	8.52	15.70	11.56	10.43	9.61	3.28
Er	20.20	25.84	66.54	30.33	17.89	36.53	32.01	31.10	19.25	3.99
Tm	2.49	3.49	11.24	4.64	1.95	3.53	3.88	4.09	2.48	0.47
Yb	10.26	18.88	71.92	25.49	10.01	17.13	21.98	20.88	16.10	2.67
Lu	1.36	2.05	10.45	3.41	1.79	3.07	3.70	3.52	2.42	0.36
Hf	0.93	1.43	1.34	0.90	0.91	1.96	1.40	1.22	1.58	1.27
Ta	0.17	0.28	0.42	0.17	0.17	0.43	0.29	0.27	0.19	0.07
Pb	0.16	0.03	0.02	0.01	0.05	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00
Th	0.25				0.00		0.01	0.01	0.01	0.03
U	0.04	0.02	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.06	0.04
Eu_Eu	0.03	0.07	0.07	0.00	0.02	0.03	0.05	0.02	0.03	0.03
GdN_YbN	0.52	0.40	0.10	0.17	1.03	0.70	0.35	0.34	1.50	5.80
SmN_GdN	0.10	0.06	0.06	0.06	0.12	0.13	0.21	0.20	0.23	0.21

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos traço (ppm, **Laser Ablation-ICPMS**) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Granito cinza 74g1			Granada leucogranito (vênula no granito cinza 74g1)					Granada leucogranito 74g3		
Amostra	NP74C	NP74C	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74AD	NP74AD	NP74AD
Análise	Novo3	Novo4	Grt4-1	Grt4-2	Grt4-3	Grt4-4	Grt4-5	Grt1-1 (80)	Grt1-3i (80)	Grt1-4c (80)
Li	9.88	9.41	22.15	6.57	6.30	7.06	6.37	10.10	10.24	10.95
Sc	60.69	43.50	39.12	49.75	44.40	43.93	42.60	36.81	38.37	38.00
V	16.45	8.28	8.71	19.20	22.96	17.27	12.72	1.47	1.63	1.77
Cr	22.99		128.53		2.73	7.07	15.39		4.94	6.38
Co	20.30	22.77	25.96	29.33	26.69	23.88	24.58	11.00	12.06	13.38
Ni	5.87	3.00	36.48	3.48	2.07	10.81	4.27	4.74	10.71	11.39
Cu	0.84	0.21	1.12	0.25	0.66	0.72	0.24	0.24	0.47	1.04
Zn	62.56	95.18	31.64	104.68	154.65	94.55	109.61	101.24	113.84	128.47
Rb	0.31	0.49	0.35	0.05	1.14	0.14	0.02	0.04	0.06	0.06
Sr	0.28	0.19	0.51	0.00	0.24	0.14	0.01	0.04	0.07	0.26
Y	486.68	501.19	56.60	95.37	42.52	84.10	96.20	153.00	132.77	126.21
Zr	3.55	8.19	13.65	24.62	46.52	22.34	9.48	8.50	7.85	9.44
Nb			0.12		0.03		0.02		0.01	0.02
Cs	0.09	0.05	1.06			0.13	0.01	0.06	0.04	0.06
Ba	1.56	1.92	4.09	0.26	5.43	1.23		0.31	0.54	0.99
La	0.09	0.04		0.01	0.06	0.01	0.09	0.03	0.03	0.06
Ce	0.05	0.02	0.08	0.05	0.08	0.03	0.08	0.01	0.01	0.01
Pr	0.03	0.02	0.05	0.07	0.05	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
Nd	0.32	1.05	1.20	0.80	1.33	0.31		0.63	0.54	0.65
Sm	1.43	1.03	3.63	3.99	3.16	2.54	2.01	1.43	0.93	0.89
Eu	0.14	0.04	0.12	0.09	0.09	0.07	0.03	0.01	0.04	0.03
Gd	12.43	10.42	17.35	21.47	13.00	15.19	11.53	9.75	7.60	6.50
Tb	4.56	3.75	5.46	5.42	2.56	4.20	3.55	3.38	2.36	2.02
Dy	56.12	57.14	32.06	24.91	9.88	19.96	19.02	31.81	23.07	19.67
Ho	14.26	24.66	4.17	3.44	1.37	2.50	2.61	5.56	3.84	3.56
Er	45.83	91.77	8.35	6.33	1.82	4.27	3.37	8.47	6.17	5.74
Tm	7.17	17.61	1.12	0.70	0.23	0.39	0.28	0.92	0.59	0.52
Yb	39.54	123.15	7.52	3.77	1.36	1.93	2.32	4.04	3.24	3.23
Lu	5.88	20.54	0.92	0.61	0.25	0.32	0.53	0.61	0.53	0.48
Hf	1.11	1.60	1.98	1.12	1.03	0.92	0.52	1.04	0.69	0.66
Ta	0.39	0.51	0.16	0.06	0.07	0.10	0.08	0.15	0.11	0.10
Pb	0.17	0.07	0.25	0.03	0.16	0.03	0.01	0.09	0.10	0.23
Th	0.04	0.00	0.09	0.00	0.02	0.02	0.04	0.03		0.00
U	0.01	0.03	0.44	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00
Eu/Eu*	0.10	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01	0.05	0.04
(Gd/Yb)N	0.25	0.07	1.86	4.60	7.69	6.36	4.01	1.95	1.89	1.63
(SmN/Gd)N	0.15	0.13	0.28	0.25	0.32	0.22		0.19	0.16	0.18

Granada Leucogranito 74g3					Granada Leucogranito 74g2				
Amostra	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74N	NP74N	NP74N	NP74N
Análise	Grt1-5	Grt1-6	Grt1-7	Grt2-1 (80)	Grt2-3 (80)	Grt1 -2i (80)	Grt1- 3b (80)	Grt1-1b (80)	Grt1-4i (80)
Li	11.22	15.89	9.43	7.75	9.08	8.38	6.20	14.44	5.18
Sc	65.57	24.47	63.52	50.66	51.12	70.86	64.40	47.05	78.78
V	0.98	0.78	0.80	1.17	1.33	5.25	9.76	5.61	4.58
Cr	5.81	99.09		2.82	4.74	14.17		68.15	3.19
Co	17.55	10.76	15.97	13.44	14.13	17.12	16.38	13.77	17.59
Ni	11.99	44.00		8.08	9.01	10.20	1.33	21.34	4.01
Cu	0.48	0.62	0.18	0.18	0.48	0.31	0.29	0.53	0.13
Zn	236.37	69.42	200.13	169.21	178.91	109.55	132.99	62.05	162.79
Rb	0.01	0.06	0.08	0.06	0.10	0.12	0.05	0.23	0.07
Sr	0.18	0.22		0.01	0.05	0.06	0.03	0.22	0.06
Y	235.10	72.82	247.82	226.20	268.93	295.75	378.14	267.83	355.49
Zr	9.34	3.06	4.39	4.62	7.80	4.42	5.78	5.21	6.03
Nb	0.07	0.01	0.03			0.03	0.03	0.01	0.01
Cs	0.14	0.32		0.04	0.12	0.17	0.03	0.32	0.05
Ba	0.43	0.96	0.32	0.34	0.14	0.15	0.02	1.18	0.23
La	0.01	0.05		0.02	0.06	0.05	0.01	0.08	0.01
Ce		0.02	0.01	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.02
Pr	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.03	0.02	0.04
Nd	0.06	0.44	0.45	0.38		0.83	0.80	0.95	0.49
Sm	0.38	0.57	0.48	0.61	0.46	1.16	1.61	1.82	0.73
Eu		0.02	0.03	0.00	0.02	0.07	0.02	0.03	0.02
Gd	5.24	5.07	7.39	5.16	5.65	10.46	11.89	11.31	10.20
Tb	1.79	2.01	2.69	1.90	1.82	3.66	3.91	4.09	3.58
Dy	26.31	23.30	36.65	24.34	25.63	51.35	52.06	62.06	46.33
Ho	6.78	4.27	11.31	6.27	7.97	13.98	14.35	16.63	12.99
Er	16.94	8.45	33.09	15.16	25.70	40.24	42.11	47.80	35.46
Tm	2.24	1.00	5.50	1.92	4.16	6.06	6.59	6.86	4.55
Yb	10.19	5.47	33.26	9.61	23.25	42.59	46.85	43.83	27.53
Lu	1.25	0.71	4.50	1.42	3.84	6.50	7.60	5.88	3.33
Hf	0.82	0.66	0.95	0.77	1.02	1.61	1.41	1.29	1.32
Ta	0.22	0.17	0.28	0.17	0.17	0.33	0.30	0.36	0.38
Pb	0.01	0.05	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.06
Th	0.03	0.04			0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
U	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.07	0.03	0.07	0.05
Eu_Eu		0.04	0.05	0.00	0.04	0.06	0.01	0.02	0.02
GdN_YbN	0.41	0.75	0.18	0.43	0.20	0.20	0.20	0.21	0.30
SmN_GdN	0.10	0.15	0.09	0.16	0.11	0.15	0.18	0.21	0.09

Anexo 4

Anexo 4a – (continuação) Composição química de elementos traço (ppm, **Laser Ablation-ICPMS**) de granada de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista (SP).

Granada leucogranito 74g2									
Amostra	NP74N	NP74N	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U
Análise	Gr2-1b (80)	Gr2-2i (80)	Gr3-1b (80)	Gr3-2i (80)	Gr3-3c (80)	Gr3-4	Gr4-1b (80)	Gr4-2i (80)	Gr4-3c (80)
Li	6.71	13.23	9.49	9.69	12.01	11.77	7.92	12.38	15.37
Sc	55.38	41.87	74.80	88.94	54.36	50.50	73.92	89.57	73.89
V	11.47	10.72	12.00	13.44	8.91	9.16	12.33	5.25	5.34
Cr	11.00	10.54	11.46	6.09	1.26		11.26	5.65	5.23
Co	18.71	17.79	23.72	27.52	23.53	24.30	24.95	25.16	22.05
Ni	5.95	7.64	9.06	9.03	14.36	12.71	11.83	10.11	6.80
Cu	37.90	0.37	0.67	0.39	0.37	0.53	2.43	0.88	0.86
Zn	155.53	133.01	142.85	179.49	151.65	92.74	179.79	178.74	148.32
Rb	0.07	0.17	0.02	0.11	0.24	0.08	0.37	0.10	0.11
Sr	0.06	0.20		0.13	0.13	0.06	0.38	0.24	0.15
Y	381.13	726.79	318.52	456.13	422.79	300.62	180.23	388.87	532.92
Zr	3.88	5.48	7.32	7.84	28.66	6.92	8.73	4.71	5.14
Nb	0.00	0.04	0.08	0.01	0.07	0.02	0.01	0.03	0.00
Cs	0.04	0.14	0.13	0.07	0.18	0.04	0.01		0.01
Ba	0.40	0.64	0.55	0.11	1.23		2.11	0.29	0.56
La	0.00	0.00	0.04	0.02	0.11		0.06	0.05	0.02
Ce	0.03	0.03	0.01	0.08	0.08	0.02	0.13	0.03	
Pr	0.03	0.01	0.00	0.07	0.02	0.03	0.04		0.03
Nd	0.62	0.41	0.24	0.57	0.64	0.51	0.81	0.14	0.38
Sm	0.65	0.74	1.07	1.22	0.53	2.35	1.15	0.30	0.27
Eu	0.02	0.02	0.00		0.03	0.07	0.03	0.04	0.02
Gd	7.07	10.80	11.65	13.51	6.28	21.51	9.91	5.36	7.48
Tb	2.47	3.60	3.24	3.96	1.98	7.95	3.42	1.81	2.42
Dy	37.72	69.05	40.74	51.68	37.80	87.71	29.65	30.24	46.21
Ho	11.25	29.60	9.78	13.91	16.33	23.13	4.99	12.41	19.96
Er	35.50	130.03	26.48	32.12	60.37	58.06	8.33	42.53	76.38
Tm	6.03	23.67	4.37	4.24	11.08	9.58	1.02	8.69	16.16
Yb	43.76	164.95	24.62	21.86	70.56	67.38	5.95	49.19	111.00
Lu	7.52	27.72	4.22	2.96	10.80	10.59	1.01	7.03	18.45
Hf	0.96	1.70	1.23	1.68	2.68	2.42	0.57	0.97	1.28
Ta	0.24	0.70	0.22	0.24	0.46	0.57	0.10	0.26	0.40
Pb	0.08	0.16		0.04	0.14	0.06	0.90	0.37	0.14
Th	0.02	0.07	0.00	0.00		0.23	0.34	0.11	0.03
U	0.01	0.01	0.00	0.01	0.09	0.04	0.00	0.02	0.00
Eu/Eu*	0.03	0.02	0.00		0.05	0.03	0.03	0.10	0.04
(Gd/Yb)N	0.13	0.05	0.38	0.50	0.07	0.26	1.34	0.09	0.05
(SmN/Gd)N	0.12	0.09	0.12	0.12	0.11	0.15	0.15	0.07	0.05

Aplito – Pegmatito							
Amostra	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z
Análise	C2-1	C2-2b	C2-3	C2-4	C3-1b	C3-3c	C3-4b
Li	8.65	11.03	9.14	7.80	12.02	9.63	8.46
Sc	72.03	61.10	78.24	82.80	71.68	73.11	69.96
V	15.20	20.48	18.82	19.18	23.91	20.29	19.72
Cr	212.37	212.30	215.33	139.08	259.02	175.51	115.81
Co	17.20	10.99	13.98	12.37	11.62	26.18	21.29
Ni	6.04	5.44	5.80	6.21	7.30	6.80	3.33
Cu	0.69	0.64	2.40	0.32	0.44	0.36	0.42
Zn	128.15	67.02	74.18	65.22	60.05	210.92	154.89
Rb	0.23	0.90	0.42	0.03	0.31	0.05	0.03
Sr	0.17	0.06	0.55	0.13	0.08	0.05	0.05
Y	184.27	168.84	210.61	368.96	173.50	384.28	207.97
Zr	6.16	9.86	8.11	6.91	6.07	4.42	5.37
Nb	0.02	0.02	0.06				
Cs	0.12	0.11	0.15	0.08	0.13	0.07	0.01
Ba	1.54	0.39	1.82	0.36	0.00	0.17	0.18
La	0.07	0.00	0.07		0.06	0.05	0.03
Ce	0.06	0.08	0.15	0.02	0.05		0.03
Pr	0.03	0.02	0.07	0.05	0.04	0.01	0.03
Nd	0.27	0.53	1.45	0.20	0.26	0.68	0.63
Sm	1.67	1.57	1.69	2.10	2.15	0.98	1.78
Eu	0.07	0.04	0.03	0.08	0.05	0.02	0.05
Gd	11.53	11.94	13.85	15.81	14.34	10.91	14.46
Tb	3.71	3.41	4.26	4.89	4.43	3.63	4.72
Dy	30.47	28.11	35.36	52.55	31.25	45.64	42.55
Ho	5.51	5.21	6.24	12.06	5.59	12.00	7.72
Er	13.01	11.40	14.13	34.37	13.91	33.33	17.89
Tm	1.60	1.61	1.81	5.01	2.19	4.53	2.28
Yb	9.75	9.68	12.27	32.34	14.49	28.28	13.98
Lu	1.67	1.58	1.92	5.66	2.44	3.90	2.11
Hf	0.64	0.74	0.93	1.06	1.28	0.99	1.10
Ta	0.20	0.10	0.15	0.20	0.14	0.21	0.21
Pb	0.06	0.25	0.12	0.04	0.25	0.06	0.11
Th	0.05	0.10	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01
U	0.05	0.07	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03
Eu_Eu	0.05	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03
GdN_YbN	0.95	1.00	0.91	0.39	0.80	0.31	0.83
SmN_GdN	0.19	0.17	0.16	0.18	0.20	0.12	0.16

Anexo 4b - Resultados de análises químicas obtidas por microsonda eletrônica para cristais de monazita de granitos e paragneisses. Análises por *laser ablation* de alguns grão são apresentados a partir da página 26.

