



UFOP



Contribuições às Ciências da Terra

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

**Minerais Radioativos em Rochas Graníticas Ornamentais e de
Revestimento: Aspectos Químico-Mineralógicos e Implicações
Ambientais**

Humberto Terrazas Salas

2003

**MINERAIS RADIOATIVOS EM ROCHAS GRANÍTIICAS
ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO: ASPECTOS
QUÍMICO-MINERALÓGICOS E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS**



UFOP

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitor

Dirceu do Nascimento

Vice-Reitor

Marco Antônio Tourinho Furtado

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Newton Souza Gomes

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Antônio Gomes de Araújo

Vice-Diretor

Antenor Barbosa

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Marco Antônio Fonseca

CONTRIBUIÇÕES ÀS CIÊNCIAS DA TERRA – VOL. 07

DISSERTAÇÃO N° 219

**MINERAIS RADIOATIVOS EM ROCHAS GRANÍTICAS ORNAMENTAIS
E DE REVESTIMENTO: ASPECTOS QUÍMICO-MINERALÓGICOS E
IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS**

Humberto Terrazas Salas

Orientador

Hermínio Arias Nalini Jr.

Co-orientador

Júlio César Mendes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais

OURO PRETO

2003

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606 e-mail: pgrad@degeo.ufop.br

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

ISSN 1677-4132

Depósito Legal na Biblioteca Nacional

Edição 1ª

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

S161m Salas, Humberto Terrazas.
Minerais radioativos em rochas graníticas ornamentais e de revestimento: aspectos químicos e implicações ambientais / Humberto Terrazas Salas - Ouro Preto: UFOP. 2003.

xxi, 193p.: il. color. graf. tabs. (Contribuições às Ciências da Terra. Série M, 07. 219)

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais.

ISSN 1677-4132

1. Geoquímica ambiental. 2. Petrografia. 3. Geoquímica – granito. 4. Mineralogia. 5. Litologia. 6. Radioatividade – medida. 7. Rochas ornamentais. 8. Auto-radiografia. I. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. II. Título.

CDU: 550.4

<http://www.sisbin.ufop.br>

DEDICATÓRIA

A meus pais Luis Terrazas Céspedes e Lucila Salas Justiniano (*in memoriam*).
À minha esposa Bernadete. Aos meus filhos Verônica e Ricardo.

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Dr. Hermínio Arias Nalini Jr., orientador desta dissertação, por ter acreditado e aceito esta empreitada, assim como pela valiosa colaboração, sugestões e incentivo ao desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Professor Dr. Júlio César Mendes, como co-orientador deste trabalho, pelas críticas e sugestões.

Ao Professor Dr. Hubert M. Roeser, ao colega de trabalho Dr. Cláudio Raposo e ex-colegas Dr. Clésio C. Murta e Prof. Roberto L. L. Murta, que estimularam meu interesse para retornar a ser aluno, e desta forma, transformar em realidade a idéia de desenvolver esta dissertação.

A todo o Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, professores, funcionários e colegas de sala, pelo importante estímulo na realização deste curso de pós-graduação.

Ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN), através dos Chefes imediatos Roberto Pellacani G. Monteiro e Dr. Vanderley de Vasconcelos, que proporcionaram apoio laboratorial e financeiro, permitindo desta maneira a realização de todas as etapas do curso de pós-graduação e o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de trabalho pela contribuição no desenvolvimento desta pesquisa: Ângela B. C., Menezes, Aníbal T. B. Neto, Dovenir Francisco, Eder A. de Oliveira, Ester Figueiredo de Oliveira, Flávio A. Fortes, Francisco de A. Rocha, Herculis dos S. Bernardes, João B. S. Barbosa, Jesus Carneiro Magalhães, João C. F. Pujol, José dos Santos, J. Pereira, José M. Messias, Lúcia M. de Souza, Luiz C. da Silva, Luiz R. Armôa Garcia, Marta M. Avelar, Murillo Senne Júnior, Renato C. S. Furtado, Teresa C.F. Duarte e Wagner de Souza.

À Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPEMIG), órgão financiador do Laboratório de Microanálise do Consórcio Física - Geologia e Química da UFMG e CDTN/CNEN, Professor Dr. Abá Cohem Persiano (coordenador do laboratório), Eng. William Tito Soares e Eng. Ney Sampaio, na realização de microanálises.

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Dr. Hermínio Arias Nalini Jr., orientador desta dissertação, por ter acreditado e aceito esta empreitada, assim como pela valiosa colaboração, sugestões e incentivo ao desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Professor Dr. Júlio César Mendes, como co-orientador deste trabalho, pelas críticas e sugestões.

Ao Professor Dr. Hubert M. Roeser, ao colega de trabalho Dr. Cláudio Raposo e ex-colegas Dr. Clésio C. Murta e Prof. Roberto L. L. Murta, que estimularam meu interesse para retornar a ser aluno, e desta forma, transformar em realidade a idéia de desenvolver esta dissertação.

A todo o Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, professores, funcionários e colegas de sala, pelo importante estímulo na realização deste curso de pós-graduação.

Ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN), através dos Chefes imediatos Roberto Pellacani G. Monteiro e Dr. Vanderley de Vasconcelos, que proporcionaram apoio laboratorial e financeiro, permitindo desta maneira a realização de todas as etapas do curso de pós-graduação e o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de trabalho pela contribuição no desenvolvimento desta pesquisa: Ângela B. C., Menezes, Aníbal T. B. Neto, Dovenir Francisco, Eder A. de Oliveira, Ester Figueiredo de Oliveira, Flávio A. Fortes, Francisco de A. Rocha, Herculis dos S. Bernardes, João B. S. Barbosa, Jesus Carneiro Magalhães, João C. F. Pujol, José dos Santos, J. Pereira, José M. Messias, Lúcia M. de Souza, Luiz C. da Silva, Luiz R. Armôa Garcia, Marta M. Avelar, Murillo Senne Júnior, Renato C. S. Furtado, Teresa C.F. Duarte e Wagner de Souza.

À Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPEMIG), órgão financiador do Laboratório de Microanálise do Consórcio Física - Geologia e Química da UFMG e CDTN/CNEN, Professor Dr. Abá Cohem Persiano (coordenador do laboratório), Eng. William Tito Soares e Eng. Ney Sampaio, na realização de microanálises.

Sumário

AGRADECIMENTOS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABELAS.....	xviii
RESUMO.....	xix
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Apresentação.....	1
1.2 - Objetivos e relevância.....	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 - Introdução.....	5
2.2 - Rochas ornamentais.....	5
2.2.1 - Definições.....	5
2.2.2 - Caracterização tecnológica.....	11
2.3 - Revisão sobre alguns conceitos em radioatividade.....	13
2.3.1 - Definições.....	13
2.3.2 - Limites de radioatividade recomendada.....	15
2.4 - Radioatividade devida aos minerais e rochas.....	18
2.4.1 - Origem.....	18
2.4.2 - Distribuição da radioatividade entre os diferentes grupos de rochas.....	20
2.5 - Radioatividade em materiais de construção.....	21
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 - Materiais utilizados.....	25
3.1.1 - Amostragem.....	25
3.1.2 - Preparação das amostras para estudos e análises.....	25
3.2 - Metodologia analítica.....	26
3.2.1 - Auto-radiografia.....	26
3.2.2 - Espectrometria de energia de raios X por excitação de raios gama (Kevex).....	26
3.2.3 - Espectrometria de fluorescência de raios X (FRX).....	27
3.2.4 - Difração de raios X (DRX).....	27

3.2.5 - K _o -ativação neutrônica paramétrica.....	28
3.2.6 - Espectrometria de absorção atômica	28
3.2.7 - Fotometria de chama.....	29
3.2.8 - Gravimetria.....	30
3.2.9 - Volumetria.....	30
3.2.10 - Medida da atividade α e β com cintilômetro portátil.....	30
3.2.11 - Análise por microsonda eletrônica.....	31
3.2.12 - Microscopia óptica e classificação de rochas.....	31

CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E AUTO-RADIOGRÁFICA..... 33

4.1 - Caracterização petrográfica macroscópica.....	33
4.2 - Auto-radiografia.....	34
4.3 - Caracterização petrográfica microscópica.....	35
4.3.1 - Granito monzonítico.....	36
4.3.2 - Granito sienítico.....	50
4.3.3 - Monzonito.....	54
4.3.4 - Monzonito quartzoso.....	55
4.3.5 - Granodiorito.....	58
4.3.6 - Sienito.....	59
4.3.7 - Monzogabro monzodiorítico.....	61
4.3.8 - Gabro quartzoso.....	62
4.4 - Considerações sobre a caracterização petrográfica e auto-radiográfica.....	63

CAPÍTULO 5 - CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA..... 67

5.1 - Análises químicas	67
5.1.1 - Granito alcalino.....	70
5.1.2 - Granito alcalino/sienítico.....	73
5.1.3 - Granito sienítico.....	76
5.1.4 - Granito monzonítico.....	79
5.1.5 - Monzonito.....	80
5.1.6 - Sienito.....	81
5.1.7 - Diorito.....	82
5.1.8 - Tonalito.....	83

5.1.9 - Gabro.....	83
5.2 - Considerações sobre os resultados geoquímicos.....	84
5.2.1 - Concentração de urânio e tório nas rochas graníticas ornamentais amostradas.....	84
5.2.2 - Principais grupos litológicos com teores totais de urânio e tório acima de 60 ppm....	84
5.2.3 - Distribuição dos elementos radioativos totais (urânio e tório acima de 60 ppm) e terras raras totais, em rochas graníticas	87
5.2.4 - Relação do urânio, tório e terras raras totais nos minerais radioativos das rochas graníticas ornamentais (teores totais maiores que 60 ppm de U_3O_8 e ThO_2).....	89
5.2.5 - Conteúdo de urânio e tório de uma placa hipotética com 1 m ² e 2 cm de espessura (0,02 m ³) de rochas graníticas (teores superiores a 60 ppm de U_3O_8 e ThO_2).....	91

CAPÍTULO 6 - CÁLCULO DE DOSE E ACRÉSCIMO EM FUNÇÃO DO USO DE GRANITOS COMO PISO DE CONSTRUÇÃO: IMPACTO AMBIENTAL..... 93

6.1 - Modelo utilizado para o cálculo de dose devida ao material de construção utilizado no “cômodo padrão”.....	93
6.1.1 - Cômodo padrão.....	93
6.1.2 - Materiais e métodos.....	93
6.1.3 - Dose devida à radiação gama.....	95
6.1.4 - Dose devida ao radônio.....	96
6.1.5 - Dose devida ao torônio.....	97
6.2 - Cálculo do incremento de dose anual devido à utilização da amostra CG-02 como piso no “cômodo padrão”.....	99
6.2.1 - Cálculo da dose anual devida à radiação gama.....	99
6.2.2 - Cálculo da dose anual devida ao radônio.....	100
6.2.3 - Cálculo da dose anual devida ao torônio.....	102
6.2.4 - Concentrações (C_{xi}) dos radionuclídeos ^{40}K , ^{232}Th e ^{226}Ra para o cálculo de dose do piso de cerâmica, Ginjaar (1985), indicados na “Health Council of The Netherlands”.....	104
6.2.5 - Acréscimo de dose devida ao uso do piso de granito - amostra CG-02 - em lugar do piso de cerâmica.....	104
6.3 - Resultados e discussões.....	107

Lista de Figuras

Figura 1.1	- Localização geográfica e distribuição percentual das 100 rochas graníticas ornamentais amostradas em marmorarias de Belo Horizonte.....	2
Figura 4.1	- Classificação nas rochas “graníticas” amostradas.....	35
Figura 4.2	- Granito monzonítico, aspectos microscópicos dos principais minerais.....	38
Figura 4.3	- Granito monzonítico. Aspecto microscópico dos principais minerais.....	39
Figura 4.4	- Granito monzonítico. Aspecto microscópico dos principais minerais.....	40
Figura 4.5	- Granito monzonítico. Aspecto macroscópico (A) e resultado da auto-radiografia, com pontos e porções enegrecidas (B).....	43
Figura 4.6	- Granito e gnaiss monzonítico (Amostra CG-20, 23, 24, 30 e 31). Aspecto macroscópico (A) e resultado da auto-radiografia, com pontos e porções enegrecidas (B).....	44
Figura 4.7	- Granito e gnaiss monzonítico (Amostra CG-33, 35, 42, 46 e 52). Aspecto macroscópico (A) e resultado da auto-radiografia, com pontos e porções enegrecidas (B).....	45
Figura 4.8	- Granito monzonítico com minerais responsáveis pela radioatividade.....	46
Figura 4.9	- Granito e gnaiss monzonítico com minerais responsáveis pela radioatividade e minerais hospedeiros.....	47
Figura-4.10	- Granito e gnaiss monzonítico com minerais responsáveis pela radioatividade e minerais hospedeiros.....	48
Figura-4.11	- Granito e gnaiss monzonítico com minerais responsáveis pela radioatividade e minerais hospedeiros.....	49
Figura 4.12	- Granito sienítico. Aspecto microscópico dos principais minerais	51
Figura 4.13	- Granito sienítico. Aspecto macroscópico (A) e testes de auto-radiografia, com pontos porções enegrecidas (B).....	52
Figura 4.14	- Granito sienítico com minerais responsáveis pela radioatividade e minerais hospedeiros.....	53
Figura 4.15	- Monzonito quartzoso e gnaiss monzonito quartzoso. Aspecto microscópico dos principais minerais.....	56
Figura 4.16	- Monzonito quartzoso e gnaiss monzonito quartzoso. Aspecto macroscópico (A) e testes de auto-radiografia, com pontos e porções enegrecidas (B).....	57
Figura 4.17	- Monzonito quartzoso e gnaiss monzonito quartzoso com minerais responsáveis pela radioatividade e minerais hospedeiros.....	58
Figura 4.18	- Sienito. Aspecto microscópico dos principais minerais.....	60
Figura 4.19	- Sienito, aspecto macroscópico (A) e resultado da auto-radiografia, apresentando pontos e	

	porções enegrecidas (B).....	61
Figura 4.20	- Sienito com minerais responsáveis pela radioatividade e minerais hospedeiros.....	61
Figura 4.21	- Distribuição percentual dos grupos litológicos de rochas graníticas amostradas, utilizando-se diagrama QAP de Streckeisen	64
Figura 5.1	- Classificação das rochas graníticas ornamentais com urânio e tório acima de 60 ppm, segundo diagrama de La Roche	68
Figura 5.2	- Classificação química e nomenclatura das rochas plutônicas usando álcali total e sílica (TAS).....	69
Figura 5.3	- Distribuição percentual dos grupos de rochas “graníticas” ornamentais, amostradas e classificadas segundo Diagramas de La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1989).....	70
Figura 5.4	-Concentração de urânio e tório nas rochas graníticas, gnaisses, migmatitos, charnoquitos e granulitos ornamentais, classificadas segundo La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1974) adaptado por Wilson (1989).....	71
Figura 5.5	- Allanita - imagem de elétrons retroespalhados (microsonda eletrônica)	72
Figura 5.6	- Espectros de raios X da allanita, obtidos por microsonda eletrônica.....	73
Figura 5.7	- Xenotímo - imagem de elétrons retroespalhados e mapas de raios X para ítrio e Fósforo.....	75
Figura 5.8	- Torita, imagem de elétrons retroespalhados e mapas de raios X para seus elementos.....	75
Figura 5.9	- Espectros de raios X da torita obtidos por microsonda eletrônica.....	76
Figura 5.10	- Monazita - imagens de elétrons retroespalhados e mapas de raios X para seus elementos.....	78
Figura 5.11	- Espectros de raios X da monazita obtidos por microsonda eletrônica.....	79
Figura 5.12	- Principais grupos litológicos com teores totais de U ₃ O ₈ e ThO ₂ acima de 60 ppm.....	85
Figura 5.13	- O urânio e tório de rochas graníticas e gnaisses, segundo diagrama de La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979) adaptado por Wilson (1989).....	86
Figura 5.14	- Concentração de urânio, tório e terras raras totais nas amostras graníticas e gnaisses, com elementos radioativos totais (U ₃ O ₈ e ThO ₂) acima de 60 ppm.....	88
Figura 5.15	- Relação do tório e terras raras (ppm), em rochas graníticas ornamentais com teores totais de U ₃ O ₈ e ThO ₂ acima de 60 ppm.....	90
Figura 5.16	- Relação do urânio e terras raras + tório (ppm), em rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U ₃ O ₈ e ThO ₂) acima de 60 ppm.....	90
Figura 5.17	- Relação do urânio e tório (ppm), em rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U ₃ O ₈ e ThO ₂) acima de 60 ppm.....	91
Figura 5.18	- Conteúdo de urânio e tório nas rochas graníticas e gnaisses ornamentais, com elementos	

	radioativos em grama (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm, em uma hipotética placa de 1 m^2 de superfície e 2 cm de espessura.....	92
Figura 6.1	- Cômodo padrão utilizado para o cálculo de dose e acréscimo.....	93
Figura 6.2	- Atividades γ e β nas rochas graníticas e gnaisses ornamentais selecionadas, relacionadas com a concentração dos elementos radioativos (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm.....	108
Figura 6.3	- Relação do H_{ET} (taxa de dose em mSv/ano) e ^{40}K ($Bq.kg^{-1}$), em rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm.....	109
Figura 6.4	- Relação do H_{ET} (taxa de dose em mSv/ano) e ^{226}Ra ($Bq.kg^{-1}$), em rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm.....	109
Figura 6.5	- Relação do H_{ET} (taxa de dose em mSv/ano) e ^{232}Th ($Bq.kg^{-1}$), em rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm.....	110
Figura 6.6	- Taxa de acréscimo utilizando-se rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm em lugar do material cerâmico.....	111

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	- Dados de produção das rochas ornamentais e de revestimento.....	10
Tabela 2.2	- Países com apresentação de mais de 20 amostras de rochas graníticas ornamentais....	11
Tabela 2.3	- Taxa de dose equivalente devido ao raios γ de materiais de construção usados em Hong Kong.....	17
Tabela 2.4	- Comparação em recinto fechado da taxa de dose equivalente de raios γ em Hong Kong com outros países.....	17
Tabela 4.1	- Classificação das rochas “graníticas” ornamentais com teores totais de U_3O_8 e ThO_2 acima de 60 ppm.....	34
Tabela 6.1	- Densidade e concentrações de ^{232}Th , ^{226}Ra e ^{40}K em pisos de materiais cerâmico e granítico.....	95
Tabela 6.2	- Valores de q_x	99
Tabela 6.3	- Valores de m_i	99
Tabela 6.4	- Concentrações (C_{xi}) dos radionuclídeos ^{40}K , ^{232}Th e ^{226}Ra da amostra CG-02	100
Tabela 6.5	- Valores de S_i	101
Tabela 6.6	- Valores utilizados para ρ_i , η_i , l_i , L_i e $tgh(L_i/l_i)$	101
Tabela 6.7	- Valores de S_i	103
Tabela 6.8	- Valores utilizados para ρ_i , η_i , l_i , L_i e $tgh(L_i/l_i)$	103
Tabela 6.9	- Concentrações de radionuclídeos em piso de material cerâmica.....	104
Tabela 6.10	- Planilha para cálculo de dose devidos ao radônio e torônio em mSv/ano	105
Tabela 6.11	- Resultado de doses para pisos de materiais cerâmico e granítico, devido ao radônio, torônio e acréscimo.....	106
Tabela 6.12	- Unidades e grandezas usadas nos cálculos de dose para pisos de material cerâmico e rochas graníticas.....	107

Resumo

Esta dissertação focaliza a ocorrência dos minerais radioativos em rochas graníticas ornamentais, visando acrescentar mais um parâmetro no controle de qualidade tecnológica e ambiental destes materiais. Foram coletadas 100 amostras em diversas marmorarias de Belo Horizonte - MG, procedentes, principalmente, dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Dentre estas amostras, 23 foram analisadas em maior detalhe, por apresentarem concentração total de urânio e tório igual ou superior à 60 ppm.

As rochas de composição graníticas foram estudadas por apresentarem características genéticas que levam a uma maior possibilidade de ocorrência de minerais radioativos. Junto com as rochas graníticas, silicatadas de composição ácida, foram incluídas, em menor proporção, rochas alcalinas, intermediárias, básicas e rochas metamórficas. As amostras definem litotipos diversos, com características macroscópicas variadas, evidenciadas por sua coloração, tamanho dos grãos e texturas. Nas análises químicas dos principais óxidos das amostras com urânio e tório acima de 60 ppm foram identificados: SiO_2 (59,7-76,5 %), Al_2O_3 (11,7-15,6 %), K_2O (3,8-7,4 %), Na_2O (1,91-4,52 %) e Fe_2O_3 (1-8 %). Outros óxidos analisados foram o CaO , MgO e TiO_2 , que apresentaram concentrações menores que 1,33 %.

O teste de auto-radiografia foi aplicado para uma pesquisa inicial dos minerais radioativos portadores de urânio e tório em concentrações superiores a 100 ppm. Em algumas amostras a distribuição destes elementos radioativos é heterogênea, havendo 2 ou mais minerais alfa emissores localizados dentre os minerais acessórios (que ocorrem em concentrações menores que 1 %). A maioria dos resultados mostrou indícios radioativos em quantidades reduzidas e dispersas, evidenciados por diferentes formas, tamanhos e intensidade de manchas enegrecidas. Os minerais que proporcionaram estas manchas, estudados através de microscopia e microsonda eletrônica, evidenciaram ser, principalmente, monazita, allanita e zircão. Manchas que ocorrem de forma secundária foram atribuídas a outros minerais, tais como apatita, titanita, torita, bastnasita, e possivelmente, gumita. Esta última é um produto da alteração de pecheblenda ou uraninita. A análise por ativação neutrônica determinou concentrações de até 30 ppm de urânio e 130 ppm de tório, associados, principalmente, a concentrações de terras raras leves.

A determinação dos parâmetros de dose, que podem contribuir para a garantia da segurança do meio ambiente, foi feita nas amostras com teores totais de urânio e tório superiores a 60 ppm. Utilizou-se os radionuclídeos ^{232}Th , ^{40}K e ^{226}Ra , analisados por ativação neutrônica. Para o cálculo do acréscimo de dose em função do uso dos granitos ao invés de material cerâmico, utilizou-se as amostras com maiores níveis de radioatividade. Nesta análise, fez-se uso de um "cômodo padrão", com dimensões internas de 4 x 4 x 3 metros, onde foram calculadas doses de radioatividade entre 0,11 a 0,34 mSv/ano. Estes resultados podem ser considerados não danosos ao público, uma vez que tais níveis de radioatividade são inferiores ao padrão internacional de exposição permitida ao público, ou seja 1,0 mSv/ano.

Abstract

This dissertation focuses on the occurrence of radioactive minerals in ornamental granitic rocks, aiming to add another environmental and technological quality control parameter for these materials. To develop this work, one hundred samples were collected in several marble workshops in Belo Horizonte - MG. The samples originated mostly from Minas Gerais and Espírito Santo States. A more detailed analysis was performed on 23 samples with total uranium and thorium concentration equal to or higher than 60ppm.

Granitic rocks were chosen as the subject of this study because their genetic characteristics make them more likely to carry radioactive minerals. These rocks are defined as silicatic with acid composition. Moreover, samples of alkaline, intermediate, basic rocks and metamorphic rocks were also included. The studied samples define several litotypes that present several macroscopic characteristics that are evidenced by their color, grain size, and texture. Chemical analysis of the main oxides on the 23 selected samples with U+Th concentration above 60ppm yielded: SiO₂ (59.7-76.5%); Al₂O₃ (11.7-15.6%); K₂O (3.8-7.4%); Na₂O (1.91-4.52%) and Fe₂O₃ (1-8%). Analysis of CaO, MgO and TiO₂ yielded concentrations lower than 1.33%.

All collected samples were submitted to autoradiography tests to explore the radioactive minerals with concentrations of uranium and thorium greater than 100ppm. For some of the samples, the distribution of the radioactive elements is heterogeneous, with two or more emitting minerals located among the accessory ones, in concentrations lower than 1%. Results indicated disperse and weak radioactive signs as dark spots with shape, size and intensities that allow us to identify them under the optical microscope and electron microprobe, as being primarily monazite, allanite and zircon, and secondarily as other minerals like apatite, sphene, thorite, bastnäsite and possibly gummite. The former mineral is the result of the alteration of pitchblende or uraninite. Neutron activation analysis of these samples indicate concentrations of uranium up to 30ppm and thorium up to 130ppm, which are mainly associated to high concentrations of light rare earths.

The 23 selected samples, with total uranium and thorium concentration equal to or higher than 60ppm were studied using the radionuclides ²³²Th, ⁴⁰K and ²²⁶Ra, for the determination of the dose parameter, a measure that can contribute to the environment safety guarantee.

In order to calculate the dose increment due to the usage of granites instead of ceramics in the construction industry, the 23 selected granites with the highest radioactive levels were used. The procedure used a standard 4 x 4 x 3 m room, where radioactive doses ranging between 0.11 and 0.34mSv/yr were found. These results do not indicate danger to the public, as they have yielded concentration levels lower than the international radioactive exposure standard of - 1.0mSv/yr.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

A presente dissertação foi elaborada dentro das especificações do Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geologia.

O desenvolvimento do trabalho foi financiado pelo Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN), que ofereceu apoio logístico, laboratorial e financeiro.

Os estudos desta dissertação foram desenvolvidos com base em 100 amostras de rochas ornamentais coletadas em diversas marmorarias de Belo Horizonte-MG. As amostras são provenientes de diversas localidades (Figura 1.1), predominantemente dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

1.2 - OBJETIVOS E RELEVÂNCIA

A presente dissertação tem como objetivo principal o estudo sistemático de amostras de rochas graníticas utilizadas como material ornamental e/ou de revestimento na construção civil, visando a identificação de minerais radioativos, o conhecimento de sua distribuição nos diferentes litotipos analisados, o estudo de suas composições químicas e de suas alterações, e possíveis impactos ambientais.

Dentre as metas a serem alcançadas na presente dissertação encontram-se, além da determinação dos minerais radioativos nos diversos tipos de rochas ornamentais silicatadas, a distribuição da ocorrência dos elementos radioativos urânio e tório. Serão estimadas as doses, expressas em mSv/ano, resultantes da exposição a estes materiais com o objetivo de se avaliar possíveis danos biológicos. Finalmente, os resultados obtidos permitiram a comparação com normas definidas internacionalmente.

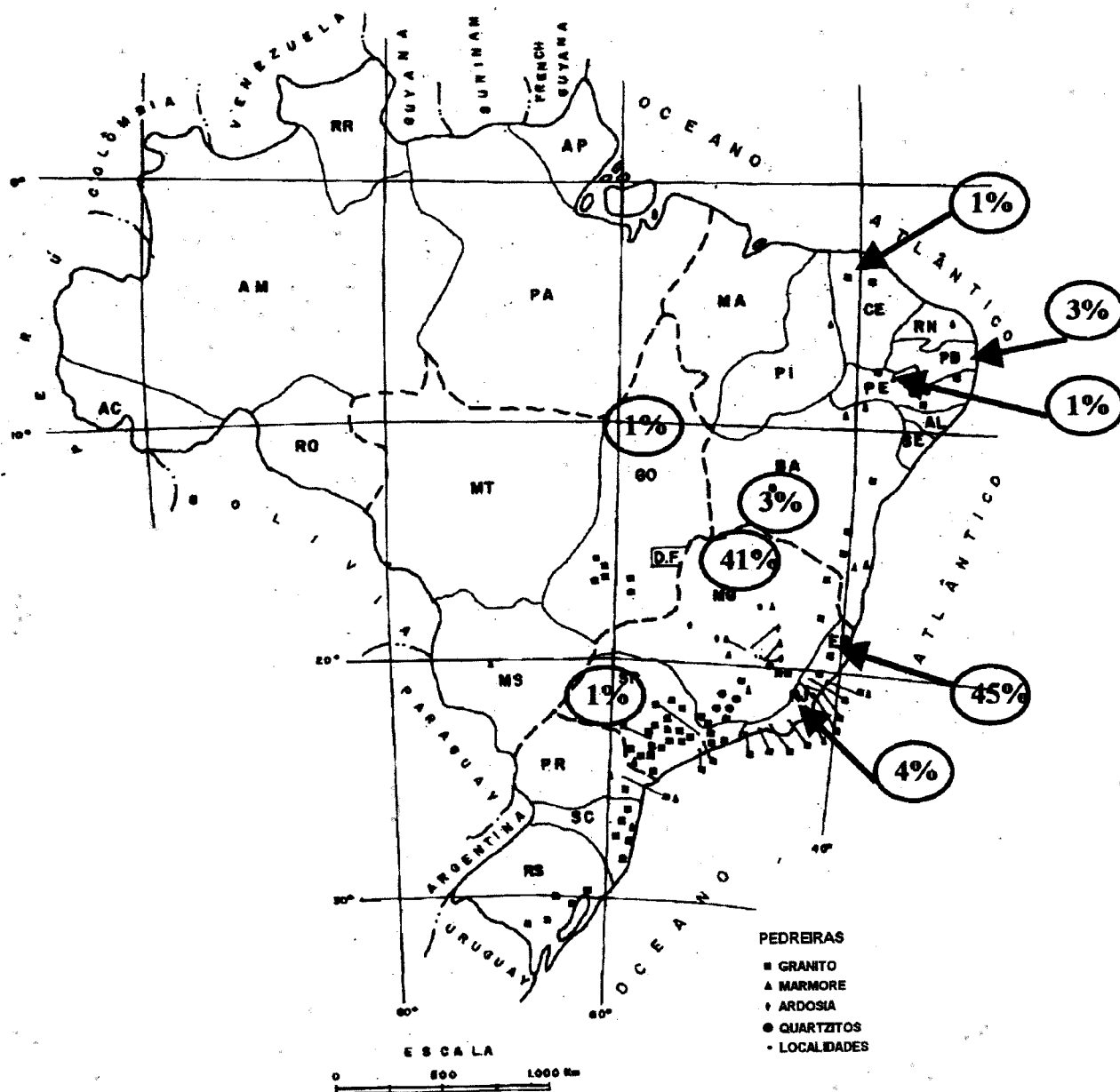


Figura 1.1 - Localização geográfica e distribuição percentual das 100 rochas graníticas ornamentais brasileiras amostradas em marmorarias de Belo Horizonte, modificado de Unitar (1988) citado por Brandão *et al.* (1991)

O emprego de rochas ornamentais na construção civil constitui uma importante atividade econômica, tanto no mercado interno como no externo, onde a exportação das mesmas vem crescendo e se tornando uma importante fonte de divisas para o Brasil. O controle da radioatividade ambiental, originada por fontes diversas, tem sido uma preocupação tanto nas instituições governamentais, como da própria comunidade. Assim sendo, o conhecimento detalhado da radioatividade das rochas ornamentais e de revestimento brasileiras se faz cada vez mais necessário, uma vez que pode ser incluído como um parâmetro a mais dentro do controle de qualidade, considerando que a comercialização da maior parte dessas rochas visa o mercado internacional. A maioria absoluta dos estudos existentes é voltada para a forma de extração, resistência dos materiais rochosos e a comercialização dos mesmos, sendo muito escassos ou insuficientes os dados disponíveis sobre a radioatividade dessas rochas.

Dentre as rochas ornamentais e de revestimento, predominam rochas de composição granítica ou silicatada, que constituem o escopo principal da presente dissertação. Estas rochas por sua vez, apresentam diferentes níveis de radioatividade provenientes, principalmente, do urânio e do tório contidos em minerais tais como: monazita, allanita e, secundariamente, em zircão, titanita, apatita, torita, bastnasita, uraninita/pecheblenda, e de seus produtos de alteração (gumitas) e desintegração do potássio.

A radioatividade inerente dessas rochas não tem sido objeto de estudos específicos, principalmente em rochas destinadas à utilização ornamental, tanto no que se refere à determinação e caracterização adequada dos minerais radioativos e de suas alterações, quanto nas conseqüências ambientais de sua utilização em larga escala (revestimento de paredes, pisos e mesas), no Brasil e no exterior.

Esta dissertação se justifica, entre outras razões, pelos seguintes aspectos:

a) a importante distribuição geográfica destas rochas no Brasil (ES - 45%, MG - 41%, RJ - 4%, BA - 3%, PB - 3%, GO - 1% e CE - 1%) mostrando o grande potencial dessa atividade econômica nas próximas décadas;

b) diversos outros materiais, derivados dessas rochas, também constituem importantes recursos econômicos explorados no mercado interno. Nesse contexto, podem ser citados brita, areia, argila, os minerais industriais (berilo e feldspato potássico) e bens metálicos existentes em rochas graníticas e pegmatíticas portadoras de estanho, tântalo, urânio, tório, zircônio e terras raras;

c) estas rochas constituem uma das principais fontes responsáveis pelas variações sensíveis dos níveis de radioatividade; por serem, em parte, consideradas rochas "férteis" para U e Th, que possuem grande potencial para formar depósitos desses elementos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - INTRODUÇÃO

Dentre as diversas rochas ornamentais existentes, as rochas graníticas (*lato sensu*) são as mais utilizadas como revestimento na construção civil, pela sua grande variedade de coloração e elevada resistência física ao desgaste. Desta forma, provocam um maior atrativo entre os diversos tipos litológicos existentes. As rochas graníticas (*lato sensu*) apresentam-se com maiores teores em sílica e, geneticamente, têm maior possibilidade de exibirem concentrações de minerais acessórios, com presença de elementos radioativos, como o urânio e tório.

2.2 - ROCHAS ORNAMENTAIS

2.2.1 - Definições

A literatura sobre rochas graníticas com finalidades ornamental e revestimento é ampla, principalmente aquela que trata da localidade de extração e sua aparência física. Neste sentido, sobressaem-se estudos sobre a coloração e textura dominantes, que, de forma geral, outorgam a sua denominação comercial e, mais raramente, classificação petrográfica e petrogenética.

Em sua maioria, estes trabalhos encontram-se voltados aos interesses específicos de sua comercialização. Por outro lado, é escassa a literatura no Brasil que trata de estudos geológicos e de parâmetros tecnológicos para a sua utilização, sendo ainda menor aquela que trata especificamente da presença de minerais radioativos, sua relação com o meio ambiente e conseqüências para a saúde humana devido a utilização dessas rochas graníticas.

Para um melhor entendimento da nomenclatura das rochas ornamentais, devem ser esclarecidos parâmetros de relevante importância em sua definição, que causam muitas confusões e são conflitantes, principalmente no Regulamento do Código de Mineração. Dentro deste assunto, foi apresentado por Brandão *et al.* (1991) a denominação de pedra ornamental (Classe VI) e rocha ornamental (Classe VIII). A primeira terminologia deve ser utilizada apenas para designar aquelas “pedras” passíveis de serem

utilizadas como adornos e/ou peças decorativas *in natura* ou então trabalhadas sobre as mais variadas formas. Como exemplos de pedra ornamental podem ser citadas as placas de ágata polida, cinzeiros de ágata e outras pedras, drusas, geodos de ametista, etc. Já o termo rocha ornamental deve ser empregado para designar aquelas rochas passíveis de polimento e utilização na construção civil como revestimento de pisos, paredes e confecção de pias e outros objetos semelhante. Dentro do termo de rocha ornamental encontram-se definidos os mármore, granitos e outros tipos de rochas. Na definição utilizada pelos italianos, que é muito parecida com a denominação no Brasil, o grupo de rochas ornamentais está subdividido nas seguintes categorias: a) mármore: rocha compacta, decorativa, predominantemente constituída por minerais de dureza na Escala Mohs de 3 a 4 (calcita, dolomita, serpentina), incluídos os mármore propriamente ditos, calcários, dolomitos, brechas calcárias, alabastro e serpentinitos; b) granitos: rochas fanero-cristalinas, compactas, decorativas, predominantemente constituídas por minerais na Escala Mohs entre 5 e 7 (quartzo, feldspato, feldspatoíde). Nesta categoria estão incluídos os granitos (*stricto sensu*) propriamente ditos, outras rochas magmáticas intrusivas (diorito, granodiorito, sienito, gabro), as magmáticas efusivas com textura porfírica e rochas metamórficas, como gnaisses e migmatitos; c) travertino: rocha calcária de natureza química, com estrutura variolítica e d) outras (*Pietras*): esta categoria inclui rochas de origem e composição química variáveis, pouco compactas (piroclásticas, calcarenitos e arenitos) e compactas (ardósias e quartzo-mica-xisto).

Costa & Romano (1995), classificam como minerais e rochas industriais todos aqueles bens minerais que não são minérios, isto é, excluídos aqueles minerais dos quais se pode extrair economicamente um ou mais metais e, excluindo também, os combustíveis fósseis, tais como gás natural, petróleo e carvão. A classificação inclui também as gemas (diamante e “pedras coradas”), alguns minerais metálicos de uso industrial, como cromita, rutilo, ilmenita e anatásio (óxidos de titânio usados como pigmentos). Alguns produtos industrializados ou semi-industrializados, como a cal virgem ou hidratada, carbonato de cálcio precipitado, sulfatos e hidróxidos industriais, etc., têm sido incluídos na classificação. Porém, rigorosamente não o deveriam ser, pois já passaram por um processo industrial de transformação. A legislação mineral brasileira os diferencia em diversas classes, contrariamente aos bens minerais metálicos. Com relação às rochas ornamentais, é indicado pelos autores mencionados, que embora possa ser considerada inexpressiva em termos mundiais, a produção do estado de Minas Gerais ocupa, em relação aos demais estados brasileiros, posição de destaque no setor de rochas ornamentais, com a extração predominante voltada para rochas graníticas. Os autores mencionam ainda que o Estado exporta a maior parte da sua produção sem nenhum beneficiamento. Com a aplicação de técnicas corretas e reduzindo-se os desperdícios (perdas na extração e no beneficiamento) poder-se-ia aumentar consideravelmente o volume de material produzido.

Dentro do panorama que trata do mercado nacional e internacional Chiodi Filho & Rodrigues (1996), apresentam as formas físicas e o tipo de beneficiamento outorgado a estes materiais, assim como demonstram a importância do crescimento de 6 % a.a., nos últimos cinco anos, de sua comercialização em nível nacional e internacional. Foi considerada a década de 90 (século XX) a nova idade da pedra, com a indicação de um movimento de US\$ 6 bilhões/ano no mercado internacional. No tocante à classificação comercial, as rochas ornamentais e de revestimento foram basicamente subdivididas em granitos e mármore. Nos granitos, enquadram-se, genericamente, as rochas silicatadas, enquanto os mármore englobam as rochas carbonatadas “*lato sensu*”. Alguns outros tipos litológicos, também incluídos no campo das rochas ornamentais, são os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias. Foi também indicado o grupo dos dez principais países consumidores em 1993, integrado pela Itália, Espanha, Alemanha, Grécia, França, EUA, Coreia do Sul, Taiwan, Japão e China, responsáveis por 63 % do consumo no período. Dentre os dez principais produtores (Itália, Espanha, Grécia, França, EUA, Coreia do Sul, China, Portugal, Brasil e Índia), 7 pertencem ao grupo dos principais consumidores, atestando-se, assim, a ligação direta entre consumo e produção.

A relação efetuada entre a petrografia e os índices físicos dos mármore, quartzitos e granitos ornamentais, definidos por Oliveira & Costa (1998), com base na caracterização petrográfica/estrutural e física, indicaram uma influência nas características físicas das rochas ornamentais, referindo-se, por exemplo, aos processos metamórficos, principalmente sobre a porosidade e absorção da água e dureza destas rochas. Por outro lado, foi observado que os processos metamórficos outorgam orientação aos minerais segundo planos preferenciais, além de possibilitar a percolação da água e facilitar seu rompimento. Foi determinado por meio destes estudos, que as rochas graníticas com granulação grosseira, constituídas de minerais com grau de intemperismo alto, apresentam maiores índices de porosidade e absorção de água.

No trabalho de cadastramento das rochas ornamentais e de revestimento em Minas Gerais, efetuado por Ribeiro *et al.* (1998), ressalta-se de forma muito relevante a importância dos granitos, quartzitos, ardósias, serpentinitos e esteatitos. Foi indicada uma produção para o Estado de Minas Gerais de 1,12 milhões de toneladas/ano, envolvendo cerca de 150 tipos comerciais, nos mercados internos e externos. O estudo elaborou um banco de dados integrado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que oferece suporte para análises técnico-econômicas e permitir a geração de diagnósticos para o fomento desta atividade mineral no Estado. O projeto consta do cadastramento de mais de 100 produtores em Minas Gerais, com o levantamento de lavras ativas e principais empresas de serragem de blocos de

rochas ornamentais e de revestimento. O projeto ainda levantou inúmeras tendências e problemas relativos à produção, mercado e meio ambiente.

Ainda sobre o cadastramento de rochas ornamentais de Minas Gerais Evangelista *et al.* (2001) estudaram 52 pedreiras da região norte do Estado (região de Medina) até o sul (região de Caldas), onde foram determinadas rochas metamórficas de alto grau, predominando rochas charnoquíticas, gnaisses e migmatitos, sendo estes dois últimos tipos muito procurados no mercado por constituírem os chamados “granitos movimentados”. Além do levantamento geológico das pedreiras e coleta de amostras, foram realizados estudos de caracterização e determinação dos índices físicos (massa específica seca, massa específica saturada, porosidade aparente e absorção d’água). Com relação as rochas ígneas propriamente ditas, que são em menor número, foram destacados os granitos s.s., gabros e os famosos sienitos da região de Caldas. Também foram indicadas as explorações dos quartzitos, ardósias, esteatitos, serpentinitos e mármore, que são lavrados em várias regiões. Os resultados obtidos mostram que o Estado de Minas Gerais explora e tem um grande potencial em rocha ornamental de excelente qualidade, devido a ocorrência de rochas pre-cambrianas ou aos cinturões tectono-metamórficos de idade Brasileira (\cong 500 Ma), destinado ao consumo interno e mundial.

No estudo sobre charnoquitos de Guimarães (1961), sugere que estas rochas são de origem ígnea, que teriam sido gabros e noritos, modificados em sua composição mineralógica pelo metamorfismo. O atual aspecto metamórfico não resulta, em geral, de uma só fase de metamorfismo catazonal (granitização) que tenha incidido sobre maciço magmático de natureza gabro-róritica, onde efeitos tectônicos sem modificação da composição química podem ser observados. Indicando que estas rochas apresentam-se, geralmente, com aparência de gnaiss de granulação fina a grossa e mesocrático. Foram divididos grupos de rochas charnoquíticas de acordo aos efeitos tectônicos de granitização, da seguinte forma: a) rochas com discreta cataclase, onde existe predominância de proto-minerais e geminações complexas do plagioclásio, ocorre hornblenda parda e biotita, porém predomina o piroxênio; b) rochas discretamente granitizadas, onde o carácter tectônico é evidenciado pela trituração marginal dos principais constituintes, que são o plagioclásio, quartzso, piroxênios, hornblenda e biotita mais abundante e c) rochas mais fortemente granitizadas, tectônicas e com porfiroblastos de microclínio, estrutura gnaissica nítida, com faixas miloníticas, escassos restos de piroxênio ou ausentes, com predominância de biotita sobre o anfibólio.

Séries de granitóides e suas implicações, como rocha ornamentais, foram descritas por Artur (1998), baseadas na tipologia do zircão. A partir deste parâmetro, são reconhecidas basicamente seis

linhagens de granitóides, cada uma com uma ou mais variantes, a saber: granitos crustais, granitos cálcio-alcalinos, rochas subalcalinas potássicas, rochas alcalinas hipersolvus, transolvus e subsolvus, plagiogranitos oceânicos e continentais, e charnoquitos. Cada um dos seis grupos é caracterizado por numerosas feições mineralógicas, composicionais, estruturais e petrográficas de grande importância para a definição da aplicação ótima de cada grupo nos diversos empregos de granitos ornamentais.

As características texturais apresentadas pela alteração e a susceptibilidade provocada por alguns minerais e a porosidade da rocha, foram registrados por Oliveira & Costa (1998). Também foram indicados alguns minerais que podem apresentar manchas devido à alteração causada pela desintegração radioativa.

Do ponto de vista de caracterização dos aspectos texturais, mineralógicos, litológicos e ocorrência destas rochas ornamentais no Estado de Minas Gerais, segundo Costa *et al.* (2000), foram definidos seus potenciais no setor de rochas ornamentais e de revestimento. Para estas rochas foi também determinada sua classificação, destacando-se sua composição mineralógica e sua classificação comercial, onde foi indicado que os granitos ornamentais não correspondem aos denominados granitos verdadeiros. A caracterização tecnológica também foi abordada, indicando-se que a caracterização envolve uma análise petrográfica, bem como a determinação dos índices físicos, com ênfase nos índices de porosidade e de absorção, determinação da resistência a compressão, a resistência à flexão, resistência ao desgaste, grau de alterabilidade e resistência a impactos. Menciona-se que já foram estudados vários corpos graníticos no Estado de Minas Gerais, com detalhamento petrográfico, químico e determinação dos índices físicos

Com referência à oferta mundial de rocha ornamental em 1999, Nery & Silva (2001) estimaram um crescimento de 9,8% em relação ao período anterior, indicando que o Brasil situa-se entre os cinco principais países produtores (Tabela 2.1). Também encontra-se apresentada neste Sumário Mineral a posição brasileira em relação à produção e à exportação mundial, bem como dos demais países produtores exportadores.

Tabela 2.1 - Dados de produção das rochas ornamentais e de revestimento.
 Fonte: Ministério das Minas e Energia (2001)

Discriminação	Produção	
	(10 ³ t)	(%)
Países		
Itália	7.500	14,95
China	6.740	13,43
Espanha	4.620	9,21
Índia	2.760	5,50
Brasil	2.458	4,90
Portugal	2.370	4,72
Grécia	2.085	4,16
EUA	1.716	3,42
França	1.715	3,42
Irã	1.625	3,24
Turquia	1.580	3,15
Rússia	1.083	2,16
África do Sul	1.061	2,11
Coréia do Sul	1.060	2,11
Alemanha	600	1,20
Finlândia	537	1,07
Canadá	440	0,88
Filipinas	430	0,86
Taiwan	390	0,78
Noruega	360	0,72
Suécia	200	0,40
Outros	8.847	17,63
Total	50.176	100,00

Na “Worldwide Photographs of Natural Stones” (2002) encontram-se apresentadas 1700 fotografias macroscópicas de rochas provenientes de 47 países. Neste álbum de fotografias macroscópica de rochas, além das rochas graníticas ornamentais terem sido classificadas comercialmente por países, também foram apresentados outros grupos litológicos, como mármore, quartzitos, arenitos, ardósias e travertinos. No grupo de rochas graníticas, entre os países com maior número de amostras, encontra-se o Brasil com 137, a Índia com 112 e a China com 54 amostras. Os demais países apresentam-se com números inferiores (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Países com apresentação de mais de 20 amostras de rochas graníticas ornamentais. Fonte: “Worldwide Photographs of Natural Stones” (2002).

Países	Tipos de Granito
Alemanha	29
África do Sul	44
Austrália	21
Brasil	137
Canada	24
China	54
Egito	23
Espanha	52
EUA	48
Índia	112
Itália	38
Portugal	20

2.2.2 - Caracterização tecnológica

A caracterização tecnológica de rochas de revestimento (Frazão 1992), é executada, no mundo todo, utilizando-se os procedimentos padronizados por instituições normalizadoras. Neste sentido, destaca-se a “American Society for Testing and Materials-ASTM”, a “Association Française de Normalization- AFNOR”, o “Deustches Institut for Normung-DIN”, entre outras. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT vem estabelecendo normas sobre rochas de revestimento, com a criação da comissão denominada “Revestimento com Pedras” (CE:2.02), junto ao Comitê Brasileiro da Construção Civil - COBRACON. Os principais ensaios executados no Brasil para caracterização tecnológica de rochas para revestimento visam determinar as seguintes propriedades: 1) petrografia, 2) índices físicos (massa específica), 3) porosidade e absorção da água, 4) desgaste Amsler; 5) compressão uniaxial (ao natural), e/ou após congelamento, degelo, 6) módulo de deformabilidade; 7) flexão, 8) dilatação térmica linear, 9) impacto e 10) alterabilidade.

No caso de estudos sobre os aspectos petrográficos de deterioração das rochas ornamentais utilizadas em revestimento, segundo Frascá *et al.* (1998), estes materiais rochosos podem apresentar alterações após o uso, que, por sua vez, podem estar relacionados à atuação de agentes diversos ligados à variações climáticas e à interferência humana. Tais interferências vão desde os processos inadequados de beneficiamento, até a utilização de produtos de limpeza inadequados, poluição ambiental, etc. A alteração apresentada pelas rochas está condicionada a dois fatores: a) suas características intrínsecas, propriedades físicas e químicas, como mineralogia, microfisurações e alterações preexistentes e b) aos defeitos gerados no processo de beneficiamento - corte (desdobramento dos blocos em placas) e polimento.

No tocante aos ensaios físicos em rochas ornamentais, realizado por Bezerra *et al.* (1998), foram indicados para a determinação dos parâmetros de massa específica aparente, a absorção da água aparente e porosidade aparente, onde foram seguidas as diretrizes da Norma NBR12766/1992 (ABNT), e propostas algumas modificações no desenvolvimento destes ensaios. Durante o processo de preparação dos corpos de prova, obtidos pela quebra manual (7cm de diâmetro ou massa de 250g), ocorre um significativo fraturamento, que induz a valores mais altos de absorção e porosidade. Devido às variações de geometria, em função de possíveis diferenças no padrão de rupturas, estes corpos terão também áreas de absorção efetiva distintas. Propõe-se então que os corpos tenham o mesmo grau de intemperismo e sejam obtidos com o uso de serra diamantada, com dimensões aproximadas de 7,0 largura x 7,0 comprimento x 2,0 cm de espessura, evitando assim o fraturamento, uniformizando áreas e condições de absorção. Também foi proposta uma variação nas etapas subseqüentes ao corte e pesagem da amostra no ar. Esta seria saturada com água, até 2/3 de sua altura, durante o período de 24 horas. Além de simular melhor o que ocorre de fato, pode-se ainda obter uma informação importante pela potencialidade da rocha em formar manchas devido a absorção de água.

As dureza ou microindentação de Knoop aplicada as rochas ornamentais, proposta por Quitete & Rodrigues (1998), é calculada em função da carga aplicada e área da indentação produzida, sendo expressa em MPa (unidade de pressão no S). Na microscopia de minérios é utilizada a ponta de diamante no formato Vickers, que devido à sua seção quadrada, permite facilmente a detecção de anisotropias. Na Espanha e Itália, é utilizada a ponta no formato Knoop para a determinação de dureza em rochas aplicadas como revestimento na construção civil. A ponta de Knoop apresenta um formato alongado deslocando um volume menor que a ponta Vickers. Por isso agride menos o mineral e é mais indicada para o quartzo. Além disso, é de leitura mais rápida, uma vez que só a diagonal maior é medida. Cargas de 100g apresentam dimensões muito reduzidas para uma leitura confiável. Por outro lado, cargas de 200g aumentam a chance do mineral fraturar-se demais impedindo a leitura. A dureza média de Knoop é

HK75/HK25 para algumas rochas com seu respectivo nome comercial: mármore calcítico 1.209 MPa e 1,21 HK75/HK25; mármore dolomítico 1.813 MPa e 1,83 HK75/HK25; sienito 3.969 MPa 1,45 HK75/HK25; leuco monzogranito 5.297MPa e 1,38 HK75/HK25; dumortierita quartzito 6.608 MPa e 1,56 HK75/HK25 e quartzito preto 6842 MPa e 1,16 HK75/HK25.

No sentido de identificar as particularidades dos parâmetros que influenciam o comportamento do maciço rochoso, foram aplicados por Macêdo *et al.* (2000) modelos de classificação, para realizar um estudo geomecânico das rochas utilizadas para fins ornamentais. Os processos de classificação mais usuais de maciços rochosos têm como um de seus objetivos a identificação dos parâmetros mais significativos (litológicos, estruturais e de operação) que influenciam no comportamento geomecânico das rochas, permitindo inferir classes que sirvam para avaliar processos de engenharia. Para conceituar uma rocha como de uso ornamental, necessita-se de informações conjuntas quanto a quatro aspectos distintos, em escala de mão e de afloramento; 1) estético; 2) mineral e petrográfico; 3) características físicas e 4) geologia estrutural. Existindo ainda outros componentes básicos que são a conceituação de lavra, beneficiamento e *marketing*.

A composição mineral e as alterações em rocha silicatada foram estudadas por Simão (2002) em rochas negras, comercialmente conhecidas como “granito negro” de Angola, quase uma rocha monominerálica classificada como um anortosito formada de plagioclásio rico em cálcio (>90%) e olivina e piroxênio em menor quantidade. A percentagem de cada um destes componentes é um fator relevante a ser considerado quando a rocha é exposta a agentes intempéricos. A água acidificada, com pequenas quantidades de HCl, HNO₃ e H₂SO₄, entra em contato com o anortosito, o processo de alteração começa pela olivina e, algum tempo depois, a alteração também se dá no piroxênio, sendo uma alteração progressiva. Este é um importante fator a ser considerado quando se usa estas rochas como pedras ornamentais, uma vez que a percentagem de olivina presente pode facilmente reduzir a sua qualidade.

2.3 - REVISÃO SOBRE ALGUNS CONCEITOS EM RADIOATIVIDADE

2.3.1 - Definições

Os resultados de análises de regiões com alta radiação de fundo (Kuroda 1991), indicam que esta é proveniente da combinação terrestre e da radiação cósmica (⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra, etc.). Maiores níveis de radiação foram encontrados no Brasil, Índia e China, devido às altas concentrações dos minerais radioativos no solo, atribuídos à monazita, responsável pelo principal radionuclídeo da série do ²³²Th,

associado a terras raras, que ocorrem em areias de praias juntamente com a ilmenita, proveniente das rochas graníticas.

Tanto a radioatividade ambiental, quanto a industrial têm crescido, segundo Baxter (1993). No entanto, erros de mensuração ocorrem freqüentemente, sobretudo relacionados à radioatividade natural associada à industrial. A história é tão básica que começa com o nascimento do universo. A estabilidade nuclear foi a que determinou quais elementos deviam ser abundantes e quais deviam ser raros em nosso universo. Virtualmente todos os materiais e ambientes em nosso planeta são radioativos e ao mesmo tempo encontram-se naturalmente expostos à radiação ionizante. A energia (calor) destas radiações gera mudanças geológicas na Terra. Entre os vários tipos de materiais, apresentou-se, para um granito, o valor de $90 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ para ^{226}Ra e $80 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ para ^{232}Th , sendo que para o U e K não foram apresentados valores entre os diversos níveis de radioatividade determinados.

Com relação a radioatividade na natureza (Brodsky 1978), foi definido que o nosso planeta é radioativo e tem sido desde a sua criação. Na natureza existem mais de 60 radionuclídeos, elementos estes que podem ser caracterizados em três categorias: primordiais, desde a criação da terra; cosmogênicos, formados com a interação dos raios cósmicos e oriundos da produção humana, acrescidos ou formados devido à ação do homem. Desta forma, radionuclídeos são encontrados no ar, água e solo, sendo assim, produtos de nosso ambiente. A cada dia, ingerimos/inhalamos nuclídeos do ar quando respiramos, comemos ou bebemos, e até mesmo existem em materiais dos nossos edifícios e casas. A radioatividade está em toda parte, portanto não há lugar onde possamos escapar da radioatividade natural. Elementos radioativos são freqüentemente chamados de isótopos radioativos ou radionuclídeos. Existem mais de 1.500 diferentes radionuclídeos. Estes podem ser classificados de acordo com o elemento e peso atômico em relação ao hidrogênio radioativo (tritium) ou hidrogênio 3. Nos nomes dos radionuclídeos são freqüentemente usados símbolos químicos e o peso atômico, assim sendo o Urânio 235 pode ser indicado como U-235 ou ^{235}U . Níveis de radiação de fundo resultam da combinação terrestre (^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , etc.) e a radiação cósmica (fotons, etc.). O nível de radiação é razoavelmente constante, de 8-15 $\mu\text{rad/h}$ na superfície da terra. A radiação cósmica interfere com a atmosfera para produzir radionuclídeos cósmicos, o que também é responsável pela dose de radiação presente no corpo humano.

A seguir, são apresentadas as principais definições sobre radiação e radioatividade, juntamente com as unidades, segundo Pawelczuk & Droste (1996):

a) Unidade de Dose Equivalente (H_T):

unidade de medida em sievert ou Sv, onde $1 \text{ Sv} = \text{J/kg} = \text{joule/kilogram}$

definição:

$$H_T = H_{T,R1} + H_{T,R2} + \dots$$

$$\text{Onde: } H_{T,R} = W_R \times D_{T,R},$$

sendo W_R um fator que descreve o poder do dano biológico de um tipo particular de radiação, e $D_{T,R}$ é a dose média de radiação R absorvida pelo tecido ou órgão T ;

b) Unidade de taxa de dose equivalente (H')

unidade de medida: sievert/segundo, Sv/s,

definição: $H' = dH / dt$, que é a dose equivalente absorvida pelo tecido humano na unidade de tempo;

c) Unidade de dose efetiva (E)

unidade de medida: sievert, Sv

$$\text{definição: } E = W_{T1} \times H_1 + W_{T2} \times H_2 + \dots$$

onde W_T = fator ponderante que descreve a sensibilidade à radiação relativa a um tecido particular ou órgão T ;

d) Limite recomendado para dose efetiva excedendo a radiação de fundo ou *background* (dose de corpo inteiro para pessoas em geral): 1mSv/ano.

2.3.2 - Limites de radioatividade recomendada

Ginjaar (1985) discutiu as conseqüências radiológicas potenciais para a população, a partir do estudo dos materiais de construção e do uso dos rejeitos como materiais de construção em residências. Nesta discussão, efetuada pelo Ministério da Holanda, existem pontos sobre a crescente necessidade da avaliação, principalmente, destes rejeitos usados como materiais de construção. Algumas destas substâncias, como por exemplo o gesso (fosfogesso), que é proveniente de um processo de separação do fosfato, contém concentrações mais altas de radioatividade do que os materiais de construção habituais. Na formulação destas recomendações, foram considerados os princípios da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICPR), colocando-se à disposição os trabalhos da ICPR - 26 (1977) e ICPR - 39 (1984). Os Comitês de Saúde e de Riscos da Saúde Pública, basearam-se na exposição da radiação ionizante, em uma relação linear da dose efetiva, para estabelecer os padrões de radioatividade. Além desta abordagem, tem-se avaliado as recomendações dos fatores da ICPR, para o cálculo de dose equivalente efetiva. Os componentes da exposição à radiação natural de um lugar, para uma dose absorvida, que pode ser representada por um ano de dose equivalente efetiva, é expressa na unidade Sv ou mSv/ano. A dose equivalente efetiva tem sido computada de acordo com a ICRP, pela pesagem dos

órgãos humanos com a doses de alguns fatores. A média anual experimentada por um habitante é computada pelo cálculo da média das doses do local, em relação à média do tempo despendido, dentro e fora das habitações ou de outros edifícios. A dose anual equivalente efetiva da radioatividade na crosta da Terra é determinada pela quantidade de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K . A dose de radiação é causada pela radiação gama, do decaimento dos isótopos nas séries do ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K . Os radionuclídeos são determinados a uma altura de 30 cm do solo, onde praticamente toda a dose da radiação é encontrada. Já na altura de 6 cm, por exemplo, são encontrados 50 % da radiação. A dose equivalente efetiva em um ano, H_E (expressa em $\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$), resulta da radiação gama do material de construção dentro de um cômodo de referência. A apresentação da concentração radioativa média para vários materiais de construção, depende de cada região. Para o concreto, por exemplo, foi determinado o C_{Ra} de 20 Bq/kg^{-1} , C_{Th} de 20 Bq/kg^{-1} e C_K de 150 Bq/kg^{-1} , no caso dos tijolos com argila e areia C_{Ra} de 10 Bq/kg , C_{Th} de 10 Bq/kg e C_K de 300 Bq/kg . Foi também apresentada a média anual da dose equivalente efetiva por pessoa, de fontes naturais, de um total de $1,4 \text{ mSv}$, avaliadas da seguinte forma: radiação cósmica $0,25 \text{ mSv}$, radioatividade gama da crosta da Terra $0,04 \text{ mSv}$, radônio da crosta da Terra $0,35 \text{ mSv}$, torônio da crosta da Terra $0,03 \text{ mSv}$, radioatividade do corpo humano $0,37 \text{ mSv}$, radioatividade gama dos materiais de construção $0,17 \text{ mSv}$, radônio dos materiais de construção $0,12 \text{ mSv}$ e torônio dos materiais de construção $0,07 \text{ mSv}$.

Nas recomendações dos limites para exposição da radiação ionizante apresentadas na “National Council on Radiation Protection and Measurements” - NCRPM (1987), encontram-se as seguintes instruções:

- . coletar, analisar, desenvolver e disseminar informações de interesses para o público - proteção contra a radiação e medidas da radiação, quantificar, ainda tratar das unidades, particularmente aquelas relacionadas à radioproteção;

- . prover meios pelos quais organizações que têm a ver com os aspectos científicos e relacionados a proteção e quantificação da radiação, das unidades e medições, para que possam cooperar com a utilização efetiva dos recursos combinados e estimular os trabalhos de tais organizações;

- . desenvolver conceitos básicos sobre a quantificação da radiação, unidades e medidas, aplicação destes conceitos e proteção da radiação e

- . cooperar com a Comissão Internacional de Proteção Radiológica, do Conselho de Radiação Federal da Comissão Internacional em Unidades de Radiação e Medidas e outras organizações internacionais, governamentais e privadas, relacionadas às quantidades de radiação, unidades, medidas e proteção radiológica.

O limite para a exposição à radiação ionizante constitui o elemento central da recomendação especificada no trabalho. Outros fatores são: prováveis limites que possam induzir doenças em pessoas

expostas à radiação (efeitos somáticos) e aos seus descendentes (efeitos genéticos) e as dos limites razoável e aceitável em relação a atividade envolvida em tal exposição. As sérias doenças provocadas pela radiação induzida, relacionadas com a proteção radiológica, encontram-se divididas em duas categorias gerais: estocástica e não estocástica. No sumário de recomendações, onde foram relacionadas várias categorias das exposições, encontra-se a exposição anual ao público, onde são considerados limites dos efeitos de dose equivalente contínua ou freqüente, o valor de 1 mSv/ano (0,1 rem), limite este que foi considerado no cálculo de dose para as rochas graníticas ornamentais .

Modelos matemáticos formulados por Ng *et al.* (1995), foram usados para predizer taxas externas de dose gama em recinto fechado (Tabelas 2.3 e 2.4). Neste trabalho, a dose gama externa e de radônio interna são estimadas a partir dos modelos usados nos resultados das medidas no local do material de construção. A dose gama externa também foi apropriada à parâmetros ambientais, como por exemplo meteorologia e tamanho de habitação. A taxa de dose gama equivalente dentro da habitação, concentrada no concreto, foi de 0,95 mSv/ano, definido como valor aceitável para a população.

Tabela 2.3 - Taxa de dose equivalente devido aos raios γ de materiais de construção usados em Hong Kong. Fonte: Ng *et al.* (1995)

Material	Concentração de Atividade (Bq.kg ⁻¹)			Taxa de Dose Equivalente	
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	(μ Sv.h ⁻¹)	(mSv.a ⁻¹)*
Concreto	83	74	776	0,136	0,95
Concreto (20% cinza)	85	77	776	0,138	0,97
Tijolo Vermelho	78	100	627	0,143	1,00
Granito	180	122	1248	0,252	1,75

*Em cálculo de taxas de exposição anual, em recinto fechado para ocupação é usado o fator 0,8.

Tabela 2.4 - Comparação em recinto fechado da taxa de dose equivalente de raios γ em Hong Kong com outros países. Fonte: Ng *et al.* (1995)

Países	Taxa de Dose γ (μ Gy.h ⁻¹)	Taxa de Dose Equivalente* (mSv.a ⁻¹)*
Polônia	0,073	0,36
Alemanha	0,097	0,48
Itália	0,107	0,52
Irlanda	0,089	0,44
França	0,076	0,37
Holanda	0,068	0,33
Hong Kong	-	0,95

*A taxa de dose equivalente em outros países foi calculada a partir da informação da taxa de dose γ com fator de ocupação em recinto fechado de 0,8 e fator de conversão de 0,7Sv. Gy⁻¹.

2.4 - RADIOATIVIDADE DEVIDO AOS MINERAIS E ROCHAS

2.4.1 - Origem

O elemento urânio foi descoberto em 1789 pelo químico e mineralogista alemão M. H. Klaproth, segundo Frondel (1958), enquanto preparava óxido amarelo (UO_3) de pecheblenda da Mina Georg Wagsfort de Johanngeorgenstadt em Erzgebirge, na Saxonia - Alemanha. A radioatividade do urânio foi descoberta por Henri Becquerel, em 1896, e o elemento rádio foi isolado pelo casal P. Curie e M. Curie. O elemento tório foi descoberto, em 1828, pelo químico suíço J. J. Berzelius. O elemento Th foi isolado do mineral silicatado ($ThSiO_4$), com o nome de torita, encontrado em pegmatito na Noruega. A radioatividade do tório foi descoberta por Madame Curie e C. G. Schmidt, em 1898.

Nos estudos do urânio e o tório, segundo Wedepohl (1978), foi determinado que nas rochas o teor de tório é 3,5 vezes maior no que o de urânio, formando mais de 160 diferentes minerais e seus átomos podem substituir, em quantidade muito variável (ppm a %), outros elementos na rede cristalina de numerosos minerais. A substituição de um determinado tipo de átomo, por um ou mais tipos, é um fenômeno generalizado na natureza, ocorrendo toda vez que íons da mesma carga e/ou tamanhos iguais ou aproximados (15 %) se concentram. Isto é importante em relação ao tório tetravalente (Th^{4+}) e de raio iônico igual a 1,02 Å, presente, por exemplo, na monazita (Ce, La, Y, Th) PO_4 . A substituição dos átomos faz com que surjam variedades toríferas e/ou uraníferas em muitos minerais que são classificados, normalmente, como não radioativos e não portadores de urânio e tório, como a titanita, a apatita, allanita, zircão, samarskita, euxenita e alguns óxidos de nióbio e tântalo, entre outros. Nas rochas ígneas, a distribuição dos elementos radioativos é muito heterogênea, existindo dois ou mais minerais alfa emissores, como “acessórios”, encontrados em quantidades reduzidas (<1 %) e muito dispersos. Estes minerais podem ser responsáveis por até 95 % da radioatividade das rochas, como no caso das rochas graníticas.

Para a determinação dos minerais de urânio, em minerais e rochas, de tamanhos muito pequenos, foi descrito por Garrido (1978) o método de imersão, que consiste na cromatografia em papel ou imersão, para obter-se pontos ou “moldes”, onde se localiza o urânio. Este método não modifica a amostra. A amostra é mergulhada em solução de ácido nítrico concentrado e água destilada (2 cm^3 de HNO_3 e 8 cm^3 de água). Um papel fotográfico é mergulhado na mesma solução, com o lado brilhante em contato com a solução, por alguns minutos. Este papel fotográfico é retirado e o excesso do líquido é eliminado e ainda raspado levemente com uma placa de vidro. A seguir, a superfície da amostra é colocada em contato com o papel fotográfico sob pressão durante 10 a 15 minutos. A presença do urânio é revelada pelas manchas e

pontos de coloração marrom sobre o papel cromatográfico, sendo que o aparecimento de coloração azul indica a presença de ferro.

Nos minerais que freqüentemente apresentam dificuldades de serem estudados ao microscópio óptico, por apresentarem-se com tamanhos pequenos, o estudo sobre microscópio eletrônico pode ser aplicado (Paterson *et al.* 1989). A caracterização textural devido às variações na composição é bem exibida em tais minerais, através da imagem de elétrons de raios X, sob as circunstâncias projetadas para selecionar só a contribuição da composição, para exibir o número atômico (Z) e a imagem de contraste (ZCI).

Teste de auto-radiografia aplicado segundo uma rotina técnica (Salas 2001), é utilizado em nível microscópico e macroscópico, como estudo inicial para verificar-se a distribuição de minerais radioativos existentes em amostras geológicas e produtos da tecnologia mineral. Neste sentido, utilizam-se chapas fotográficas, com a finalidade de auxiliar estudos mineralógicos, petrográficos, metalogenéticos e de processos. O campo de utilização deste procedimento de testes de auto-radiografia abrange amostras geológicas, de prospeção e tecnologia mineral, portadoras de elementos radioativos, principalmente U e Th, em teores superiores a 100ppm ($\text{ppm} = \text{g/t} = 10^{-6}$). Todos os elementos radioativos são instáveis, seus átomos se desintegram espontaneamente em outros, em proporções definidas para cada tipo, com a emissão de uma ou mais radiações conhecidas como α , β e γ . Estas radiações produzem, com intensidades variáveis, conforme a natureza de cada uma delas, efeitos diferentes, como: ionização de gases, fosforescência, traços e impressões em chapas fotográficas ou emulsões sensíveis expostas à sua ação, do mesmo modo que à luz. A radiação α , constituída por núcleos de átomos de hélio eletricamente carregados, ao contrário das demais radiações mencionadas, é pouco penetrante, podendo ser absorvida por uma simples folha de papel. Entre os vários dispositivos idealizados para detectar estas radiações, destaca-se, pela sua simplicidade, a auto-radiografia, pelo baixo custo do registro de radioatividade, em chapas fotográficas ou dotadas de emulsões, de diversos tipos, capazes de detectar estas radiações. Para o presente tipo de estudo, isto é, detecção e estudo da distribuição de elementos alfa emissores, o tempo de exposição de uma chapa em contato com uma amostra radioativa não excede 30 dias, não havendo necessidade de se utilizar nenhum filme ou placa com emulsões especiais que não sejam encontrados de forma comum no comércio.

2.4.2 - Distribuição da radioatividade entre os diferentes grupos de rochas

As presenças do urânio e tório têm uma tendência a aumentar nas rochas com maior teor de sílica (Wedepohl 1978), indicando que estes elementos aumentam suas concentrações em rochas que se cristalizam mais tarde na evolução petrológica geral, sendo que o tório apresenta-se comumente em teores três vezes maiores que aqueles do urânio. A maior concentração de urânio-tório encontra-se nos granitos de áreas cratônicas que representam, aproximadamente, a metade do volume da massa continental, sendo que o restante contém rochas de menor radioatividade.

A radioatividade natural em outros tipos litológicos, como os depósitos de fosfato do Sudão, foram estudados por Sam & Holm (1995), pois a partir destas rochas é produzido todo o material original para a produção do material de fosfato desse país. A rocha fosfatada pode ser de origem sedimentar, vulcânica ou biológica, sendo que normalmente o fosfato sedimentar tem maior radioatividade (211 ppm de urânio) que o fosfato ígneo (55 ppm de urânio).

