



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE
GEOLOGIA

DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO

VARIÉDADES GEMOLÓGICAS DE QUARTZO EM MI-
NAS GERAIS: GEOLOGIA, MINERALOGIA, CAUSAS
DE COR, TÉCNICAS DE TRATAMENTO E ASPECTOS
MERCADOLÓGICOS.

AUTOR: Maurício Darcy Favacho-Silva

ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. Mario Luiz de Sá Carneiro Chaves

BELO HORIZONTE
DATA (10 / 04 / 2000)

U.F.M.G. - BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA



38130111

NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA

MEMORIA UFES

Nº
018
F3407
2000
LEI DO DIREITO AUTORAL
Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

658600517

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

16 / 04 / 01

381301-11

LEI DO DIREITO AUTORAL

Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.

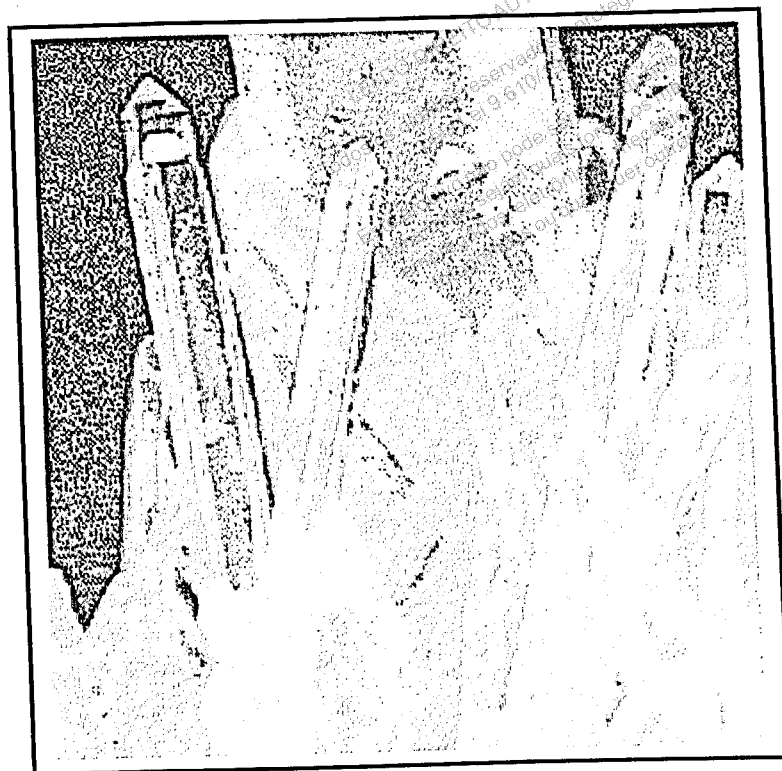
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE
GEOLOGIA

DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO



VARIEDADES GEMOLÓGICAS DE QUARTZO EM MINAS GERAIS: GEOLOGIA, MINERALOGIA, CAUSAS DE COR, TÉCNICAS DE TRATAMENTO E ASPECTOS MERCADOLÓGICOS.

Este trabalho é parte integrante do CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA da UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, sendo o mesmo necessário para a obtenção do grau de mestre em Geologia Econômica e Aplicada com ênfase à gemologia.

FAVACHO-SILVA, M.D. (2000) VARIEDADES GEMOLÓGICAS DE QUARTZO EM MINAS GERAIS: GEOLOGIA, MINERALOGIA, CAUSAS DE COR, TÉCNICAS DE TRATAMENTO E ASPECTOS MERCADOLÓGICOS. MINAS GERAIS (Dissertação de Mestrado, IGC-UFMG) 155p. (inédita).

LEI DO DIREITO AUTORAL
Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

AGRADECIMENTOS

-Primeiramente a Deus.

-Ao orientador, Prof. Dr. Mario Luiz de Sá Carneiro Chaves, pela paciência e empenho durante o desenvolvimento deste trabalho.

-Aos meus amigos do Curso de Pós-Graduação em Geologia, Márcio Aleixo Kahwage e Elaine de Castro Bottino, pelo companheirismo e amizade ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

-À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

LEI DO DIREITO AUTORAL

Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.

Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

Aos meus pais

RESUMO

Em termos mundiais, Minas Gerais tornou-se uma região mundialmente famosa, em grande parte devido às variedades de pedras coradas e de minerais raros espalhados por suas diversas regiões. Por outro lado, as principais variedades coloridas de quartzo existentes neste Estado, isto é, ametistas (cor violeta), citrinos (cores amarelo e laranja), quartzos *fumé e morion* (variedade cinza escura ou preta) não têm sido ressaltadas como material de qualidade gemológica, pois suas cores eram consideradas pouco atrativas para o mercado consumidor de gemas. Atualmente, com o advento dos tratamentos térmicos e irradiações em gemas visando mudanças ou o melhoramento da cor, o quartzo passou a ser visto como uma das principais matérias-primas para lapidadores e comerciantes de gemas, bem como também de joalheiros de Minas Gerais, pois trata-se de um material abundante na região, de preços considerados baixos, e apresentando fácil tratamento pelos processos em questão.

O presente estudo caracterizou as seguintes mudanças de cores, de acordo com a ordem de importância econômica: quartzos hialinos que se transformam em ametistas, quartzo hialinos que se transformam em citrinos laranja-amarronzados, quartzo hialinos que se transformam em citrino amarelo-esverdeado, citrinos levemente coloridos que tiveram a sua cor intensificada, quartzos *fumé* que se transformam em citrinos, quartzo hialino que se transformam em quartzo *fumé* e/ou *morion*.

Os quartzos gemológicos de Minas Gerais encontram-se inseridos em dois principais ambientes geológicos: a Serra do Espinhaço, cujos veios de quartzo são de origem hidrotermal encaixados em rochas do Supergrupo Espinhaço, e a Província Pegmatítica Oriental Brasileira, onde o quartzo faz parte do núcleo de veios pegmatíticos litiníferos, associados a granitos intrudidos na Formação Salinas (Grupo Macaúbas) ou em seu embasamento.

De acordo com a assinatura geoquímica da ametista, a cor violeta desenvolve-se apenas em quartzos que contenham ferro. No entanto, mostrou-se que o ferro sozinho não é o único responsável pela causa de cor nesta variedade de quartzo. A presença do ânion $(OH)^-$, identificado por espectroscopia de infravermelho e ressonância paramagnética eletrônica em amostras provenientes da Serra do Espinhaço, demonstrou que a ametista é típica de ambientes hidrotermais. O ânion $(OH)^-$, por sua vez tem a capacidade de ajudar o ferro na aquisição da cor violeta quando se processa a irradiação das amostras.

O quartzo *fumé* desenvolve-se apenas em espécimens que contenham alumínio, no entanto o alumínio sozinho não consegue obter esta cor; ela parece depender do conteúdo de

lítio, o qual por sua vez é dominante principalmente em pegmatitos, como por exemplo, da Província Pegmatítica Oriental. O conteúdo médio de lítio medido por absorção atômica em quartzos *fumé* desta província pegmatítica é da ordem de 190 ppm, enquanto que os medidos em amostras de quartzos *fumé* de áreas da Serra do Espinhaço é da ordem de 55 ppm. A presença de lítio diminui a estabilidade da cor no quartzo *fumé*, deste modo concluindo-se que quartzos *fumé* de regiões hidrotermais são mais estáveis quando comparados aos de regiões pegmatíticas. O fenômeno do "centro de cor" (defeito na estrutura cristalina causada pela falta de um elétron) é o responsável pela cor desta variedade de quartzo. Neste caso as impurezas de Al^{3+} ao substituir o Si^{4+} apresenta um desequilíbrio iônico devido a sua diferença de valência, ao passo que o Li^+ é que volta a compensar tal desequilíbrio, porém após a irradiação da amostra o O^{2-} tem um de seus elétrons ejetados formando o centro de cor *fumé*.

O citrino pode desenvolver-se em ambos ambientes, porém sua cor laranja-amarronzada é exclusiva de ambientes pegmatíticos. Espectros de ressonância paramagnética e infravermelho revelaram que o marrom deste citrino está ligado a uma combinação de Al-Li, semelhante aos dos quartzos *fumé*. Tal coloração pode ser filtrada por tratamento térmico deixando a gema mais valorizada. A cor laranja deste citrino encontra-se ligada a presença de Fe conjuntamente com a água molecular, identificada por padrões de infravermelho. Uma variedade de citrino amarelo-esverdeado, é observada apenas em regiões pegmatíticas, porém sua causa de cor necessita de maiores detalhes.

Os estudos também demonstraram que as aquisições de cores nos quartzos de Minas Gerais obtidas através dos processos de irradiação e tratamento térmico, bem como as estabilidades das mesmas, estão amplamente condicionadas aos dois ambientes de crescimento dos cristais, onde as amostras de quartzo foram coletadas. A cor violeta foi obtida apenas em amostras provenientes de regiões da Serra do Espinhaço a partir de quartzos hialinos ou arroxeados levemente coloridos. Quanto a variedade *fumé*, apesar de ocorrer nas duas regiões em questão, ela mostrou que pode ser obtida também a partir do tratamento de quartzos hialinos provenientes de pegmatitos.

O quartzo quando tratado pode agregar valores da ordem de US\$ 20 milhões de dólares ao setor joalheiro de pedras lapidadas segundo dados do DNPM. Gemas tratadas de quartzo têm um acréscimo em média de valores da ordem de 400% quando comparadas com as gemas não tratadas. Isto tudo sem mencionar os minerais de coleção, que por sua raridade e beleza chegam a ^{ter}custar preços muito elevados em feiras de cidades como Idar Oberstain (Alemanha) e Tucson (Arizona-EUA). Os preços destes espécimens variam de acordo com o

tamanho do cristal, mineralogia incomum e cor do cristal. Entre os mais famosos destacam-se os quartzos tipo *laser* (cristais longos na direção do eixo *c*), os cristais “barracados” (cristais cujas linhas de crescimento formam figuras geométricas), cristais tipo *phantom* (cristais com a presença de névoa leitosa originada por impurezas) e um espécimen de hábito raro conhecido como “jacaré” (devido a semelhança com a pele do referido animal). Cristais geminados e biterminados, bem como também cristais solitários, drusas e cristais gigantes também são objetos de cobiça de museus, pesquisadores e colecionadores do mundo inteiro.