Granada leucogranito 74g3 (afloramento 74)							
Amostra	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD
Localização	P3	P3	P3	P4	P4	P5	P6
Análise	b	c	c	b	i	n	i
SiO ₂	0.20	0.17	0.12	0.16	0.13	0.19	0.18
CaO	1.42	1.46	1.54	1.40	1.40	1.30	1.39
P ₂ O ₅	31.39	31.42	31.08	31.19	31.12	31.01	30.96
La ₂ O ₃	11.37	12.07	12.11	11.99	11.87	13.04	12.78
Ce ₂ O ₃	27.64	27.51	27.05	28.48	26.96	29.20	28.40
Y ₂ O ₃	0.56	0.34	1.70	1.02	0.82	0.84	1.12
ThO ₂	6.28	6.65	5.93	5.74	5.72	5.51	5.92
PbO	0.23	0.25	0.40	0.23	0.29	0.17	0.23
Pr ₂ O ₃	2.89	3.06	2.68	2.65	2.75	2.83	2.75
Nd ₂ O ₃	10.98	12.22	10.60	10.57	11.67	10.24	10.14
Sm ₂ O ₃	3.26	2.57	2.13	2.98	2.54	2.57	2.78
Gd ₂ O ₃	1.53	2.06	1.86	1.33	2.29	1.03	1.28
UO ₂	0.95	0.76	1.63	1.26	1.06	0.98	1.35
Dy ₂ O ₃	0.35	0.18	0.52	0.38	0.38	0.20	0.24
Total	99.03	100.73	99.33	99.37	98.99	99.11	99.51
LREE_ppm	479817	490938	466240	484312	476802	494680	485817
HREE_ppm	20624	22144	34086	22914	29599	17269	21954
(La/Sm) _N	2.19	2.95	3.58	2.53	2.94	3.19	2.89
La_Y	22.1	38.4	7.7	12.7	15.6	16.9	12.3
Th_U	6.61	8.75	3.63	4.56	5.36	5.59	4.38

Granada Leucogranito 40g4 (afloramento 40)							
Amostra	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL
Localização	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4
Análise	b	i	i	b	c	c	i
SiO ₂	1.47	0.46	0.25	0.49	0.19	0.13	0.30
CaO	2.93	1.98	1.73	2.13	1.44	1.60	1.73
P ₂ O ₅	28.51	30.33	30.66	30.53	30.99	31.21	31.06
La ₂ O ₃	7.69	10.80	12.35	10.44	12.54	12.60	12.51
Ce ₂ O ₃	21.00	26.31	25.69	25.33	27.28	26.29	26.27
Y ₂ O ₃	0.76	0.59	2.57	0.71	2.32	2.56	2.25
ThO ₂	16.32	8.90	7.80	9.42	6.25	5.73	8.06
PbO	0.70	0.35	0.34	0.43	0.32	0.48	0.24
Pr ₂ O ₃	2.55	2.69	2.52	2.63	2.50	2.67	2.57
Nd ₂ O ₃	10.81	11.02	8.92	10.82	9.60	9.95	8.95
Sm ₂ O ₃	2.54	2.37	2.11	2.39	2.15	1.99	2.04
Gd ₂ O ₃	2.10	1.96	1.98	2.25	2.00	1.93	1.89
UO ₂	2.07	2.30	1.51	2.57	1.36	2.47	1.45
Dy ₂ O ₃	0.32	0.35	0.84	0.36	0.79	0.80	0.78
Total	99.76	100.40	99.24	100.47	99.72	100.41	100.10
LREE_ppm	381139	454671	440714	441084	461965	457081	447342
HREE_ppm	26935	24678	44715	28199	42492	43869	40943
(La/Sm) _N	1.90	2.86	3.69	2.75	3.68	3.99	3.87
La_Y	11.02	19.99	5.20	16.02	5.85	5.32	6.02
Th_U	7.85	3.87	5.16	3.66	4.57	2.32	5.55

Anexo 4

Anexo 4b (cont.) - Resultados de análises químicas obtidas por microsonda eletrônica para cristais de monazita de granitos e paragneisses.

Amostra	granito cinza 74g1 (afloramento 74)			
	74C-P1-F12-b	74C-P2-F12-n	74C-P3-F12-b	74C-P4-F12-b
Localização	P1	P2	P3	P4
Análise	b	n	b	b
SiO ₂	0.32	0.18	0.70	0.23
CaO	0.97	0.80	1.61	0.98
P ₂ O ₅	30.9	31.0	30.3	30.4
La ₂ O ₃	16.1	16.4	14.1	13.4
Ce ₂ O ₃	32.1	32.6	28.4	30.2
Y ₂ O ₃	0.27	0.17	0.98	0.58
ThO ₂	5.4	4.0	6.8	5.1
PbO	0.17	0.15	0.27	0.18
Pr ₂ O ₃	2.53	2.70	2.27	2.788
Nd ₂ O ₃	9.06	9.85	8.92	10.437
Sm ₂ O ₃	1.77	1.65	1.92	2.878
Gd ₂ O ₃	0.36	0.37	0.99	1.09
UO ₂	0.27	0.20	0.89	0.41
Dy ₂ O ₃	0	0	0.241	0.222
Total	100.2	100.1	98.5	99.0
LREE_ppm	525363	540457	475470	510427
HREE_ppm	5249	4572	18439	15965
(La/Sm) _N	5.72	6.27	4.62	2.93
La_Y	64.2	102.3	15.6	24.9
Th_U	20.11	20.16	7.70	12.63

Amostra	Granito cinza - 40g2 (afloramento 40)							
	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB
Localização	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P3	P3
Análise								
SiO ₂	1.05	1.27	1.10	1.07	0.88	0.12	0.29	0.16
CaO	1.54	1.47	1.46	1.62	1.51	1.20	1.54	1.37
P ₂ O ₅	29.30	29.54	28.80	29.09	30.10	30.88	31.14	30.65
La ₂ O ₃	12.16	12.62	12.14	11.77	13.53	15.62	14.64	15.79
Ce ₂ O ₃	27.7	27.4	27.2	27.3	27.8	29.3	27.6	28.7
Y ₂ O ₃	0.06	0.07	0.31	0.07	0.35	1.34	1.49	1.29
ThO ₂	10.92	11.70	10.95	11.42	10.37	5.39	7.15	6.25
PbO	0.26	0.29	0.30	0.39	0.36	0.23	0.31	0.25
Pr ₂ O ₃	2.9	2.8	2.8	2.8	2.6	2.6	2.5	2.4
Nd ₂ O ₃	11.2	10.9	11.2	11.2	10.5	9.6	9.7	9.4
Sm ₂ O ₃	1.6	1.5	1.5	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2
Gd ₂ O ₃	0.74	0.67	0.94	0.76	0.81	0.91	1.08	0.86
UO ₂	0.72	0.51	0.57	0.61	0.71	0.71	1.23	0.96
Dy ₂ O ₃	0.00	0.02	0.09	0.00	0.13	0.33	0.42	0.30
Total	100.2	100.7	99.3	99.6	101.2	99.5	100.4	99.7
LREE_ppm	474824	471604	468575	466046	477979	499225	475987	491771
HREE_ppm	6912	6605	11349	7113	10877	21297	24830	20240
(La/Sm) _N	4.82	5.33	4.97	4.75	5.89	7.44	7.04	7.96
La_Y	226.9	187.3	43.0	190.3	42.5	12.6	10.6	13.2
Th_U	15.13	23.10	19.04	18.64	14.50	7.59	5.78	6.49

Anexo 4

Anexo 4b (cont.) - Resultados de análises químicas obtidas por microsonda eletrônica para cristais de monazita de granitos e paragneisses.

Granito cinza - 40g2 (afloramento 40)								
Amostra	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ
Localização	P1	P2	P2	P2	P3	P3	P4	P5
Análise	c	i	i	i	b	i	c	i
SiO ₂	0.18	0.16	0.19	0.13	1.10	0.14	0.14	0.15
CaO	1.57	1.65	1.30	1.48	1.74	1.45	1.48	1.47
P ₂ O ₅	30.2	30.4	30.0	30.3	29.1	30.6	30.0	30.9
La ₂ O ₃	13.4	13.8	15.1	14.4	11.8	14.7	13.9	13.0
Ce ₂ O ₃	27.9	27.2	28.8	27.7	26.3	27.6	27.5	26.4
Y ₂ O ₃	2.2	2.6	1.7	2.1	0.5	2.1	2.4	2.1
ThO ₂	6.2	6.2	5.9	6.2	11.6	6.0	6.1	6.7
PbO	0.24	0.22	0.20	0.30	0.30	0.25	0.28	0.16
Pr ₂ O ₃	2.66	2.53	2.63	2.52	2.70	2.55	2.69	2.64
Nd ₂ O ₃	9.8	10.3	10.1	9.4	10.8	9.8	9.9	10.4
Sm ₂ O ₃	1.49	1.52	1.35	1.28	1.61	1.21	1.46	1.87
Gd ₂ O ₃	1.42	1.28	1.18	0.98	1.16	1.01	1.19	1.69
UO ₂	1.73	1.48	0.88	1.39	0.66	1.38	1.34	0.86
Dy ₂ O ₃	0.66	0.64	0.48	0.45	0.28	0.49	0.64	0.66
Total	99.6	99.9	99.8	98.7	99.6	99.2	99.1	99.0
LREE_ppm	471930	472918	495254	473373	454245	477348	473429	464784
HREE_ppm	35571	37182	27562	28721	16645	29179	35135	36615
(La/Sm) _N	5.68	5.73	7.04	7.09	4.60	7.62	5.98	4.38
La_Y	6.57	5.74	9.79	7.54	24.25	7.74	6.16	6.84
Th_U	3.57	4.15	6.67	4.43	17.61	4.31	4.55	7.76

Granito cinza 40g2 (afloramento 40)							
Amostra	40AM-P1-C1-b	40AM-P1-F19-4b	40AM-P2-C1-c	40AM-P2-F19-4i	40AM-P3-C1-c	40AM-P3-F19-4c	40AM-P4-F19-4i
Localização	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4
Análise	C1-b	4b	C1-c	4i	C1-c	4c	4i
SiO ₂	0.30	1.16	0.54	0.99	0.30	0.16	0.49
CaO	1.44	1.56	1.17	1.59	1.08	1.42	0.93
P ₂ O ₅	30.65	29.58	30.26	29.84	30.78	31.08	30.40
La ₂ O ₃	13.64	11.59	14.38	11.91	16.13	14.84	15.57
Ce ₂ O ₃	30.12	27.50	30.08	27.72	30.12	28.10	30.59
Y ₂ O ₃	0.10	0.10	0.37	0.07	0.82	1.58	0.20
ThO ₂	6.90	11.33	7.58	11.20	5.82	5.62	6.34
PbO	0.20	0.41	0.10	0.23	0.11	0.27	0.18
Pr ₂ O ₃	2.70	2.86	2.72	2.85	2.63	2.54	2.67
Nd ₂ O ₃	10.59	11.39	10.46	11.32	9.68	9.42	10.37
Sm ₂ O ₃	1.53	1.66	1.50	1.57	1.46	1.39	1.22
Gd ₂ O ₃	0.86	0.83	0.80	0.71	1.02	1.01	0.65
UO ₂	1.04	0.83	0.28	0.68	0.40	1.65	0.15
Dy ₂ O ₃	0.00	0.07	0.07	0.07	0.26	0.33	0.05
Total	100.1	100.8	100.3	100.7	100.6	99.4	99.8
LREE_ppm	500512	470010	505192	473112	512817	480917	516097
HREE_ppm	8209	8533	10515	7263	17493	24063	7628
(La/Sm) _N	5.60	4.39	6.04	4.79	6.96	6.72	8.06
La_Y	153.8	132.1	41.9	192.4	21.3	10.2	86.4
Th_U	6.6	13.7	26.7	16.4	14.7	3.4	43.0

Anexo 4

Anexo 4b (cont.) - Resultados de análises químicas obtidas por microsonda eletrônica para cristais de monazita de granitos e paragneisses.