Os estudos de 3 pequenos corpos de granito nas áreas de Wadi El – Saqia, Gabal Abu Aqarib, Gabal El-Himeiyir e Gabal Um Zarabit, no Deserto Central Leste do Egito foram medidos altos níveis de radioatividade e distribuição de U e Th (Abdel-Monem *et al.* 1996). O Abu Aqarib e Um Zarabit são corpos alongados de granito feldspático alcalino, intrudidos em rochas vulcânicas, considerando-se que El-Himeiyir é intrudido em ofiolitos. Comparado à média contida de U e Th nos granitos do mundo, o granito alcalino feldspático de El Himeiyir demonstra conteúdo normal de U e Th. Por outro lado, o granito alcalino feldspático de Abu Aqarib demonstra algum enriquecimento de U e Th, enquanto o granito de Um Zarabit demonstra enriquecimento somente em U. Os dois sítios de anomalias radioativas no Egito, mostram conteúdos de 154 ppm de U e 256 ppm de Th para o sítio Gabal Abu Aqarib e conteúdo de 24 ppm de U e 107 ppm de Th para El-Himeiyir. Os dois sítios estão associados com zona de cisalhamento e exibem característica de alteração hidrotermal pela hematitização e silicificação. A alta radioatividade é atribuída à acumulação de zircão e/ou apatita; entretanto, o enriquecimento de parte do U pode ser de origem epigenética.

Foi revelado (Bea 1996) que 70 a 90 % em peso das ETR (exceto Eu), Y, Th e U, residem em rochas graníticas de protólitos crustais, ocorrendo nos minerais acessórios ricos em ETRYThU, dependendo da mudança da taxa de concentração em alumina das rochas. Nos granitos peraluminosos, migmatitos e rochas de alto grau metamórfico, ocorrem principalmente a monazita, xenotímo (variedades de baixo cálcio), apatita, zircão, torita, uraninita e betafita-pirocloro. Nos granitos metaluminosos ocorrem

principalmente a allanita, titanita, zircão, monazita, xenotímo e torita. Para os granitos peralcalinos foram determinados os minerais aeschinita, fergusonita, samarskita, bastnasita, fluorcerita, allanita, titanita, zircão, monazita, xenotímo e torita. Na maior parte destas amostras, os principais constituintes mineralógicos com maiores concentrações em terras raras leves (lantânio, cério, praseodímio e neodímio) e tório, são monazita e allanita, assim como também, de forma secundária, o zircão.

Os níveis de radioatividade em 50 amostras de rochas ígneas de Gable Gattar II, estudados por El-Shershaby (2002), localizado na parte oriental norte do deserto do Egito, foram determinados em Bq.kg^{-1} , usando-se um espectrômetro de germânio hiper puro. As doses obtidas para ^{238}U e ^{232}Th , foram de (165 ± 5) até (27.851 ± 836) e (71 ± 2) até (274 ± 8) Bq.kg^{-1} , respectivamente. A dose de ^{40}K muda ligeiramente. Para avaliar-se os perigos radiológicos da radioatividade natural das amostras, foram calculadas a atividade equivalente do rádio, a taxa da dose absorvida e o percentual do perigo externo.

2.5 - RADIOATIVIDADE EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Nas estimativas realizadas para a radioatividade do ar no interior dos edifícios, segundo Garzon *et al.* (1977), foi revelado que a radiação recebida nas proximidades de uma central nuclear é estimada em 1 % daquela que é recebida de origem natural, com valores médios de 120 mrem por ano. Foi chamada a atenção para o fato de que não foi levado em conta a radioatividade dos aerossóis radioativos, provenientes do decaimento do radônio e torônio, que pertencem à família do ^{238}U e ^{232}Th , respectivamente, que são depositados no trato respiratório. Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma série de medidas da atividade do ar, no interior dos edifícios e, particularmente, no interior das habitações mais ventiladas. Nas doses absorvidas foram estimados valores mais elevados do que os de fundo natural. Ainda neste trabalho, foram definidas as seguintes fontes de radiação: cósmica, responsável por 33 mrem/ano; isótopos de ^{40}K e ^{226}Ra , responsáveis pela absorção de 25-35 mrem/ano e campos da radiação gama do urânio, tório e, respectivos, descendentes de suas séries radioativas. A dose absorvida devido à esta última fonte é de 40-50 mrem/ano. Entre os materiais de construção com maior conteúdo dos elementos citados, foram destacadas as rochas graníticas, tijolos e alguns materiais cerâmicos. Nos ambientes que não têm ventilação, os valores estimados atingiram 1500 mrem/ano.

Sobre a presença de radionuclídeos nos materiais de construção, Ruiperez & Ballesta (1982) determinaram que as doses de radiação em interiores, em especial as devidas à inalação e posterior deposição dos descendentes do radônio no trato respiratório, representam uma contribuição muito importante – não reconhecida até aquela época – às doses totais atribuídas de fundo natural. Para

determinar esta contaminação radioativa natural, foram determinadas as concentrações de ^{226}Ra , ^{40}K e ^{232}Th , em diversos materiais de construção, utilizando-se a espectrometria gama com detector de NaI (TI). Pelos resultados obtidos, no que se refere ao conteúdo de ^{226}Ra , os granitos ocupam o primeiro lugar, seguidos pelos cimentos, azulejos, telhas e tijolos, ocupando os gessos os valores mais baixos. É conhecida nas argilas a propriedade da absorção do cátion UO_2^{++} . Quanto ao ^{232}Th a ordem de abundância é iniciada pelos granitos, seguida pelos tijolos, azulejos, telhas, tinta e cimento. Com relação a este radionuclídeo, são aplicáveis as mesmas considerações anteriores.

As medidas da radioatividade de ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K em materiais de construção em recintos fechados, com o uso dos modelos matemáticos, permitiram a obtenção da dose gama equivalente em diversos materiais e em doses diferentes. Nas bauxitas da Jamaica (Pinnock 1991), foram obtidas doses equivalentes de 0,72mSv/ano. Em xisto preto as doses atingem 1,50 mSv/ano (Chen *et al.* 1993). A contribuição do radônio em recintos fechados na Índia foi estimada em 1,16mSv/ano, com uma dose total de 2,43 mSv/ano, incluindo-se todas as possíveis fontes (Shukla *et al.* 1995). As dose de raios gama em Hong Kong, determinadas nos principais materiais de construção, apresentaram os seguintes valores: concreto apresentou 0,95, tijolo 1 e granito 1,75 mSv/ano (Saravidou *et al.* 1995).

As doses de radiação em lama vermelha, produto do rejeito de processos, destinados a fabricação de tijolos, para ^{40}K , ^{232}Th e ^{226}Ra , apresentaram concentrações de 470, 300 e 40 Bq.kg⁻¹, respectivamente (Castro & Senne 1995). Este material misturado em proporções de 20 % nas argila da região, obtiveram-se tijolos de 10cm de espessura com 0,35 mSv/ano e tijolos de 20cm de espessura com 0,56 mSv/ano, apresentando um total de 0,91 mSv/ano, onde houve um acréscimo de 0,12 % da lama vermelha na fabricação do tijolo.

A radioatividade natural dos materiais de construção naturais e industrializados, segundo Sharaf *et al.* (1999), Kumar *et al.* (1999), Amrani & Tahtat (2001), Rizzo *et al.* (2001) e Kovler *et al.* (2002), com referência nos radionuclídeos de ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , foram medidos usando-se a espectrometria- γ com detector de Ge hiper-puro. No cálculo dos perigos da radiação associados aos materiais de construção, segundo Hamilton (1971) e citado por Kumar *et al.* (1999), definiu-se um índice comum chamado de atividade radio-equivalente (Ra_{eq}), para obter-se a soma das atividades, para a comparação da radioatividade específica dos materiais contendo Ra, Th e K. Foi estimado por Krišniuk *et al.* (1971) e Straden (1976) in Kumar *et al.* (1999), que 370 Bq.kg⁻¹ (10 pCi/g) de ^{226}Ra , 260 Bq.kg⁻¹ (7 pCi/g) de ^{232}Th e 4810 Bq.kg⁻¹ (130 pCi/g) de ^{40}K produzem a mesma taxa de dose de raios- γ . Deste modo a atividade radio equivalente (Ra_{eq}) pode ser calculada usando-se a formula:

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + (A_{Th} \times 1,430) + (A_K \times 0,077), \quad (1)$$

onde A_{Ra} , A_{Th} e A_K são as atividades em Bq/kg (pCi/g) do ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K , respectivamente. Para limitar-se à dose da radiação em materiais de construção na Alemanha em 1,5 mGy/ano ou 1,5 mSv/ano, foi proposto a seguir por Krieger (1981) in Kumar *et al.* (1999), um modelo baseado em paredes infinitamente espessas, sem janelas e portas, para servir como um critério:

$$\frac{A_{Ra}}{370\text{Bq/kg}} + \frac{A_{Th}}{260\text{Bq/kg}} + \frac{A_K}{4810\text{Bq/kg}} < 1, \quad (2)$$

onde A_{Ra} , A_{Th} , e A_K são atividades média do ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K , respectivamente, em Bq.kg^{-1} em materiais de construção. Este critério, somente considerado o risco de exposição externa devido a raios- γ , corresponde a um máximo Ra_{eq} de 370 Bq.kg^{-1} para o material. Estas mesmas suposições conservadoras foram corrigidas pelos autores depois de considerar uma espessura finita de paredes, janelas e portas, pela aplicação de um fator de 0,7 em cada caso. A concentração máxima permissível foi aumentada em um fator de 2. Isso significa:

$$\frac{A_{Ra}}{740\text{Bq/kg}} + \frac{A_{Th}}{520\text{Bq/kg}} + \frac{A_K}{9620\text{Bq/kg}} < 1, \quad (3)$$

Critério da metodologia com conexão da concentração, da atividade do material de construção e a dose da exposição anual foi proposta por Hareubeni *et al.* (1996) in Kovler *et al.* (2002). É apresentada a seguir, a concentração da atividade mais aplicada, pela expressão:

$$\frac{^{226}\text{Ra}}{150} + \frac{^{232}\text{Th}}{185} + \frac{^{40}\text{K}}{3500} < 1. \quad (4)$$

Este critério assume uma dose anual limite de 0,7 mSv/ano. A expressão (4) foi calculada usando-se valores de densidade do material $p_o=1500 \text{ kg.m}^{-3}$, espessura da parede $d=0,24 \text{ m}$ e níveis típicos de ventilação, ocupação, etc.; e diferentes valores das propriedades acima mencionados do coeficiente da expressão.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISES

3.1 - MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 - Amostragem

Para a execução desta dissertação foi realizada uma amostragem ampla e representativa em marmorarias de Belo Horizonte, isto é, nos lugares onde normalmente se encontra a maior parte das rochas ornamentais comercializadas para utilização, predominantemente, na construção civil como revestimento de pisos e paredes. Este material, solicitado a título de doação, com aproximadamente 2 kg, originou-se das sobras ou rejeitos do material beneficiado. As amostras provenientes de placas polidas de 2x3x0,02 m (aproximadamente 300 kg), foram suficientes para a realização de todos os testes e análises previstos, tais como: estudos macroscópicos e petrográficos/mineralógicos detalhados. Estes estudos visaram a caracterização dos diferentes litotipos e a determinação dos constituintes mineralógicos essenciais e acessórios (radioativos e não-radioativos).

3.1.2 - Preparação das amostras para estudos e análises

Para estudos petrográficos foram preparadas, no Laboratório de Preparações Petrográficas do CDTN, lâmina delgadas de 25x50 mm, uma coberta e a outra descoberta e polida, esta última utilizada para estudo dos minerais opacos e ainda para a análise, em parte, de feldspatos e minerais acessórios em microsonda eletrônica. Foram preparadas seções polidas de 31 mm de diâmetro, destinadas aos estudos por microsonda eletrônica dos feldspatos e minerais acessórios.

Blocos polidos, com tamanhos de 55x45x20 mm, de todas as amostras, foram preparados para serem submetidos a testes de auto-radiografia.

As amostras foram pulverizadas para difratometria e análises químicas (fluorescência de raios X, absorção atômica, espectrometria de raios X, ativação neutrônica, gravimetria e volumetria).

3.2 - METODOLOGIA ANALÍTICA

As amostras graníticas solicitadas em marmorarias, para a avaliação da radioatividade com base em dados químico-mineralógicos e litológicos, foram submetidas aos seguintes testes e técnicas analíticas previstas: auto-radiografia, espectrometria de energia de raios X por excitação de raios gama (Kevex), espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), difração de raios X (DRX), K_{α} -ativação neutrônica paramétrica, espectrometria de absorção atômica, fotometria de chama, gravimetria, volumetria, medida da atividade α e β com cintilômetro portátil, análise por microsonda eletrônica e microscopia óptica e classificação de rochas.

3.2.1 – Auto-radiografia

A localização dos minerais radioativos nas 100 amostras, efetuada em Laboratório Fotográfico de Materiais do CDTN, nas amostras polidas com tamanhos de 55 x 45 x 20 mm, foi empregada a técnica da auto-radiografia. Para estas amostras utilizou-se de filme Kodak A 400, permanência de 30 dias em câmara escura, revelador Kodak GBX, fixador Kodak GBX, com tempo de revelação de 3 minutos a 24°C, tempo de fixação de 10 minutos e lavagem por 30 minutos em água corrente. O teste de auto-radiografia é capaz de detectar as radiações com energia da ordem de 6 MeV. Esta técnica, normalmente é aplicada nas amostras geológicas portadoras de minerais radioativos, com U e Th, em teores superiores a 100 ppm, caso dos óxidos primários de U (uraninita e pecheblenda), ou de outros diversos minerais que contenham U e Th (monazita, zircão, allanita, apatita, etc.). Os estudos de auto-radiografia complementaram os estudos petrográficos.

3.2.2 - Espectrometria de energia de raios X por excitação de raios gama (Kevex)

A análises de terras raras e elementos radioativos em amostra total, pelo sistema Kevex do Laboratório de Química do CDTN, usa raios gama produzidos por uma fonte radioativa de Américio 241, que, atingindo a amostra a ser analisada e interagindo com seus átomos, provoca uma excitação e a emissão de fótons de raios X. O sistema contém um detetor em estado sólido, que converte a energia de raios X em pulsos elétricos com amplitude diretamente proporcional à energia do fóton capturado. Desta forma são gerados espectros de picos das energias dos fótons dos diversos elementos presentes na amostra, onde é determinada a intensidade das linhas de raios X características para a determinação das concentrações elementares.

As análises por espectrometria de energia de raios X foram aplicadas na determinação das terras raras e elementos radioativos nas amostras selecionadas. A amostra para análise, inicialmente, foi pulverizada a aproximadamente 200 mesh, sendo utilizadas alíquotas de 200 mg, colocadas em porta-amostras de vidro e submetidas a leve pressão. A análise foi realizada em um espectrômetro Sigma X9050 - Kevex, fabricado na Califórnia, EUA.

3.2.3 - Espectrometria de fluorescência de raios X (FRX)

Esta técnica de análise se baseia na excitação da amostra selecionada por um feixe primário de raios X. Na excitação são produzidos raios X característicos dos elementos que a constituem. Um cristal analisador, com espaçamento cristalino (d) conhecido, montado em um goniômetro e podendo se movimentar em relação ao feixe de raios X proveniente da amostra, permite a determinação do comprimento de onda dos raios X característicos, pelo fenômeno da difração, expresso pela equação de Bragg ($n\lambda = 2d\sin\theta$) e, conseqüentemente, sua identificação. A intensidade dos raios X característicos gerados pela amostra selecionada é comparada com amostras padrão, permitindo então a quantificação dos elementos constituintes da amostra.

A amostra para análise dos elementos maiores, em peso de 1g, são preparadas em pastilhas prensada de ácido bórico - $H_6B_2O_6$ (7g), em uma prensa de marca Herzog - USA, com pressão uniaxial de 5 t, durante 5 segundos. O espectrometro de fluorescência de raios X empregado, no Laboratório de Química do CDTN, é de fabricação Rigaku - Japão, modelo 3134 - tubo de cromo, semi-automático. Foram pesquisados os elementos químicos compreendidos na faixa espectral que vai do magnésio ($Z=12$) até o urânio ($Z=92$), excluindo-se os gases nobres.

3.2.4 - Difração de raios X (DRX)

A difração de raios X (método de pó) foi utilizada amostra pura para a identificação de fases minerais. Para a aplicação do método o material, a ser analisado, é reduzido a pó, apresentando tamanhos de partículas abaixo de $40 \mu m$. A pulverização extremada não deve ocorrer, causando desta maneira uma diminuição em sua cristalinidade. Outros parâmetros de preparação da amostras neste método de análises são importantes, como a orientação aleatória e número de pequenos cristais, para que exista uma manifestação de todas as famílias de planos cristalográficos existentes. Finalmente, a amostra preparada deve comportar-se de forma homogênea, para não haver distorção na intensidade dos picos no

difratograma.

A preparação das amostras para análises foi em alíquotas de 40 mg, utilizando-se porta-amostras de vidro e álcool, este último material comporta-se como um líquido aglomerante. O difratômetro de raios X utilizado, no Laboratório de Química do CDTN, é de fabricação Rigaku, modelo Geigerflex, semi-automático, apresentando goniômetro horizontal, munido de monocromador de cristal curvo de grafite e tubo de cobre.

A análise pelo método da difração de raios X, realizado em amostra total, foi utilizada como complemento dos estudos petrográficos realizados em lamina delgada, para confirmar-se a determinação de alguns minerais.

3.2.5 - K_0 -Ativação neutrônica paramétrica

A técnica de k_0 -ativação neutrônica paramétrica foi aplicada na determinação de ^{238}U em 1g e ^{232}Th em 0,3g, nas amostras selecionadas. Para análises do ^{226}Ra utilizou-se de 6g e para ^{40}K de 0,3g, em 23 amostras.

A ativação neutrônica é uma técnica não destrutiva, pela qual, em paralelo à amostra, é irradiado um padrão (técnica *monostandard*) para o cálculo da atividade específica. Ela utiliza convenção de Högdahl (De Corte 1986) para o cálculo da concentração dos isótopos em estudo.

As amostras foram irradiadas no reator Triga Mark I IPR-RI, que encontra-se instalado no CDTN. Após o condicionamento destas amostras, a irradiação foi efetuada durante 12 horas na mesa giratória do reator onde, a uma potência de 100 KW, o fluxo de nêutrons térmicos é da ordem de $6,6 \times 10^{11} \text{ n.s}^{-1} \text{ cm}^2$ e a uma temperatura local em torno de 40°C . Pela reação (n, γ) foram produzidos, entre os diversos radioisótopos os de interesse para o trabalho. Na irradiação, as amostras foram acompanhadas por padrão de sódio, com material de referência certificado. Após a irradiação e esperado um período de 10 dias para decaimento de radionuclídeos interferentes, foi realizada a espectrometria gama por um detetor de germânio de alta pureza (*high pure Ge*), Ortec, modelo 10175-P, resolução de 1,85 no pico de 1332 keV do ^{60}Co . Os espectros obtidos foram analisados pelo *software* Gennie PC, Camberra, e as concentrações calculadas por meio de convenção de Högdahl.

3.2.6 - Espectrometria de absorção atômica

A espectrometria de absorção atômica, no Laboratório de Química da Tecnologia Mineral do CDTN, é um método baseado na medida da energia absorvida pela excitação do átomo nas zonas do visível e ultravioleta. No caso da absorção atômica convencional com chama (AAC), faz-se passar uma luz do comprimento de onda definido, através de uma chama contendo átomos no estado fundamental do elemento a ser analisado. Uma parte dessa luz será absorvida e a extensão da absorção é proporcional ao número de átomos de um dado elemento no estado fundamental presente na chama. A AAC foi utilizada para a determinação das concentrações do Na_2O e MgO . Para a análises das amostras foi utilizado o equipamento modelo GBC 932 AA, fabricado pela Scientific Equipment da Austrália.

A abertura da amostra para a análises do sódio e do magnésio, efetuada pela espectrometria da absorção atômica, por ser de melhor precisão para estes elementos, na forma de silicato, foram atacadas com ácido fluorídrico e ácido sulfúrico, formando sulfato de sódio (Na_2SO_4), e sulfato de magnésio (Mg_2SO_4), depois dissolvidos em água.

O procedimento de análise é realizada da seguinte forma: a) a amostra é pesada 0,5000 g; b) transfere-se a mesma para um cadinho de platina; c) coloca-se 5 ml de HF e 2 ml de H_2SO_4 1:1; d) aquece-se em chapa elétrica até o aparecimento de fumos brancos; e) transfere-se o cadinho para um béquer de 250 ml; f) adiciona-se água e o conjunto é aquecido até a ebulição; g) transfere-se para balão de 250 ml e avoluma-se e, finalmente, j) efetua-se a leitura por absorção atômica utilizando a curva padrão adequada.

3.2.7 - Fotometria de chama

O fotômetro de chama modelo B260, fabricado pela Micronal no Brasil, no Laboratório de Química do CDTN, foi utilizado para a análise do Na_2O em todas as amostras. Este método, que normalmente é aplicado nos elementos que apresentam um espectro de excitação da chama de intensidade suficiente para ser detectado por uma fotocélula, é também utilizado para a análise do potássio e lítio.

No esquema de funcionamento de um fotômetro de chama, o ar, a uma dada pressão, é passado em um atomizador e a sucção produzida arrasta a solução da amostra para o atomizador, onde ela se junta à corrente de ar na forma de uma névoa fina, passando assim ao queimador. Então, numa pequena câmara de mistura, o ar encontra o gás combustível fornecido pelo queimador a uma certa pressão e a mistura queima. A radiação da chama resultante passa através de uma lente, de um diafragma de íris, e finalmente, através de um filtro óptico que permite somente a passagem da radiação característica do elemento em investigação. O sinal de saída da fotocélula é medido num galvanômetro adequado. A chama é envolvida

por uma chaminé para protegê-la da corrente de ar. O percurso óptico da chama até a fotocélula é encerrado numa caixa à prova de luz.

A abertura total da amostra e o procedimento para as análises do Na_2O , pela fotometria de chama, são os mesmos aplicados para o MgO , e encontram-se descritos no item referente à espectrometria de absorção atômica.

3.2.8 - Gravimetria

A análise gravimétrica ou análise quantitativa por peso, efetuado no Laboratório de Química do CDTN, é um processo em que se isola e pesa um elemento ou composto definido sob uma forma tão pura quanto possível. A análise gravimétrica é relacionada com a transformação do elemento ou do radical a ser determinado em um composto estável puro que pode ser prontamente convertido numa forma adequada à pesagem. Esta análise foi utilizada para a determinação da sílica - SiO_2 .

A fusão com carbonato de sódio de cerca de 0,3500 g da amostra, é realizada a dissolução da massa fundida com HCl. A determinação gravimétrica do silício é efetuada por filtração, desidratação (secagem), calcinação e fluorização do resíduo. A perda de peso corresponde ao conteúdo de SiO_2 da amostra.

No filtrado da determinação da sílica, são determinados Fe_2O_3 e Al_2O_3 .

No filtrado da precipitação do ferro é feita a análise gravimétrica do alumínio; este é precipitado, calcinado e pesado como AlPO_4 .

3.2.9 - Volumetria

Na determinação do Fe_2O_3 por volumetria, no Laboratório de Química do CDTN, foi efetuada a separação do ferro por precipitação com NaOH; filtração; dissolução do precipitado; redução do Fe^{3+} a Fe^{2+} pelo SnCl_2 e titulação do Fe^{3+} com solução padrão de KMnO_4 0,1 N.

3.2.10 - Medida da atividade α e β com cintilômetro portátil

A medida das radioatividades α e β em Bq.cm^{-2} , no Laboratório de Radioproteção do CDTN, em amostras graníticas, foram realizadas com o cintilômetro portátil: NE Technology Ltd Ratemeter Type

Electra & Selectra-Inc., Upgrade AE0068A-nº Serie 1995. As fonte do aparelho são de Amerício 241 e Cloro 36. Sonda: DP6AD - nº Série:1074.

Foram efetuadas 10 medidas do *background* radiação de fundo e 05 medidas em cada amostra de tamanho de 6x5x2 cm. Estas amostras foram medidas a uma distância da fonte de $\cong 3$ mm.

3.2.11 - Análise por microsonda eletrônica

As análises foram realizadas na Microsonda JEOL, modelo JXA - 8900 RL, do Laboratório de Microanálise do Consórcio Física, Química e Geologia (UFMG) e CDTN/CNEN, localizado no ICEx (UFMG).

Foram efetuadas análises quantitativas pontuais do plagioclásio e feldspato potássico em 23 amostras, em lâmina e seção polida, usando-se padrões de anortita (Al, Ca), albita (Si e Na) e microclínio (K), preparados pelo Prof. Dr. Ian Steele, da Universidade de Chicago - USA. As análises foram feitas por espectrometria WDS, com aceleração de 15 KV e corrente de feixe de 20 NA. Também foram analisados semi-quantitativamente, os minerais acessórios, em algumas amostras, principais responsáveis pela radioatividade da rocha, como a monazita, allanita, zircão, xenotímo e torita, utilizando-se espectrometria EDS e padrões internos da própria microsonda.

3.2.12 – Microscopia óptica e classificação de rochas

As análises modais das amostras selecionadas, ao microscópio óptico, no Laboratório de Mineralogia e Petrografia do CDTN, objetivando a caracterização dos diferentes litotipos, determinando-se seus respectivos constituintes mineralógicos essenciais e acessórios (radioativos e não radioativos), foi realizada aplicado-se o diagrama QAP (quartzo, feldspato potássio e plagioclásio) de Streckeisen (1976).

As análises química da amostra total, foram utilizadas para a caracterização dos litotipos, usando-se os parâmetros R1 e R2 de La Roche (1964), calculando-se as proporções em milicitions dos principais óxidos, com a aplicação dos parâmetros $R1 = 4Si - 11(Na+K) - 2(Fe+Ti)$ e $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$.

Na caracterização dos litotipos foram também usados o álcalis total e a sílica (TAS), das análises química da amostra total, no diagrama de Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989).

A determinação dos parâmetros de saturação em alumina foi realizada com a aplicação do diagrama de Shand (1927), utilizando-se os óxidos de Al_2O_3 (A), CaO (C), K_2O (K) e Na_2O (N). Foram determinadas as rochas peraluminosas ($A/\text{CNK} > 1$), onde o Al_2O_3 é maior que a soma do CaO , K_2O e Na_2O , as rochas peralcalinas ($A/\text{CNK} < 1$ e $A < \text{NK}$), onde o Al_2O_3 é menor que a soma do CaO , K_2O e Na_2O e também o Al_2O_3 é menor que o Na_2O e K_2O e finalmente, as rochas metaluminosas ($A/\text{CNK} < 1$ e $A > \text{NK}$), onde o Al_2O_3 é menor que a soma do CaO , K_2O e Na_2O e por outro lado o Al_2O_3 é maior que a soma do Na_2O e K_2O .

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E AUTO-RADIOGRÁFICA

4.1 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA

Macroscopicamente (Figura 1.AP-1, do Apêndice 1), as rochas amostradas apresentam-se com colorações leucocráticas, mesocráticas e também melanocráticas, sendo que principalmente ocorrem as amostras com colorações claras, onde seus constituintes químicos e mineralógicos essenciais permitiram que sejam classificadas, em sua maior parte, como rochas “graníticas”. Um segundo parâmetro importante, tomado em conta para estas rochas, foi o grau de alteração dos minerais essenciais, que proporcionou a formação e freqüente presença dos minerais secundários, que são representados, em sua maior parte, pelos minerais argilosos (caulinita e montmorilonita), sericita, carbonatos, óxidos de ferro, clorita, muscovita e outros minerais presentes em concentrações menores.

As colorações predominantes para as rochas amostradas, outorgadas pela composição dos minerais essenciais e também devido ao grau de alteração, são caracterizadas por tonalidades esbranquiçadas, amareladas, avermelhadas, acinzentadas e esverdeadas, ocorrendo de forma escassa as vermelhas, rosas, liláses, azuis, marrons e cinza-escuras ou negras.

A granulação destas amostras é, preferencialmente, de média a grossa, sendo que também existem granulações finas, inequigranulares e, às vezes, constituindo finas vênulas. Nestas amostras são observadas, em sua maior parte, as texturas isotrópicas ou homogêneas definidas como granitos, sienitos, charnoquitos e granulitos e, subordinadamente, encontram-se presentes rochas com texturas anisótropas ou orientadas. Estas últimas apresentam-se foliadas ou possuem bandamento composicional, tendo sido definidas texturas gnáissicas e migmatíticas. Comercialmente são denominadas de rocha ornamentais “movimentadas”. No caso destas amostras foliadas ou bandadas e que são preferencialmente inequigranulares, encontram-se intercalações de níveis ou horizontes com espessura variada, onde ocorre predominância de minerais félsicos ou máficos.

4.2 – AUTO-RADIOGRAFIA

Os estudos por meio da auto-radiografia mostraram manchas enegrecidas com formas diversas nos locais onde existe a presença dos minerais radioativos (Salas *et al.* 2000), que serão apresentados para 21 das 23 amostras, as mais representativas dos litotipos amostrados, nas quais foram determinadas concentrações totais superiores a 60 ppm de urânio e tório (Tabela 4.1). A radioatividade em todas as 23 amostras se deve mais à maior presença de tório do que de urânio.

Tabela 4.1 - Classificação das rochas “graníticas” ornamentais com teores totais de U₃O₈ + ThO₂ acima de 60 ppm

Amostra	Classificação Comercial	Classificação Litológica Segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989)	Procedência (Estados da UF)
CG-02	Amarelo Romano	Granito Monzonítico	ES
CG-03	Cinza Tropical	Granito Sienítico	ES
CG-20	Amêndoa Carioca	Granito Monzonítico	MG
CG-23	F5	Granito Monzonítico	MG
CG-24	Rosa Capri	Granito Monzonítico	MG
CG-30	Capão Bonito	Granito Monzonítico	GO
CG-31	Ouro Velho	Granito Monzonítico	ES
CG-33	Vermelho Imperial	Granito Monzonítico	MG
CG-35	Rosa Verona	Granito Monzonítico	ES
CG-37	Dourado	Granito Sienítico	MG
CG-42	Amarelo Veneziano	Gnaiss Monzonítico	ES
CG-46	F11	Granito Monzonítico	ES
CG-52	Gialho Califórnia	Gnaiss Monzonítico	MG
CG-63	Amarelo Florence	Monzonito Quartzoso	ES
CG-66	Amarelo Capri	Granito Monzonítico	MG
CG-69	Lilás Gerais	Gnaiss Monzonítico	MG
CG-74	Amarelo Fiorito	Gnaiss Monzonítico Quartzoso	MG
CG-78	Verde Índio/Aquário	Gnaiss Monzonítico Quartzoso	MG
CG-90	Asa de Borboleta	Sienito	PE
CG-93	Cinza Mel	Granito Sienítico	ES
CG-97	Cinza Bressan	Granito Monzonítico	ES
CG-98	Cinza Oriente	Gnaiss Monzonítico	ES
CG-100	Amêndoa Carioca II	Granito Monzonítico	ES

A auto-radiografia, funciona como um mapa, indicando posições na amostra que, quando verificadas pela microscopia e também analisadas pela microsonda eletrônica, na maior parte das amostras, permitiram a identificação de minerais tais como: monazita, allanita, zircão, apatita e titanita e, também torita, fluorita, gumita e óxido de urânio (pecheblenda).

4.3 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA MICROSCÓPICA

A caracterização petrográfica pelo microscópio óptico foi realizada para determinar-se, quantitativamente, os constituintes mineralógicos no grupo das amostras coletadas. Apesar de parte das amostras serem rochas metamórficas (gnaisses, migmatitos, charnoquitos e granulitos) utilizou-se os dados mineralógicos das análises modal na classificação litológica (Figura 4.1) do diagrama QAP de Streckeisen (1976), citado por Le Maitre (1989).

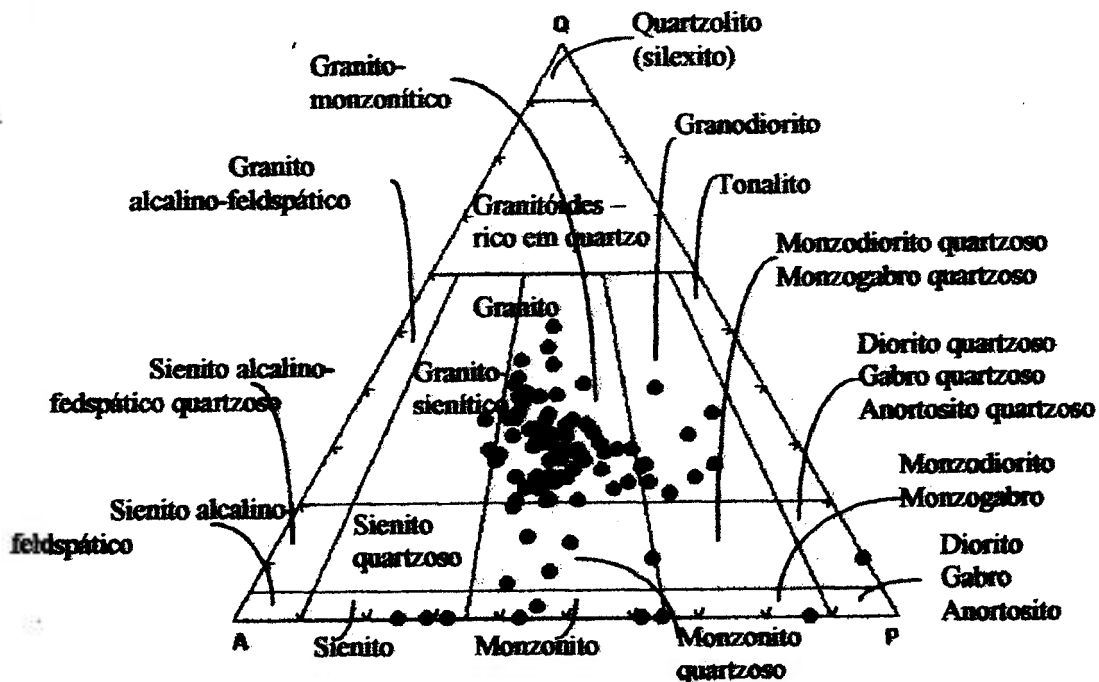


Figura 4.1 - Classificação das 100 rochas "graníticas" amostradas, com presença de gnaisses, migmatitos, charnoquitos e granulitos, utilizando-se o diagrama QAP de Streckeisen (1976), citado por Le Maitre (1989)

Estes tipos litológicos foram classificados, predominantemente, como granito monzonítico, onde encontram-se presentes de forma subordinada outros tipos litológicos, tais como o granito sienítico, monzonito, monzonito quartzoso, granodiorito, monzogabro/monzodiorítico, gabro quartzoso e sienito (Tabela 2.AP-1, do Apêndice 1). A seguir serão apresentadas as descrições petrográficas destes grupos

litológicos, preferencialmente, suas características em 23 amostras, provenientes dos litotipos amostrados, nos quais foram determinadas concentrações totais de urânio e tório superiores a 60 ppm.

4.3.1 - Granito monzonítico

Características gerais

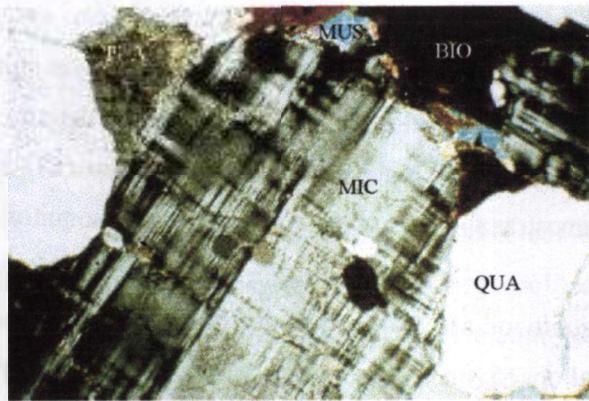
Dentre as amostras classificadas como granito monzonítico encontram-se também presentes gnaisses, migmatitos, charnoquitos e granulitos, e são representadas, predominantemente, por rochas leucocráticas a melanocráticas. Ocorrem com maior frequência as amostras com coloração principalmente cinza, amarela e branca. Em menor proporção existem tipos de coloração vermelha, verde e azul clara. A maior parte destas amostras é homogênea. No entanto, ocorrem 17 amostras de granitos monzoníticos que possuem alguma orientação preferencial, outorgando-lhes em sua classificação a denominação de gnaisse e migmatito, que comercialmente são denominados de “movimentados”. Esta orientação planar é atribuída à forma da apresentação dos cristais tabulares e lamelares. Subordinadamente estas amostras estão presentes com pequenas lentes ou concentrações de minerais máficos. Na orientação planar foi verificada a presença de cristais granoblásticos, em parte, representados por grãos equigranulares de microclínio, plagioclásio e quartzo.

O microclínio, plagioclásio e quartzo, são os constituintes essenciais destas amostras (Figuras 4.2, 4.3 e 4.4). Estes minerais ocorrem preferencialmente em cristais bem desenvolvidos e na maior parte das amostras os feldspatos tem algum estágio de alteração passando a minerais de argila, que proporcionam a predominante coloração amarelada quando estas amostras são observadas macroscopicamente. O microclínio, apresenta-se com uma combinação das geminações de albita e de periclina, estreitamente entrelaçados, que é diferente na existente da albita, quando examinados em polarizadores cruzados, numa direção, os planos de composição vê-se o quadriculado ou axadrezado típico. Este microclínio apresenta alguns relíctos de plagioclásio alterado e, normalmente, são pertíticos a micro pertíticos. O plagioclásio que é de composição albita-oligoclásio, quando não está totalmente alterado, principalmente, a minerais de argila, sericita e carbonato, encontra-se com macla polissintética segundo a Lei da Albita, sendo que também apresentam-se com algumas interrupções da suas maclas ou demonstra algum recurvamento devido aos processos de cataclase. O quartzo, neste grupo de amostras, ocorre em sua maior parte com granulação fina e com extinção ondulante. Ocasionalmente apresenta-se em grãos bem desenvolvidos ou constituindo agregados com formas irregulares.

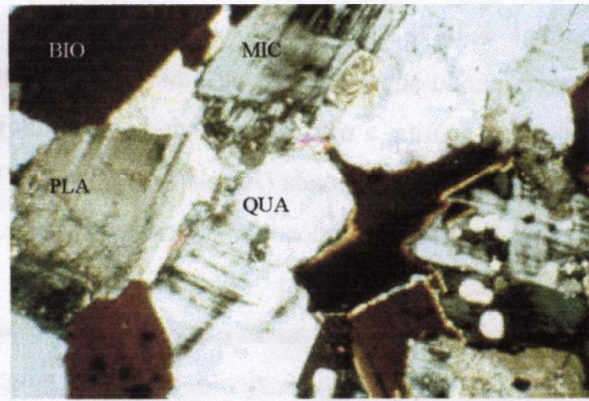
Os minerais máficos são representados, na maior parte destas amostras, principalmente pelas lamelas muito finas de biotita de coloração preferencialmente castanha, que em parte demonstra alteração parcial a total em clorita ou muscovita. Quando estas lamelas de biotita constituem agregados determinando suborientação na amostra, normalmente encontram-se associadas aos freqüentes minerais opacos, a apatita, a monazita, ao zircão e outros minerais acessórios escassos. Foi possível determinar as ocorrências de hornblenda (Amostras CG-56 e 77), também com hiperstênio e augita (Amostra CG-19, 67, 72 e 94), porém em concentrações menores. Estas amostras foram caracterizadas como charnoquitos.

Os minerais acessórios nos granitos monzoníticos são, na maior parte das amostras estudadas, representados pela apatita, zircão, monazita, mineral opaco (magnetita/martita, pirita, calcopirita, pirrotita, goethita), titanita, fluorita, epidoto, allanita, torita, gumita/uraninita, bastnasita, leucoxênio e rutilo. Ressaltando-se que alguns destes minerais não ocorrem em todas as amostras ou possuem concentrações variadas.

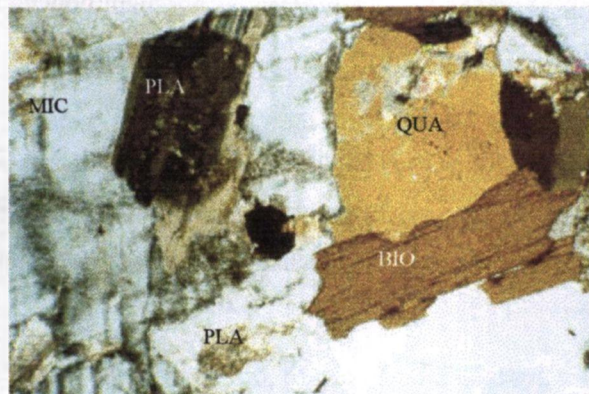
Em alguns granitos monzoníticos (Amostras CG-11, 17, 29, 36, 40, 61, 64, 65, 75, 84, 85, 86, 87 e 95) foram também determinados outros grupos de minerais pouco freqüentes constituído por cordierita, andaluzita, sillimanita, espinélio e granada. È muito característico de rochas com origem ou associação metassedimentar.



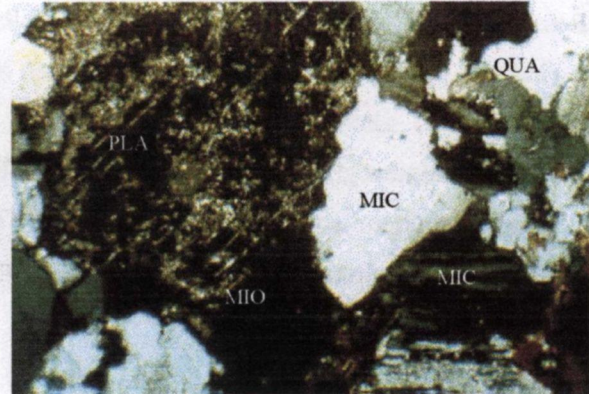
CG-02



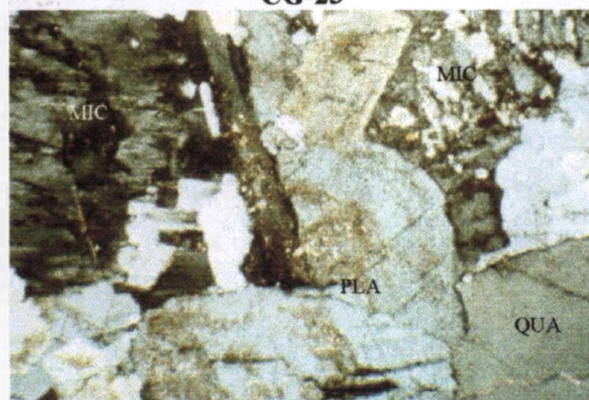
CG-20



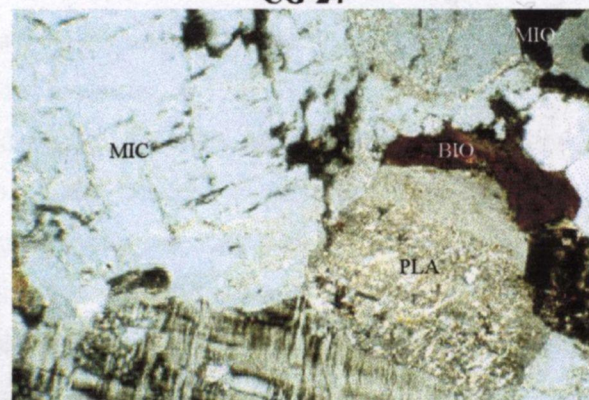
CG-23



CG-24



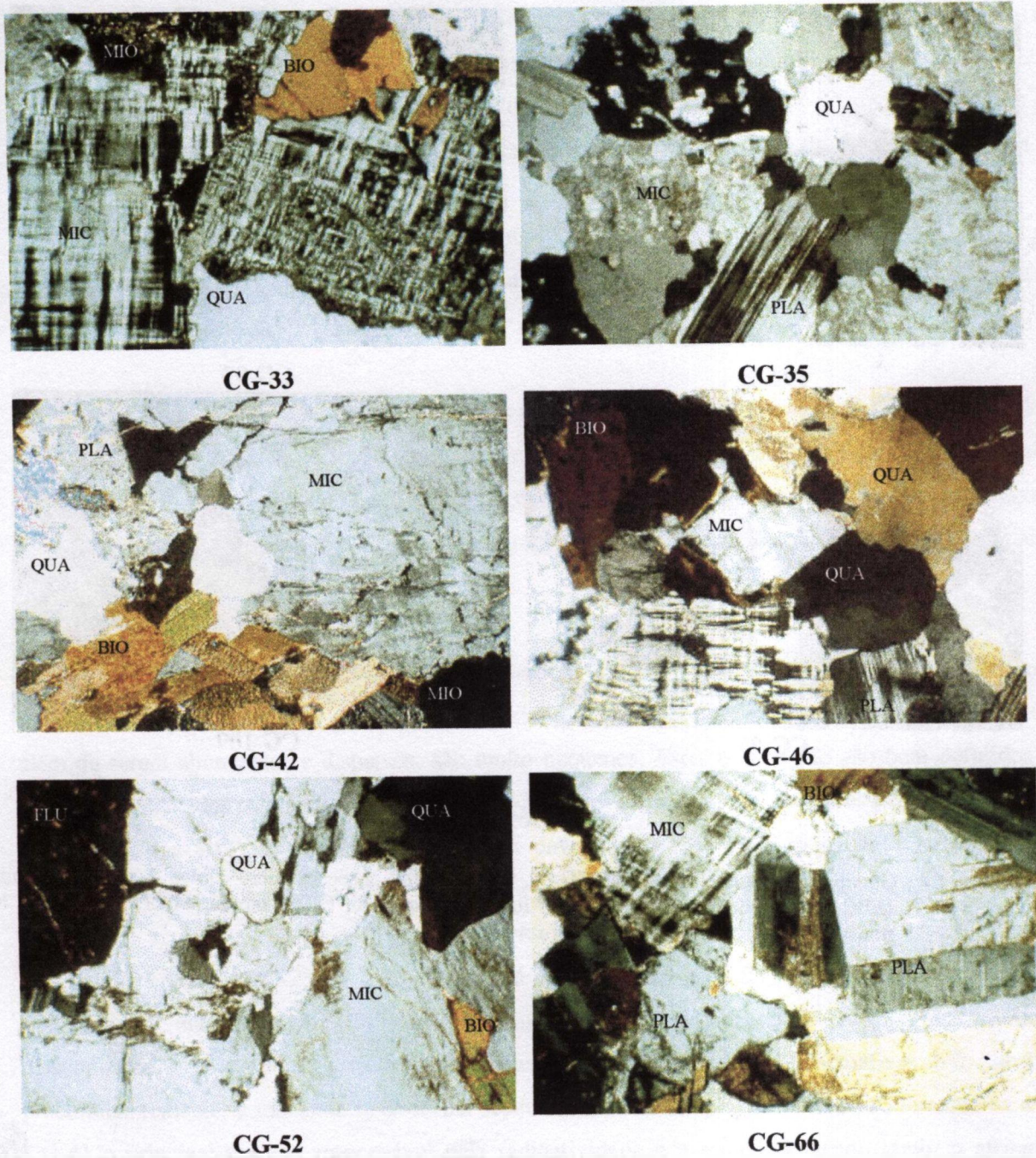
CG-30



CG-31

Escala: 310µm

Figura 4.2 - Granito monzônico (Amostras CG-02, 20, 23, 24, 30 e 31). Aspecto microscópico dos principais minerais (MIC - microclínio, PLA - plagioclásio, QUA - quartzo, BIO - biotita, MUS - muscovita e MIO - mineral opaco), com polarizadores cruzados (PX)



Escala: 310 μ m

Figura 4.3 - Granito monzônico (Amostras CG-33, 35, 42, 46, 52 e 66). Aspecto microscópico dos principais minerais (MIC - microclínio, PLA - plagioclásio, QUA - quartzo, BIO - biotita, FLU - fluorita, MIO - mineral opaco), com polarizadores cruzados (PX)

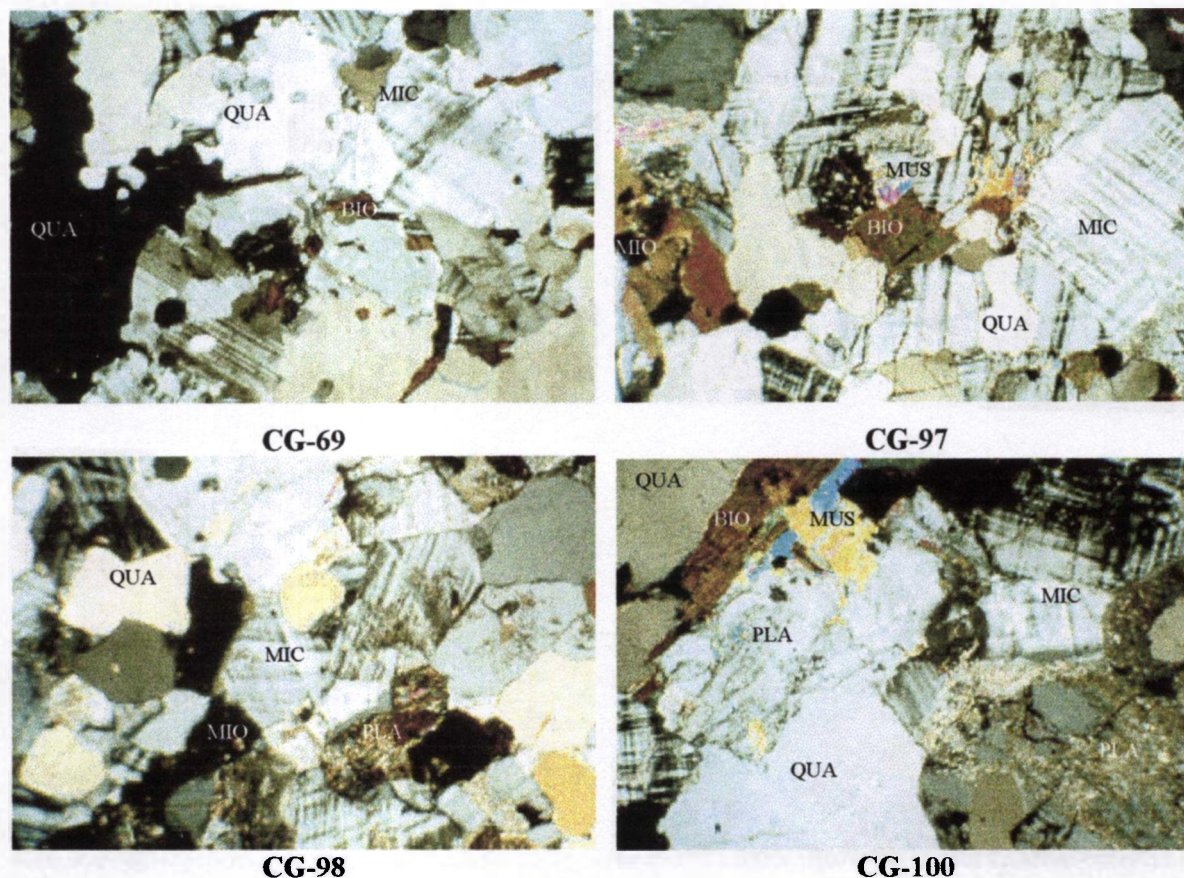


Figura 4.4 - Granito monzonítico (Amostras CG-69, 97, 98 e 100). Aspecto microscópico dos principais minerais (MIC - microclínio, PLA - plagioclásio, QUA - quartzo, BIO - biotita, MUS - muscovita, MIO - mineral opaco), com polarizadores cruzados (PX)

Auto-radiografia

O grupo referente ao granito monzonítico predomina amplamente sobre os demais grupos, totalizando 73 % de amostras entre as 100 amostras coletadas e também com um número maior entre as amostras com maiores teores totais de elementos radioativos, considerando-se aquelas amostras onde foram determinados teores superiores a 60 ppm de urânio e tório, analisados pela ativação neutrônica.

Os resultados dos pontos enegrecidos que foram obtidos através da auto-radiografia neste grupo de amostras (Figuras 4.5, 4.6 e 4.7), exibe uma variedade de formas, tamanhos, intensidades e freqüências, que revelam a presença dos minerais radioativos.

As maiores concentrações dos elementos radioativos ocorrem nas amostras CG-42 e CG-98, com 130 e 105 ppm de tório, respectivamente, e 4 ppm de urânio em ambas amostras. Na auto-radiografia, as manchas enegrecidas determinam pequenas porções, em parte, bem marcadas. Estes pontos enegrecidos são freqüentes e apresentam-se, de uma forma geral, bem definidos, indicando a presença dos minerais com maiores níveis de radioatividade.

As amostras CG-30 e CG-35 apresentam-se com 20 e 16 ppm de urânio, respectivamente, e tório, 59 e 55 ppm, respectivamente. Os pontos enegrecidos atribuídos aos minerais radioativos nestas amostras, além de serem abundantes e dispersos, são muito pequenos. Estes pontos não são bem definidos como aqueles apresentados pela monazita e allanita das amostras anteriores. Pelos estudos petrográficos (Figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11), os elementos radioativos devem ser atribuídos à monazita e zircão, também à fluorita roxa, associada ao plagioclásio na amostra CG-30, e ainda a torita na amostra CG-35.

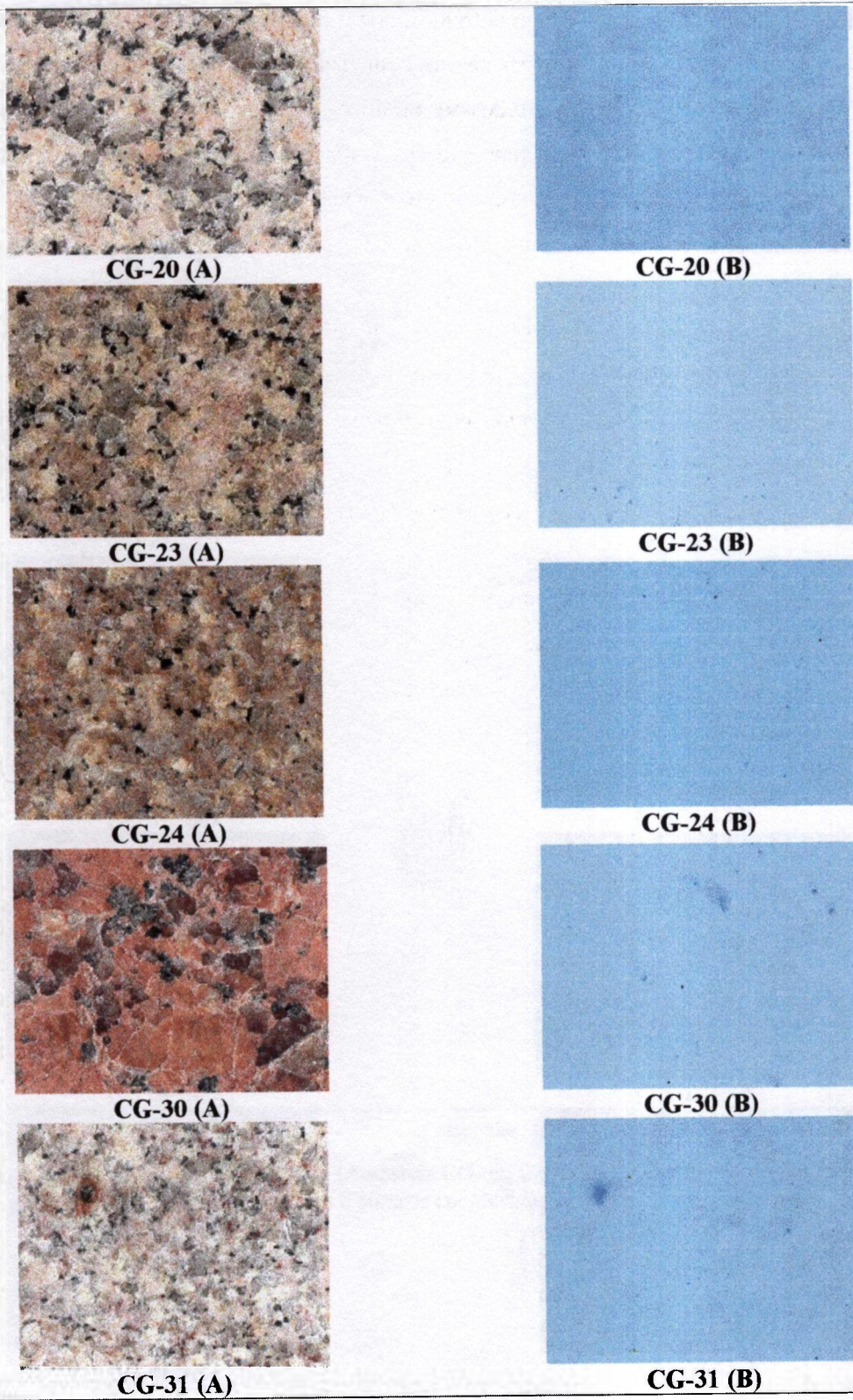
Nas amostras CG-23, 46 e 52 o tório está variando entre 67 e 57 ppm e o urânio entre 8 e 5ppm. Por meio da auto-radiografia os minerais radioativos determinam pontos negros bem definidos e disseminados. Os estudos petrográficos indicam que os elementos radioativos são atribuídos, predominantemente, à monazita e, de forma secundária, ao zircão e apatita. Observou-se que na amostra CG-42 o principal mineral responsável pela radioatividade é a monazita, sendo também atribuído ao zircão e apatita. Na amostra CG-52 são atribuídos também à fluorita roxa. O zircão na amostra CG-46 apresenta-se como inclusões no quartzo.

A amostra CG-69 encontra-se com 30 ppm de urânio e 44 ppm de tório, apresentando a maior concentração de urânio entre as 100 amostras estudadas. Os pontos negros produzidos pela radioatividade

na auto-radiografia são muito finos e bem definidos. Além de serem freqüentes, estão dispersos em toda a amostra. Entre os pontos negros ocorrem alguns com maiores definições e outros de maior tamanho, porém são escassos e dispersos. Pelos estudos petrográficos ficou correlacionado que os maiores teores de urânio se devem à gumita enquanto os maiores teores de tório à monazita e torita. Estão também presentes zircão, apatita e fluorita, que são responsáveis pelas menores concentrações de elementos radioativos, preferencialmente, relacionado ao urânio.

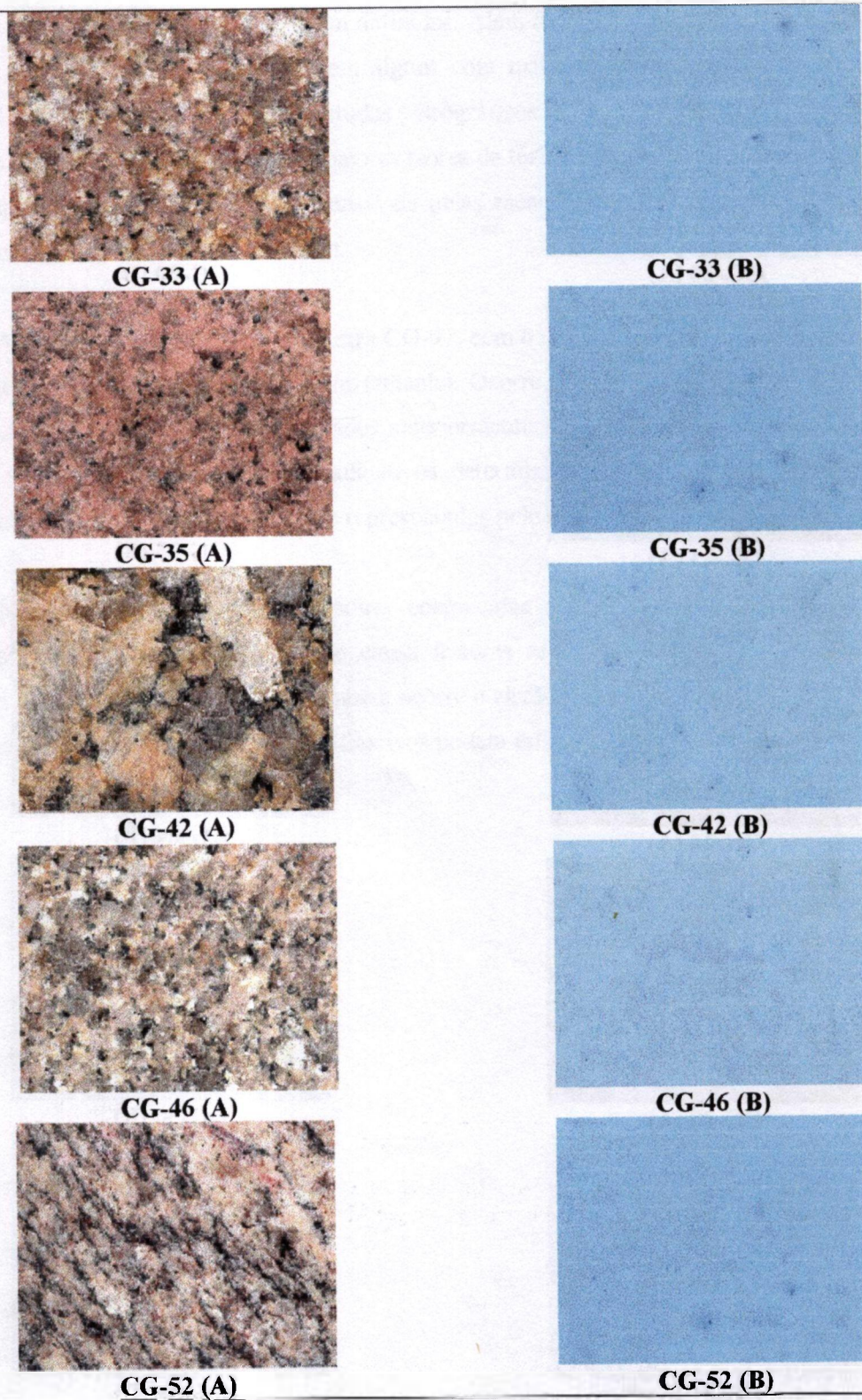
As manchas enegrecidas da amostra CG-97, com 65 ppm de tório e 3 ppm de urânio, determinam pontos bem definidos e também de maior tamanho. Ocorre ainda a presença de pontos negros menores e em menor proporção, que aqueles indicados anteriormente. Pelos estudos petrográficos, os pontos negros maiores são atribuídos aos minerais radioativos determinados como allanita e monazita, e os pontos negros menores, em sua maior parte, são representados pelo zircão e apatita.

Na amostra CG-98, estas manchas enegrecidas são bem definidas. Em primeiro lugar são atribuídas à allanita intergranular, que causa fraturas radiais no microclínio. Em segundo lugar, à monazita, sendo que nestas amostras também ocorre o zircão, um dos minerais responsáveis pela presença do urânio. Além destes, os elementos radioativos podem estar presentes na titanita e ainda na fluorita.