ABSTRACT

Minas Gerais (southeast of Brazil), has become a famous place because the varieties of colored stones and rare specimens spread all over their regions, such as *turmaline*, *imperial topaz*, *blue topaz*, *emeralds*, *diamonds*, etc. Even though colored quartz mineral have been least reported as a quality gem material, recent treatment activities involving irradiation and heating processes has focused on quartz as the main raw material of cutters and jewelers of Minas Gerais. However, to acquire a good quality quartz gemstone by irradiation and heating processes, the geological environment where the quartz samples have grown must be taken into account.

Main colored quartz crystals of Minas Gerais such as *amethyst* (violet), *smoky quartz*, *citrine* (yellow to orange colors), reveals their preference for the related pegmatitic or hydrothermal growth environments. *Amethyst*, the violet variety of quartz, seems to be dominant on the hydrothermal environment of the Espinhaço Range, and *smoky quartz* are dominant on the pegmatites veins of the Eastern Brazilian Pegmatitic as well. *Citrine*, the yellow to orange variety appear on both environments, but a sort of brownish- orange citrine seems to be dominant on the pegmatites.

Analysis of geochemistry pattern of colored quartz crystals respectively corroborate these statements as follow; *amethyst* color develops only in iron containing quartz. However, iron alone cannot account entirely for *amethyst* color, it also depends on the OH bands mainly presented by the hydrothermal environment such those of Espinhaço Range. The *smoky* color develops only in aluminum containing quartz. However aluminum alone cannot develop *smoky quartz* color, it also depends on the Lithium content (Li) presented by pegmatitic environment of the Eastern Pegmatitic Brazilian Province. *Citrine* develops a yellow color because its Fe content, and this color is dominant in hydrothermal environments such as those of Espinhaço Range. However, a sort of brownish-orange citrines related to Al-Li contents is dominant in pegmatites of the Eastern Brazilian Pegmatitic Province. *Hyaline quartz* (colorless quartz) of hydrothermal and pegmatitic origin develops yellow, yellowish-orange, green, yellowish-green, *smoky* and brownish-orange colors after enhancement, but violet one have been registered only in quartz samples of hydrothermal origin.

Several mineralogical habits of quartz have been pointed out; for instance, the *jacarezado* quartz which means "the quartz with alligator skin appearance", the *igrejado or barracado quartz* because its growth lines that form church appearance, "phantom" quartz that is related to clouds of milk quartz, "laser quartz", a sort of sharpned quartz, "dog tooth" is na-

med the quartz of medium size that have been put apart of the druse or have grown by itself, and so on.

Enhanced colored quartz gemstone have been spread all over the national and international gem trade. Its abundance in a lot of regions of Minas Gerais will become this state the most important producer of gem quality quartz around the world as soon as their deposits and enhancement get a better knowledge through studies like that.

LEI DE DIREITOS AUTORAI
Todos os direitos reservados e protegidos
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

ÍNDICE
PÁGINA

Agradecimentos.....	iii
Dedicatória.....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	viii
Lista de figuras e tabelas.....	xiv
1- INTRODUÇÃO.....	01
1.1- Considerações gerais.....	01
1.2- Justificativas e objetivos.....	02
1.3- Localização e acesso.....	03
1.4- Metodologia de estudo.....	04
1.4.1- Trabalhos de campo.....	04
1.4.2- Métodos analíticos aplicados.....	05
1.4.2.1- <i>Fluorescência de raios-X</i>	05
1.4.2.2- <i>Espectroscopia de absorção atômica</i>	05
1.4.2.3- <i>Espectrometria de absorção óptica</i>	06
1.4.2.4- <i>Espectroscopia de infravermelho</i>	06
1.4.2.5- <i>Espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica(RPE)</i>	06
1.4.3- Principais tratamentos.....	07
1.4.3.1- <i>Irradiação por raios-γ</i>	07
1.4.3.2- <i>Tratamentos térmicos</i>	07
2- CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	09
2.1- Apresentação e trabalhos anteriores.....	09
2.2- Serra do Espinhaço.....	11
2.2.1- Generalidades.....	11
2.3- O Espinhaço Meridional.....	13
2.3.1- Embasamento Cristalino.....	13
2.3.2- Supergrupo Espinhaço.....	13
2.3.3- Unidades Pós-Espinhaço.....	14

LEI DO DIREITO AUTORAL
Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei nº 9.610/1998.

Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sem a permissão expressa dos
empresários eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

2.4- O Espinhaço Central.....	15
2.5- A Província Pegmatítica Oriental Brasileira.....	17
2.5.1- Características gerais.....	17
2.5.2- Formação Salinas (Grupo Macaúbas).....	18
2.5.3- Granitos tardi- e pós-tectônicos.....	18
3- GEOLOGIA LOCAL.....	20
3.1- Introdução.....	20
3.2- Tipologia dos depósitos de quartzo em Minas Gerais.....	21
3.2.1- Características gerais.....	21
3.2.2- Veios hidrotermais.....	21
3.2.3- Pegmatitos graníticos.....	22
3.2.4- Cavidades preenchidas em basalto.....	22
3.2.5- Aluviões e Coluviões.....	22
3.3- O quartzo da Serra do Espinhaço (Domínio Hidrotermal).....	23
3.3.1- Características gerais.....	23
3.3.2- Depósitos estudados.....	24
3.3.2.1- <i>Quartzo hialino de Batatal (Diamantina)</i>	24
3.3.2.2- <i>Quartzo fumé do Sítio Barra do Pecado (Sopa-Diamantina)</i>	27
3.3.2.3- <i>Morion da Fazenda Recruta (Vitória da Conquista-Bahia)</i>	30
3.3.2.4- <i>Ametista da Fazenda Riacho do Barreiro (Grão Mogol)</i>	32
3.3.2.5- <i>Ametista da Fazenda Sobrado (Felício dos Santos)</i>	36
3.3.2.6- <i>Citrino de São João da Chapada (Diamantina)</i>	38
3.3.2.7- <i>Ametista da Fazenda Rainha (Buenópolis)</i>	40
3.3.3- Gênese primária dos depósitos.....	43
3.4- O quartzo da Província Pegmatítica Oriental Brasileira (Domínio Pegmatítico).....	46
3.4.1- Características gerais.....	46
3.4.2- Depósitos estudados.....	49
3.4.2.1- <i>Quartzo hialino/fumé da Lavra Urubu (Região do rio Piauí, Itinga)</i> ...	49
3.4.2.2- <i>Citrino e quartzo hialino da Lavra Zé de Lincoln (Região do rio Piauí, Itinga)</i>	52
3.4.2.3- <i>Citrino e quartzo fumé da Lavra Teixeira (Taquaral, Itinga)</i>	53

3.4.2.4- <i>Citrino e quartzo hialino da Lavra do Tedi (Rio Jenipapo-Itinga)</i>	55
3.4.2.5- <i>Ametista da Fazenda Itajobi (Pancas-Espírito Santo)</i>	56
3.4.3- Gênese primária dos depósitos.....	58
4- MINERALOGIA	60
4.1- Composição química	60
4.2- Sistema Cristalino	62
4.3- Hábito	63
4.4- Geminação	70
4.5- Tamanho	71
4.6- Cor (Principais variedades coloridas)	72
4.6.1- Quartzo hialino (cristal de rocha)	72
4.6.2- Ametista	73
4.6.3- Citrino	73
4.6.4- Quartzo fumé	74
4.6.5- Quartzo róseo	74
4.6.6- Quartzo verde	75
4.6.7- Quartzo azul	75
4.7- Propriedades gemológicas	77
4.7.1- Ametista	77
4.7.2- Citrino	77
4.7.3- Quartzos fumé e morion	77
5- CAUSAS DE COR	78
5.1- Considerações gerais	78
5.1.1- Íons metálicos	79
5.1.2- Centros de cor	80
5.1.3- Transferência de carga	82
5.1.4- Inclusões minerais	83
5.2- Caracterização química das variedades gemológicas estudadas	84
5.2.1- Fluorescência de raios-X	84
5.2.2- Espectrometria de absorção atômica	85
5.2.3- Espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica	88

	xiii
5.2.4- Espectroscopia de absorção óptica.....	91
5.2.5- Espectroscopia de absorção no infravermelho.....	94
5.3- Influências do ambiente geológico.....	97
5.3.1- Generalidades.....	97
5.3.2- A influência do ambiente geológico na cor do quartzo <i>fumé</i>	98
5.3.3- A influência do ambiente geológico na cor da ametista.....	100
5.3.4- A influência do ambiente geológico na cor do citrino.....	101
6- PRINCIPAIS TRATAMENTOS EM QUARTZO DE MINAS GERAIS.....	103
6.1- Aspectos gerais.....	103
6.2- Irradiação-γ.....	103
6.2.1- Do hialino ao quartzo <i>fumé</i>	103
6.2.2- Do hialino à ametista.....	105
6.2.3- Do hialino ao citrino laranja-amarronzado e amarelo-esverdeado.....	105
6.3- Tratamentos térmicos.....	105
6.3.1- Em ametistas.....	105
6.3.2- Em citrinos.....	106
6.3.4- Em quartzos <i>fumé</i>	107
6.4- As leis, órgãos de controle e o manual de tratamento.....	107
7- ASPECTOS MERCADOLÓGICOS.....	111
7.1- Generalidades.....	111
7.2- Valores agregados ao quartzo gemológicos após tratamentos.....	112
7.3- Perfil analítico das principais variedades de quartzo gemológico de Minas Gerais.....	1114
7.3.1- Perfil analítico da ametista.....	114
7.3.2- Perfil analítico do citrino.....	116
7.3.3- Perfil analítico dos quartzos <i>fumé</i> e <i>morion</i>	119
7.3.4- Espécimens de coleção.....	120
7.4- Valores agregados à jóias de ouro com variedades gemológicas de quartzo..	121
7.5- Estatísticas referentes ao setor gemológico mineiro.....	122
8- CONCLUSÕES.....	123
9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125