Amostra	Paragneisse Grupo 2							
	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A
Localização	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
Análise	10	11	12b	1b	2b	3	4	5
SiO ₂	0.24	0.26	0.25	0.39	0.29	0.27	0.27	0.26
CaO	1.02	1.01	0.96	1.03	0.98	1.01	1.01	1.01
P ₂ O ₅	31.0	30.8	31.0	30.8	31.0	31.4	31.0	30.8
La ₂ O ₃	13.8	13.6	13.7	13.4	13.4	13.3	13.2	13.4
Ce ₂ O ₃	30.6	29.8	30.3	29.6	30.0	30.3	29.9	29.9
Y ₂ O ₃	0.04	0.08	0.07	0.38	0.22	0.06	0.07	0.03
ThO ₂	5.53	5.61	5.20	5.06	4.43	5.55	5.68	5.63
PbO	0.16	0.14	0.18	0.17	0.24	0.14	0.15	0.16
Pr ₂ O ₃	3.05	2.97	3.03	2.98	2.96	2.99	3.08	3.10
Nd ₂ O ₃	12.2	12.1	12.4	12.3	12.0	12.4	12.3	12.4
Sm ₂ O ₃	1.66	1.66	1.77	1.75	1.80	1.69	1.69	1.66
Gd ₂ O ₃	0.73	0.78	0.77	1.18	1.13	0.85	0.70	0.71
UO ₂	0.27	0.29	0.33	0.77	1.03	0.32	0.30	0.28
Dy ₂ O ₃	0.04	0.00	0.00	0.17	0.10	0.10	0.02	0.08
Total	100.3	99.1	100.0	99.9	99.6	100.4	99.4	99.4
LREE_ppm	523653	514046	523035	511866	514534	518518	514374	516184
HREE_ppm	6980	7397	7266	14705	12388	8683	6841	7077
(La/Sm) _N	5.1	5.1	4.8	4.8	4.6	4.9	4.9	5.0
La_Y	382	184	209	38	65	236	199	516
Th_U	20.7	19.6	15.7	6.6	4.3	17.4	18.9	20.3

Amostra	Paragneisse Grupo2				Paragneisse granítico - Grupo 3 (afloram. 74)		
	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP74A	NP74A	NP74A
Localização	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2
Análise	6	7	8	9		b	
SiO ₂	0.23	0.24	0.24	0.19	0.23	0.16	0.10
CaO	1.01	1.00	1.02	1.00	0.90	0.86	0.85
P ₂ O ₅	30.9	31.1	30.7	30.9	30.9	30.9	31.1
La ₂ O ₃	13.7	13.8	13.4	13.4	12.8	12.8	12.3
Ce ₂ O ₃	30.3	30.3	30.7	30.4	28.3	28.9	28.0
Y ₂ O ₃	0.04	0.06	0.09	0.04	0.95	1.99	2.22
ThO ₂	5.51	5.58	5.51	5.34	4.49	4.22	3.73
PbO	0.14	0.14	0.11	0.14	0.12	0.14	0.16
Pr ₂ O ₃	3.05	2.99	2.93	2.96	2.79	3.11	2.95
Nd ₂ O ₃	12.3	12.3	12.2	12.2	11.7	11.1	11.1
Sm ₂ O ₃	1.60	1.66	1.68	1.68	3.00	2.55	2.90
Gd ₂ O ₃	0.69	0.73	0.70	0.74	1.57	1.25	1.72
UO ₂	0.28	0.28	0.28	0.25	0.62	0.52	0.59
Dy ₂ O ₃	0.00	0.02	0.02	0.02	0.40	0.55	0.72
Total	99.7	100.3	99.6	99.3	98.8	99.0	98.3
LREE_ppm	519918	521785	520439	517878	501022	499699	488532
HREE_ppm	6343	7014	6889	6869	24588	31236	38645
(La/Sm) _N	5.32	5.16	4.95	4.95	2.65	3.12	2.63
La_Y	353	245	166	402	15	7	6
Th_U	20.0	19.9	19.7	21.2	7.2	8.1	6.3

Anexo 4

Anexo 4b (cont.) - Resultados de análises químicas obtidas por microsonda eletrônica para cristais de monazita de granitos e paragneisses.

Paragneisse granítico - Grupo 3 (afloramento 74)						
Amostra	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A
Localização	P2	P3	P3	P4	P4	P5
Análise	i		i		n	
SiO ₂	0.13	0.07	0.09	0.11	0.37	0.18
CaO	1.06	0.94	0.93	0.98	1.11	0.88
P ₂ O ₅	31.2	31.2	31.0	31.3	30.8	31.0
La ₂ O ₃	13.1	12.6	13.7	12.3	12.6	12.8
Ce ₂ O ₃	29.1	27.0	28.5	27.8	28.1	28.5
Y ₂ O ₃	0.71	2.94	2.23	2.40	0.98	1.04
ThO ₂	4.70	3.67	3.84	4.48	6.75	4.29
PbO	0.20	0.24	0.23	0.15	0.18	0.14
Pr ₂ O ₃	2.91	2.78	2.67	2.76	2.81	2.99
Nd ₂ O ₃	11.48	10.64	10.61	11.03	11.33	12.03
Sm ₂ O ₃	2.76	2.70	2.32	2.74	2.54	3.02
Gd ₂ O ₃	1.19	1.48	1.00	1.79	1.38	1.77
UO ₂	0.65	1.00	0.70	0.54	0.26	0.50
Dy ₂ O ₃	0.27	0.81	0.57	0.74	0.25	0.33
Total	99.4	98.0	98.4	99.1	99.5	99.4
LREE_ppm	507538	475900	494099	484331	490785	507132
HREE_ppm	18219	43064	31187	40903	21843	26381
(La/Sm) _N	2.96	2.91	3.68	2.79	3.09	2.64
La_Y	20.17	4.64	6.68	5.55	13.96	13.40
Th_U	7.26	3.64	5.50	8.29	26.29	8.54

Paragneisse tonalítico - grupo 3 (afloramento 40)							
Amostra	NP-40AO	NP-40AO	NP-40AO	NP-40AO	NP-40AO	NP-40AO	NP-40AO
Localização	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P3
Análise	3b	2b	b	3c	2i	5i	3c
SiO ₂	0.68	1.00	1.84	0.60	0.93	0.93	0.82
CaO	0.87	0.96	1.39	0.81	1.00	0.97	0.93
P ₂ O ₅	29.6	28.9	27.3	29.4	28.7	28.8	29.1
La ₂ O ₃	14.6	13.3	11.7	15.0	13.8	14.1	14.3
Ce ₂ O ₃	29.9	27.9	24.2	30.0	29.8	30.3	29.8
Y ₂ O ₃	0.53	1.41	1.96	0.49	0.35	0.19	0.26
ThO ₂	6.11	8.10	14.21	5.55	8.11	8.15	7.24
PbO	0.14	0.20	0.37	0.04	0.23	0.20	0.30
Pr ₂ O ₃	2.83	2.71	2.40	2.82	2.89	2.94	2.79
Nd ₂ O ₃	11.2	11.1	9.7	11.1	11.1	11.4	11.2
Sm ₂ O ₃	1.49	1.44	1.40	1.43	1.31	1.29	1.34
Gd ₂ O ₃	0.94	1.09	1.27	0.93	0.65	0.57	0.77
UO ₂	0.52	0.59	0.73	0.47	0.47	0.52	0.44
Dy ₂ O ₃	0.18	0.40	0.51	0.21	0.08	0.04	0.13
Total	99.6	99.1	99.0	98.8	99.3	100.4	99.4
LREE_ppm	512729	482195	422426	515502	502302	512530	507647
HREE_ppm	13863	24018	30902	13807	9086	6753	9784
(La/Sm) _N	6.1	5.8	5.2	6.5	6.5	6.8	6.7
La_Y	30	10	6	33	43	79	60
Th_U	11.7	13.6	19.4	11.7	17.1	15.6	16.5

Anexo 4

Anexo 4b (cont.) - Resultados de análises químicas obtidas por microsonda eletrônica para cristais de monazita de granitos e paragneisses.

Amostra	Paragneisse tonalítico - grupo 3 (afloramento 40)			
	NP-40AO	NP-40AO	NP-40AO	NP-40AO
Localização	P3	P3	P4	P5
Análise	2i	c	2i	2i
SiO ₂	0.84	0.42	1.01	1.02
CaO	0.87	0.84	1.04	0.97
P ₂ O ₅	28.9	29.9	29.1	28.3
La ₂ O ₃	14.2	14.8	13.6	13.3
Ce ₂ O ₃	28.7	31.6	28.7	27.4
Y ₂ O ₃	0.97	0.10	0.50	1.68
ThO ₂	7.00	4.40	8.66	8.41
PbO	0.15	0.24	0.32	0.29
Pr ₂ O ₃	2.82	3.24	2.86	2.66
Nd ₂ O ₃	11.2	12.1	10.8	11.0
Sm ₂ O ₃	1.44	1.47	1.36	1.43
Gd ₂ O ₃	0.97	0.58	0.71	1.14
UO ₂	0.57	0.44	0.53	0.56
Dy ₂ O ₃	0.27	0.06	0.15	0.44
Total	99.0	100.3	99.4	98.7
LREE_ppm	499224	540511	490604	477461
HREE_ppm	18329	6312	11446	26965
(La/Sm) _N	6.16	6.27	6.22	5.79
La/Y	16	169	29	9
Th/U	12.2	9.9	16.2	14.9

Amostra	Aplito - Pegamatito							
	NP74AZ	NP74AZ	NP74AZ	NP74AZ	NP74AZ	NP74AZ	NP74AZ	NP74AZ
Localização	P1	P1	P2	P2	P3	P4	P5	P6
Análise	b	i	i	i	i	i	c	i
SiO ₂	0.33	0.39	0.45	0.71	0.51	0.33	0.23	0.34
CaO	1.28	1.50	0.88	1.00	0.93	1.42	0.79	1.34
P ₂ O ₅	30.69	30.15	30.15	29.33	30.22	30.43	30.40	30.12
La ₂ O ₃	12.98	12.57	13.83	13.23	13.81	12.75	14.00	12.45
Ce ₂ O ₃	28.19	28.40	28.82	28.71	28.53	28.79	29.61	28.91
Y ₂ O ₃	0.47	0.23	1.43	0.51	1.42	0.33	1.53	0.42
ThO ₂	6.72	8.04	5.47	7.45	6.11	7.33	3.90	7.04
PbO	0.34	0.23	0.16	0.21	0.25	0.27	0.08	0.28
Pr ₂ O ₃	2.79	2.76	2.85	2.77	2.74	2.77	2.86	2.82
Nd ₂ O ₃	11.29	11.26	11.02	11.13	10.96	11.35	11.04	11.33
Sm ₂ O ₃	1.93	1.81	1.69	1.74	1.75	1.92	1.82	2.02
Gd ₂ O ₃	1.42	1.19	1.28	1.16	1.29	1.41	1.45	1.48
UO ₂	0.71	0.51	0.50	0.41	0.55	0.64	0.69	0.72
Dy ₂ O ₃	0.26	0.15	0.43	0.16	0.42	0.15	0.44	0.28
Total	99.4	99.2	99.0	98.5	99.5	99.9	98.8	99.6
LREE_ppm	488609	485417	497390	492119	493815	492003	506937	491758
HREE_ppm	18216	13469	26153	15509	25938	16056	28385	18555
(La/Sm) _N	4.23	4.37	5.15	4.78	4.97	4.18	4.84	3.88
La/Y	18.51	36.87	6.48	17.42	6.53	26.33	6.15	20.05
Th/U	9.42	15.63	10.86	18.11	11.03	11.47	5.66	9.73

Anexo 4

Anexo 4b (cont.) - Resultados de análises químicas obtidas por *laser ablation* para cristais de monazita de granitos e paragneisses.

Amostra	Granito cinza 40AB		Granada leucogranito (vênula) - 74g1			
	NP40AB	NP40AB	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D
Localização	P2	P2	P1	P1	P1	P1
Análise			1b	2b	4b	5n
Y	3682	3086	978	883	971	1187
Zr	49.6	47.0	12.86	10.70	82.30	11.73
La	39769	50919	106977	121516	106207	109738
Ce	75342	97182	210189	244868	218414	212327
Pr	10227	12179	23076	27404	25496	23690
Nd	38863	38685	73280	83847	80213	73391
Sm	7153	5390	11052	12357	12869	11367
Eu	327.1	147.7	74.6	80.5	69.1	75.5
Gd	10381	4133	5622	5634	6363	5746
Tb	1857	696	747	735	761	768
Dy	2182	1360	864	767	807	875
Ho	255.5	178.0	60.0	54.1	57.3	60.4
Er	1913	567	264	260	282	256
Tm	25.07	23.23	5.20	4.97	5.20	4.93
Yb	402.23	168.80	57.74	58.27	59.59	60.15
Lu	17.39	8.61	5.61	5.30	5.41	6.13
Hf	26.44	13.78	6.30	6.09	6.73	6.81
Pb_206	40936	5967	3301	3409	2360	3545
Pb_207	188221	4360	2221	2339	1617	2424
Pb_208	5224	1596	1487	1597	1595	1541
Th	41141	33830	51076	55895	57410	52156
U	7323	2685	2223	2427	1698	2445
LREE	171354	204355	424575	489991	443200	430513
HREE	17033	7134	7625	7518	8341	7777
LaN_YbN	66.66	203.37	1249	1406	1202	1230
Eu Eu*	0.12	0.10	0.03	0.03	0.02	0.03

Amostra	Granito cinza -74g1				
	74C-2	74C-3	74C-4	74C-5	74C-6
Y	5433	1665	5489	1252	4114
Zr	*	*	*	*	*
La	85998	94714	94679	84854	90418
Ce	173030	187586	193343	181482	187503
Pr	19863	21430	21772	20702	21415
Nd	73716	73569	76699	72870	68425
Sm	9714	9474	10073	9709	9662
Eu	168.0	100.0	150.0	88.0	199.0
Gd	6700	6022	6145	5417	6053
Tb	1160	1002	1069	752	927
Dy	2167	1216	1970	825	1657
Ho	245.0	77.0	216.0	68.0	161.0
Er	663	351	534	306	387
Tm	30.00	5.00	24.00	6.38	15.00
Yb	90.00	86.00	147.00	72.00	104.00
Lu	12.00	7.00	10.00	4.83	8.45
Hf	*	*	*	*	*
Pb_206	*	*	*	*	*
Pb_207	*	*	*	*	*
Pb_208	*	*	*	*	*
Th	*	*	*	*	*
U	*	*	*	*	*
LREE	362321	386773	396566	369617	377423
HREE	11067	8766	10115	7451.21	9312.45
LaN_YbN	644.2	742.5	434.2	794.6	586.1
Eu Eu*	0.06	0.04	0.06	0.04	0.08

Anexo 4

Anexo 4b (cont.) - Resultados de análises químicas obtidas por *laser ablation* para cristais de monazita de granitos e paragneisses.

Amostra	Paragnaisse migmatítico						
	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB
Localização	Lc-F7	Lc-F7	Ms-F1a	Ms-F1a	Ms-F1b	Ms-F3	Ms-F3
Análise	1-L	2-L	1-L	3-L	1-L	1-L	2-L
Y	31787	22279	21704	22979	14180	12277	14785
Zr	11.6	18.1	17.6	17.9	16.5	21.9	18.8
La	109263	89443	70898	80118	45100	53915	54203
Ce	216023	183486	150677	167398	97619	111199	114961
Pr	26204	22192	18078	18784	11801	13016	13744
Nd	99318	83167	67153	68889	42462	48285	49824
Sm	17858	13943	11238	10025	7160	8220	8699
Eu	693.6	731.3	376.6	610.9	154.0	457.7	263.9
Gd	14242	10393	7755	6697	5400	5817	6355
Tb	2852	1959	1520	1379	1034	1137	1216
Dy	8504	5781	4789	4455	3446	3369	3673
Ho	1084.5	799.4	699.0	697.3	529.5	472.7	514.4
Er	1797	1499	1389	1453	1023	890	957
Tm	123.08	118.42	119.84	143.95	85.92	71.53	77.84
Yb	553	552	596	745	381	316	377
Lu	45.54	40.76	41.10	50.13	29.02	23.49	26.34
Hf	74.78	48.07	39.43	35.66	29.63	26.37	29.77
Pb_206	7804	5644	2996	7049	1294	1880	2609
Pb_207	5163	3428	2222	4961	999	1309	1836
Pb_208	1005	958	1294	1044	915	690	731
Th	35974	33390	35417	28390	22429	20198	17710
U	5481	3831	1674	3731	627	1090	1299
LREE	468665	392232	318043	345213	204143	234634	241432
HREE	29201	21142	16908	15620	11929	12097	13196
LaN_YbN	133.23	109.17	80.24	72.55	79.88	115.15	96.97
Eu_Eu*	0.13	0.19	0.12	0.23	0.08	0.20	0.11

Anexo 4

Anexo 4c. Composição química (% em peso), de biotitas das rochas graníticas e gnáissicas da região de Nazaré Paulista (SP).