Escala: 1cm

Figura 4.5 - Granito monzonítico (Amostras CG-20, 23, 24, 30 e 31). Aspecto macroscópico (A) e resultado da autoradiografia, com pontos e porções enegrecidas (B)



Escala: 1cm

Figura 4.6 - Granito e gnaiss monzonítico (Amostras CG-33, 35, 42, 46 e 52). Aspecto macroscópico (A) e resultado da auto-radiografia, com pontos e porções enegrecidas (B)

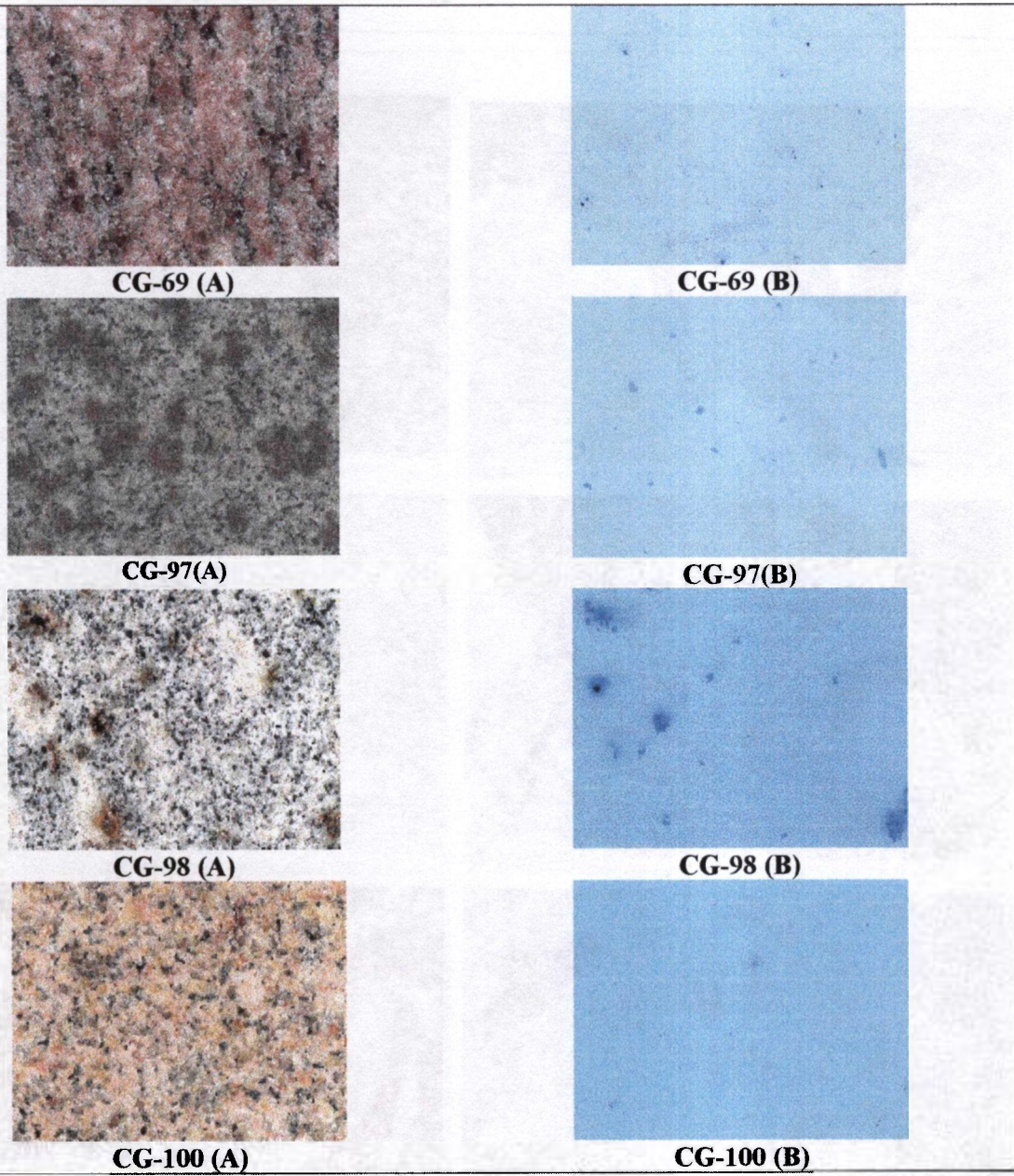


Figura 4.7 - Granito e gnaiss monzonítico (Amostras CG-69, 97, 98 e 100). Aspecto macroscópico (A) e resultado da auto-radiografia, com pontos e porções enegrecidas (B)

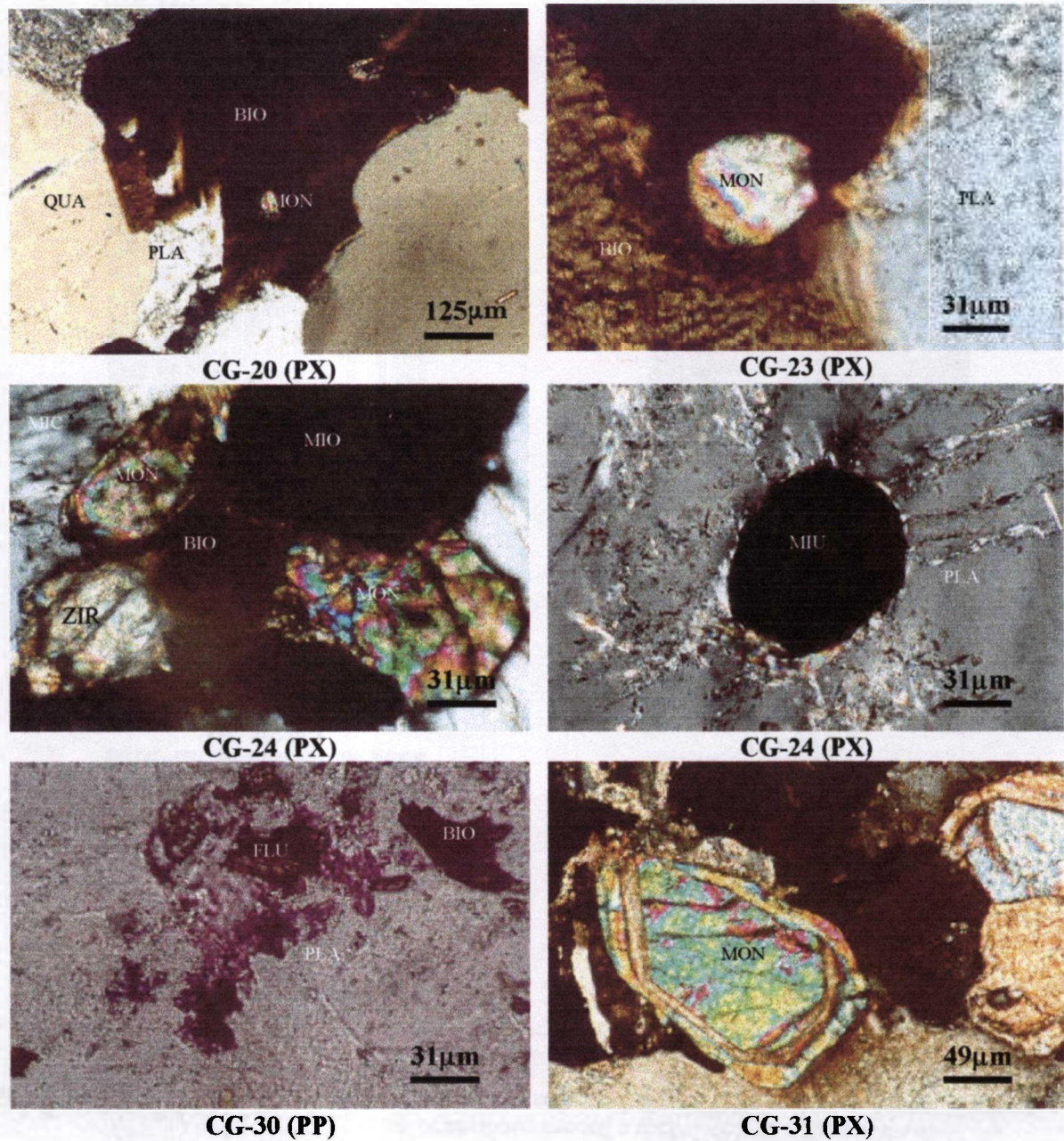


Figura 4.8 - Granito monzonítico (Amostras CG-20, 23, 24, 30 e 31). Aspecto microscópico dos minerais responsáveis pela radioatividade (MON - monazita, ZIR - zircão, MIU - óxido de urânio, possivelmente pecheblenda e FLU - fluorita roxa), com polarizadores cruzados (PX) e polarizadores paralelos (PP)

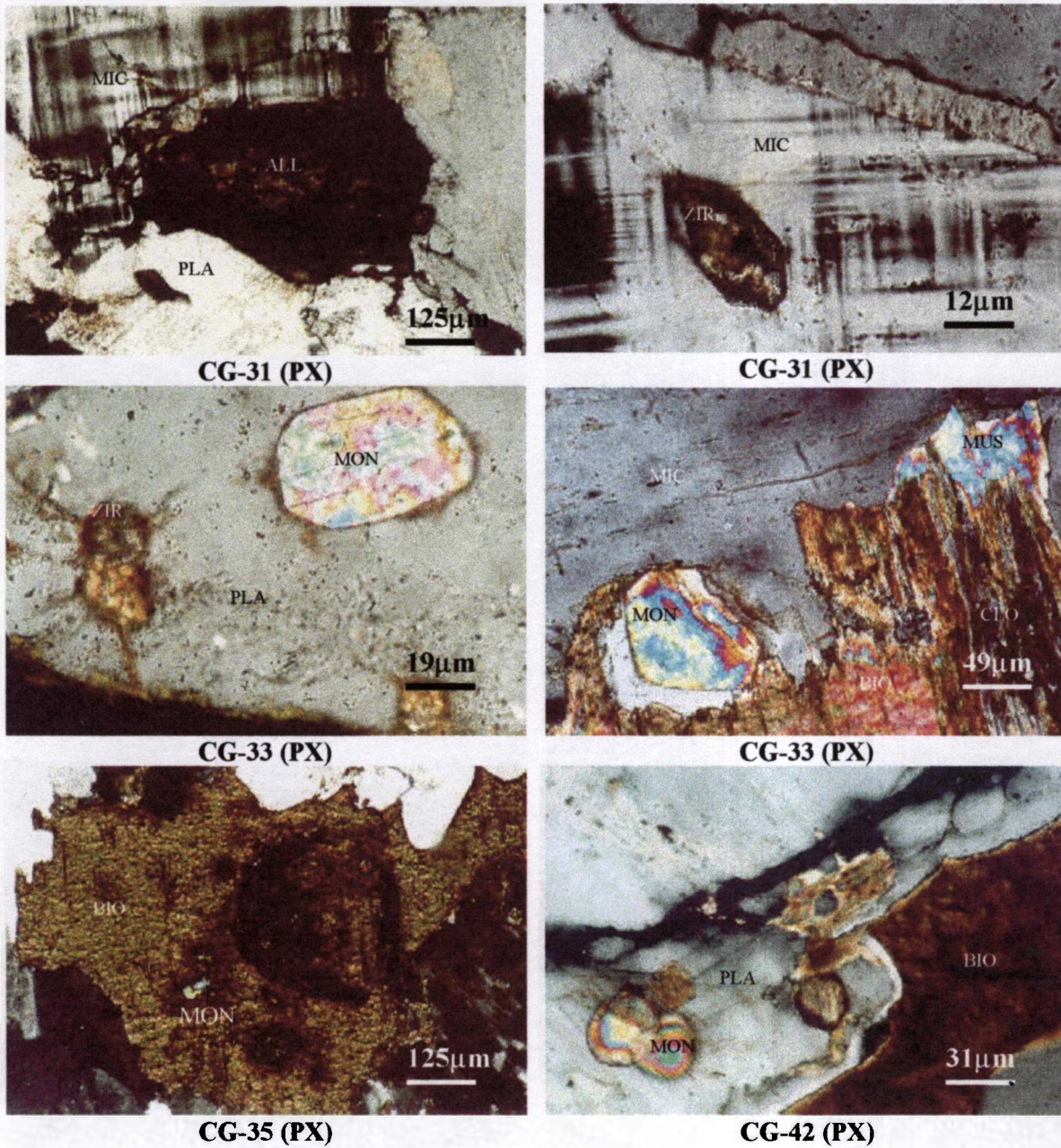


Figura 4.9 - Granito e gnaiss monzonítico (Amostras CG-31, 33, 35 e 42). Aspecto microscópico dos minerais responsáveis pela radioatividade (MON - monazita, ALL - allanita e ZIR - zircão) e minerais hospedeiros (QUA - quartzo, PLA - plagioclásio, MIC - microclínio, BIO - biotita, MUS - muscovita e CLO - clorita), com polarizadores cruzados (PX)

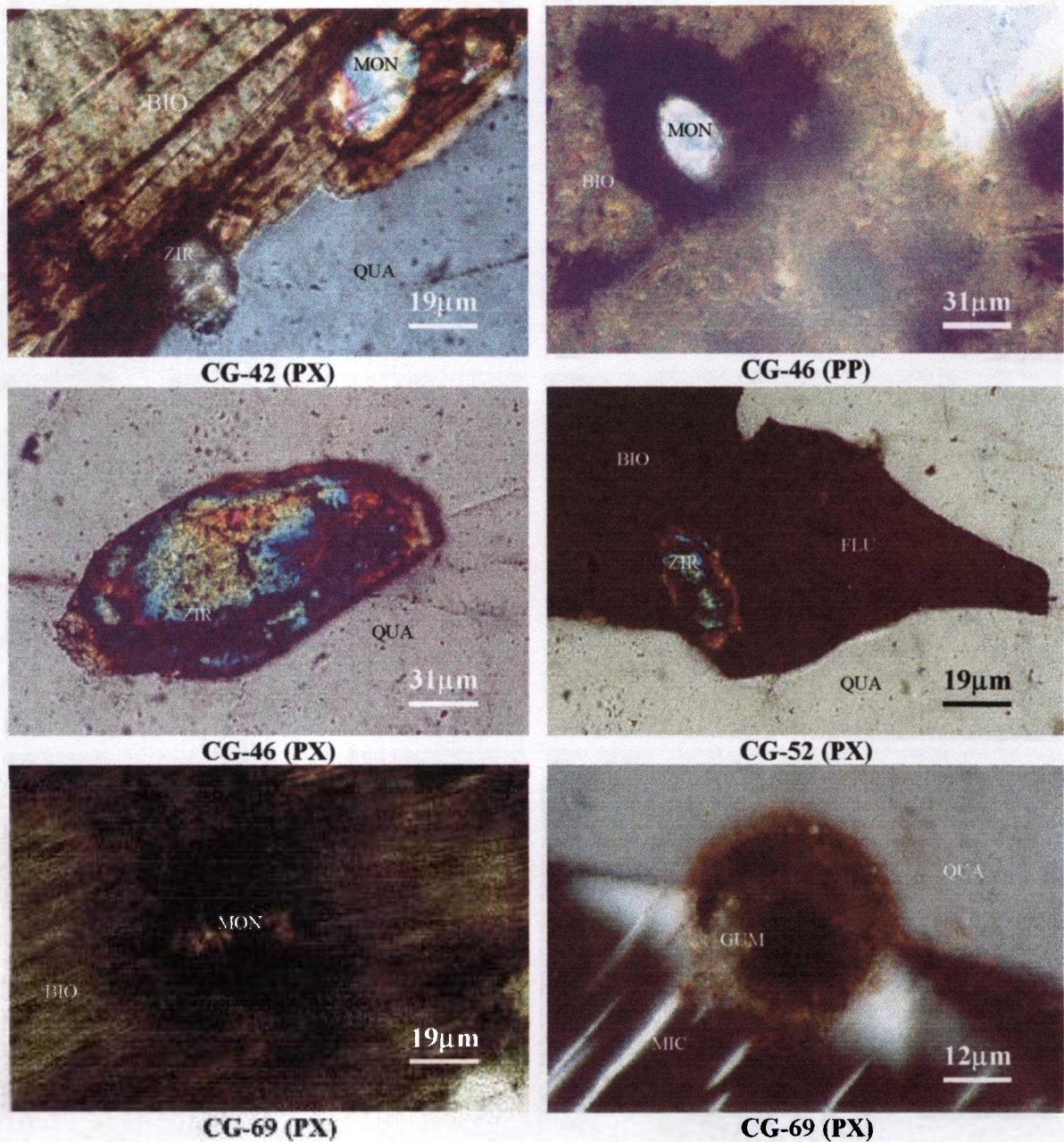


Figura-4.10 - Granito e gnaiss monzonítico (Amostras CG-42, 46, 52 e 69). Aspecto microscópico dos minerais responsáveis pela radioatividade (MIC - monazita, ZIR - zircão, GUM - gumita) e minerais hospedeiros (PLA - plagioclásio, QUA - quartzo e BIO - biotita), com polarizadores cruzados (PX) e polarizadores paralelos (PP)

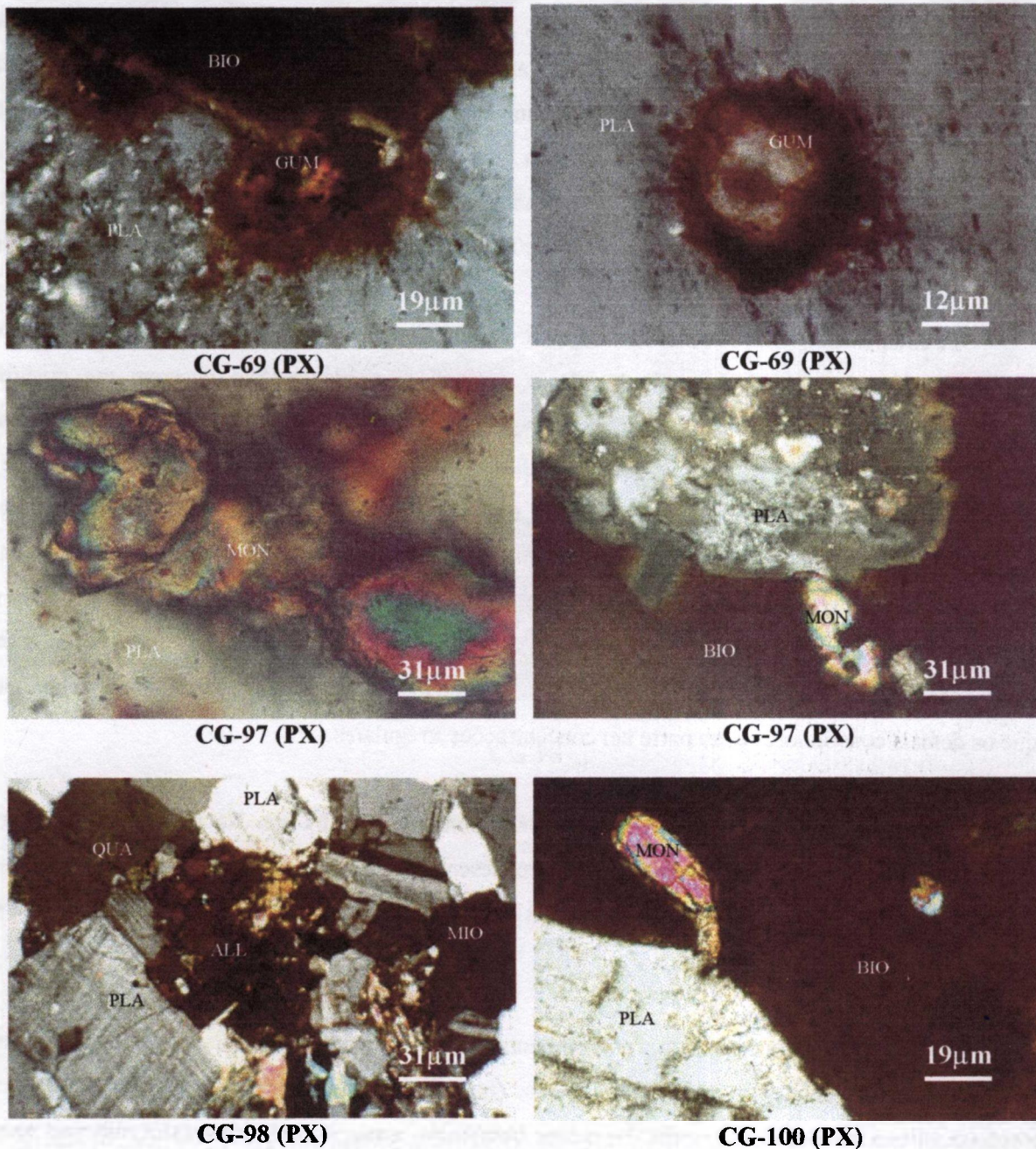


Figura-4.11 - Granito e gnaiss monzonítico (Amostras CG-69, 97, 98 e 100). Aspecto microscópico dos minerais responsáveis pela radioatividade (GUM - gumita, ALL - allanita e MON - monazita) e minerais hospedeiros (QUA - quartzo, MIC - microclínio, PLA - plagioclásio e BIO - biotita), com polarizadores cruzados (PX)

4.3.2 - Granito sienítico

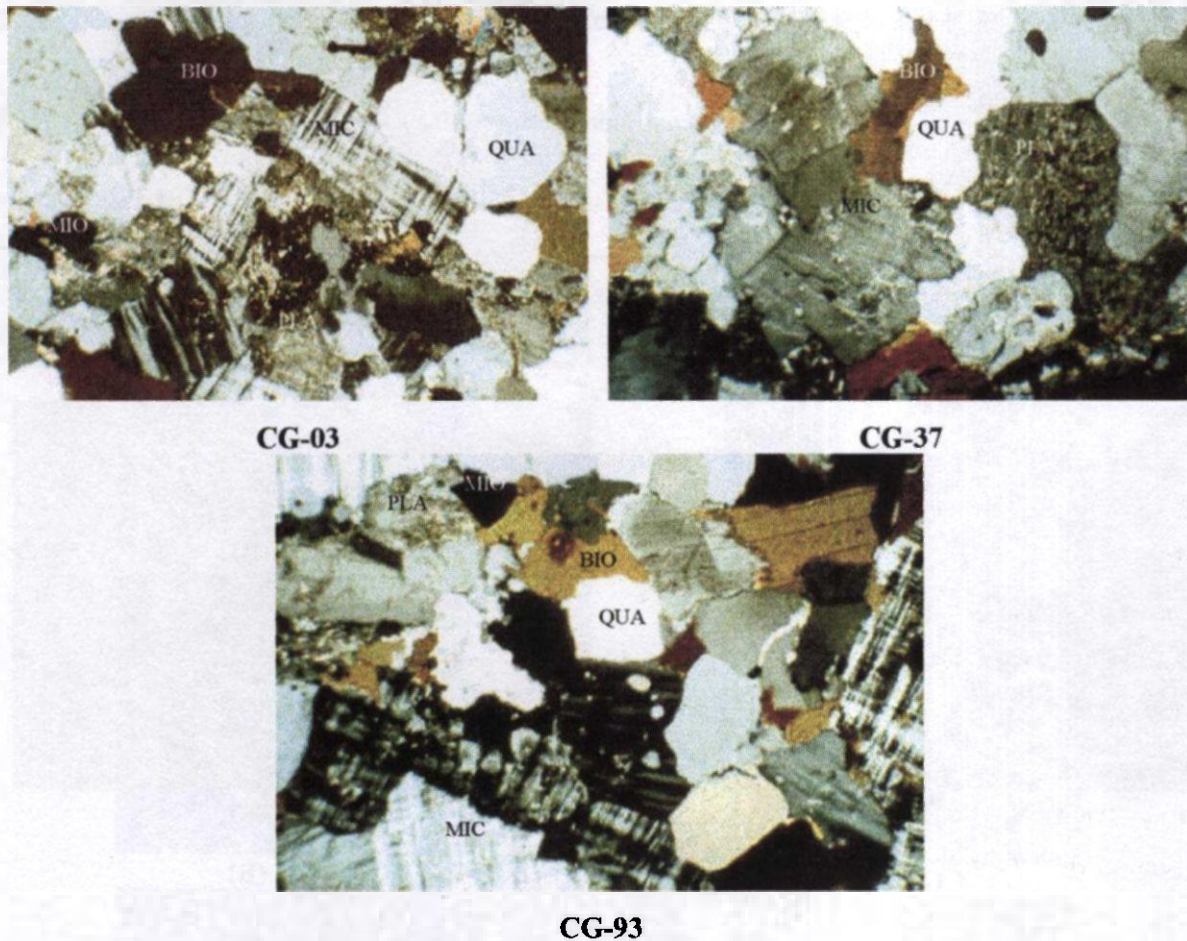
Características Gerais

Este grupo litológico (Amostras CG-03, 37 e 93) ocorre em menor proporção que o litotipo indicado anteriormente, totalizando 3 %. Estas amostras, macroscopicamente, apresentam-se com suas colorações predominantes muito semelhantes àquelas exibidas pelo granito monzonítico, ou seja, a amarela, a branca e, ocasionalmente, vermelha e lilás. Entre estas amostras pertencentes ao grupo sienítico, a amostra CG-37, demonstra uma discreta orientação preferencial, devido principalmente às concentrações mineralógicas planares, com variações em suas composições e tamanhos granulométricos.

A composição mineralógica essencial encontra-se constituída de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo (Figura 4.12), onde normalmente o microclínio e plagioclásio ocorrem em cristais bem desenvolvidos, sendo estes minerais responsáveis pela formação da maior parte dos minerais secundários, tais como argilas, sericita e carbonato. O microclínio apresenta uma combinação das geminações de albita e de periclina, com polarizadores cruzados é quadriculado ou axadrezado. O microclínio está discretamente fraturado, além de apresentar-se micropertítico e pertítico e englobando alguns fragmentos de plagioclásio. O plagioclásio demonstra, em parte, avançado estágio de alteração, com algum fraturamento e, ocasionalmente, observa-se que suas lamelas encontram-se recurvadas, porém exibem a geminação polissintética. O quartzo exibe extinção ondulante, ocorrendo em grãos de tamanhos menores que os demais constituintes e em parte em concentrações irregulares.

O mineral máfico encontra-se representado somente pela biotita. Na maior parte das amostras ocorre em finas lamelas que, às vezes, são bem desenvolvidas. Associados à biotita encontram-se, de forma freqüente, os minerais acessórios. A biotita, em todas estas amostras, exibe alguma alteração a clorita e muscovita.

Os minerais acessórios, que normalmente ocorrem com granulação muito fina, encontram-se constituídos, principalmente, por minerais opacos (magnetita/martita, pirita, ilmenita e goethita), titanita, zircão, apatita e monazita, ocorrendo, em menor freqüência, a allanita. Às vezes, estes minerais acessórios estão constituindo agregados, que são normalmente associados às lamelas de biotita.



Escala: 310µm

Figura 4.12 - Granito sienítico (Amostras CG-03, 37 e 93). Aspecto microscópico dos principais minerais (MIC - microclínio, PLA - plagioclásio, QUA - quartzo, BIO - biotita e MIO - mineral opaco), com polarizadores cruzados (PX)

Auto-radiografia

No grupo litológico caracterizado como granito sienítico (Figura 4.13), as amostras CG-03, 37 e 93 apresentam teores dos elementos radioativos <60 ppm. Neste grupo foram encontrados os maiores teores nas amostras CG-03 e 93, com 100 e 81 ppm de tório e 3 e 4 ppm de urânio, respectivamente.

Na amostra CG-03 os pontos negros observados através da auto-radiografia (Figura 4.14) são abundantes e sobressaem pelo maior tamanho, na CG-93 os pontos negros são de granulação muito fina, onde é possível observar-se alguns pontos de maior tamanho.

Pelos estudos petrográficos, os minerais responsáveis pela radioatividade na amostra CG-03 são principalmente, a monazita e, de forma mais rara, zircão, associados principalmente à biotita, proporcionando-lhe halos radioativos. O zircão também ocorre como inclusões no quartzo.

Os minerais responsáveis pela radioatividade na amostra CG-37 é principalmente a monazita, na amostra CG-93, allanita e zircão.

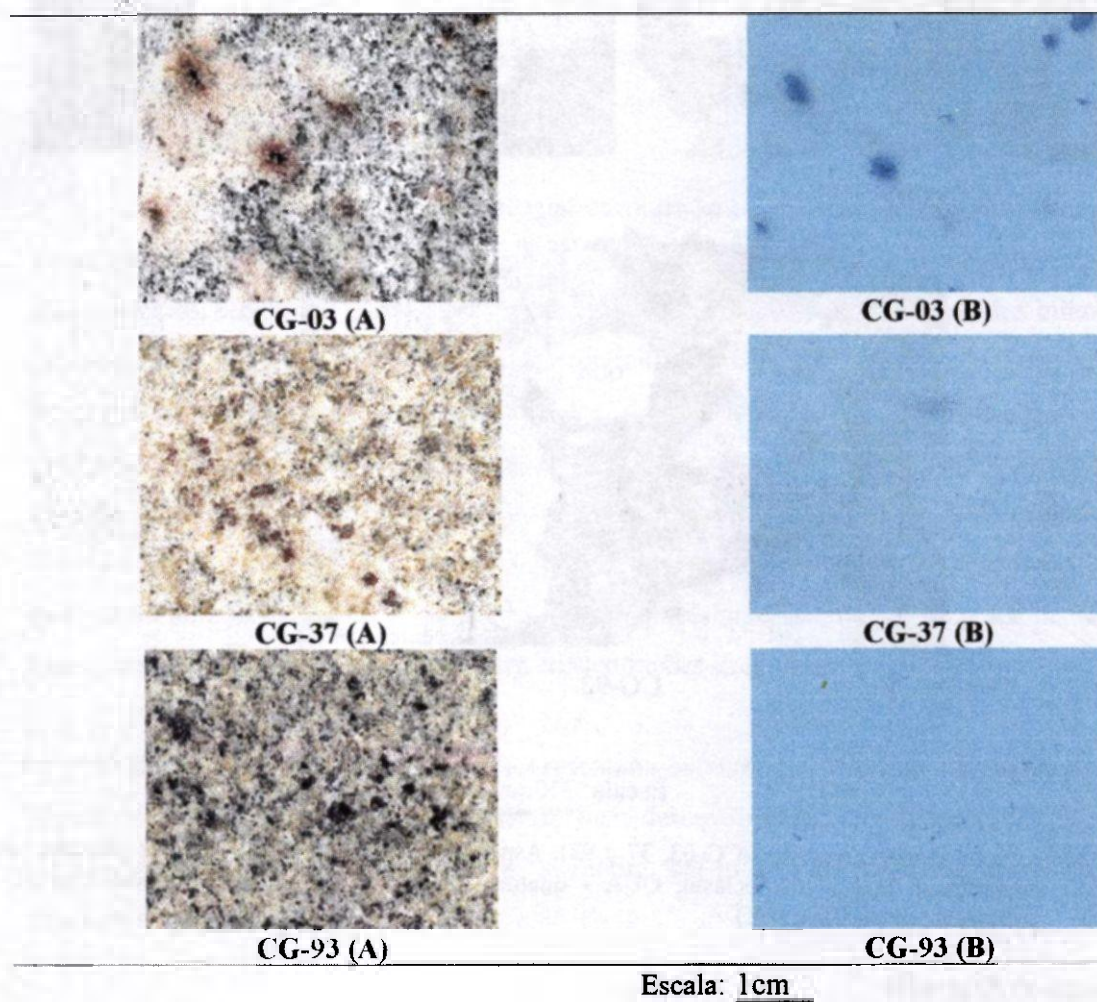


Figura 4.13 - Granito sintético (Amostras CG-03, 37 e 93). Aspecto macroscópico (A) e testes de auto-radiografia, com pontos e porções enegrecidas (B)

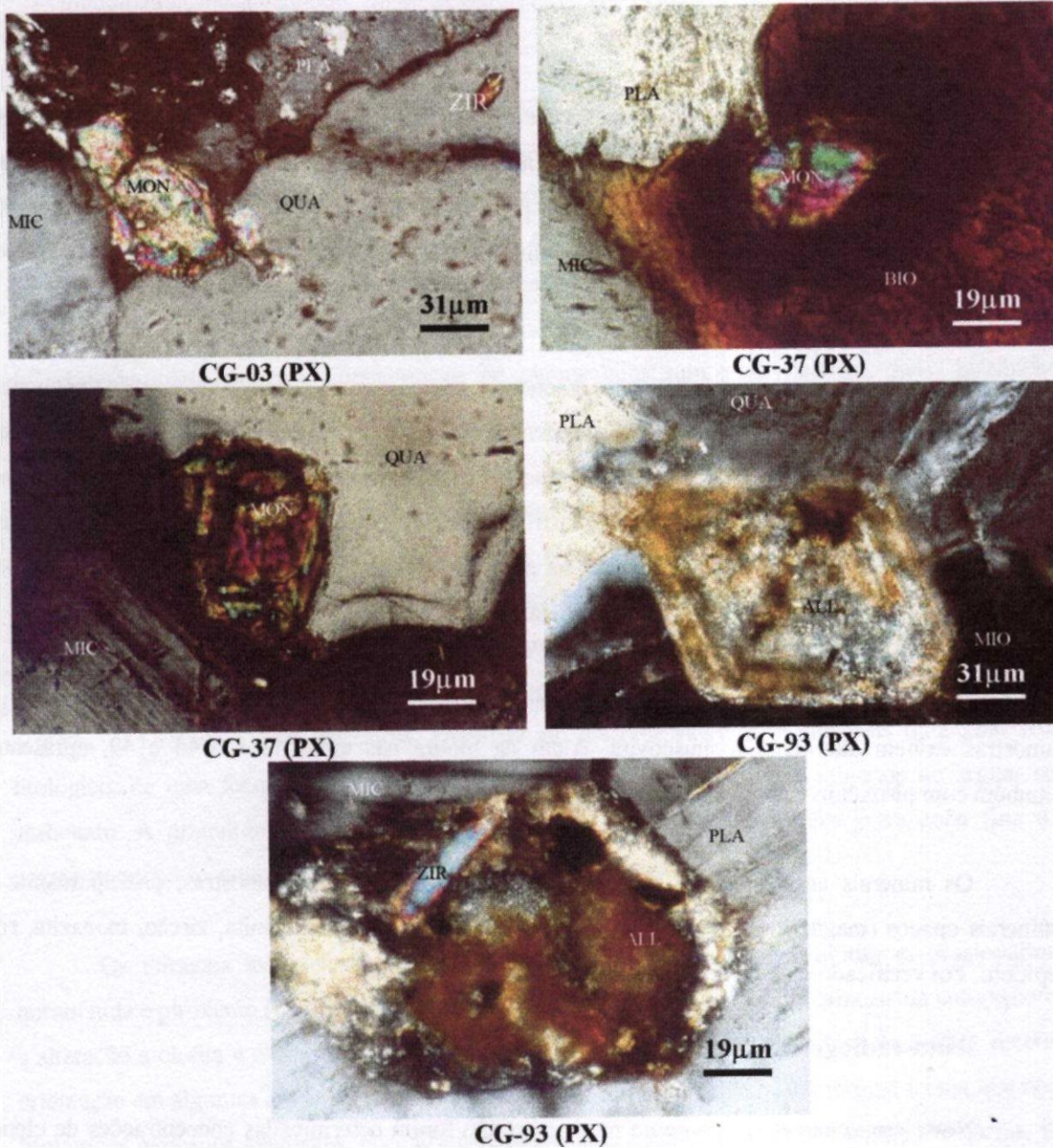


Figura 4.14 - Granito sienítico (Amostras CG-03, 37 e 93). Aspecto microscópico dos minerais responsáveis pela radioatividade (MON - monazita, ALL - allanita e ZIR - zircão) e minerais hospedeiros (BIO - biotita, QUA - quartzo e PLA - plagioclásio), com polarizadores cruzados (PX)

4.3.3 – Monzonito

Características Gerais

As amostras classificadas como monzonito (Amostras CG-16, 27, 44 e 49), ocorrem também em menor proporção, em relação aos granitos monzoníticos. Estas amostras são preferencialmente leucocráticas a mesocráticas, apresentando-se, principalmente, com coloração predominante branca, ocorrendo também amostras de coloração predominante azul e marrom. Neste grupo de amostras a textura apresentada é a “homogênea”.

No presente grupo, os minerais essenciais encontram-se representados principalmente por feldspato potássico, plagioclásio e menor quartzo, presente na amostra CG-27. O feldspato potássico é representado pelo microclínio, ocorrendo com discreto estágio de alteração a minerais de argila e também com algum fraturamento. Localmente demonstram características micropertíticas. Além dos minerais silicatados félsicos indicados anteriormente, na amostra CG-44 ocorre abundante presença de sodalita, localizada nos interstícios dos cristais de plagioclásio e microclínio.

Os minerais máficos encontram-se constituídos, predominantemente, de biotita, e em algumas amostras exibem alterações a muscovita. Além da biotita nas amostras CG-44 e 49, apresentam-se também com piroxênio e abundante concentração de hornblenda na CG-49.

Os minerais acessórios são representados, na maior parte das amostras, principalmente pelos minerais opacos (magnetita/martita, pirita e pirrotita), apatita, titanita, allanita, zircão, monazita, rutilo e epidoto. Foi verificado na amostra CG-16 a ocorrência de fluorita.

Auto-radiografia

Neste grupo caracterizado como monzonito não foram determinadas concentrações de elementos radioativos superiores a 60 ppm, portanto não estão sendo aqui apresentados os resultados dos testes da auto-radiografia. A maior concentração de elementos radioativos foi determinada na amostra CG-27, com 50 ppm de tório e 1 ppm de urânio e a menor na amostra CG-44, com 2 ppm de tório e 2 ppm de urânio.

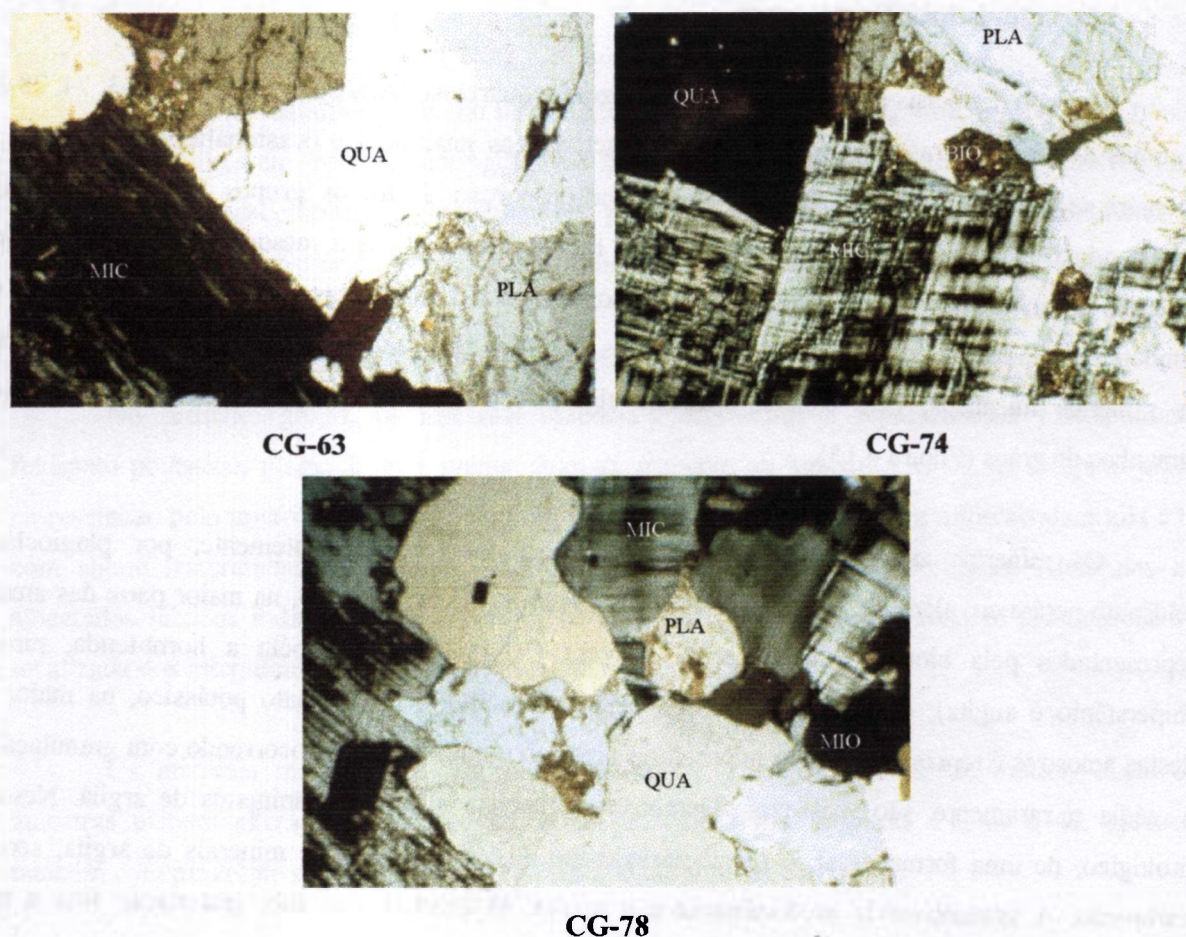
4.3.4 - Monzonito quartzoso

Características Gerais

O grupo de rochas correspondente ao monzonito quartzoso (Amostras CG-09, 19, 63, 74, 78 e 88), algumas destas amostras apresentam-se com características gnáissicas e ocasionalmente charnoquíticas, encontra-se também entre os litotipos de menor proporção dentre os grupos litológicos estudados, totalizando 6 %. Os monzonitos quartzosos são rochas leucocráticas a mesocráticas, com a coloração amarela, cinza, creme e verde-escura. Ocorrem com texturas homogêneas (Amostras CG-09, 19 e 63) e também orientadas ou “movimentadas” (Amostras CG-74 e 78), característica determinada pela presença de minerais micáceos, pela concentração de alguns constituintes e, também, pela distribuição dos tamanhos de grãos (Figura 4.15).

Os minerais essenciais félsicos são representados, predominantemente, por plagioclásio e feldspato potássico, além de quartzo subordinado. Os minerais máficos são, na maior parte das amostras, representados pela biotita, sendo que na amostra CG-19 ocorre também a hornblenda, piroxênio (hiperstênio e augita), que foi caracterizada como charnoquito. O feldspato potássico, na maior parte destas amostras é representado pelo microclínio pertítico e micropertítico, ocorrendo com granulação fina a média e, raramente, são grosseiros. Demonstram discreta alteração a minerais de argila. Neste tipo litológico, de uma forma geral, o plagioclásio exibe discreta alteração a minerais de argila, sericita e carbonato. A granulometria predominante é a média. O quartzo, que tem granulação fina a média, constitui, em parte, concentrações irregulares e exibem extinção ondulante.

Os minerais máficos são representados predominantemente por biotita e, ocasionalmente, de hornblenda e piroxênio (CG-19). A biotita apresenta-se, principalmente, em lamelas de coloração castanha e alteração a clorita e a muscovita. A concentração e tamanhos granulométricos da biotita, determinam a orientação em algumas amostras (CG-74 e 78). A estes minerais máficos, da mesma forma que nos grupos litológicos indicados anteriores, encontram-se associados a maior parte dos minerais acessórios. Estes são constituídos de opacos (magnetita/martita, ilmenita, pirita), titanita, apatita, allanita, zircão e monazita.



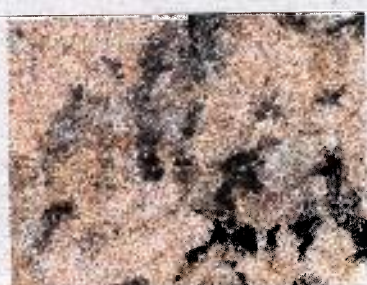
Escala: 310 μ m

Figura 4.15 - Monzonito quartzoso e gnaiss monzonito quartzoso (Amostras CG-63, 74 e 78). Aspecto microscópico dos principais minerais (MIC - microclínio, PLA - plagioclásio, QUA - quartzo, B - biotita e MIO - mineral opaco), com polarizadores cruzados (PX)

Auto-radiografia

A maior parte destas amostras encontra-se com concentração dos elementos radioativos acima de 60 ppm. A concentração de tório aqui encontrada varia entre 4 ppm e 94 ppm e urânio entre <1 a 7 ppm. As maiores concentrações de tório ocorrem nas amostras CG-63 e 74 e de urânio na amostra CG-78 (Figura 4.16). As manchas enegrecidas apresentam-se em pontos finos e distribuídas em toda a amostra. Foi verificado na amostra CG-63 que os pontos negros muito finos, são distribuídas de maneira irregular.

Nos estudos petrográficos (Figura 4.17) observou-se que, nas amostra CG-63, 74 e 78, o principal mineral responsável pela radioatividade é a monazita, sendo também atribuídos ao zircão e à apatita.



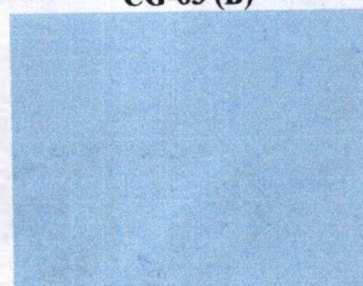
CG-63 (A)



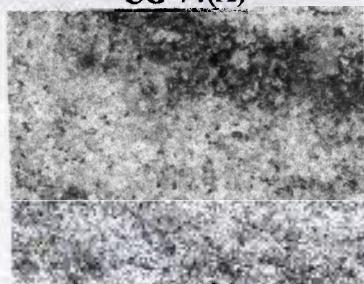
CG-63 (B)



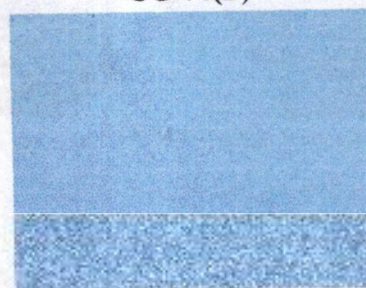
CG-74(A)



CG-74(B)



CG-78 (A)



CG-78 (B)

Escala: 1cm

Figura 4.16 - Monzonito quartzoso e gnaiss monzonito quartzoso (Amostras CG-63, 74 e 78). Aspecto macroscópico (A) e testes de auto-radiografia, com pontos e porções enegrecidas (B)

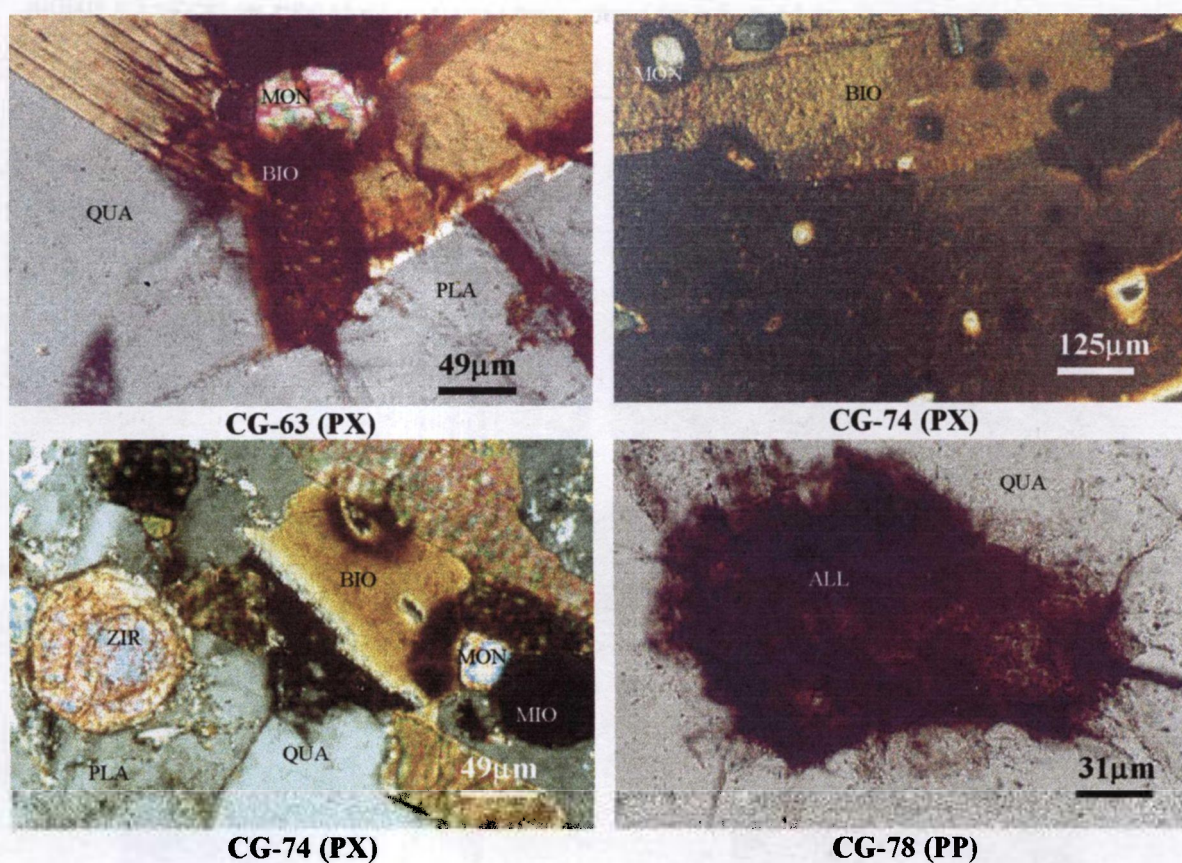


Figura 4.17 - Monzonito quartzoso e gnaiss monzonito quartzoso (Amostras CG-63, 74 e 78). Aspecto microscópico dos minerais responsáveis pela radioatividade (MON - monazita, ZIR - zircão e ALL - allanita) e minerais hospedeiros (BIO - biotita, PLA - plagioclásio e QUA - quartzo), com polarizadores cruzados (PX) e polarizadores paralelos (PP)

4.3.5 - Granodiorito

Características Gerais

O grupo dos granodioritos (Amostras CG-41, 47, 48, 54, 73, 76, 79, 81 e 82), macroscopicamente, apresenta-se com coloração predominante cinza e verde, leucocrática a mesocrática. Algumas amostras são de cores branca e negra. A maior parte das amostras tem texturas movimentadas, outorgando-lhes características gnáissicas, migmatíticas e granulíticas, e algumas apresentam-se homogêneas.

Os minerais félsicos são constituídos essencialmente de plagioclásio, com subordinada presença de feldspato potássico e quartzo. O feldspato potássico, é representado pelo microclínio com geminação

em xadrez, micropertítico e pertítico e exibe alteração a minerais de argila. A granulação varia de média a grossa. Os cristais de plagioclásio ocorrem fraturados, preferencialmente, de tamanho fino a médio e, em parte, mostram um processo de alteração a minerais de argila, sericita e carbonato, sendo possível observar-se a sua geminação polissintética. O quartzo, da mesma forma que o plagioclásio, está presente em tamanhos granulométricos finos a médios e com extinção ondulante. Ocasionalmente constitui grãos bem desenvolvidos.

O mineral máfico na maior parte das amostras é constituído predominantemente por biotita, que ocorre em finas lamelas disseminadas irregularmente. A estes minerais micáceos encontram-se, principalmente, associados os minerais acessórios. Na amostra CG-79 foi determinada também a hornblenda.

Os minerais acessórios são constituídos de minerais opacos (magnetita/martita, ilmenita, pirita e calcopirita), titanita, apatita, allanita, zircão, monazita, rutilo, fluorita e uraninita/gumita. Na amostra CG-54 foi também determinada a granada como acessório frequente.

Auto-radiografia

O grupo correspondente ao granodiorito apresenta-se com elementos radioativos inferiores a 60 ppm, portanto não estão sendo apresentados aqui os testes de auto-radiografia. As maiores concentrações de tório foram determinadas nas amostras CG-41 e 81 (25 ppm) e para urânio na amostra CG-47 (16 ppm).

4.3.6 – Sienito

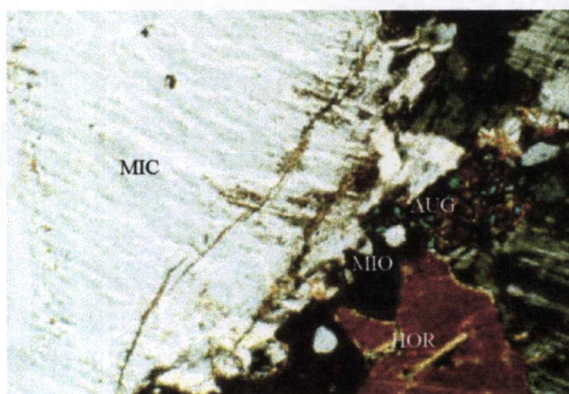
Caracterização

O grupo classificado como sienito (Amostras CG-43, 90 e 92) apresenta-se mesocrático e com coloração predominante marrom e textura “homogênea”.

Os minerais félsicos são constituídos predominantemente pelo feldspato potássico e de forma subordinada, o plagioclásio. O quartzo é inexistente neste tipo litológico. O microclínio e o plagioclásio ocorrem, principalmente, em cristais bem desenvolvidos; o microclínio é micropertítico e pertítico, apresentando-se com discreto a avançado estágio de alteração. O feldspato potássico se altera a minerais de argila e o plagioclásio, demonstra sua geminação polissintética, e altera-se a minerais de argila e sericita. Na amostra CG-90 (Figura 4.18), por exemplo, o microclínio exibe abundantes inclusões de

apatita e finas lamelas de biotita. Os minerais máficos, na maior parte destas amostras, são representados pela biotita e hornblenda, onde em parte esta biotita demonstra alguma alteração a clorita e muscovita. Foi verificada também a ocorrência de piroxênio (augita e aegirina-augita) em todas as amostras (CG-43, 90 e 92).

Os minerais acessórios são constituídos, na maior parte das amostras, de minerais opacos (magnetita/martita e pirita), apatita, titanita, leucóxênio, allanita, gumita, epidoto, zircão, monazita e rutilo. Foi determinado calcopirita na CG-90.



CG-90

Escala: 310 μ m

Figura 4.18 - Sienito (CG-90). Aspecto microscópico dos principais minerais (MIC - microclínio, HOR - hornblenda, AUG - augita e MIO - mineral opaco), com polarizadores cruzados (PX)

Auto-radiografia

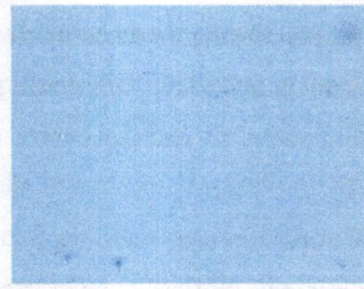
O grupo litológico classificado como sienito, encontra-se representado pela amostra CG-90, com 76 ppm de tório e 5 ppm de urânio.

Nesta amostra, além dos pontos negros muitos finos distribuídos em toda a amostra, existem também alguns pontos negros de maior tamanho (Figura 4.19).

Pelos estudos petrográficos, os pontos negros de menor e maior tamanho encontram-se atribuídos, predominantemente, à monazita, allanita e gumita e, de forma secundária, ao zircão e à apatita (Figura 4.20).



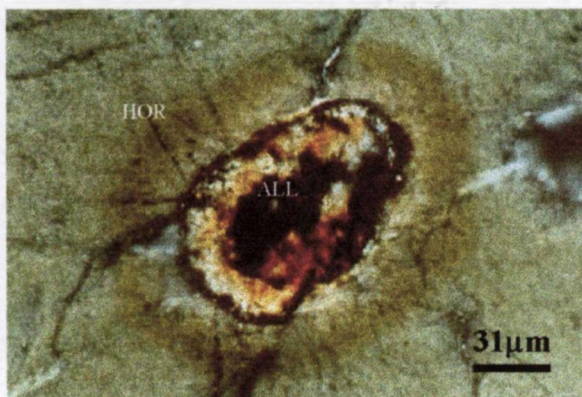
CG-90(A)



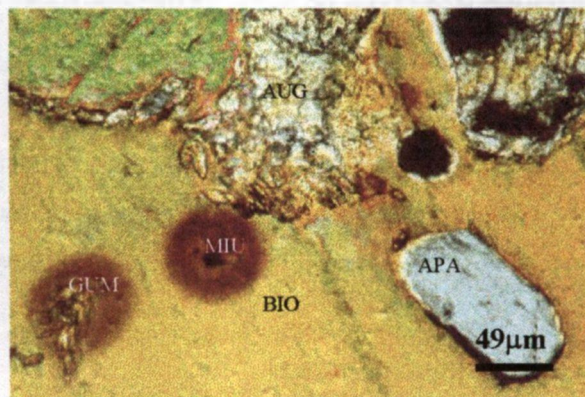
CG-90(B)

Escala: 1cm

Figura 4.19 – Sienito (CG-90) aspecto macroscópico (A) e resultado da auto-radiografia, apresentando pontos e porções enegrecidas (B)



CG-90 (PP)



CG-90 (PX)

Figura 4.20 - Sienito (CG-90). Aspecto microscópico dos minerais responsáveis pela radioatividade (ALL - allanita, GUM - gumita, MIU - mineral de urânio e APA - apatita), minerais hospedeiros (HOR - homblenda e BIO - biotita e AUG – augita), com polarizadores cruzados (PX) e polarizadores paralelos (PP)

4.3.7 – Monzogabro monzodiorítico

Características Gerais

O litotipo determinado como monzogabro monzodiorítico está representado somente por uma amostra (CG-71). Macroscopicamente é melanocrático, apresentando-se com a coloração predominante negra.

Os minerais félsicos são constituídos, predominantemente, de plagioclásio, sendo que o quartzo ocorre em proporções muito escassas. O plagioclásio ocorre com granulação média a grossa. Apresenta-se de composição da andesina, com macla polissintética, onde a maior parte dos cristais são zonados e com algum fraturamento. O quartzo ocorre de forma escassa, de granulação fina a média e com extinção ondulante.

Os minerais máficos apresentam-se com granulação média a grossa. Encontram-se representados, principalmente, pela augita, existindo como constituintes subordinados a biotita e em menor proporção a hornblenda. Estes minerais máficos, em sua maior parte, determinam concentrações ou porções distribuídas irregularmente, onde encontram-se associados a maioria dos minerais acessórios.

Os minerais acessórios, são constituídos, preferencialmente, de apatita, mineral opaco (magnetita, pirita e calcopirita) e, de forma secundária, rutilo.

Auto-radiografia

A amostra CG-71, correspondente ao monzogabro monzodiorítico, apresenta-se com elementos radioativos inferiores a 60 ppm, portanto não estão sendo apresentados aqui os testes de autoradiografia. Nesta amostra o teor de urânio é 2 ppm e de tório é 4 ppm.

4.3.8 - Gabro quartzoso

Características Gerais

O litotipo classificado de gabro quartzoso está representado pela amostra CG-99. Macroscopicamente é melanocrática, com a coloração predominante cinza escura ou negra. Apresenta-se com granulação média a grossa.

Os minerais félsicos encontram-se constituídos predominantemente de plagioclásio e, em menor proporção, o quartzo. O plagioclásio, que em parte é zonado, apresenta-se em cristais bem desenvolvidos e exibe macla polissintética. Frequentemente sua geminação é truncada pela presença de fraturamentos devidos a processos tectônicos. Observou-se, que ocasionalmente está englobando cristais menores de piroxênio e biotita. O quartzo apresenta-se em finos cristais, distribuídos intergranularmente, que raramente, constituem grãos de maior tamanho e, normalmente, apresentam leve extinção ondulante.

Os minerais máficos são constituídos de abundante piroxênio e lamelas de biotita (hiperstênio e augita), associadas a maior parte dos minerais acessórios presentes, sendo que de uma forma geral estes minerais máficos determinam concentrações de formas irregulares, distribuídas em toda a amostra.

Os minerais acessórios, que preferencialmente são associados às concentrações de minerais máficos, encontram-se representados predominantemente pelos minerais opacos (magnetita/martita, pirita e calcopirita), com subordinada presença de titanita e, de forma rara, a monazita.

Auto-radiografia

A amostra CG-99, caracterizada como gabro quartzoso, com 2 ppm urânio e 15 de tório, inferiores ao total de 60ppm de elementos radioativos, não estão sendo apresentados aqui os testes de auto-radiografia.

4.4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E AUTO-RADIOGRÁFICA

No estudo macroscópico das 100 amostras de rochas “graníticas” ornamentais e de revestimento observou-se o predomínio de uma grande variedade de cores claras, onde são observadas, principalmente, as colorações amareladas, acinzentadas, esbranquiçadas, esverdeadas e avermelhadas. Ocorrem também, porém de forma escassa, outras colorações, que são definidas como: marrom, rósea, lilás, azul, negra, entre outras.

A distribuição percentual das amostras selecionadas em grupos litológicos, conforme determinação litológica modal usando-se o diagrama de Streckeisen (1976), onde foram caracterizados, além de granitos, também gnaisses, migmatitos, charnoquitos e granulitos, ficou da seguinte forma apresentada: granito monzonítico (73 %), granodiorito (9 %), monzonito quartzoso (6 %), monzonito (4 %), granito sienítico (3 %), sienito (3 %), monzonito monzodiorítico (1 %) e gabro quartzoso (1 %).

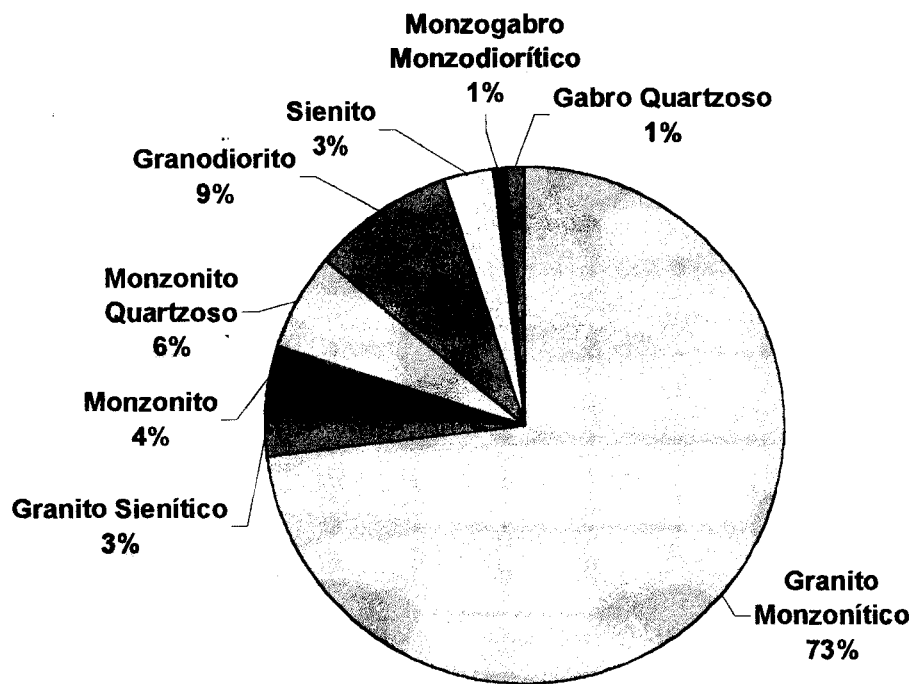


Figura 4.21 - Distribuição percentual dos grupos litológicos das 100 rochas “graníticas” amostradas, com presença de gnaisses, migmatitos, charnoquitos e granulitos, utilizando-se diagrama QAP de Streckeisen (1976)

As texturas são, principalmente, homogêneas ou sem orientação, sendo também observadas, porém em menor proporção, texturas orientadas ou gnáissicas e migmatitos, comercialmente denominadas de “movimentadas”.

A composição mineralógica essencial, por exemplo, daquelas amostras que apresentam-se de coloração clara, estudadas ao microscópio petrográfico, representando concentrações mineralógicas maiores que 80 % do total da amostra, são normalmente constituídas de quartzo (9,7 a 33,4 %), feldspato potássico, representado predominantemente pelo microclínio (24,3 a 51,3 %) e plagioclásio sódico de composição albita-oligoclásio (24,8 a 41,4 %).

Entre outros minerais comuns nestas amostras, porém em proporções bem menores, encontram-se as micas (biotita, muscovita) e clorita, sendo que também foi verificado em algumas amostras a ocorrência da hornblenda, piroxênio, granada, sillimanita, andaluzita, nefelina, sodalita e cordierita.

Os minerais secundários, que sugerem, em parte, relação com a definição da coloração destas amostras, são provenientes da alteração dos minerais essenciais, e exibem diferentes graus de alteração e são representados principalmente pelos minerais de argila, sericita, carbonato, óxido de ferro e clorita.

Os minerais acessórios, que normalmente ocorrem em concentrações menores que 1 %, e ocasionalmente, apresentam-se em teores pouco superiores, são representados, preferencialmente, pelo zircão, monazita, apatita, mineral opaco (magnetita/martita, ilmenita, pirita, pirrotita, goethita, calcopirita, molibdenita), titanita, allanita, rutilo, fluorita e epidoto.

Os resultados da auto-radiografia permitiram a localização dos minerais radioativos e sua distribuição através de formas, tamanhos, intensidades de manchas e finos pontos, distribuídos irregularmente. Estas manchas foram verificadas pela microscopia óptica e microssonda eletrônica, e correspondem a monazita, allanita, zircão, apatita, titanita, torita e óxido de urânio/gumita.

Os minerais radioativos, em sua maior parte, definem halos nos minerais hospedeiros, constituindo auréolas coloridas em tom acastanhadas, preferencialmente nos minerais que contém ferro, como a biotita e a hornblenda. Os halos radioativos ocorrem também no plagioclásio e no quartzo, porém apresentam-se com menor evidência. Foram verificados halos em piroxênio, turmalina, cordierita e andaluzita (Heinrich 1966). Em rochas caracterizadas como aegirina-augita albitito, da jazida de urânio de Lagoa Real, no Sul da Bahia, foram observados (Salas 1995) halos radioativos no plagioclásio de composição da albita e também no piroxênio (aegirina-augita). Em rochas cataclásticas silicatadas, estudadas ao microscópio com luz refletida (Salas & Rocha 1999), existem halos radioativos provocados pela ocorrência de uraninita nos minerais hospedeiros, principalmente na magnetita.

Além dos halos, foram também verificadas fraturas radiais, que ocorrem, preferencialmente, nos minerais radioativos metamíticos, como por exemplo, a allanita, fraturando o mineral hospedeiro ou aqueles que se encontram próximos. Estas fraturas ocorrem também, de forma mais discreta, em outros minerais radioativos, como monazita e zircão.

Outros pontos negros bem definidos, ocorrem em maiores concentrações de elementos radioativos, porém quando ocorrem em menor proporção, são atribuídos à torita e óxido de urânio (pecheblenda/uraninita) ou seu produto de alteração (gumita). Os pontos negros de menor tamanho e que encontram-se com uma menor definição, em sua maior parte são causados, principalmente, pelo zircão, apatita, titanita e, secundariamente, pela fluorita, xenotímo e bastnasita.

No grupo do granito monzonítico, as maiores concentrações de pontos enegrecidos apresentam-se de forma bem definida e distribuídas irregularmente. Ocorrem, principalmente, nas amostras CG-03 e 98, com 100 e 105 ppm de tório e 4 e 5 ppm de urânio, respectivamente. Estas amostras têm as maiores concentrações dos elementos radioativos entre as amostras estudadas.

A amostra CG-30, exibe pontos enegrecidos dispersos irregularmente, tênues ou bem definidos, tem teores de 20 ppm de urânio e 59 ppm de tório. Esta amostra encontra-se entre aquelas com os maiores teores de urânio dentre as amostras selecionadas.

A amostra CG-69 destaca-se pela ocorrência dos pontos negros tênues onde encontram-se freqüentes os pontos bem definidos. Nesta amostra foram determinados 30 ppm de urânio e 44 ppm de tório, sendo este o maior teor de urânio dentre todas as amostras estudadas.

Na amostra CG-42, além dos pontos negros estarem presentes com maior freqüência, estão bem disseminados e definidos. Nesta amostra foram determinados 130 ppm de tório e 4 ppm de urânio, revelando conter a maior concentração de tório dentre as amostras estudadas.

CAPÍTULO 5

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

5.1 - ANÁLISES QUÍMICAS

As análises dos principais óxidos nas 100 amostras de rochas graníticas ornamentais selecionadas foram realizadas pela fluorescência de raios X e complementadas com as análises de absorção atômica, fotometria de chama, volumetria, gravimetria e microsonda eletrônica. Os resultados destas análises (Tabela 1.AP-2, do Apêndice 2) foram utilizados para se determinar a classificação geoquímica destas rochas. Para isto foram utilizados o diagrama de La Roche (1964), onde calcularam-se as proporções em milicaticões dos principais óxidos, usando-se os parâmetros $R1 = 4Si - 11(Na+K) - 2(Fe+Ti)$ e $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$ e o diagrama de Cox *et al.* (1979) usando-se o álcalis total (Na_2O e K_2O) e a sílica (Tabela 2.AP-2, do Apêndice 2).

A utilização do diagrama de La Roche (1964) (Figura 5.1) e Cox *et al.* (1979) (Figura 5.2), possibilitou a classificação geoquímica das amostras estudadas. Observou-se no diagrama de La Roche (1964) a ocorrência predominante do grupo de amostras caracterizadas como granito alcalino e de forma subordinada ao granito sienítico, seguido pelos grupos classificados como granito alcalino/sienítico, sienito e granito monzonítico e, finalmente, pelos grupos denominados de granito monzonito, diorito, tonalito e gabro. Nos grupos litológicos estas amostras, em parte, foram caracterizadas, principalmente, como gnaisses e em menor frequência como migmatitos, charnoquitos e granulitos. Pelo diagrama de Cox *et al.* (1979) a maior parte destas amostras foram caracterizadas como granito alcalino e granito subalcalino, de forma subordinada encontram-se presentes os sienitos e são pouco frequentes os demais tipos litológicos. Neste diagrama foi verificado a não inclusão de algumas amostras metamórficas, constituídas de elevados teores de sílica e menores teores de sódio e potássio.

A determinação dos parâmetros de saturação em alumina foi possível com a aplicação do classificação de Shand (1927), utilizando-se os óxidos de Al_2O_3 (A), CaO (C), K_2O (K) e Na_2O (N). Na determinação de saturação em alumina identificaram-se, principalmente, as rochas peraluminosas ($A/CNK > 1$), onde o Al_2O_3 é maior que a soma do CaO , K_2O e Na_2O . Excepcionalmente, foram identificadas as rochas peralcalinas ($A/CNK < 1$ e $A < NK$). Finalmente, de forma ocasional, ocorrem também as amostras de composição metaluminosa ($A/CNK < 1$ e $A > NK$).

Nas 23 amostras de rochas graníticas ornamentais, com teores totais de urânio e tório igual ou superior a 60 ppm, foram também analisados o plagioclásio e o feldspato potássico pela microsonda eletrônica. Nos plagioclásios foram determinados teores de albita (Ab) entre 68,8 a 98,6 %, de anortita (An) entre 6,2 a 30,8 % e Or menor que 2,5 %. No feldspato potássico foram determinados teores de Or entre 80,7 a 95,9 %, de Ab entre 1,5 a 16,6 % e de An menor que 0,5 %. Estas amostras (Figura 5.3) constituem, principalmente, o grupo de amostras caracterizadas como granito alcalino, granito alcalino/sienítico, e granito sienítico, ocorrendo de forma subordinada os grupos correspondentes ao monzonito e sienito (Salas *et al.* 2002).

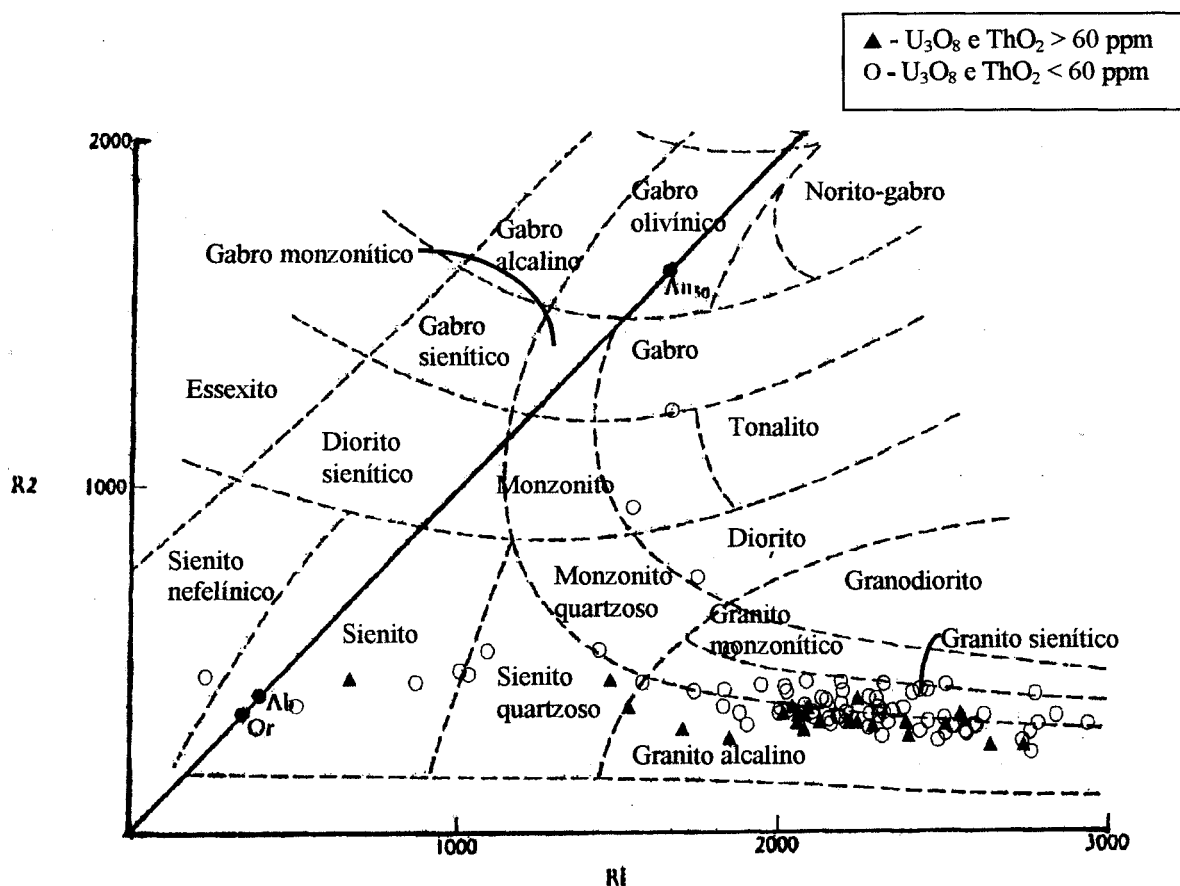


Figura 5.1 - Classificação das 100 rochas graníticas ornamentais com urânio e tório acima de 60 ppm, segundo diagrama de La Roche (1964), calculado a partir da proporção de milicaticões: $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$ e $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$.

As análises de elementos menores ou traços (BaO , ZrO_2 , Rb_2O_3 , SrO , Y_2O_3 , U_3O_8 e ThO_2) das 100 amostras selecionadas, foram determinadas pela fluorescência de raios X, espectrometria de raios X e ativação neutrônica (Tabela 1.AP-2, do Apêndice 2). Nas análises das terras raras pela espectrometria de

energia de raios X, tratou-se somente das terras raras leves (La_2O_3 , Ce_2O_3 , Pr_6O_{11} e Nd_2O_3) que, normalmente, ocorrem em concentrações mais expressivas nestas rochas de composição granítica. Os resultados obtidos foram importantes para verificar-se a concentração destes elementos traço e sua associação com os minerais radioativos (Figura 5.4), nos diversos grupos litológicos caracterizados.