LEI DO DIREITO AUTORAL
 Todos os direitos reservados e protegidos
 pela Lei 9.610/1998.
 Este arquivo não pode ser reproduzido ou
 transmitido seja qual for os meios
 empregados: eletrônicos, mecânicos,
 fotográficos ou quaisquer outros.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Página

Figura 1- Mapa de localização e acesso das áreas de estudo. O quadro menor em destaque refere-se a localização mais precisa dos corpos pegmatíticos estudados nas regiões dos rios Jenipapo, Taquaral e Piauí.....	03
Figura 2- Subdivisões da Serra do Espinhaço segundo quatro domínios principais; Espinhaço Meridional, Espinhaço Central, Espinhaço Setentrional e Chapada Diamantina (modificado de Chaves, 1997).....	12
Figura 3- Geologia da Serra do Espinhaço em suas porções meridional e central. (modificado do Projeto Espinhaço (1997).....	16
Figura 4- A Província Pegmatítica Oriental Brasileira e seu contexto geológico (adaptado de Correia Neves <i>et al.</i> , 1986).....	17
Figura 5- Principais domínios onde são encontrados depósitos de quartzo gemológico em Minas Gerais- A Serra do Espinhaço (domínio de quartzos hidrotermais) e a Província Pegmatítica Oriental Brasileira (domínio de quartzos pegmatíticos).....	20
Figura 6- Mapa Geológico da Região de Batatal- Diamantina (modificado de Chaves <i>et al.</i> , 1997).....	25
Figura 7- Lavras de quartzo da Região de Batatal (Diamantina). A lavra Mané-boi (a frente) apresenta variedades de quartzo <i>fumé</i> e quartzo hialino boas para tratamento, além de apresentar peças de coleção conhecidas na região como quartzo igrejado. Lavra do Quartéis (ao fundo), apresenta as mesmas variedades coloridas. Ambas fazem parte do mesmo veio de quartzo.....	26
Figura 8- Detalhes de quartzos <i>fumé</i> da lavra Mané-Boi (Batatal-Diamantina).....	26
Figura 9- Mapa Geológico da Região de Sopa (modificado de Chaves <i>et al.</i> , 1985), mostrando a localização da Lavra do Sítio Barra do Pecado.....	28
Figura 10- Vista geral da lavra de quartzo do Sítio Barra do Pecado (Sopa-Diamantina).....	29
Figura 11- Detalhe em amostras de quartzo <i>fumé</i> do sítio Barra do Pecado (Sopa-Diamantina).....	29
Figura 12- Mapa geológico da região de Vitória da Conquista (BA).....	31
Figura 13- Afloramento de veios de quartzo <i>morion</i> da Fazenda Recruta (Vitória da Conquista-BA).....	32
Figura 14 – Mapa geológico da região de Grão Mogol, mostrando a localização das duas ocorrências de ametistas (superior e inferior).....	34
Figura 15- Detalhe do veio da lavra de ametista da Fazenda Riacho do Barreiro (Grão Mogol).....	35
Figura 16- Drusa de quartzo da lavra Riacho do Barreiro em Grão Mogol, já esbranquiçado devido a exposição ao sol tendo assim perdido sua cor original violeta. Traços da cor original violeta ainda podem ser observados nas laterais da amostra.....	35
Figura 17- Mapa geológico da região de Felício dos Santos, mostrando a lavra de ame-	37

tista da Fazenda Sobrado (Felício dos Santos).....	
Figura 18 – Amostras de ametista da Fazenda Sobrado (Felício dos Santos), caracterizadas por uma grande estabilidade de sua cor.....	38
Figura 19 - Mapa geológico da região de São João da Chapada (modificado de Almeida-Abreu, 1982), mostrando a localização da lavra Morro do Chapéu.....	39
Figura 20 - Detalhe do veio de quartzo do depósito que produziu o citrino em São João da Chapada.....	40
Figura 21 - Mapa geológico da região de Buenópolis, mostrando a lavra de quartzo da Fazenda Rainha(modificado de Noce&Fogaça, 1996).....	41
Figura 22 - Vista geral da lavra, tipo coluvionar da Fazenda Rainha (Município de Buenópolis).....	42
Figura 23 - Quartzos levemente arroxeados, irradiados com raios gama a partir do quartzo hialino da Fazenda Rainha. As pedras possuem respectivamente 20, 37 e 60 quilates.....	42
Figura 24 – Ametista de Buenópolis irradiada, pesando aproximadamente 60 quilates, e apresentando cor aceita comercialmente.....	43
Figura 25 - Detalhe mostrando o zoneamento dos veios de grande porte da Serra do Espinhaço: a zona central cristalizada, a zona maciça e a zona brechóide.....	44
Figura 26 - Diagrama esquemático da solubilidade do quartzo em água pura, sob um gradiente geotermobárico de 35°C e 300 bar por quilômetro (Fyfe <i>et al.</i> , 1978).....	44
Figura 27 - Gênese e zoneamento dos veios hidrotermais da Serra do Espinhaço. A- Figura representativa da Serra do Espinhaço Meridional e Central em três dimensões, com os veios de quartzo mostrado em branco (sem escala). B- Diagrama esquemático das zonas de solubilidade do quartzo e sua conseqüente migração para as zonas mais permeáveis relativas a falhamentos. C- Zoneamento dos veios de quartzo, 1-Zona de borda, 2-Zona brechóide, 3-Zona maciça, 4- Zona central (mais cristalina).....	45
Figura 28 - A Província Pegmatítica Oriental Brasileira dentro do território mineiro e seus campos pegmatíticos principais (adaptado de Queménéur <i>et al.</i> , 1993).....	47
Figura 29 - Mapa geológico das regiões do rios Jenipapo, Taquaral, e Piauí (trecho Itinga-Araçuaí). A colocação dos corpos pegmatíticos deu-se concordantemente ao plano da xistosidade e fraturas (modificado de Costa, 1987). Em detalhe, fotografia da seção delgada do cordierita-xisto da Formação Salinas.....	48
Figura 30 - Detalhe do contato do veio pegmatítico da lavra Urubu, com os xistos da Formação Salinas região de Taquaral (Itinga).....	51
Figura 31 - Quartzos <i>fumé</i> originados a partir da irradiação de quartzo hialino do Pegmatito Urubu, mostrando que a saturação da cor é total.....	51
Figura 32 - Detalhe da entrada da lavra pegmatítica Zé de Lincoln, Taquaral (Itinga).....	52
Figura 33 - Vista da entrada da Lavra Teixeira, localizada na região de Taquaral (Itinga).	53
Figura 34 - Quartzos <i>fumé</i> e laranja-amarronzados naturais, provenientes da Lavra Teixeira.....	54
Figura 35 - Espécimen de coleção conhecido como quartzo “jacaré”, caracterizada por duas fases distintas de cristalização, uma de quartzo <i>fumé</i> com feições de corrosão e uma base de quartzo leitoso. Espécimen típico da Lavra Teixeira. A peça possui dimensões 80cm de comprimento x 45cm de largura.....	54
Figura 36 - Espécimen de coleção proveniente da lavra do Tedi (região do Jenipapo),	55

- tratando-se de um citrino laranja-amarronzado, com feições do quartzo tipo "jacaré".....
- Figura 37**– Amostra de ametista de coloração muito intensa da lavra da Fazenda Itajobi (Pancas-ES)..... 56
- Figura 38**- Mapa geológico da região de Pancas-Espírito Santo (modificado de Fontes et al., (1978))..... 57
- Figura 39**- Geração de corpos pegmatíticos a partir de soluções residuais enriquecida em elementos raros, que se acumulam na cúpula dos granitos "G5" e que migram para cima devido ao alívio de pressão. O quartzo encontra-se preferencialmente associado ao núcleo pegmatítico..... 59
- Figura 40**- Desenho esquemático do campo pegmatítico de Itinga, cuja origem dos pegmatitos onde os mesmos estariam relacionado a suite granítica "G5", Pedrosa-Soares et al. (1997). Detalhes do zoneamento do corpo também são ressaltados à direita..... 59
- Figura 41**- Impurezas mais comuns em cristais de quartzo colorido e que atuam diretamente na cor. Os elementos sódio e potássio estão relacionados principalmente a quartzos sintéticos (Rossman, 1994)..... 61
- Figura 42**- A morfologia dos cristais de quartzo direito e esquerdo. As faces menores são *x*, *y* e *z* que localizam-se a esquerda do observado no quartzo esquerdo e a direita no quartzo direito..... 62
- Figura 43**- Típico quartzo esquerdo da lavra do Sítio Barra do Pecado, em Sopa-Diamantina (o cristal maior na drusa)..... 63
- Figura 44**- Cristais biterminados de quartzo proveniente da Serra do Espinhaço e da Província Pegmatítica Oriental Brasileira..... 65
- Figura 45**- Drusa de quartzo tipo *laser* comum em lavras da região do Espinhaço Meridional..... 65
- Figura 46**- Cristais isolados de quartzo *fumé* comumente conhecido como "dentes-de-cão" ou "polegar" (*thumbnail*)..... 66
- Figura 47**- Quartzo "igrejado" ou "barracado" de coloração *fumé*. Feição formada pela intercessão das linhas de crescimento do cristal..... 66
- Figura 48**– Quartzo fantasma ou *phanton quartz*, assim denominado devido a grande quantidade de impurezas presentes no interior do cristal, o que lhe confere um aspecto nevoado de cor branca leitosa..... 72
- Figura 49**- Drusa mostrando cristais de quartzo oblato, típicas de algumas regiões da Serra do Espinhaço..... 67
- Figura 50** – Quartzo "jacaré" ou "jacarezado" típico de regiões da Província Pegmatítica Oriental Brasileira". O cristal apresental duas fases de cristalização uma leitosa e outra *fumé*..... 68
- Figura 51**– Quartzo "jacaré" em detalhe, ressaltando as feições de corrosão existente na porção *fumé*. Espécimen de dimensões: comprimento 25 cm x 15 de largura..... 68
- Figura 52** – Cristal "jacaré" mostrando um cristal maior de cor branco leitoso desenvolvido em uma primeira fase de cristalização e um segunda fase *fumé* desenvolvida em temperatura menores que o cristal anterior. Cristal bastante apreciado por colecionadores..... 69
- Figura 53** – Detalhe do quartzo "jacaré" mostrando cristais menores intercrescido na

porção *fumé*. Tais cristais são indicativos que esta fase se cristalizou em temperaturas menores que o cristal maior de cor branco leitoso. Espécimen de dimensões: comprimento 30cm x 12 de largura.....