Paragnaisse Grupo 2 - Granada-Biotita Gnaisses Granodioríticos a Tonalíticos												Paragnaises – Grupo 3 Granada-Biotita Gnaisses Graníticos Bandados									
Amostra	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	
Análise	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P2	P2	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	
Localização	1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	1b	2c	1b	2b	3b	4i	5b	6c	1GASP	
SiO ₂	35.85	35.93	35.60	35.87	36.08	35.97	36.08	36.03	35.81	35.52	35.35	35.47	35.67	35.46	36.26	36.49	36.20	35.61	35.86	35.38	
TiO ₂	3.12	3.62	3.66	2.59	3.02	2.59	2.56	2.74	2.68	2.67	3.40	3.53	3.62	1.81	1.21	0.01	1.71	2.72	2.67	2.50	
Al ₂ O ₃	18.52	18.27	17.49	18.81	18.60	18.98	18.81	18.57	18.84	18.38	18.30	18.02	18.23	19.06	19.24	19.87	19.27	18.40	18.54	18.93	
FeO	17.53	17.49	17.93	16.73	17.31	16.92	17.10	17.01	16.95	17.74	18.00	17.50	17.42	16.31	16.03	14.15	16.41	17.75	17.29	17.59	
MnO	0.12	0.07	0.15	0.08	0.09	0.08	0.12	0.10	0.10	0.13	0.10	0.05	0.02	0.00	0.01	0.05	0.02	0.03	0.05	0.05	
MgO	10.82	11.12	10.86	11.31	10.91	11.26	11.22	11.40	11.35	11.03	10.50	10.64	10.72	11.99	12.62	14.49	11.87	10.98	10.83	11.21	
BaO	0.14	0.19	0.26	0.16	0.21	0.21	0.13	0.12	0.11	0.28	0.30	0.15	0.06	0.12	0.11	0.05	0.00	0.03	0.16	0.07	
Na ₂ O	0.08	0.06	0.08	0.10	0.08	0.08	0.09	0.05	0.07	0.06	0.06	0.08	0.09	0.14	0.11	0.11	0.11	0.07	0.09	0.07	
K ₂ O	9.93	9.90	9.94	9.81	9.77	9.99	9.84	9.91	10.02	10.01	10.07	9.98	9.99	9.90	9.88	9.90	9.86	9.97	9.98	10.17	
F	0.23	0.32	0.40	0.34	0.16	0.22	0.32	0.40	0.24	0.21	0.22	0.61	0.59	0.72	0.89	0.63	0.55	0.56	0.59	0.36	
Cl	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04	0.02	0.17	0.20	0.16	0.13	0.10	0.17	0.15	0.16	0.17	
	96.40	97.01	96.41	95.85	96.28	96.36	96.30	96.37	96.20	96.07	96.32	96.20	96.59	95.65	96.49	95.86	96.18	96.26	96.21	96.51	
-O≡F,Cl	0.11	0.15	0.18	0.15	0.08	0.10	0.14	0.18	0.11	0.10	0.10	0.29	0.29	0.34	0.41	0.29	0.27	0.27	0.28	0.19	
Total	96.29	96.86	96.23	95.70	96.20	96.26	96.16	96.19	96.09	95.97	96.22	95.91	96.30	95.31	96.08	95.57	95.91	95.99	95.93	96.32	
Fórmula estrutural calculada na base de 22 oxigênios																					
Si	5.384	5.366	5.384	5.396	5.407	5.385	5.406	5.402	5.372	5.371	5.343	5.376	5.373	5.368	5.425	5.421	5.421	5.383	5.415	5.33	
Al ^{IV}	2.616	2.634	2.616	2.604	2.593	2.615	2.594	2.598	2.628	2.629	2.657	2.624	2.627	2.632	2.575	2.579	2.579	2.617	2.585	2.67	
Al ^{VI}	0.659	0.579	0.499	0.729	0.689	0.731	0.726	0.68	0.701	0.644	0.6	0.592	0.607	0.765	0.814	0.898	0.82	0.659	0.712	0.688	
Ti	0.353	0.407	0.416	0.293	0.341	0.292	0.288	0.309	0.303	0.304	0.387	0.402	0.41	0.206	0.136	0.001	0.193	0.309	0.303	0.283	
Fe ²⁺	2.201	2.184	2.269	2.105	2.169	2.119	2.143	2.133	2.127	2.244	2.276	2.219	2.195	2.064	2.006	1.759	2.056	2.244	2.183	2.216	
Mn	0.015	0.008	0.019	0.01	0.012	0.01	0.015	0.012	0.012	0.016	0.013	0.006	0.002	0	0.001	0.007	0.003	0.004	0.006	0.006	
Mg	2.423	2.476	2.448	2.537	2.437	2.513	2.507	2.547	2.537	2.485	2.365	2.404	2.407	2.705	2.815	3.209	2.65	2.474	2.439	2.518	
Ba	0.008	0.011	0.016	0.009	0.012	0.012	0.008	0.007	0.006	0.017	0.017	0.009	0.003	0.007	0.007	0.003	0	0.002	0.01	0.004	
Na	0.023	0.018	0.024	0.03	0.024	0.024	0.025	0.014	0.022	0.018	0.016	0.024	0.026	0.042	0.032	0.031	0.033	0.02	0.027	0.021	
K	1.903	1.886	1.918	1.882	1.869	1.908	1.881	1.896	1.917	1.93	1.942	1.929	1.92	1.912	1.887	1.877	1.884	1.924	1.922	1.955	
Total Cátions	15.585	15.569	15.609	15.595	15.553	15.609	15.593	15.598	15.625	15.658	15.616	15.585	15.57	15.701	15.698	15.786	15.639	15.636	15.602	15.691	
F	0.218	0.303	0.386	0.323	0.147	0.207	0.306	0.383	0.224	0.201	0.211	0.584	0.565	0.685	0.844	0.589	0.518	0.531	0.559	0.346	
Cl	0.03	0.032	0.022	0.024	0.029	0.026	0.015	0.019	0.023	0.02	0.01	0.087	0.102	0.08	0.068	0.049	0.088	0.076	0.08	0.087	
Mg#	0.52	0.53	0.52	0.55	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53	0.51	0.52	0.52	0.57	0.58	0.65	0.56	0.52	0.53	0.53	

Anexo 4

Anexo 4c. Composição química (% em peso), de biotitas das rochas graníticas e gnáissicas da região de Nazaré Paulista (SP).

Paragneisses Grupo 3 Granada-Biotita Gnaisses Graníticos Bandados																					
Amostra	NP74A	NP74A	NP74A	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB
Análise	P4	P4	P4	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P6	P6
Localização	2b	3i	4c	1	2	b	b	3b	b	1prxgrd	2i	3	3	i	n	1b	2	3	n	1	6
SiO ₂	35.88	36.04	35.92	37.24	37.10	35.78	35.13	35.38	35.73	35.80	35.24	35.70	35.80	35.29	35.54	34.72	34.93	35.48	36.26	35.90	
TiO ₂	2.73	2.78	3.05	0.58	1.50	3.84	3.81	4.14	3.53	2.95	3.22	3.79	3.75	4.03	3.30	3.70	3.59	3.84	3.99	3.97	
Al ₂ O ₃	18.42	18.40	18.36	20.35	20.71	18.22	18.37	18.21	18.11	18.62	18.63	18.10	18.11	18.06	18.22	18.03	18.20	18.06	18.21	18.31	
FeO	17.58	17.75	17.85	12.16	14.28	16.88	17.38	16.74	16.95	17.64	17.53	17.87	16.97	17.02	17.14	17.61	17.58	16.78	17.38	17.79	
MnO	0.04	0.03	0.06	0.00	0.00	0.04	0.07	0.09	0.02	0.02	0.02	0.07	0.00	0.07	0.07	0.05	0.04	0.03	0.08	0.05	
MgO	11.11	10.89	10.76	15.12	12.27	10.59	10.18	10.17	10.70	10.94	10.81	10.64	10.68	10.15	10.88	10.51	10.85	10.64	10.54	10.64	
BaO	0.00	0.00	0.10	0.03	0.00	0.17	0.00	0.04	0.12	0.06	0.07	0.00	0.07	0.00	0.04	0.05	0.18	0.13	0.08	0.04	
Na ₂ O	0.07	0.09	0.07	0.13	0.10	0.14	0.09	0.09	0.12	0.11	0.07	0.09	0.10	0.12	0.11	0.11	0.10	0.12	0.09	0.06	
K ₂ O	9.91	10.04	9.96	10.13	10.17	9.52	9.85	9.77	9.60	9.87	10.04	10.02	9.62	9.72	10.06	10.11	9.82	9.66	10.19	10.05	
F	0.44	0.66	0.62	0.57	0.54	0.41	0.38	0.31	0.34	0.55	0.56	0.42	0.37	0.52	0.37	0.41	0.51	0.41	0.39	0.53	
Cl	0.18	0.19	0.15	0.06	0.10	0.09	0.12	0.11	0.12	0.13	0.13	0.11	0.11	0.13	0.15	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	
-O=F,Cl	96.34	96.87	96.89	96.38	96.75	95.69	95.38	95.05	95.34	96.69	96.32	96.83	95.60	95.11	95.87	95.41	95.90	95.27	97.33	97.47	
	0.23	0.32	0.29	0.25	0.25	0.19	0.19	0.16	0.17	0.26	0.27	0.20	0.18	0.25	0.19	0.20	0.24	0.20	0.19	0.25	
Total	96.11	96.55	96.60	96.13	96.50	95.50	95.19	94.89	95.17	96.43	96.05	96.63	95.42	94.86	95.68	95.21	95.66	95.07	97.14	97.22	
Fórmula estrutural calculada na base de 22 oxigênios																					
Si	5.402	5.416	5.4	5.439	5.446	5.4	5.344	5.377	5.413	5.377	5.326	5.363	5.407	5.38	5.377	5.308	5.308	5.386	5.402	5.358	
Al ^{IV}	2.598	2.584	2.6	2.561	2.554	2.6	2.656	2.623	2.587	2.623	2.674	2.637	2.593	2.62	2.623	2.692	2.692	2.614	2.598	2.642	
Al ^{VI}	0.668	0.673	0.65	0.938	1.026	0.638	0.635	0.636	0.644	0.671	0.643	0.565	0.628	0.622	0.624	0.554	0.565	0.615	0.597	0.575	
Ti	0.309	0.314	0.344	0.063	0.165	0.436	0.436	0.473	0.402	0.333	0.366	0.428	0.426	0.462	0.375	0.425	0.41	0.438	0.448	0.446	
Fe ²⁺	2.213	2.23	2.244	1.485	1.753	2.13	2.211	2.128	2.147	2.216	2.215	2.245	2.144	2.17	2.169	2.252	2.234	2.13	2.166	2.221	
Mn	0.005	0.004	0.007	0	0	0.005	0.009	0.012	0.003	0.003	0.002	0.009	0	0.009	0.009	0.007	0.006	0.004	0.01	0.006	
Mg	2.494	2.44	2.411	3.292	2.684	2.383	2.309	2.304	2.416	2.449	2.435	2.383	2.405	2.307	2.453	2.396	2.457	2.408	2.341	2.367	
Ba	0	0	0.006	0.002	0	0.01	0	0.002	0.007	0.004	0.004	0	0.004	0	0.003	0.003	0.011	0.008	0.005	0.002	
Na	0.02	0.027	0.02	0.038	0.028	0.041	0.027	0.027	0.035	0.033	0.019	0.027	0.029	0.035	0.031	0.033	0.029	0.035	0.027	0.018	
K	1.903	1.925	1.909	1.887	1.904	1.833	1.912	1.894	1.855	1.892	1.937	1.921	1.854	1.89	1.942	1.972	1.903	1.871	1.938	1.914	
Total Cátions	15.612	15.613	15.591	15.705	15.56	15.478	15.539	15.476	15.509	15.601	15.621	15.578	15.493	15.495	15.606	15.642	15.615	15.509	15.532	15.549	
F	0.421	0.626	0.588	0.524	0.505	0.391	0.366	0.298	0.326	0.518	0.537	0.4	0.353	0.501	0.358	0.394	0.486	0.394	0.367	0.503	
Cl	0.092	0.096	0.076	0.029	0.048	0.046	0.062	0.057	0.062	0.065	0.068	0.057	0.056	0.067	0.076	0.055	0.059	0.062	0.06	0.063	
Mg#	0.53	0.52	0.52	0.69	0.6	0.53	0.51	0.52	0.53	0.52	0.52	0.51	0.53	0.52	0.53	0.52	0.52	0.53	0.52	0.52	

Anexo 4

Anexo 4c. Composição química (% em peso), de biotitas das rochas graníticas e gnáissicas da região de Nazaré Paulista (SP).