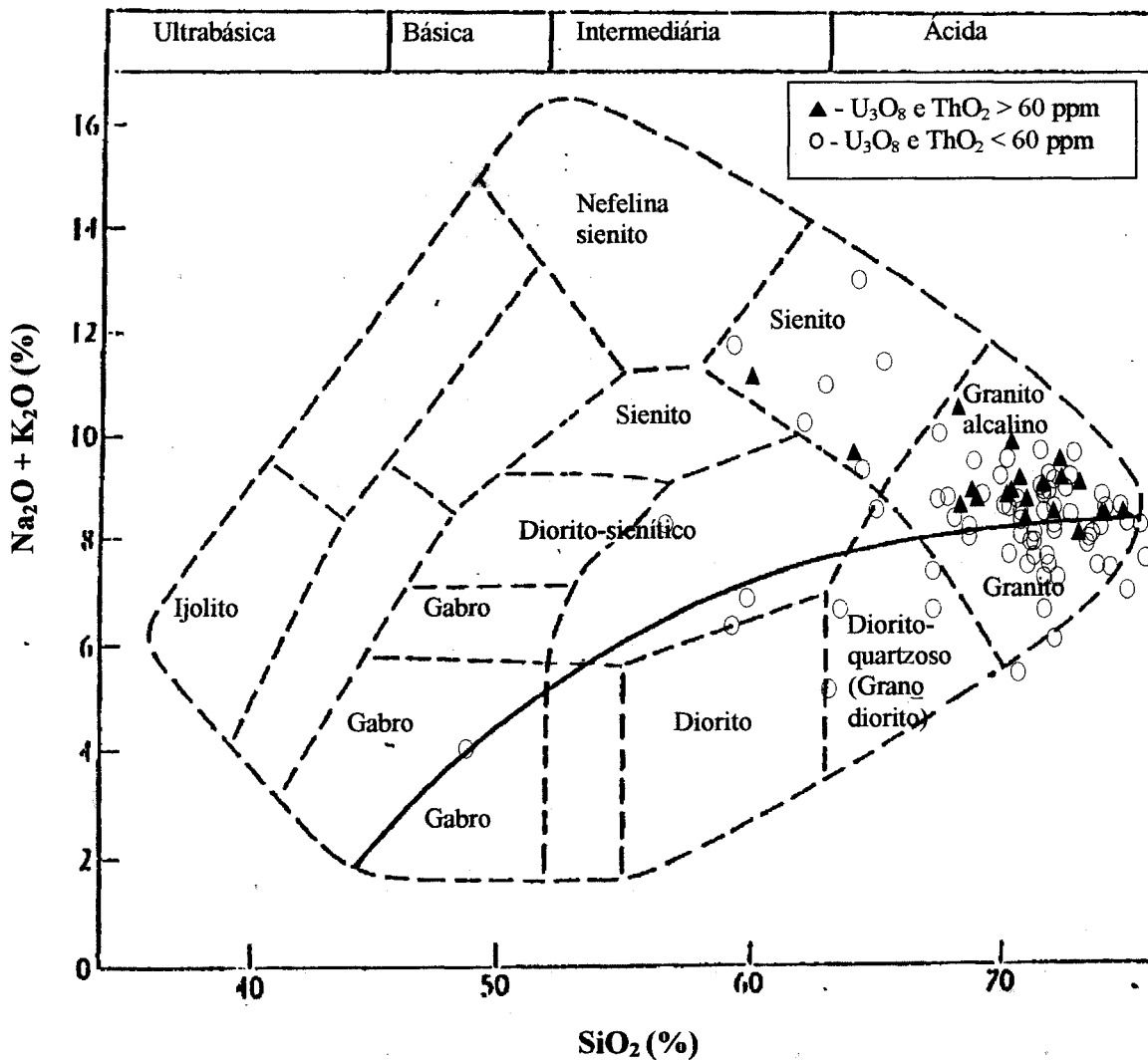


Figura 5.2 - Classificação química e nomenclatura das 100 rochas graníticas ornamentais usando álcali total e sílica (TAS) diagrama de Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989). A linha curva sólida subdivide a rocha alcalina da sub-alcalina

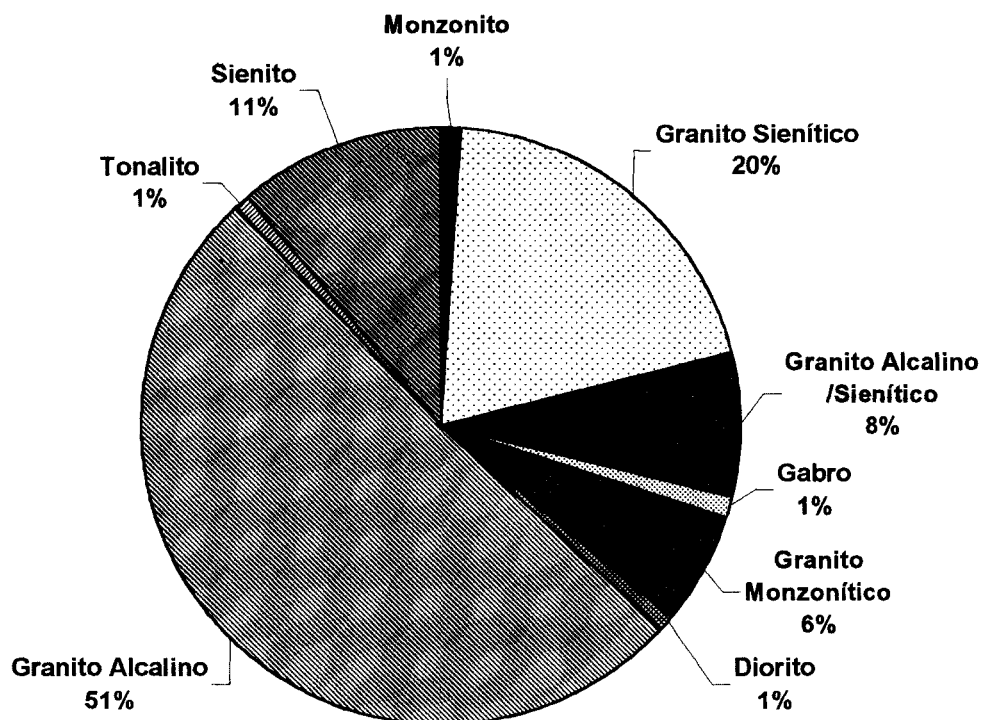


Figura 5.3 - Distribuição percentual dos grupos de rochas "graníticas" ornamentais, com presença de gnaisses, migmatitos, charoquitos e granulitos, amostradas e classificadas segundo Diagramas de La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979)

5.1.1 - Granito alcalino

Utilizando-se o diagrama de La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979), o presente grupo de amostras foi classificado como granito alcalino. As concentrações de SiO_2 encontraram-se entre 68,6 a 78,9 %, Al_2O_3 entre 10,00 a 17,70 %, K_2O entre 1,50 a 6,92 %, TiO_2 entre 0,04 a 0,90 %, CaO entre 0,08 a 0,86%, Na_2O entre 1,95 a 5,20 %, MgO entre 0,01 a 0,68 % e Fe_2O_3 entre 0,25 a 6,70 %.

As diferentes concentrações de SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , CaO e Na_2O , são atribuídas, principalmente, aos maiores teores dos minerais félsicos ou essenciais, atribuídos preferencialmente ao microclínio e plagioclásio. A presença do maior teor de Al_2O_3 , em algumas amostras, também encontra-se relacionado à ocorrência de sillimanita, andaluzita e granada. As variações nos teores de MgO apresentados são causadas, principalmente, pela presença dos minerais máficos, representados, predominantemente, pela biotita e em parte por seus produtos de alteração, como a clorita. Nas amostras CG-10, 56, 72 e 86, o MgO é também oriundo da hornblenda e piroxênio. A presença do Fe_2O_3 , em parte, encontra-se relacionada a

biotita, anfibólio e piroxênio. Paralelamente ocorrem magnetita/martita e, de forma pouco freqüente, os seguintes sulfetos: pirita, ocasionalmente calcopirita e pirrotita.

A determinação dos parâmetros de saturação em alumina (Al_2O_3), com a aplicação da classificação de Shand (1927), indica que a maior parte das amostras deste grupo é peraluminosa. Somente a amostra CG-87, que tem textura orientada, foi identificada como metaluminosa ($A/CNK < 1$, assim como $A > NK$).

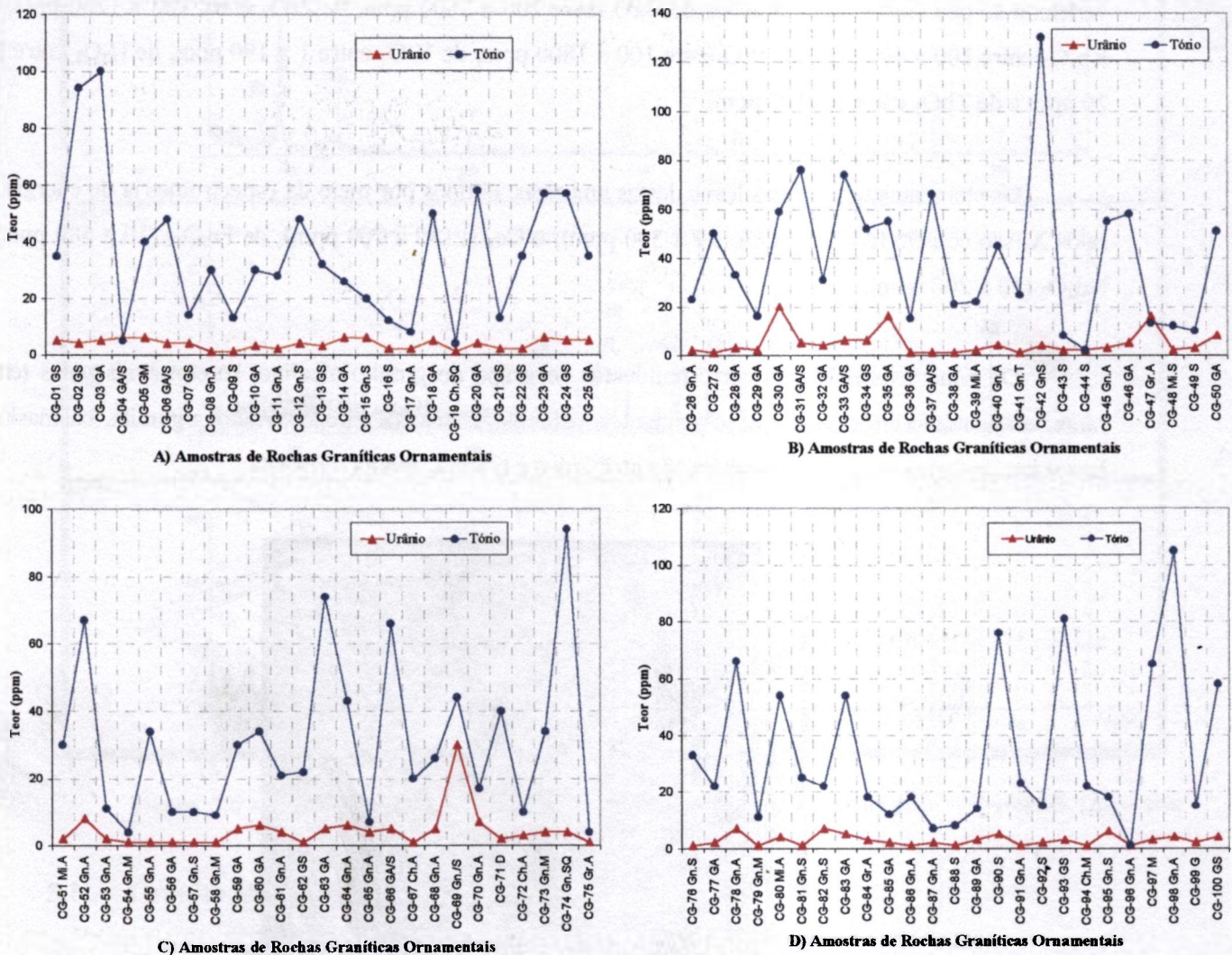


Figura 5.4 - (A, B, C e D) Concentração de urânio e tório nas 100 rochas graníticas, gnaisses, migmatitos, charmoquitos e granulitos ornamentais (GA - granito alcalino, GA/S - granito alcalino/sienítico, GS - granito sienítico, GM - granito monzonítico, M - monzonito, Gn.A - gnaiss alcalino, GnS - gnaiss sienítico, S - sienito, Gn.SQ - gnaiss sienito quartzoso, Ch.SQ - charmoquito sienítico quartzoso, Ch.A - charmoquito alcalino, Ch.M - charmoquito monzonítico, D - diorito, Gn.T - gnaiss toleítico, Mi.A - migmatito alcalino, Mi.S - migmatito sienítico, Gr.A - granulito alcalino), classificadas segundo La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

No grupo caracterizado como granito alcalino, com teores totais de urânio e tório igual ou superior a 60 ppm, o plagioclásio e o feldspato potássico foram também analisados pela microsonda eletrônica. O plagioclásio neste grupo de amostras apresenta-se com teores de Ab entre 72,5 a 98,6 %, de An <26,1 % e Or <2,20 %. No feldspato potássico os teores de Or são entre 80,70 a 95,90 %, de Ab entre 1,50 a 19,0 % e de An <0,50 %.

Nas análises dos elementos menores e traços no grupo caracterizado como granito alcalino, verificou-se que existe concentrações de BaO entre 200 a 2800 ppm, de ZrO₂ entre 100 a 1200 ppm, de Rb₂O₃ entre 100 a 400 ppm, de SrO entre 100 a 1800 ppm, de Y₂O₃ entre 1 a 190 ppm, de U₃O₈ entre 1 a 20 ppm e de ThO₂ entre 1 a 100 ppm.

Os elementos terras raras leves destas amostras, obtidos por meio da espectrometria de energia de raios X, são constituídos de La₂O₃ (10 a 300 ppm), e Ce₂O₃ (30 a 700 ppm), de Pr₆O₁₁ (10 a 580 ppm) e Nd₂O₃ (10 a 200 ppm).

Os minerais das rochas correspondentes ao grupo do granito alcalino, responsáveis pelas terras raras leves, urânio e tório são, principalmente, a allanita, monazita, zircão, uraninita/gumita, bastnasita e huttonita, de forma secundária também são atribuídos à titanita, apatita e fluorita.

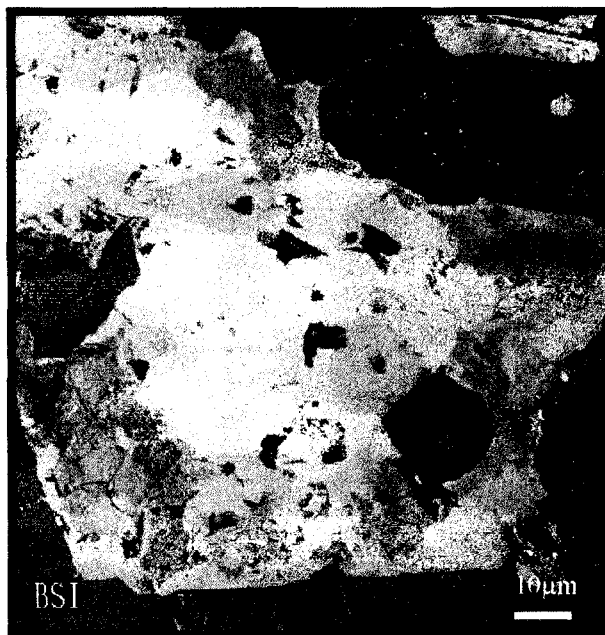


Figura 5.5 - Amostra CG-98 - Allanita, imagem de elétrons retroespalhados (microsonda eletrônica).
BSI-Back scattering intensit

Na análise por microsonda eletrônica na amostra CG-03, foi determinada a monazita com 1,82 % de ThO₂. Na amostra CG-35 foram determinados a huttonita com 20,01 % de ThO₂, a torita com 53,68 % de ThO₂ e na torita uranífera 64,89 % de ThO₂ e 7,64 % de U₃O₈. Na amostra CG-52 foi determinada a bastnasita com teor de 1,93 a 2,14 % de ThO₂. Na amostra CG-98 foi determinada a allanita com 2,86 a 9,91 % de ThO₂ (Figuras 5.5 e 5.6).

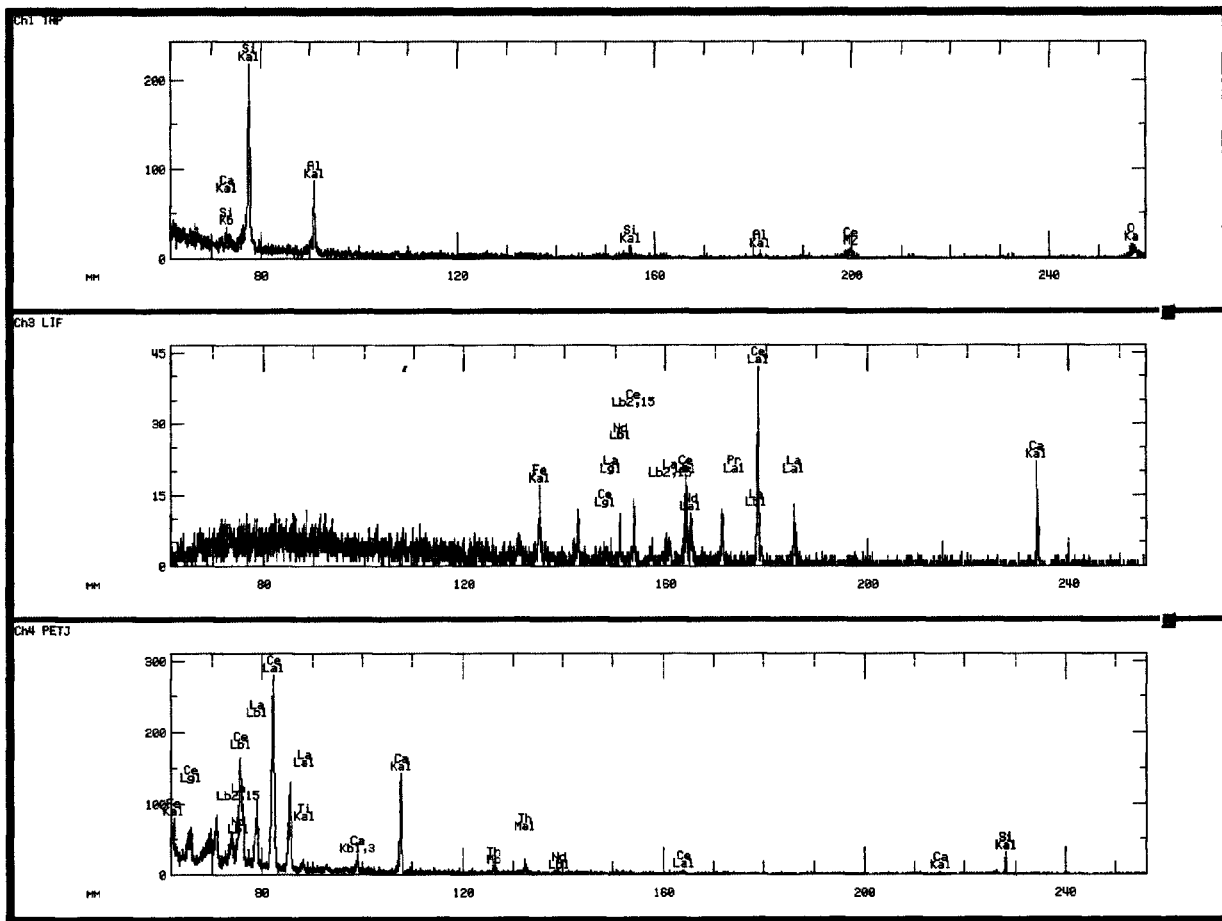


Figura 5.6 - Amostra CG-98 - Espectros de raios X de allanita, obtidos por *Wavelength Dispersive Spectrometry* (WDS) em microsonda eletrônica.

5.1.2 - Granito alcalino/sienítico

No grupo classificado como granito alcalino/sienítico, o número de amostras é proporcionalmente muito menor que aquele apresentado no grupo caracterizado como granito alcalino. Aplicando-se o diagrama de La Roche (1964), foi verificado que elas encontram-se localizadas no limite das rochas classificadas como granito alcalino e granito sienítico, portanto foram denominados de granitos alcalino/sieníticos. Neste grupo, as concentrações foram: SiO₂ (66,60 a 72,80 %), Al₂O₃ (13,30 a 15,80

%), K_2O (4,90 a 6,57 %), TiO_2 (0,08 a 0,57 %), CaO (0,33 a 0,99 %), Na_2O (2,29 a 30 %), MgO (0,04 a 0,41 %) e Fe_2O_3 (0,35 a 4,86 %).

As análises químicas dos elementos maiores, demonstram concentrações semelhantes às aquelas apresentadas nas amostras do grupo caracterizado como granito alcalino. Os resultados químicos são atribuídas, preferencialmente, aos minerais essenciais félsicos, representados pelo microclínio, plagioclásio e quartzo. As variações dos teores de MgO estão relacionados, principalmente, à biotita e, ocasionalmente, à clorita. A presença do Fe_2O_3 , que, em parte, se deve à biotita, pode também ser relacionado à magnetita/martita e ilmenita.

A concentração de elementos maiores, comparada com os valores apresentados pelos granitos alcalinos, de uma forma geral, indica níveis menores de minerais félsicos. O principal óxido que caracteriza o conteúdo dos minerais máficos continua sendo o Fe_2O_3 .

Na determinação dos parâmetros de saturação em alumina, segundo Shand (1927), foram determinados que todas estas amostras são caracterizadas como rochas peraluminosas.

No grupo dos granitos alcalino/sienítico, onde os teores totais de urânio e tório são iguais ou superiores a 60 ppm, o plagioclásio e o feldspato potássico foram também analisados pela microsonda eletrônica. O plagioclásio neste grupo de amostras apresenta-se com os seguintes teores de Ab (76,80 a 92,50 %), An (6,50 a 21,70 %) e Or (0,70 a 2,00 %). No feldspato potássico, os teores de Or variam entre 85,90 a 96,60 %, de Ab entre 3,10 a 13,60 % e de An entre 0,0 a 1,30 %.

Quanto aos elementos menores e traços do grupo do granito alcalino/sienítico, localizado nos limites do granito alcalino e granito sienítico do diagrama de La Roche (1964), verificou-se as concentrações de BaO (30 a 2.200 ppm), ZrO_2 (100 a 1.200 ppm), Rb_2O_3 (100 a 300 ppm), SrO (200 a 1.600 ppm), Y_2O_3 (20 a 110 ppm), U_3O_8 (1 a 30 ppm) e ThO_2 (44 a 76 ppm).

Os óxidos de terras raras leves destas amostras, obtidos por meio da espectrometria de energia de raios X, encontram-se com as seguintes concentrações de La_2O_3 entre 50 a 230 ppm, de Ce_2O_3 entre 30 a 480 ppm, de Pr_6O_{11} entre 20 a 60 ppm e de Nd_2O_3 entre 60 a 150 ppm.

Na análise por microsonda eletrônica na amostra CG-03, foi determinada a monazita com 1,82 % de ThO₂. Na amostra CG-35 foram determinados a huttonita com 20,01 % de ThO₂, a torita com 53,68 % de ThO₂ e na torita uranífera 64,89 % de ThO₂ e 7,64 % de U₃O₈. Na amostra CG-52 foi determinada a bastnasita com teor de 1,93 a 2,14 % de ThO₂. Na amostra CG-98 foi determinada a allanita com 2,86 a 9,91 % de ThO₂ (Figuras 5.5 e 5.6).

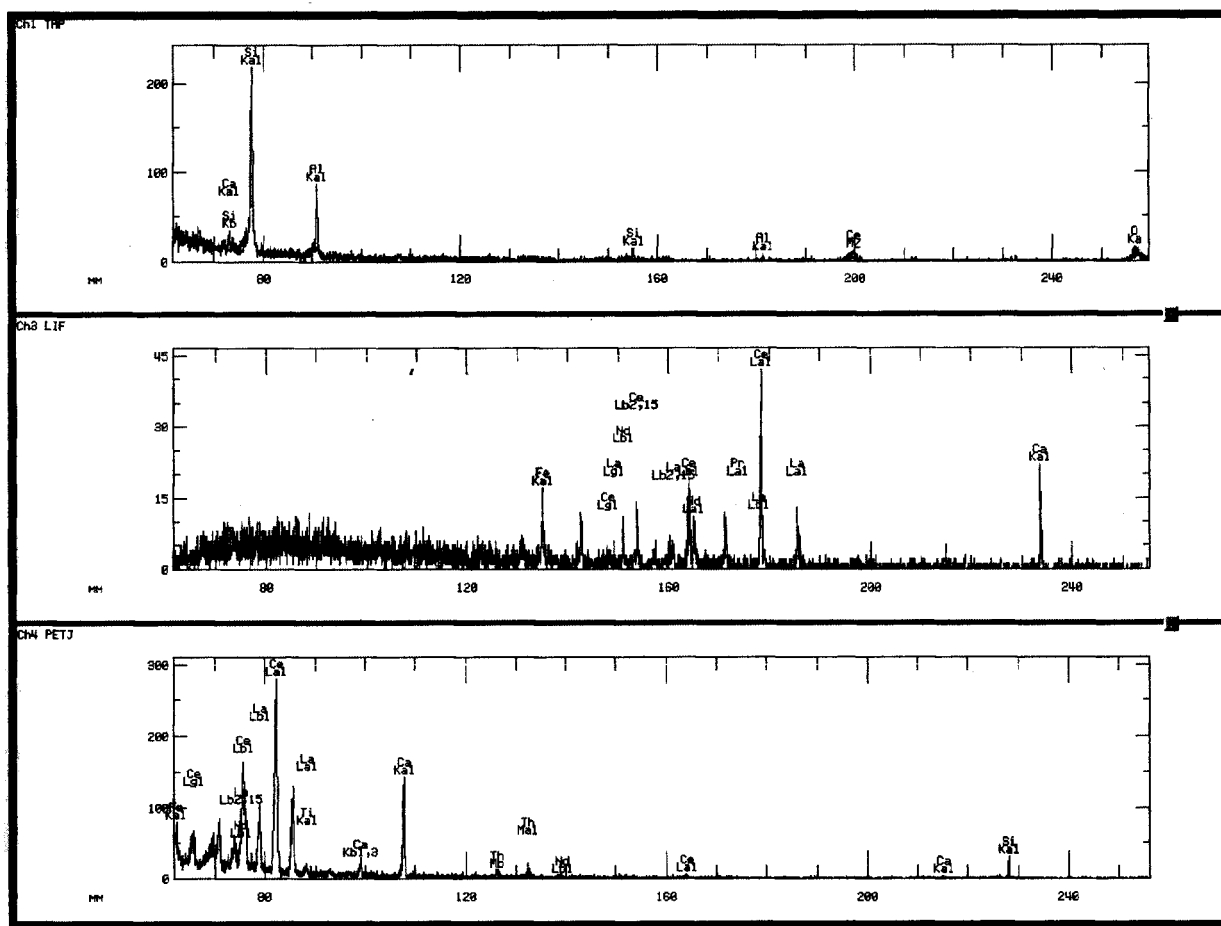


Figura 5.6 - Amostra CG-98 - Espectros de raios X de allanita, obtidos por *Wavelength Dispersive Spectrometry* (WDS) em microsonda eletrônica.

5.1.2 - Granito alcalino/sienítico

No grupo classificado como granito alcalino/sienítico, o número de amostras é proporcionalmente muito menor que aquele apresentado no grupo caracterizado como granito alcalino. Aplicando-se o diagrama de La Roche (1964), foi verificado que elas encontram-se localizadas no limite das rochas classificadas como granito alcalino e granito sienítico, portanto foram denominados de granitos alcalino/sieníticos. Neste grupo, as concentrações foram: SiO₂ (66,60 a 72,80 %), Al₂O₃ (13,30 a 15,80

%), K_2O (4,90 a 6,57 %), TiO_2 (0,08 a 0,57 %), CaO (0,33 a 0,99 %), Na_2O (2,29 a 30 %), MgO (0,04 a 0,41 %) e Fe_2O_3 (0,35 a 4,86 %).

As análises químicas dos elementos maiores, demonstram concentrações semelhantes às aquelas apresentadas nas amostras do grupo caracterizado como granito alcalino. Os resultados químicos são atribuídas, preferencialmente, aos minerais essenciais félsicos, representados pelo microclínio, plagioclásio e quartzo. As variações dos teores de MgO estão relacionados, principalmente, à biotita e, ocasionalmente, à clorita. A presença do Fe_2O_3 , que, em parte, se deve à biotita, pode também ser relacionado à magnetita/martita e ilmenita.

A concentração de elementos maiores, comparada com os valores apresentados pelos granitos alcalinos, de uma forma geral, indica níveis menores de minerais félsicos. O principal óxido que caracteriza o conteúdo dos minerais máficos continua sendo o Fe_2O_3 .

Na determinação dos parâmetros de saturação em alumina, segundo Shand (1927), foram determinados que todas estas amostras são caracterizadas como rochas peraluminosas.

No grupo dos granitos alcalino/sienítico, onde os teores totais de urânio e tório são iguais ou superiores a 60 ppm, o plagioclásio e o feldspato potássico foram também analisados pela microsonda eletrônica. O plagioclásio neste grupo de amostras apresenta-se com os seguintes teores de Ab (76,80 a 92,50 %), An (6,50 a 21,70 %) e Or (0,70 a 2,00 %). No feldspato potássico, os teores de Or variam entre 85,90 a 96,60 %, de Ab entre 3,10 a 13,60 % e de An entre 0,0 a 1,30 %.

Quanto aos elementos menores e traços do grupo do granito alcalino/sienítico, localizado nos limites do granito alcalino e granito sienítico do diagrama de La Roche (1964), verificou-se as concentrações de BaO (30 a 2.200 ppm), ZrO_2 (100 a 1.200 ppm), Rb_2O_3 (100 a 300 ppm), SrO (200 a 1.600 ppm), Y_2O_3 (20 a 110 ppm), U_3O_8 (1 a 30 ppm) e ThO_2 (44 a 76 ppm).

Os óxidos de terras raras leves destas amostras, obtidos por meio da espectrometria de energia de raios X, encontram-se com as seguintes concentrações de La_2O_3 entre 50 a 230 ppm, de Ce_2O_3 entre 30 a 480 ppm, de Pr_6O_{11} entre 20 a 60 ppm e de Nd_2O_3 entre 60 a 150 ppm.

Os minerais do grupo granito alcalino/sienítico, onde existem as maiores concentrações das terras raras leves, urânio e tório, são principalmente a allanita, monazita, zircão, torita e gumita, e de forma secundária à titanita, apatita, fluorita e xenotímo (Figura 5.7).

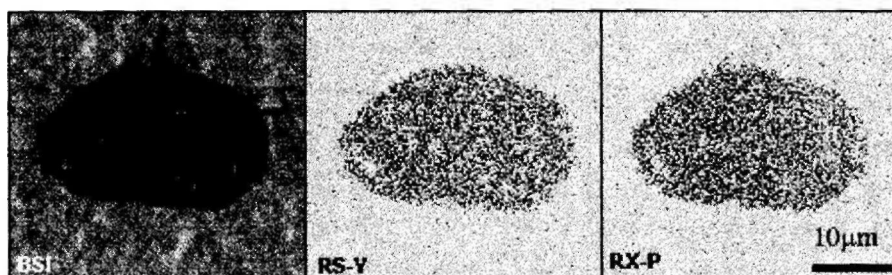


Figura 5.7 - Amostra CG-69 - Xenotímo - imagem de elétrons retroespalhados e mapas de raios X para ítrio e fósforo (microsonda eletrônica)

Na análise pela microsonda eletrônica da amostra CG-31 foi determinado na monazita teores de ThO_2 entre 0,63 a 1,30 % e UO_2 entre 0,05 a 0,12. Na amostra CG-69 foi determinada a torita com 41,76 % de ThO_2 (Figuras 5.8 e 5.9).

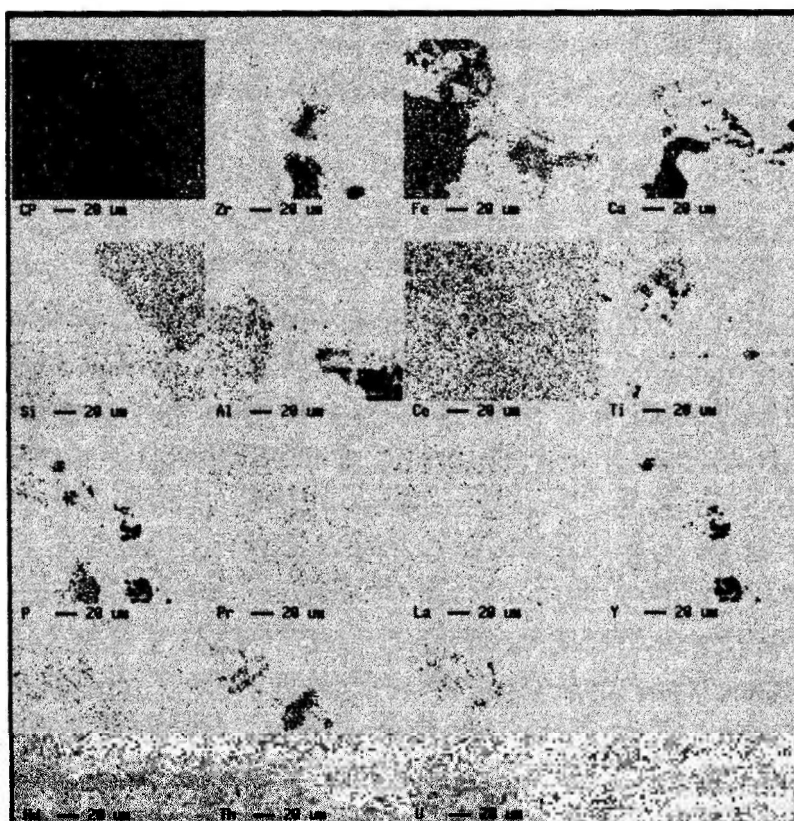


Figura 5.8 - Amostra CG-69 - Torita, imagem de elétrons retroespalhados e mapas de raios X para seus elementos (microsonda eletrônica)

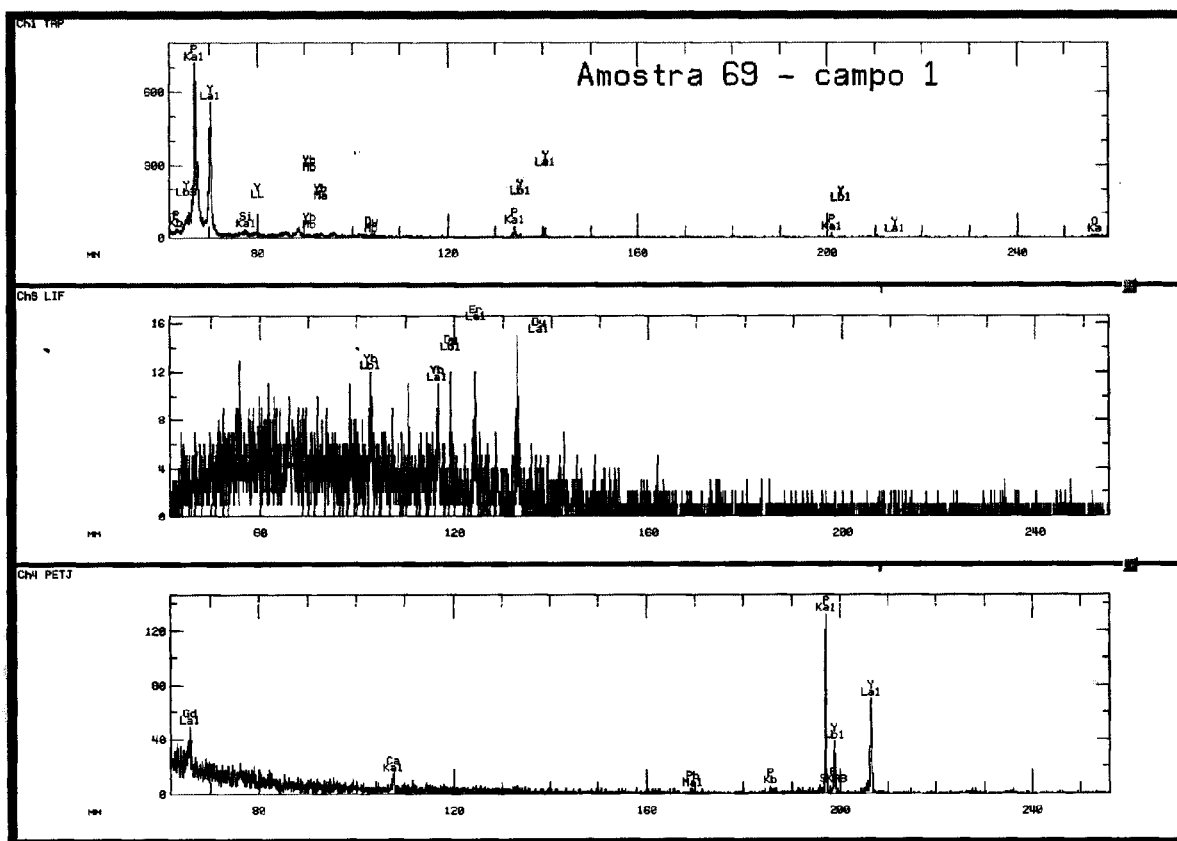


Figura 5.9 - Amostra CG-69 - Espectros de raios X da torita obtidos por WDS (microsonda eletrônica).

5.1.3 - Granito sienítico

A utilização do diagrama de La Roche (1964), permitiu classificar um dado grupo de amostras como granito sienítico. Foram determinadas as seguintes concentrações: SiO₂ (62,50 a 73,70 %), Al₂O₃ (13,70 a 17,80 %), K₂O (2,41 a 6,43 %), TiO₂ (0,15 a 0,71 %), CaO (0,45 a 1,22 %), Na₂O (1,72 a 4,91 %), MgO (0,30 a 1,21 %) e Fe₂O₃ (0,52 a 9,48 %).

De forma semelhante ao apresentado nos grupos correspondentes ao granito alcalino e granito alcalino/sienítico, os principais elementos analisados são responsáveis pela formação dos minerais essenciais félsicos, são representados pelo microclínio, plagioclásio e quartzo. As variações dos teores de MgO nas amostras são atribuídas, predominantemente, à biotita e ocasionalmente à clorita, assim como também, de forma pouco freqüente, à hornblenda. A presença de teor maior de Al₂O₃ em algumas amostras (CG-21, 57 e 95) é atribuída a ocorrência da sillimanita, andaluzita e granada. A existência do Fe₂O₃, é atribuída à biotita, magnetita/martita, pirita e ilmenita, e secundariamente também à ocorrência de pirrotita e calcopirita.

Na determinação dos parâmetros de saturação em alumina, segundo Shand (1927), foi determinado que todas as amostras do presente grupo litológico correspondem à rochas definidas como peraluminosas.

Para o grupo de granitos sieníticos, onde os teores totais de urânio e tório são iguais ou superiores a 60 ppm, o plagioclásio e o feldspato potássico foram também analisados pela microsonda eletrônica. O plagioclásio neste grupo de amostras ocorre com teores de Ab entre 68,70 a 81,70 %, de An entre 16,30 a 30,50 % e Or entre 0,70 a 2,20 %. No feldspato potássico, os teores de Or variam entre 88,80 a 93,70 %, de Ab entre 6,30 a 11,20 % e de An entre 0,00 a 0,30 %.

Nos resultados dos elementos menores e traços do grupo caracterizado como granito sienítico, foram verificadas concentrações de: BaO (400 a 3.000 ppm), ZrO₂ (100 a 1.200 ppm), Rb₂O₃ (100 a 200 ppm), SrO (200 a 1.100 ppm), Y₂O₃ (20 a 70 ppm), U₃O₈ (1 a 7 ppm) e de ThO₂ (10 a 130 ppm).

Os elementos terras raras leves destas amostras, obtidos por meio da espectrometria de energia de raios X, são representados pelo La₂O₃ (30 a 300 ppm), Ce₂O₃ (60 a 600 ppm), Pr₆O₁₁ (10 a 70 ppm) e Nd₂O₃ (22 a 180 ppm).

Os minerais radioativos presentes nos granitos sieníticos constituem as maiores concentrações das terras raras leves, urânio e tório. São representados, preferencialmente, pela allanita, monazita e zircão e, de forma secundária, atribuídos à titanita e apatita.

Na análises pela microsonda eletrônica da amostra CG-42 foram determinados na monazita teores de 7,20 a 7,72 % de ThO₂ (Figuras 5.10 e 5.11) e no zircão teores de 1,27 % de U₃O₈.

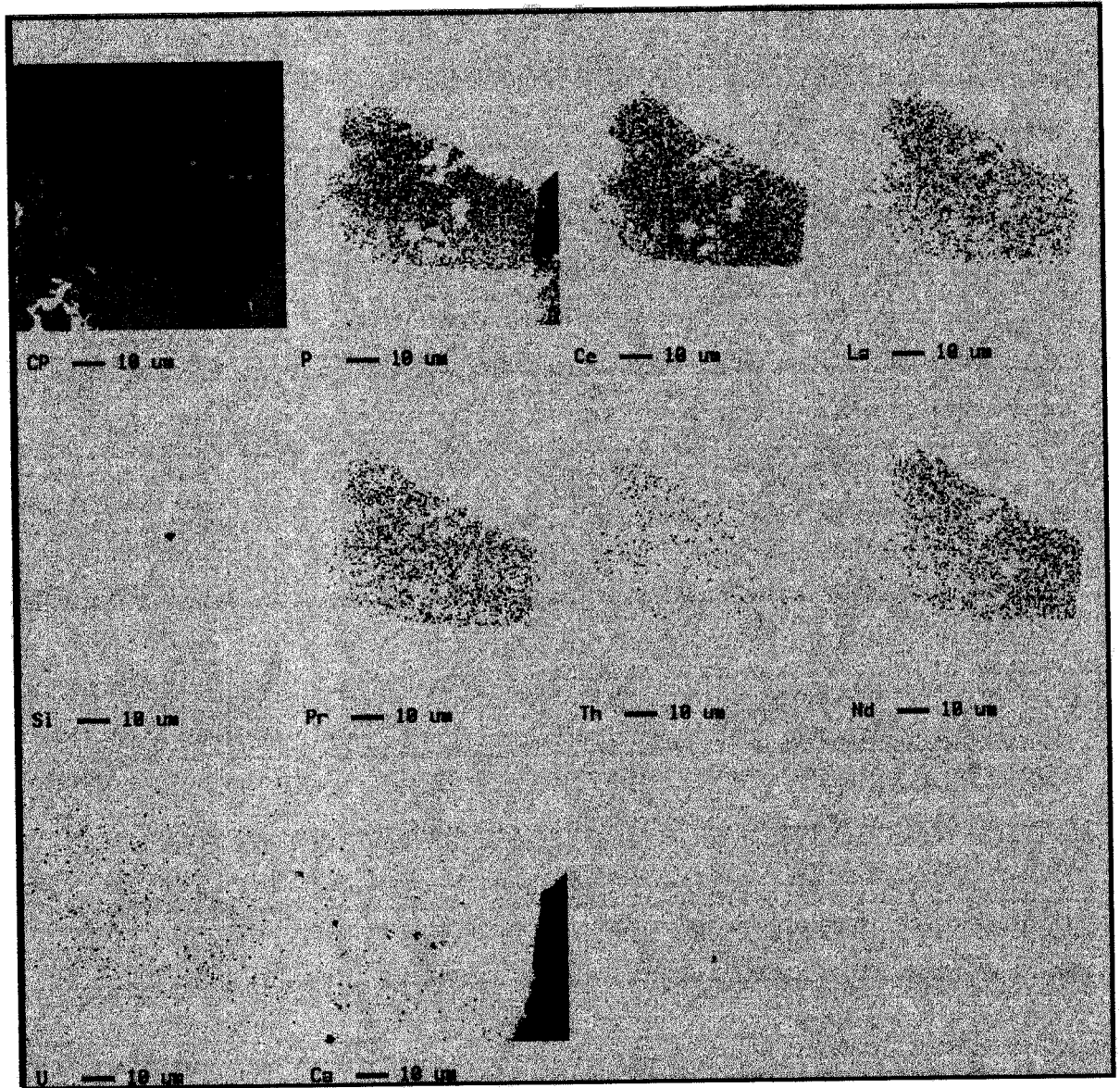


Figura 5.10 - Amostra CG-42 - Monazita, imagens de elétrons retroespalhados e mapas de raios X para seus elementos (microsonda eletrônica).

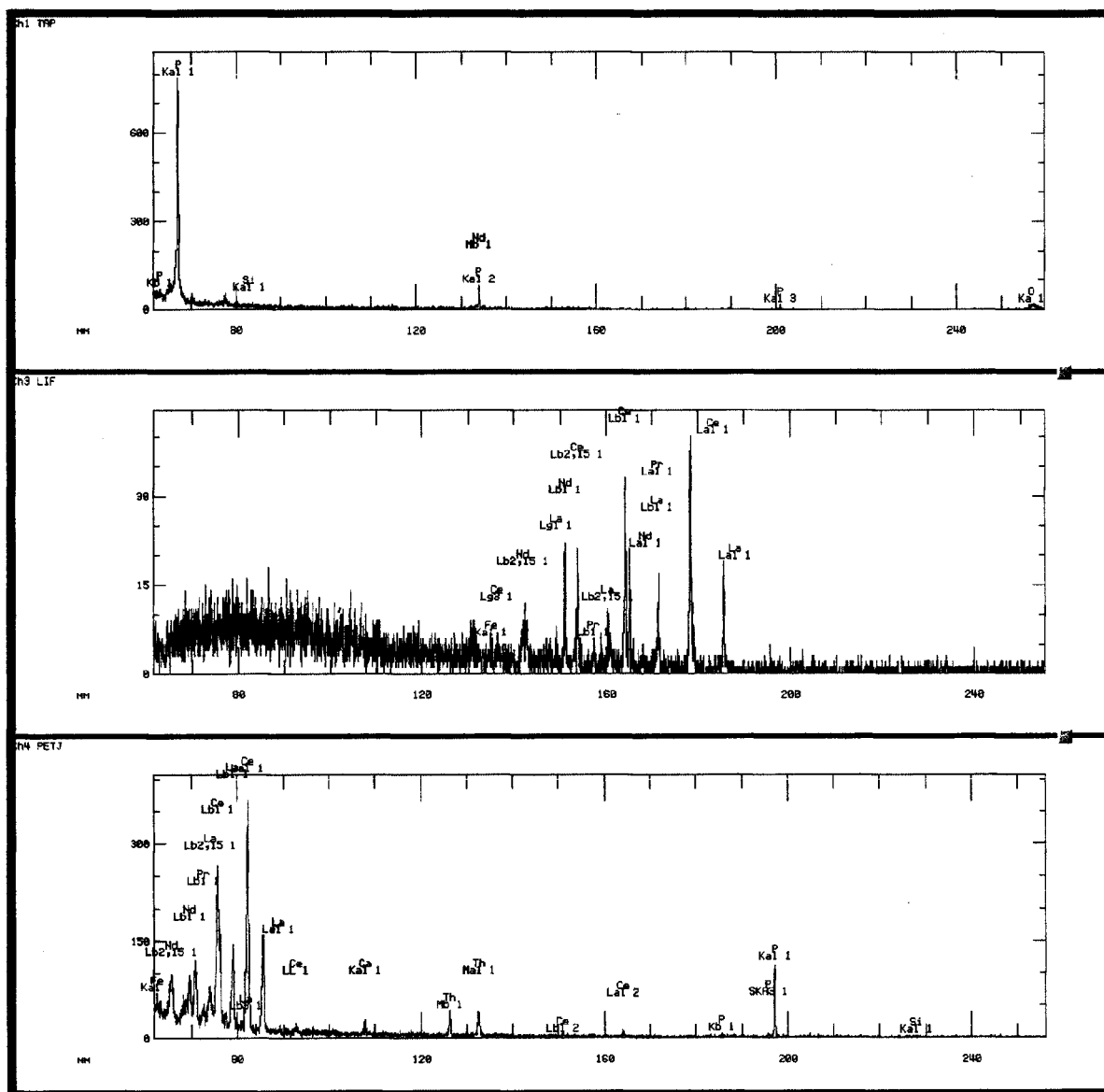


Figura 5.11 - Amostra CG-42 - Espectros de raios X de monazita, obtidos por WDS (microsonda eletrônica).

5.1.4 - Granito monzonítico

No granito monzonítico, ocorrem concentrações de SiO₂ (66,4 a 71 %), Al₂O₃ (14,5 a 17,50 %), K₂O (1,39 a 5,50 %), TiO₂ (0,60 a 0,91 %), CaO (0,73 a 1,73 %), Na₂O (2,61 a 4,72 %), MgO (0,10 a 0,44 e Fe₂O₃ (0,61 a 7,60 %).

As concentrações dos elementos maiores, em sua maior proporção, são atribuídas aos minerais

félsicos, bem como ao produto de alteração dos feldspatos, microclínio e plagioclásio. A variação do MgO é, preferencialmente, relacionada à ocorrência, predominantemente, de biotita e seu produto de alteração, que é a clorita. De forma pouco freqüente também ocorrem a hornblenda e piroxênio, que foram determinados nas amostras CG-79 e 94.

Na determinação dos parâmetros de saturação em alumina (Shand 1927), estas amostras, foram caracterizadas como rochas peraluminosas.

Pelas análises dos elementos menores e traços no grupo do granito monzonítico, foram determinadas concentrações de BaO (200 a 2.300 ppm), de ZrO₂ (200 a 1.300 ppm), de Rb₂O₃ (100 a 200 ppm), de SrO (400 a 1.200 ppm), de Y₂O₃ (20 a 60 ppm), de U₃O₈ (1 a 6 ppm) e de ThO₂ (4 a 65 ppm).

Os elementos terras raras leves destas amostras, obtidos por meio da análise por espectrometria de energia de raios X, foram encontradas concentrações de La₂O₃ (30 a 270 ppm), de Ce₂O₃ (60 a 580 ppm), de Pr₆O₁₁ (10 a 70 ppm) e de Nd₂O₃ (10 a 190 ppm).

Os minerais das rochas determinadas como granito monzonítico, onde ocorrem as maiores concentrações das terras raras leves, urânio e tório, são, principalmente, allanita, monazita e zircão. De forma secundária, o elemento terras raras leves, o urânio e o tório devem ser atribuídos à titanita e apatita.

5.1.5 - Monzonito

Na amostra CG-97, deste grupo, foram determinados os teores de SiO₂ (69,90 %), Al₂O₃ (14,70 %), K₂O (5,70 %), TiO₂ (0,50 %), CaO (0,90 %), Na₂O (2,76 %), MgO (0,45 %) e Fe₂O₃ (0,80 %).

Os parâmetros de saturação em alumina, segundo Shand (1927), determinam que a amostra CG-97 pertence também às rochas peraluminosas, onde o Al₂O₃ é maior que a soma do CaO, K₂O e Na₂O, de forma semelhante ao apresentado pelos grupos de rochas monzoníticas e sieníticas.

Nesta amostra o plagioclásio e o feldspato potássico foram também analisados pela microsonda eletrônica. O plagioclásio apresenta-se com teor de Ab de 68,70 %, de An 30,80 % e Or 0,50 %. No feldspato potássico o teor de Or é de 90,40 %, de Ab 8,40 % e de An 1,20 %.

No grupo correspondente ao monzonito, onde ocorre somente uma amostra (CG-97), foram determinados BaO com 1.900 ppm, ZrO₂ com 1.100 ppm, Rb₂O₃ com 100 ppm, SrO com 700 ppm, Y₂O₃ com 60 ppm, U₃O₈ com 3 ppm e ThO₂ com 65 ppm.

Os elementos das terras raras analisados nestas amostra, utilizando-se a espectrometria de energia de raios X, mostraram concentrações de La₂O₃ 270 ppm, de Ce₂O₃ 580 ppm, de Pr₆O₁₁ 70 ppm e de Nd₂O₃ 190 ppm.

Nesta amostra os minerais, em que ocorrem as maiores concentrações das terras raras leves, urânio e tório, são a allanita, monazita e zircão. De forma secundária são atribuídos à titanita e apatita.

Pelas análises da microsonda eletrônica na amostra CG-97 foi determinado 2,55 % de ThO₂ na allanita.

5.1.6 - Sienito

Nas amostras do grupo do sienito tem-se concentrações de SiO₂ (56,40 a 67,40 %), Al₂O₃ (14,70 a 22,30 %), K₂O (2,54 a 8,41 %), TiO₂ (0,03 a 0,88 %), CaO (0,05 a 1,7%), Na₂O (3,06 a 5,80 %), MgO (0,05 a 1,33 %) e Fe₂O₃ (2,72 a 5,30 %).

Os elementos maiores, em sua maior proporção, são atribuídos aos minerais félsicos ou essenciais, como também aos produtos de alteração do microclínio e plagioclásio. Em algumas amostras ocorre o quartzo em proporções menores, em parte, determinando formas de vênulas, que indicam evidências de processos de silicificação.

Pela determinação dos parâmetros de saturação em alumina, utilizando-se o diagrama de Shand (1927), as amostras correspondentes ao grupo do sienito, na sua maioria foram caracterizadas como rochas peraluminosas, com exceção das amostras CG-90 e CG-92 que foram determinadas como rochas metaluminosas.

No grupo caracterizado como sienito, somente as amostra CG-74 e GG-90, têm os teores totais de urânio e tório iguais ou superiores a 60 ppm. Nestas amostras o plagioclásio e o feldspato potássico foram também analisados pela microsonda eletrônica. O plagioclásio somente foi analisado na amostra CG-90, na qual apresenta-se com teor de Ab 73,1 %, An 26,9 % e Or 0,0 %. O feldspato potássico das amostras

CG-74 e CG-90, apresenta-se respectivamente, com o Or 83,1 e 16,6 %, de Ab com 16,6 % e 7,6 % e An 0,3 e 0,0 %.

As análises de elementos menores e traços no grupo das amostras caracterizadas de sienito, foram obtidas concentrações de BaO (1.100 a 13.500 ppm), ZrO₂ (600 a 1.800 ppm), Rb₂O₃ (100 a 200 ppm), SrO (100 a 6.300 ppm), de Y₂O₃ (20 a 90 ppm), de U₃O₈ (1 a 5 ppm) e de ThO₂ (2 a 76 ppm).

Os elementos terras raras leves destas amostras, utilizando-se análises pela espectrometria de energia de raios X, mostraram concentrações de La₂O₃ (80 a 6.000 ppm), Ce₂O₃ (20 a 1.100 ppm), Pr₆O₁₁ (20 a 130 ppm) e de Nd₂O₃ (20 a 340 ppm).

A monazita, allanita, zircão e gumita, de forma secundária à titanita, apatita e fluorita, possuem as maiores concentrações de terras raras leves, urânio e tório.

As análises pela microsonda eletrônica na amostra CG-74 foi determinada a monazita com 9,49 % de ThO₂.

5.1.7 - Diorito

Para a amostra CG-71, caracterizada como diorito no diagrama de La Roche (1964), foram determinados os teores de SiO₂ 59,40 %, Al₂O₃ 15,40 %, K₂O 2,13 %, TiO₂ 1,32 %, CaO 3,49 %, Na₂O 4,78 %, MgO 5,52 % e Fe₂O₃ 7,93 %.

A concentração do MgO está relacionada à presença de piroxênio, hornblenda e biotita. O teor de Fe₂O₃ tem sua maior concentração atribuída à magnetita, pirita e calcopirita, assim como a biotita, piroxênio e hornblenda.

Os parâmetros de saturação em alumina, segundo Shand (1927), determinam que esta amostra tem característica metaluminosa.

Foram ainda determinadas concentrações de BaO 2.200 ppm, ZrO₂ 400 ppm, Rb₂O₃ 100 ppm, SrO 2.500 ppm, Y₂O₃ 40 ppm, U₃O₈ 2 ppm e ThO₂ 4 ppm.

Os elementos terras raras leves determinados nestas amostra, utilizando-se análises de espectrometria de energia de raios X, mostraram concentrações de La_2O_3 90 ppm, de Ce_2O_3 200 ppm, de Pr_6O_{11} 20 ppm e de Nd_2O_3 80 ppm.

Os minerais da rocha caracterizada como diorito, onde ocorrem maiores concentrações das terras raras leves, urânio e tório são, principalmente, a apatita e o zircão.

5.1.8 – Tonalito

É representado pela amostra CG-41, onde foram determinados os teores de SiO_2 (58,90 %), Al_2O_3 (15,90 %), K_2O (2,92 %), TiO_2 (1,90 %), CaO (1,97 %), Na_2O (3,46 %), MgO (4,54 %) e Fe_2O_3 (10 %).

O microclínio e parte do quartzo, provavelmente são um produto de metassomatismo secundário, que ocorreu como um processo posterior à cristalização da rocha. A concentração do MgO e parte do Fe_2O_3 é relacionada à biotita. O teor de Fe_2O_3 tem a maior concentração originados da magnetita e da pirita.

Os parâmetros de saturação em alumina, segundo Shand (1927), permitem classificar esta amostra de peraluminosa.

Na amostra CG-41, foram determinadas concentrações de BaO (1.800 ppm), ZrO_2 (700 ppm), Rb_2O_3 (100 ppm), SrO (1.000 ppm), de Y_2O_3 (30 ppm), de U_3O_8 (1 ppm) e de ThO_2 (25 ppm).

Os óxidos de terras raras leves que foram analisados nestas amostra, utilizando-se análises por espectrometria de energia de raios X, mostraram concentrações de La_2O_3 (240 ppm), Ce_2O_3 (470 ppm), Pr_6O_{11} (50 ppm) e de Nd_2O_3 (130 ppm).

Os minerais com maiores concentrações de terras raras leves, urânio e tório são, principalmente, a allanita monazita e o zircão, sendo que de forma secundária tem-se titanita e apatita

5.1.9 - Gabro

É representado pela amostra CG-99 e foi assim classificado com base no diagrama de La Roche (1964). Nestas amostra foram determinados os teores de SiO_2 48,80 %, Al_2O_3 13,90%, K_2O 2,08 %, TiO_2

2,11 %, CaO 8,02 %, Na₂O 1,91 %, MgO 1,98 % e Fe₂O₃ 15,5 %.

A concentração do MgO é atribuída à presença do piroxênio (hiperstênio e augita). O teor de Fe₂O₃, que em parte está relacionado aos minerais máficos, tem a maior concentração atribuída à magnetita/martita, pirita e calcopirita.

Os parâmetros de saturação em alumina neste gabro, segundo Shand (1927), permitiu classificar esta rocha como sendo metaluminosa.

O grupo correspondente ao gabro está representado somente pela amostra CG-99, onde determinaram-se concentrações de BaO 1.100 ppm, ZrO₂ 500 ppm, Rb₂O₃ 100 ppm, SrO 400 ppm, Y₂O₃ 50 ppm, U₃O₈ 2 ppm e ThO₂ 15 ppm.

Os elementos terras raras leves analisados na amostra, utilizando-se a espectrometria de energia de raios X, mostraram concentrações de La₂O₃ 90 ppm, Ce₂O₃ 220 ppm, Pr₆O₁₁ 30 ppm e Nd₂O₃ 100 ppm.

Os principais constituintes mineralógicos, onde ocorrem as maiores concentrações de terras raras leves, urânio e tório são, principalmente, a monazita, assim como, de forma secundária, a apatita e titanita.

5.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS GEOQUÍMICOS

5.2.1 - Concentrações de urânio e tório nas rochas graníticas ornamentais amostradas

Pela concentração dos elementos radioativos (U₃O₈ e ThO₂), verificados nestas rochas graníticas, determinados pela ativação neutrônica (Tabela 1.AP-2, do Apêndice II), observou-se que em todas estas amostras os teores de urânio (<1 a 30 ppm) encontram-se inferiores àqueles apresentados pelo tório (1 a 130 ppm).

Foi verificado também, que as maiores concentrações dos elementos radioativos encontram-se, principalmente, nos grupos caracterizados como granito alcalino, granito alcalino/sienítico e granito sienítico. Por outro lado as amostras com menores concentrações de elementos radioativos ocorrem, preferencialmente, nos sienitos, granitos monzoníticos, monzonito, tonalito e gabro. Não obstante, deve ser destacado que na amostra CG-69, um granito alcalino/sienítico, foi determinado o maior teor de urânio (30 ppm) e na amostra CG-42, um granito sienítico, o maior teor de tório (130 ppm).

5.2.2 - Principais grupos litológicos com teores totais de urânio e tório acima de 60 ppm

Dentre os nove grupos de rochas aqui definidos os elementos radioativos, com teores iguais ou superiores a 60 ppm, se encontram no granito alcalino, no granito alcalino/sienítico e no granito sienítico (Figura 5.12).

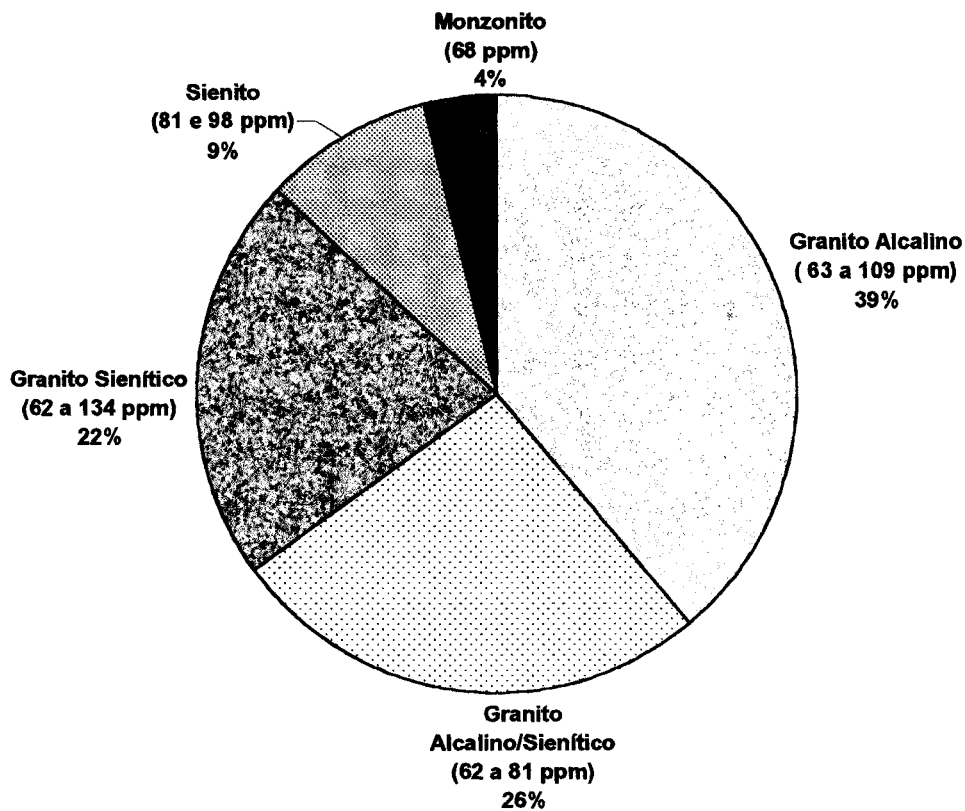


Figura 5.12 - Grupos litológicos com teores totais de U_3O_8 e ThO_2 acima de 60 ppm

Os demais grupos litológicos apresentam elementos radioativos totais acima de 60 ppm, porém em concentrações bem menores do que as existentes nos grupos litológicos indicados anteriormente. De uma maneira geral, as maiores concentrações de urânio não acompanham as maiores concentrações de tório, isto pode ser observado no gráfico de distribuição do urânio e tório (Figura 5.13).

No grupo caracterizado como granito alcalino foram determinadas concentrações de SiO_2 (68,6 a 78,90 %), Al_2O_3 (10 a 17,70 %), K_2O (1,50 a 6,92 %), TiO_2 (0,04 a 0,90 %), CaO (0,08 a 0,86 %), Na_2O (1,95 a 5,20 %), MgO (0,01 a 0,68 %) e Fe_2O_3 (0,25 a 6,70 %) (Tabela 1.AP-2, do Apêndice 2).

A determinação dos parâmetros de saturação em alumina (Tabela 1.AP-2, do Apêndice 2), segundo Shand (1927), utilizando-se os óxidos de Al_2O_3 (A), CaO (C), K_2O (K) e Na_2O (N), mostrou que a maior parte das amostras deste grupo são peraluminosas. De forma ocasional ocorre a amostra CG-87, que corresponde ao grupo dos granitos alcalinos, caracterizada como rocha metaluminosa ($A/CNK < 1$, assim como $A > NK$).

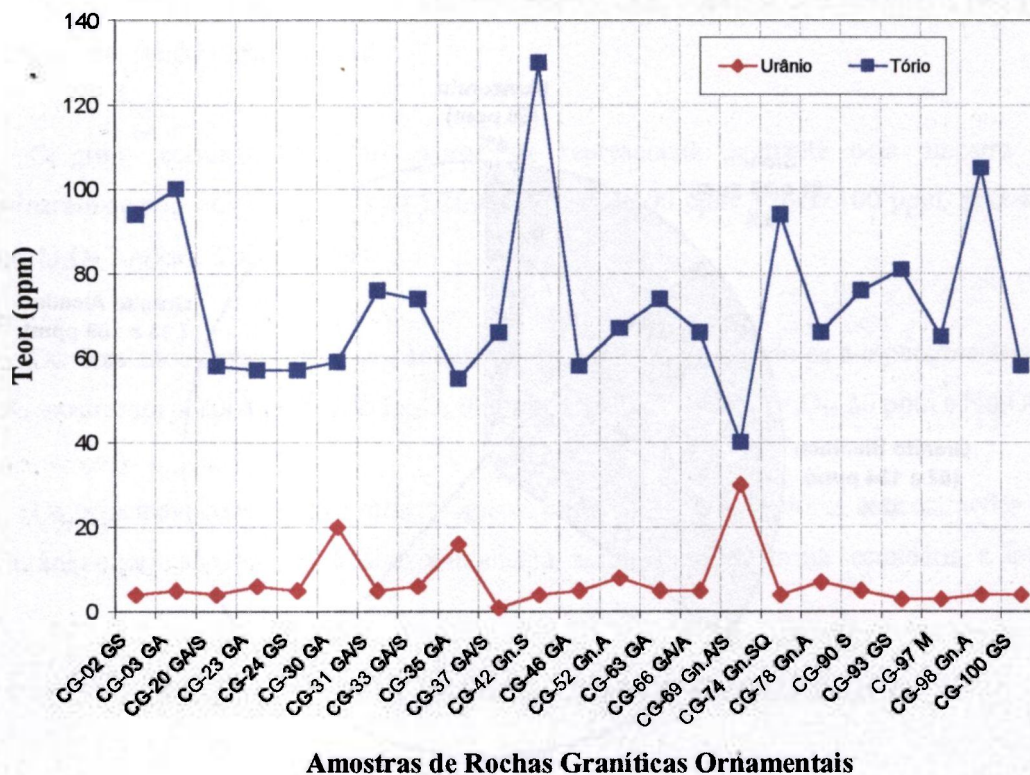


Figura 5.13 - Os teores de urânio e tório em rochas graníticas e gnaisses (GA-granito alcalino, Gn.A - gnaiss alcalino GA/S-granito alcalino/sienítico, Gn.A/S - gnaiss alcalino/sienítico, GS - granito sienítico, GnS - gnaiss sienítico, S - sienito, Gn.SQ - gnaiss sienito quartzoso e M - monzonito), segundo Diagrama de La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

No grupo do granito alcalino/sienítico, foram identificadas as concentrações de SiO_2 (66,60 e 72,80 %), Al_2O_3 (13,30 a 15,80 %), K_2O (4,90 a 6,57 %), TiO_2 0,08 a 0,57 %, CaO (0,33 a 0,99 %), Na_2O (2,29 a 3,00 %), MgO (0,04 a 0,41 %) e Fe_2O_3 (0,35 a 4,86 %). Pela determinação dos parâmetros de saturação em alumina de Shand (1927), todas as amostras foram classificadas como rochas peraluminosas, onde o Al_2O_3 é maior que a soma do CaO, K_2O e Na_2O , apresentando-se de forma semelhante à maior parte das amostras caracterizadas como granito alcalino.

No grupo determinado como granito sienítico foram encontradas concentrações de SiO_2 (62,50 a 73,70 %), Al_2O_3 (13,70 a 17,80 %), K_2O (2,41 a 6,43 %), TiO_2 (0,15 a 0,71 %), CaO (0,45 a 1,22 %),

Na₂O (1,72 a 4,91 %), MgO (0,30 a 1,21 %) e Fe₂O₃ (0,52 a 9,48 %). Os resultados encontrados com os parâmetros de saturação em alumina, colocam este grupo como peraluminoso, onde o Al₂O₃ é maior que a soma do CaO, K₂O e Na₂O.

5.2.3 - Distribuição dos elementos radioativos totais (urânio e tório acima de 60 ppm) e terras raras totais, em rochas graníticas

A determinação nas rochas graníticas da distribuição dos elementos radioativos totais, com teores igual ou superior a 60 ppm, foi feita por ativação neutrônica e as terras raras leves totais por espectrometria de energia de raios X (Figura 5.14 e Tabela 1.AP-2, do Apêndice 2). As análises demonstram que as concentrações de urânio e o tório ocorrem de forma bem menor que as concentrações apresentadas pelas terras raras leves. Em algumas amostras, onde existem as maiores concentrações destas terras raras, é possível observar-se que suas concentrações têm uma tendência a acompanhar as maiores concentrações dos elevados teores de tório. A concentração de urânio, por outro lado, além de apresentar-se em teores inferiores àqueles apresentados pelo tório é ainda muito menor que as concentrações totais das terras raras. Constatação esta, preferencialmente, onde existem os maiores teores do urânio. Foi observado também que estes teores não estão acompanhando a concentração dos maiores teores do tório e nem das terras raras, o que sugere que a maior concentração de urânio presente deve ser atribuída aos óxidos de urânio, principalmente à pecheblenda/uraninita ou gumita e possivelmente, em menor proporção, também ao zircão.

Pelos resultados das análises químicas, estudos mineralógicos - petrográficos e de microsonda eletrônica, foi definido que as maiores concentrações dos elementos radioativos encontram-se presentes nos grupos de rochas caracterizadas como granito alcalino, granito alcalino/sienítico e granito sienítico.

No grupo correspondente ao granito alcalino, os minerais responsáveis pelas terras raras leves, urânio e tório, são atribuídos, principalmente, à allanita, monazita, zircão, uraninita/gumita, bastnasita e huttonita, de forma secundária também ocorrem a titanita, apatita e fluorita.

As análises pela microsonda eletrônica na amostra CG-03, foi determinada na monazita teores de 1,82 % de ThO₂. Na amostra CG-35 foram determinadas a huttonita com 20,01 % de ThO₂, a torita com 53,68 % de ThO₂ e a torita uranífera com 64,89% de ThO₂ e 7,64 % de U₃O₈. Na amostra CG-52 foi determinada a bastnasita com teores variando de 1,93 a 2,14 % de ThO₂ e na amostra CG-98, a allanita

com 2,86 a 9,91 % de ThO₂ (Figuras 5.4C e 5.5D).

No grupo determinado como granito alcalino/sienítico, as maiores concentrações das terras raras leves, urânio e tório, se devem a minerais como allanita monazita, zircão, torita e gumita e de forma secundária podem ser também atribuídos à titanita, apatita, fluorita e xenotímo (Figura 5.6).

Pelos resultados obtidos nas análises da amostra CG-31 através da microsonda eletrônica, foi determinada na monazita teores de ThO₂ variando de 0,63 a 1,30 % e U₃O₈ de 0,05 a 0,12 %. Na amostra CG-69 foi determinada a torita com um teor de 41,76 % de ThO₂ (Figuras 5.7 e 5.8).