Figura 54- Tipos de Geminações comuns em cristais de quartzo de Minas Gerais. a) Geminação tipo Brasil, b) Geminação do Delfinado, c) Geminação tipo "Lei do Japão" (adaptado de Dana, 1969).....

70

Figura 55 – Geminação penetrativa incomum em quartzo *fumé*, porém bastante observada nos quartzos da Serra do Espinhaço. Os dois indivíduos se interpenetram definindo desta maneira um plano irregular de geminação. Dimensões da amostra: comprimento dos cristais aproximadamente 2,5 cm x 2 cm de largura.....

71

Figura 56– Cristais de quartzos "gigantes" de cor branca leitosa, proveniente da lavra Urubu, na região da Província Pegmatítica Oriental Brasileira.....

72

Figura 57- Variedades gemológicas de quartzo encontradas em Minas Gerais, e cujas cores podem ser intensificadas por tratamentos térmicos, ou adquiridas a partir da irradiação de alguns tipos raros de quartzo incolores.....

76

Figura 58- Espectro Electromagnético. O quartzo absorve comprimento de ondas dentro da faixa dos espectros; visível e ultravioleta, infravermelho. O espectro visível abrange área que vai de 375nm a aproximadamente 740nm.....

78

Figura 59- Desenho esquemático do espectro de absorção de luz por uma gema. Quando um cristal absorve a luz, os elétrons são levados de um nível de energia baixo (estado de repouso), para um nível de energia maior (estado de excitação). Por último, esta energia é perdida quando o elétron volta ao seu estado de repouso dissipando esta energia sob a forma de calor ou através de luminescência que seria por sua vez a emissão da luz propriamente dita (Fristch & Rossman, 1987).....

79

Figura 60– Modelo esquemático da aquisição de cor *fumé* pelo quartzo. a) quartzo sem compensadores (ideal), b) quartzo após a compensação e c) quartzo após irradiação natural ou artificial (adptado de O'brien, 1955).....

81

Figura 61- Modelo esquemático da aquisição da cor violeta pelo quartzo. Em a) o quartzo sem substituições ou impurezas (ideal), em b) os principais compensadores, o Li, e o (OH), em c) após a irradiação a transferência de carga entre Fe^{3+} e O^{2-} ocorre em ambientes hidrotermais onde a compensação é do OH, em ambientes pegmáticos quase não há transferência de carga, pois o principal compensador neste caso é o lítio.....

83

Figura 62- Quartzo azul mostrando em detalhes as agulhas de turmalina azul (indicolita), como seu principal causador da cor

84

Figura 63– Espectro de RPE em ametista da Fazenda Riacho do Barreiro (Grão Mogol) e seus principais compensadores (Li^+ , H^+) após a substituição do Si^{4+} pelo Fe^{3+}

95

Figura 64- Espectro de análise por RPE em citrinos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira (Campo de Itinga).....

96

Figura 65- Espectros de análises por RPE de quartzo *fumé* mostrando os centros de $[Al/OH]^0$ compensados por $[Al/Li]^0$. A) RPE em amostras de quartzo *fumé* sem aquecimento, B) RPE em amostra aquecida a 250°K.....

90

Figura 66- Espectros de RPE usados na distinção entre gemas naturais e tratadas.....

dimensões = 23.5 mm x 30.0 mm, peso = 86 quilates, preço= US\$780.30.....	
Figura 82- Minerais de coleção comumente observados na região norte de Minas Gerais.....	120
Figura 83- Gemas das variedades coloridas de quartzo acopladas à jóias de ouro.....	121
Tabela 1: Estratigrafia do Supergrupo Espinhaço, segundo Almeida-Abreu (1993).....	14
Tabela 2 - Análise por fluorescência de raios-X de quartzos de regiões da Serra do Espinhaço e Província Pegmatítica Oriental Brasileira.....	85
Tabela 3. Conteúdo de Fe, Al, Li, Na e K em ppm, observados em ametistas, citrinos e quartzos <i>fumé</i> naturais.....	87
Tabela 4- Símbolos usados no comércio para diferenciar gemas de quartzo tratadas ou não tratadas.....	108
Tabela 5- Variedades de coloridas de quartzo e seus valores após tratamento.....	112
Tabela 6 - Avaliação de preços de ametistas, segundo o guia gemológico americano <i>Michelsen Gemstone Index</i>	113
Tabela 7- Avaliação de preços de citrinos, segundo o guia gemológico americano <i>Michelsen Gemstone Index</i>	117
Tabela 8- Produção do setor joalheiro de Minas Gerais em 1999 (fonte: IBGM).....	122
Tabela 9- Metas das exportações brasileiras do setor de gemas e jóias.....	122

1 – INTRODUÇÃO

1.1- Considerações gerais

Grandes quantidades de quartzos coloridos, cujas cores foram melhoradas ou adquiridas totalmente por irradiação e/ou subsequentes tratamentos térmicos, estão sendo atualmente comercializadas em joalherias e revendedores de gemas nacionais e internacionais. São principalmente ametistas (variedade de cor violeta), citrinos (variedade de cor amarela e laranja), quartzos *fumé e morion* (variedades cinza-escura e preta, respectivamente).

A recente aceitação por gemas tratadas deu início busca de “fórmulas” para o simples melhoramento ou total mudança da cor em quartzos provenientes de diversas regiões do Estado de Minas Gerais e também de estados vizinhos. Porém, estes tratamentos na maioria das vezes são considerados empíricos por não possuírem nenhuma base física que seria de fundamental importância para o melhor entendimento do processo de aquisição da cor por este mineral. Assim sendo, o resultado do tratamento em gemas de quartzo, nem sempre é o esperado. Diante deste fato, esta dissertação pretende contribuir entre outras coisas, com o amplo tema “causa de cor em gemas” em particular da gemas de quartzo, mostrando não somente os detalhes do tratamento deste mineral, mas a influência que o ambiente geológico de crescimento do cristal pode ter em tais processos de beneficiamento. Para estas caracterizações, dois grandes e distintos ambientes geológicos do Estado de Minas Gerais foram usados como áreas-base: a Província Gemológica Oriental Brasileira, onde os veios são predominantemente de origem pegmatítica, e a Serra do Espinhaço cujos veios são na sua maioria de origem hidrotermal.

Sob o ponto de vista mercadológico, após tratamento adequado o quartzo pode agregar valores da ordem de 400%. Isto significa dizer que 1 quilate de quartzo incolor ou levemente colorido, quando lapidado e sem tratamento, normalmente é vendido por US\$2,00 no comércio regional e de outras partes do país passaria a custar US\$8,00 após ser tratado.

Uma outra modalidade de comércio que lida apenas com quartzos de mineralogia incomum ou seja espécimens de coleção, também é capaz de agregar valores ao Estado, pois os mesmos são objetos de desejo de museus, colecionadores e pesquisadores do mundo inteiro como por exemplo; os quartzos gigantes da região de Araçuaí, os quartzos *laser* da região de Diamantina, as drusas cristalizadas de quartzo róseo de Governador Valadares, os quartzos geminados, igrejos e biterminados da região de Batatal e Sopa (Diamantina), o quartzo “jacaré” da região do Taquaral etc. As lavras deste tipo de material juntamente com as lavras de quartzo cujo material é beneficiável por tratamento térmico e irradiações, certamente contribuirão com a constante produção de gemas para o setor gemológico-joalheiro de Minas Gerais, e conseqüentemente tornará este estado um dos maiores produtores de quartzo gemológico do mundo.

1.2- Justificativas e Objetivos

Vários são os motivos da escolha do quartzo como mineral base deste estudo, dentre eles destacam-se:

- Abundância de quartzo gemológico em Minas Gerais com cores fracas, bem como expressiva presença de quartzos hialinos (incolors) que porventura adquirem cores violeta (ametista), amarelo, laranja-amarelado, verde-amarelado e laranja-amarronzado (citrinos), verde (prasiolita) e *fumé*, após tratamento por irradiação e/ou tratamento térmico;
- Mineral de fácil tratamento para melhoramento de sua cor. O tratamento deste mineral quando comparado com o de outro, apresenta necessidades de baixas doses de radiação e de temperatura ;
- Grande procura por joalheiros, pedristas, e revendedores de gemas em geral por variedades coloridas de quartzo devido aos seus preços relativamente baixos.

Como objetivos principais desta dissertação podemos destacar:

- Caracterização da influência geológica na aquisição da cor de gemas de quartzo provenientes de pegmatitos e de depósitos hidrotermais;
- Proporcionar um melhor entendimento das técnicas de tratamento aplicadas às gemas de quartzo para melhoramento ou mudança total de suas cores;
- Caracterização mineralógica e gemológica das principais variedades coloridas de quartzo provenientes de pegmatitos e depósitos hidrotermais visando o uso de um material de melhor qualidade por parte de joalheiro e pedristas em geral;
- Ressaltar uma maior aplicabilidade dentro do mercado de gemas, para as gemas coloridas de minerais de quartzo;
- Melhor conhecimento da tipologia do ambiente geológico de depósitos beneficiáveis de quartzo, para descoberta de lavras futuras.

Em síntese, serão observados nesta dissertação a influência de ambientes primários pegmatítico e hidrotermal quanto a formação de variedades coloridas de quartzo para o melhor entendimento das técnicas de tratamento úteis ao mercado gemas coloridas de minerais de quartzo. Este melhoramento de qualidade quanto a cor e estabilidade poderá proporcionar também um bom entendimento entre o dono da lavra (produtor), o pedrista (vendedor que compra na lavra), e o consumidor (principalmente joalheiros e comerciantes de pedras em geral que não tem contato direto de compra na lavra, revendedor), bem como o melhor conhecimento da geologia de áreas que contenha quartzos tratáveis por irradiação e tratamento térmico, afim de que possam ser descobertas novos depósitos com estas mesmas características no Estado de Minas Gerais.