Amostra Análise Localização	Paragnaisses Grupo 3 - Biotita Gnaisses Tonalíticos finos e escuros																40g2 - Granada Biotita Granito			
	NP40AO C2	NP40AO C2	NP40AO C2	NP40AO C2	NP40AO C2	NP40AO P1	NP40AO P1	NP40AO P1	NP40AO P2	NP40AO P2	NP40AO P2	NP74V C1	NP74V C1	NP74V C2	NP74V C2	NP74V C2	NP40AB C1	NP40AB C2	NP40AB C2	NP40AJ C1
	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	2	1	2	1
SiO ₂	36.90	37.04	36.85	36.89	36.91	36.50	36.67	36.71	36.84	35.75	36.30	37.27	37.46	37.55	37.53	37.60	34.56	34.59	34.11	35.30
TiO ₂	2.58	2.46	2.64	2.93	2.30	2.29	2.85	2.30	2.44	2.74	2.52	2.64	2.70	2.49	2.61	2.85	1.06	0.50	0.18	1.91
Al ₂ O ₃	17.37	16.92	16.54	16.48	16.60	16.46	16.71	16.41	16.41	16.37	16.31	16.02	16.19	16.57	16.11	16.45	19.74	19.67	20.22	19.75
FeO	16.17	16.27	17.13	16.29	16.10	16.93	17.79	17.51	17.97	17.97	18.24	14.21	14.32	13.90	14.23	13.98	22.20	22.66	23.13	19.87
MnO	0.06	0.06	0.05	0.08	0.05	0.06	0.07	0.08	0.02	0.12	0.11	0.14	0.12	0.14	0.12	0.15	0.08	0.07	0.07	0.01
MgO	12.66	13.16	12.80	13.05	13.29	13.40	12.41	12.77	12.61	12.23	12.33	14.54	14.26	14.51	14.66	14.19	6.70	7.30	7.39	7.92
BaO	0.12	0.24	0.15	0.18	0.24	0.28	0.08	0.16	0.16	0.17	0.31	0.20	0.17	0.24	0.22	0.26	0.00	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	0.21	0.19	0.18	0.18	0.15	0.17	0.15	0.15	0.17	0.15	0.14	0.14	0.13	0.10	0.16	0.13	0.08	0.06	0.06	0.09
K ₂ O	9.09	9.29	9.36	9.40	9.37	9.72	9.53	9.54	9.37	9.60	9.45	9.55	9.41	9.47	9.11	9.34	9.39	8.93	8.44	9.41
F	0.13	0.11	0.12	0.09	0.12	0.75	0.70	0.59	0.68	0.81	0.79	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.09	0.09	0.07	0.04
Cl	0.81	0.76	0.71	0.94	1.01	0.11	0.09	0.12	0.10	0.11	0.10	0.69	0.51	0.77	0.73	0.69	0.43	0.41	0.66	0.87
-O=F,Cl	96.11	96.50	96.54	96.50	96.13	96.66	97.06	96.32	96.79	96.00	96.59	95.45	95.33	95.78	95.53	95.70	94.32	94.30	94.40	95.18
Total	95.87	96.28	96.33	96.25	95.85	96.32	96.74	96.05	96.48	95.63	96.24	95.28	95.20	95.59	95.35	95.53	94.19	94.17	94.22	94.97
Fórmula estrutural calculada na base de 22 oxigênios																				
Si	5.526	5.536	5.531	5.531	5.556	5.493	5.493	5.534	5.535	5.452	5.499	5.585	5.600	5.590	5.602	5.599	5.419	5.421	5.353	5.433
Al ^{IV}	2.474	2.464	2.469	2.469	2.444	2.507	2.507	2.466	2.465	2.548	2.501	2.415	2.400	2.410	2.398	2.401	2.581	2.579	2.647	2.567
Al ^{VI}	0.59	0.515	0.455	0.442	0.498	0.410	0.441	0.447	0.438	0.392	0.408	0.411	0.450	0.496	0.435	0.483	1.065	1.051	1.090	1.013
Ti	0.291	0.277	0.298	0.330	0.260	0.259	0.321	0.261	0.276	0.314	0.287	0.298	0.304	0.278	0.293	0.319	0.125	0.059	0.022	0.221
Fe ²⁺	2.026	2.034	2.150	2.043	2.026	2.130	2.228	2.208	2.258	2.293	2.311	1.781	1.791	1.731	1.776	1.741	2.910	2.970	3.035	2.557
Mn	0.008	0.008	0.006	0.010	0.007	0.008	0.009	0.010	0.002	0.016	0.014	0.018	0.015	0.018	0.016	0.019	0.010	0.009	0.009	0.001
Mg	2.826	2.932	2.864	2.917	2.983	3.005	2.771	2.870	2.823	2.780	2.783	3.248	3.179	3.221	3.262	3.151	1.565	1.706	1.729	1.817
Ba	0.007	0.014	0.009	0.011	0.014	0.016	0.005	0.009	0.009	0.010	0.018	0.012	0.010	0.014	0.013	0.015	0.023	0.017	0.019	0.028
Na	0.062	0.054	0.053	0.052	0.044	0.049	0.043	0.044	0.050	0.043	0.041	0.040	0.039	0.029	0.046	0.039	0.023	0.017	0.019	0.028
K	1.737	1.771	1.792	1.798	1.799	1.865	1.821	1.834	1.796	1.867	1.826	1.826	1.795	1.799	1.735	1.775	1.878	1.786	1.689	1.847
Total Cations	15.547	15.606	15.627	15.603	15.631	15.742	15.64	15.683	15.655	15.715	15.688	15.635	15.585	15.588	15.577	15.542	15.576	15.601	15.604	15.486
F	0.121	0.108	0.113	0.087	0.112	0.713	0.666	0.558	0.647	0.780	0.754	0.037	0.034	0.034	0.042	0.044	0.088	0.092	0.072	0.038
Cl	0.410	0.387	0.363	0.475	0.515	0.057	0.047	0.059	0.049	0.057	0.050	0.351	0.259	0.386	0.369	0.347	0.226	0.216	0.349	0.452
Mg#	0.58	0.59	0.57	0.59	0.6	0.59	0.55	0.57	0.56	0.55	0.55	0.65	0.64	0.65	0.65	0.64	0.35	0.36	0.36	0.42

Anexo 4

Anexo 4c. Composição química (% em peso), de biotitas das rochas graníticas e gnáissicas da região de Nazaré Paulista (SP).

40g2 - Granada Biotita Granito								40g3 - Granada Leucogranito					74g1 - Granada-Biotita granito							
Amostra	NP40AJ	NP40AJ	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AM	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C
Análise	C1	C1	C1	C1	C4	C4	C4	C2	C2	C4	C4	C4	C1	C1	C1	C1	C2	C2	C2	C2
Localização	2	3	1	2	1	2	3	1b	2i	1b	2i	3c	1b	2i	3b	4c	1b	3b	4c	5c
SiO ₂	35.32	35.16	34.60	35.25	35.33	34.90	35.33	34.95	34.91	35.07	34.80	35.09	35.12	35.28	35.48	35.49	35.43	35.32	35.36	35.33
TiO ₂	1.68	1.58	0.52	0.31	3.57	3.51	4.07	0.55	0.94	2.76	2.63	2.96	3.53	3.44	3.55	3.86	0.25	2.48	2.66	2.70
Al ₂ O ₃	19.80	19.49	20.23	20.67	18.48	17.80	18.57	20.06	20.11	19.41	18.73	18.26	17.98	17.90	17.96	17.91	20.39	18.43	18.42	18.68
FeO	20.33	21.00	21.08	20.47	19.60	20.88	20.24	21.47	21.68	21.82	22.36	22.78	21.16	21.50	20.19	21.06	20.39	21.36	21.41	20.72
MnO	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.04	0.01	0.07	0.07	0.06	0.04	0.08	0.02	0.07	0.07	0.08	0.03	0.07	0.07	0.04
MgO	7.90	8.03	8.64	8.28	7.78	8.22	7.45	7.89	7.73	6.80	6.80	6.51	8.12	7.91	8.38	8.07	8.97	8.24	8.30	8.18
BaO	0.00	0.00	0.08	0.01	0.13	0.17	0.10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.10	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.06	0.07	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.14	0.10	0.09	0.13	0.21	0.15	0.11
K ₂ O	9.43	9.28	9.00	9.57	9.47	9.48	9.55	9.51	9.46	9.53	9.46	9.38	9.37	9.42	9.53	9.51	9.43	9.36	9.40	9.52
F	0.05	0.06	0.11	0.09	0.35	0.34	0.32	0.08	0.11	0.20	0.23	0.26	0.49	0.44	0.29	0.42	0.46	0.34	0.34	0.72
Cl	0.92	0.44	0.90	0.73	0.68	0.70	0.48	0.29	0.54	0.52	0.54	0.36	0.28	0.33	0.35	0.34	0.11	0.18	0.18	0.25
-O=F,Cl	95.56	95.13	95.26	95.51	95.51	96.13	96.16	95.01	95.61	96.24	95.64	95.76	96.24	96.48	95.89	96.83	95.59	96.00	96.33	96.26
	0.23	0.13	0.25	0.20	0.30	0.30	0.24	0.10	0.17	0.20	0.22	0.19	0.27	0.26	0.20	0.25	0.22	0.18	0.18	0.36
Total	95.33	95.00	95.01	95.31	95.21	95.83	95.92	94.91	95.44	96.04	95.42	95.57	95.97	96.22	95.69	96.58	95.37	95.82	96.15	95.90
Fórmula estrutural calculada na base de 22 oxigênios																				
Si	5.430	5.421	5.355	5.415	5.439	5.388	5.404	5.41	5.385	5.388	5.405	5.443	5.392	5.412	5.434	5.41	5.418	5.421	5.41	5.417
Al ^{IV}	2.570	2.579	2.645	2.585	2.561	2.612	2.596	2.59	2.615	2.612	2.595	2.557	2.608	2.588	2.566	2.59	2.582	2.579	2.59	2.583
Al ^{VI}	1.015	0.959	1.043	1.155	0.79	0.625	0.749	1.067	1.038	0.9	0.831	0.779	0.642	0.646	0.672	0.625	1.089	0.751	0.729	0.79
Ti	0.194	0.183	0.06	0.036	0.413	0.408	0.468	0.064	0.11	0.318	0.307	0.345	0.407	0.396	0.409	0.443	0.029	0.286	0.306	0.311
Fe ²⁺	2.614	2.707	2.729	2.63	2.524	2.696	2.588	2.778	2.797	2.804	2.904	2.955	2.716	2.758	2.586	2.685	2.607	2.741	2.739	2.657
Mn	0.002	0.002	0.002	0.005	0.006	0.005	0.001	0.009	0.009	0.008	0.005	0.011	0.002	0.01	0.009	0.01	0.004	0.009	0.009	0.005
Mg	1.811	1.846	1.993	1.897	1.787	1.891	1.699	1.821	1.778	1.558	1.574	1.507	1.857	1.809	1.912	1.833	2.044	1.886	1.892	1.869
Ba			0.005		0.008	0.01	0.006	0.004												
Na	0.030	0.022	0.019	0.020	0.019	0.025	0.017	0.02	0.019	0.021	0.023	0.026	0.040	0.043	0.028	0.027	0.039	0.061	0.045	0.033
K	1.849	1.826	1.778	1.875	1.860	1.866	1.863	1.879	1.862	1.868	1.875	1.857	1.836	1.843	1.861	1.849	1.839	1.833	1.835	1.862
Total Cations	15.518	15.545	15.635	15.62	15.408	15.526	15.391	15.642	15.613	15.477	15.519	15.48	15.508	15.513	15.477	15.474	15.652	15.57	15.561	15.528
F	0.046	0.062	0.106	0.085	0.343	0.334	0.307	0.082	0.103	0.196	0.226	0.254	0.476	0.428	0.283	0.403	0.447	0.332	0.33	0.702
Cl	0.481	0.228	0.472	0.381	0.356	0.368	0.246	0.151	0.281	0.271	0.283	0.189	0.146	0.170	0.179	0.175	0.058	0.091	0.094	0.129
Mg#	0.41	0.41	0.42	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.36	0.35	0.34	0.41	0.40	0.43	0.41	0.44	0.41	0.41	0.41

Anexo 4

Anexo 4c. Composição química (% em peso), de biotitas das rochas graníticas e gnaissicas da região de Nazaré Paulista (SP).

74g1					74g2 - Granada Leucogranito Aplítico									74g3 - Grt granito com sill.						
Amostra	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD
Análise	C1	C1	C1	C1	C6	C6	C6	P1	P1	P2	P2	P3	P4	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Localização	2b	3i	4c	5b	1	2i	3c	b	clorita	clorita	i	i	i	1frat	2b	3	b	1b	2c	3prxgrd
SiO ₂	34.99	34.88	34.85	34.84	34.88	35.09	34.47	34.68	27.51	26.87	34.22	35.07	34.04	35.79	35.83	35.44	34.96	35.34	35.06	35.25
TiO ₂	3.27	3.16	3.22	3.23	3.17	2.96	3.20	2.65	0.07	0.07	2.59	2.82	2.83	0.06	0.16	1.18	1.81	1.61	1.78	1.56
Al ₂ O ₃	18.33	18.23	18.06	17.97	17.92	17.72	17.69	17.95	21.54	20.71	17.94	17.83	17.60	20.78	20.42	19.97	19.54	19.24	19.06	19.09
FeO	21.96	22.02	22.33	22.59	21.66	22.00	22.37	23.11	27.28	29.15	22.78	23.86	22.86	18.40	18.71	19.59	19.87	20.43	20.61	20.20
MnO	0.06	0.07	0.05	0.03	0.28	0.27	0.27	0.21	0.33	0.33	0.31	0.28	0.25	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.01	0.05
MgO	7.32	7.28	7.24	7.44	7.73	7.64	7.40	6.70	8.71	8.76	6.61	6.74	6.64	10.18	10.09	9.28	8.86	9.11	9.31	9.24
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12	0.00	0.00	0.09	0.09	0.05	0.07	0.00	0.02	0.00	0.07	0.05	0.00
Na ₂ O	0.10	0.14	0.11	0.08	0.05	0.05	0.04	0.06	0.03	0.00	0.05	0.05	0.06	0.12	0.06	0.05	0.08	0.07	0.08	0.07
K ₂ O	9.57	9.48	9.66	9.62	9.57	9.39	8.93	9.38	0.51	0.55	9.12	9.14	9.18	9.77	9.83	9.98	9.68	9.70	9.84	9.87
F	0.30	0.26	0.16	0.45	0.41	0.41	0.37	0.25	0.19	0.08	0.23	0.38	0.29	0.59	0.46	0.49	0.40	0.37	0.45	0.42
Cl	0.25	0.28	0.27	0.27	0.35	0.55	0.50	0.35	0.05	0.10	0.37	0.32	0.34	0.07	0.06	0.11	0.16	0.14	0.14	0.12
-O≡F,Cl	96.16	95.81	95.95	96.53	96.00	96.08	95.30	95.46	87.11	87.11	94.33	96.61	94.18	95.840	95.650	96.120	95.410	96.070	96.370	95.860
Total	95.98	95.64	95.82	96.28	95.75	95.78	95.03	95.28	87.02	87.05	94.15	96.38	93.98	95.570	95.440	95.890	95.210	95.880	96.150	95.660
Fórmula estrutural calculada na base de 22 oxigênios																				
Si	5.389	5.393	5.389	5.377	5.395	5.436	5.386	5.424	4.634	4.580	5.410	5.430	5.401	5.416	5.435	5.391	5.366	5.397	5.356	5.398
Al ^{IV}	2.611	2.607	2.611	2.623	2.605	2.564	2.614	2.576	3.366	3.420	2.590	2.570	2.599	2.584	2.565	2.609	2.634	2.603	2.644	2.602
Al ^{VI}	0.714	0.713	0.678	0.643	0.659	0.668	0.642	0.730	0.907	0.738	0.750	0.681	0.689	1.120	1.082	0.969	0.898	0.857	0.785	0.840
Ti	0.379	0.368	0.375	0.375	0.368	0.345	0.377	0.312	0.009	0.009	0.308	0.328	0.338	0.007	0.018	0.135	0.209	0.185	0.204	0.179
Fe ²⁺	2.829	2.848	2.888	2.915	2.802	2.850	2.923	3.023	3.843	4.156	3.012	3.089	3.033	2.329	2.373	2.492	2.551	2.609	2.634	2.586
Mn	0.007	0.009	0.007	0.004	0.036	0.035	0.036	0.028	0.047	0.048	0.042	0.037	0.034	0.001	0.004		0.004		0.002	0.006
Mg	1.681	1.679	1.670	1.713	1.783	1.764	1.724	1.562	2.187	2.226	1.558	1.556	1.571	2.297	2.280	2.105	2.028	2.074	2.121	2.108
Ba								0.007			0.006	0.005	0.003	0.004		0.001		0.004	0.003	
Na	0.030	0.040	0.034	0.024	0.014	0.015	0.013	0.018	0.010		0.015	0.015	0.018	0.035	0.019	0.015	0.024	0.021	0.024	0.019
K	1.880	1.871	1.905	1.895	1.888	1.856	1.781	1.872	0.110	0.120	1.840	1.805	1.858	1.886	1.902	1.936	1.896	1.889	1.917	1.929
Total Cátions	15.520	15.530	15.557	15.570	15.550	15.533	15.503	15.552	15.274	15.386	15.534	15.521	15.551	15.681	15.678	15.653	15.613	15.639	15.690	15.669
F	0.294	0.256	0.153	0.442	0.402	0.404	0.370	0.247	0.202	0.086	0.230	0.372	0.291	0.569	0.440	0.470	0.388	0.354	0.433	0.403
Cl	0.131	0.149	0.143	0.140	0.183	0.286	0.265	0.186	0.029	0.058	0.198	0.168	0.183	0.037	0.032	0.057	0.083	0.074	0.072	0.063
Mg#	0.37	0.37	0.37	0.37	0.39	0.38	0.37	0.34	0.36	0.35	0.34	0.33	0.34	0.50	0.49	0.46	0.44	0.44	0.45	0.45