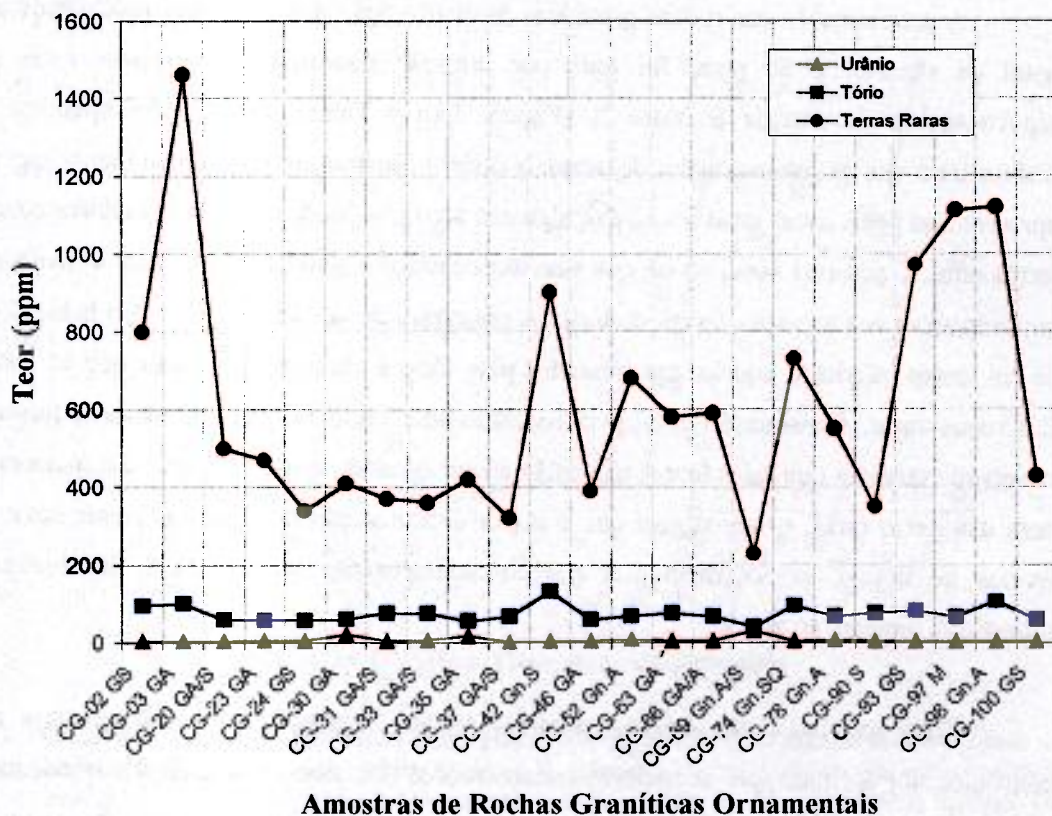


Figura 5.14 - Concentração de urânio, tório e terras raras totais nas amostras graníticas e gnaisses (GA - granito alcalino, Gn.A - gnaissé alcalino GA/S - granito alcalino/sienítico, Gn.A/S - gnaissé alcalino/sienítico, GS - granito sienítico, Gn.S - gnaissé sienítico, S - sienito, Gn.SQ - gnaissé sienito quartzoso e M - monzonito) com elementos radioativos totais (U₃O₈ e ThO₂) acima de 60ppm.

No grupo determinado como granito sienítico, onde também foram analisadas as maiores concentrações de terras raras leves, urânio e tório, estes constituintes são atribuídos, preferencialmente, à allanita, monazita e zircão, e de forma secundária são também relacionados à presença de titanita e apatita.

As análises por microsonda eletrônica na amostra CG-42, foram obtidos na monazita teores de 7,20 a 7,72 % de ThO₂ e, no zircão, 1,27 % de U₃O₈ (Figuras 5.9 e 5.10).

5.2.4 - Relação do urânio, tório e terras raras totais nos minerais radioativos das rochas graníticas ornamentais (teores totais maiores que 60 ppm de U_3O_8 e ThO_2)

Pelos resultados de urânio e tório analisados pela ativação neutrônica e de terras raras por espectrometria de raios X, nas rochas caracterizadas, principalmente, como granito alcalino, granito alcalino/sienítico e granito sienítico, assim como de outros tipos litológicos de menor expressão, foram determinadas as relações existentes entre o tório e as terras raras totais, urânio e terras raras e tório, assim como também do urânio e tório, para determinar a principal afinidade existente destes óxidos nos constituintes mineralógicos responsáveis pelos elementos radioativos presentes em tais rochas graníticas ornamentais.

Pela linha de tendência a correlação do tório e terras raras totais (Figura 5.15) é significativamente positiva, verificou-se que existe um aumento crescente em ambos elementos indicados anteriormente, porém com uma distribuição irregular. Verifica-se que quando existe um aumento nos teores de tório também ocorre um aumento das concentrações destas terras raras.

Na linha de tendência da correlação do urânio e terras raras totais (Figura 5.16) encontra-se negativa, demonstra-se que em algumas amostras onde existem as maiores concentrações de urânio tem-se baixas concentrações de terras raras. Por outro lado, as maiores concentrações de elementos terras raras, apresentam-se com teores de urânio baixo.

Na linha de tendência da correlação do urânio e tório (Figura 5.17) apresenta-se negativa, verifica-se que existe um comportamento semelhante daquele que foi observado pela relação do urânio e terras raras. Em algumas amostras, na relação do urânio e tório, foram determinados elevados teores de urânio e o tório apresenta-se com teores menores. Por outro lado, onde as concentrações de tório encontram-se associadas aos teores de urânio baixos, estes são próximo um dos outros.

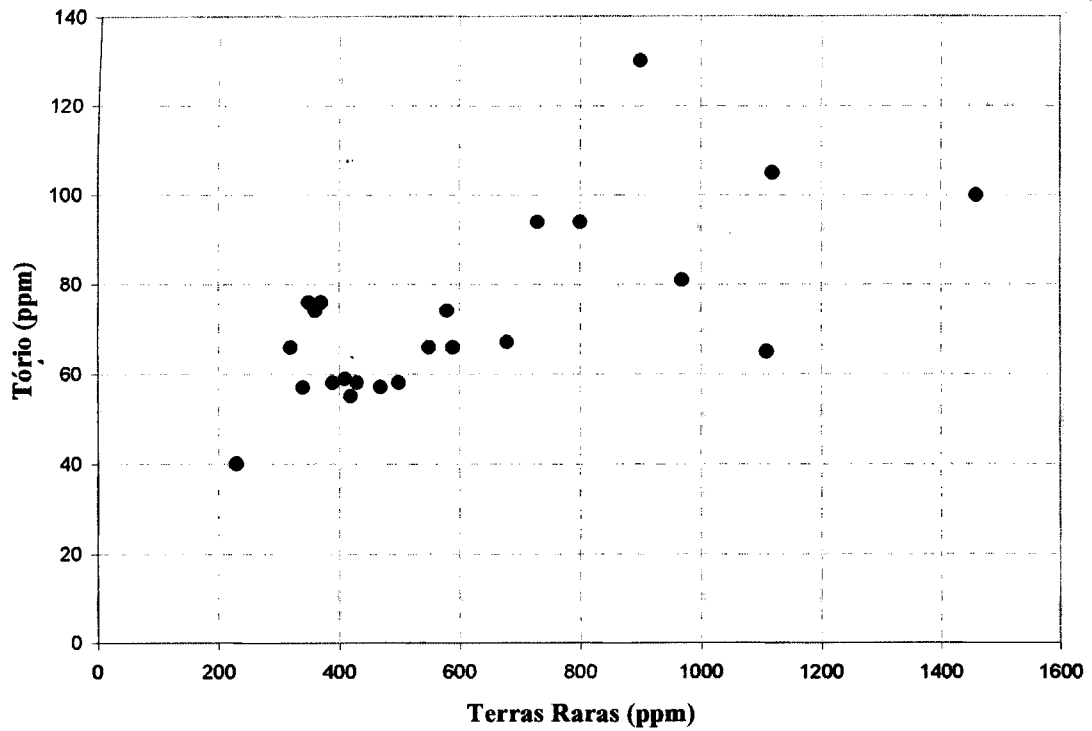


Figura 5.15 - Relação do tório e terras raras (ppm), em rochas graníticas ornamentais com teores totais de U_3O_8 e ThO_2 acima de 60 ppm.

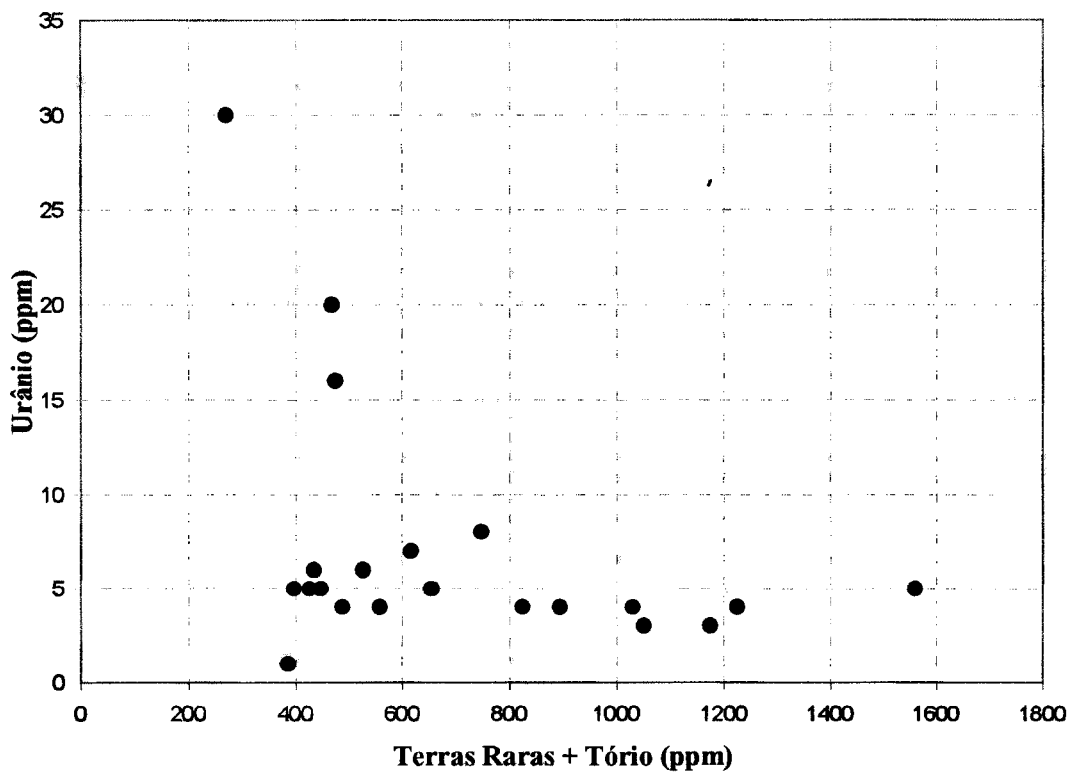


Figura 5.16 - Relação do urânio e terras raras + tório (ppm), em rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm.

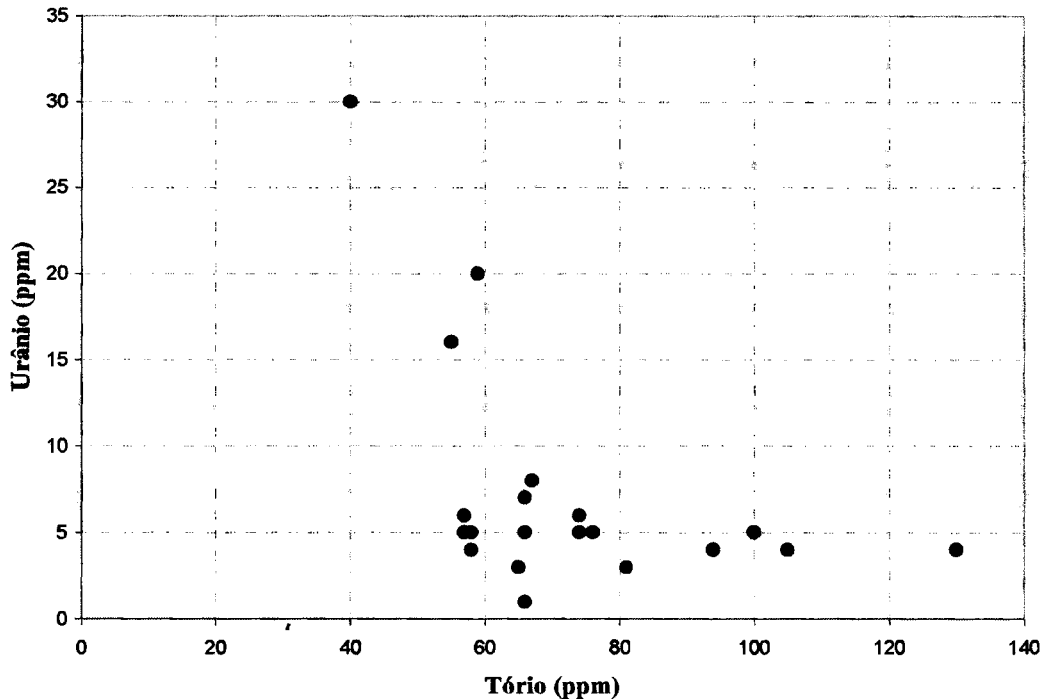
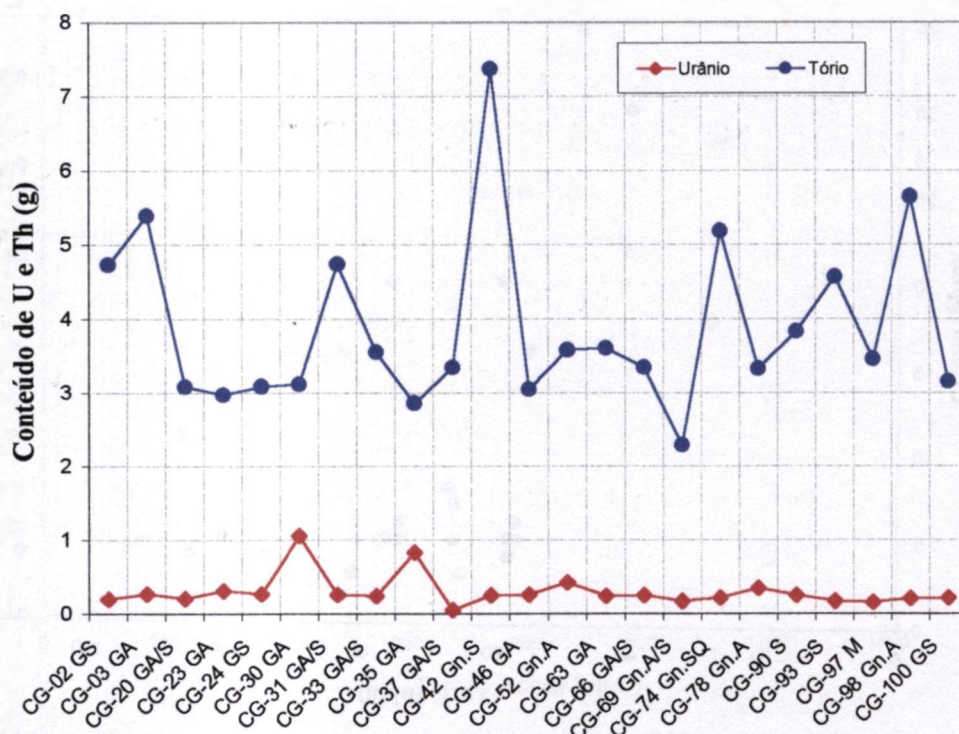


Figura 5.17 - Relação do urânio e tório (ppm), em rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm.

5.2.5 - Conteúdo de urânio e tório de uma placa hipotética com $1m^2$ e 2cm de espessura ($0,02m^3$), de rochas graníticas (teores superiores a 60 ppm de U_3O_8 e ThO_2)

Os grupos de rochas graníticas ornamentais com teores totais superiores a 60 ppm de urânio e tório, são representados principalmente pelo granito alcalino, granito alcalino/sienítico e granito sienítico. Para a determinação do conteúdo de urânio e tório foram consideradas placas hipotéticas que têm espessura de 2cm e uma superfície de $1m^2$ (Tabela 5.AP-2, do Apêndice 2), apresentados na Figura 5.13. Observou-se na maior parte, o conteúdo de urânio não acompanha o tório, o que indica que ambos elementos são, em parte, provenientes de minerais radioativos diferentes.

É possível também verificar-se pela Figura 5.18 que o conteúdo em uma placa hipotética encontra-se, de forma geral, inferior a $0,5 g/m^2$ e são muito raras as amostras que apresentam teores próximos de $1g/m^2$. No caso do tório, o conteúdo encontra-se muito superior àqueles que foram determinados para urânio: variam entre 3 e $5 g/m^2$ e em uma única placa o conteúdo apresenta-se acima de $7 g/m^2$.



Amostras de Rochas Graníticas Ornamentais

Figura 5.18 - Conteúdo de urânio e tório nas rochas graníticas e gnaisses ornamentais (GA - granito alcalino, Gn.A - gnaissse alcalino GA/S - granito alcalino/sienítico, Gn.A/S - gnaissse alcalino/sienítico, GS - granito sienítico, GnS - gnaissse sienítico, S - sienito, Gn.SQ - gnaissse sienito quartzoso e M - monzonito) com elementos radioativos em grama (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm, em uma hipotética placa de $1m^2$ de superfície e 2 cm de espessura.

CAPÍTULO 6

CÁLCULO DE DOSE E ACRÉSCIMO EM FUNÇÃO DO USO DE GRANITOS COMO PISO EM CONSTRUÇÃO CIVIL: IMPACTO AMBIENTAL

6.1 - MODELO PARA O CÁLCULO DE DOSE DEVIDA AO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO UTILIZADO NO “CÔMODO PADRÃO”

6.1.1 - Cômodo padrão

Os cálculos foram realizados a partir de um “cômodo padrão” idealizado com as dimensões internas de 4 x 4 x 3 m (Figura 6.1), sendo as quatro paredes de tijolos (duas com 10 cm e duas com 20 cm de espessura, simulando, respectivamente, paredes internas e externas de uma casa), laje do teto com 12 cm de espessura e piso em rocha granítica ornamental com 2 cm de espessura.

Foram considerados os seguintes pressupostos: taxa de ventilação de $0,7 \text{ h.a}^{-1}$, tempo de permanência neste cômodo 7.008 horas por ano, equivalente a 80 % das horas em um ano, e dimensões do tijolo de 20 x 10 x 5 cm.

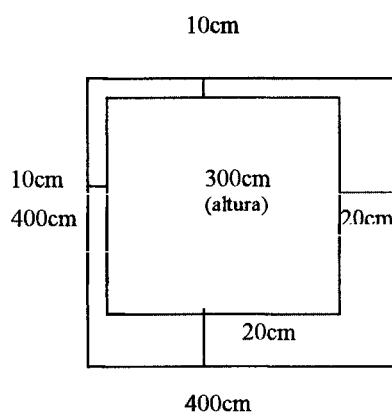


Figura 6.1 - Cômodo padrão utilizado para o cálculo de dose e acréscimo.

6.1.2 - Materiais e métodos

Em 23 amostras com teores totais igual ou superior a 60 ppm de urânio e tório, como uma abordagem inicial, foram medidas suas atividades γ e β em Bq.cm^{-2} e a média percentual (Tabela 1.AP-3, do Apêndice 3). Foram feitas 10 determinações da radiação do *background* ou de fundo e 5 em cada uma

das amostras com tamanhos de 6 x 5 x 2 cm à distância de 3 mm da fonte, realizadas com cintilômetro portátil, fabricado pela NE Technology Ltda., modelo Type Electra & Selectra - Inc. Upgrade AE0068A – Num. Série: 1995.

O cálculo de dose e do acréscimo em função do uso de granito como piso no cômodo padrão foi realizado somente em 23 amostras de rochas graníticas ornamentais, dentre o grupo das 100 amostras coletadas, observando-se que, quanto à origem, predominam amostras dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, sendo que as amostras dos Estados de Pernambuco e Goiás encontram-se de forma subordinada. As amostras foram escolhidas com base nas concentrações totais de urânio + tório e representatividade destas amostras na distribuição dos tipos litológicos amostrados.

Nestas 23 amostras encontram-se presentes, de forma predominantemente, o grupo caracterizado, segundo La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979), como granito alcalino, em menor proporção os grupos de granito alcalino/sienítico e granito sienítico e, de forma subordinada, os que constituem os grupos granito monzonítico/sienítico e sienito. Estas mesmas amostras, foram caracterizadas segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), predominantemente, como granito monzonítico, ocasionalmente de granito sienítico, monzonito quartzoso e sienito. As rochas graníticas destes grupos litológicos, em parte, foram caracterizados como gnaisses.

Para efetuar-se o cálculo de dose nas amostras selecionadas e em piso de material cerâmico, com dados para este último extraídos de Ginjaar (1985) na “Health Council of the Netherlands”, foram consideradas as densidades em kg.m^{-3} e os resultados de concentrações de ^{232}Th , ^{226}Ra e ^{40}K , obtidos por ativação neutrônica paramétrica, em Bq.kg^{-1} (Tabela 6.1).

O modelo de cálculo para um cômodo padrão, demonstrado a seguir (Castro & Senne 1995), foi aplicado no cálculo de doses para os pisos de material cerâmico e amostras de granito. Foram determinadas as taxas de doses equivalente deste cômodo padrão, calculando-se a dose devida à radiação gama (item 6.1.3), a dose anual devida ao radônio (item 6.1.4) e a dose anual devida ao torônio (item 6.1.5). Após a obtenção desses dados, foram efetuadas em todas estas amostras o cálculo do acréscimo de dose devida ao uso do piso do material granito, em lugar do piso de material cerâmico.

Tabela 6.1 - Densidade e concentrações de ^{232}Th , ^{226}Ra e ^{40}K em pisos de materiais cerâmico e granítico

Amostra	Densidade kg.m ⁻³	Concentrações		
		^{232}Th	^{226}Ra Bq.kg ⁻¹	^{40}K
Cerâmico	1.000	10	15	50
CG-02	2.515	380	10	1.600
CG-03	2.698	410	170	1.600
CG-20	2.653	240	222	1.700
CG-23	2.602	230	80	1.700
CG-24	2.711	230	10	1.500
CG-30	2.645	240	400	1.600
CG-31	2.618	310	30	1.600
CG-33	2.399	300	222	1.700
CG-35	2.600	220	440	1.300
CG-37	2.533	270	10	1.800
CG-42	2.936	530	140	1.600
CG-46	2.595	240	210	1.600
CG-52	2.670	270	60	1.300
CG-63	2.433	300	20	1.500
CG-66	2.536	270	150	1.500
CG-69	2.587	180	10	1.300
CG-74	2.762	380	90	1.700
CG-78	2.527	270	220	1.000
CG-90	2.521	310	600	2.300
CG-93	2.823	330	10	1.700
CG-97	2.660	270	20	1.600
CG-98	2.691	430	10	1.800
CG-100	2.715	240	10	1.500

6.1.3 - Dose devida à radiação gama

A dose equivalente efetiva anual $H_{E\gamma}$, devida à radiação gama foi calculada pela seguinte expressão:

$$H_{E\gamma} = T \cdot b \cdot \overset{\circ}{D} \quad (\text{Sv.a}^{-1}) \quad (1)$$

Onde:

T = tempo de permanência no “cômodo padrão” em horas/ano [h.a⁻¹];

b = fator de conversão de dose absorvida no ar para dose equivalente efetiva [Sv.Gy⁻¹] e

$\overset{\circ}{D}$ = taxa de dose absorvida no ar [Gy.h⁻¹].

A taxa de dose absorvida no ar, $\overset{\circ}{D}$, é expressa como sendo a soma das contribuições dos diferentes radionuclídeos presentes no material de construção:

$$\overset{\circ}{D} = \sum_i q_x \cdot C_{x,i} \cdot m_i \quad (\text{gy} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (2)$$

Onde:

q_x = fator para conversão da concentração do radionuclídeo x , presente no material de construção, em taxa de dose absorvida no ar a 1 metro de distância da superfície do material [$\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{kg}$],

$C_{x,i}$ = concentração do radionuclídeo x no material i [$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$] e

m_i = massa relativa do material i no “cômodo padrão”.

6.1.4 - Dose devida ao radônio

A dose equivalente anual, $H_{E_{Rn}}$, devida ao radônio, produto do decaimento do urânio (Figura - 1.AN-1, do Anexo 1), Perreault, (2003 a), presente no material de construção foi calculada pela seguinte expressão:

$$H_{E_{Rn}} = T \cdot r_{Rn} \cdot F_{Rn} \cdot C_{Rn,i} \quad (\text{mSv/ano}) \quad (3)$$

Onde :

T = tempo de permanência no “cômodo padrão” em h/ano [$\text{h} \cdot \text{a}^{-1}$];

r_{Rn} = fator para conversão do equilíbrio equivalente da concentração dos produtos de decaimento do radônio, no interior do “cômodo padrão”, em taxa de dose equivalente [$\text{mSv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$];

F_{Rn} = fator de equilíbrio e

$C_{Rn,i}$ = concentração de radônio resultante da concentração de ^{226}Ra no material de construção i em [$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$].

A concentração de radônio resultante da concentração de ^{226}Ra presente no material de construção é dada pela seguinte equação:

$$C_{Rn,i} = S_i \cdot \frac{A}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v + \lambda_{Rn}} \cdot f_{Rn} \cdot C_{Ra,i} \quad (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (4)$$

Onde :

S_i = superfície relativa do material i no “cômodo padrão”;

A = área do material i no “cômodo padrão” [m^2];

V = volume do “cômodo padrão” [m^3];

λ_v = taxa de ventilação no “cômodo padrão” [h^{-1}];

λ_{Rn} = constante de decaimento do Rn [h^{-1}];

$f_{Rn,i}$ = taxa de exalação de radônio por m^2 do material i , e por unidade de concentração de ^{226}Ra [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$], e

$C_{Ra,i}$ = concentração de ^{226}Ra no material i [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$].

A taxa de exalação do radônio, $f_{Rn,i}$, é calculada pela seguinte expressão:

$$f_{Rn,i} = \lambda_{Rn} \cdot \rho_i \cdot \eta_i \cdot l_i \cdot \text{tgh} (L_i / l_i) \quad (\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}) \quad (5)$$

Onde :

λ_{Rn} = constante de decaimento do Rn [$\text{h}\cdot\text{a}^{-1}$]

ρ_i = densidade do material de construção i [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];

η_i = fator de emanação do material de construção i (indica a fração de radônio que alcança os poros do material);

l_i = comprimento efetivo de difusão no material i [m] e

L_i = meia espessura do material i utilizado [m].

O “tgh” significa a função tangente hiperbólica.

O fator de l_i é dado por :

$$l_i = \sqrt{\frac{K_i}{\lambda_{Rn} \cdot \varepsilon_i}} \quad [\text{m}] \quad (6)$$

Onde:

K_i = coeficiente de difusão do radônio no material i [$\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}$] e

ε_i = porosidade do material i .

6.1.5 - Dose devida ao torônio

O cálculo para o torônio, produto do decaimento do tório (Figura - 2.AN-1, do Anexo 1), Perreault (2003b), é análogo ao cálculo para o radônio, produto do decaimento do Ra, substituindo-se Rn por Tn e Ra por Th.

A dose equivalente anual, $H_{E_{Tn}}$, devida ao torônio presente no material de construção é calculada pela seguinte expressão:

$$H_{E_{Tn}} = T \cdot r_{Tn} \cdot F_{Tn} \cdot C_{Tn,i} \quad (\text{mSv/ano}) \quad (7)$$

Onde :

T = tempo de permanência no “cômodo padrão” [$\text{h}\cdot\text{a}^{-1}$]

r_{Tn} = fator para conversão do equilíbrio equivalente da concentração dos produtos de decaimento do torônio, no interior do “cômodo padrão”, em taxa de dose equivalente [$\text{mSv}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$];

F_{Tn} = fator de equilíbrio e

$C_{Tn,i}$ = concentração de torônio resultante da concentração de ^{232}Th no material de construção i [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$].

A concentração de torônio resultante da concentração de ^{232}Th presente no material de construção é dada pela seguinte equação:

$$C_{Tn,i} = S_i \cdot \frac{A}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v + \lambda_{Tn}} \cdot f_{Tn,i} \cdot C_{Th,i} \quad (\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}) \quad (8)$$

Onde :

S_i = superfície relativa do material i no “cômodo padrão”;

A = área do material i no “cômodo padrão” [m^2];

V = volume do “cômodo padrão” [m^3];

λ_v = taxa de ventilação no “cômodo padrão” [h^{-1}];

λ_{Tn} = constante de decaimento do Tn [h^{-1}];

$f_{Tn,i}$ = taxa de exalação de torônio por m^2 do material i , e por unidade de concentração de ^{226}Th [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$] e

$C_{Th,i}$ = concentração de ^{232}Th no material i [$\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$].

A taxa de exalação de torônio, $f_{Tn,i}$, é calculada pela seguinte expressão:

$$f_{Tn,i} = \lambda_{Tn} \cdot \rho_i \cdot \eta_i \cdot l_i \cdot \text{tgh} (L_i / l_i) \quad (\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}) \quad (9)$$

Onde:

ρ_i = densidade do material de construção i [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$];

η_i = fator de emanação do material de construção i (indica a fração de torônio que alcança os poros do material);

l_i = comprimento efetivo de difusão no material i [m] e

L_i = meia espessura do material i utilizado [m]; e “tgh” = função tangente hiperbólica.

O fator de l_i é dado por:

$$l_i = \sqrt{\frac{K_i}{\lambda_{Tn} \varepsilon_i}} \quad [\text{m}] \quad (10)$$

Onde:

K_i = coeficiente de difusão do torônio no material i [$m^2 \cdot h^{-1}$] e

ε_i = porosidade do material i .

6.2 - CÁLCULO DO INCREMENTO DE DOSE ANUAL DEVIDO À UTILIZAÇÃO DA AMOSTRA CG-02 COMO PISO NO "CÔMODO PADRÃO".

6.2.1 - Cálculo da dose anual devida à radiação gama

Valores utilizados para o cálculo da dose devida à radiação gama

- $T = 7.008$ h/a (tempo de permanência por ano)
- $b = 0,7$ Sv.Gy⁻¹ (fator de conversão conforme dados de Ginjaar (1985) na "Health Council of the Netherlands")
- Valores de q_x na Tabela 6.2

Tabela 6.2 - Valores de q_x

Radionuclídeos	q_x [Gy.h ⁻¹ .Bq ⁻¹ .kg]
⁴⁰ K	54×10^{-12}
²³² Th	890×10^{-12}
²²⁶ Ra	620×10^{-12}

- Valores de m_i (massa relativa) na Tabela 6.3

Tabela 6.3 - Valores de m_i (massa relativa)

Material	Volume [m ³]	Densidade [kg.m ⁻³]	Massa [kg]	m_i
Parede com tijolo de 10 cm	2,40	1.600	3.840,00	0,23
Parede com tijolo de 20 cm	4,80	1.600	7.680,00	0,46
Laje do teto	1,92	2.400	4.608,00	0,27
Piso de granito	0,32	2.515	804,80	0,05
Total			16.932,00	

e) Concentração (C_{xi}) dos radionuclídeos ^{40}K , ^{232}Th e ^{226}Ra da amostra CG-02 na Tabela 6.4

Tabela 6.4 - Concentração (C_{xi}) dos radionuclídeos ^{40}K , ^{232}Th e ^{226}Ra da amostra CG-02

Radionuclídeo	Concentração (C_{xi}) Bq.kg ⁻¹
^{40}K	1.600
^{232}Th	380
^{226}Ra	10

Cálculo da dose anual devida à radiação γ

$$H_{E_\gamma} = T \cdot b \cdot \overset{\circ}{D} \quad (1)$$

$$\overset{\circ}{D} = \sum_i q_i \cdot C_{xi} \cdot m_i \quad (2)$$

$$\therefore \overset{\circ}{D} = (54 \times 10^{-12} \times 1600 + 890 \times 10^{-12} \times 380 + 620 \times 10^{-12} \times 10) \times 0,05$$

$$\overset{\circ}{D} = (8,64 \times 10^{-8} + 3,38 \times 10^{-7} + 6,2 \times 10^{-9}) \times 0,05$$

$$\overset{\circ}{D} = 2,2 \times 10^{-8} \text{ Gy.h}^{-1}$$

$$H_{E_\gamma} = 7.008 \times 0,7 \times 2,2 \times 10^{-8}$$

A dose equivalente devida a radiação γ seria:

$H_{E_\gamma} = 1,08 \times 10^{-4} \text{ Sv/ano}$ $= 1,08 \times 10^{-1} \text{ mSv/ano}$

6.2.2 - Cálculo de dose anual devida ao radônio

Valores utilizados para o cálculo da dose devida ao radônio

- $T = 7.008 \text{ h/ano}$
- $r_{Rn} = 8,7 \times 10^{-6} \text{ mSv.m}^{-3}.\text{h}^{-1}.\text{Bq}^{-1}$
- $F_{Rn} = 0,4$ para uma taxa de ventilação de $0,7 \text{ h}^{-1}$
- $A = 16 \text{ m}^2$
- $V = 48 \text{ m}^3$
- $\lambda_{Rn} = 7,56 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$
- $\lambda_\gamma = 0,7 \text{ h}^{-1}$

h) $\frac{K_i}{\epsilon_i} = 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ (valor utilizado para a maioria dos materiais de construção)

i) Valores de S_i na Tabela 6.5

Tabela 6.5 - Valores de S_i

Material	Área [m ²]	S_i
Tijolo de 10 cm	24	0,30
Tijolo de 20 cm	24	0,30
Laje do teto	16	0,20
Granito do piso	16	0,20
Total	80	

j) Valores utilizados para ρ_i , η_i , l_i , L_i e $\text{tgh}(L_i/l_i)$ na Tabela 6.6

Tabela 6.6 - Valores utilizados para ρ_i , η_i , l_i , L_i e $\text{tgh}(L_i/l_i)$

Material	ρ_i [kg.m ⁻³]	η_i	l_i [m]	L_i [m]	$\text{tgh}(L_i/l_i)$
Amostra CG-02	2.515	0,20	0,15	0,01	0,07

O valor de l_i depende da porosidade do material. O valor observado para o concreto é de 0,15m e o mesmo tem sido usado para a maioria dos materiais.

Utilizou-se, de forma conservadora, para o fator de emanações (η_i), o valor utilizado para o concreto, que é de 0,20.

Cálculo da dose anual devida ao radônio

$$C_{Rn,i} = S_i \cdot \frac{A}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v + \lambda_{Rn}} \cdot f_{Rn,i} \cdot C_{Ra,i} \quad (4)$$

$$f_{Rn,i} = \lambda_{Rn} \cdot \rho_i \cdot \eta_i \cdot l_i \cdot \text{tgh}(L_i/l_i) \quad (5)$$

$$\therefore f_{Rn,i} = 7,56 \times 10^{-3} \times 2515 \times 0,20 \times 0,15 \times 0,07$$

$$f_{Rn,i} = 0,04 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$$

$$C_{Rn,i} = 0,20 \times \frac{16}{48} \left(\frac{1}{0,7 + 7,56 \times 10^{-3}} \right) 0,04 \times 10$$

$$C_{Rn,i} = 0,0376 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

A dose equivalente anual ao radônio seria:

$$H_{E_{Rn}} = T \cdot r_{Rn} \cdot F_{Rn} \cdot C_{Rn,i} \quad (3)$$

$$H_{E_{Rn}} = 7008 \times 8,7 \times 10^{-6} \times 0,4 \times 0,038$$

$$H_{E_{Rn}} = 9,27 \times 10^{-4} \text{ mSv/ano}$$

6.2.3 - Cálculo da dose anual devida ao torônio

Valores utilizados para o cálculo de dose anual devida ao torônio

- a) $T = 7.008 \text{ h/ano}$
- b) $r_{Tn} = 4 \times 10^{-5} \text{ mSv.m}^3.\text{h}^{-1}.\text{Bq}$
- c) $F_{Tn} = 0,03$, para uma taxa de ventilação de $0,7 \text{ h}^{-1}$
- d) $A = 16 \text{ m}^2$
- e) $V = 48 \text{ m}^3$
- f) $\lambda_v = 0,7 \text{ h}^{-1}$
- g) $\lambda_{Tn} = 45 \text{ h}^{-1}$
- h) $\frac{K_i}{\varepsilon_i} = 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2.\text{h}^{-1}$, para todos os materiais

i) Valores de S_i na Tabela 6.7

Tabela 6.7 - Valores de S_i

Material	Área [m ²]	S_i
Tijolo 10 cm	24	0,30
Tijolo 20 cm	24	0,30
Laje do teto	16	0,20
Piso de granito	16	0,20

j) Valores utilizados para ρ_i , η_i , l_i , L_i e $\text{tgh}(L_i/l_i)$ na Tabela 6.8

Tabela 6.8 - Valores utilizados para ρ_i , η_i , l_i , L_i e $\text{tgh}(L_i/l_i)$

Material	ρ_i [kg.m ⁻³]	η_i	l_i [m]	L_i [m]	$\text{tgh}(L_i/l_i)$
Amostra CG-02	2.515	0,10	0,002	0,01	0,999

Cálculo de dose devida ao torônio

$$H_{E_{Tn}} = T \cdot r_{Tn} \cdot F_{Tn} \cdot C_{Tni} \quad (7)$$

$$C_{Tn,i} = S_i \cdot \frac{A}{V} \cdot \frac{1}{\lambda_v + \lambda_{Tn}} \cdot f_{Tn} \cdot C_{Tni} \quad (8)$$

$$f_{Tn,i} = \lambda_{Tn} \cdot \rho_i \cdot \eta_i \cdot l_i \cdot \text{tgh}(L_i/l_i) \quad (9)$$

$$\therefore f_{Tn,i} = 45 \times 2.515 \times 0,10 \times 0,002 \times 0,999$$

$$f_{Tn,i} = 22,64 \text{ kg.m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$C_{Tn,i} = 0,20 \times \frac{16}{48} \times \frac{1}{0,7 + 45} \times 22,64 \times 380$$

$$C_{Tn,i} = 12,550 \text{ Bq.kg}^{-1}$$

A dose equivalente anual devida ao torônio seria:

$$H_{E_{Tn}} = T \cdot r_{Tn} \cdot F_{Tn} \cdot C_{Tni} \quad (7)$$

$$H_{E_{Tn}} = 7.008 \times 4 \times 10^{-5} \times 0,03 \times 12,550$$

$$H_{E_{Tn}} = 0,11 \text{ mSv/ano}$$

6.2.4 - Concentrações (C_{xi}) dos radionuclídeos ^{40}K , ^{232}Th e ^{226}Ra para o cálculo de dose em piso de material cerâmico de Ginjaar (1985), indicados na “Health Council of the Netherlands”

Tabela 6.9 - Concentrações de radionuclídeos em piso de material cerâmico

Radionuclídeo	Concentrações (C_{xi}) Bq.kg ⁻¹
^{40}K	50
^{232}Th	10
^{226}Ra	15

Fonte: Ginjaar (1985), indicados na “Health Council of the Netherlands”

A densidade de 1.000 kg.m⁻³ para o material cerâmico foi extraído de Ginjaar (1985). A densidade para as amostras de rocha granítica foram obtidas a partir da razão peso/volume para cada amostra.

O cálculo de dose do piso de material cerâmico foi realizado utilizando-se a mesma planilha de cálculo desenvolvida para a obtenção dos resultados de doses de rochas graníticas (Tabela 6.10 e 6.11).

Os resultados dos cálculos de dose para pisos de material cerâmico e rochas graníticas (23 amostras) devidos ao radônio e torônio encontram-se sintetizados na Tabela 6.11.

Os dados foram utilizados para se determinar qual seria o acréscimo de dose devido à utilização de material granítico no lugar do material cerâmico.

6.2.5 - Acréscimo de dose devido ao uso do piso de material granítico (amostra CG-02) no lugar do piso de material cerâmico

$$H_{ET} = (H_{EY} + H_{ERn} + H_{ETn}) - H_{ET} \text{cerâmica (Ginjaar 1985)}$$

$$H_{ET} = (1,08 \times 10^{-1} + 9,27 \times 10^{-4} + 0,11) - 0,0069$$

$H_{ET} = 0,22 \text{ mSv/ano}$

Tabela 6.10 - Planilha para cálculo de doses devidos ao radônio e torônio em mSv/ano

RADIONUCLÍDEO	
⁴⁰ K	5,40E-11
²³² Th	8,90E-10
²²⁸ Ra	6,20E-10

DADOS DO CÔMODO PADRÃO	
massa =	16932 kg
T =	7008 h/ano
b =	0,7 h ⁻¹

DADOS PARA O RADÔNIO			
r(Rn)	8,70E-06	N(l)	0,2
F(Rn)	0,4	I(l)	0,15
A	16	L(l)	0,01
V	48	tanh(L/l)	0,07
Lamb (v)	0,7	K/epsilon	1,80E-04
Lamb(Rn)	7,56E-03		
S(i)	0,2		

DADOS PARA O TORÔNIO			
r(Tn)	4,00E-05	N(l)	0,1
F(Tn)	0,03	I(l)	0,002
A	16	L(l)	0,01
V	48	tanh(L/l)	1
Lamb (v)	0,7	K/epsilon	1,80E-04
Lamb (Tn)	4,50E+01		
S(i)	0,2		

Tabela 6.11 - Cálculo de doses para pisos de materiais cerâmico e granítico, devidas ao radônio, torônio e acréscimo

AMOSTRA	CONCENTRAÇÕES				m(piso) (%)	° D Gy / h	H _{Eγ} mSv / ano	C(Rn,i) Bq / kg	H _{ERN} mSv / ano	C(Tn,i) Bq / kg	H _{ETn} mSv / ano	H _{ET} mSv / ano	ACRÉSCIMO mSv / ano
	DENSIDADE kg / m ³	²³² Th Bq / kg	²²⁶ Ra Bq / kg	⁴⁰ K Bq / kg									
CERÂMICA	1000	10	15	50	5	1,05E-09	0,005	0,022	5,47E-04	0,13	0,0011	0,0068	
CG-02	2515	380	10	1600	5	2,15E-08	0,106	0,038	9,17E-04	12,55	0,1055	0,21	0,21
CG-03	2698	410	170	1600	5	2,78E-08	0,137	0,686	1,67E-02	14,52	0,1221	0,28	0,27
CG-20	2653	240	222	1700	5	2,22E-08	0,109	0,881	2,15E-02	8,36	0,0703	0,20	0,19
CG-23	2602	230	80	1700	5	1,73E-08	0,085	0,311	7,59E-03	7,86	0,0661	0,16	0,15
CG-24	2711	230	10	1500	5	1,46E-08	0,072	0,041	9,89E-04	8,19	0,0688	0,14	0,13
CG-30	2645	240	400	1600	5	2,74E-08	0,134	1,583	3,86E-02	8,33	0,0701	0,24	0,24
CG-31	2618	310	30	1600	5	1,90E-08	0,093	0,117	2,87E-03	10,66	0,0896	0,19	0,18
CG-33	2399	300	222	1700	5	2,48E-08	0,122	0,797	1,94E-02	9,45	0,0795	0,22	0,21
CG-35	2600	220	440	1300	5	2,69E-08	0,132	1,711	4,17E-02	7,51	0,0632	0,24	0,23
CG-37	2533	270	10	1800	5	1,72E-08	0,084	0,038	9,24E-04	8,98	0,0755	0,16	0,15
CG-42	2936	530	140	1600	5	3,22E-08	0,158	0,615	1,50E-02	20,43	0,1718	0,34	0,34
CG-46	2595	240	210	1600	5	2,15E-08	0,106	0,815	1,99E-02	8,18	0,0688	0,19	0,19
CG-52	2670	270	60	1300	5	1,74E-08	0,085	0,240	5,84E-03	9,46	0,0796	0,17	0,16
CG-63	2433	300	20	1500	5	1,80E-08	0,088	0,073	1,78E-03	9,58	0,0806	0,17	0,16
CG-66	2536	270	150	1500	5	2,07E-08	0,102	0,569	1,39E-02	8,99	0,0756	0,19	0,18
CG-69	2587	180	10	1300	5	1,18E-08	0,058	0,039	9,44E-04	6,11	0,0514	0,11	0,10
CG-74	2762	380	90	1700	5	2,43E-08	0,119	0,372	9,07E-03	13,78	0,1159	0,24	0,24
CG-78	2527	270	220	1000	5	2,15E-08	0,106	0,832	2,03E-02	8,96	0,0753	0,20	0,19
CG-90	2521	310	600	2300	5	3,86E-08	0,189	2,263	5,52E-02	10,26	0,0863	0,33	0,32
CG-93	2823	330	10	1700	5	1,96E-08	0,096	0,042	1,03E-03	12,23	0,1029	0,20	0,19
CG-97	2660	270	20	1600	5	1,70E-08	0,083	0,080	1,94E-03	9,43	0,0793	0,16	0,16
CG-98	2691	430	10	1800	5	2,43E-08	0,119	0,040	9,82E-04	15,19	0,1278	0,25	0,24
CG-100	2715	240	10	1500	5	1,50E-08	0,074	0,041	9,90E-04	8,55	0,0719	0,15	0,14

Tabela 6.12 - Unidades e grandezas usadas nos cálculos de dose para pisos de material cerâmico e rochas graníticas

Grandeza	Unidade	Grandeza	Unidade	Grandeza	Unidade
^{40}K	Bq.kg^{-1}	λ_v	h^{-1}	K/ϵ	$\text{m}^2.\text{h}^{-1}$
^{232}Th	Bq.kg^{-1}	T	h/ano	r_{Rn}	$\text{mSv.m}^{-3}.\text{h}^{-1}.\text{Bq}^{-1}$
^{226}Ra	Bq.kg^{-1}	b	Sv.Gy^{-1}	λ_{Rn}	h^{-1}
A	m^2	l_i	m	r_{Tn}	$\text{mSv.m}^{-3}.\text{h}^{-1}.\text{Bq}^{-1}$
V	m^3	L_i	m	λ_{Tn}	h^{-1}

6.3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.3.1 - Atividades γ e β nas rochas graníticas ornamentais selecionadas

As atividades γ e β em Bq.cm^{-2} e a médias percentuais (Tabela 1.AP-3, do Apêndice 3), medidas nas amostras com teores totais acima de 60 ppm de urânio e tório, foram obtidas a partir de 10 determinações do *background* e 5 determinações em cada uma das amostras com tamanhos de 6 x 5 x 2 cm, à distância de 3 mm da fonte, usando-se um cintilômetro portátil, fabricado pela NE Technology Ltda., modelo Type Electra & Selectra - Inc. Upgrade AE0068A-Num. Série: 1995.

Os resultados das medidas das atividades destas amostras, em média percentual, com relação ao *background*, que foi definido como 100 %, variam entre 119 e 181 % (Figura 6.2). A maior parte das amostras apresentam-se com atividades entre 120 e 160 %, sendo pouco freqüentes as amostras que exibem atividades entre 160 e 181 % relativamente ao *background*.

As atividades obtidas com a utilização do cintilômetro mostraram níveis proporcionais às concentrações analisadas pela ativação neutrônica. Algumas discrepâncias nas concentrações da atividade foram observadas, que devem ser atribuídas aos problemas de representatividade devidos à distribuição irregular dos minerais radioativos presentes nas rochas graníticas.

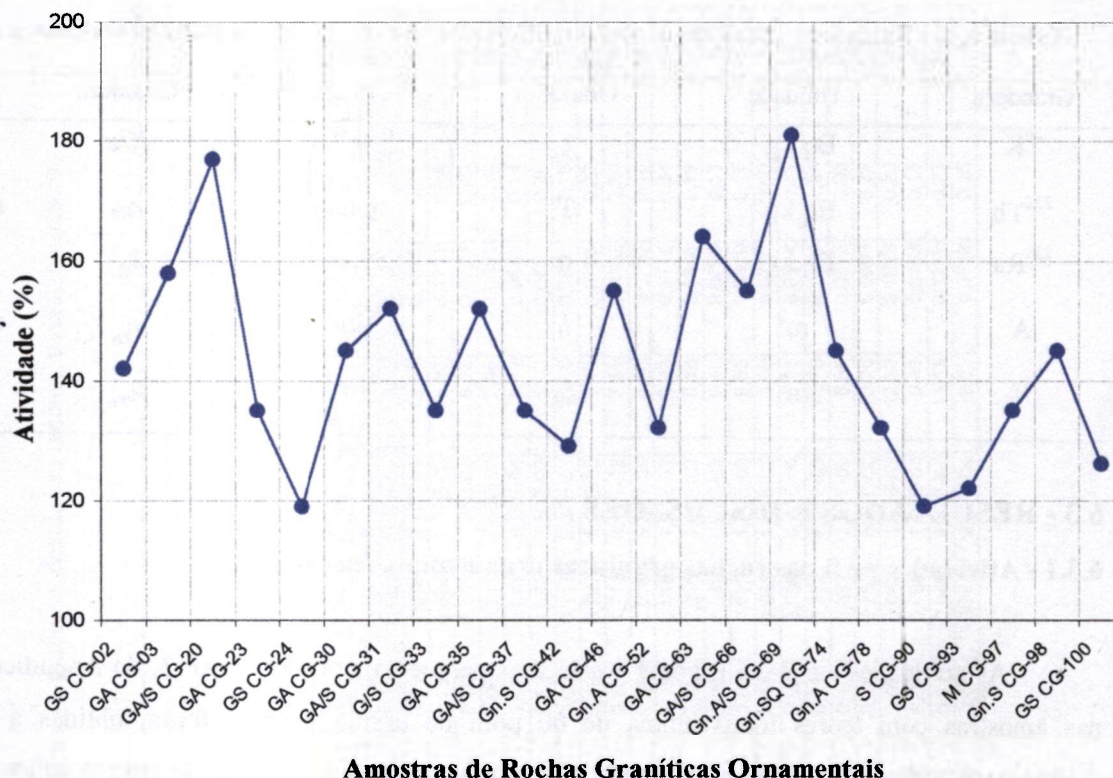


Figura 6.2 - Atividades γ e β nas 23 rochas graníticas e gnaisses ornamentais selecionadas (GA - granito alcalino, Gn.A - gnaiss alcalino, GA/S - granito alcalino/sienítico, Gn.A/S - gnaiss alcalino/sienítico, GS - granito sienítico, Gn.S - gnaiss sienítico, M - monzonítico, S - sienito e Gn.SQ - gnaiss sienito quartzoso) relacionadas com a concentração dos elementos radioativos (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm.

6.3.2 - Relação da taxa de dose (mSv/ano) das rochas graníticas ornamentais, devido ao ^{40}K , ^{226}Ra e ^{232}Th ($Bq.kg^{-1}$)

Nas 23 amostras selecionadas e utilizadas como piso no cômodo padrão, pela linha de tendência, verificou-se que a correlação das taxas de dose (mSv/ano) em função do ^{40}K , ^{226}Ra e ^{232}Th ($Bq.kg^{-1}$), apresentam, relações positiva, em algumas amostras, para todos os três radionuclídeos (Figuras 6.3, 6.4 e 6.5). Demonstrando, em ordem decrescente, uma elevada correlação com o tório, em menor correlação com o potássio e ainda menor com o rádio. A relação da taxa de dose devido ao ^{40}K , apresenta concentrações entre 1,0 e 2,3 $Bq.kg^{-1}$ e exibe uma discreta tendência de acréscimo nas suas taxas de dose, entre 0,1 e 0,34 mSv/ano. Na maior parte destas amostras a concentração do ^{226}Ra é maior que 0,2 $Bq.kg^{-1}$ e observa-se que, de maneira geral, quando esta concentração aumenta, aumentam-se também as taxas de dose. Com relação à taxa de dose devido ao ^{232}Th , verificou-se que, de uma forma geral, um aumento do ^{232}Th é acompanhado por um aumento da taxa de dose nestas rochas.

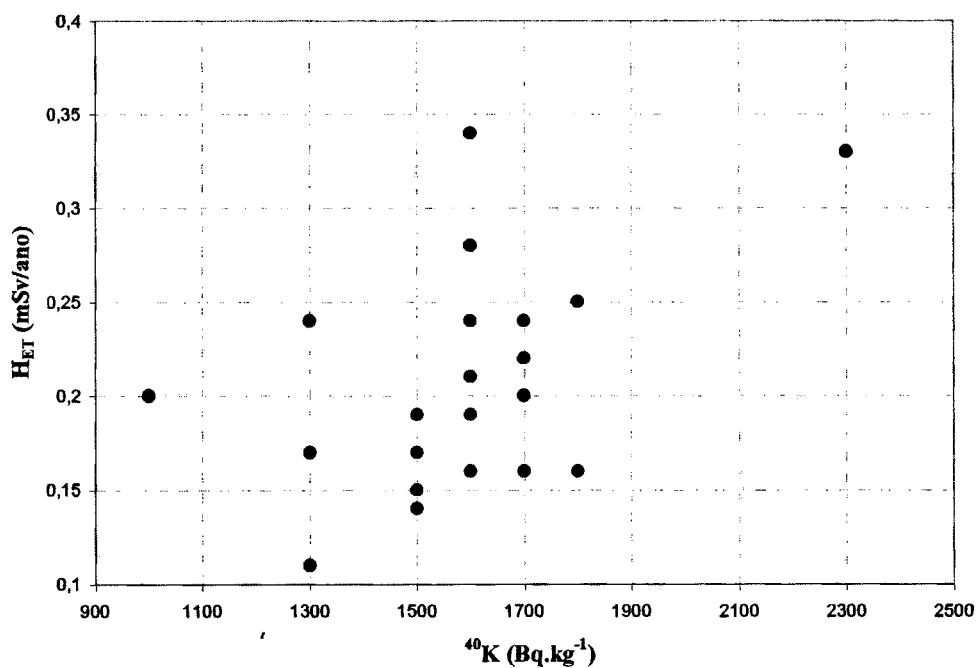


Figura 6.3 - Relação do H_{ET} (taxa de dose em mSv/ano) e ⁴⁰K (Bq.kg⁻¹), em 23 rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U₃O₈ e ThO₂) acima de 60 ppm

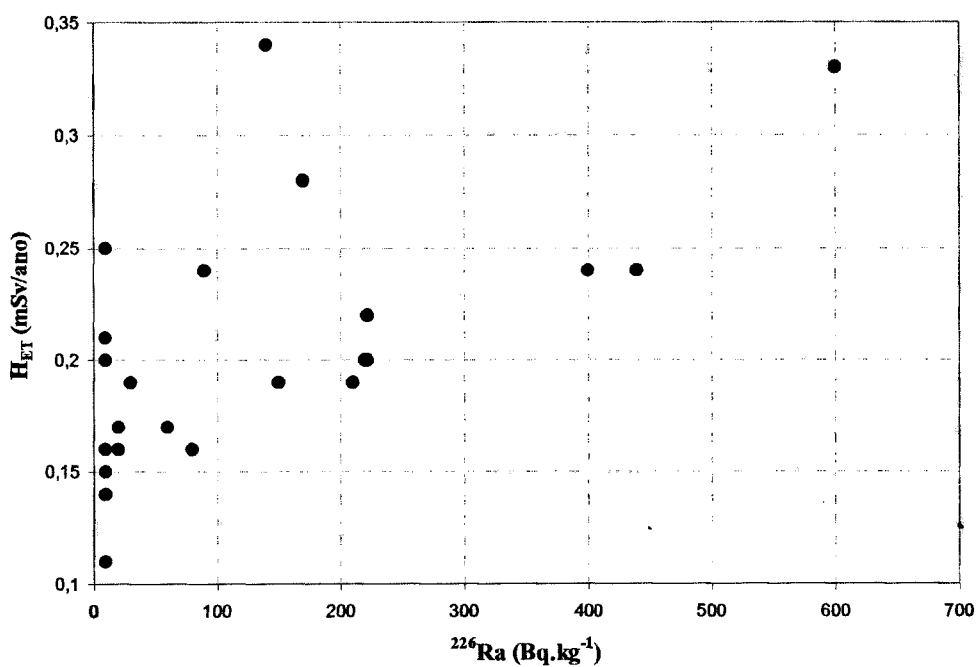


Figura 6.4 - Relação do H_{ET} (taxa de dose em mSv/ano) e ²²⁶Ra (Bq.kg⁻¹), em 23 rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U₃O₈ e ThO₂) acima de 60 ppm

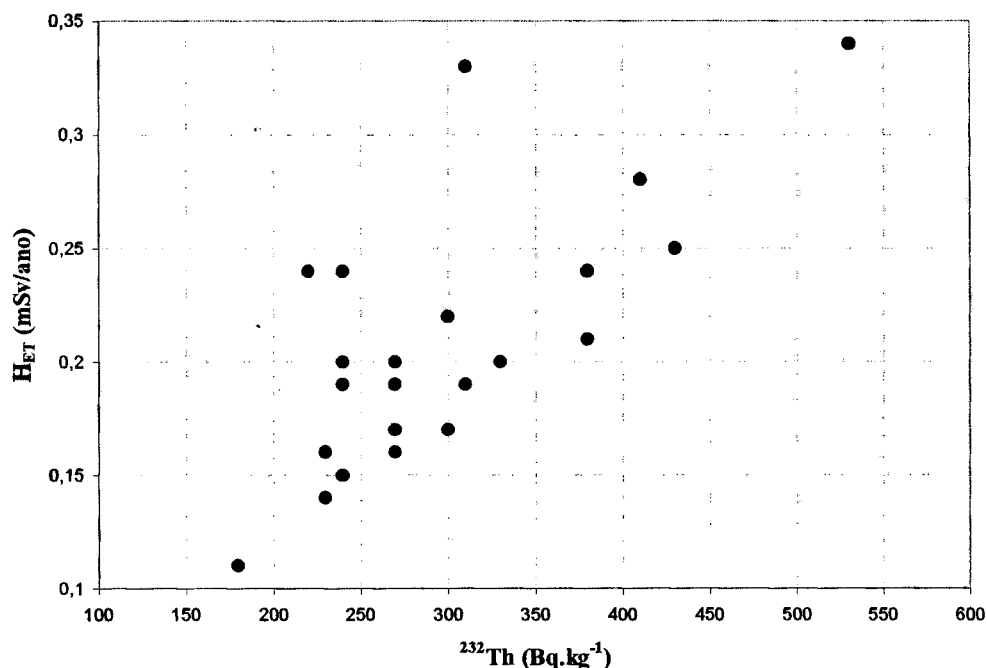


Figura 6.5 - Relação positiva do H_{ET} (taxa de dose em mSv/ano) e ^{232}Th (Bq.kg⁻¹), em 23 rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60 ppm

6.3.3 - Taxa de dose e acréscimo em mSv/ano, devido à utilização de amostras graníticas como piso no “cômodo padrão” - Conclusões

Para o cálculo de dose e de acréscimo de dose decorrente da utilização de rochas graníticas ornamentais foram utilizados os resultados obtidos pelas análises da ativação neutrônica de ^{232}Th , ^{226}Ra e ^{40}K .

Utilizando-se o modelo de Castro & Senne (1995), foram feitos os cálculos de dose para a amostra CG-02, tomada inicialmente como exemplo para o desenvolvimento das planilhas (Tabelas 6.10 e 6.11) que contem o cálculo para todas as amostras com teores de urânio e tório superiores a 60 ppm, bem como para um material cerâmico que servirá como referência.

As taxas de doses destas amostras (Figura 6.6) apresentam-se entre 0,11 a 0,34 mSv/ano, inferiores a 1,0 mSv/ano, de acordo com as recomendações apresentadas na NCRPM - “National Council on Radiation Protection and Measurements” (1987), sendo que, a maior parte, possuem taxas superiores a 0,20 m Sv/ano. Em maior proporção ocorrem as amostras com taxas entre 0,20 e 0,34 mSv/ano. As maiores taxas de doses ocorrem nos granitos alcalinos e granitos alcalino/sieníticos e as menores, nos granitos sienítico e sienito.

A partir da taxa de dose do material cerâmico (0,0068 mSv/ano), conforme dados de Ginjaar (1985) na “Health Council of the Netherlands”, e das taxas de doses das rochas selecionadas, foi possível determinar-se o acréscimo de dose devida ao uso destas rochas no lugar do piso de material cerâmico (Tabela 6.11).

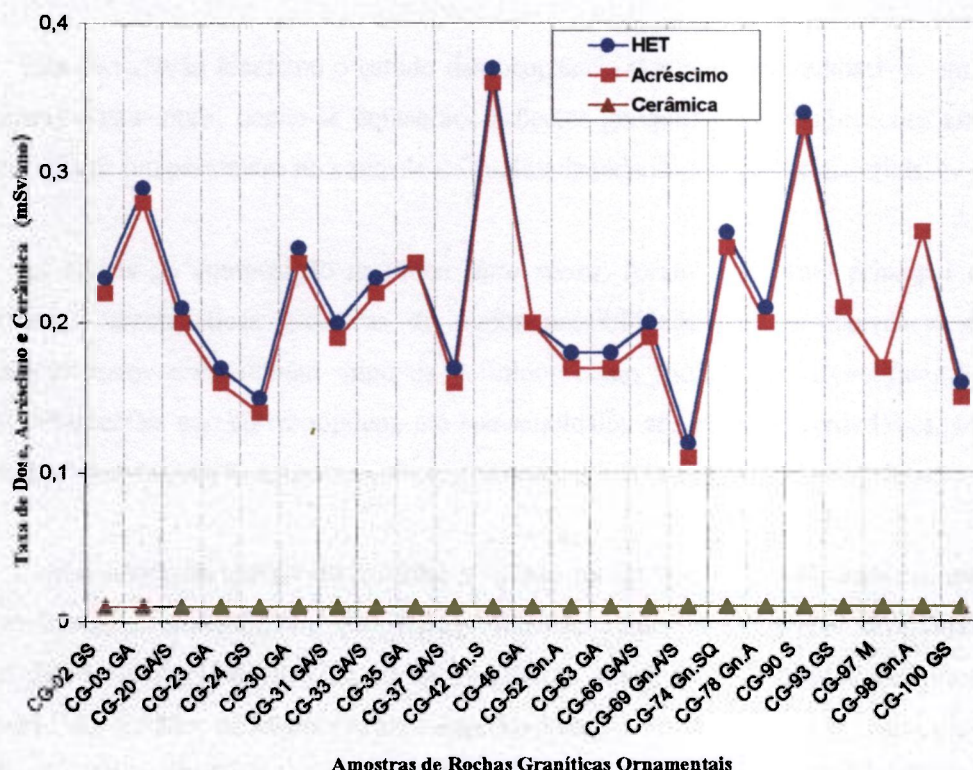


Figura 6.6 - Taxa de dose e acréscimo utilizando-se 23 rochas graníticas ornamentais com elementos radioativos totais (U_3O_8 e ThO_2) acima de 60ppm (GA - granito alcalino, Gn.A - gnaissé alcalino, GA/S - granito alcalino/sienítico, Gn.A/S - gnaissé alcalino/sienítico, GS - granito sienítico, Gn.S - gnaissé sienítico; M - monzonito, S - sienito e Gn.SQ - gnaissé sienito quartzoso) em lugar do material cerâmico

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Esta dissertação focalizou o estudo das ocorrência dos minerais radioativos em rochas graníticas (*lato sensu*) ornamentais, dando-se ênfase aos aspectos geoquímicos e implicações ambientais, visando acrescentar mais um parâmetro no controle de qualidade tecnológica destes materiais.

As rochas de composição granítica (*lato sensu*) foram o objetivo principal deste estudo, por apresentarem características genéticas de maior possibilidade para a ocorrência de minerais com elementos radioativos e também minerais definidos como radioativos. Deve ficar bem claro que os granitos ornamentais não correspondem, em sua totalidade, aos granitos verdadeiros, sendo que também ocorrem gnaisses, migmatitos, charnoquitos, granulitos e outros tipos litológicos de menor frequência.

Para o desenvolvimento do trabalho proposto foram coletadas 100 amostras em marmorarias de Belo Horizonte, considerando-se que nestes estabelecimentos existe maior diversidade de litotipos e também devido ao baixo custo para sua obtenção. As amostras selecionadas são provenientes, em sua maior parte, dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Em trabalho efetuado nas rochas ornamentais e de revestimento de Minas Gerais (Ribeiro *et al.* 1998), foi mencionado de forma relevante a importância dos granitos, assim como dos quartzitos, ardósias, serpentinitos e esteatito, indicando-se uma produção para o Estado de Minas Gerais de 1,12 milhões de toneladas/ano, atribuídas a cerca de 150 tipos comerciais, nos mercados internos e externos.

Dentro dos dados de oferta mundial da rocha ornamental em 1999 (Nery & Silva 2001), estimaram-se um crescimento de 9,8% em relação ao período anterior, e indicam que o Brasil situa-se entre os cinco principais países produtores.

O conhecimento dos níveis da radioatividade (Rizzo *et al.* 2001) de materiais usados na construção civil e na indústria de cerâmica é importante na avaliação dos perigos da radioatividade para a saúde humana. Este conhecimento é essencial para o desenvolvimento dos padrões e orientação para o uso e gerenciamento destes materiais.

De acordo com os resultados obtidos, as principais conclusões podem ser organizadas em três tópicos: caracterização petrográfica e auto-radiografia, caracterização geoquímica e a radioatividade das rochas graníticas ornamentais.

Com relação a caracterização petrográfica e auto-radiografia:

- a respeito das 100 amostras classificadas no diagrama QAP de Streckeisen (1976), utilizando-se os resultados dos estudos mineralógicos-petrográficos, são predominantemente de granito monzonítico (73 %), granodiorito (9 %), monzonito quartzoso (6 %), monzonito (4 %), granito sienítico (3 %), sienito (3 %), monzogabro monzodiorítico (1 %) e gabro quartzoso (1 %);
- a coloração das rochas graníticas é atribuída, primeiro às concentrações dos minerais félsicos (feldspato potássico, plagioclásio e quartzo) e, em segundo lugar, aos minerais máficos, preferencialmente pela biotita, secundariamente, pelo anfibólio e alguns outros menos freqüentes, como o piroxênio;
- outro parâmetro atribuído à coloração, é o grau de alteração dos minerais essenciais e a freqüente presença dos minerais secundários ou de alteração, representados, em sua maior parte, pelos minerais de argila, sericita, carbonatos, óxidos de ferro, clorita, muscovita e de outros em concentrações menores;
- de uma forma geral, as rochas objeto de estudos encontram-se com textura homogênea ou isotropas e, em menor proporção, são suborientadas ou anisótropas, estas últimas denominadas de gnaisses e migmatitos, comercialmente de “movimentadas”. A orientação apresentada na textura pode ser atribuída a processos tectônicos ou à foliação magmática; a granulação é, preferencialmente, de média a grossa, ocorrendo também granulações finas, inequigranulares e, às vezes, determinando finas vênulas;
- no caso dos granitos foliados, orientados e que são preferencialmente inequigranulares, é possível observar-se as intercalações de níveis ou horizontes com espessuras variadas, atribuídas a minerais micáceos ou fibrosos, também devido a concentração de minerais, com formas e tamanhos granulométricos definidos;
- a composição mineralógica essencial da maior parte das rochas amostradas (>80 %), é constituída de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo. Os produtos de alteração são variados. Entre estes minerais, ocorrem, principalmente, a sericita e minerais de argila. Em menor proporção existe o carbonato, óxido de ferro, a biotita e seus produtos de alteração, além da muscovita e a clorita;
- nos granitos monzoníticos e granitos sieníticos, foram determinados outros grupos de minerais em concentrações menores ou escassos, muito característicos de rochas que sugerem sua origem ou associação metassedimentar, constituídos de cordierita, andaluzita, sillimanita, espinélio e granada;

- a ocorrência da hornblenda e piroxênio, principalmente naquelas amostras classificadas de sienito, charnoquito, diorito monzonítico, tonalito e gabro, determinam, em parte, colorações mais escuras nestes tipos de rochas;
- os minerais acessórios que ocorrem em percentagens menores que 1 % são constituídos, principalmente, de zircão, monazita, apatita, mineral opaco (magnetita/martita, ilmenita, pirita, pirrotita, goethita, calcopirita e molibdenita), titanita, allanita, rutilo, fluorita, torita, bastnasita, epidoto e gumita;
- utilizando-se a auto-radiografia foi possível localizar os minerais radioativos. Aqueles que contém teores superiores a 100 ppm apresentam pontos e manchas enegrecidas, que facilitam sua determinação ao microscópio petrográfico e na microsonda eletrônica. Estes minerais radioativos são atribuídos, em sua maior parte, à monazita, allanita e zircão, assim como a escassos óxidos de urânio ou de tório, que geralmente outorgam a seus hospedeiros ou minerais próximos, halos e fraturas radiais, devido a sua radioatividade.

Com relação a caracterização geoquímica:

- os resultados de análises dos principais óxidos nas 100 amostras foram utilizadas para determinar a classificação geoquímica das rochas correspondentes. Para isto, foi utilizado os diagramas de La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979), adaptado por Wilson (1989), que possibilitou a caracterização dos seguintes litotipos: granito alcalino (51 %), granito sienítico (20 %), sienito (11 %), granito alcalino/sienítico (8 %), granito monzonítico (6 %), monzonito (1 %), diorito (1 %), tonalito (1 %) e gabro (1 %);
- verificou-se que a maior parte destas amostras, classificadas segundo La Roche (1964) como granito alcalino, granito alcalino/sienítico e granito sienítico, segundo Cox *et al.* (1979), adaptado por Wilson (1989), foram classificadas, em sua maior parte, como granito alcalino e sub-alcalino. Comparadas com os resultados obtidos com o diagrama de Streckeisen (1976), correspondem, predominantemente, ao granito monzonítico e, em menor proporção, ao granito sienítico;
- os resultados de análise por ativação neutrônica de elementos radioativos mostraram concentrações que atingem 30 ppm de urânio e 130 ppm de tório. Associadas a este último elemento estão as elevadas concentrações das terras raras leves;
- ficou constatado que no grupo do granito alcalino ocorrem duas amostras, CG-03 e CG-98, com concentrações de 100 e 105 ppm de tório (urânio de 4 e 5 ppm), consideradas entre os tipos de maior teor de tório. Por outro lado, nas amostras CG-30 e CG-35 foram encontrados os maiores teores de urânio em concentrações de 20 e 16 ppm de urânio (59 e 55 ppm de tório), respectivamente;

- no grupo do granito alcalino/sienítico foram encontradas concentrações de 30 ppm de U_3O_8 e tório 44 ppm ThO_2 , determinada na amostra CG-69, sendo este o maior teor de urânio entre as 100 amostras estudadas;
- no grupo do granito sienítico foram encontradas concentrações de 130 ppm de ThO_2 e 4 ppm de U_3O_8 . A amostra CG-42, revelou o maior teor de ThO_2 (130 ppm) entre as 100 amostras estudadas;
- a concentração do urânio e tório nas amostras graníticas ocorre bem menor que as concentrações de terras raras leves. Em algumas amostras com maiores concentrações destas terras raras, é possível observar-se uma tendência a acompanhar as maiores concentrações de tório;
- as amostras com maiores concentrações de urânio, além de apresentarem-se com teores inferiores àqueles apresentados pelo tório, encontram-se com teores muito menores que as terras raras totais;
- foi observado também que teores de urânio não estão acompanhando as maiores concentrações de tório e das terras raras totais, o que sugere que o urânio presente nestas amostras pode ser atribuído aos óxidos, principalmente, à pecheblenda/uraninita/gumita;
- os resultados das análises químicas das rochas graníticas, em amostra total e também a nível pontual dos minerais radioativos, demonstraram que há uma associação das terras raras leves (lantânio, cério, praseodímio e neodímio) com o tório, que são atribuídos, principalmente, à ocorrência da monazita, allanita e zircão;
- pelos resultados das análises químicas, as maiores concentrações dos elementos radioativos encontram-se presentes nos grupos das rochas caracterizadas como granito alcalino, granito alcalino/sienítico e granito sienítico;
- a determinação e saturação em alumina nas amostras estudadas, segundo Shand (1927), indicou a predominância de rochas peraluminosas. Subordinadamente, definiu-se também rochas peralcalinas e mais raramente rochas metaluminosas.