1.3- Localização e acesso

O presente estudo abrange áreas localizadas principalmente na porção centro-norte e nordeste do Estado de Minas Gerais. O acesso geral a ela, partir de Belo Horizonte, pode ser feito através das rodovias BR-040 e BR-135 indo até a cidade de Curvelo de onde toma-se a rodovia BR-259 até a cidade de Diamantina. As cidades de Araçuaí e Itinga e seus arredores podem ser alcançadas pela BR-367 (figura 1) a partir desta última cidade.

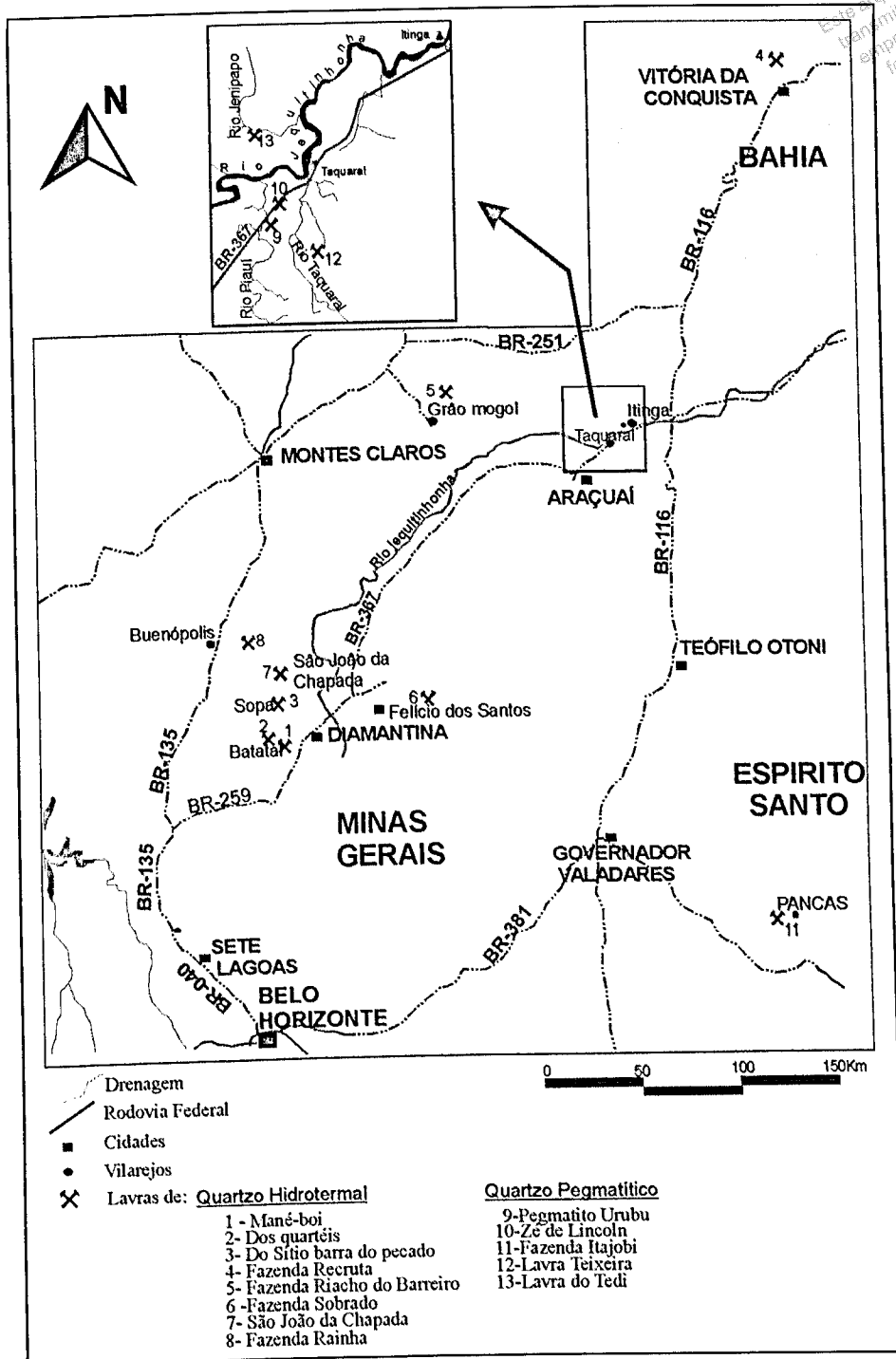


Figura 1- Mapa de localização e acesso das áreas de estudo. O quadro menor em destaque refere-se a localização mais precisa dos corpos pegmatíticos estudados nas regiões dos rios Jenipapo, Taquaral e Piauí.

1.4- Metodologia de estudo

O trabalho subdividiu-se basicamente em duas etapas: os trabalhos de campo e os trabalhos de laboratório. Esta última etapa por sua vez dividiu-se no uso de métodos analíticos aplicados (fluorescência de raios-X, absorção atômica e óptica, infravermelho e ressonância paramagnética eletrônica) e principais tratamentos por irradiação- γ e aquecimento.

1.4.1- Trabalhos de campo

Foram selecionadas um total de 13 lavras, sendo 8 lavras em regiões pertencentes à Serra do Espinhaço e outras 5 lavras localizadas nos domínios da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. As observação de campo incluíram respectivamente:

- Posicionamento adequado de cada lavra de quartzo realizadas por GPS (Sistema de Posicionamento Global);
- Descrição da tipologia dos depósitos, dimensionamento dos corpos, mineralogia associada e controles exercidos por planos de fraquezas;
- Descrição dos contatos do corpo mineralizado com diferentes litologias;
- Coleta de amostras típicas de quartzo em ambientes pegmatítico e em ambiente hidrotermal para posterior correlação entre os mesmos.

Para os estudos referentes ao ambiente hidrotermal, coletou-se amostras de quartzos gemológicos em regiões da Serra do Espinhaço, mais precisamente em áreas localizadas nos arredores da cidade de Diamantina (Batatal, Sopa e São João da Chapada), em Felício dos Santos, além de Buenópolis (porção sul da Serra do Cabral) e Grão Mogol (Espinhaço Central). Vale ressaltar que também foi registrada uma única lavra na região de Vitória da Conquista (Estado da Bahia) apenas para efeito comparativo.

Para o estudo referente ao ambiente pegmatítico, as amostras de quartzo gemológico foram coletadas dentro da Província Pegmatítica Oriental Brasileira, em regiões pertencentes ao distrito pegmatítico de Araçuaí (Campo pegmatítico de Itinga), mais precisamente em pegmatitos dos arredores dos rios Piauí, Jenipapo e Taquaral localizados no trecho que vai de Araçuaí a Itinga (NNE do Estado de Minas Gerais). Vale ressaltar que também foram registradas amostras de quartzo em um pegmatito pertencente também a Província Pegmatítica Oriental Brasileira, porém localizada em Pancas (Espírito Santo), pois trata-se de uma ametista muito escura e dentro de um ambiente pegmatítico, o que é incomum. As principais variedades gemológicas de quartzo amostradas, embora a maioria delas apenas levemente coloridas, são principalmente amostras de ametista, citrino, quartzos *fumé e morion* e quartzos hialinos. Amostras gemológicas de quartzo róseo, e de um raro quartzo azul foram também coletadas, porém o escopo principal deste trabalho envolve apenas as principais variedades mencionadas anteriormente.

1.4.2- Métodos analíticos aplicados

Todos os resultados analíticos mencionados neste trabalho foram obtidos a partir de espécimens coloridos e hialinas de quartzos- α (de baixa temperatura), macrocristalinos, não sendo assim levado em consideração os polimorfos, as variedades microcristalinas e fibrosas, e também os quartzos de alta temperatura, ou do tipo β .

1.4.2.1- Fluorescência de raios-X

Esta técnica apresenta vantagens no que diz respeito a detecção de elementos maiores em quartzo como o Si. No que se refere a elementos menores que ocorrem dentro da estrutura cristalina do quartzo, ou seja impurezas em quartzo como o ferro, o alumínio e lítio imprescindíveis para uma boa caracterização da cor, esta análise está sendo experimental. A técnica de funcionamento está baseado na excitação dos elétrons que provocam a emissão de radiação dos elementos químicos (espectros de raios-X). Assim sendo, é possível identificar e estimar a concentração dos elementos numa dada amostra a partir da radiação produzida.

As amostras utilizadas neste tipo de investigação, foram pulverizadas e prensadas numa pastilha de 30mm de diâmetro, seguida de uma calcinação para obtenção de uma análise quantitativa da concentração de seus óxidos. Tais testes foram realizados no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e no Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa (CPMTC), ambos localizados no campus da Universidade Federal de Minas Gerais.

1.4.2.2- Espectrometria de absorção atômica

As principais impurezas presentes no quartzo e que possuem relações diretas com as causas de cor, como o ferro (Fe), o alumínio (Al) e o lítio (Li) foram analisadas por espectrometria de absorção atômica, usando um espectrometro modelo AA-670 Shimadzu. Esta técnica analítica rápida, versátil e precisa, cujo limite de detecção é da ordem de ppbs (parte por bilhão) apresenta redução das influências de prováveis inclusões fluidas. Os limites de detecção do Fe, e Al é da ordem de 0.11, enquanto que o do Li, encontra-se aproximadamente a 0.009. Trata-se portanto de uma das melhores técnicas usadas para o conhecimento quantitativo das impurezas em gema de quartzo, necessário para uma melhor caracterização da real causa de cor neste mineral..

As amostras foram previamente pulverizadas nos laboratórios do CPMTC e enviadas ao laboratório do Departamento de Física da Universidade de Campinas, onde foram realizadas as análises.

1.4.2.3- Espectroscopia de absorção óptica

Técnica que permite a caracterização do grau de absorção dos comprimentos de onda da luz visível. Neste trabalho esta técnica serviu para a notificação do grau de escurecimento das principais variedades gemológicas de quartzo de Minas Gerais medidos em cm^{-1} .