Anexo 4

Anexo 4c. Composição química (% em peso), de biotitas das rochas graníticas e gnáissicas da região de Nazaré Paulista (SP).

74g3 - Grt granito com sill.					Aplitos/Pegmatitos – Corpos Isolados							Granito Quatro Cantos		
Amostra	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74AD	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP83C	NP83C	NP83C
Análise	P2	P2	P3	P4	C1	C1	C1	C1	C3	C3	C1	C2	C2	C2
Localização	4b	b	n	i	1b	2i	3b	4i	2c	3c	1b	1	2	3
SiO ₂	35.32	34.93	34.19	35.07	35.43	35.25	35.30	35.13	34.97	35.02	35.43	34.92	35.14	35.06
TiO ₂	1.75	1.95	1.87	2.20	3.41	3.42	3.51	3.38	0.19	0.12	3.41	3.16	3.52	3.37
Al ₂ O ₃	19.02	19.03	19.32	19.29	17.61	17.54	17.75	17.56	20.00	19.98	17.61	16.69	16.66	16.65
FeO	20.39	20.39	20.41	19.92	20.60	20.77	20.42	20.70	21.04	21.08	20.60	21.07	21.65	21.50
MnO	0.02	0.03	0.01	0.05	0.12	0.18	0.14	0.18	0.09	0.12	0.12	0.05	0.06	0.09
MgO	9.39	8.81	8.47	8.53	8.81	8.71	8.54	8.90	8.89	8.78	8.81	8.54	8.56	8.53
BaO	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.07	0.07	0.00	0.07	0.01	0.08	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.06	0.07	0.07	0.07	0.05	0.03	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.04	0.08	0.08
K ₂ O	9.82	9.42	9.03	9.73	9.60	9.63	9.63	9.60	9.29	9.29	9.60	9.42	9.44	9.42
F	0.38	0.29	0.37	0.40	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.36	0.46	0.37	0.34	0.37
Cl	0.13	0.16	0.15	0.18	0.59	0.19	0.39	0.31	0.27	0.29	0.59	0.61	0.80	0.70
	96.270	95.090	93.930	95.510	96.75	96.24	96.23	96.26	95.32	95.13	96.75	94.87	96.27	95.74
-O≡F,Cl	0.190	0.160	0.190	0.210	0.33	0.23	0.27	0.25	0.24	0.22	0.33	0.29	0.32	0.31
Total	96.080	94.930	93.740	95.300	96.42	96.01	95.96	96.01	95.08	94.91	96.42	94.58	95.95	95.43
Fórmula estrutural calculada na base de 22 oxigênios														
Si	5.385	5.384	5.337	5.385	5.421	5.409	5.415	5.393	5.397	5.412	5.421	5.466	5.442	5.452
Al ^{IV}	2.615	2.616	2.663	2.615	2.579	2.591	2.585	2.607	2.603	2.588	2.579	2.534	2.558	2.548
Al ^{VI}	0.800	0.838	0.889	0.873	0.594	0.579	0.622	0.567	1.032	1.048	0.594	0.542	0.480	0.501
Ti	0.200	0.226	0.220	0.254	0.393	0.395	0.405	0.390	0.022	0.013	0.393	0.373	0.410	0.395
Fe ²⁺	2.600	2.628	2.665	2.558	2.635	2.666	2.620	2.657	2.716	2.723	2.635	2.759	2.804	2.796
Mn	0.003	0.004	0.001	0.007	0.016	0.024	0.019	0.023	0.011	0.015	0.016	0.007	0.008	0.011
Mg	2.134	2.024	1.971	1.953	2.010	1.992	1.953	2.037	2.046	2.023	2.010	1.994	1.977	1.977
Ba				0.004	0.005	0.004	0.004		0.004	0.001	0.005			
Na	0.017	0.021	0.021	0.021	0.015	0.009	0.014	0.020	0.022	0.019	0.015	0.011	0.023	0.023
K	1.911	1.852	1.798	1.906	1.873	1.885	1.885	1.880	1.829	1.832	1.873	1.881	1.865	1.868
Total Cátions	15.665	15.595	15.572	15.576	15.541	15.554	15.522	15.574	15.684	15.677	15.541	15.567	15.57	15.571
F	0.363	0.283	0.365	0.388	0.448	0.440	0.422	0.415	0.406	0.356	0.448	0.368	0.334	0.365
Cl	0.066	0.084	0.079	0.094	0.305	0.098	0.200	0.160	0.142	0.152	0.305	0.322	0.422	0.367
Mg [#]	0.45	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42	0.41	0.41

Anexo 4

Anexo 4d - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traço (ppm, ICP-MS Laser ablation) de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista. Dados para feldspato alcalino na pág.42

	Granito cinza 40g2												
Amostra	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AB	NP40AJ	NP40AJ	NP40AJ	NP40AM	NP40AM	NP40AM
Localização	C1	C3	C3	C3	P1	P1	P1	C1	C1	C1	C3	C3	C3
Análise	1b	1b	2i	3c	1	2	3	1b	2i	3c	1	2	3
SiO ₂	62.56	63.13	63.01	62.60	63.19	63.52	63.54	62.43	62.50	62.53	62.60	62.86	63.37
Al ₂ O ₃	23.13	23.21	23.16	23.14	23.26	23.45	23.23	23.05	23.15	23.03	23.03	22.95	22.68
TiO ₂	0.01	0.06	0.00	0.05	0.01	0.05	0.00	0.00	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.00	0.02	0.02	0.04	0.00	0.06	0.00	0.04	0.00	0.06	0.01	0.00	0.16
MnO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
MgO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
CaO	4.45	4.39	4.38	4.46	4.43	4.52	4.46	4.37	4.43	4.28	4.42	4.27	3.77
Na ₂ O	8.25	9.30	9.29	9.38	8.97	8.95	8.72	9.17	9.18	9.17	9.21	9.40	9.46
K ₂ O	0.12	0.16	0.10	0.11	0.27	0.15	0.32	0.12	0.19	0.26	0.19	0.32	0.32
Total	98.60	100.37	100.10	99.84	100.11	100.70	100.28	99.26	99.55	99.36	99.60	99.85	99.95
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios													
Si	11.19	11.14	11.15	11.12	11.16	11.15	11.2	11.14	11.12	11.15	11.14	11.16	11.23
Al	4.87	4.82	4.83	4.84	4.84	4.85	4.82	4.84	4.85	4.83	4.83	4.8	4.73
Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0	0.02
Σ _T	16.06	15.96	15.98	15.96	16	16.01	16.02	15.99	15.97	15.99	15.97	15.96	15.98
Ca	0.85	0.83	0.83	0.85	0.84	0.85	0.84	0.83	0.84	0.82	0.84	0.81	0.72
Na	2.86	3.18	3.19	3.23	3.07	3.05	2.98	3.17	3.17	3.17	3.18	3.24	3.25
K	0.03	0.04	0.02	0.03	0.06	0.03	0.07	0.03	0.04	0.06	0.04	0.07	0.07
Σ _M	3.74	4.06	4.06	4.12	3.97	3.93	3.89	4.04	4.05	4.05	4.07	4.12	4.06
Ab	76.5	78.5	79	78.6	77.3	77.6	76.6	78.7	78.3	78.3	78.3	78.6	80.4
An	22.7	20.5	20.5	20.7	21.2	21.6	21.6	20.6	20.7	20.2	20.7	19.7	17.8
Or	0.8	1	0.5	0.7	1.5	0.8	1.8	0.7	1	1.5	1	1.7	1.7
Li					2.19	3.73	2.99						
Sc					6.19	6.62	6.20						
V					0.00	0.02	0.02						
Cr					1.31	1.55	1.66						
Co					0.07	0.03	0.04						
Ni					2.19	1.72	1.51						
Cu					0.21	0.13	0.16						
Zn					0.41	0.47	0.40						
Rb					2.89	5.41	0.91						
Sr					477.94	469.95	505.94						
Y					0.37	0.25	0.30						
Zr					0.27	0.21	0.20						
Nb					0.01	0.01							
Cs					0.06	0.04	0.02						
Ba					114.96	136.01	140.20						
La					25.52	20.44	22.86						
Ce					47.54	39.39	43.29						
Pr					4.50	3.88	4.14						
Nd					14.00	11.40	12.31						
Sm					1.93	1.73	1.89						
Eu					0.71	0.71	0.81						
Gd					0.97	0.76	0.94						
Tb					0.09	0.08	0.08						
Dy					0.14	0.10	0.14						
Ho					0.01	0.01	0.02						
Er					0.08	0.04	0.07						
Tm					0.00	0.00	0.01						
Yb					0.02	0.02	0.01						
Lu					0.00		0.01						
Hf					0.02	0.01	0.01						
Ta					0.00	0.00	0.01						
Pb					25.86	25.64	26.63						
Th					0.01		0.07						
U					0.01	0.00							
Eu/Eu*					1.59	1.89	1.86						

Anexo 4

Anexo 4d (cont.) - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista

Amostra	Granada leucogranito 40g3													
	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF	NP40AF
Localização	C1	C1	C1	C3	C3	C3	C4	C4	C4	C4	C4	P3	P3	P3
Análise	1b	2i	3c	1b	2b	3c	1b	2c	3i	4b	5c	1b	2i	3c
SiO ₂	62.63	62.36	62.50	62.73	62.40	62.86	62.31	62.87	62.72	62.73	63.14	62.77	63.07	62.84
Al ₂ O ₃	22.99	23.06	22.96	23.04	23.04	22.92	22.71	22.63	22.52	22.76	22.37	22.92	22.91	23.04
TiO ₂	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Fe ₂ O ₃	0.02	0.02	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.07	0.07	0.00
MnO	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
CaO	4.35	4.47	4.40	4.44	4.40	4.45	4.42	4.18	4.15	4.39	3.88	3.37	4.31	4.31
Na ₂ O	9.09	9.19	9.23	9.22	9.25	9.34	9.16	9.07	9.13	9.26	9.52	9.36	9.33	9.42
K ₂ O	0.18	0.28	0.20	0.11	0.11	0.12	0.26	0.35	0.38	0.14	0.10	0.46	0.16	0.19
Total	99.27	99.41	99.34	99.58	99.30	99.73	98.97	99.12	99.01	99.32	99.13	99.07	99.85	99.86
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios														
Si	11.16	11.12	11.15	11.15	11.13	11.16	11.16	11.22	11.22	11.18	11.27	11.21	11.18	11.15
Al	4.83	4.84	4.82	4.82	4.84	4.79	4.79	4.76	4.74	4.78	4.7	4.82	4.78	4.81
Fe ³⁺	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0
Σ _T	15.99	15.96	15.98	15.97	15.98	15.96	15.95	15.98	15.96	15.96	15.97	16.04	15.97	15.96
Ca	0.83	0.85	0.84	0.85	0.84	0.85	0.85	0.8	0.8	0.84	0.74	0.64	0.82	0.82
Na	3.14	3.18	3.19	3.18	3.2	3.22	3.18	3.14	3.17	3.2	3.29	3.24	3.21	3.24
K	0.04	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03	0.06	0.08	0.09	0.03	0.02	0.1	0.04	0.04
Σ _M	4.01	4.09	4.08	4.06	4.07	4.1	4.1	4.02	4.06	4.07	4.06	3.99	4.07	4.1
Ab	78.3	77.8	78.2	78.3	78.6	78.5	77.8	78.1	78.1	78.6	81.2	81.4	78.9	79
An	20.7	20.8	20.6	20.9	20.6	20.7	20.8	19.9	19.7	20.6	18.3	16.1	20.1	20
Or	1	1.5	1.2	0.7	0.7	0.7	1.5	2	2.2	0.7	0.5	2.5	1	1