Com relação a radioatividade nas rochas graníticas ornamentais:

- os resultados das medidas das atividades destas amostras, em média percentual, a partir de 10 determinações do *background*, que foi definido como 100 %, e 5 em cada amostra, variam entre 119 e 181 %. A maior parte das amostras apresentam-se com atividades entre 140 e 160 %, sendo pouco frequentes as amostras que exibem atividades entre 160 e 181 % relativamente ao *background*;
- nas 23 amostras selecionadas e utilizadas como piso no cômodo padrão, pela linha de tendência, verificou-se que a correlação das taxas de dose (mSv/ano) em função do ^{40}K , ^{226}Ra e ^{232}Th ($Bq.kg^{-1}$), são positivas nos três radionuclídeos. Em ordem decrescente, existe elevada correlação com o tório, menor correlação com o potássio e ainda menor com o rádio. A taxa de dose devido ao ^{40}K apresenta

concentrações entre 1,0 e 2,8 Bq.kg⁻¹ e exibe uma discreta tendência de acréscimo nas taxas de dose entre 0,1 e 0,34 mSv/ano. Na maior parte destas amostras a concentração do ²²⁶Ra é menor que 0,2 Bq.kg⁻¹ e, de maneira geral, quando esta concentração aumenta, aumentam-se também as taxas de dose. Com relação à taxa de dose devido ao ²³²Th, verificou-se que, de uma forma geral, um aumento do ²³²Th é acompanhado por um aumento da taxa de dose nestas rochas;

- para as amostras utilizadas como revestimento de piso, considerando-se um “cômodo padrão”, com dimensões internas de 4 x 3 x 3 m, foram calculadas doses de radioatividade entre 0,11 a 0,34 mSv/ano;

- as taxas de acréscimo de dose devidas ao uso de piso granítico, no lugar do piso de material cerâmico, variaram de 0,10 a 0,34 mSv/ano. Estes resultados encontrados não atingem níveis danosos para o público, por encontrarem-se em concentrações inferiores ao padrão internacional de exposição à radioatividade que é de 1,0 mSv/ano, conforme recomendações apresentadas na NCRP - “National Council on Radiation Protection and Measurements”, N° 91 (1987);

- pelos radionuclídeos (²³²Th, ²²⁶Ra e ⁴⁰K) contidos na amostra CG-90, do mesmo grupo das amostras de granito utilizadas como rocha ornamental, com mais de 60 ppm de urânio e tório, foram determinadas hipoteticamente 3 situações no “cômodo padrão”, com base na planilha de cálculo (Tabela 6.11). Verificou-se o seguinte: a) quando a utilização do granito é total (m=100) como material de construção em todo o cômodo padrão, nas mesmas condições dos trabalhos de Sharaf *et al.* (1999), Kumar *et al.* (1999), Amrani & Tahtat (2001), Rizzo *et al.* (2001) e Kovler *et al.* (2002), foi obtido H_{Eγ} = 3,8 mSv/ano e taxa de dose total (H_{ET}) de 9,04 mSv/ano; b) quando o cômodo padrão é determinado sem ventilação (λ_w = 0) e o piso de granito representa 5% (m=5) do total do material de construção, foi obtido H_{Eγ} = 0,189 mSv/ano, e taxa de dose total (H_{ET}) de 5,44 mSv/ano e c) quando o cômodo padrão é determinado com ventilação (λ_w = 0,7), apresentou taxa de dose (H_{ET}) de 0,33 mSv/ano. Esta última situação foi aplicada no cálculo de dose total em todas aquelas amostras com teores de urânio e tório acima de 60 ppm, onde encontrou-se a menor dose anual com 0,11 mSv/ano e a maior com 0,34 mSv/ano. Estes resultados permitem afirmar que a taxa de dose produzida pelo potássio, radônio e tório, proveniente da utilização de piso granítico, é consideravelmente aumentada quando a superfície relativa do material *i* no “cômodo padrão” [m²] representa maiores percentagens e também quando a taxa de ventilação [h.a⁻¹] é ausente ou menor.

Referências

- Abdel-Monem, A. A., Hussein, H. A., Abdel-Kader, Z. M., Abu-Zied, H. T., Ammar, S. E., 1996. Radiactivity and Distribution of U and Th in Some Granitic Masses. Wadi El-Saqia Area, Central Eastern Desert, Egypt. 775-778.
- Amrani, D., Tahtat, M., 2001. Natural Radioactivity in Algerian Building Materials. *Applied Radiation and Isotopes* 54, p. 687-689.
- Artur, A. C., 1998. Séries Granitóides e suas Implicações Como Rochas Ornamentais. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 535.
- Baxter, M. S., 1993. Environmental Radioactivity: A Perspective on Industrial Contributions. *IAEA Bulletin*, 2/1993, p. 33-38.
- Bea, F., 1996. Residence of REE, Y, Th and U in Granites and Crustal Protoliths; Implications for The Chemistry of Crustal Melts. *Journal of Petrology*, 37, N. 3, 521-552p.
- Beretka, J. Mathew, P. J., 1985. Natural Radioactivity of Australian building materials, Industrial Wastes and By Products. *Health Phys.* 48,87-95.
- Bezerra, F. N. M., Costa, A. G., Aranha, P. A. R., 1998. Ensaio Físico em Rochas Ornamentais: Uma Proposta de Adequação da Norma NBR 12766 / 1992 (ABTN). In: SBG, Cong. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 315.
- Brandão, W., Sardou, R. F., Queiroz, E. T. de., 1991. Mármore e outras Rochas Ornamentais no Brasil. In: C. Schobbenhaus, E. T. de Queiroz, C. E. S. Coelho (eds). Principais Depósitos Minerais do Brasil, 4-1, DNPM e CPRM, pp.:371-382.
- Brodsky, A., 1978. Handbook of Radiation Measurement And Protection. CRP Press (<http://www.Physics.isu/radiunf/natural.htm>).
- Castro, J. O. N. M., Senne, Jr. M., 1995. Uso da “Lama Vermelha” na Fabricação de Tijolos e Telhas. Relatório Interno S/N. CDTN/CNEN.16pp.
- Chen, C. J., Weng, P. S., Chu, T. C., 1993. Evaluation of Natural Radiation in Houses Built with Black Schist. Institute of Nuclear Science, *National Tsing Hua University*, Hsinchu, Taiwan. p. 74-78.
- Chiodi Filho C., Rodrigues, E. de P., 1996. Panorama Sobre o Mercado Nacional e Internacional de Rochas Ornamentais. A Terra em Revista, *Revista Técnica e Informativa da CPRM*, II, 1, p.40-49.
- Costa, A. G., Campello, M. S., Pimenta, V. B., 2000. Rochas Ornamentais e de Revestimento de Minas Gerais: Principais Ocorrências, Caracterização e Aplicações na Indústria da Construção Civil. *Geonomos*, 8, 1 e 2, 9-13.

Salas, H.T., 2003, *Minerais Radioativos em Rochas Graníticas Ornamentais...*

- Costa, A. G., Romano, A. W., 1995. Painel Sobre Rochas e Minerais Industriais do Estado de Minas Gerais. In: SBG. Sim. Geol. Minas Gerais, 8, Belo Horizonte, Anais, 13. 143-148.
- Cox, K. G., Bell, J. D., Pankhurst, R. J., 1979. *The interpretation of igneous rocks*. George Allen et Unwin Publ. London. 450p.
- Da Silva, C. C. N., 1998. Geologia e Tecnologia de Aproveitamento Econômico de Rochas Graníticas com Fins Ornamentais. In: SBG, Cong, Bras, Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 315.
- De Corte, F., 1986, The k_0 -standardization method, a move to the optimization of neutronactivation analysis. Ryksuniversiteit Gent, Faculteit Van de Wetenschappen, 464pp.
- Eisenbud, M & Gesell, T., 1997. Industrial and Military Sources, Academic Press. Inc. (<http://www.Physics.isu/radiunf/natural.htm>).
- El-Shershaby, A., 2002. Study of Radioactivity Levels in Granite of Gable Gattar II in the North Eastern Desert of Egipt. *Elservier Science Ltd.*, p.1-5.
- Evangelista, H. J., Mendes, J. C., Viana, D. J., Oliveira, H.L., Liccardo, A. 2001. Caracterização Petrográfica das Rochas Ornamentais de Minas Gerais. Relatório Técnico. FAPEMIG – Processo N^o: CRA-846/98. 38p.
- Frasca, M. H. B. de O., Quitete E. B., Mano E. S., 1998. Aspectos Petrográficos da Deterioração de Rochas Ornamentais Utilizadas em Revestimento. In: SBG, Cong, Bras, Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 305.
- Frazão, E. B., 1992. Caracterização Tecnológica de Rochas de Revestimento. *Rochas de Qualidade; Granitos, Marmores e Rochas Ornamentais*; Rio de Janeiro, Edição 110. p. 110-113.
- Frondel, C., 1958. *Systematic Mineralogy of Uranium and Thorium*. Washington, Geological Survey, (Bulletin 1064). 399pp.
- Garrido, D. S. Da., 1978. Método de Imersão de Iller para Determinação de Urânio em Rochas e Minerais. Nota Técnica No 001/78, SEMINA/DIMPE/DEGE. *Nuclebrás*. p. 4.
- Garzon, L., Fontenla, P., Gonzalez, C., Pezez, J.M., Gutierrez, P., 1977. La radioactividade del Aire em el Interior de Edifícios. *Energia Nuclear, España 21* (108) Julio-Agosto. p. 275-283.
- Ginjaar L., 1985. Radioactivity in Building Materials. No. 1985/5, February 12. 93pp.
- Guimarães, D., 1961. A Origem dos Charnocockitos. Instituto de Tecnologia Industrial, Belo Horizonte - MG. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 10, 2, 27.
- Hady, E. E.A., El-Sayed, A. M. A., Ahmed, A. A., Hussein, A.Z., 1994. Natural Radioactivity of Basement Younger Granite Rocks From the Eastern Desert. 44, 1/2, 223-224.
- Hamilton El., 1971. The relative radioactivity of building materials. *American Industrial Hygiene Journal*; 32, 398.

- Hareubeni, R., Margalio M., Shlesinger T., 1996. Limitations to the contents of radioactive materials in building materials: proposal for an Israeli Standard, Soreq Nuclear Research Center, p. 531-537.
- Heinrich E. W., 1966. *Mineralogia y Geologia de las Matérias Primas Radioativas*. Barcelona, Ediciones Omega. 686p.
- ICPR., 1977. International Commission on Radiological Protection.. *Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation*. Oxford: Pergamon Press. Publication 39.
- ICPR., 1984. International Commission on Radiological Protection.. *Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation*. Oxford: Pergamon Press. Publication 39.
- Kovler, K., Haquin, G., Manasherov V., Ne'eman E., Lavi, N., 2002. Natural Radionuclides in Building Materials Available in Israel.. *Building and Environment* 37, 531-537.
- Krieger, R., 1981. Radioactivity of construction materials. *Betonwerk Fertigteile Techn.* 47, 468.
- Krisiuk, E. M., Tarasov, S. I., Shamov, V. P., Shalakh, N. I., Lisachenko, E. P., Gomelsky, L. G., 1971. A Study on Radioactivity in Building Materials. Research Institute for Radiation Hygiene, Leningrad.
- Kumar, V., Ramachandran, T. V., Prasad, R., 1999. Natural Radioactivity of Indian Building Materials and By-products. *Applied Radiation and Isotopes* 51, 93-96.
- Kuroda, P. K., 1991. The origin of the chemical elements and the Oklo phenomenon. Berlin; New York: Springer-Verlag. Vol. 155, no.2; p. 107-13.
- La Roche, H., 1964. *Sur L'expression Graphique des Relations entre la Composition Minéralogique Quantitative des Roches Cristallines. Présentation d' un Diagramme Destiné à l' étude Chimico-Minéralogique des Massifs Granitiques pour Granodioritiques*. *Sci. Terre*, 9, 293-337.
- Le Maitre, R. W., 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. Blackwell, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 13pp.
- Macêdo, A. J. B. de, Bazante J. B., Stellin A. Jr. de., 2000. Aplicação dos Critérios de Classificação Geomecânica para Rochas Ornamentais. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 53(1). p.35-38.
- Mattos, I. C., 1998. A Esfoliação, Solução ou Problema Para a Exploração Comercial dos Granitos da Serra da Meruoca (NW Ceará) Como Rochas Ornamentais. In: SBG. Cong. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 300.
- Ministério das Minas e Energia, 2001. Sumário Mineral. Departamento Nacional da Produção Mineral, (<http://dnpm.gov.br>).
- NCRPM., 1987. National Council on Radiation Protection and Measurements. Recommendations on Limits for Exposure to Ionizing Radiation. *ICPR Publication No 91*, 63 pp.
- Nery, M. A.C., Silva, E. A. da., 2001. Sumário Mineral - DNPM, Rochas Ornamentais e de Revestimento. (<http://www.dnpm.gov.br/sm>).

- Ng, C. Y., Leung, J. K. C., Tso, M. Y. W., 1995. Modelling Exposure to Naturally Occurring Radionuclides in Building Materials. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 59, No 1. p. 43-48.
- O' Brian, R. S., Peggie J. R. and Leith I. S., 1995. Estimate of inhalation doses resulting from the possible use of phospho-gypsum plaster-board in Australian homes. *Health Phys.* 68, 561-570.
- OECD., 1979. Exposure to radiation from natural radioactivity in building materials. Nuclear Energy Agency (NEA) Report by Nea Group of Experts OECD, Paris.
- Oliveira, S. F., Costa, A. G., 1998. Alterações de Minerais e Outros Problemas Relacionados aos Materiais com Aplicações no Setor das Rochas Ornamentais. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 331.
- Oliveira, S. F., Costa, A. G., 1998. Relações Entre a Petrografia e os Índices Físicos de Mármore, Quartzitos e Granitos Ornamentais. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 323.
- Paterson, B. A., Stephens, E. W., Herd, D. A., 1989. Zoning in Granitoid Accessory Minerals as Revealed by Backscattered. *Mineralogical Magazine*, p. 55-61.
- Pawelczuk, A., Droste E., 1996. Radioactivity and Radiation - Definitions (<http://www.ipj.gov.pl/~p2/euinfo.htm>).
- Perreault, B. A., 2003 a. Detailed Uranium Decay Chain (<http://www.nuenergy.org/radium.htm>).
- Perreault, B. A., 2003 b. Thorium Decay Chain (<http://www.nuenergy.org/thorium.htm>).
- Pinnock, W. R., 1991. Measurements of Radioactivity in Jamaican Building and γ Dose Equivalents in a Prototype Red Mud House. *Health Physics Society, Pergamon Press*. 61, 5 (Novembro). p. 647-651.
- Quitete, E. B., Rodrigues, E. de P., 1998. Dureza Knoop Aplicada a Rochas Ornamentais. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 314.
- Raguin, E., 1957. *Géologie du Granite*. Deuxième Édition Revue et Mise a Jour. Paris, Masson Et Cie, Éditeurs, 275.
- Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP., 1977. 26, Oxford: Pergamon Press, 1977.
- Ribeiro, A. P., Chiodi Filho C., Yamamoto, M. H. A., 1998. Cadastramento de Rochas Ornamentais e de Revestimento em Minas Gerais. . In: SBG, Cong. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Boletim de Resumos, 306.
- Rizzo, S., Brai, M., Basile, S., Bellia, S., Hauser, S., 2001. Gamma Activity Geochemical Features of Building Materials: Estimation of Gamma Dose Rate and Indoor Radon Levels in Sicily. *Applied Radiation and Isotopes* 55, 259-265.
- Ruiperez, L. G., Ballestra, P. F., 1982. La Contaminación Radioactiva em Interiores. *Energia Nuclear España* 26 (136) Marzo-Abril. p. 126-138.

- Salas, H. T., 1995. Estudos mineralógicos e de Liberação Realizados em Minério de Urânio da Jazida de Lagoa Real, Bahia, Para Aplicação na Engenharia Mineral. In: X ENFIR/III ENAN, Águas de Lindóia. Vol. I, p546-551.
- Salas, H. T., 2001. Auto-radiografia de Rochas. Rotina Técnica Interna RT (IT2) CDTN-00363. Belo Horizonte. p.13.
- Salas, H.T. & Rocha, F., 1999., Estudo de Rochas Radioativas da Província Carajás – Pa. In: VII CGEN - Congresso Geral de Energia Nuclear – BH-MG. CD.
- Salas, H.T., Barbosa, J.B,S.: Murta, C.C.; Rocha, F. de A., Nalini, Jr. H .A.; Mendes, J.C., 2000. Determinação de Minerais Radioativos em “Granitos” como Rochas Ornamentais. In: V ENAN - Encontro Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro. CD.
- Salas, H.T., Nalini, Jr. H.A.; Mendes, J.C., 2002. Ocorrência de Minerais Radioativos em Rochas Graníticas Ornamentais. In: VI INAC – International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro. CD.
- Sam, A. K., Holm, E., 1995. The Natural radioactivity in Phosphate Deposits from Sudan. p. 173-178.
- Saravidou, A., Raptis C., Kritidis., 1995. Natural Radioactivity and Radon Exhalation from Building Materials Used in Attica Region, Greece. *Radiation Protection dosimetry*. Vol. 59, No. 4. p. 309-312.
- Shand, S.J., 1927. *Eruptive Rocks*. Wiley & Sons, New York.370pp.
- Sharaf, M., Mansy M., Sayed A. El, Abbas E., 1999. Natural Radioactivity and Radon Exhalation Rates in Building Materials Used in Egypt. *Radiation Measurements* 31, 491-495.
- Shukla, V. K., Sadasivan S., Sundaram V. K., Nambi K. S. V., 1995. Assessment of Gamma Radiation Exposure Inside a Newly Constructed Building and a Proposed Regulatory Guideline for Exposure Control from Natural Radioactivity in Future Buildings. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 59. No 2. p 127-133.
- Simão, J.A. R. S., 2002. Mineral Composition and Alteration on Silicate Rocks the Black “Granite (Angola). A Case Estudy. Depto. Univ. Nova de Lisboa. (<http://www.dct.fct.unl.pt/Jsimaio/Artigos/FILAbstrac.html>), acesso em 04 de Fevereiro de 2002.
- Straden, E., 1976. Some aspects on radioactivity of building materials. *Physica Norvegica* 8, 167.
- Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews. International Magazine for Geo-Scientists*. Amsterdam. Vol. 12, 33.
- Tröger, W. E., 1935. *Spezielle Petrographie Der Eruptivgesteine*. Verlag der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Berlin. p. 360.
- Unitar, United Nations Institute of Training and Research. *Stone in Brazil*, New York, 1988. 65p.
- Wedepohl, K. H., 1978. *Handbook of Geochemistry*. Springer-Verlag. Berlim, Heidelberg, New York. Vol.1/5.

Salas, H.T., 2003, Minerais Radioativos em Rochas Graníticas Ornamentais...

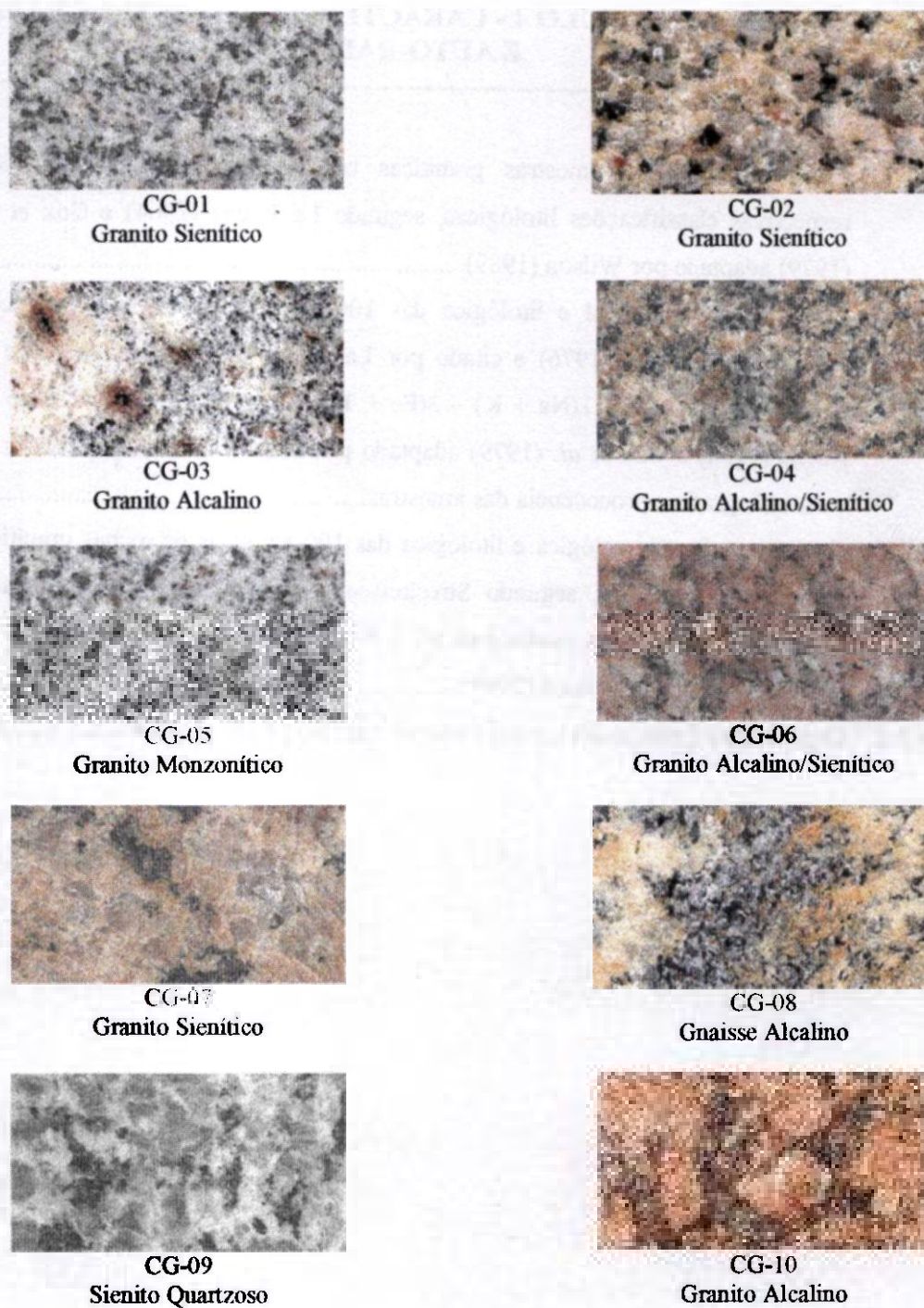
Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman. London. 466p.

Worldwide Photographs of Natural Stones. 2002. (<http://findstone.com/album.htm>), ~~acessado em 07 de~~
Fevereiro de 2002.

APÊNDICE

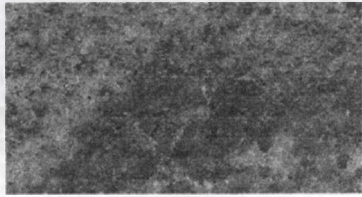
APÊNDICE 1 (CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E AUTO-RADIOGRÁFICA)

Figura - 1.AP-1	Fotografias de 100 amostras graníticas ornamentais coletadas, com suas respectivas classificações litológicas, segundo La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979) adaptado por Wilson (1989).....	126
Tabela - 1.AP-1	Classificação comercial e litológica das 100 amostras de rochas graníticas, segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), calculando-se os parâmetros $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$; $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$ de La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979) adaptado por Wilson (1989). Resultados da auto-radiografia e procedência das amostras.....	136
Tabela - 2.AP-1	Caracterização mineralógica e litológica das 100 amostras de rochas graníticas ornamentais coletadas, segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), utilizando-se os parâmetros R1 e R2 de La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979) adaptado por Wilson (1989).....	141
Tabela - 3.AP-1	Composição química teórica dos minerais nas rochas ornamentais.....	151

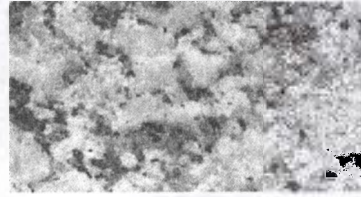


Escala: 1 cm

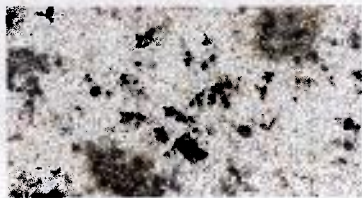
Figura - 1.AP-1 Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



CG-11
Gnaiss Alcalino



CG-12
Gnaiss Sienítico



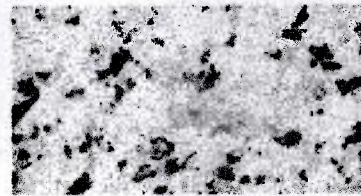
CG-13
Granito Sienítico



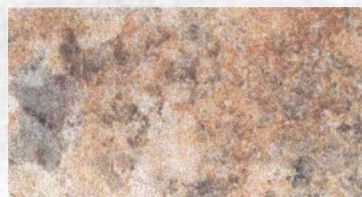
CG-14
Granito Alcalino



CG-15
Gnaiss Sienítico



CG-16
Sienito



CG-17
Gnaiss Alcalino



CG-18
Granito Alcalino



CG-19
Chamoquito Sienítico Quartzoso



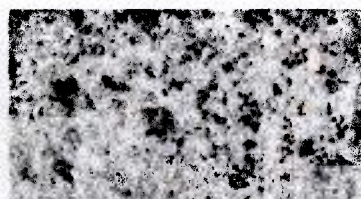
CG-20
Granito Alcalino Sienítico

Escala: 1 cm

Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



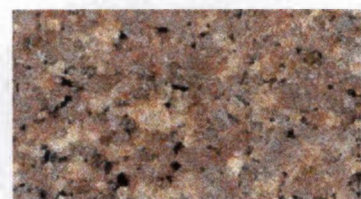
CG-21
Granito Sienítico



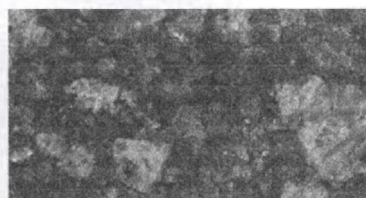
CG-22
Granito Sienítico



CG-23
Granito Alcalino



CG-24
Granito Sienítico



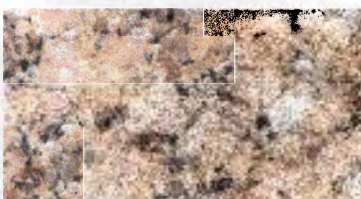
CG-25
Granito Alcalino



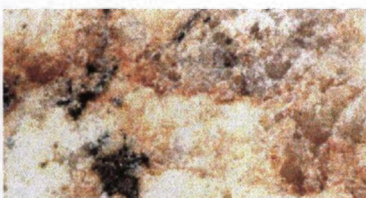
CG-26
Gnaisse Alcalino



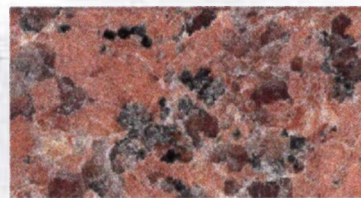
CG-27
Sienito



CG-28
Granito Alcalino



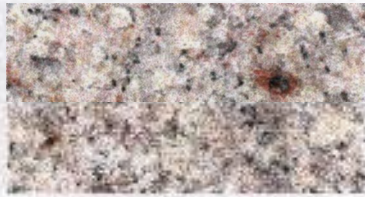
CG-29
Granito Alcalino



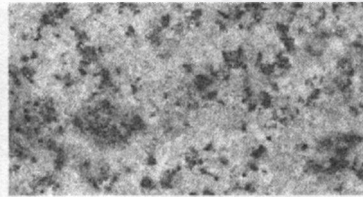
CG-30
Granito Alcalino

Escala: 1 cm

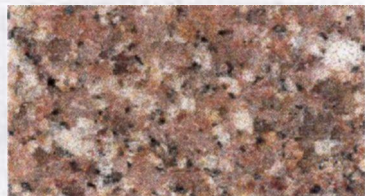
Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



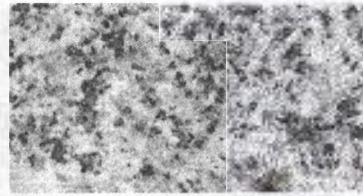
CG-31
Granito Alcalino/Sienfítico



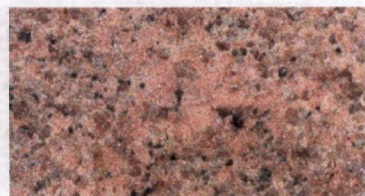
CG-32
Granito Alcalino



CG-33
Granito Alcalino/Sienfítico



CG-34
Granito Sienfítico



CG-35
Granito Alcalino



CG-36
Granito Alcalino



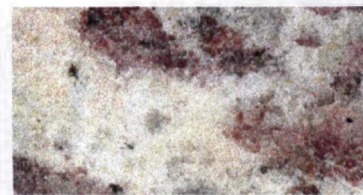
CG-37
Granito Alcalino/Sienfítico



CG-38
Granito Alcalino



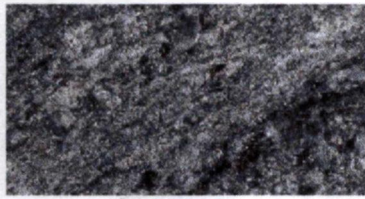
CG-39
Migmatito Alcalino



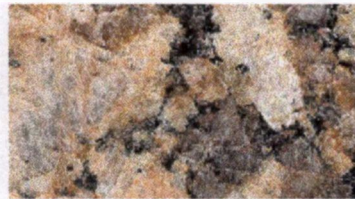
CG-40
Gnaisse Alcalino

Escala: 1cm

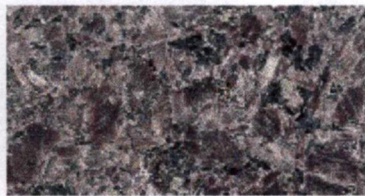
Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



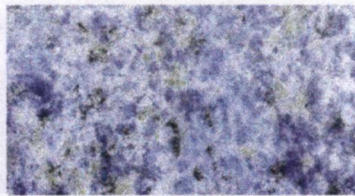
CG-41
Gnaiss Tonalítico



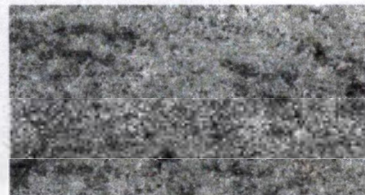
CG-42
Gnaiss Sienítico



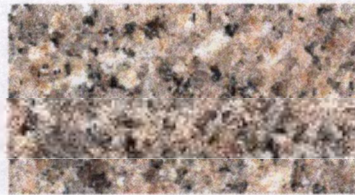
CG-43
Sienito



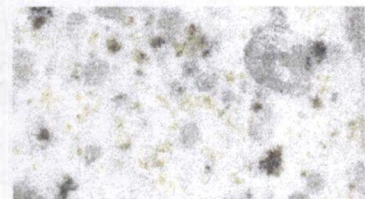
CG-44
Sienito



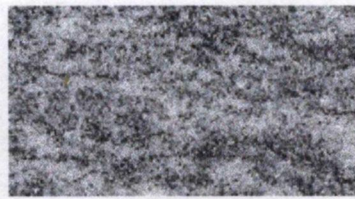
CG-45
Gnaiss Alcalino



CG-46
Granito Alcalino



CG-47
Granulito Alcalino



CG-48
Migmatito Sienítico



CG-49
Sienito



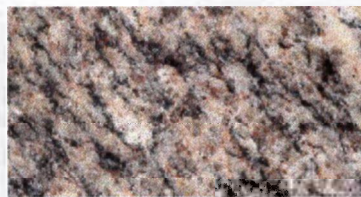
CG-50
Granito Alcalino

Escala: 1 cm

Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



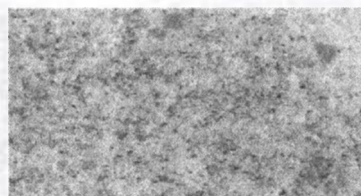
CG-51
Migmatito Alcalino



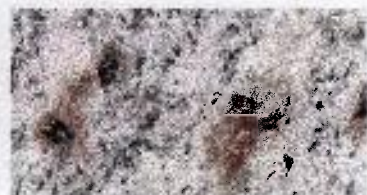
CG-52
Gnaiss Alcalino



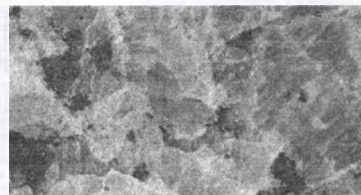
CG-53
Gnaiss Alcalino



CG-54
Gnaiss Monzonítico



CG-55
Gnaiss Alcalino



CG-56
Granito alcalino



CG-57
Gnaiss Sienítico



CG-58
Ganulito Monzonítico



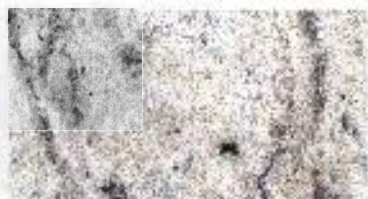
CG-59
Granito Alcalino



CG-60
Granito Alcalino

Escala: 1 cm

Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



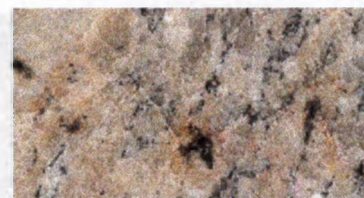
CG-61
Gnaiss Alcalino.



CG-62
Granito Sienítico



CG-63
Granito Alcalino



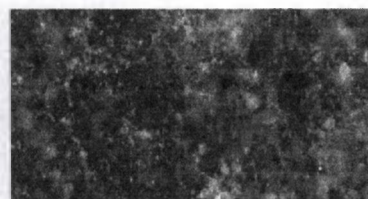
CG-64
Gnaiss Alcalino



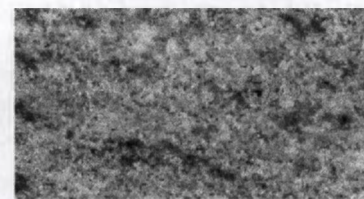
CG-65
Gnaiss Alcalino



CG-66
Granito Alcalino/Sienítico



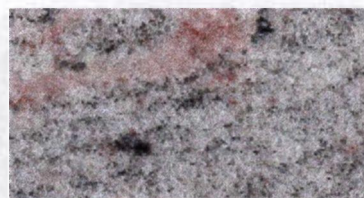
CG-67
Charnokito Alcalino



CG-68
Gnaiss Alcalino



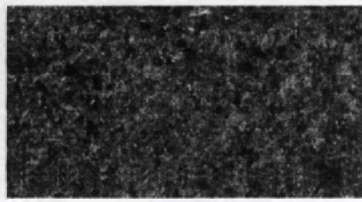
CG-69
Gnaiss Alcalino/Sienítico



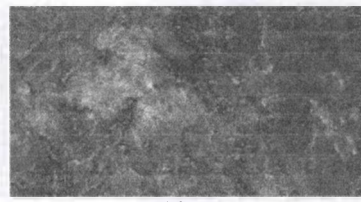
CG-70
Gnaiss Alcalino

Escala: 1 cm

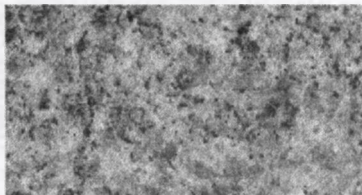
Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



CG-71
Diorito



CG-72
Chamoquito Alcalino



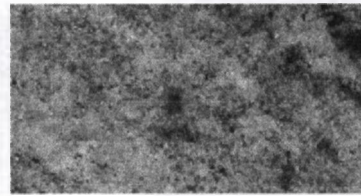
CG-73
Gnaiss Monzonítico



CG-74
Gnaiss Sinito Quartzoso



CG-75
Granulito Alcalino



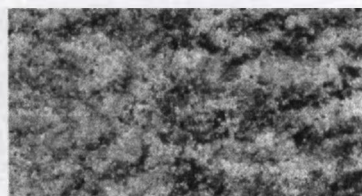
CG-76
Gnaiss Sienítico



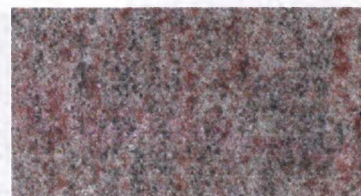
CG-77
Granito Alcalino



CG-78
Gnaiss Alcalino



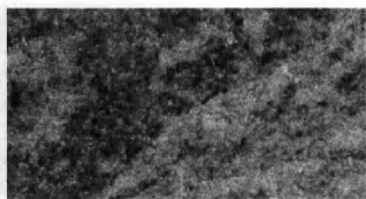
CG-79
Gnaiss Monzonítico



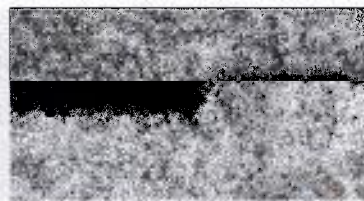
CG-80
Migmatito Alcalino

Escala: 1 cm

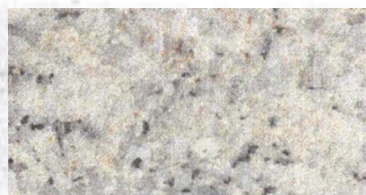
Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



CG-81
Gnaiss Sienítico



CG-82
Gnaiss Sienítico



CG-83
Granito Alcalino



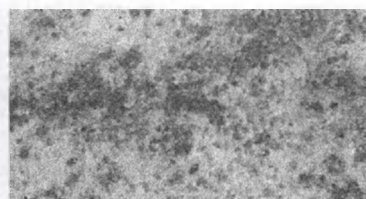
CG-84
Granulito alcalino



CG-85
Granito Alcalino



CG-86
Gnaiss Alcalino



CG-87
Gnaiss Alcalino



CG-88
Sienito Quartzoso



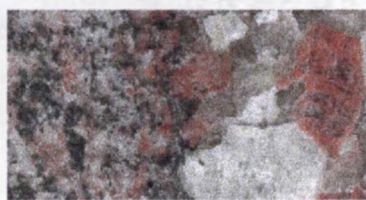
CG-89
Granito Alcalino



CG-90
Sienito

Escala: 1cm

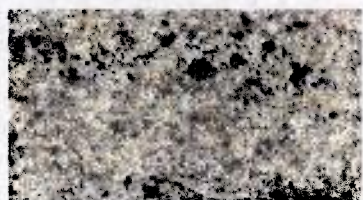
Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)



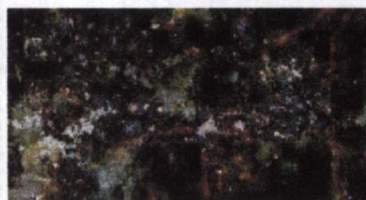
CG-91
Gnaiss Alcalino



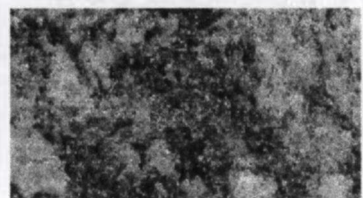
CG-92
Sienito



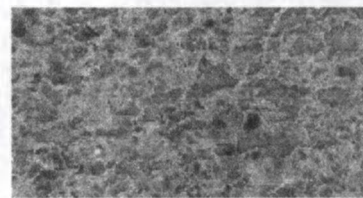
CG-93
Granito Sienítico



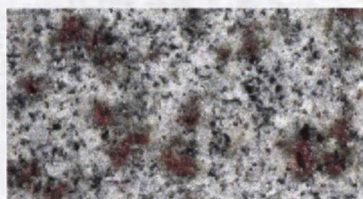
CG-94
Charnóquito Monzonítico



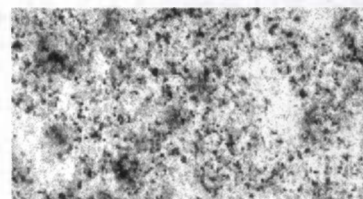
CG-95
Gnaiss Sienítico



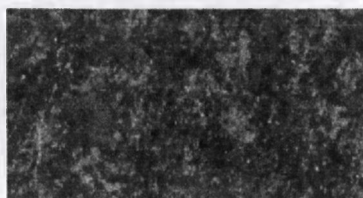
CG-96
Gnaiss Alcalino



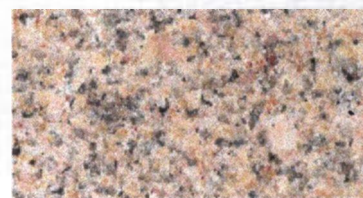
CG-97
Monzonito



CG-98
Gnaiss Alcalino



CG-99
Gabro



CG-100
Granito Sienítico

Escala: 1 cm

Continuação - Rochas graníticas ornamentais classificadas segundo La Roche (1974) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Tabela - 1.AP-1 Classificação comercial e litológica das rochas graníticas, segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989). Resultados da auto-radiografia e procedência

Amostra	Cor Predominante	Textura	Comercial	Classificação					Auto-radiografia	U ₃ O ₈ (ppm)	ThO ₂ (ppm)	Procedência
				Litológica		Auto-radiografia	U ₃ O ₈ (ppm)	ThO ₂ (ppm)				
				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)							
CG-01	Cinza-Amarelada	Homogênea	Cinza Andorinhas	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	5	35	ES			
CG-02	Amarela	Homogênea	Amarelo Romano	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	4	94	ES			
CG-03	Cinza	Homogênea	Cinza Tropical	Granito Sienítico	Granito Alcalino	Positivo	5	100	ES			
CG-04	Amarela	Homogênea	Ouro Mel	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	Positivo	6	50	MG			
CG-05	Branca	Homogênea	Cinza Conduru	Granito Monzonítico	Granito Monzonítico	Positivo	6	40	ES			
CG-06	Vermelha	Homogênea	Vermelho Itaoca	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	Positivo	4	48	ES			
CG-07	Amarela	Homogênea	Dourado Barroco	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	4	14	ES			
CG-08	Amarela	Movimentada	Jú Paraná Rafaeli	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Positivo	<1	30	ES			
CG-09	Creme	Homogênea	Ocre Itabira	Monzonito Quartzoso	Sienito Quartzoso	Positivo	<1	13	ES			
CG-10	Amarela	Homogênea	Amarelo Cabassa	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	3	30	PB			
CG-11	Cinza-Médio	Movimentada	Azul Silvestre	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Positivo	2	28	BA			
CG-12	Branca	Movimentada	Corumbá	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Sienítico	Positivo	4	48	ES			
CG-13	Branca	Homogênea	Castelo	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	3	32	ES			
CG-14	Branca/Amarela	Homogênea	Piracema	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	6	26	MG			
CG-15	Amarela-Escura	Movimentada	Laranjeira	Gnaiss Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	6	20	ES			
CG-16	Branca	Homogênea	As de Paus	Monzonito	Sienito	Positivo	2	12	RJ			
CG-17	Amarela	Movimentada	Jú-Paraná Veneziano	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Positivo	2	8	ES			
CG-18	Branca	Homogênea	Arabesco	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	5	50	ES			
CG-19	Verde-Escura	Homogênea	Verde Folha	Chamoquito	Chamoquito Sienítico	Negativo	1	4	ES			
				Monzonítico Quartzoso	Quartzoso							
CG-20	Amarela	Homogênea	Amêndoa Carioca	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	Positivo	4	58	MG			

Continuação - Classificação comercial e litológica das rochas graníticas, segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989). Resultados da auto-radiografia e procedência

Amostra	Cor Predominante	Textura	Classificação Comercial	Litológica		Auto-radiografia	U ₃ O ₈ (ppm)	ThO ₂ (ppm)	Procedência
				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)				
CG-21	Branca-Amarelada	Homogênea	Veneza	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Negativo	2	13	ES
CG-22	Branca	Homogênea	Cinza Bresso	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	2	35	ES
CG-23	Amarela	Homogênea	F5	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	6	57	MG
CG-24	Rosa	Homogênea	Rosa Capri	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	5	57	MG
CG-25	Cinza-Escura -Azulada	Homogênea	Azul Sucuru	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	5	35	PB
CG-26	Amarela	Movimentada	Jú-Paraná Tropical	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Positivo	2	23	ES
CG-27	Branca - Amarelada	Homogênea	As de Ouro	Monzonito	Sienito	Positivo	1	50	RJ
CG-28	Amarela	Homogênea	Amarelo Topázio	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	3	33	MG
CG-29	Branca - Amarelada	Homogênea	Santa Angélica	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	2	16	ES
CG-30	Vermelha	Homogênea	Capão Bonito	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	20	59	GO
CG-31	Amarela	Homogênea	Ouro Velho	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	Positivo	5	76	ES
CG-32	Amarela	Homogênea	Amarelo Cachoeiro	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	4	31	ES
CG-33	Vermelha	Homogênea	Vermelho Imperial	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	Positivo	6	74	MG
CG-34	Branca	Homogênea	Cinza Santa Rosa	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	6	52	ES
CG-35	Vermelha	Homogênea	Rosa Verona	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	16	55	MG
CG-36	Amarela	Homogênea	Santa Helena	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	1	15	ES
CG-37	Branca	Homogênea	Dourado	Granito Sienítico	Granito Alcalino/Sienítico	Positivo	1	66	MG
CG-38	Branca	Homogênea	As de Paus II	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	1	21	RJ
CG-39	Vermelha	Movimentada	Rosa Raissa	Migmatito Monzonítico	Migmatito Alcalino	Positivo	2	22	MG
CG-40	Branca	Movimentada	Amarelo Real	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Positivo	4	45	ES

Continuação - Classificação comercial e litológica das rochas graníticas, segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989). Resultados da auto-radiografia e procedência

Amostra	Cor Predominante	Textura	Classificação		Auto-radiografia	U ₃ O ₈ (ppm)	ThO ₂ (ppm)	Procedência
			Comercial	Litológica				
CG-41	Cinza-Escura	Movimentada	Preto Florido	Gnaiss Granodiorítico	Positivo	<1	25	ES
CG-42	Amarela	Movimentada	Amarelo Veneziano	Gnaiss Monzonítico	Positivo	4	130	ES
CG-43	Marrom	Homogênea	Café Imperial	Stenito	Negativo	2	8	MG
CG-44	Azul	Homogênea	Azul Bahia	Monzonito	Negativo	2	2	BA
CG-45	Verde-Clara	Movimentada	Verde Eucaipto	Gnaiss Monzonítico	Positivo	3	55	ES
CG-46	Amarela	Homogênea	F11	Granito Monzonítico	Positivo	5	58	ES
CG-47	Branca	Homogênea	Cotton White	Granulito Granodiorítico	Positivo	16	13	CE
CG-48	Cinza-Escura	Movimentada	Kinawa	Migmatito Granodiorítico	Positivo	2	12	MG
CG-49	Marrom	Homogênea	Café Bahia	Monzonito	Negativo	3	10	MG
CG-50	Amarela	Homogênea	Giallo Padadiso	Granito Monzonítico	Positivo	8	51	MG
CG-51	Vermelha	Movimentada	Vermelho Cobra ou Jacarandá de Lico	Migmatito Monzonítico	Positivo	2	30	MG
CG-52	Amarela	Movimentada	Gialho Califórnia	Gnaiss Monzonítico	Positivo	8	67	MG
CG-53	Amarela	Movimentada	Amarelo Vitória	Gnaiss Monzonítico	Positivo	2	11	ES
CG-54	Branca	Movimentada	Cinza Fantasia	Gnaiss Granodiorítico	Negativo	<1	4	ES
CG-55	Branca	Movimentada	Cinza Rafaela	Gnaiss Monzonítico	Positivo	<1	34	ES
CG-56	Cinza-Esverdeada	Homogênea	Verde Ecologia	Granito Monzonítico	Negativo	<1	10	ES
CG-57	Branca	Movimentada	Branco Itália	Gnaiss Monzonítico	Positivo	1	10	BA
CG-58	Branca	Homogênea	Branco Cairo	Granulito Monzonítico	Negativo	1	9	ES
CG-59	Vermelha	Homogênea	Havana	Granito Monzonítico	Positivo	5	30	ES
CG-60	Cinza-Amarelada	Homogênea	Café Paraíba	Granito Monzonítico	Positivo	6	34	PB

Continuação - Classificação comercial e litológica das rochas graníticas, segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), La Roche (1964) e Cox et al. (1979) adaptado por Wilson (1989). Resultados da auto-radiografia e procedência

Amostra	Cor Predominante	Textura	Classificação		Auto-radiografia	U ₃ O ₈ (ppm)	ThO ₂ (ppm)	Procedência
			Comercial	Litológica				
CG-61	Branca	Movimentada	Branco Palha	Gnaiss Monzonítico	Positivo	4	21	ES
CG-62	Branca-Amarelada	Homogênea	Samoa Light	Granito Monzonítico	Positivo	1	22	ES
CG-63	Amarela	Homogênea	Amarelo Florence	Monzonito Quartzoso	Positivo	5	74	ES
CG-64	Amarela	Movimentada	Everest	Gnaiss Monzonítico	Positivo	6	43	ES
CG-65	Branca	Movimentada	Amarelo Ornamental	Gnaiss Monzonítico	Positivo	4	7	ES
CG-66	Amarela	Homogênea	Amarelo Capri	Granito Monzonítico	Positivo	5	66	MG
CG-67	Verde-Escura	Homogênea	Verde Ubatuba	Charnquito Monzonítico	Positivo	<1	20	SP
CG-68	Verde-Clara	Movimentada	Verde Prata	Gnaiss Monzonítico	Positivo	5	26	MG
CG-69	Lilás	Movimentada	Lilás Gerais	Gnaiss Monzonítico	Positivo	30	44	MG
CG-70	Branca	Movimentada	Kinawa Tog	Gnaiss Monzonítico	Positivo	7	17	MG
CG-71	Negra	Homogênea	Black Diamond	Monzogabro Monzodiorítico	Negativo	2	4	MG
CG-72	Verde-Escura	Movimentada	Verde Candeias	Charnquito Monzonítico	Positivo	3	10	MG
CG-73	Verde-Clara	Movimentada	Verde Savana	Gnaiss Granodiorítico	Positivo	4	34	MG
CG-74	Amarela	Movimentada	Amarelo Fiorito	Gnaiss Monzonítico Quartzoso	Positivo	4	94	MG
CG-75	Branca	Homogênea	Branco Nepal	Granulito Monzonítico	Negativo	<1	4	MG
CG-76	Verde-Clara	Movimentada	Verde San Francisco	Gnaiss Granodiorítico	Positivo	1	33	MG
CG-77	Verde-Médio	Homogênea	Verde Lavras	Granito Monzonítico	Positivo	2	22	MG
CG-78	Cinza	Movimentada	Verde Índio/Aquário	Gnaiss Monzonítico Quartzoso	Positivo	7	66	MG
CG-79	Verde-Clara	Movimentada	Verde Lago	Gnaiss Granodiorítico	Negativo	1	11	MG
CG-80	Vermelha	Movimentada	Jacarandá	Migmatito Monzonítico	Positivo	4	54	MG

Continuação - Classificação comercial e litológica das rochas graníticas, segundo Streckeisen (1976) e citado por Le Maître (1989), La Roche (1964) e Cox et al. (1979) adaptado por Wilson (1989). Resultados da auto-radiografia e procedência

Amostra	Cor Predominante	Textura	Comercial	Classificação		Auto-radiografia	U ₃ O ₈ (ppm)	ThO ₂ (ppm)	Procedência
				Streckeisen (1976)	Litológica				
CG-81	Vermelha/Cinza	Movimentada	Shangrilá	Gnaiss Granodiorítico	Gnaiss Sienítico	Positivo	1	25	MG
CG-82	Branca	Movimentada	White Piracema	Gnaiss Granodiorítico	Gnaiss Sienítico	Positivo	7	22	MG
CG-83	Branca - Amarelada	Homogênea	Champanhe Medina	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	5	54	MG
CG-84	Branca	Homogênea	Branco Aurora	Granulito Monzonítico	Granulito Alcalino	Positivo	3	18	MG
CG-85	Branca Amarelada	Homogênea	Amarelo Medina	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Positivo	2	12	MG
CG-86	Branca - Amarelada	Movimentada	Amarelo Amêndoa	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Positivo	1	18	MG
CG-87	Amarela	Movimentada	Giallo Boreale	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Negativo	2	7	MG
CG-88	Amarela	Homogênea	Amarelo Laranjeiras	Monzonito Quartzoso	Sienito Quartzoso	Negativo	1	8	MG
CG-89	Vermelha	Homogênea	Lilás Medina	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	Negativo	3	14	MG
CG-90	Marrom	Homogênea	Asa de Borboleta	Sienito	Sienito	Positivo	5	76	PE
CG-91	Cinza/Vermelha	Movimentada	Horizonte	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Positivo	<1	23	MG
CG-92	Marrom-Médio	Homogêneo	Café Imperial - 1	Sienito	Sienito	Negativo	2	15	MG
CG-93	Amarela	Homogênea	Cinza Mel	Granito Sienítico	Granito Sienítico	Positivo	3	81	ES
CG-94	Verde-Escura	Homogênea	Verde Pavão	Chamoquito Monzonítico	Chamoquito Monzonítico	Positivo	1	22	ES
CG-95	Cinza-Escura/Branca	Movimentada	Indiano	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Sienítico	Positivo	6	18	ES
CG-96	Azul-Clara/Cinza-Médio	Movimentada	Azul Guanabara	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Negativo	<1	1	RJ
CG-97	Cinza	Homogênea	Cinza Bressan	Granito Monzonítico	Monzonito	Positivo	3	65	ES
CG-98	Cinza	Movimentada	Cinza Oriente	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	Positivo	4	105	ES
CG-99	Negra	Homogênea	Preto São Gabriel	Gabro Quartzoso	Gabro	Positivo	2	15	ES
CG-100	Amarela	Homogênea	Amêndoa Carioca II	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	Positivo	4	58	ES

Tabela - 2.AP-1 Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Acessório (<1)	Secundário	Classificação Litológica
	Fel-k.	Plag. Quart.				
CG-01	31,9	31,5	25,3	biotita-10,6 ap., zircão, mon., rutilo	m. de arg., ser., carb., musc., clor.	Granito Sienítico
CG-02	36,5	23,4	36,3	biotita-2,8 zircão, mon., ap., m. op. (mag., mart.)	musc., ser., carb., clor., ox. de fer., leuc., m. de arg.	Granito Sienítico
CG-03	41,7	23,8	24,1	biotita-8,5 tit., zircão, mon., ap., m. op. (mag., mart., pir.), fluor.	musc., ser., carb., clor., m. de arg.	Granito Alcalino
CG-04	33,4	29,2	26,6	biotita-9,7 m. op. (mag./mart., pir.), tit., alanita, ap., zircão, mon.	m. de arg., ser., musc., clor., ox. de fer.	Granito Alcalino/Sienítico
CG-05	33,3	29,3	28,3	biotita-10,6 m. op. (mag., pir.), tit., ap., allanita, zircão, mon.	m. de arg., ser., carb., musc., clor.	Granito Monzonítico
CG-06	33,5	37,4	27,9	biotita-0,24 m. op. (mag./mart., pir.), ap., zircão, mon.	ser., m. de arg., musc., carb., clor., ox. de fer.	Granito Alcalino/Sienítico
CG-07	32,8	38,6	26,1	biotita-1,4 hor. <1 allanita, zircão	m. de arg., ser., carb., ox. de fer.	Granito Sienítico
CG-08	43,4	25,2	26,6	biotita-3,78 tit., ap., allanita, mon., zircão, m. op. (mag.), epidoto	m. de arg., ser., carb., musc.	Gnaiss Alcalino
CG-09	38,2	39,6	11	biotita-10,,2 hor. <1 ap., zircão, leu.	ser., m. de arg., carb., clor., musc., ox. de ferro	Sienito Quartzoso
CG-10	35,5	25,3	37,9	biotita-0,24 hor. <1 m. op. (mag.), zircão, mon.	m. de arg., ser., ox. de fer., carb.	Granito Alcalino

Convenção: b) Fel.-K. = feldspato potássico, plag. = plagioclásio, quart. = quartzo, hip = hiperstênio, ac. aug. = aegirina augita, hor. = hornblenda, biot = biotita, mon = monazita, tit = titanita, leuc. = leucóxênio, apat. = apatita, m. op. = mineral opaco, mag. = magnetita, mart. = martita, pir. = pirita, ilm. = ilmenita, goet. = goethita, calc. = calcopirita, molib. = molibdenita, musc. = muscovita, ser. = sericita, m. de arg. = mineral de argila, carb. = carbonato, clor. = clorita, ox. de fer. = óxido de ferro, gran. = granada, xen = xenotimo, fluo. = fluorita.

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maître (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Acessório (<1)	Secundário	Classificação	
	Fel.-k.	Plag. Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)
CG-11	23,9	20,6	43,7	biotita-10,9 cordierita, m. op. (mag./mart., pir), andaluzita, sillimanita, zircão, espínélio, gran, mon allanita, tit., m. op. (mag./mart., pir), ap., zircão, mon.	sericita, carbonato.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-12	35,4	26	28,8	biotita-8,75 m. op. (mag., pir.), tit., ap., zircão, mon. epidoto allanita	ser., m. de arg., carb.	Granito Monzonítico	Granito Científico
CG-13	36	32,1	21,7	biotita-9,22 m. op. (mag., pir.), tit., ap., zircão, mon. epidoto allanita	ser., m. de arg., carb.	Granito Monzonítico	Granito Científico
CG-14	33,6	34,9	30	biotita-0,24 m. op. (mag.), fluorita, zircão, ap. allanita, mon.	m. de arg., ser., clor.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-15	33,9	21,7	40,1	biotita-3,55 zircão, mon., ap., m. op. (mag./mart)	m. de arg., ser., carb., clor., ox. de fer.	Granito Monzonítico	Granito Científico
CG-16	47,5	36,1	-	hor.-14,4 biotita-1,25 biotita-0,71 fluorita, ap., m. op. (mag., pir.)	m. de arg., carb.	Monzonito	Sienito
CG-17	39,3	25,8	33	granada, tit., sillimanita, zircão, mon., ap.	m. de arg., ser., clor., musc., ox. de fer.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-18	35,6	36,2	22,1	biotita-0,62 granada 4,37, espínélio, tit., zircão, mon., m. op. (mag., pir.)	m. de arg., ser., carb.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-19	47,5	37,2	13,3	hor.-1,60 hip.-aug.-1,04 biotita.-0,20 zircão, mon.	carb.	Gnaiss Monzonítico Quartzoso	Gnaiss Científico Quartzoso
CG-20	37,4	25,5	37	biotita-<1 zircão, ap. mon., m. op. (mag./mart)	ser. carb., clor., m. de arg., musc.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Científico

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Acessório (<1)	Secundário	Classificação	
	Fel.-k	Plag. Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)
CG-21	39,6	24,4	33,3	biotita-1,65 granada, sillimanita, ap., zircão, mon.	m. de arg., ser., carb., musc.	Granito Monzonítico	Granito Sienítico
CG-22	35,4	33,3	20,6	titanita, m. op. (mag., pir.), ap., zircão, mon.	m. de arg., ser., clor.,	Granito Monzonítico	Granito Sienítico
CG-23	44,2	30,2	23,2	zircão mon., ap., m. op. (mag./mart.)	musc., ser., carb., clor, m. de arg.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-24	32,6	37,7	32,0	mon., zircão, ap., m. op. (mag./mart., ilm.), epidoto	ser., m. de arg, musc., ox. de fer., clor.	Granito Monzonítico	Granito Sienítico
CG-25	35,7	25,5	37,5	m. op. (mag., pir., calc.), allanita, ap., zircão, mon.	clor., m. de arg., ser.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-26	38	25,8	34,6	mon., zircão, allanita, m. op. (mag.)	m. de arg., ser., carb., clor.	Gnaisse Monzonítico	Gnaisse Alcalino
CG-27	51	3,55	1,9	m. op. (mag./mart., pir) tit., allanita, ap., zircão, mon.	m. de arg., ser., Monzonito		Sienito
CG-28	36,8	40,8	18,6	m. op. (mag./mart., pir), ap., zircão, mon.	ser., m. de arg, musc., clor., ox. de fer.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-29	41,3	34	20,2	sillimanita, m. op. (mag.), zircão, mon., ap. ruído, leu.	m. de arg., ox. de fer	Granito Monzonítico	Granto Alcalino
CG-30	32,8	37,7	27,4	fluorita, tit., zircão, mon, ap., m. op. (mag./mart., pir., pir.), gran.	m. de arg., ser., carb., musc., clor., ox. de fer., leuc.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maître (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico			Máfico	Acessório (<1)	Secundário	Classificação	
	Fel-k	Plag.	Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)
CG-31	35,7	29,6	3,22	biotita-1,42	tít., zircão, mon., ap., m. op. (mag./mart., ilm), epidoto	ser., m. de arg., carb., musc., clor., ox. de fer.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico
CG-32	36,1	27,9	26,7	biotita-9,21	tít., m. op. (mag./mat., pir.), zircão, ap., mon.	ser., m. de arg., carb., musc., clor.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-33	35,8	32,6	29,7	biotita-0,95	zircão, mon., ap., m. op. (mag./mart., ilm.), leuc.	ser., carb., m. de arg., ox. de fer., musc., clor.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico
CG-34	33,9	26,6	28,4	biotita-10,2	tít., m. op. (mag./mart., pir.), ap., allanita, mon, ruilo	ser., m. de arg., musc., clor., carb.	Granito Monzonítico	Granito Sienítico
CG-35	26,6	32,6	39,5	biotita-0,23	zircão, mon., ap., tonita	m. de arg., ser., ox. de fer., clor., carb.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-36	35,5	32,4	38,3	biotita-1,84	sillimanita, m. op. (mag.), ap., zircão, mon.	m. de arg., ser.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-37	43,7	21,1	32,8	biotita-1,42	mon., zircão, ap., m. op. (goet.)	ser., m. de arg., carb., musc., ox. de fer.	Granito Sienítico	Granito Alcalino/Sienítico
CG-38	35,5	32,4	30,9	biotita-0,24	fluorita, allanita, epidoto, zircão, ap., m. op. (mag.), mon.	m. de arg., ser., musc., carb.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-39	32,6	38,5	26,5	biotita-1,42	ap., zircão, mon., leu.	ser., m. de arg., clor., epidoto, carbonato	Migmatito Monzonítico	Migmatito Alcalino
CG-40	36,9	33,4	17,3	biotita-11,35	granada, andaluzita sillimanita, m. op. (mag., pir.), espinélio, zircão, mon.	m. de arg., ser., carb.	Gnaisse Monzonítico	Gnaisse Alcalino

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maître (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Acessório (<1)	Secundário	Classificação	
	Fel.-k.	Plag. Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)
CG-41	22,9	52,3	20	biotita-3,78 m. op.(mag.,pir.), tit., ap., allanita, zircão, mon., rutilo zircão, mon., ap.	carb., ser.	Gnaissé Granodiorítico	Gnaissé Tonalítico
CG-42	37,8	29,8	27,8	biotita-1,65	ser., m. de arg., carb., ox. de fer., musc.	Gnaissé Monzonítico	Gnaissé Sienítico
CG-43	50,1	30,3	-	aeg. aug.- 16,1 biotita-2,5 biotita-<1	ap., m. de arg., ox. de fer.	Sienito	Sienito
CG-44	21,2	56,1	(sodalita- 32,5)	zircão, tit., zircão	cancricita, carbonato, m. de arg.,	Monzonito	Sienito
CG-45	33,0	33,9	29,4	biotita-2,6 m. op.(mag.), ap., zircão, mon.	clor., m. de arg.	Gnaissé Monzonítico	Gnaissé Alcalino
CG-46	40,6	26,5	30,2	biotita-1,65 zircão, apat., mon., leuc., m. op. (mag./mart.)	ser., m. de arg., musc., clor., ox. de fer., carb.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-47	10,1	54,4	34,2	biotita 0,24 fluorita, ap., m. op., uraniníta/gumita, zircão	m. de arg., ser., musc., carb.	Granulito Granodiorítico	Granulito Alcalino
CG-48	23,2	44,1	23,1	biotita -8,51 ap., zircão, m. op.(mag.)	m. de arg., ser.	Migmatito Granodiorítico	Migmatito Sienítico
CG-49	33,7	54,4	-	biotita-11,89 hor.-9,47, aug.-2,42, ap. nefelina	m. de arg., ox. de fer., musc.	Monzonito	Sienito
CG-50	36,4	37,7	16,5	biotita-1,65 zircão, ap., mon., leu., rutilo	m. de arg., ser., carb., ox. de fer., musc.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Acessório (<1)	Secundário	Classificação	
	Fel.k.	Plag. Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)
CG-51	35	37,7	23,2	biotita-1,65 zircão	m. de arg., ser., carb., clor.	Migmatito Monzonítico	Migmatito Alcalino
CG-52	34	27,7	37	mon., zircão, fluorita, ap., m. op. (mag.), bastnasita	m. de arg., clor., ox. de fer.	Gnaisse Monzonítico	Gnaisse Alcalino
CG-53	36,4	22,8	39,4	m. op. (mag.), ap., mon., granada	m. de arg., ser., carb.	Gnaisse Monzonítico	Gnaisse Alcalino
CG-54	15,2	40	35	granada, m. op. (mag.), ap., zircão	m. de arg., ser., carb.	Gnaisse Granodiorito	Gnaisse Monzonítico
CG-55	44,9	31,5	18,8	tit., allanita, ap. (mag./mart., pir.), m. op. (mag.), zircão, mon.	m. de arg., ser., carb.	Gnaisse Monzonítico	Gnaisse Alcalino
CG-56	37,8	31,5	20,9	m. op. (mag./mart., pir.), tit., ap., zircão, mon.	m. de arg., ser.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-57	34,5	29,5	32,9	granada, sillimanita, andaluzita, m. op. (mag./ mat.), tit., zircão	m. de arg., ser., carb., musc.	Gnaisse Monzonítico	Gnaisse Siênfítico
CG-58	28,5	37,8	30,3	granada, tit., m. op. (mag/ mart.), zircão	m. de arg., ser., carb., musc.	Granulito Monzonítico	Granulito Monzonítico
CG-59	35,7	35,3	26,5	m. op. (mag./mart.), ap., zircão, mon.	m. de arg., ser., carb., musc., clor.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-60	38,4	33,9	25,9	ap., fluorita, zircão, m.op. (mag)	m. de arg., ser., clor.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maître (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Acessório (<1)	Secundário	Classificação	
	Fel.k	Plag. Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)
CG-61	42,2	32,0	21	biotita-3,78 granada, sillimanita, m. op.(mag./mart.), ap., tit., rutilo, mon., zircão	m. de arg., ser., carb.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-62	33,3	29,6	33,3	biotita-2,84 granada, m. op.(mag.), leu., ap., zircão, mon.	m. de arg., ser., carb., musc.	Granito Monzonítico	Granito Sienítico
CG-63	46,7	32,1	18	biotita-2,18 apatita, mon., zircão, m. op.(mag.)	m. de arg., ser., ox. de fer.	Monzonito Quartzoso	Granito Alcalino
CG-64	37,6	36	23,3	biotita-3,07 granada, sillimanita, zircão, m. op.(mag./mart.), mon., espinelio, rutilo	m. de arg., ser., carb.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-65	36,4	34,3	27,5	biotita-0,71 granada, sillimanita, m., op.(mag.), zircão, mon.	m. de arg., ser.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-66	40,1	33,9	21,9	biotita-3,07 mon., zircão, apat., m. op. (mag./ mart.)	ser., m. de arg, carb., musc., clor., ox. de fer., gunita	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico
CG-67	39,7	32	21,8	biotita-3,53, hor.-1,09, hip.-aug. <1	m. de arg.	Charnoquito Monzonítico	Charnoquito Alcalino
CG-68	28,2	40,4	26,7	biotita-5,67 m. op.(mag.), ap., mon., zircão, epidoto	m. de arg., ser., carb., clor., musc.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-69	29,6	36,4	31,8	biotita-1,18 op. (mag./mart.), tonita, gunita, xen., fluo.	ser. m. de arg., clor., ox. de fer.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino/Sienítico
CG-70	30,9	41,9	24,3	biotita-1,89 ap., zircão, gunita, m. op. (mag.) mon.	m. de arg., ser., carb., clor., ox. de fer.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maître (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Accessório (<1)	Secundário	Classificação	
	Fel.k.	Plag. Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)
CG-71	8	50,2	<1	biotita-21,2 aug.-15,6, hor.<1	ap.1,25, zircão, m. op. -3,2 carb. (mag, pir., calc.), rutilo	Monzogabro Monzodiorítico	Diorito
CG-72	30,4	44,3	20,3	biotita-4, hor.<1, aug.<1	m. op.(mag.), ap., zircão, mon.	Chamoquito Monzonítico	Chamoquito Alcalino
CG-73	23,4	45,5	23,9	biotita-6,15	m. op.(mag, pir.), ap., zircão, mon.	Gnaiss Granodiorítico	Gnaiss Monzonítico
CG-74	53	36,5	5,29	biotita-4,25	mon., zircão, apat., rutilo., m. op. (goet., mag./mart.), tit.,	Gnaiss Monzonito Quartzoso	Gnaiss Sienítico Quartzoso
CG-75	47,5	47,5	22,8	biotita-0,23	epidoto, zircão, mon., granada, m. op.(mag, pir.)	Granulito Monzonico	Granulito Alcalino
CG-76	23,7	47,1	21,2	biotita-7,09	ap. m. op., zircão, allanita	Gnaiss Granodiorítico	Gnaiss Sienítico
CG-77	23,6	42,8	28,9	biotita-5,68, hor.<1	m. op.(mag, pir.), ap., zircão	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-78	26,8	48,2	7,9	biotita-16	zircão, mon., ap., m. op. (mag, ilm.), allanita	Gnaiss Monzonítico Quartzoso	Gnaiss Alcalino
CG-79	12,8	52,6	22,9	biotita-5,7, hor.-3,12	m. op.(pir, mag, calc.), ap., zircão, allanita	Gnaiss Granodiorítico	Gnaiss Monzonítico
CG-80	41,5	36,6	19	biotita-1,89	ap., m. op.(mag./mart.), zircão, allanita	Migmatito Monzonítico	Migmatito Alcalino