As análises de absorção foram realizadas sob luz polarizada, e temperatura ambiente, nos laboratórios de física da Universidade Federal de Goiás, em aparelho do tipo *DMS- Intralab- Varian Spectrometer*. As amostras foram previamente preparadas no laboratório de laminação do CPMTC, onde pequenas lamínulas de quartzo de tonalidades diferentes e dimensões $3 \times 2 \times 6 \text{mm}$ foram fabricadas paralela e perpendicularmente ao eixo-*c* dos cristais e usadas como base nas medições. Tais lâminas foram previamente preparadas a partir de amostras de quartzo provenientes da Serra do Espinhaço e da Província Pegmatítica Oriental Brasileira, para eventuais comparações entre estas duas regiões no que diz respeito a influência do ambiente geológico na causas de cor em gemas de quartzo.

1.4.2.4- Espectroscopia de infravermelho

A espectroscopia de infravermelho permite a detecção da presença de impurezas de Hidrogênio que são detectadas através de espectros correspondentes às bandas OH ou de água molecular H_2O , em regiões de 3.400 cm^{-1} do espectro. A correta caracterização destas impurezas facilitará o entendimento da causas de cor em citrinos e ametistas, que ainda são verdadeiras incógnitas para físicos e geocientistas.

Os espectros de absorção no infravermelho (FT-IR infravermelho por transformada de Fourier) foram obtidos por um espectrofotômetro do tipo BOMEM/HARTMANN & BRAUN, modelo MB100C23, pertencente ao CECOR/ Belas Artes/UFMG. Para as medições, utilizou-se uma célula de diamante, modelo SPG466- *diamond anvil cell for microbeam*, juntamente com uma câmara sob atmosfera inerte com nitrogênio gasoso. Os espectros foram tomados na região de 5.300 a 250 cm^{-1} , com uma resolução de 4 cm^{-1} . As leituras das bandas foram obtidas por meio do *software Win-Bomem Easy*, versão 3.01C. As amostras analisadas por infravermelho foram previamente pulverizadas nos laboratórios do CPMTC.

1.4.2.5- Espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (RPE)

O RPE, como é comumente conhecido, pode detectar os "centros de cor", ou seja, defeitos na estrutura cristalina do quartzo, na ordem de 10^{11} a 10^{12} , o que significa uma sensibilidade 1000 vezes maior, quando comparado com a absorção óptica, no que diz respeito a detecção de centros que produzem cores fortes (bandas de transferência de carga), e 100.000 na detecção de centros produzidos por íons metálicos isolados. Conseqüentemente, o RPE pode detectar centros paramagnéticos em quartzos

que estão presentes em tão baixas concentrações, mas que possuem grande efeito sobre a cor do mineral. Devido raramente ser possível relatada a concentração absoluta em estudos de RPE, torna-se difícil a correlação dos resultados da absorção óptica com estudos de RPE. Apesar das limitações quantitativas, esta técnica analítica tem provado que é um dos métodos mais informativos usado na determinação da origem da cor em quartzos.

As amostras para as análises por RPE foram previamente preparadas no laboratório de laminação do CPMTC, onde pequenas lamínulas de quartzo de tonalidades diferentes e incolores de dimensões 3x2x6mm foram fabricadas paralelamente e perpendicularmente ao eixo-c dos cristais e usadas como base nas medições realizadas no laboratório de ressonância paramagnética dos Departamentos de Física das Universidades de Goiás e Minas Gerais.

1.4.3- Principais tratamentos

1.4.3.1- Irradiação por raios- γ

Amostras de quartzos hialinos e de quartzos levemente coloridos, lapidados, foram submetidos a irradiação- γ , que usa como fonte radioativa o cobalto-60. Sabendo-se que grande parte dos quartzos gemológicos possuem sua causa relacionada a irradiação natural presente nos depósitos, esta técnica é considerada comercialmente viável, pois não há mudanças significativas na estrutura cristalina do mineral. A irradiação- γ e tratamentos térmicos aplicados em laboratório à uma gema constituem-se em uma prática não prejudicial a saúde e honesta no que se refere ao comércio de gemas.

A irradiação- γ aplicada às amostras de quartzos desta dissertação foi realizada sob temperatura ambiente, por aproximadamente 20 horas e uma dose em média de 1×10^6 Roentgen/h. As amostras foram irradiadas em parte no CDTN e parte na empresa paulista EMBRARAD, ambas usando uma célula irradiadora comumente conhecida por *gammacell*. No entanto a capacidade em litros da irradiadora e dosagens de irradiação a que foram submetidas as amostras foram superiores na empresa EMBRARAD, chegaram a aproximadamente 90Mrad, enquanto que no CDTN a dose adsorvida pelas amostras não ultrapassaram 174.000Gray.

1.4.3.2-Tratamentos térmicos

É considerado um dos mais antigos tratamentos em gemas, porém em conjunto com a irradiação proporciona ótimos resultados. Os quartzos desta dissertação que foram submetidos a tratamento térmico, já encontravam-se coloridos naturalmente ou artificialmente pela irradiação. Deste modo, amostras de ametistas, citrinos e *fumé* foram submetidas a este processo de tratamento visando as seguintes caracterizações: 1- Estabilidade da cor adquirida- caracterização da temperatura e tempo de perda da cor nas variedades gemológicas de quartzo mencionadas anteriormente; 2- Caracterização das mudanças de

cor ocorridas durante o tratamento térmico. Em geral quartzos *fumé* podem transformar-se em ametistas, citrinos, e se a temperatura for muito elevada, existirá o completo desbotamento da gema; 3- Filtragem de cores indesejadas como por exemplo, tons *fumé* em citrinos naturais que tornam a gema comercialmente menos aceitável. Neste caso estes tons podem ser retirados por aquecimento, sem que o laranja do citrino desapareça; 4- Filtragem da saturação na cor provocada pela irradiação, ou seja, grande partes das gemas irradiadas saturam na cor, tornando-se escuras. Tal escurecimento pode ser filtrado através de um minucioso e adequado tratamento térmico. O tratamento térmico foi realizado, usando-se espécimens lapidados em vários formatos, em forno elétrico do tipo mufla digital de propriedade do CPMTIC. Vale ressaltar que a temperatura não ultrapassou 600°C, para não mudar as características mineralógicas do α -quartzo.

2-CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1- Apresentação e trabalhos anteriores

A Serra do Espinhaço e a Província Pegmatítica Oriental Brasileira têm sido objeto de estudo de diversos pesquisadores do Brasil e do mundo, porém poucos trabalhos têm sido realizados tomando como ponto de partida os depósitos de quartzo. Dentre os autores que fizeram importantes relatos sobre a geologia dos depósitos, mineralogia, e produção de quartzo para fins óptico e gemológicos em Minas Gerais, destacam-se;

Moraes (1937) relata a existência de várias lavras de quartzo hialino na região do Espinhaço, ressaltando a aplicabilidade desta variedade de quartzo principalmente na indústria óptica.

Scorza (1946) ressalta em seu trabalho a farta disseminação de veios de quartzo na Serra do Cabral (apêndice a oeste da Serra do Espinhaço Meridional) e sua aplicabilidade na confecção de objetos ornamentais e de adorno.

Deve-se a Renger (1968) a primeira tentativa de estabelecer a gênese dos veios de quartzo leitoso do Espinhaço Meridional, ressaltando que os mesmos são de origem hidrotermal.

Em 1972, a companhia Ligas de Alumínio S/A – LIASA inicia a produção de silício metálico, utilizando como matéria prima o quartzo leitoso lavrado em regiões pertencentes as cidades de Gouveia e Curvelo. A liga foi produzida até novembro de 1976. Essa nova e pouco conhecida aplicação do quartzo trouxe a região de Gouveia uma procura acentuada aos veios de quartzo leitoso, até então sem interesse econômico.

Cassedane (1973) relata numerosos espécimens de quartzo preto (*morion*) nas proximidades de Vitória da Conquista, e sua importância como objeto de exportação.

Carvalho (1982) apresenta em seu trabalho de mestrado um enfoque maior a respeito da geologia e gênese das mineralizações de quartzo no espinhaço meridional, onde o autor descreve um zoneamento para os veios de quartzo do Espinhaço meridional de grandes dimensões. Neste sentido, a porção mais central destes veios gigantes seria composta quase que totalmente por quartzo hialinos euédricos.

Cassedanne & Roditi (1991) caracterizam a tipologia dos depósitos de quartzo róseo maciço e cristalizados existentes no Brasil, em particular aos da Província Pegmatítica Brasileira (campo pegmatítico de Governador Valadares). Os autores enfatizam que a ocorrência desta variedade gemológica de quartzo é exclusiva dos veios de origem pegmatítica.

Chaves *et al.* (1997) ressaltam a importância dos quartzo da Serra do Espinhaço meridional (região de Batatal- Diamantina) como uma das maiores produtoras de espécimens de quartzo, muito apreciados por colecionadores devido sua mineralogia distinta, como por exemplo os quartzos; *phanton*, *laser*, “dente-de-cão” e “barracados”.

César-Mendes *et al.* (1998) descreve uma grande jazida de ametista no Estado de Minas Gerais, localizada na Serra do Sudário (Zona da Mata). O presente autor caracteriza o ambiente de crescimento desta ametista como sendo de caráter hidrotermal, e a classifica como possuidora de qualidade gemológica semelhante a famosa ametista de Pau d'Arco (Epstein, 1988).

Karfunkel *et al.* (1998) relatam ocorrência de ametistas no Espinhaço Central, principalmente na região de Grão Mogol (Serra da Bocaina). Segundo os autores a ametista de Grão Mogol como ficou conhecida é um dos espécimens mais curiosos cientificamente, pois a cor violeta da mesma é de uma foto-instabilidade tão grande que em poucos dias ocorre seu desbotamento quase que total.

Chaves *et al.* (1999) fazem referências a respeito da tipologia dos depósitos de quartzo com qualidade gemológica em Minas Gerais, onde os mesmos estariam relacionados a quatro ambientes principais; (1) veios hidrotermais, (2) veios pegmatíticos (3) cavidades em basaltos e (4) aluviões e coluviões. Segundo os autores, nestes ambientes são encontradas as variedades hialina, ametista, citrino, rósea, *fumé*, *morion* e um raro espécimen de coloração azulada.

Kahwage (2000) em sua Dissertação de Mestrado, ressalta a existência de um quartzo citrino cuja cor pode ser melhorada por irradiação e tratamento térmico, na região de Itinga.