Amostra	Granito quatro Cantos					Aplitos/pegmatitos								
	NP83C	NP83C	NP83C	NP83C	NP83C	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z	NP74Z
Localização	C1	C1	C1	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C3	C3	C3	C3
Análise	1b	2i	3c	1b	2i	1b	2i	3b	4i	5b-bio	1b	2i	3c	3c
SiO ₂	61.10	60.98	61.08	60.95	60.80	60.13	60.59	60.14	59.73	60.48	60.33	60.50	60.91	60.91
Al ₂ O ₃	24.17	23.92	23.84	23.80	23.94	24.95	24.64	25.02	24.63	24.51	24.64	24.26	23.92	23.92
TiO ₂	0.05	0.02	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
Fe ₂ O ₃	0.02	0.03	0.04	0.07	0.02	0.02	0.06	0.03	0.00	0.01	0.01	0.09	0.01	0.01
MnO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02
CaO	5.60	5.56	5.45	5.41	5.46	6.61	6.31	6.56	6.48	6.29	6.43	5.95	5.73	5.73
Na ₂ O	8.40	8.51	8.52	8.60	8.45	8.11	8.31	8.00	7.99	8.06	8.14	8.33	8.51	8.51
K ₂ O	0.28	0.26	0.24	0.18	0.28	0.12	0.14	0.14	0.13	0.15	0.11	0.16	0.21	0.21
Total	99.70	99.35	99.23	99.04	99.13	99.95	100.05	99.95	98.95	99.51	99.65	99.28	99.32	99.32
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios														
Si	10.9	10.92	10.94	10.93	10.91	10.72	10.79	10.72	10.75	10.81	10.78	10.84	10.91	10.91
Al	5.08	5.04	5.03	5.03	5.06	5.24	5.17	5.25	5.22	5.16	5.18	5.12	5.04	5.04
Fe ³⁺	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0
Σ _T	15.98	15.96	15.98	15.97	15.97	15.96	15.97	15.97	15.97	15.97	15.96	15.97	15.95	15.95
Ca	1.07	1.07	1.05	1.04	1.05	1.26	1.2	1.25	1.25	1.2	1.23	1.14	1.1	1.1
Na	2.9	2.96	2.96	2.99	2.94	2.8	2.87	2.76	2.79	2.79	2.82	2.9	2.95	2.95
K	0.06	0.06	0.06	0.04	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05
Σ _M	4.03	4.09	4.08	4.07	4.06	4.09	4.1	4.04	4.07	4.03	4.08	4.08	4.1	4.1
Ab	72	72.4	72.7	73.5	72.6	68.5	70	68.3	68.6	69.2	69.1	71.1	72	72
An	26.6	26.2	25.8	25.6	25.9	30.8	29.3	30.9	30.7	29.8	30.1	27.9	26.8	26.8
Or	1.5	1.5	1.5	1	1.5	0.7	0.7	0.7	0.7	1	0.7	1	1.2	1.2

Anexo 4

Anexo 4d (cont.) - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traços (ppm, ICP-MS Laser ablation) de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista.

Granada leucogranito 40g4												
Amostra	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL
Localização	C1	C1	C1	C1	C2	C2	C2	C2	C2	C5	C5	C5
Análise	2c	3b	4i	5c	1b	2b	3i	4c	5b	1b	2c	3i
SiO ₂	63.67	64.89	64.32	64.89	63.50	64.00	63.89	63.90	63.85	63.26	63.51	63.38
Al ₂ O ₃	22.74	21.88	22.54	22.16	23.19	22.74	23.00	23.07	22.87	22.93	22.74	23.03
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00
Fe ₂ O ₃	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.05	0.00	0.02	0.00	0.03	0.02
MgO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
CaO	3.72	2.94	3.60	3.22	4.21	3.88	4.06	4.02	3.95	4.08	3.50	4.18
Na ₂ O	9.91	10.27	10.06	10.22	9.57	9.78	9.61	9.63	9.61	9.55	9.52	9.56
K ₂ O	0.22	0.14	0.15	0.10	0.15	0.16	0.18	0.31	0.25	0.19	0.15	0.10
Total	100.29	100.12	100.66	100.60	100.68	100.63	100.81	100.94	100.61	100.02	99.51	100.27
Si	11.24	11.43	11.3	11.38	11.17	11.25	11.22	11.21	11.23	11.19	11.27	11.19
Al	4.73	4.54	4.66	4.58	4.8	4.71	4.75	4.76	4.74	4.78	4.75	4.79
Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ _T	15.97	15.97	15.96	15.96	15.97	15.96	15.97	15.97	15.97	15.97	16.02	15.98
Ca	0.7	0.55	0.68	0.61	0.79	0.73	0.76	0.75	0.74	0.77	0.67	0.79
Na	3.39	3.51	3.42	3.48	3.26	3.34	3.27	3.27	3.28	3.28	3.28	3.27
K	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02
Σ _M	4.14	4.09	4.13	4.11	4.08	4.11	4.07	4.09	4.08	4.09	3.98	4.08
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios												
Ab	81.9	85.8	82.8	84.7	79.9	81.3	80.3	80	80.4	80.2	82.4	80.1
An	16.9	13.4	16.5	14.8	19.4	17.8	18.7	18.3	18.1	18.8	16.8	19.4
Or	1.2	0.7	0.7	0.5	0.7	1	1	1.7	1.5	1	0.8	0.5
Li											28.24	
Sc											4.77	
V											0.01	
Cr												
Co												
Ni											0.92	
Cu											0.71	
Zn											1.29	
Rb											7.18	
Sr											276.07	
Y											0.28	
Zr											0.47	
Nb												
Cs											0.09	
Ba											30.57	
La											3.44	
Ce											5.36	
Pr											0.50	
Nd											1.47	
Sm											0.31	
Eu											0.51	
Gd											0.29	
Tb											0.03	
Dy											0.11	
Ho											0.01	
Er											0.03	
Tm											0.01	
Yb											0.03	
Lu												
Hf											0.03	
Ta											0.00	
Pb											35.13	
Th											0.29	
U											0.11	
Eu/Eu*											5.22	

Anexo 4

Anexo 4d (cont.) - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) e traços (ppm, ICP-MS Laser ablation) de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista.

Amostra	Granada leucogranito 40g4					Granada leucogranito 74g2			
	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U
	Localização	C5	P5	P5	P5	C1	C5	C5	P1
Análise	4b	1	2	3	4	1b	1b	2c	2c
SiO ₂	63.09	63.47	63.29	63.94	63.84	61.47	61.82	61.74	63.11
Al ₂ O ₃	22.86	23.00	22.78	22.80	22.85	23.65	23.84	23.60	23.63
TiO ₂	0.08	0.00	0.04	0.04	0.00	0.06	0.03	0.01	0.00
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.03
MnO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	3.99	4.14	4.26	4.20	3.99	5.24	5.26	5.09	5.02
Na ₂ O	9.45	9.17	9.11	8.98	9.07	8.70	8.71	8.77	8.61
K ₂ O	0.31	0.15	0.19	0.28	0.27	0.27	0.21	0.31	0.16
Total	99.87	99.94	99.68	100.25	100.05	99.50	99.93	99.57	100.56
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios									
Si	11.19	11.22	11.22	11.26	11.26	10.98	10.98	11.01	11.1
Al	4.78	4.79	4.76	4.73	4.75	4.97	4.99	4.96	4.9
Fe ³⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ _T	15.97	16.01	15.98	15.99	16.01	15.95	15.97	15.97	16
Ca	0.76	0.78	0.81	0.79	0.75	1	1	0.97	0.95
Na	3.25	3.14	3.13	3.07	3.1	3.02	3	3.03	2.94
K	0.07	0.03	0.04	0.06	0.06	0.06	0.05	0.07	0.03
Σ _M	4.09	3.95	3.98	3.92	3.91	4.09	4.05	4.07	3.92
Ab	79.7	79.5	78.6	78.3	79.3	74	74.1	74.4	75
An	18.6	19.7	20.4	20.2	19.2	24.5	24.7	23.8	24.2
Or	1.7	0.8	1	1.5	1.5	1.5	1.2	1.7	0.8
Li						4.06			2.72
Sc						9.82			9.04
V						0.02			0.03
Cr									
Co						0.07			
Ni						3.30			2.46
Cu						0.14			0.17
Zn						0.34			0.41
Rb						1.30			0.46
Sr						315.48			334.46
Y						0.40			0.47
Zr						0.25			0.13
Nb						0.01			0.01
Cs						0.03			
Ba						82.34			47.53
La						11.99			6.96
Ce						22.57			13.54
Pr						2.19			1.21
Nd						7.05			3.65
Sm						1.20			0.77
Eu						0.82			0.77
Gd						0.80			0.54
Tb						0.08			0.07
Dy						0.28			0.22
Ho						0.01			0.02
Er						0.06			0.03
Tm						0.00			0.01
Yb						0.02			
Lu						0.01			0.00
Hf									0.01
Ta						0.00			0.00
Pb						48.14			48.78
Th									0.01
U						0.00			0.00
Eu/Eu*						2.55			3.65

Anexo 4

Anexo 4d (cont.) - Composição química de elementos maiores e traços de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista

Amostra	Granito cinza 74g1									
	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C	NP74C
Localização	C1	C1	C1	C3	C3	Novo	Novo	Novo	Novo2	Novo2
Análise	1b	2i	3c	1b	2c	1	2	3	1	2
SiO ₂	61.42	61.71	61.75	61.65	61.49	62.60	62.29	62.33	61.80	62.75
Al ₂ O ₃	23.76	23.49	23.71	23.34	23.34	23.94	23.89	24.23	24.19	24.01
TiO ₂	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.06	0.00	0.03	0.05	0.00
Fe ₂ O ₃	0.04	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
MgO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
CaO	5.46	5.12	5.36	5.05	5.13	5.37	5.21	5.56	5.55	5.55
Na ₂ O	8.66	8.79	8.64	9.00	8.94	8.73	8.70	8.34	8.33	8.45
K ₂ O	0.21	0.23	0.24	0.20	0.20	0.15	0.29	0.19	0.25	0.13
Total	99.57	99.35	99.76	99.28	99.12	100.88	100.39	100.68	100.19	100.89
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios										
Si	10.96	11.02	10.99	11.03	11.02	11.01	11.01	10.98	10.95	11.02
Al	4.99	4.94	4.97	4.92	4.93	4.96	4.97	5.02	5.05	4.97
Fe ³⁺	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ _T	15.96	15.96	15.96	15.95	15.95	15.97	15.98	16	16	15.99
Ca	1.04	0.98	1.02	0.97	0.98	1.01	0.99	1.05	1.05	1.04
Na	3	3.05	2.98	3.12	3.11	2.98	2.98	2.85	2.86	2.88
K	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.03	0.07	0.04	0.06	0.03
Σ _M	4.09	4.08	4.06	4.14	4.14	4.02	4.04	3.94	3.97	3.95
Ab	73.3	74.8	73.4	75.4	75.1	74.1	73.8	72.3	72	72.9
An	25.4	24	25.1	23.4	23.7	25.1	24.5	26.6	26.4	26.3
Or	1.2	1.2	1.5	1.2	1.2	0.7	1.7	1	1.5	0.8
Li						2.74	5.53	7.47	2.09	2.68
Sc						7.91	8.59	8.00	6.93	6.94
V						0.02	0.03	0.00	0.03	0.01
Cr							0.43	0.78	3.41	2.35
Co						0.09	0.13	0.11	0.16	0.03
Ni						2.15	1.86	1.62	3.53	2.15
Cu						0.36	0.43	0.77	0.14	0.30
Zn						0.55	1.03	1.30	0.92	0.72
Rb						2.88	1.28	2.89	0.75	1.89
Sr						423.24	454.17	413.26	399.37	406.37
Y						0.46	0.45	0.30	0.65	0.45
Zr						0.17	0.18	2.65	0.31	0.21
Nb						0.02		0.00	0.01	0.01
Cs						0.06	0.04	0.04	0.04	0.06
Ba						65.64	84.84	115.54	69.09	51.56
La						17.48	8.58	6.20	28.55	11.62
Ce						36.68	19.32	13.29	54.53	23.85
Pr						3.54	1.96	1.30	5.01	2.28
Nd						11.18	6.20	4.26	15.18	6.67
Sm						1.82	1.27	0.86	2.14	1.37
Eu						1.25	1.29	1.19	1.04	0.98
Gd						1.11	0.71	0.48	1.25	0.76
Tb						0.11	0.08	0.06	0.13	0.09
Dy						0.24	0.21	0.17	0.29	0.14
Ho						0.01	0.00	0.01	0.02	0.02
Er						0.09	0.02	0.02	0.08	0.06
Tm						0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Yb						0.01	0.02	0.04	0.02	0.02
Lu						0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Hf						0.01	0.01	0.13	0.03	0.01
Ta									0.01	0.00
Pb						54.12	53.15	49.08	36.84	36.84
Th						0.02		0.02		0.01
U						0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
Eu/Eu*						2.69	4.17	5.64	1.95	2.94

Anexo 4

Anexo 4d (cont.) - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista

Amostra	Vênula de leucogranito no granito cinza 74g1					
	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D	NP74D
Localização	C2	C2	C2	C4	C4	C4
Análise	2b	2c	3i	2c	3b	4i
SiO ₂	61.22	61.85	61.24	61.46	61.15	60.95
Al ₂ O ₃	23.69	23.24	23.54	23.49	23.59	23.69
TiO ₂	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.05	0.05	0.04	0.01	0.13	0.03
MnO	0.01	0.04	0.01	0.00	0.02	0.00
MgO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00
CaO	5.49	5.18	5.37	5.42	5.27	5.66
Na ₂ O	8.57	8.78	8.55	8.52	8.73	8.63
K ₂ O	0.21	0.29	0.21	0.30	0.15	0.13
Total	99.26	99.43	98.95	99.20	99.07	99.09
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios						
Si	10.96	11.05	10.99	11	10.97	10.94
Al	4.99	4.89	4.97	4.95	4.98	5.01
Fe ³⁺	0.01	0.01	0.01	0	0.02	0
Σ _T	15.96	15.95	15.97	15.95	15.97	15.95
Ca	1.05	0.99	1.03	1.04	1.01	1.09
Na	2.97	3.04	2.97	2.96	3.04	3
K	0.05	0.07	0.05	0.07	0.04	0.03
Σ _M	4.07	4.1	4.05	4.07	4.09	4.12
Ab	73	74.1	73.3	72.7	74.3	72.8
An	25.8	24.1	25.4	25.6	24.7	26.5
Or	1.2	1.7	1.2	1.7	1	0.7