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maître (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Acessório (<1)	Secundário	Classificação	
	Fel.k.	Plag. Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)
CG-81	16,1	50,2	20,5	biotita-12,6 zircão, mon.	m. de arg., ser., clor., carb.	Gnaiss Granodiorítico	Gnaiss Sienítico
CG-82	15,2	50,7	29,5	biotita-3,55 zircão, mon.	m. de arg., ser., clor., musc., carb., ox. de fer.	Gnaiss Granodiorítico	Gnaiss Sienítico
CG-83	41,1	37,1	18,9	biotita-1,89 leu., ap. rutilo	m. de arg., ser., carb., musc.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-84	34,5	26,3	37	granada, ap., rutilo, zircão, m. op.(mag.)	m. de arg.; ser., carb., musc.	Granulito Monzonítico	Granulito Alcalino
CG-85	32,5	36,4	27,9	granada, sillimanita, m. op.(mag) ap., zircão	min. de arg., ser.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-86	21,9	20,4	41,3	hor., m-t, biotita m-t	m. de arg., ser., carb., musc.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-87	31,8	29,7	37,2	biotita-0,24 granada, m. op.(mag.), zircão, ap., mon., tit.	m. de arg. ser.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-88	42,3	38,8	7,11	biotita-11,8 allanita, zircão, rutilo, mon.	m. de arg., ser., ox. de fer.	Monzonito Quartzoso	Sienito Quartzoso
CG-89	28,9	40,4	29	biotita-7,1 ap., zircão, mon.	m. de arg., ser., carb.	Granito Monzonítico	Granito Alcalino
CG-90	55	18	<1	hom.-23, biotita-1,87, ae. aug.-<1	m. de arg., carb., ox. de fer.	Sienito	Sienito

Continuação - Caracterização mineralógica e litológica das rochas graníticas, com microscópio petrográfico e utilizando-se diagramas de Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), La Roche (1964) e Cox *et al.* (1979) adaptado por Wilson (1989)

Mineral (%)	Félsico		Máfico	Accessório (<1)	Secundário	Classificação		
	Fel.k.	Plag. Quart.				Streckeisen (1976)	La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)	
CG-91	27,2	23,5	44,3	biotita-4	ap., allanita, m. op.(mag, pir.), zircão	m. de arg., ser., carb., musc., clor.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-92	48	20,1	-	aeg.-aug.-13,3, biotita-9,4	tit.-5,87, m. op. (mag./mart.), ap., rutilo	-1,25 m. de arg., ox. de fer.	Ssienito	Sienito
CG-93	42,9	22,6	26,2	biotita-7,33	allanita, tit., zircão, mon., ap., rutilo, m. op. (mag, pir.)	m. de arg., ser., carb., clor., musc.	Granito Sienítico	Granito Sienítico
CG-94	23,8	37,2	24,2	hor.-10, biotita-1,85, aug.-hip.-<1	m. op.(mag, pir.), ap., mon., zircão	carb., ox. de fer.,	Chamoquito Monzonítico	Chamoquito Monzonítico
CG-95	20	17,9	29,1	biotita-28,6	sillimanita -3,1, andaluzita, m. op.(pir., mag, calc., molib.), mon., zircão	ser., m. de arg., clor., epidoto, carb.,	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Sienítico
CG-96	31,6	33,9	33,2	biotita-0,24	m. op.(mag), rutilo, ap., zircão, allanita	m. de arg., clor., epidoto, carb.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-97	36,8	30,9	20,7	biotita-10,1	tit., m. op. (mag, ilu., pir.), allanita, ap., mon., zircão	ser., carb., m. de arg., musc., clor., ox. de fer.	Granito Monzonítico	Monzonito
CG-98	36,3	28,3	28	biotita-6,38	tit., allanita, ap., zircão, m. op. (mag./mart., pir.), mon., fluo.	ser., m. de arg., clor., musc., ox. de fer.	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino
CG-99	<1	66,2	8,1	biotita-6,87	m. op.5-(mag/mart., pir., calc.), ap., tit., mon.	carb.	Gabro Quartzoso	Gabro
CG-100	34,4	29,2	32,8	biotita-2,6	zircão, mon., ap., m. op.(mag./mart.), rutilo	m. de arg., ser., musc., carb., ox. de fer.	Granito Monzonítico	Granito Sienítico

Tabela - 3.AP-1 Composição química teórica dos minerais nas rochas ornamentais

Mineral	Fórmula
Silicatos	
Aegirina	$\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Allanita	$(\text{Ce}, \text{Y}, \text{Ca})_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O})(\text{OH})$
Andaluzita	$\text{Al}_2(\text{SiO}_4)$
Augita	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ti}, \text{Al})_2[(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6]$
Biotita	$\text{K}(\text{Fe}^{3+}\text{Mg})_3(\text{Al}, \text{Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH}, \text{F})_2$
Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Clorita	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.\text{Mg}_3(\text{OH})_6$
Cordierita	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Al}_3(\text{AlSi}_5\text{O}_{18}).\text{H}_2\text{O}$
Epidoto	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}, \text{OH})_2$
Almandina	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
Hiperstênio	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$
Hornblenda	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Huttonita	ThSiO_4
Montmorilonita	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{O}, \text{S})_{033}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$
Muscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2.\text{F}$
Feldspato-k	KAlSi_3O_8 (microclínio/ortoclásio)
Plagioclásio	Albita- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ Anortita- $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Quartzo	SiO_2
Sillimanita	$\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$
Sodalita	$\text{Na}_4(\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12})\text{Cl}$
Titanita	$\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)(\text{Ca}, \text{ETR})(\text{Zi}, \text{Al}, \text{Fe})\text{SiO}_4(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$
Torita	ThSiO_4 (Th, U)
Zircão	ZrSiO_4

Continuação - Composição química teórica dos minerais nas rochas ornamentais

Mineral	Fórmula
Óxidos	
Hematita/Martita	Fe_2O_3
Ilmenita	FeTiO_3
Magnetita	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_4$
Pechblenda/Uraninita (Gumita)	UO_2/UO_3
Espinélio	MgAl_2O_4
Rutilo	TiO_2
Carbonatos	
Bastnasita	$\text{ETR}(\text{CO}_3)$
Calcita	CaCO_3
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Sulfetos	
Calcopirita	CuFeS_2
Pirita	FeS_2
Molibdenita	MoS_2
Fosfatos	
Apatita	$\text{Ca}_5(\text{F,Cl,OH})_3(\text{PO}_4)_3$
Monazita	$(\text{Ce,La,Nd})\text{PO}_4$
Xenotímo	YPO_4
Sais Alógenos	
Fluorita	CaF_2

APÊNDICE 2 (CAPÍTULO 5 - CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA)

Tabela - 1.AP-2	Resultados das análises químicas das 100 amostras graníticas ornamentais coletadas.....	154
Figura - 1.AP-2	Espectros de energia de raios X (Kevex), identificando a presença das terras raras e elementos pesados, nas amostras das rochas graníticas que apresentam as maiores concentrações dos elementos radioativos.....	164
Tabela - 2.AP-2	Cálculo dos parâmetros R1 e R2, para a classificação das 100 amostras de rochas graníticas ornamentais, segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).....	176
Tabela - 3.AP-2	Análises por microsonda eletrônica do feldspato potássico das rochas graníticas ornamentais com teores de urânio e tório acima de 60 ppm.....	181
Tabela - 4.AP-2	Análises por microsonda eletrônica do plagioclásio das rochas graníticas ornamentais com teores de urânio e tório acima de 60 ppm.....	183
Tabela - 5.AP-2	Conteúdo do tório e urânio nas rochas graníticas ornamentais com 1m ² de superfície e 2 cm (0,02 m ³) de espessura.....	185

Tabela - 1.AP-2 Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra	CG-01	CG-02	CG-03	CG-04	CG-05	CG-06	CG-07	CG-08	CG-09	CG-10
Óxidos (%)	Granito Sienítico	Granito Sienítico	Granito Alcalino	Granito Alcalino/ Sienítico	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/ Sienítico	Granito Sienítico	Gnaiss Alcalino	Sienito Quartzoso	Granito Alcalino
SiO ₂	67,8	69,2	67,5	66,6	67,8	70,5	71,4	69,6	63,8	72,4
Al ₂ O ₃	15,4	14,5	13,2	15,4	15,5	15,8	15,6	14,8	17,8	14,3
K ₂ O	5,29	5,95	6,33	5,45	5,5	5,46	5,33	6,43	5,34	5,77
TiO ₂	0,62	0,29	0,4	0,57	0,6	0,23	0,2	0,3	0,62	0,07
CaO	1,22	0,6	0,76	0,99	1,22	0,62	0,87	0,65	1,6	0,43
Na ₂ O	3,03	3	2,39	3,41	2,61	4,36	3,71	2,41	4,09	2,43
MgO	0,43	0,12	0,36	0,41	0,43	0,1	0,06	0,16	0,43	0,01
Fe ₂ O ₃	4,8	3,3	4,5	4,86	4,61	2,2	2,39	3,24	4,38	0,7
P. F.	1,03	0,9	0,8	1	1	1,1	1,3	1,1	1,4	1,58
Total	99,62	97,86	96,24	98,69	99,27	100,37	100,86	98,69	99,46	97,69
Traços (ppm)										
BaO	2300	1400	1300	2200	2300	1800	1200	1100	7500	400
ZrO ₂	1100	900	1200	1200	1000	700	600	900	1600	300
Rb ₂ O ₃	200	200	200	200	200	200	200	200	100	100
SrO	110	400	400	1000	1200	1600	500	400	2500	200
Y ₂ O ₃	50	20	60	40	40	20	30	70	60	44
U ₃ O ₈	5	4	5	6	6	4	4	1	1	3
ThO ₂	35	94	100	50	49	48	14	30	13	30
ETR (ppm)										
La ₂ O ₃	200	200	220	230	170	140	70	130	260	44
Ce ₂ O ₃	400	400	490	480	400	280	160	290	530	115
Pr ₆ O ₁₁	50	50	580	60	60	40	20	30	90	15
Nd ₂ O ₃	150	150	170	150	150	90	60	90	160	53

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra	CG-11	CG-12	CG-13	CG-14	CG-15	CG-16	CG-17	CG-18	CG-19	CG-20
Óxidos (%)	Gnaiss Alcalino	Gnaiss Sienítico	Granito Sienítico	Granito Alcalino	Granito Sienítico	Sienito	Gnaiss Alcalino	Granito Alcalino	Chanoquito Sienítico	Granito Alcalino/ Quartzoso Sienítico
SiO ₂	69,6	69,3	67	72,7	73,7	59	75,5	76,5	63,5	70,5
Al ₂ O ₃	13,6	14,9	16,3	14,3	13,7	19,5	13,2	14	17,4	14,4
K ₂ O	3,54	5,74	5,83	4,99	5	6,93	5,86	5,49	6,38	6,11
TiO ₂	0,71	0,41	0,45	0,08	0,22	0,18	0,12	0,13	0,39	0,21
CaO	0,43	0,88	0,96	0,09	0,58	0,71	0,26	0,19	1,01	0,55
Na ₂ O	1,93	2,5	3,08	3,33	2,06	4,95	2,46	2,24	3,37	3
MgO	0,46	0,37	0,39	0,01	0,15	0,05	0,03	0,12	0,12	0,08
Fe ₂ O ₃	6,7	3,65	2,64	0,7	2,61	3,32	1,9	2,64	2,72	2,3
P. F.	0,53	1,05	1,52	1	0,64	1,85	0,5	0,80	0,33	1,6
Total	97,5	98,8	98,17	97,2	98,66	96,49	99,83	98,52	95,22	98,75
Traços (ppm)										
BaO	900	1800	2800	300	500	1100	900	800	13.500	1100
ZrO ₂	400	1000	1100	400	400	900	300	500	1100	500
Rb ₂ O ₃	100	200	100	100	100	100	200	100	100	100
SrO	300	700	1100	200	200	300	100	100	700	400
Y ₂ O ₃	30	60	60	41	50	40	30	110	50	40
U ₃ O ₈	2	4	3	6	6	2	2	5	1	4
ThO ₂	28	48	32	26	20	12	8	50	4	58
ETR (ppm)										
La ₂ O ₃	53	200	240	40	40	90	20	90	80	120
Ce ₂ O ₃	123	440	550	110	90	180	30	200	170	250
Pr ₆ O ₁₁	30	60	90	10	20	20	20	20	40	40
Nd ₂ O ₃	50	130	200	40	40	60	20	90	70	90

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra	CG-21	CG-22	CG-23	CG-24	CG-25	CG-26	CG-27	CG-28	CG-29	CG-30
Óxidos (%)	Granito Sienítico	Granito Sienítico	Granito Alcalino	Granito Sienítico	Granito Alcalino	Ganaisse Alcalino	Sienito	Granito Alcalino	Granito Alcalino	Granito Alcalino
SiO ₂	71	67,2	71,2	72,9	70,7	72,3	64,6	71,6	70,8	71,3
Al ₂ O ₃	17,8	15,3	14,2	14,6	12,5	13,5	18,9	16,2	16,5	13,9
K ₂ O	6,43	5,28	6,45	4,98	5,3	5,63	7,12	5,46	6,12	5,53
TiO ₂	0,18	0,47	0,2	0,15	0,21	0,14	0,29	0,22	0,13	0,16
CaO	0,69	0,99	0,48	0,47	0,57	0,44	0,93	0,59	0,37	0,37
Na ₂ O	2,25	3,2	3,2	3,58	2,44	2,46	4,4	3,86	3,24	3,74
MgO	0,07	0,41	0,06	0,05	0,01	0,03	0,15	0,12	0,05	0,05
Fe ₂ O ₃	1,14	3,58	2,1	1,7	4,1	2,52	2,84	2,1	1,8	2,42
P. F.	1,14	0,7	1,04	0,8	0,24	0,55	1,1	0,8	0,5	1
Total	99,56	97,13	98,93	99,23	96,07	97,57	100,33	100,95	99,51	98,47
Traços (ppm)										
BaO	3000	2400	1200	1200	1100	500	2000	2100	600	400
ZrO ₂	400	1200	500	400	1000	300	1800	700	300	600
Rb ₂ O ₃	200	100	100	100	100	200	200	100	100	300
SrO	300	1000	400	700	100	200	2900	1800	200	200
Y ₂ O ₃	30	30	80	30	190	90	90	20	20	90
U ₃ O ₈	2	3	6	5	5	2	1	3	2	20
ThO ₂	13	35	57	57	35	23	50	33	16	59
ETR (ppm)										
La ₂ O ₃	40	200	120	100	30	120	600	130	40	90
Ce ₂ O ₃	80	420	240	180	700	270	1100	250	90	220
Pr ₆ O ₁₁	20	55	30	20	90	30	130	40	20	30
Nd ₂ O ₃	30	150	80	40	30	90	340	80	40	70

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra	CG-31	CG-32	CG-33	CG-34	CG-35	CG-36	CG-37	CG-38	CG-39	CG-40
Óxidos (%)	Granito Alcalino	Granito Alcalino/ Sienítico	Granito Alcalino	Granito Sienítico	Granito Alcalino	Granito Alcalino	Granito Alcalino/ Sienítico	Granito Alcalino	Migmatito Alcalino	Gnaiss Alcalino
SiO ₂	72	70,8	70,6	70,6	75,5	73,12	70	74,2	76,4	64,3
Al ₂ O ₃	14,6	14,9	14,8	14,4	12,6	14,7	14,5	14,1	15,1	17,7
K ₂ O	5,8	5,72	5,68	5,52	4,65	5,39	6,57	5,27	4,83	5,47
TiO ₂	0,16	0,37	0,14	0,6	0,05	0,17	0,21	0,08	0,1	0,4
CaO	0,46	0,86	0,44	1,16	0,24	0,41	0,48	0,3	0,59	0,52
Na ₂ O	3,37	3,28	3,46	3,1	3,59	2,14	2,29	3,09	3,68	3,19
MgO	0,06	0,39	0,04	0,43	0,01	0,08	0,06	0,01	0,06	0,48
Fe ₂ O ₃	1,5	3,65	1,4	4,63	1	2,48	3,2	1,97	1,41	5,56
P. F.	0,5	0,5	0,4	0,5	3,1	0,2	0,4	0,2	0,1	1,8
Total	98,45	100,47	96,96	100,94	100,73	98,69	97,71	99,22	102,27	99,42
Traços (ppm)										
BaO	1200	2800	1300	2400	200	300	700	200	1200	400
ZrO ₂	600	1100	600	900	200	200	400	300	300	400
Rb ₂ O ₃	200	100	200	200	400	200	300	100	100	100
SrO	700	1200	800	1100	100	200	300	100	400	200
Y ₂ O ₃	20	60	30	40	80	20	80	50	20	120
U ₃ O ₈	5	4	6	6	16	1	1	1	2	4
ThO ₂	76	31	74	52	55	15	66	21	22	45
ETR (ppm)										
La ₂ O ₃	90	300	90	300	300	30	130	130	50	60
Ce ₂ O ₃	200	540	190	600	70	70	30	30	100	150
Pr ₆ O ₁₁	20	70	20	70	20	20	40	40	20	20
Nd ₂ O ₃	60	200	60	180	30	20	120	120	30	70

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra Óxidos (%)	CG-41		CG-42		CG-43		CG-44		CG-45		CG-46		CG-47		CG-48		CG-49		CG-50	
	Gnaiss Tonalítico	Gnaiss Sienítico	Gnaiss Sienítico	Gnaiss Sienítico	Sienito	Sienito	Gnaiss Alcalino	Gnaiss Alcalino	Granito Alcalino	Granito Alcalino	Granulito Alcalino	Granulito Alcalino	Migmatito Sienítico	Migmatito Sienítico	Sienito	Sienito	Alcalino	Alcalino	Granito	Granito
SiO ₂	58,9	69,4	63,7	56,4	69,7	71	70,6	70,1	61,6	70,6	70,6	70,1	70,6	61,6	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6
Al ₂ O ₃	15,9	14,3	14,7	22,3	14,2	14,4	17,1	15,4	17,2	17,1	17,1	15,4	17,1	17,2	17,1	15,4	17,2	17,2	14,8	14,8
K ₂ O	2,92	6,04	8,41	2,54	4,9	5,6	1,5	3,77	4,7	1,5	1,5	3,77	4,7	4,7	1,5	3,77	4,7	4,7	5,4	5,4
TiO ₂	1,19	0,31	0,88	0,03	0,15	0,18	0,05	0,16	0,6	0,05	0,05	0,16	0,6	0,6	0,05	0,16	0,6	0,6	0,2	0,2
CaO	1,97	0,81	0,32	0,05	0,52	0,4	0,15	0,85	0,91	0,15	0,15	0,85	0,91	0,91	0,15	0,85	0,91	0,91	0,35	0,35
Na ₂ O	3,46	2,97	4,72	5,8	3,24	3,01	5,2	4,24	5,63	3,24	3,01	4,24	5,63	5,63	5,2	4,24	5,63	5,63	3,6	3,6
MgO	0,16	0,15	1,04	0,54	0,11	0,07	0,01	0,36	0,17	0,11	0,07	0,36	0,17	0,17	0,01	0,36	0,17	0,17	0,07	0,07
Fe ₂ O ₃	10	3,1	3,22	3,06	0,99	3	0,5	0,77	5,1	0,99	3	0,77	5,1	5,1	0,5	0,77	5,1	5,1	0,55	0,55
P. F.	0,80	0,5	0	1,40	0,4	1,55	0,12	0	0,13	0,4	1,55	0,12	0	0,13	0,12	0	0,13	0,13	0,48	0,48
Total	95,30	97,58	96,99	92,12	94,21	99,21	95,23	95,65	96,04	94,21	99,21	95,65	95,65	96,04	95,23	95,65	96,04	96,04	96,05	96,05
Traços (ppm)																				
BaO	1800	1500	4500	0	800	700	200	800	1600	200	700	800	200	1600	200	800	1600	1600	700	700
ZrO ₂	700	600	600	900	400	400	100	400	700	100	400	600	100	700	100	600	700	700	400	400
Rb ₂ O ₃	100	200	200	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SrO	1000	700	4000	100	400	300	200	400	700	400	300	400	200	700	200	400	700	700	300	300
Y ₂ O ₃	30	60	60	20	40	50	30	40	70	40	50	20	30	70	30	20	70	70	0	0
U ₃ O ₈	1	4	2	2	3	5	16	3	3	3	5	2	16	3	16	2	3	3	8	8
ThO ₂	25	130	8	2	55	58	13	55	10	55	58	12	13	10	13	12	10	10	51	51
ETR (ppm)																				
La ₂ O ₃	240	200	160	20	100	90	0	100	100	0	90	50	0	100	0	50	100	100	80	80
Ce ₂ O ₃	470	500	420	20	200	200	0	200	200	0	200	100	0	200	0	100	200	200	160	160
Pr ₆ O ₁₁	50	50	60	20	30	30	0	30	30	0	30	10	0	30	0	10	40	40	30	30
Nd ₂ O ₃	130	150	180	20	80	70	0	80	80	0	70	30	0	80	0	30	80	80	50	50

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra	CG-51	CG-52	CG-53	CG-54	CG-55	CG-56	CG-57	CG-58	CG-59	CG-60
Óxidos (%)	Migmatito	Gnaisse	Gnaisse	Gnaisse	Gnaisse	Granito	Gnaisse	Granulito	Granito	Granito
	Alcalino	Alcalino	Alcalino	Monzonítico	Alcalino	Alcalino	Sienítico	Monzonítico	Alcalino	Alcalino
SiO ₂	70,6	76,5	72,6	71	68	69,7	69,7	70,2	69,3	72,8
Al ₂ O ₃	14,7	11,7	14,1	14,7	14,9	13	15,6	16,9	15,5	12,9
K ₂ O	5,33	5,16	5,4	2,4	6,59	5,6	5,6	4,36	5,3	5,7
TiO ₂	0,13	0,1	0,13	0,23	0,31	0,37	0,17	0,12	0,13	0,09
CaO	0,57	0,42	0,32	1,1	0,56	0,62	0,54	0,93	0,43	0,41
Na ₂ O	3,6	3,06	2,18	3,73	3,01	3,01	2,83	3,37	3,37	3,24
MgO	0,07	0,01	0,07	0,37	0,16	0,37	0,09	0,1	0,06	0,03
Fe ₂ O ₃	0,42	2,3	1,49	2,6	2,13	2,6	0,77	0,61	0,21	2,5
P. F.	0,08	0,43	0	0,17	0	0,05	0	0,6	0,05	0,03
Total	95,5	99,67	96,29	96,3	95,66	95,32	95,3	97,19	94,35	97,7
Traços (ppm)										
BaO	900	300	300	900	1100	1600	700	600	1200	600
ZrO ₂	400	400	200	300	700	600	100	200	300	400
Rb ₂ O ₃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SrO	400	100	200	900	400	500	300	400	800	200
Y ₂ O ₃	30	190	50	0	80	70	20	30	0	110
U ₃ O ₈	2	8	2	1	1	1	1	1	5	6
ThO ₂	30	67	11	4	34	10	10	9	30	34
ETR (ppm)										
La ₂ O ₃	80	170	10	40	210	120	30	30	50	90
Ce ₂ O ₃	180	350	40	70	470	270	60	60	90	200
Pr ₆ O ₁₁	20	40	10	0	50	50	0	10	20	30
Nd ₂ O ₃	60	120	10	30	140	100	22	30	20	80

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra	CG-61	CG-62	CG-63	CG-64	CG-65	CG-66	CG-67	CG-68	CG-69	CG-70
Óxidos (%)	Gnaiss Alcalino	Granito Sienítico	Granito Alcalino	Gnaiss Alcalino	Gnaiss Alcalino	Granito Alcalino/ Sienítico	Charnoquito Alcalino	Gnaiss Alcalino	Gnaiss Alcalino/ Sienítico	Gnaiss Alcalino
SiO ₂	69	71	69,4	71	72,9	69,7	68,3	70,2	72,8	71,6
Al ₂ O ₃	15,6	14,5	11,7	14,8	14,8	14,9	14,4	14,9	13,3	15,6
K ₂ O	6,24	5,4	6,92	5,78	5,4	5,98	5,89	4,18	4,9	4,58
TiO ₂	0,25	0,16	0,31	0,21	0,09	0,29	0,38	0,21	0,08	0,09
CaO	0,54	0,5	0,5	0,51	0,21	0,58	0,78	0,74	0,33	0,49
Na ₂ O	3,06	2,84	3,06	3,46	3,28	3,28	3,06	3,86	3,68	4
MgO	0,16	0,12	0,09	0,13	0,03	0,13	0,23	0,24	0,05	0,08
Fe ₂ O ₃	1,39	0,52	3,1	2,1	0,3	3,1	3,5	1,41	0,35	0,49
P. F.	0,7	0,58	0,2	0,2	0	0,4	0,3	0,8	0,2	0,2
Total	96,94	95,62	95,28	98,19	97,01	98,36	96,84	96,54	95,69	97,13
Traços (ppm)										
BaO	500	400	1500	1200	200	1200	1800	700	300	900
ZrO ₂	300	200	500	500	100	700	700	400	100	100
Rb ₂ O ₃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SrO	200	300	700	600	100	400	500	300	200	300
Y ₂ O ₃	60	30	50	20	20	50	60	50	110	40
U ₃ O ₈	4	1	5	6	4	4	1	5	30	7
ThO ₂	21	22	74	43	7	66	20	26	44	17
ETR (ppm)										
La ₂ O ₃	40	40	150	100	0	160	140	40	50	30
Ce ₂ O ₃	90	80	300	230	0	300	320	100	120	60
Pr ₆ O ₁₁	10	0	30	20	0	30	30	10	0	10
Nd ₂ O ₃	40	30	100	70	0	100	120	50	60	20

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra	CG-71	CG-72	CG-73	CG-74	CG-75	CG-76	CG-77	CG-78	CG-79	CG-80
Óxidos (%)	Diorito	Charnoquito Alcalino	Gnaiss Monzoníti co	Gnaiss Sienito Quartzoso	Granulito Alcalino	Gnaiss Sienítico	Granito Alcalino	Gnaiss Alcalino	Gnaiss Monzonítico	Migmatito Alcalino
SiO ₂	59,4	69,1	70,8	67,4	73,5	71	70	67,9	62,9	71,7
Al ₂ O ₃	15,4	14,4	17,5	15,1	15,5	14,4	14,5	13,3	14,3	15,5
K ₂ O	2,13	4,5	3,63	7,4	4,22	3,84	3,5	4,51	1,99	6,26
TiO ₂	1,32	0,25	0,19	0,34	0,04	0,24	0,21	0,90	0,91	0,18
CaO	3,49	0,68	0,73	0,66	0,5	0,89	0,72	0,18	1,73	0,44
Na ₂ O	4,78	4,23	3,95	3,22	4,52	4,52	4,09	4,52	4,72	3,5
MgO	5,52	0,17	0,26	0,18	0,01	0,3	0,24	0,68	1,57	0,08
Fe ₂ O ₃	7,93	2,4	1,65	3,6	0,4	1,76	2,1	6,17	7,6	0,62
P. F.	1,20	0,3	0,8	0,4	1,94	0,4	0	0,60	1,04	0,8
Total	101,17	96,03	99,51	98,3	100,63	97,35	95,36	98,76	96,76	99,08
Traços (ppm)										
BaO	2200	1100	700	2500	1100	800	900	600	800	900
ZrO ₂	400	200	400	600	100	600	200	500	600	500
Rb ₂ O ₃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SrO	2500	400	300	100	400	400	500	200	600	300
Y ₂ O ₃	40	50	30	60	20	20	40	90	50	50
U ₃ O ₈	2	3	4	4	1	1	2	7	1	4
ThO ₂	4	10	34	94	4	33	22	66	11	54
ETR (ppm)										
La ₂ O ₃	90	80	60	180	10	54	90	130	40	80
Ce ₂ O ₃	200	160	150	370	30	100	180	280	90	150
Pr ₆ O ₁₁	20	30	10	60	10	10	30	40	20	30
Nd ₂ O ₃	80	50	50	120	10	30	60	100	40	50

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra	CG-81	CG-82	CG-83	CG-84	CG-85	CG-86	CG-87	CG-88	CG-89	CG-90
Óxidos (%)	Gnaiss Sienítico	Gnaiss Sienítico	Granito Alcalino	Granulito Alcalino	Granito Alcalino	Gnaiss Alcalino	Gnaiss Alcalino	Sienito Quartzoso	Granito Alcalino	Sienito
SiO ₂	66,4	70,6	69,2	74,4	73,7	78,9	74,9	66,7	70,2	59,7
Al ₂ O ₃	15,7	15,4	14,9	15,1	14,2	11	10	16,7	14,4	15,6
K ₂ O	2,63	2,41	6,1	5,2	4,9	4,83	4,8	6,6	4,35	6,84
TiO ₂	0,39	0,17	0,16	0,04	0,15	0,28	0,21	0,47	0,08	0,55
CaO	1,01	0,68	0,31	0,58	0,43	0,46	0,54	0,92	0,35	0,75
Na ₂ O	4,82	4,91	3,54	2,51	3,48	1,95	2,84	3,51	3,86	4,42
MgO	0,51	0,15	0,08	0,05	0,09	0,22	0,01	0,5	0,03	1,33
Fe ₂ O ₃	3,37	0,97	1,6	0,25	0,33	1,42	3,6	3,3	1	5,3
P. F.	0,4	0,56	0	0,3	0	0,50	0,08	0,07	0,3	0,4
Total	95,23	95,85	95,89	98,43	97,28	99,56	96,98	98,77	94,57	94,89
Traços (ppm)										
BaO	500	800	700	800	300	400	1500	2000	400	1900
ZrO ₂	500	500	100	200	300	500	1400	700	200	1400
Rb ₂ O ₃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SrO	500	600	300	500	300	300	200	700	200	1700
Y ₂ O ₃	20	70	40	0	20	20	140	80	30	60
U ₃ O ₈	1	7	5	3	2	1	2	1	3	5
ThO ₂	25	22	54	18	12	18	7	8	14	76
ETR (ppm)										
La ₂ O ₃	80	50	80	30	30	40	100	100	30	110
Ce ₂ O ₃	170	90	170	30	60	90	230	250	70	230
Pr ₆ O ₁₁	20	10	20	80	0	10	50	50	10	30
Nd ₂ O ₃	60	30	50	0	20	40	100	100	20	80

Continuação - Resultados das análises química pelo método da fluorescência de raios X nas rochas graníticas ornamentais amostradas e tipos litológicos segundo La Roche (1964)

Amostra Óxidos (%)	CG-91		CG-92		CG-93		CG-94		CG-95		CG-96		CG-97		CG-98		CG-99		CG-100	
	Gnaiss Alcalino		Sienito		Granito Sienítico		Charnoquito Monzonítico		Gnaiss Sienítico		Gnaiss Alcalino		Monzonito		Gnaiss Alcalino		Gabbro		Granito Sienítico	
SiO ₂	71,1	62,4	71,9	66,4	62,5	72,2	69,9	68,1	48,8	73,6										
Al ₂ O ₃	13,7	14,8	14	14,3	17,3	14,6	14,7	14,5	13,9	14,1										
K ₂ O	4,1	8	6,28	3,63	3,41	4,76	5,7	6,09	2,08	5,78										
TiO ₂	0,16	0,78	0,37	0,68	0,71	0,06	0,5	0,42	2,11	0,18										
CaO	0,5	1,7	0,71	1,35	0,45	0,38	0,9	0,76	8,02	0,49										
Na ₂ O	3,24	3,06	1,91	3,06	1,72	3,24	2,76	2,76	1,91	2,81										
MgO	0,17	1,25	0,31	0,44	1,21	0,01	0,45	0,27	1,98	0,11										
Fe ₂ O ₃	1,5	3,9	3,5	6,67	9,48	0,8	4,1	3,9	15,5	2										
P. F.	0,4	0,38	0,2	1,94	0,4	0	0,8	0,5	0,3	0,7										
Total	94,87	96,27	99,18	98,47	97,18	96,05	99,81	97,3	94,6	99,77										
Traços (ppm)																				
BaO	1100	6000	1400	200	600	1100	1900	1200	1100	1100										
ZrO ₂	400	900	800	1300	300	300	1100	1000	500	500										
Rb ₂ O ₃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100										
SrO	500	6300	600	700	300	400	700	400	400	400										
Y ₂ O ₃	20	80	50	20	70	20	60	80	50	70										
U ₃ O ₈	1	2	3	1	6	1	3	4	2	3										
ThO ₂	23	15	81	22	18	1	65	105	15	58										
ETR (ppm)																				
La ₂ O ₃	60	190	240	20	60	30	270	270	90	100										
Ce ₂ O ₃	130	460	500	40	150	50	580	580	220	230										
Pr ₆ O ₁₁	20	100	60	10	10	10	70	70	30	20										
Nd ₂ O ₃	40	180	170	10	60	10	190	200	100	80										

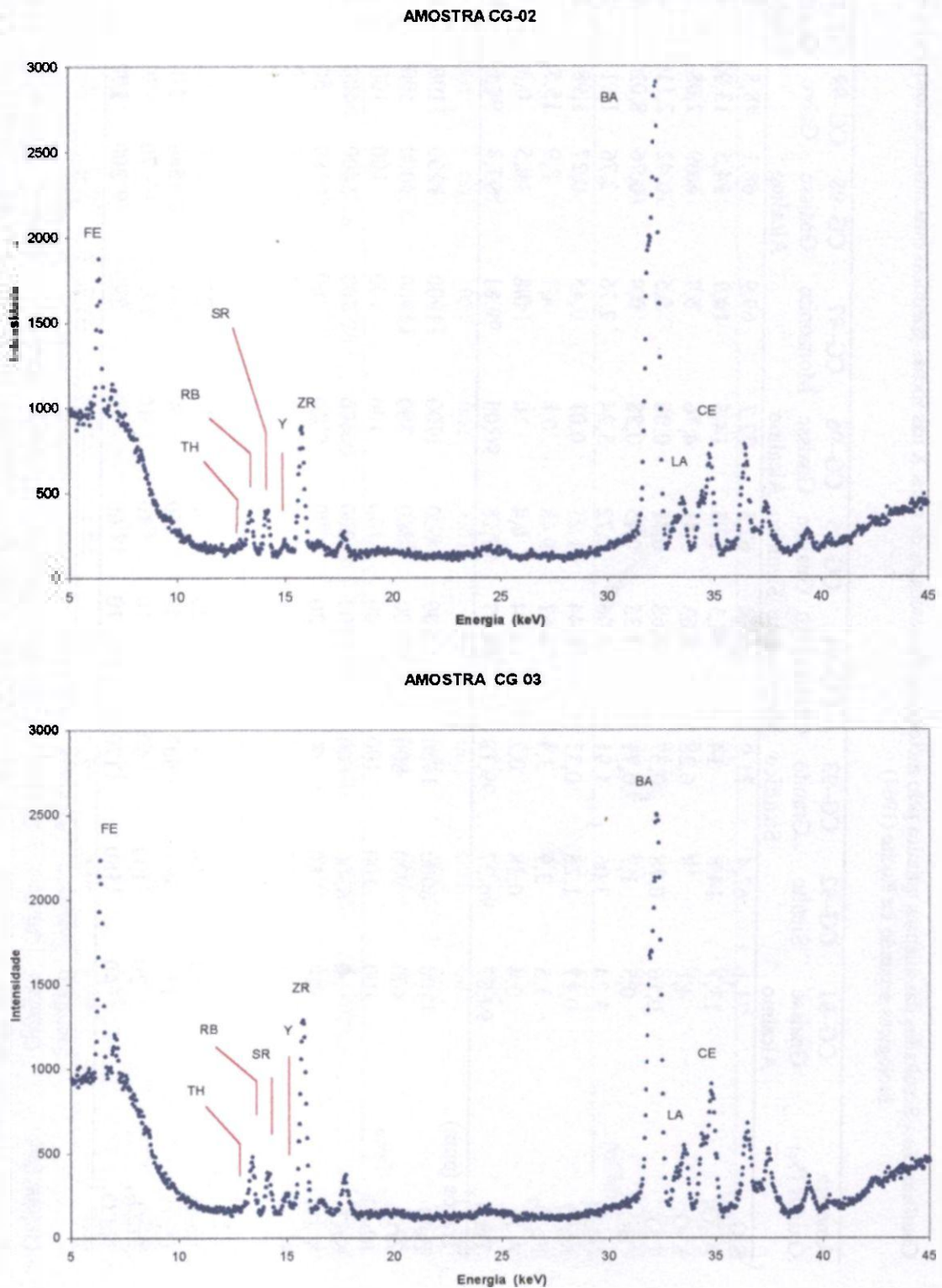
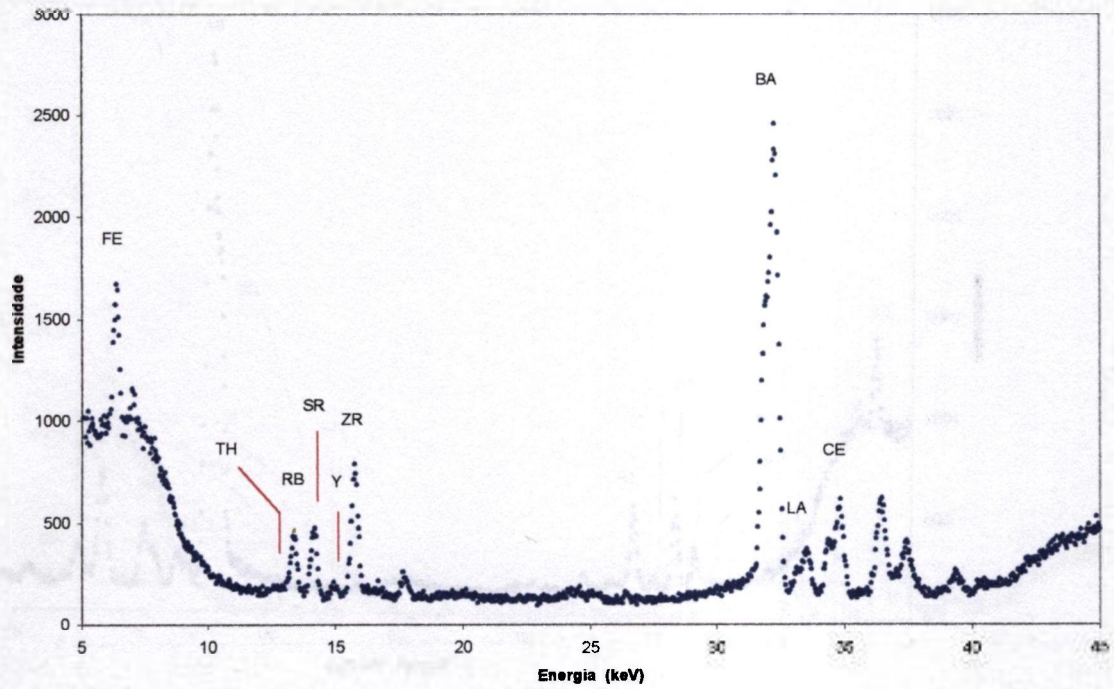


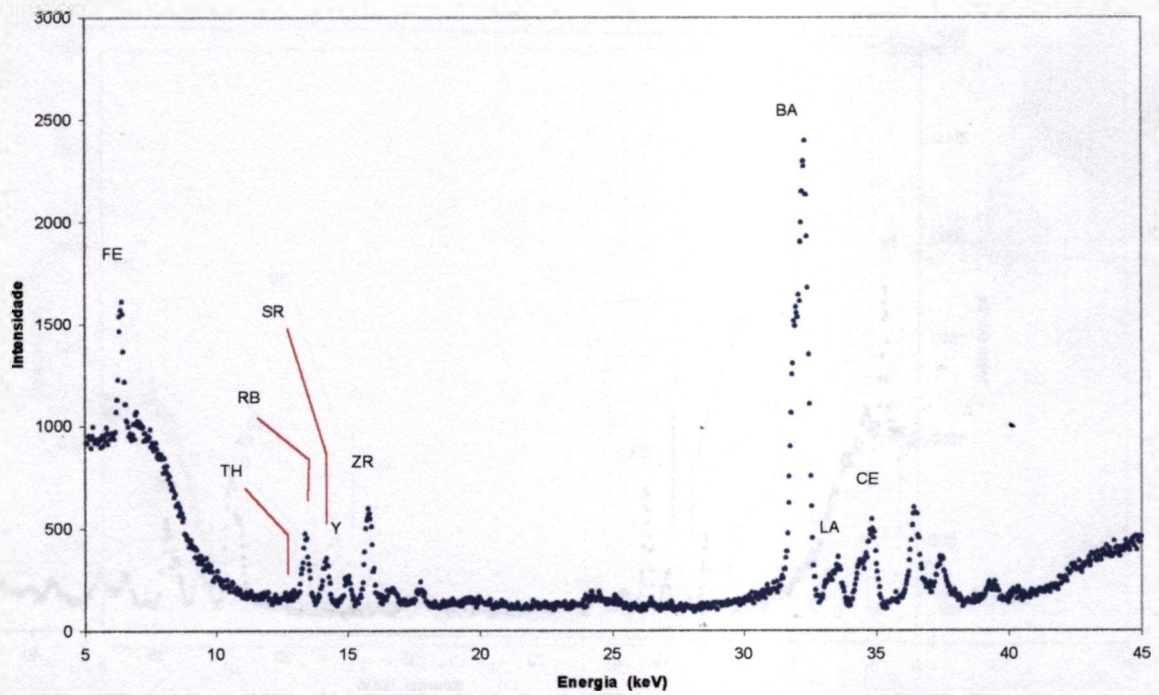
Figura - 1.AP-2 Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG-02 (granito sienítico - ES, com ThO_2 - 94 ppm e U_3O_8 - 4 ppm) e GC-03 (granito alcalino - ES, com ThO_2 - 100 ppm e U_3O_8 - 5 ppm)

Observação: Os picos não identificados, em todos os gráficos, correspondem a radiação K_β

AMOSTRA CG - 20

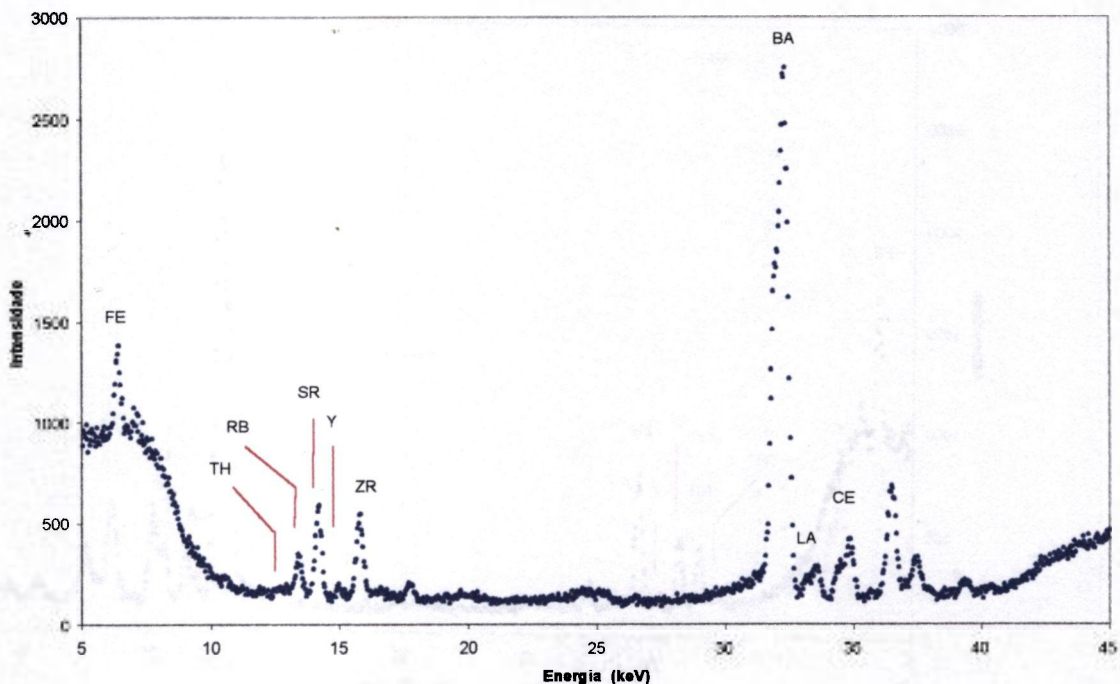


AMOSTRA CG-23

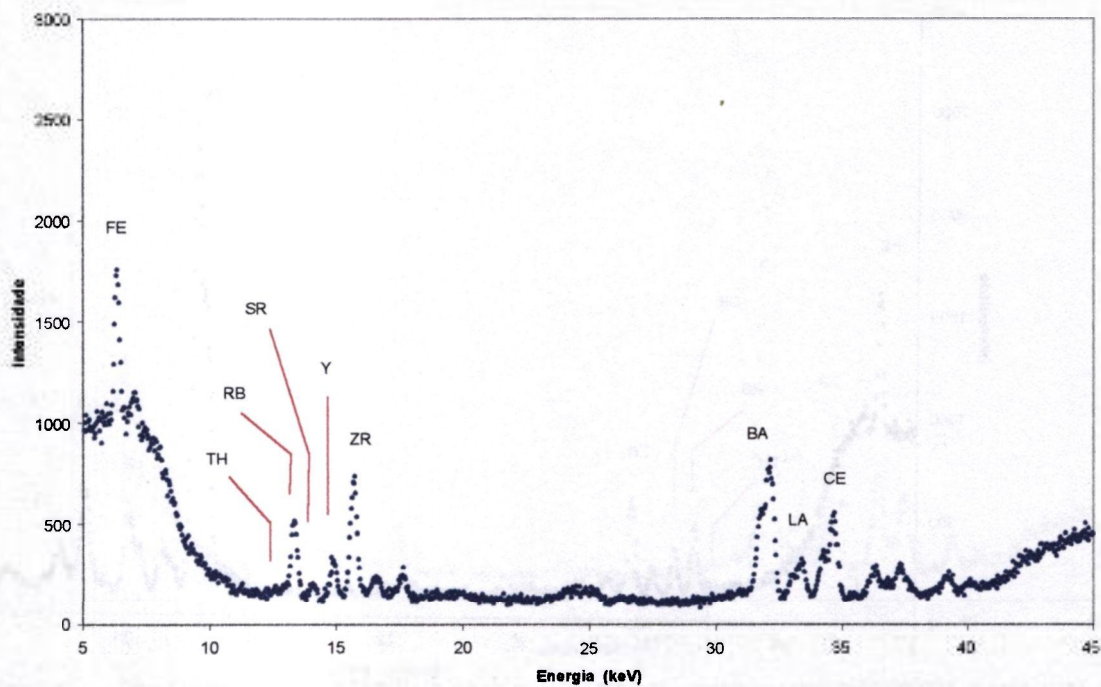


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG-20 (granito alcalino sienítico - MG, com ThO_2 - 58 ppm e U_3O_8 - 4 ppm) e CG-23 (granito alcalino - MG, com ThO_2 - 57 ppm e U_3O_8 - 6 ppm)

AMOSTRA CG-24

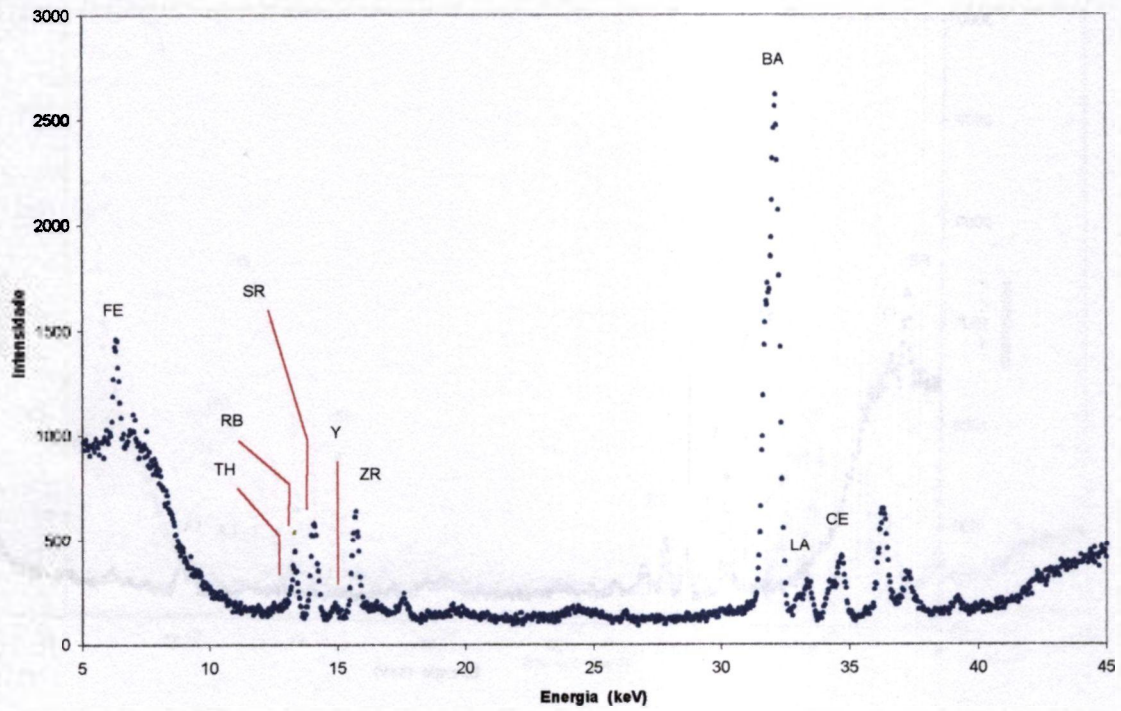


AMOSTRA CG-30

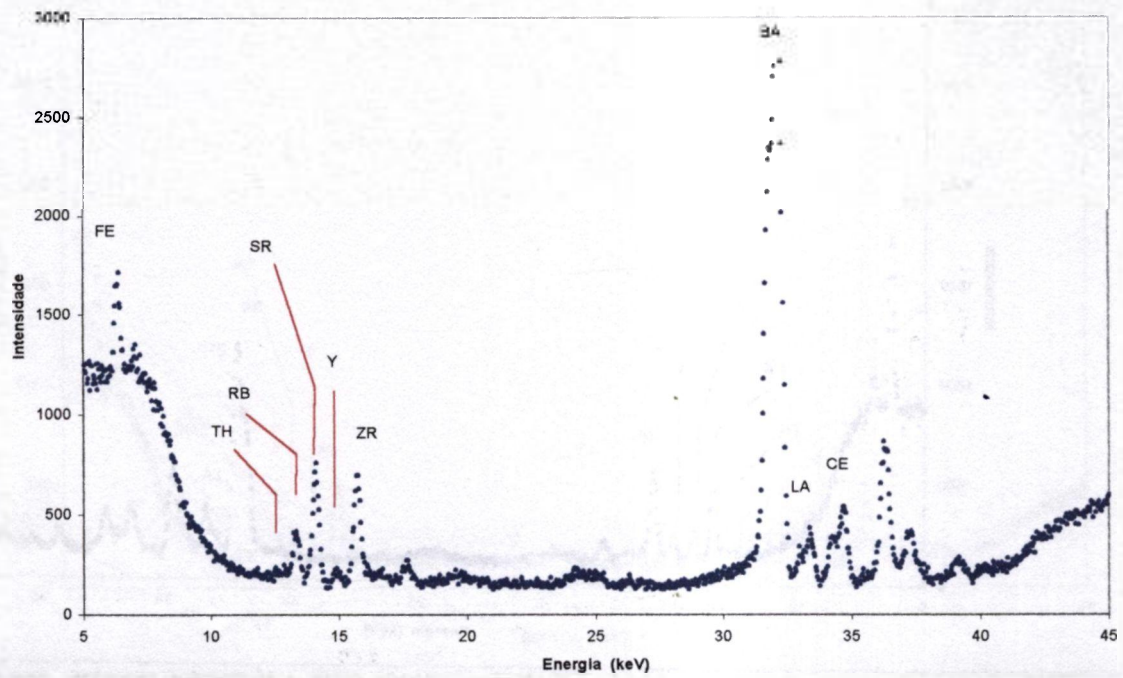


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG-24 (granito sienítico - MG, com ThO_2 - 57 ppm e U_3O_8 - 5 ppm) e CG-30 (granito alcalino - GO, com ThO_2 - 59 ppm e U_3O_8 - 20 ppm)

AMOSTRA CG - 31

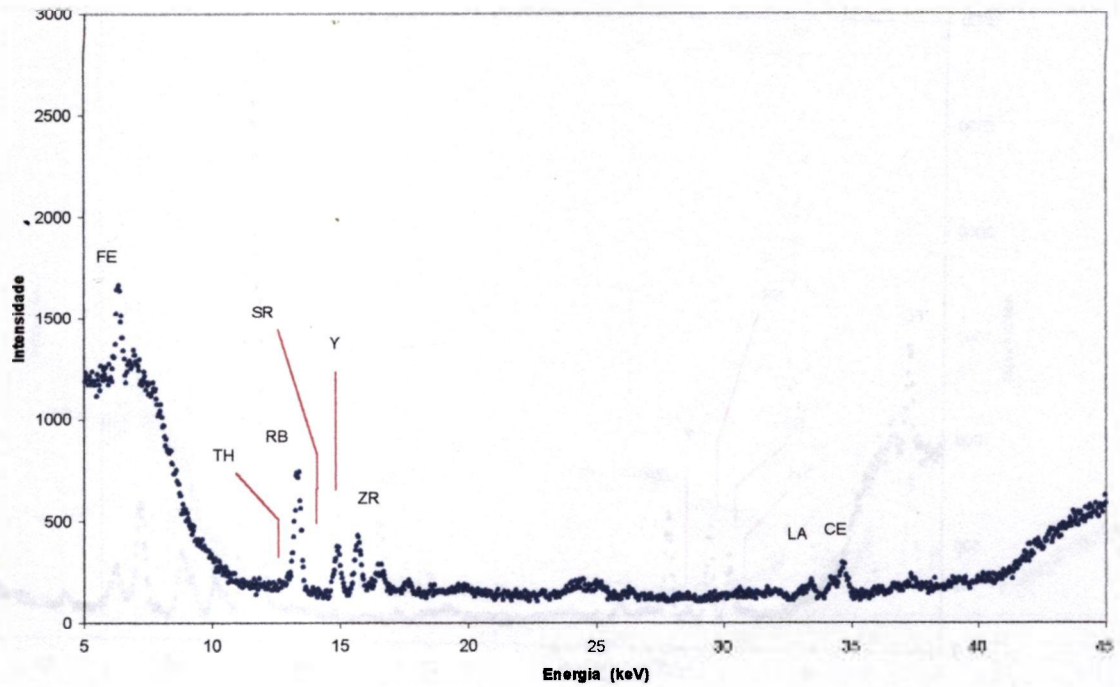


AMOSTRA CG - 33

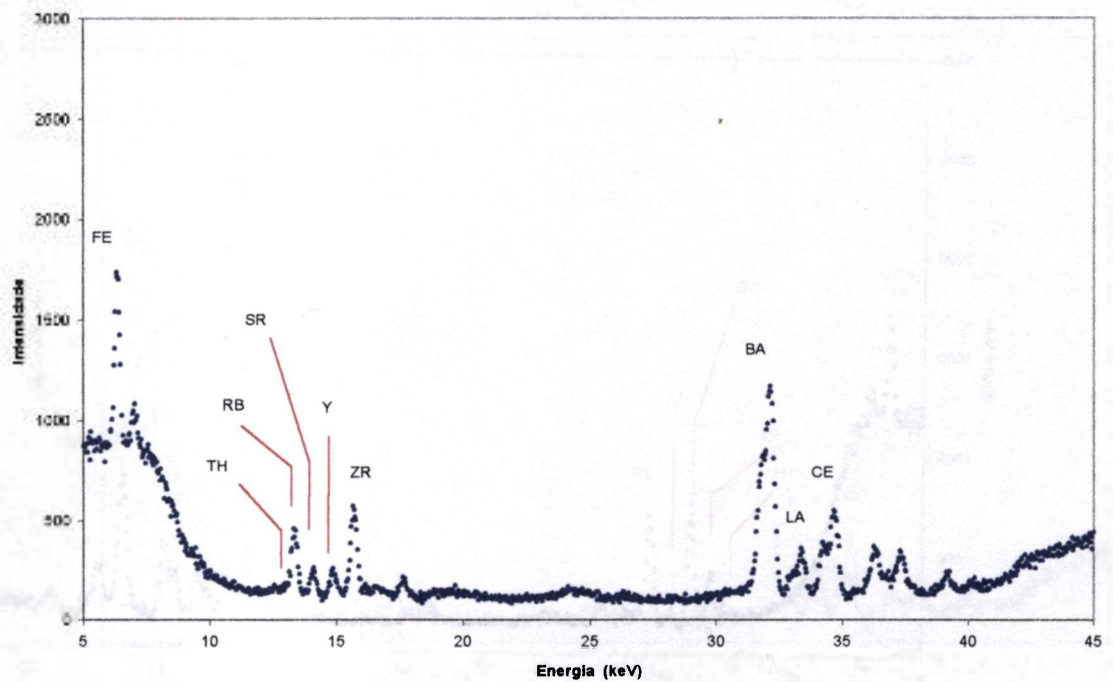


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG-31 (granito alcalino/sienítico - ES, com ThO_2 - 76 ppm e U_3O_8 - 5 ppm) e CG-33 (Granito alcalino/sienítico - MG, com ThO_2 - 74 ppm e U_3O_8 - 6 ppm)

AMOSTRA CG-35

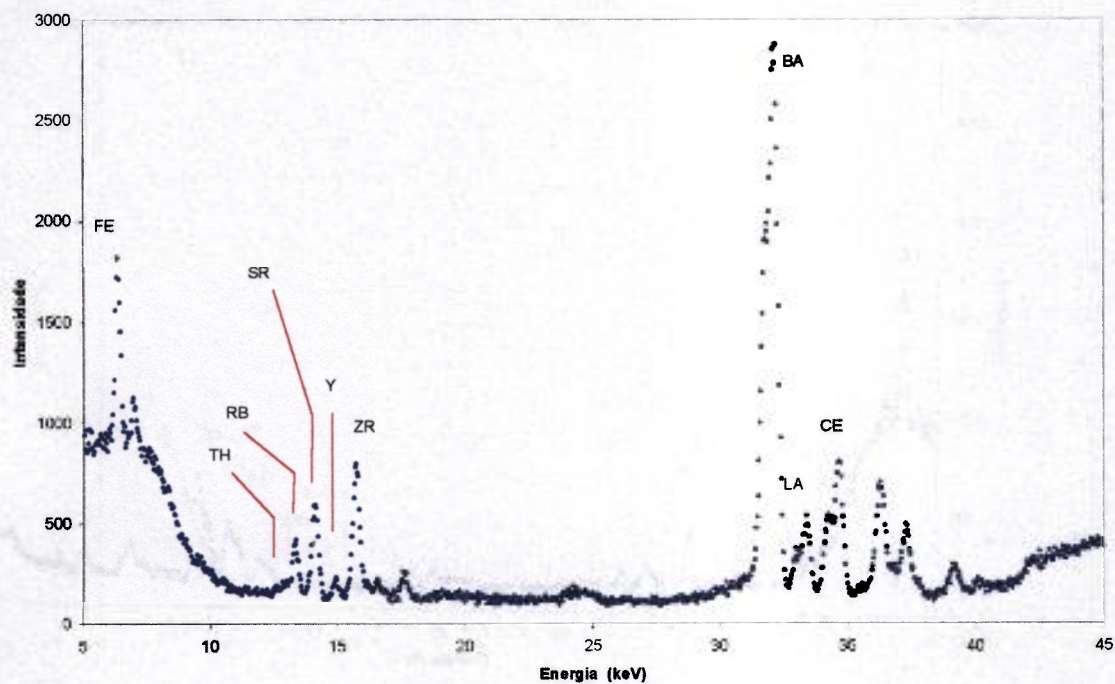


AMOSTRA CG - 37

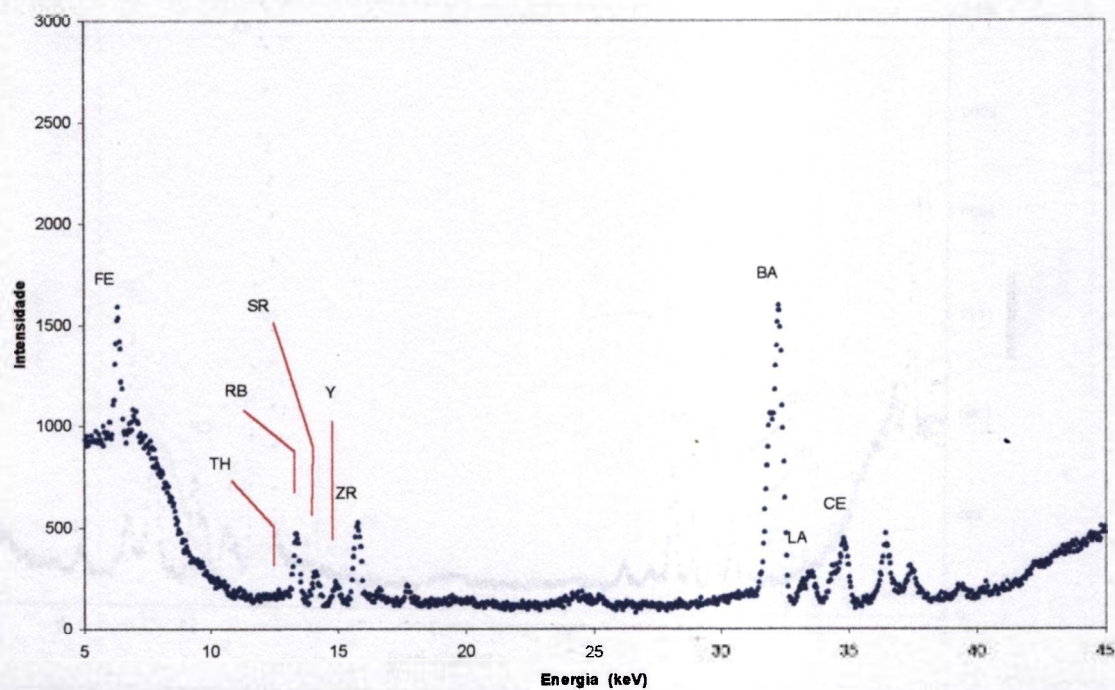


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG-35 (granito alcalino - MG, com ThO_2 - 55 ppm e U_3O_8 - 16 ppm) e CG-37 (granito alcalino/sienítico, com ThO_2 - 66 ppm e U_3O_8 - 1 ppm)

AMOSTRA CG-42

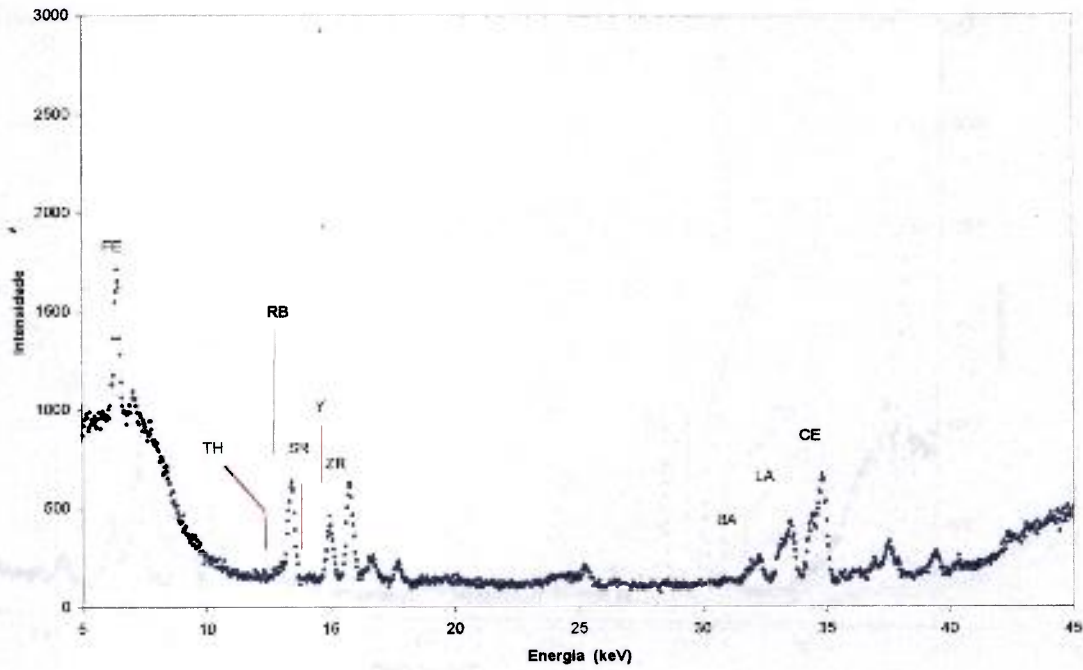


AMOSTRA CG-46

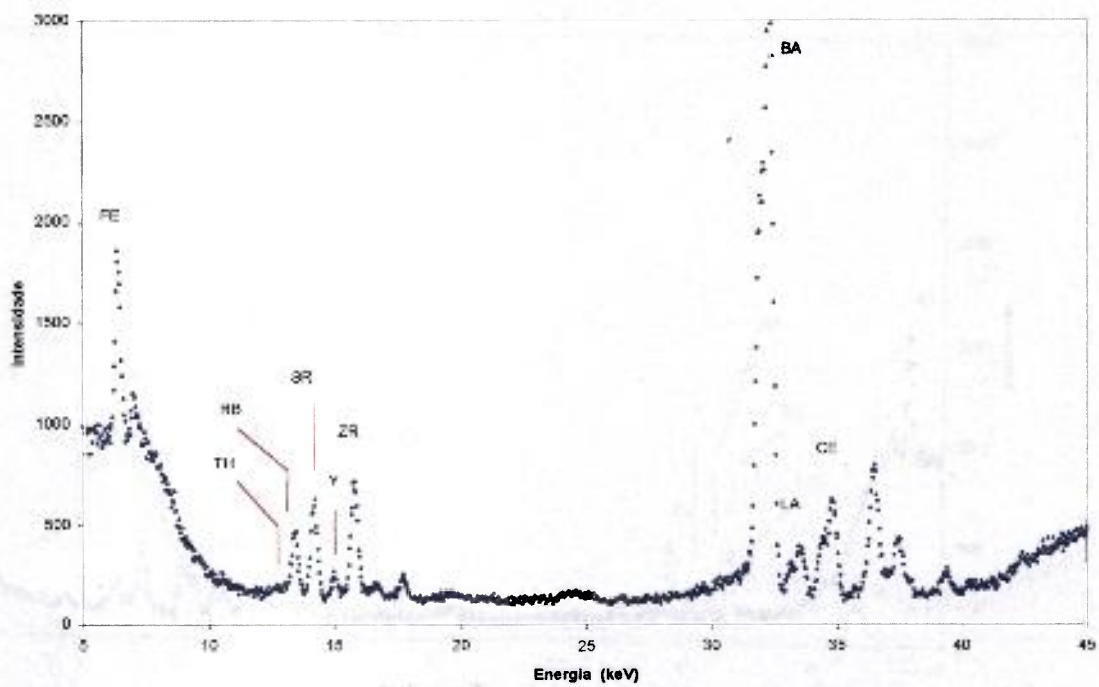


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG-42 (gnaisse sintítico - ES, com ThO_2 - 130 ppm e U_3O_8 - 4 ppm) e CG-46 (granito alcalino - ES, com ThO_2 - 58 ppm e U_3O_8 - 5 ppm)

AMOSTRA CG- 52

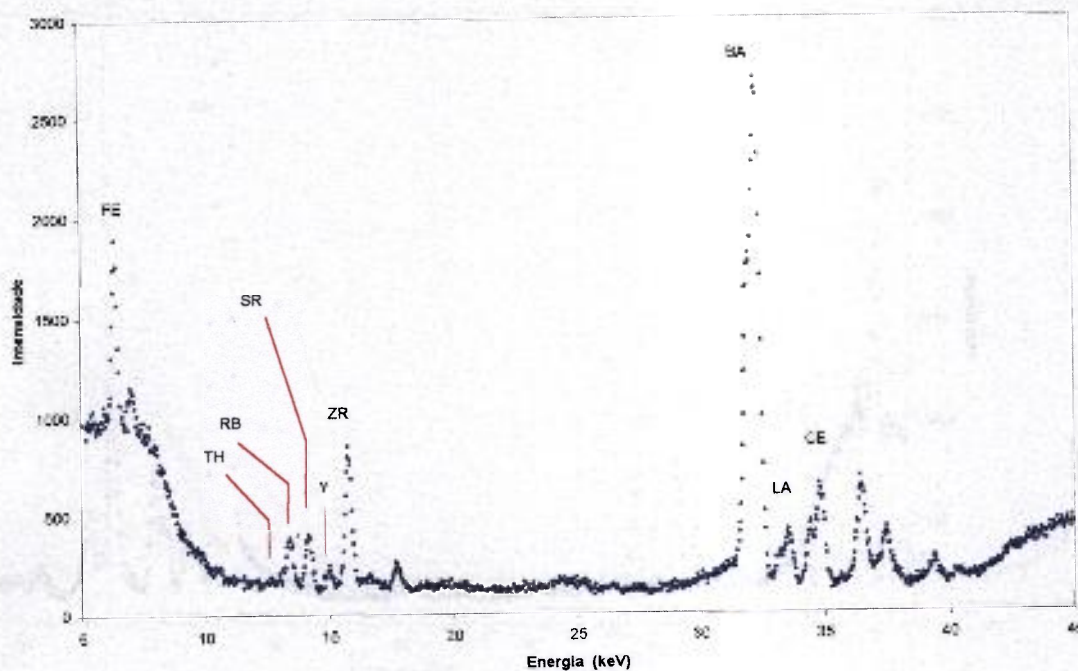


AMOSTRA CG- 63

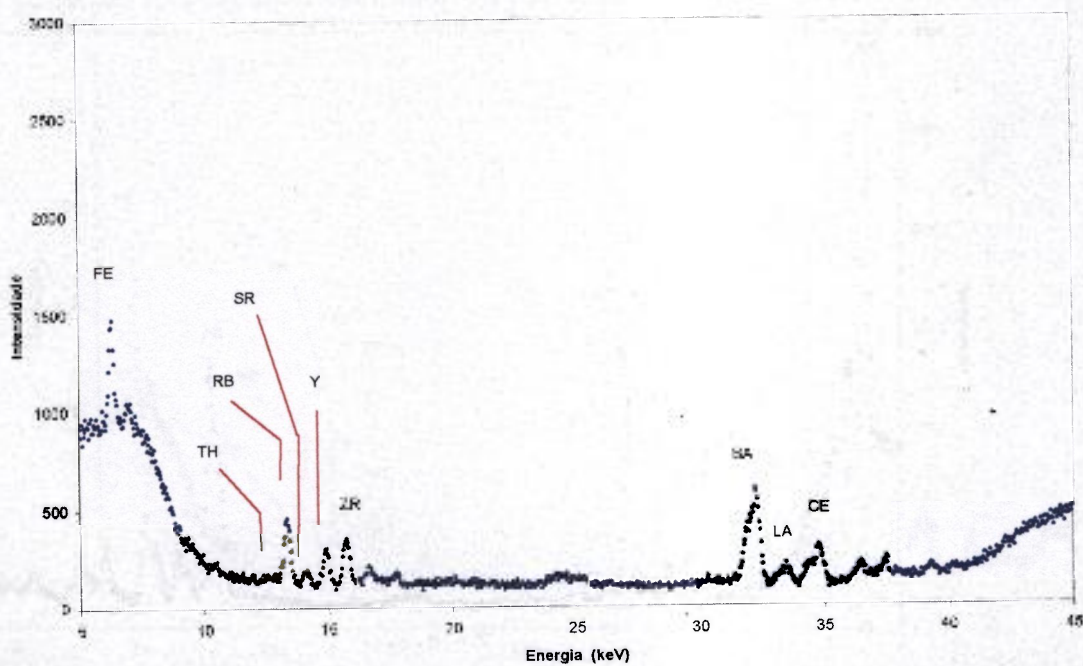


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG-52 (gnaisse alcalino - MG, com ThO_2 - 67 ppm e U_3O_8 - 8 ppm) e CG-63 (granito alcalino - ES, com ThO_2 - 74 ppm e U_3O_8 - 5 ppm)