2.2- Serra do Espinhaço

2.2.1- Generalidades

O nome “Espinhaço” é conhecido na literatura geológica atual por três diferentes conceitos: o geográfico, o estratigráfico e o geodinâmico (Schobbenhaus, 1993).

A Serra do Espinhaço foi o conceito geográfico criado originalmente por Eschwege (1822) para representar o sistema orográfico longo e estreito que distribui-se desde o Quadrilátero Ferrífero próximo a Belo Horizonte até os limites dos estados de Piauí e Pernambuco, cortando todo o Estado da Bahia.

O termo Supergrupo Espinhaço, refere-se ao conceito estratigráfico empregado originalmente por Draper (1920) e Moraes-Rego (1931) para caracterizar o conjunto de unidades que ocorrem no contexto da Serra do Espinhaço.

O termo Ciclo Espinhaço refere-se ao conceito geodinâmico empregado apenas por parte dos pesquisadores que acreditam na existência de um evento tectono-metamórfico anteriormente ao Ciclo Brasileiro, porém o ponto central desta polêmica reside na dificuldade de caracterizar com clareza as deformações nas unidades do Supergrupo Espinhaço anteriores ao evento brasileiro, deste modo este assunto controverso ainda necessita de maiores esclarecimentos.

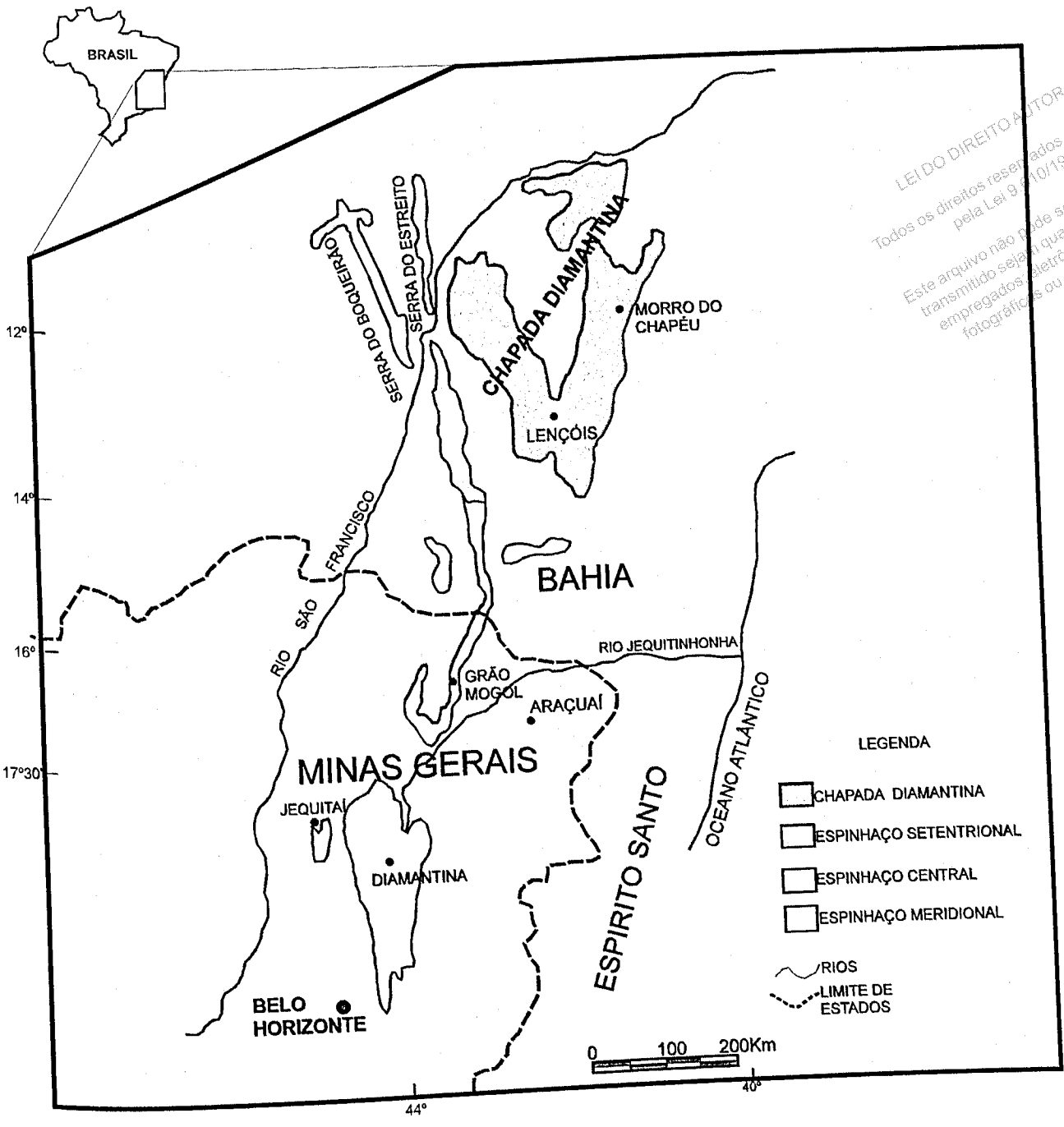
A Serra do Espinhaço apresenta mais de 1000 km de extensão, e largura média em torno de 20Km, subdividindo-se principalmente em quatro domínios principais: Espinhaço Meridional, Espinhaço Central, Espinhaço Setentrional, e Chapada Diamantina (figuras 2 e 3).

1- Espinhaço Meridional - Segundo Schobbenhaus (1993), corresponde a porção da Serra do Espinhaço que se encontra entre os paralelos 17°30' e 20°S e 43° e 44° E;

2- Espinhaço Central - Corresponde ao domínio da Serra do Espinhaço entre o paralelo 17° 30' até o fechamento do anticlinório Itacambira-Porteirinha;

3- Espinhaço Setentrional - O domínio Espinhaço Setentrional estende-se pela região central da Bahia, aproximadamente desde o paralelo 14°S, até o norte daquele estado, onde se subdivide em dois longos e estreitos ramos, as Serras do Boqueirão e do Estreito;

4- Chapada Diamantina – O domínio da Serra do Espinhaço que corresponde a Chapada diamantina esta totalmente em território baiano. Seus limites estão compreendidos entre o paralelo de 14° e 12°30'S.



LEI DO DIREITO AUTORAL
Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido seja por quaisquer meios
empregados, eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

Figura 2- Subdivisões da Serra do Espinhaço segundo quatro domínios principais; Espinhaço Meridional, Espinhaço Central, Espinhaço Setentrional e Chapada Diamantina (modificado de Chaves, 1997).

2.3- O Espinhaço Meridional

É expressivamente representado por uma seqüência de baixo grau metamórfico, essencialmente psamítico-pelítica, de origem continental e marinha, com vulcanismo bimodal na base, apresentando espessura de alguns milhares de metros. Em área isolada a noroeste do setor meridional, essa seqüência também pode ser observada em áreas da Serra do Cabral. Os fluxos de paleocorrentes indicam proveniência de oeste dos sedimentos continentais basais. A área fonte acha-se atualmente coberta por sedimentos mais jovens do Proterozóico Superior (grupos Macaúbas e Bambuí), sobre os quais as unidades do Espinhaço foram em grande parte empurradas por efeito da Orogênese Brasileira.

Os trabalhos iniciados por R. Pflug na Serra do Espinhaço meridional na década de 1960, lançaram as bases para o conhecimento da estratigrafia e geologia estrutural dessa região. Os estudos do referido geólogo influenciaram toda uma geração de pesquisadores, através da execução de inúmeras teses de doutorado e de trabalhos sistemáticos executados através do Centro de Geologia Eschwege, em Diamantina, cuja criação foi idealizada pelo mesmo.

Sínteses desses estudos e da evolução dos conhecimentos anteriores foram publicadas em diversos trabalhos por esse autor e seus colaboradores, destacando-se Pflug (1965, 1968), Pflug & Renger (1973), Pflug *et al.* (1980), Herrgesell & Pflug (1986). Outras sínteses e novos conceitos em escala regional são apresentados por Marshak & Alkmim (1989), Uhlein (1991), Almeida-Abreu (1993), entre outros.

2.3.1- Embasamento Cristalino

Expõe-se em vários locais, recobrimdo em discordância estrutural, metamórfica e erosiva um embasamento essencialmente granito-gnáissico referido como granito de Gouveia, além de xistos e quartzitos relacionados ao Supergrupo Rio Paraúna (Fogaça *et al.*, 1984). Datações geocronológicas indicam que as unidades do embasamento Pré-Espinhaço são de idade arqueana (Machado *et al.*, 1989) (figura 3).

2.3.2- Supergrupo Espinhaço

A estratigrafia clássica do Supergrupo Espinhaço proposta por Pflug (1968) comporta oito unidades: São João da Chapada, Sopa-Brumadinho, Galho do Miguel, Santa Rita, Córrego dos Borges, Córrego da Bandeira, Córrego Pereira e Rio Pardo Grande, respectivamente da base para o topo. Posteriormente, Dossin *et al.* (1984, 1990) reuniram as três formações inferiores no "Grupo Diamantina", e assim como as cinco formações superiores no "Grupo Conselheiro Mata". Considerando a evolução e o contexto deposicional das formações do Supergrupo Espinhaço, Dossin *et al.* (1984) dividiram as oito formações de Pflug (1968) em dois grupos distintos. As três formações inferiores foram englobadas no Grupo Diamantina e as cinco formações superiores no Grupo Conselheiro Mata. Entretanto, Knauer

(1990) e Almeida-Abreu (1993) sugeriram a substituição da denominação Grupo Diamantina por Grupo Guinda (tabela 1).

Tabela 1: Estratigrafia do Supergrupo Espinhaço, segundo Almeida-Abreu (1993).