Anexo 4

Anexo 4d (cont.) - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista

Paragnaisse granítico grupo 3 (afloramento NP74)														
Amostra	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74A	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB	NP74AB
Localização	P3	P3	P4	P4	P4	P6	P6	P6	P1	P1	P4	P4	P6	P6
Análise	1b	2c	1-	2-	3-	1b	2i	3c	1b	2c	1b	2c-leuco	1b-leuco	1c-leuco
SiO ₂	61.36	61.38	61.16	60.87	61.19	60.63	61.18	61.32	57.13	58.32	61.01	60.71	61.48	60.43
Al ₂ O ₃	24.29	24.33	24.75	24.72	24.88	24.30	24.55	24.25	27.62	26.65	24.51	24.52	24.88	25.19
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00
Fe ₂ O ₃	0.06	0.00	0.09	0.12	0.29	0.00	0.00	0.00	0.09	0.04	0.05	0.00	0.00	0.01
MnO	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	6.07	6.00	6.53	6.47	6.47	6.22	6.31	6.13	9.52	8.69	6.26	6.29	6.28	6.69
Na ₂ O	8.09	8.18	7.97	7.94	7.98	8.15	7.96	7.87	6.15	6.79	7.95	8.17	7.92	7.70
K ₂ O	0.23	0.18	0.09	0.15	0.12	0.36	0.41	0.39	0.09	0.12	0.21	0.24	0.24	0.34
Total	100.19	100.12	100.74	100.34	100.93	99.76	100.47	100.06	100.69	100.61	100.01	99.93	100.83	100.37
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios														
Si	10.89	10.89	10.81	10.8	10.79	10.83	10.84	10.9	10.18	10.38	10.85	10.82	10.84	10.73
Al	5.08	5.09	5.15	5.17	5.17	5.11	5.12	5.08	5.8	5.59	5.13	5.15	5.16	5.27
Fe ³⁺	0.01	0	0.01	0.02	0.04	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0
Σ _T	15.98	15.98	15.97	15.99	16	15.94	15.96	15.98	15.99	15.98	15.99	15.97	16	16
Ca	1.15	1.14	1.24	1.23	1.22	1.19	1.2	1.17	1.82	1.66	1.19	1.2	1.19	1.27
Na	2.78	2.82	2.73	2.73	2.73	2.82	2.74	2.71	2.13	2.34	2.74	2.82	2.71	2.65
K	0.05	0.04	0.02	0.03	0.03	0.08	0.09	0.09	0.02	0.03	0.05	0.05	0.05	0.08
Σ _M	3.98	4	4	3.99	3.98	4.1	4.04	3.98	3.97	4.03	3.98	4.07	3.95	4
Ab	69.8	70.5	68.4	68.4	68.6	68.9	68	68.3	53.7	58.1	68.8	69.3	68.6	66.3
An	28.9	28.5	31.1	30.8	30.7	29.1	29.8	29.5	45.8	41.2	29.9	29.5	30.1	31.8
Or	1.3	1	0.5	0.8	0.8	2	2.2	2.3	0.5	0.7	1.3	1.2	1.3	2
Li						7.55	7.10	6.27			0.30	0.52	2.18	1.70
Sc						20.89	20.54	19.83			20.50	19.14	20.76	19.26
V						0.25	0.09	0.06				0.06	0.22	0.01
Cr						42.31					1.99	1.27	20.90	
Co						1.28	0.70				0.11		0.94	0.40
Ni						28.84	2.51				2.56		12.24	1.51
Cu						4.02	2.14	1.45			0.34	0.42	0.58	0.26
Zn						14.52	10.30	6.66			1.73	0.34	1.85	2.15
Rb						1.17	1.17	0.71			0.44	0.40	0.45	0.52
Sr						459.15	602.57	561.56			450.44	452.11	416.32	461.58
Y						0.95	1.35	1.13			1.62	1.86	1.14	1.26
Zr						2.11	1.56	0.79				0.02	0.67	0.45
Nb						0.03	0.01	0.01					0.02	0.02
Cs						0.19	0.02				0.03		0.11	
Ba						233.14	297.32	220.02			109.02	95.57	122.64	146.34
La						6.99	11.41	11.32			20.74	19.25	13.78	15.69
Ce						14.29	22.33	23.11			37.03	34.61	25.24	29.03
Pr						1.84	2.58	2.66			3.45	3.09	2.78	3.06
Nd						7.49	9.78	9.04			9.26	10.00	10.80	10.05
Sm						2.25	2.25	2.00			1.69	1.46	1.90	1.86
Eu						2.86	3.22	2.61			2.14	1.79	2.75	2.60
Gd						2.31	2.00	1.45			1.50	1.32	2.47	1.91
Tb						0.40	0.28	0.21			0.20	0.16	0.30	0.23
Dy						0.84	0.38	0.62			0.55	0.37	0.68	0.53
Ho						0.05	0.07	0.03			0.06	0.07	0.10	0.03
Er						0.18	0.15	0.22			0.02	0.09	0.38	0.23
Tm						0.03	0.02	0.02			0.04	0.00	0.04	0.01
Yb						0.12		0.05			0.10	0.05	0.07	0.11
Lu						0.01	0.02						0.02	0.01
Hf						0.15	0.06	0.08					0.02	0.00
Ta						0.00	0.00	0.00			0.00	0.01	0.01	0.01
Pb						103.32	83.48	61.80			23.82	22.54	49.35	40.59
Th						0.96	0.60	0.34			0.04	0.02		0.00
U						0.00	0.00	0.01						
Eu/Eu*						3.84	4.64	4.68			4.11	3.94	3.88	4.22

Anexo 4

Anexo 4d (cont.) - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de plagioclásio de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista

Amostra	Paragnaisse grupo 2					Paragnaises tonalíticos grupo 3							
	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP109A	NP74V	NP74V	NP74V	NP74V	NP74V	NP40AO	NP40AO	NP40AO
Localização	P1	P1	P1	P3	P3	C1	C1	C2	C2	C2	C3	C3	C3
Análise	1b	2i	3c	1b	2i	1b	2	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	58.28	58.25	58.61	58.50	58.47	48.36	48.84	48.66	49.66	52.03	57.61	57.32	58.26
Al ₂ O ₃	26.46	26.60	25.96	25.96	26.16	32.54	32.05	31.98	31.51	30.04	26.43	26.45	26.21
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.05
Fe ₂ O ₃	0.00	0.01	0.04	0.03	0.02	0.03	0.10	0.06	0.07	0.03	0.00	0.05	0.04
MnO	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
CaO	8.46	8.44	7.98	7.95	8.11	15.01	14.89	14.82	14.36	12.50	8.48	8.46	7.69
Na ₂ O	6.66	6.64	7.01	6.79	7.00	2.74	2.90	2.93	3.19	4.33	6.88	6.65	7.20
K ₂ O	0.34	0.29	0.24	0.29	0.17	0.03	0.05	0.04	0.03	0.07	0.11	0.18	0.19
Total	100.40	100.40	99.92	99.61	100.08	98.86	99.04	98.56	98.86	99.13	99.69	99.20	99.76
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios													
Si	10.41	10.4	10.49	10.5	10.46	8.94	9.01	9.02	9.15	9.52	10.36	10.35	10.45
Al	5.57	5.59	5.47	5.49	5.51	7.08	6.97	6.98	6.84	6.47	5.6	5.63	5.54
Fe ³⁺	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Σ _T	15.98	15.99	15.97	15.99	15.97	16.02	15.99	16.01	16	15.99	15.96	15.99	16
Ca	1.62	1.61	1.53	1.53	1.55	2.97	2.94	2.94	2.84	2.45	1.63	1.64	1.48
Na	2.31	2.3	2.43	2.36	2.43	0.98	1.04	1.05	1.14	1.54	2.4	2.33	2.5
K	0.08	0.07	0.06	0.07	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
Σ _M	4.02	4	4.03	3.97	4.04	3.98	4	4.01	3.99	4.02	4.07	4.02	4.03
Ab	57.6	57.8	60.4	59.6	60.4	24.7	26.1	26.3	28.6	38.4	59.1	58.1	62.2
An	40.4	40.5	38.1	38.6	38.6	75	73.7	73.5	71.2	61.1	40.1	40.9	36.8
Or	2	1.8	1.5	1.8	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.7	1	1
Li	10.90	7.08	8.79	9.64	11.42								
Sc	16.55	16.79	17.73	17.57	19.41								
V	0.06	0.09	0.28	0.10	0.08								
Cr	3.58	12.21	21.30	1.30	1.54								
Co	0.52	0.49	1.18	0.40	0.22								
Ni		16.51	15.24	4.49	2.16								
Cu	1.57	1.94	0.71	3.84	0.98								
Zn	2.91	1.53	6.10	11.07	5.03								
Rb	1.16	4.33	1.68	0.48	2.15								
Sr	581.37	685.01	566.54	591.90	726.93								
Y	1.60	0.98	1.43	1.95	0.93								
Zr	0.15	1.23	0.77	0.65	0.29								
Nb		0.04	0.03										
Cs	0.01	0.39	0.16										
Ba	244.74	262.80	216.29	237.23	352.09								
La	20.72	21.39	21.36	23.01	24.57								
Ce	37.98	38.97	36.82	40.27	49.33								
Pr	3.91	4.23	3.76	3.94	5.25								
Nd	12.10	13.78	13.06	14.48	16.67								
Sm	2.27	1.78	2.14	2.37	2.73								
Eu	3.13	2.92	2.56	3.31	3.62								
Gd	1.79	1.49	1.87	1.92	2.03								
Tb	0.08	0.22	0.18	0.29	0.22								
Dy	0.71	0.54	0.57	0.83	0.53								
Ho	0.03			0.13	0.04								
Er	0.03	0.20	0.02	0.25	0.27								
Tm		0.03	0.06	0.02	0.02								
Yb				0.18	0.07								
Lu	0.05		0.01	0.03	0.02								
Hf		0.01			0.01								
Ta				0.01	0.03								
Pb	36.82	33.65	30.75	56.23	49.29								
Th	0.10	0.04		0.53	0.15								
U		0.01	0.01	0.02	0.00								
Eu/Eu*	4.75	5.47	3.92	4.74	4.70								

Anexo 4

Anexo 4d (cont.) - Composição química de elementos maiores (% peso, microsonda eletrônica) de feldspato alcalino de granitos e gnaisses da região de Nazaré Paulista

Amostra	Granada leucogranito 40g4			Granada leucogranito 74g2					Granada leucogranito 74g3	
	NP40AL	NP40AL	NP40AL	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74U	NP74AD	NP74AD
Localização	P1	P1	P1	Novo1	Novo1	Novo1	Novo2	Novo2	P1	P1
Análise	1-x	2	3-x	1	2-x	3	1	2-x	1	2
SiO ₂	64.97	64.54	64.67	65.01	64.62	64.77	65.24	65.47	64.30	64.42
Al ₂ O ₃	18.89	18.49	18.74	18.61	18.82	18.48	18.82	18.52	18.56	18.53
TiO ₂	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.17	0.05	0.16	0.13	0.35	0.00	0.16	0.16	0.00	0.18
MnO	2.11	0.95	1.74	1.18	1.51	0.84	1.32	1.21	0.84	2.18
MgO	13.38	14.91	13.84	14.73	13.88	15.38	14.61	14.78	15.07	13.29
CaO	0.00	0.14	0.00	0.10	0.39	0.39	0.25	0.27	0.11	0.16
Na ₂ O	99.55	99.08	99.14	99.76	99.57	99.86	100.39	100.43	98.89	98.76
K ₂ O	0.00	1218.15	0.00	931.53	3511.14	3520.10	2221.34	2409.43	1003.18	1451.03
Fórmula Estrutural Calculada na base 32 oxigênios										
Si	11.94	11.99	11.95	11.98	11.93	11.98	11.96	12.00	11.97	11.95
Al	4.09	4.04	4.08	4.04	4.09	4.03	4.06	4.00	4.07	4.05
Fe3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Ca	0.03	0.01	0.03	0.03	0.07	0.00	0.03	0.03	0.00	0.04
Ba	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
Na	0.75	0.34	0.62	0.42	0.54	0.30	0.47	0.43	0.30	0.79
K	3.14	3.53	3.26	3.46	3.27	3.63	3.42	3.46	3.58	3.15
Ab	19.20	8.80	15.90	10.80	13.90	7.70	12.00	11.00	7.80	19.80
An	0.90	0.30	0.80	0.60	1.80	0.00	0.80	0.80	0.00	0.90
Or	80.00	91.00	83.30	88.60	84.30	92.30	87.20	88.30	92.20	79.30
Li	24.52	2.89	12.85	2.42	12.66	1.80	3.62	18.76	2.19	5.93
Sc	147.13	6.72	0.89	1.60	6.90	0.98	3.07	12.03	3.07	2.78
V	0.11	0.00			0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	
Cr	36.28	5.00				0.79	0.68	1.88	1.99	
Co	0.43	0.13							0.05	
Ni	10.80	1.23							0.42	
Cu	1.27	0.22	0.26	0.29	1.04	0.16	0.20	1.80	0.09	0.18
Zn	1.07	0.31	0.83	0.24	1.51	0.25	0.45	2.13	0.17	0.22
Rb	390.50	169.83	473.79	194.54	684.10	93.23	293.33	1107.89	80.03	241.98
Sr	233.25	74.04	206.83	85.43	351.23	40.54	84.87	456.88	33.32	72.74
Y	0.17	0.08	0.21	0.08	0.27	0.03	0.10	0.38	0.04	0.09
Zr	0.44	0.40	0.21	0.06		0.08	0.14	0.12	0.04	
Nb	0.02	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Cs	1.81	0.56	1.37	0.84	2.49	0.39	1.17	4.23	0.20	0.45
Ba	820.03	304.50	789.45	399.19	1709.19	180.91	546.52	2138.51	280.06	531.95
La	2.07	0.34	2.01	1.13	5.04	0.60	2.42	6.14	0.54	1.74
Ce	2.14	0.39	3.34	1.24	4.81	0.86	3.05	9.05	0.45	2.01
Pr	0.18	0.02	0.30	0.05	0.20	0.05	0.14	0.42	0.03	0.13
Nd	0.58	0.10	0.90	0.12	0.08	0.10	0.19	0.82	0.05	0.28
Sm	1.55	0.01	0.08	0.03	0.09	0.02	0.03		0.01	0.04
Eu	5.08	0.56	0.96	0.37	1.60	0.19	0.42	2.12	0.44	0.52
Gd	0.68	0.02	0.15	0.01		0.02	0.00	0.46	0.02	0.03
Tb	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Dy	0.03	0.00		0.00		0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
Ho	0.02	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00
Er	0.16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Tm	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Yb	0.08	0.01	0.00	0.01	0.05	0.01			0.00	0.00
Lu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hf	0.07	0.04	0.04	0.01	0.16	0.00	0.04	0.12	0.03	0.04
Ta	0.44	0.08	0.13	0.06	0.31	0.03	0.08	0.39	0.06	0.06
Pb	425.81	120.67	253.02	85.99	245.35	31.50	67.06	314.35	65.11	86.33
Th	0.04	0.01	0.03	0.00	0.02	0.35	0.00	675.21	0.65	24.27
U	0.03	0.11	0.01	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Eu/Eu*	15.14	108.78	26.86	91.18	0.00	32.73	0.00	0.00	100.36	47.26