AMOSTRA CG - 66

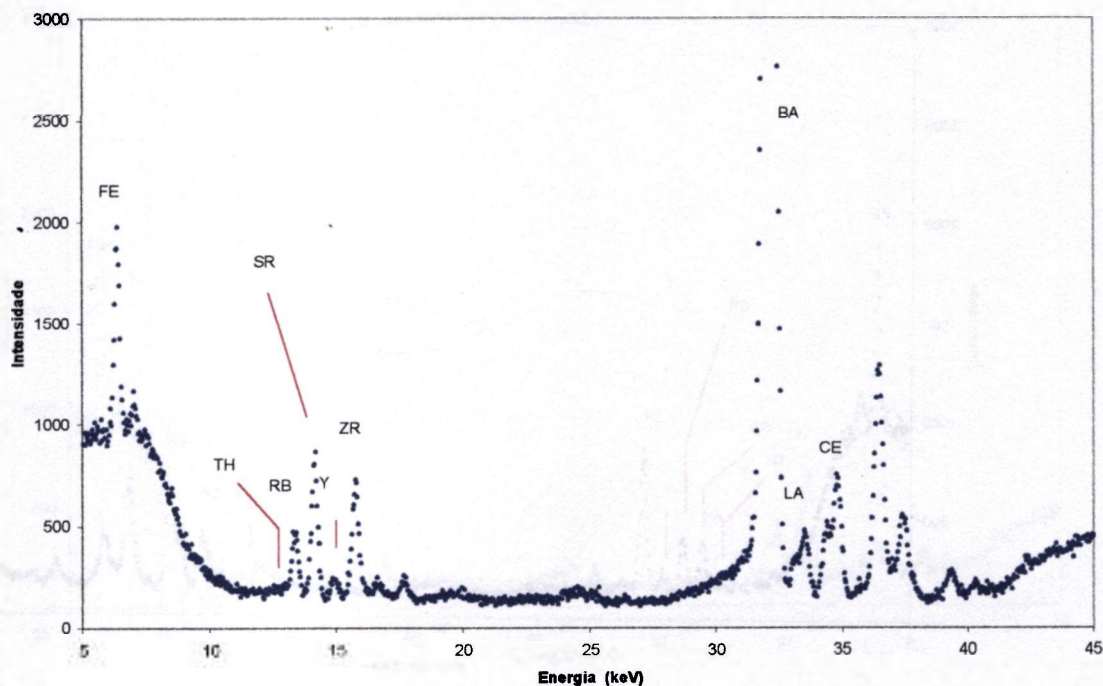


AMOSTRA CG - 69

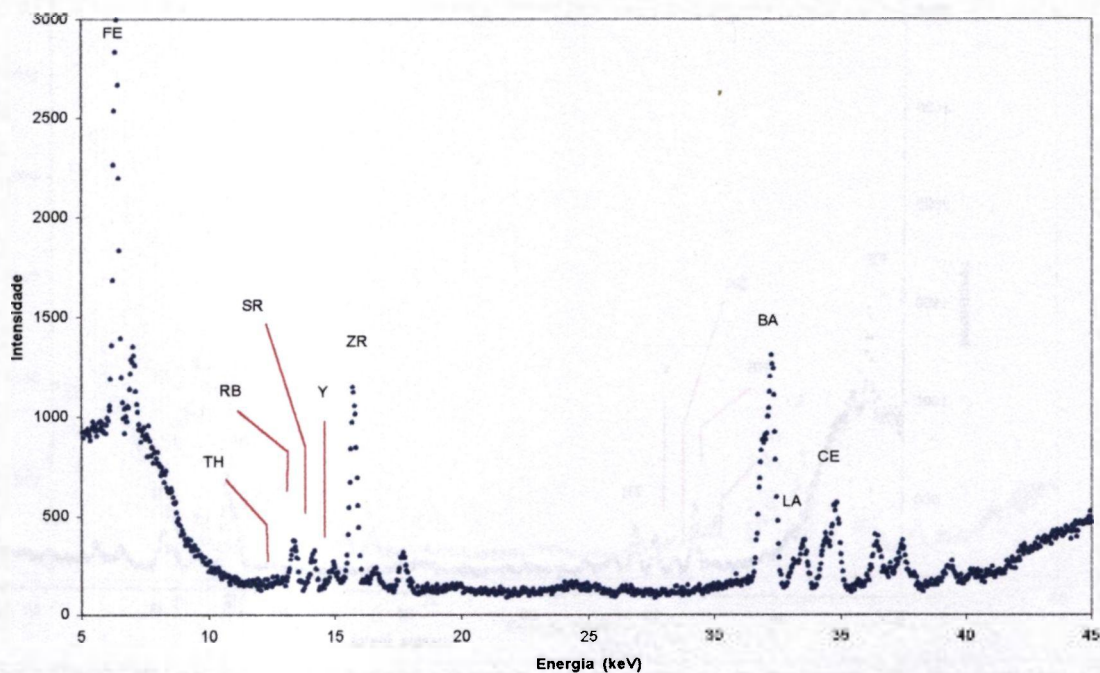


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG-66 (granito alcalino/sienítico - MG, com ThO_2 - 66 ppm e U_3O_8 - 5 ppm) e CG-69 (gnaisse alcalino/sienítico - MG, com ThO_2 - 100 ppm e U_3O_8 - 5 ppm)

AMOSTRA CG - 74

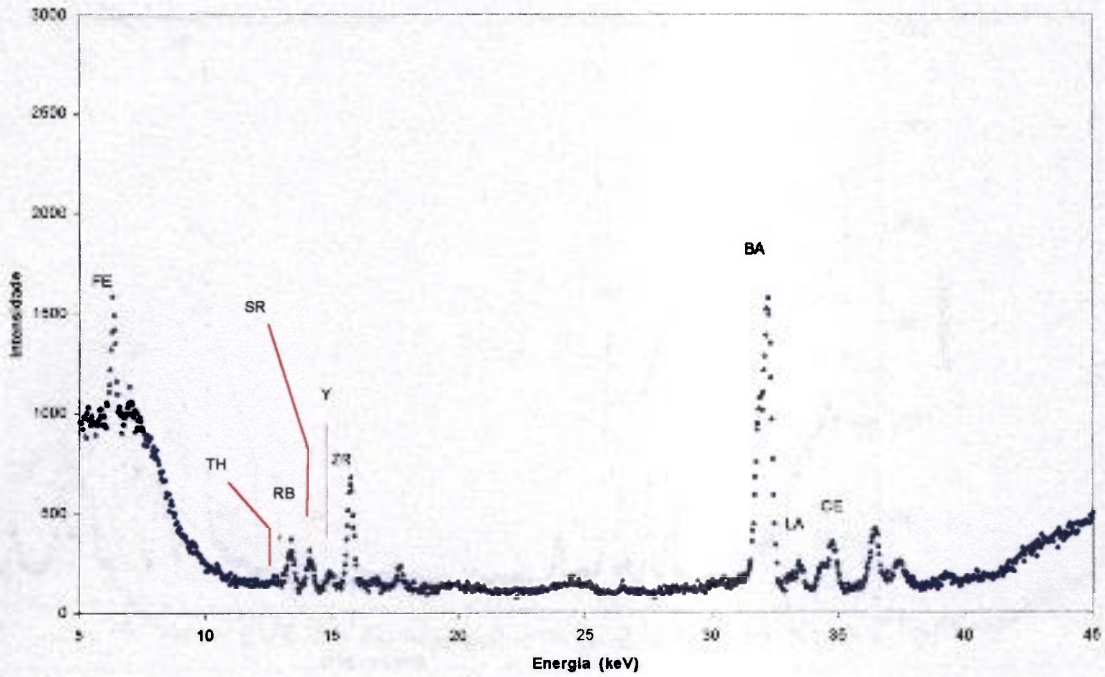


AMOSTRA CG - 78

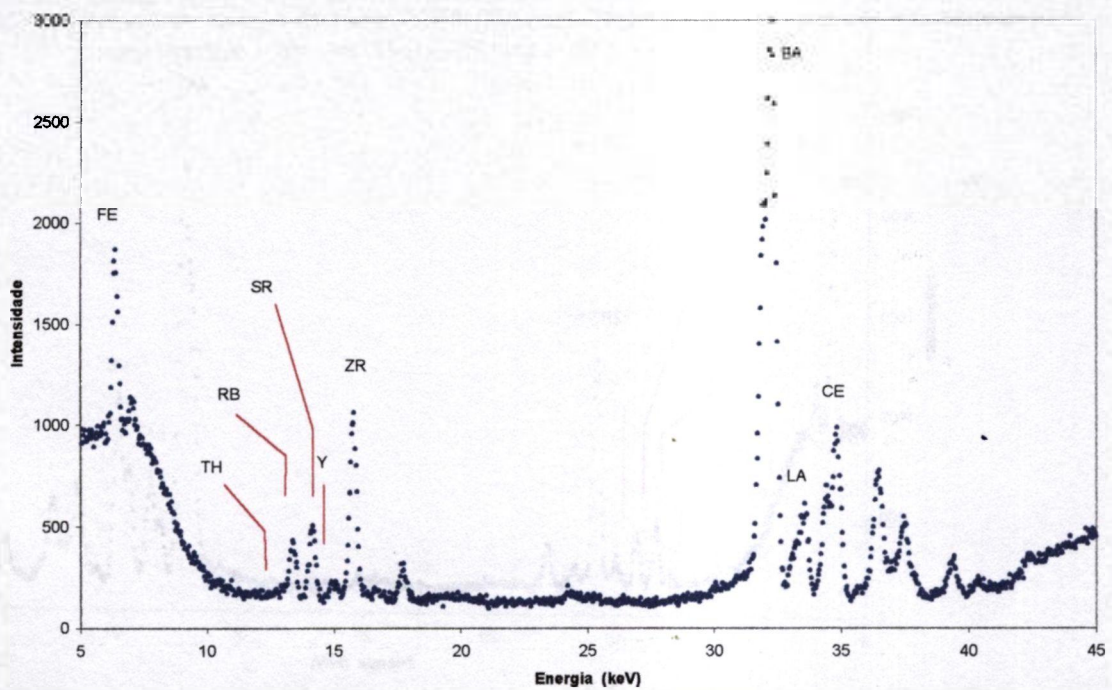


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG - 74 (gnaisse sienítico/quartzoso - MG, com ThO_2 - 94 ppm e U_3O_8 - 4 ppm) e CG-78 (gnaisse alcalino - MG, com ThO_2 - 66 ppm e U_3O_8 - 7 ppm)

AMOSTRA CG - 90

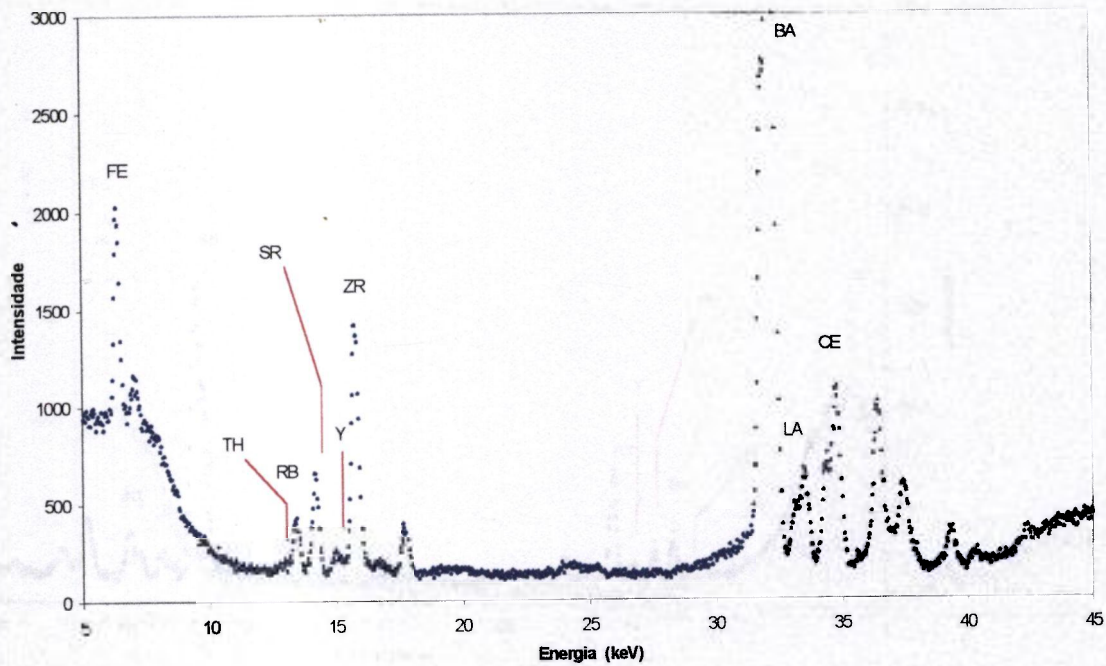


AMOSTRA CG - 93

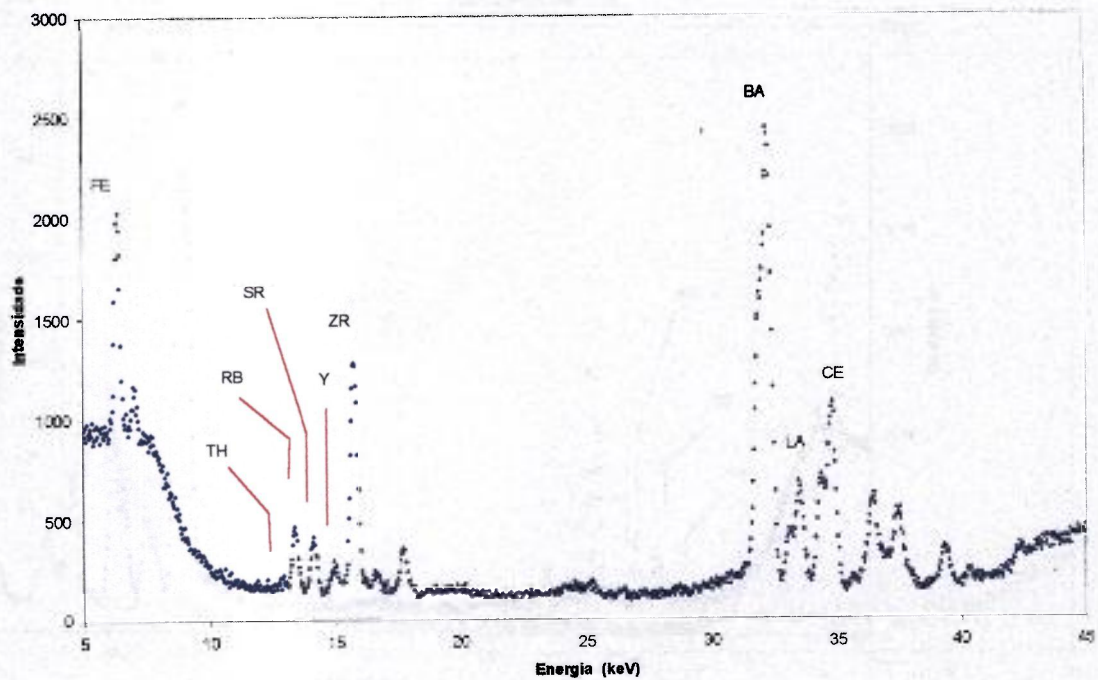


Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), de terras raras e elementos pesados nas amostras CG - 90 (sienito - PE, com ThO_2 - 76 ppm e U_3O_8 - 5 ppm) e CG-93 (granito sienítico - ES, com ThO_2 - 81 ppm e U_3O_8 - 3 ppm)

AMOSTRA CG - 97

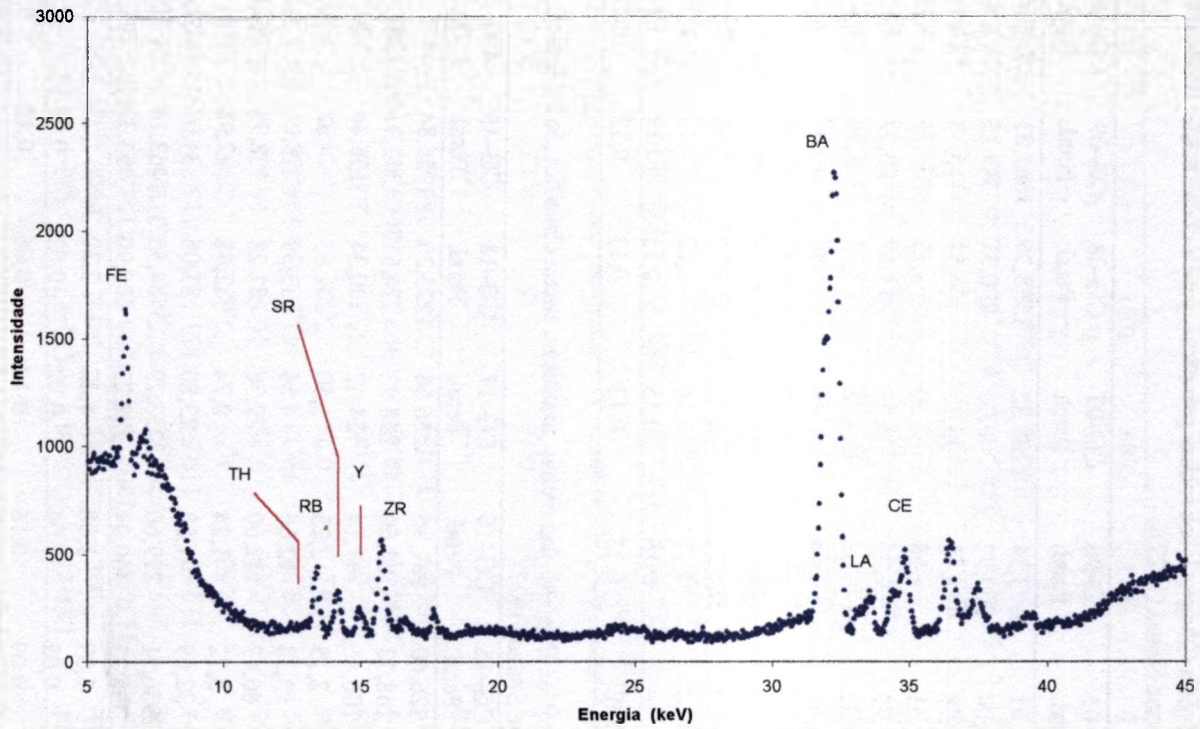


AMOSTRA CG - 98



Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG - 97 (monzonito - ES, com ThO_2 - 65 ppm e U_3O_8 - 3 ppm) e CG-98 (gnaisse alcalino - ES, com ThO_2 - 105 ppm e U_3O_8 - 4 ppm)

AMOSTRA CG - 100



Continuação - Espectro de energia de raios X (Kevex), terras raras e elementos pesados nas amostras CG - 100 (granito sienítico - ES, com ThO_2 - 58 ppm e U_3O_8 - 4 ppm)

Tabela - 2.AP-2 Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra	CG-01	CG-02	CG-03	CG-04	CG-05	CG-06	CG-07	CG-08	CG-09	CG-10
Cations	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.
Si	1128,41	1151,71	1123,41	1108,43	1128,41	1173,34	1188,32	1158,36	1061,83	1204,96
Al	302,08	284,42	258,92	302,08	304,04	309,92	306,00	290,31	349,15	280,50
K	112,32	126,33	134,40	115,72	116,78	115,93	113,17	136,52	113,38	122,51
Ti	7,76	3,63	5,01	7,13	7,51	2,88	2,50	3,75	7,76	0,88
Ca	21,75	10,70	13,55	17,65	21,75	11,06	15,51	11,59	28,53	7,67
Na	97,78	96,81	77,12	110,04	84,22	140,69	119,72	77,77	131,98	78,41
Mg	10,67	2,98	8,93	10,17	10,67	2,48	1,49	3,97	10,67	0,25
Fe ²⁺	60,12	41,33	56,36	60,87	57,74	27,55	29,93	40,58	54,86	8,77
R1	2066,83	2062,36	2044,15	1814,43	2172,12	1809,66	2126,65	2187,56	1423,12	2590,39
R2	453,94	354,57	358,10	428,34	455,90	381,22	402,06	367,79	541,68	327,00
A/CNK	1,19	1,16	1,09	1,16	1,24	1,11	1,16	1,22	1,15	1,30
A	0,15	0,14	0,13	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17	0,14
NK	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,13	0,12	0,11	0,12	0,10

Continuação - Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra	CG-11	CG-12	CG-13	CG-14	CG-15	CG-16	CG-17	CG-18	CG-19	CG-20
Cations	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.
Si	1158,36	1153,37	1115,09	1209,96	1226,60	981,95	1256,56	1273,20	1056,84	1173,34
Al	266,77	292,27	319,73	280,50	268,73	382,50	258,92	274,61	341,31	282,46
K	75,16	121,87	123,79	105,95	106,16	147,14	124,42	40,34	135,46	129,73
Ti	8,89	5,13	5,63	1,00	2,75	2,25	1,50	1,63	4,88	2,63
Ca	7,67	15,69	17,12	1,60	10,34	12,66	4,64	3,39	18,01	9,81
Na	62,28	80,67	99,39	107,46	66,47	182,00	79,38	72,28	108,75	96,81
Mg	11,41	9,18	9,68	0,25	3,72	1,24	0,74	2,98	2,98	1,98
Fe ²⁺	83,91	45,71	33,06	8,77	32,69	41,58	23,80	33,06	34,07	28,81
R1	2935,99	2283,78	1928,06	2472,83	2936,51	219,60	2733,79	3784,55	1463,16	2138,59
R2	335,60	404,78	441,79	290,62	338,23	460,94	288,23	300,90	455,32	345,28
A/CNK	1,75	1,25	1,24	1,29	1,39	1,08	1,22	2,30	1,22	1,15
A	0,13	0,02	0,03	0,03	0,02	0,06	0,02	0,02	0,03	0,03
NK	0,07	0,10	0,11	0,11	0,09	0,16	0,10	0,06	0,12	0,11

Convenção: Peral. = Peraluminosa A/CNK>1, Metal. = Metaluminosa A/CNK<1 e A>NK, Peralc. = Peralcalina A/CNK<1 e A<NK
A - Al₂O₃, C - CaO, N - Na₂O e K - K₂O

Continuação - Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-1[(Na+K)-2(Fe+Ti)]$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra Cations	CG-21		CG-22		CG-23		CG-24		CG-25		CG-26		CG-27		CG-29		CG-30		
	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	
Si	1181,66	1118,42	1184,99	1213,29	1176,67	1203,30	1075,15	1191,65	1178,33	1186,66									
Al	349,15	300,11	278,54	286,38	245,19	264,81	370,73	317,77	323,65	272,65									
K	136,52	112,11	136,95	105,74	112,53	119,54	151,18	115,93	129,94	117,42									
Ti	2,25	5,88	2,50	1,88	2,63	1,75	3,63	2,75	1,63	2,00									
Ca	12,30	17,65	8,56	8,38	10,16	7,85	16,58	10,52	6,60	6,60									
Na	72,61	103,26	103,26	115,52	78,74	79,38	141,98	124,56	104,55	120,69									
Mg	1,74	10,17	1,49	1,24	0,25	0,74	3,72	2,98	1,24	1,24									
Fe ²⁺	14,28	44,84	26,30	21,29	51,35	31,56	35,57	26,30	22,54	30,31									
R1	2393,16	2003,19	2040,05	2372,94	2494,77	2558,45	997,45	2063,12	2085,56	2062,88									
R2	426,45	426,38	332,87	339,15	306,67	313,37	477,67	386,85	365,72	314,72									
A/CNK	1,49	1,20	1,08	1,20	1,16	1,23	1,14	1,22	1,31	1,08									
A	0,17	0,15	0,14	0,14	0,12	0,13	0,19	0,16	0,16	0,14									
NK	0,10	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10	0,15	0,12	0,12	0,12									

Continuação - Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-1[(Na+K)-2(Fe+Ti)]$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra Cations	CG-31		CG-32		CG-33		CG-34		CG-35		CG-36		CG-37		CG-38		CG-39		CG-40		
	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	
Si	1198,31	1178,33	1175,01	1175,01	1256,56	1216,95	1165,02	1234,92	1271,54	1070,15											
Al	286,38	292,27	290,31	282,46	247,15	288,34	284,42	276,58	296,19	347,19											
K	123,15	121,45	120,60	117,20	98,73	114,44	139,50	111,90	102,55	116,14											
Ti	2,00	4,63	1,75	7,51	0,63	2,13	2,63	1,00	1,25	5,01											
Ca	8,20	15,34	7,85	20,68	4,28	7,31	8,56	5,35	10,52	9,27											
Na	108,75	105,84	111,65	100,03	115,85	69,06	73,90	99,71	118,75	102,94											
Mg	1,49	9,68	0,99	10,67	0,25	1,98	1,49	0,25	1,49	11,91											
Fe ²⁺	18,79	45,71	17,53	57,99	12,52	31,06	40,08	24,67	17,66	69,63											
R1	2200,80	2112,44	2106,69	2179,42	2639,59	2782,93	2227,34	2560,67	2613,99	1721,46											
R2	338,58	403,63	339,37	427,91	273,33	336,18	338,75	309,17	362,29	426,64											
A/CNK	1,15	1,13	1,17	1,09	1,11	1,46	1,23	1,24	1,22	1,46											
A	0,14	0,15	0,15	0,14	0,12	0,14	0,14	0,14	0,15	0,17											
NK	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11											

Continuação - Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra Cations	CG-41		CG-42		CG-43		CG-44		CG-45		CG-46		CG-47		CG-48		CG-49		CG-50		
	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	
Si	980,28	1155,03	1060,17	938,67	1160,03	1181,66	1175,01	1166,68	1025,22	1175,01	1166,68	1025,22	1175,01	1166,68	1025,22	1175,01	1166,68	1025,22	1175,01	1166,68	1025,22
Al	311,88	280,50	288,34	437,42	278,54	282,46	335,42	302,08	337,38	290,31	302,08	337,38	290,31	302,08	337,38	290,31	302,08	337,38	290,31	302,08	337,38
K	62,00	128,24	178,56	53,93	104,04	118,90	31,85	80,05	99,79	114,66	80,05	99,79	114,66	80,05	99,79	114,66	80,05	99,79	114,66	80,05	99,79
Ti	14,89	3,88	11,01	0,38	1,88	2,25	0,63	2,00	7,51	2,50	2,00	7,51	2,50	2,00	7,51	2,50	2,00	7,51	2,50	2,00	7,51
Ca	35,13	14,44	5,71	0,89	9,27	7,13	2,67	15,16	16,23	6,24	15,16	16,23	6,24	15,16	16,23	6,24	15,16	16,23	6,24	15,16	16,23
Na	111,65	95,84	152,31	187,16	104,55	97,13	167,80	136,82	181,67	116,17	136,82	181,67	116,17	136,82	181,67	116,17	136,82	181,67	116,17	136,82	181,67
Mg	112,64	3,72	25,80	13,40	2,73	1,74	0,25	8,93	4,22	1,74	8,93	4,22	1,74	8,93	4,22	1,74	8,93	4,22	1,74	8,93	4,22
Fe ²⁺	125,24	38,82	40,33	38,32	12,40	37,57	6,26	9,64	63,87	6,89	9,64	63,87	6,89	9,64	63,87	6,89	9,64	63,87	6,89	9,64	63,87
R1	1730,71	2069,81	498,37	1025,30	2317,06	2270,66	2490,12	2257,91	861,97	2142,18	2257,91	861,97	2142,18	2257,91	861,97	2142,18	2257,91	861,97	2142,18	2257,91	861,97
R2	747,94	374,60	374,19	469,57	339,63	328,73	351,97	410,88	443,18	331,23	410,88	443,18	331,23	410,88	443,18	331,23	410,88	443,18	331,23	410,88	443,18
A/CNK	1,28	1,11	0,84	1,80	1,23	1,23	1,64	1,22	1,07	1,19	1,22	1,07	1,19	1,22	1,07	1,19	1,22	1,07	1,19	1,22	1,07
A	0,17	0,14	0,14	0,21	0,14	0,14	0,17	0,15	0,17	0,15	0,15	0,17	0,15	0,15	0,17	0,15	0,15	0,17	0,15	0,15	0,17
NK	0,09	0,11	0,16	0,12	0,10	0,11	0,10	0,11	0,14	0,12	0,11	0,10	0,12	0,11	0,10	0,12	0,11	0,10	0,12	0,11	0,10

Continuação - Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra Cations	CG-51		CG-52		CG-53		CG-54		CG-55		CG-56		CG-57		CG-58		CG-59		CG-60		
	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	
Si	1175,01	1273,20	1208,29	1181,66	1131,73	1160,03	1160,03	1168,35	1153,37	1211,62	1168,35	1153,37	1211,62	1168,35	1153,37	1211,62	1168,35	1153,37	1211,62	1168,35	1153,37
Al	288,34	229,50	276,58	288,34	292,27	255,00	306,00	331,50	304,04	253,04	331,50	304,04	253,04	331,50	304,04	253,04	331,50	304,04	253,04	331,50	304,04
K	113,17	109,56	114,66	50,96	139,92	118,90	118,90	92,57	112,53	121,03	118,90	112,53	121,03	118,90	112,53	121,03	118,90	112,53	121,03	118,90	112,53
Ti	1,63	1,25	1,63	2,88	3,88	4,63	2,13	1,50	1,63	1,13	4,63	2,13	1,50	1,63	1,13	4,63	2,13	1,50	1,63	1,13	4,63
Ca	10,16	7,49	5,71	19,62	9,99	11,06	9,63	16,58	7,67	7,31	11,06	9,63	16,58	7,67	7,31	11,06	9,63	16,58	7,67	7,31	11,06
Na	116,17	98,74	70,35	120,36	97,13	97,13	91,32	108,75	108,75	104,55	97,13	91,32	108,75	108,75	104,55	97,13	91,32	108,75	108,75	104,55	97,13
Mg	1,74	0,25	1,74	9,18	3,97	9,18	2,23	2,48	1,49	0,74	9,18	2,23	2,48	1,49	0,74	9,18	2,23	2,48	1,49	0,74	9,18
Fe ²⁺	5,26	28,81	18,66	32,56	26,68	32,56	9,64	7,64	2,63	31,31	32,56	9,64	7,64	2,63	31,31	32,56	9,64	7,64	2,63	31,31	32,56
R1	2163,54	2741,36	2757,57	2771,24	1858,25	2189,37	2304,11	2440,59	2170,90	2300,27	2189,37	2304,11	2440,59	2170,90	2300,27	2189,37	2304,11	2440,59	2170,90	2300,27	2189,37
R2	352,80	274,93	314,29	424,40	360,12	339,69	368,24	435,96	353,02	298,39	339,69	368,24	435,96	353,02	298,39	339,69	368,24	435,96	353,02	298,39	339,69
A/CNK	1,15	1,03	1,41	1,37	1,14	1,07	1,33	1,41	1,28	1,05	1,07	1,33	1,41	1,28	1,05	1,07	1,33	1,41	1,28	1,05	1,07
A	0,14	0,11	0,14	0,14	0,15	0,13	0,15	0,17	0,15	0,13	0,13	0,15	0,17	0,15	0,13	0,13	0,15	0,17	0,15	0,13	0,15
NK	0,11	0,10	0,09	0,09	0,12	0,11	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11	0,10	0,11	0,10	0,12	0,11	0,10	0,11	0,10	0,12	0,11

Continuação - Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-1(Na+K)-2(Fe+Ti)$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra Cations	CG-61		CG-62		CG-63		CG-64		CG-65		CG-66		CG-67		CG-68		CG-69		CG-70		
	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	
Si	1148,38	1181,66	1155,03	1181,66	1213,29	1160,03	1136,73	1168,35	1211,62	1191,65											
Al	306,00	284,42	229,50	290,31	290,31	292,27	282,46	292,27	260,88	306,00											
K	132,49	114,66	146,93	122,72	114,66	126,97	125,06	88,75	104,04	97,24											
Ti	3,13	2,00	3,88	2,63	1,13	3,63	4,76	2,63	1,00	1,13											
Ca	9,63	8,92	8,92	9,09	3,74	10,34	13,91	13,20	5,88	8,74											
Na	98,74	91,64	98,74	111,65	105,84	105,84	98,74	124,56	118,75	129,08											
Mg	3,97	2,98	2,23	3,23	0,74	3,23	5,71	5,95	1,24	1,98											
Fe ²⁺	17,41	6,51	38,82	26,30	3,76	38,82	43,83	17,66	4,38	6,14											
R1	2008,86	2440,33	1832,34	2090,68	2417,90	1994,26	1987,90	2286,41	2385,03	2262,54											
R2	371,71	343,87	287,46	351,32	314,26	360,77	377,33	383,35	298,67	362,39											
A/CNK	1,22	1,27	0,87	1,15	1,27	1,15	1,12	1,22	1,11	1,26											
A	0,15	0,14	0,11	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,13	0,15											
NK	0,12	0,10	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11											

Continuação - Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-1(Na+K)-2(Fe+Ti)$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra Cations	CG-71		CG-72		CG-73		CG-74		CG-75		CG-76		CG-77		CG-78		CG-79		CG-80		
	Metal.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	Peral.	
Si	988,60	1150,04	1178,33	1121,75	1223,27	1181,66	1165,02	1130,07	1046,85	1193,31											
Al	302,08	282,46	343,27	296,19	304,04	282,46	284,42	260,88	280,50	304,04											
K	45,23	95,55	77,07	157,12	89,60	81,53	74,31	95,76	42,25	132,92											
Ti	16,52	3,13	2,38	4,26	0,50	3,00	2,63	11,26	11,39	2,25											
Ca	62,23	12,13	13,02	11,77	8,92	15,87	12,84	3,21	30,85	7,85											
Na	154,25	136,50	127,46	103,91	145,86	145,86	131,98	145,86	152,31	112,94											
Mg	136,96	4,22	6,45	4,47	0,25	7,44	5,95	16,87	38,95	1,98											
Fe ²⁺	99,32	30,06	20,66	45,09	5,01	22,04	26,30	77,27	95,18	7,76											
R1	1528,56	1981,31	2417,35	1517,02	2292,04	2175,29	2332,99	1685,44	1834,08	2048,79											
R2	949,39	363,65	434,27	375,74	358,03	392,57	373,36	313,88	543,50	355,08											
A/CNK	0,93	1,10	1,49	1,04	1,20	1,09	1,23	1,05	1,09	1,16											
A	0,16	0,14	0,17	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,16	0,15											
NK	0,10	0,12	0,10	0,13	0,12	0,11	0,10	0,11	0,10	0,12											

Continuação - Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra Cations	CG-81		CG-82		CG-83		CG-84		CG-85		CG-86		CG-87		CG-88		CG-89		CG-90		
	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	
Si	1105,10	1175,01	1151,71	1238,25	1226,60	1313,14	1246,57	1110,10	1168,35	993,60											
Al	307,96	302,08	292,27	296,19	278,54	215,77	196,15	327,58	282,46	306,00											
K	55,84	51,17	129,52	110,41	104,04	102,55	101,92	140,13	92,36	145,23											
Ti	4,88	2,13	2,00	0,50	1,88	3,50	2,63	5,88	1,00	6,88											
Ca	18,01	12,13	5,53	10,34	7,67	8,20	9,63	16,41	6,24	13,37											
Na	155,54	158,44	114,23	81,00	112,30	62,92	91,64	113,26	124,56	142,63											
Mg	12,65	3,72	1,98	1,24	2,23	5,46	0,25	12,41	0,74	33,00											
Fe ²⁺	42,21	12,15	20,04	3,13	4,13	17,78	45,09	41,33	12,52	66,38											
R1	2001,09	2365,75	1881,49	2840,29	2514,69	3389,75	2761,70	1558,58	2260,23	661,41											
R2	441,33	382,27	329,40	360,73	329,01	275,90	254,42	450,82	321,40	452,24											
A/CNK	1,24	1,29	1,15	1,40	1,20	1,19	0,92	1,14	1,23	0,97											
A	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,11	0,10	0,16	0,14	0,15											
NK	0,11	0,10	0,12	0,10	0,11	0,07	0,10	0,13	0,11	0,14											

Continuação. Cálculo dos parâmetros $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$ e $R2=6Ca+2Mg+Al$ das rochas graníticas, para a classificação litológica segundo La Roche (1964) e saturação em alumina conforme Shand (1927).

Amostra Cations	CG-91		CG-92		CG-93		CG-94		CG-95		CG-96		CG-97		CG-98		CG-99		CG-100		
	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	Peral.	Metal.	
Si	1183,33	1038,53	1196,64	1105,10	1040,20	1201,64	1163,36	1133,40	812,19	1224,94											
Al	268,73	290,31	274,61	280,50	339,34	286,38	288,34	284,42	272,65	276,58											
K	87,05	169,86	133,34	77,07	72,40	101,07	121,03	129,31	44,16	122,72											
Ti	2,00	9,76	4,63	8,51	8,89	0,75	6,26	5,26	26,41	2,25											
Ca	8,92	30,31	12,66	24,07	8,02	6,78	16,05	13,55	143,01	8,74											
Na	104,55	98,74	61,63	98,74	55,50	104,55	89,06	89,06	61,63	90,68											
Mg	4,22	31,01	7,69	10,92	30,02	0,25	11,17	6,70	49,13	2,73											
Fe ²⁺	18,79	48,84	43,83	83,54	118,73	10,02	51,35	48,84	194,12	25,05											
R1	2584,08	1082,28	2544,93	2302,34	2498,60	2523,20	2227,25	2023,34	1643,91	2497,74											
R2	330,66	534,22	365,96	446,77	447,53	327,54	406,97	379,13	1228,97	334,46											
A/CNK	1,28	0,88	1,25	1,25	2,36	1,31	1,19	1,16	0,70	1,20											
A	0,13	0,15	0,14	0,14	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14											
NK	0,10	0,13	0,10	0,09	0,06	0,10	0,11	0,11	0,05	0,11											

Tabela - 3.AP-2 Análises por microsonda eletrônica do feldspato potássico das rochas graníticas ornamentais com teores de urânio e tório acima de 60 ppm (Laboratório de Microanálise do Consórcio Física - Geologia e Química da UFMG e CDTN/CNEN).

Amostra	CG-02	CG-03	CG-20	CG-23	CG-24	CG-30	CG-31	CG-33	CG-35	CG-37	CG-42	CG-46
Oxidos(%)												
SiO ₂	64,55	66,11	66,54	64,49	64,74	65,02	64,55	64,96	64,75	64,73	65,03	65,60
Al ₂ O ₃	19,11	18,38	18,09	19,16	18,93	18,22	19,47	18,95	18,25	19,01	18,81	18,94
FeO	0,01	0,10	0,07	0,02	0,03	0,08	0,06	0,00	0,01	0,00	0,09	0,08
MgO	0,00	0,06	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
CaO	0,03	0,05	0,01	0,06	0,04	0,00	0,04	0,03	0,03	0,09	0,01	0,05
Na ₂ O	0,70	0,77	0,64	1,88	1,06	0,62	0,49	1,12	0,16	1,53	1,28	2,02
K ₂ O	15,68	14,59	15,79	14,31	14,79	16,37	15,19	15,08	16,38	14,77	15,28	13,09
BaO	0,23	0,25	0,29	0,31	0,23	0,00	0,47	0,31	0,08	0,18	0,47	0,18
Total	100,30	100,32	101,42	100,25	99,84	100,30	100,29	100,44	99,67	100,31	100,97	99,96
Cations												
Fórmula estrutural calculada com a base de 32 oxigênios												
Si	11,89	12,08	12,10	11,86	11,93	12,00	11,87	11,93	12,01	11,89	11,92	11,98
Al	4,15	3,96	3,88	4,15	4,11	3,96	4,22	4,10	3,99	4,12	4,06	4,08
Fe ²⁺	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Mg	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Ca	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01
Na	0,25	0,27	0,23	0,67	0,38	0,22	0,17	0,40	0,06	0,55	0,45	0,72
K	3,69	3,40	3,66	3,36	3,48	3,85	3,56	3,53	3,88	3,46	3,57	3,05
Ba	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
Total	20,01	19,78	19,90	20,07	19,94	20,04	19,87	19,99	19,97	20,05	20,06	19,86
Or	93,4	92,4	94,1	83,2	89,9	94,6	95,2	89,6	98,2	85,9	88,8	80,7
Ab	6,3	7,3	5,9	16,6	9,8	5,4	4,5	10,2	1,5	13,6	11,2	19,0
An	0,3	0,3	0,0	0,2	0,3	0,0	0,3	0,3	0,3	0,5	0,0	0,3

Continuação - Análises por microsonda eletrônica do feldspato potássico das rochas graníticas ornamentais com teores de urânio e tório acima de 60 ppm (Laboratório de Microanálise do Consórcio Física - Geologia e Química da UFMG e CDTN/CNEN).

Amostra	CG-52	CG-63	CG-66	CG-69	CG-74	CG-78	CG-90	CG-93	CG-97	CG-98	CG-100
Oxidos (%)											
SiO ₂	65,66	66,88	65,70	64,92	64,80	63,80	66,20	65,77	62,70	65,78	64,40
Al ₂ O ₃	18,33	18,97	18,17	18,04	18,03	18,72	18,00	17,89	18,67	18,38	18,64
FeO	0,04	0,06	0,02	0,02	0,02	0,10	0,35	0,00	0,05	0,01	0,04
MgO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,02	0,00	0,01	0,00	0,08	0,00
CaO	0,02	0,06	0,05	0,04	0,06	0,08	0,00	0,02	0,23	0,01	0,02
Na ₂ O	0,75	1,11	0,99	0,34	1,84	0,83	0,79	0,74	0,93	0,45	0,70
K ₂ O	14,66	13,50	14,39	15,77	13,96	15,64	14,59	14,40	15,27	15,87	15,80
BaO	0,00	0,19	0,32	0,06	0,24	0,34	0,20	0,03	0,68	0,28	0,32
Total	99,46	100,77	99,64	99,56	99,11	99,51	100,12	99,30	98,53	100,85	99,93

Cations	Fórmula estrutural calculada com base de 32 oxigênio										
Si	12,09	12,10	12,09	12,06	12,01	11,97	12,13	12,16	11,83	12,04	11,93
Al	3,98	4,05	3,94	3,95	3,94	3,99	3,89	3,90	4,15	3,97	4,07
Fe ²⁺	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,05	0,00	0,01	0,00	0,01
Mg	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Ca	0,00	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Na	0,26	0,39	0,35	0,12	0,66	0,30	0,28	0,27	0,34	0,16	0,25
K	3,44	3,01	3,38	3,74	3,30	3,74	3,41	3,40	3,68	3,71	3,74
Ba	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,05	0,02	0,02
Total	19,78	19,58	19,83	19,89	20,00	20,07	19,77	19,73	20,11	19,90	20,02

Or	93,0	88,3	89,4	96,6	83,1	92,1	92,4	92,6	90,4	95,9	93,7
Ab	7,0	11,4	9,3	3,1	16,6	7,4	7,6	7,4	8,4	4,1	6,3
An	0,0	0,3	1,3	0,3	0,3	0,5	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0

Tabela - 4.AP-2 Análises por microsonda eletrônica do plagioclásio das rochas graníticas ornamentais com teores de urânio e tório acima de 60 ppm (Laboratório de Microanálise do Consórcio Física - Geologia e Química da UFMG e CDTN/CNEN).

Amostra	CG-02	CG-03	CG-20	CG-23	CG-24	CG-30	CG-31	CG-33	CG-35	CG-37	CG-42	CG-46
Oxidos(%)												
SiO ₂	62,79	62,00	66,78	62,55	63,97	61,60	66,68	63,92	66,78	62,61	61,04	62,19
Al ₂ O ₃	24,42	24,82	20,62	23,76	22,70	23,24	21,10	9,46	21,28	22,74	24,02	23,56
FeO	0,07	0,08	0,00	0,00	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,15	0,02	0,01
MgO	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,57	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00
CaO	4,85	5,29	1,43	4,62	3,47	4,59	1,41	3,91	1,36	4,68	6,06	4,45
Na ₂ O	9,00	8,90	10,86	9,08	9,64	9,33	10,89	9,46	10,83	9,22	8,46	9,09
K ₂ O	0,22	0,11	0,20	0,35	0,35	0,34	0,16	0,34	0,45	0,15	0,32	0,38
BaO	0,00	0,01	0,08	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Total	101,34	101,23	99,98	100,38	100,21	99,67	100,24	101,27	100,72	99,59	99,97	99,67

Cations	Fórmula estrutural calculada com a base de 32 oxigênios											
Si	10,99	10,98	11,72	11,05	11,28	10,99	11,67	11,16	11,65	11,15	10,88	11,06
Al	5,04	5,13	4,27	4,95	4,72	4,89	4,35	4,87	4,38	4,77	5,06	4,94
Fe ²⁺	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Mg	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Ca	0,91	0,99	0,27	0,87	0,66	0,88	0,26	0,73	0,25	0,89	1,26	0,85
Na	3,05	3,03	3,70	3,11	3,30	3,23	3,70	3,20	3,66	3,18	2,92	3,14
K	0,05	0,02	0,04	0,08	0,08	0,08	0,04	0,08	0,10	0,03	0,07	0,09
Ba	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Total	20,05	20,17	20,01	20,06	20,05	20,22	20,02	20,04	20,04	20,05	20,23	20,08

Ab	76,1	75,0	92,3	76,6	81,7	77,1	92,5	79,8	91,3	77,6	68,7	77,0
An	22,7	24,5	6,7	21,4	16,3	21,0	6,5	18,2	6,2	21,7	29,6	20,8
Or	1,2	0,5	1,0	2,0	2,0	1,9	1,0	2,0	2,5	0,7	1,6	2,2

Continuação - Análises por microsonda eletrônica do plagioclásio das rochas graníticas ornamentais com teores de urânio e tório acima de 60 ppm (Laboratório de Microanálise do Consórcio Física - Geologia e Química da UFMG e CDITN/CNEN).

Amostra	CG-52	CG-63	CG-66	CG-69	CG-74	CG-78	CG-93	CG-97	CG-98	CG-100
Oxidos (%)										
SiO ₂	66,53	62,02	62,41	63,36	60,99	63,43	60,08	59,46	61,60	62,43
Al ₂ O ₃	20,77	24,44	23,50	22,67	23,63	23,06	24,93	25,00	23,24	23,59
FeO	0,04	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,05	0,05	0,01	0,11
MgO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	4,54
CaO	1,44	5,18	4,44	3,15	5,79	4,47	6,67	6,65	4,59	0,00
Na ₂ O	10,20	7,91	8,84	9,77	8,69	8,68	8,32	8,23	9,33	9,01
K ₂ O	0,26	0,24	0,32	0,28	0,00	0,45	0,11	0,10	0,34	0,38
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,09	0,00	0,05
Total	99,23	99,80	99,52	99,25	99,36	100,15	100,19	99,56	99,67	100,10
Fórmula estrutural calculada com a base de 32 oxigênios										
Cations										
Si	11,84	10,99	11,10	11,27	10,94	11,20	10,71	10,67	10,99	11,02
Al	4,36	5,10	4,93	4,25	5,00	4,80	5,24	5,29	4,89	4,93
Fe ²⁺	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
Ca	0,00	0,98	0,85	0,60	1,11	0,85	1,27	1,28	0,88	0,86
Na	3,52	2,72	3,05	3,37	3,02	2,97	2,87	2,86	3,23	3,10
K	0,05	0,05	0,07	0,06	0,00	0,00	0,03	0,02	0,08	0,09
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Total	19,78	19,84	20,00	19,55	20,07	19,82	20,13	20,14	20,22	20,02
Ab	98,6	72,5	76,8	83,6	73,1	77,7	68,8	68,8	77,1	76,5
An	0,0	26,1	21,4	14,9	26,9	22,3	30,5	30,8	21,0	21,2
Or	1,4	1,3	1,8	1,5	0,0	0,0	0,7	0,5	1,9	2,2

Tabela - 5.AP-2 Conteúdo de tório e urânio em placas hipotéticas de rochas graníticas ornamentais com 1m² de superfície e 2 cm (0,02 m³) de espessura

Amostra	Corpo de prova em cm e espessura de 2,0 cm	Área em cm ² e espessura de 2,0 cm	Peso do corpo de prova (g)	Peso em gramas de 1 m ² e espessura de 2,0 cm	Teor de Th (g/t)	Teor de U (g/t)	Conteúdo de Th/U amostra com 1m ² (g)
01) CG-02	3,4x3,0	10,20	50,3	50.300	94	4	4,73/0,20
02) CG-03	3,6x2,8	10,08	54,4	53.968	100	5	5,40/0,27
03) CG-20	15,1x10,0	151,00	801,2	53.059	58	4	3,08/0,21
04) CG-23	3,4x2,3	7,82	40,7	52.046	57	6	2,97/0,31
05) CG-24	3,6x2,7	9,72	52,7	54.218	57	5	3,09/0,27
06) CG-30	5,6x5,0	28,00	148,1	52.892	59	20	3,12/1,06
07) CG-31	5,8x4,9	28,42	148,8	52.357	76	5	4,74/0,26
08) CG-33	3,3x3,0	9,90	47,5	47.979	74	5	3,55/0,24
09) CG-35	5,0x6,0	30,00	156,0	52.000	55	16	2,86/0,83
10) CG-37	6,0x5,1	30,60	155,0	50.653	66	1	3,34/0,05
11) CG-42	4,9x5,2	25,48	149,6	56.750	130	4	7,38/0,25
12) CG-46	3,6x3,5	12,60	65,4	52.527	58	5	3,05/0,26
13) CG-52	7,6x4,9	37,24	198,9	53.410	67	8	3,58/0,43
14) CG-63	3,2x3,5	11,20	54,5	48.660	74	5	3,60/0,24
15) CG-66	3,3x3,4	11,22	56,9	50.713	66	5	3,35/0,25
16) CG-69	2,6x3,6	9,36	49,72	51.746	44	33	2,28/1,71
17) CG-74	3,5x3,0	10,50	58,0	55.238	94	4	5,19/0,22
18) CG-78	4,5x3,5	15,75	79,6	50.539	66	7	3,33/0,35
19) CG-90	3,0x1,6	4,80	24,2	50.416	76	5	3,83/0,25
20) CG-93	4,4x4,5	19,80	111,8	56.464	81	3	4,57/0,17
21) CG-97	4,1x3,7	13,12	69,8	53.201	65	3	3,46/0,16
22) CG-98	4,4x3,5	15,40	82,88	53.818	105	4	5,65/0,21
23) CG-100	3,6x3,3	11,88	64,5	54.292	58	4	3,15/0,22

APÊNDICE 3 (CAPÍTULO 6 - CÁLCULO DE DOSE E DO ACRÉSCIMO EM FUNÇÃO DO USO DE GRANITOS COMO PISO EM CONSTRUÇÃO: IMPACTO AMBIENTAL)

Tabela - 1.AP-3	Atividades γ e β nas rocha graníticas ornamentais (GA – granito alcalino, GA/S granito alcalino/sienítico, GM – granito monzonítico e S – sienito), com teores de urânio e tório acima de 60 ppm, medidas com cintilômetro portátil	187
Tabela - 2.AP-3	Resultados de análises por ativação neutrônica paramétrica do ^{40}K e espectrometria gama do ^{226}Ra nas rochas graníticas amostradas.....	188
Lista - 1.AP-3	Acrônimos.....	189

Tabela - 1.AP-3 Atividade α e β das rochas graníticas ornamentais com teores de urânio e tório acima de 60 ppm, medidas com centilômetro portátil

Amostra	Nome Comercial	Classificação segundo La Roche (1964) e Cox <i>et al.</i> (1979)	Medidas (Bq/cm ²)	Média (Bq/cm ²)	Média (%)
BG	<i>background</i> ou de fundo		0,30-0,30-0,31-0,34-0,31 0,29-0,32-0,31-0,32-0,31	0,31 ± 0,01	100
CG-02	Amarelo Romano	Granito Sienítico	0,47-0,38-0,41-0,48-0,46	0,44 ± 0,04	142
CG-03	Cinza Tropical	Granito Alcalino	0,46-0,51-0,49-0,50-0,48	0,49 ± 0,02	158
CG-20	Amêndoa Carioca	Granito Alcalino/Sienítico	0,53-0,55-0,57-0,55-0,53	0,55 ± 0,02	177
CG-23	F5	Granito Alcalino	0,36-0,39-0,40-0,46-0,48	0,42 ± 0,05	135
CG-24	Rosa Capri	Granito Sienítico	0,34-0,37-0,35-0,42-0,39	0,37 ± 0,03	119
CG-30	Capão Bonito	Granito Alcalino	0,41-0,40-0,46-0,48-0,51	0,45 ± 0,03	145
CG-31	Ouro Velho	Granito Alcalino/Sienítico	0,44-0,45-0,47-0,48-0,52	0,47 ± 0,03	152
CG-33	Vermelho Imperial	Granito Alcalino/Sienítico	0,39-0,41-0,42-0,44,-0,43	0,42 ± 0,02	135
CG-35	Rosa Verona	Granito Alcalino	0,43-0,47-0,50-0,47-0,46	0,47 ± 0,02	152
CG-37	Dourado	Granito Alcalino/Sienítico	0,43-0,46-0,51-0,50-0,51	0,48 ± 0,04	135
CG-42	Amarelo Veneziano	Gnaiss Sienítico	0,37-0,38-0,41-0,42-0,42	0,40 ± 0,02	129
CG-46	Cotton White	Granito Alcalino	0,53-0,50-0,48-0,46-0,44	0,48 ± 0,03	155
CG-52	Giallo Califórnia	Gnaiss alcalino	0,37-0,39-0,40-0,42-0,46	0,41 ± 0,03	132
CG-63	Amarelo Florence	Granito Alcalino	0,50-0,49-0,51-0,52-0,51	0,51 ± 0,01	164
CG-66	Amarelo Capri	Granito Alcalino/Sienítico	0,41-0,45-0,50-0,52-0,54	0,48 ± 0,05	155
CG-69	Lilás Geral	Gnaiss Alcalino/Sienítico	0,60-0,55-0,53-0,56-0,58	0,56 ± 0,03	181
CG-74	Amarelo Fiorito	Gnaiss Sienítico Quartzoso	0,45-0,44-0,47-0,46-0,42	0,45 ± 0,02	145
CG-78	Verde Índio/Aquário	Gnaiss Alcalino	0,36-0,40-0,42-0,45-0,43	0,41 ± 0,04	132
CG-90	Horizonte	Sienito	0,36-0,36-0,36-0,36-0,40	0,37 ± 0,02	119
CG-93	Cinza Mel	Granito Sienítico	0,39-0,35-0,36-0,38-0,40	0,38 ± 0,02	122
CG-97	Cinza Bressan	Monzonito	0,41-0,40-0,41-0,47-0,43	0,42 ± 0,03	135
CG-98	Cinza Oriente	Gnaiss Alcalino	0,43-0,44-0,46-0,47-0,46	0,45 ± 0,02	145
CG-100	Amêndoa Carioca	Granito Sienítico	0,34-0,33-0,37-0,44-0,45	0,39 ± 100	126

Observação: Equipamento utilizado: NE Technology Ltda. Ratemeter Type Electra & Selectra-Inc. Upgrade AE0068A-No Serie 1995. Fonte de teste do aparelho: Americio 241 e Cloro 36
 Sonda: DP6AD - No Série: 1074
 Radiação α e β - Bq/cm²
 Distância da Fonte: \cong 3 mm
 BG= Dosagem do *background*
 Medidas da atividade α e β foi realizada em amostras com tamanho de 6 x 5 x 2cm.
 Resultados da media em Bq/cm² e percentual foram obtidos a partir de 10 medidas para o *background* e 05 em cada amostra.

Tabela - 2.AP-3 Resultados das análises por ativação neutrônica paramétrica do ^{40}K e espectrometria gama do ^{226}Ra das rochas graníticas

Amostra	^{40}K (Bq.g^{-1})	^{226}Ra (Bq.g^{-1})
01) CG-02	1,6±0,2	<0,01
02) CG-03	1,6±0,2	0,17±0,07
03) CG-20	1,7±0,2	0,22±0,09
04) CG-23	1,7±0,2	0,08±0,02
05) CG-24	1,5±0,2	<0,01
06) CG-30	1,6±0,2	0,40±0,10
07) CG-31	1,6±0,2	0,03±0,01
08) CG-33	1,7±0,2	0,22±0,09
09) CG-35	1,3±0,1	0,44±0,11
10) CG-37	1,8±0,2	<0,01
11) CG-42	1,6±0,2	0,14±0,06
12) CG-46	1,6±0,2	0,21±0,08
13) CG-52	1,3±0,1	0,06±0,02
14) CG-63	1,5±0,2	0,02±0,01
15) CG-66	1,5±0,2	0,15±0,08
16) CG-69	1,3±0,2	<0,01
17) CG-74	1,7±0,2	0,09±0,02
18) CG-78	1,0±0,1	0,22±0,08
19) CG-90	2,3±0,2	0,60±0,20
20) CG-93	1,7±0,2	<0,01
21) CG-97	1,6±0,2	0,02±0,01
22) CG-98	1,8±0,2	<0,01
23) CG-100	1,5±0,2	<0,01

Observação: Limite de detecção de ^{40}K é 0,2 Bq.g^{-1} , ^{226}Ra é 0,01 Bq.g^{-1}

Lista - 1.AP-3 Acrônimos

ALCAN	Alumínio do Brasil S/A
AFNOR	“Association Française de Normalization”
ASTM	“American Society for Testing and Materials”
Bq	Becquerel - unidade usada para medir a radioatividade. Um Becquerel é a quantidade de material radioativo que será transformada em um segundo. A radioatividade pode ser expressa em seus múltiplos: mil (kBq), milhão (MBq) ou mesmo bilhão (GBq) de um Becquerel. Como resultado de um Becquerel ser igual a uma transformação por segundo, há 3.7×10^{10} Bq em um curie.
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CV-AAS	Espectrômetro de Absorção Atômica por Vapor Frio
COBRACON	Comitê Brasileiro da Construção Civil
DEGEO/UFOP	Departamento de Geologia/Universidade Federal de Ouro Preto
DIN	“Deustches Institut for Normung”
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
EDS	“Energy Dispersive Spectrometry”
ENAN	Encontro Nacional de Aplicações Nucleares
ETRL	Elementos Terras Raras Leves
ETRP	Elementos Terras Raras Pesadas
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais
Gy	Gray - unidade usada para medir a quantidade de dose absorvida. Está relacionada à quantidade de energia atual absorvida por algum material. Um gray é igual a um joule de energia depositado em um kg de um material. A unidade gray pode ser usada para qualquer radiação, mas não descreve os efeitos biológicos das diferentes radiações. Dose absorvida é expressa frequentemente em termos de centésimos de gray, ou centi-grays.
ICPR	“International Council on Radiation Protection”
ICP-MS	Plasma com Espectrômetro de Massa
ICEX/UFMG	Instituto de Ciências Exata/Universidade Federal de Minas Gerais
INAC	“International Nuclear Atlantic Conference”
IUGS	“International Union of Geological Sciences”

IGC/UFMG	Instituto de Geociências/Universidade Federal de Minas Gerais
LMP/IT2	Laboratório de Mineralogia e Petrografia do CDTN
MPa	Medida de Pressão
REM	- REM (Roëntgen Equivalente Homem) - unidade usada para derivar uma quantidade chamada de dose equivalente. A dose equivalente está relacionada à dose absorvida no tecido humano para o efetivo do dano biológico da radiação. Nem toda a radiação tem o mesmo efeito biológico, até mesmo para a mesma quantidade da dose absorvida. Frequentemente é expressa a dose equivalente em termos de centena ou millirem. Para determinar a dose equivalente (rem), multiplica-se a dose absorvida (RAD) por um fator de qualidade (Q).
Sv	Sievert - unidade usada para derivar a quantidade da dose equivalente. Relaciona a dose absorvida em tecido humano com o dano biológico efetivo da radiação. Nem toda radiação tem o mesmo efeito biológico, até mesmo para a mesma quantidade de dose absorvida. Frequentemente, é expressa a dose equivalente em termos de milionésimo de um Sievert, ou micro-Sievert. Para determinar a dose equivalente (Sv), multiplica-se a dose absorvida 100 (kBq) por um fator de qualidade (Q), que é único para a radiação incidente. Um Sievert é equivalente a 100 rem.
NBR	Norma Brasileira
NCRPM	“National Council on Radiation Protection and Measurements”
REEYThU	Elementos Terras Raras, Ítrio, Tório e Urânio
SIG	Sistema de Informações Geográficas
WDS	“Wavelength Dispersive Spectrometry”
WNA	“World Nuclear Association”

**ANEXO 1 (CAPÍTULO 6 - CÁLCULO DE DOSE E DO ACRÉSCIMO
EM FUNÇÃO DO USO DE GRANITOS COMO PISO
EM CONSTRUÇÃO: IMPACTO AMBIENTAL)**

Figura - 1.AN-1	Detalhe do decaimento em cadeia do urânio	
	Fonte: Perreault (2003a)	192
Figura - 2.NA-1	Detalhe do decaimento em cadeia do tório	
	Fonte: Perreault (2003b)	192

Figura -1.AN-1 Detalhe do decaimento em cadeia do urânio, Perreault (2003a)

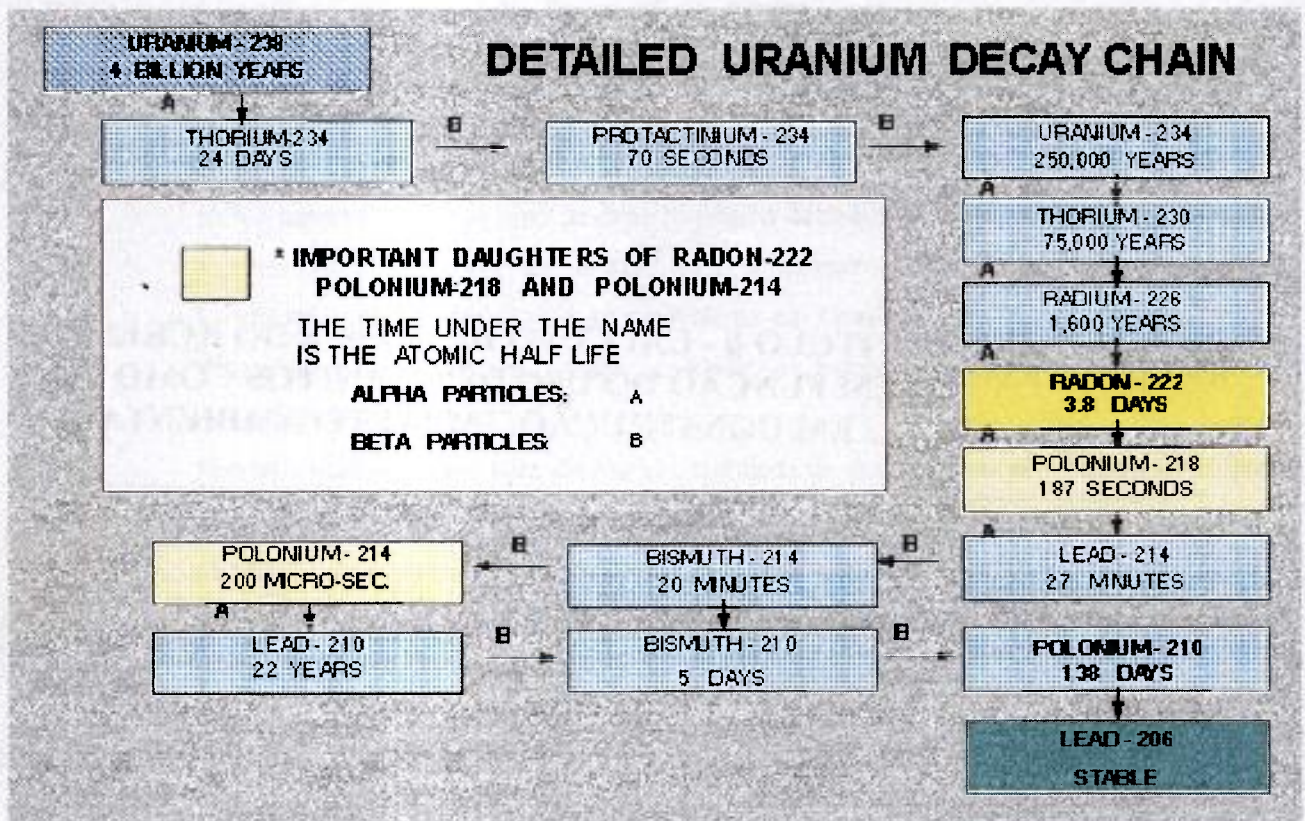
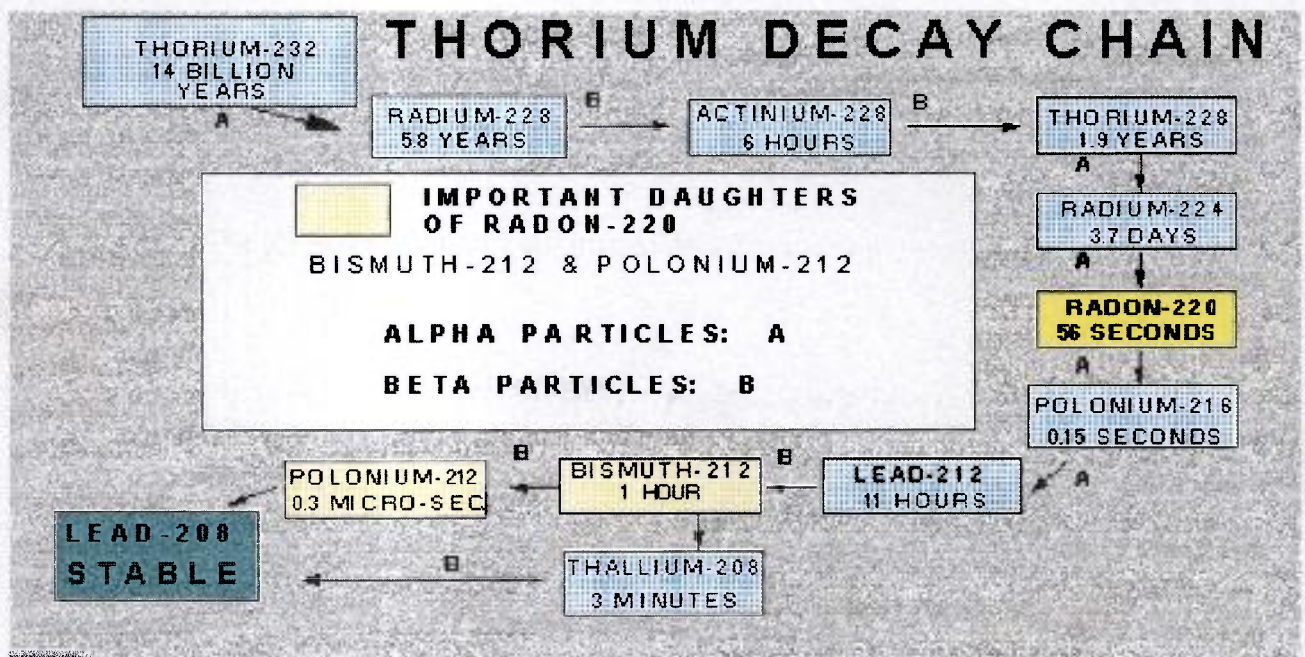


Figura -1.AN-1 Detalhe do decaimento em cadeia do tório, Perreault (2003b)



Ficha de Aprovação

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TÍTULO: MINERAIS RADIOATIVOS EM ROCHAS GRANÍTICAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO: ASPECTOS QUÍMICOS-MINERALÓGICOS E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

AUTOR: HUMBERTO TERRAZAS SALAS

ORIENTADOR: PROF. DR. HERMÍNIO ARIAS NALINI JR.

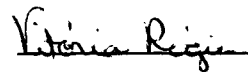
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. JÚLIO CÉSAR MENDES

Aprovado em: 19 de Setembro de 2003

Presidente: Prof. DR. HERMÍNIO ARIAS NALINI JR.

BANCA EXAMINADORA

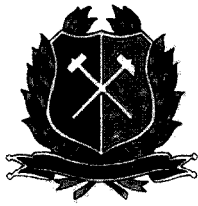
Prof. (a) DR. (A) VITÓRIA RÉGIA PÉRES DA ROCHA OLIVEIROS MARCIANO



Prof. (a) DR. (A) ANTÔNIO LUCIANO GANDINI



Ouro Preto, 19 de Setembro de 2003



Contribuições às Ciências da Terra

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

Minerais Radioativos em Rochas Graníticas Ornamentais e de Revestimento: Aspectos Químico-Mineralógicos e Implicações Ambientais

Humberto Terrazas Salas

2003