SUPERGRUPO ESPINHAÇO			
GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	ESPESSURA (metros)
Conselheiro Mata	9. Rio Pardo Grande	Filitos, quartzitos, localmente dolomitos	60 - 1000?
	8. Córrego Pereira	Quartzitos (puros, micáceos ou feldspático), localmente filitos	250
	7. Córrego Bandeira	Quartzitos e filitos	100 - 200
	6. Córrego dos Borges	Quartzitos (puros ou micáceos), localmente metabrechas e metaconglomerados quartzíticos	100
	5. Santa Rita	Filitos, subordinadamente quartzitos	100 - 250
Guinda	4. Galho do Miguel	Quartzitos, localmente níveis de filitos	500 - 3000?
	3. Sopa Brumadinho	Quartzitos, metaconglomerados poli- ou monomíticos, filitos, e filitos hematíticos	0 - 250
	2. São João da Chapada	Quartzitos (médios a grosseiros, puros micáceos), filitos hematíticos, metaconglomerados e metabrechas	0 - 300
	1. Bandeirinha	Quartzitos puros ou micáceos, metaconglomerados, e (subordinado) localmente metabrechas e filitos	0 - 200

2.3.3- Unidades Pós-Espinhaço

São basicamente coberturas neoproterozóicas do Cráton do São Francisco, que compreendem basicamente o Grupo Bambuí, e pequenas áreas do Grupo Macaúbas no extremo norte do Estado. Pflug & Renger (1973) reuniram estas unidades no Supergrupo São Francisco.

O Grupo Bambuí, devido a sua grande extensão constitui a principal unidade neoproterozóica no Cráton do São Francisco (figura 3). A subdivisão litoestratigráfica geralmente adotada para esta unidade litoestratigráfica compreende, da base para o topo, as formações Três Marias, Serra da Saudade, Lagoa do Jacaré, Serra de Santa Helena e Sete Lagoas (Pedrosa-Soares *et al.*, 1994).

O Grupo Macaúbas foi originalmente descrito como formação por Moraes (1929,1937), e detalhado por Karfunkel *et al.* (1985) (figura 3). Noce *et al.* (1997), adotaram uma divisão litoestratigráfica para o Grupo Macaúbas com base na presença de variações faciológicas regionais, separando assim seus sítios de ocorrência em setores Ocidental, Centro-Meridional e Oriental. O Setor Ocidental corresponde a faixa do Grupo Macaúbas limitada a oeste pelo Grupo Bambuí e a leste pela Serra do Espinhaço Setentrional estando representado pela Formação Serra do Catuni e Duas Barras. O Setor Centro-Meridional compreende a região entre Itacambira e Couto de Magalhães de Minas, é composto pelas

formações Duas Barras, Domingas e Serra do Catuni. O Setor Oriental abrange toda faixa do Grupo Macaúbas a leste da Serra do Espinhaço, incluindo as Formações Rio Peixe Bravo, Nova Aurora, Terra Branca, Salinas e Capelinha.

2.4- Espinhaço Central

Na porção central da Serra do Espinhaço (figura 3) a litoestratigrafia ainda é pouco definida devido aos escassos trabalhos desenvolvidos nesta região.

Karfunkel & Karfunkel (1977), mapeando a área ao sul da cidade de Grão Mogol observaram que existe dificuldades quanto ao reconhecimento das formações clássicas de Pflug (1968). Estes autores admitiram uma subdivisão estratigráfica local, de validade a ser discutida em trabalhos futuros. Foram definidas as formações: Itacambiruçu, Resplandecente, Água Preta e Matão, da base para o topo.

Os perfis de detalhe levantados em Chaves (1997) confirmam a citada dificuldade de correlação imediata das unidades quartzíticas de Grão Mogol com aquelas da região de Diamantina. A concepção estratigráfica proposta por Karfunkel & Karfunkel (1977), mostrou-se em linhas gerais válida, porém os estudos demonstraram a existência de uma discordância erosiva pronunciada no meio desta sequência, permitindo assim a separação em duas unidades distintas, aqui designadas Formação Resplandecente e Formação Grão Mogol.

A Formação Resplandecente é composta por uma sucessão monótona de quartzitos com a presença generalizada de estratificações cruzadas de grande porte e alto ângulo. Excelentes afloramentos estão expostos nas margens do Rio Itacambiruçu, onde ocorrem *sets* cruzados com até 10m de espessura. Existem também bonitas exposições no Ribeirão do Inferno, que atravessa Grão Mogol, assim como na estrada de acesso à cidade (Chaves, 1997). Quartzitos com características muito semelhante ocorrem continuamente em direção ao sul, sempre no mesmo posicionamento estratigráfico, até a região de Itacambira-Botumirim, onde Karfunkel & Karfunkel (1977) reconheceram previamente a Formação Resplandecente. As características litológicas, assim como a associação de fácies presentes nesta unidade, permitem relacioná-las a um ambiente eólico.

Chaves (1997) reúne as formações Água Preta e Matão descritas por Karfunkel & Karfunkel (1977) na região de Itacambira, na Formação Grão Mogol. A mesma é constituída por um conglomerado basal diamantífero que ocorre em numerosos locais na área entre Cristália e Grão Mogol, e por quartzitos sobrepostos concordantemente. Além de seus posicionamentos distintos, foram observadas algumas diferenças entre os conglomerados Sopa e Grão Mogol. Apesar de ambos serem sustentados pelo grão, os conglomerados que ocorrem na faixa Itacambira-Grão Mogol apresentam um largo predomínio de clastos de quartzitos finos, provavelmente como consequência do retrabalhamento da Formação Resplandecente, sendo raríssimo os seixos de quartzo. A espessura da sequência quartzítica

oscila em torno de 80 a 100m, e as principais estruturas sedimentares são estratificações cruzadas de baixo ângulo, além de marcas de onda. As fácies sugerem que tais rochas foram depositadas provavelmente em ambiente fluvial entrelaçado.

Vale ainda ressaltar que o Espinhaço Setentrional e a Chapada Diamantina não fazem parte do arcabouço geológico em foco nesta dissertação e, por este motivo, detalhes sobre seus domínios geológicos regionais não serão mostrados.

LEI DE DIREITO AUTORAL
 Todos os direitos reservados e protegidos
 pela Lei 9.610/96
 Este arquivo não pode ser reproduzido ou
 transmitido sejam quais forem os meios
 empregados: eletrônicos, mecânicos,
 fotográficos ou quaisquer outros.

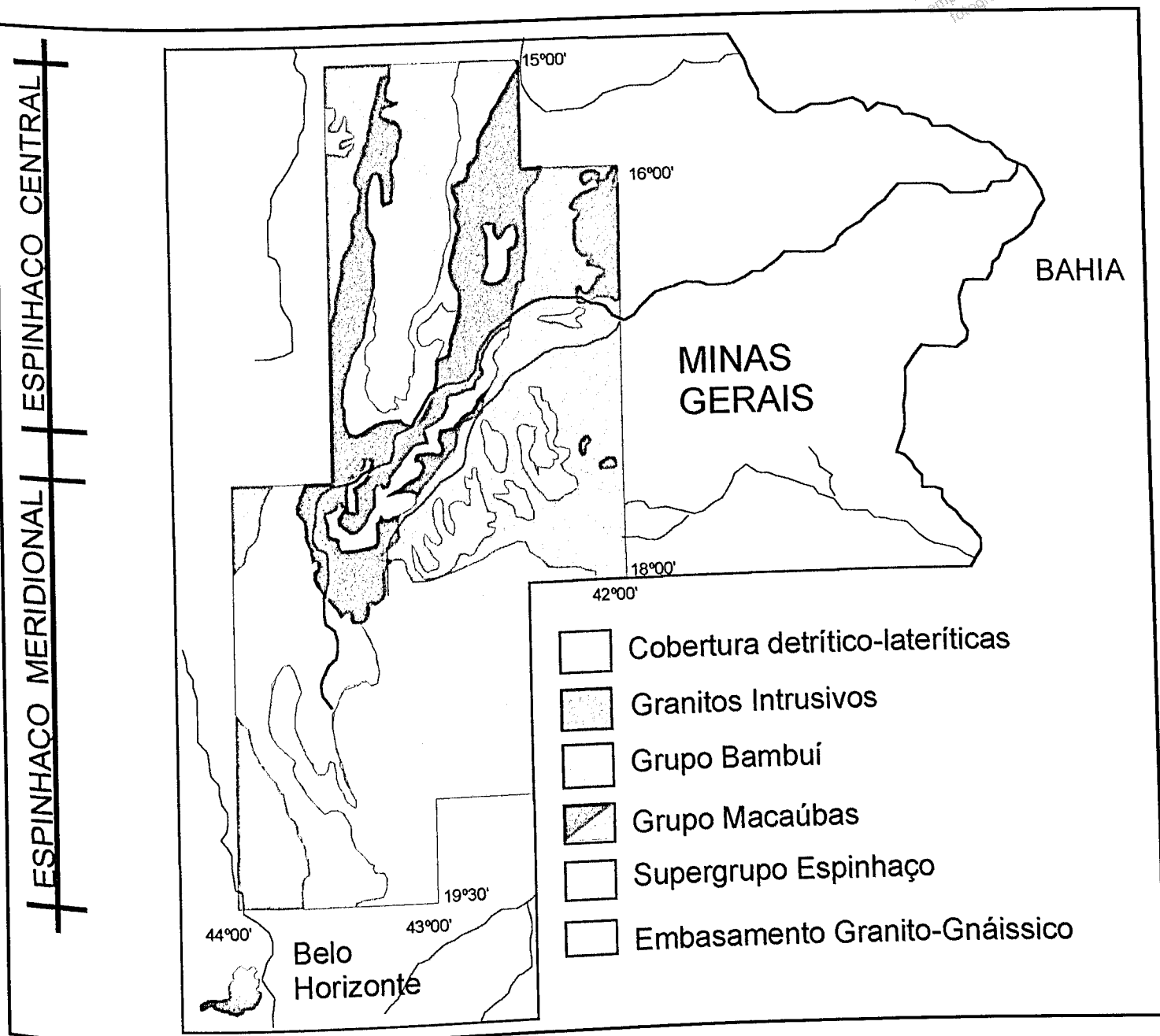


Figura 3- Geologia da Serra do Espinhaço em suas porções meridional e central (fonte: Projeto Espinhaço, 1997).

2.5- Província Pegmatítica Oriental Brasileira

2.5.1- Características Gerais

A Província Pegmatítica Oriental Brasileira ocupa uma enorme faixa com cerca de 800km de extensão por 100 a 150km de largura, estendendo-se de NNE para SSW ao longo da parte oriental do Estado de Minas Gerais (figura 4).

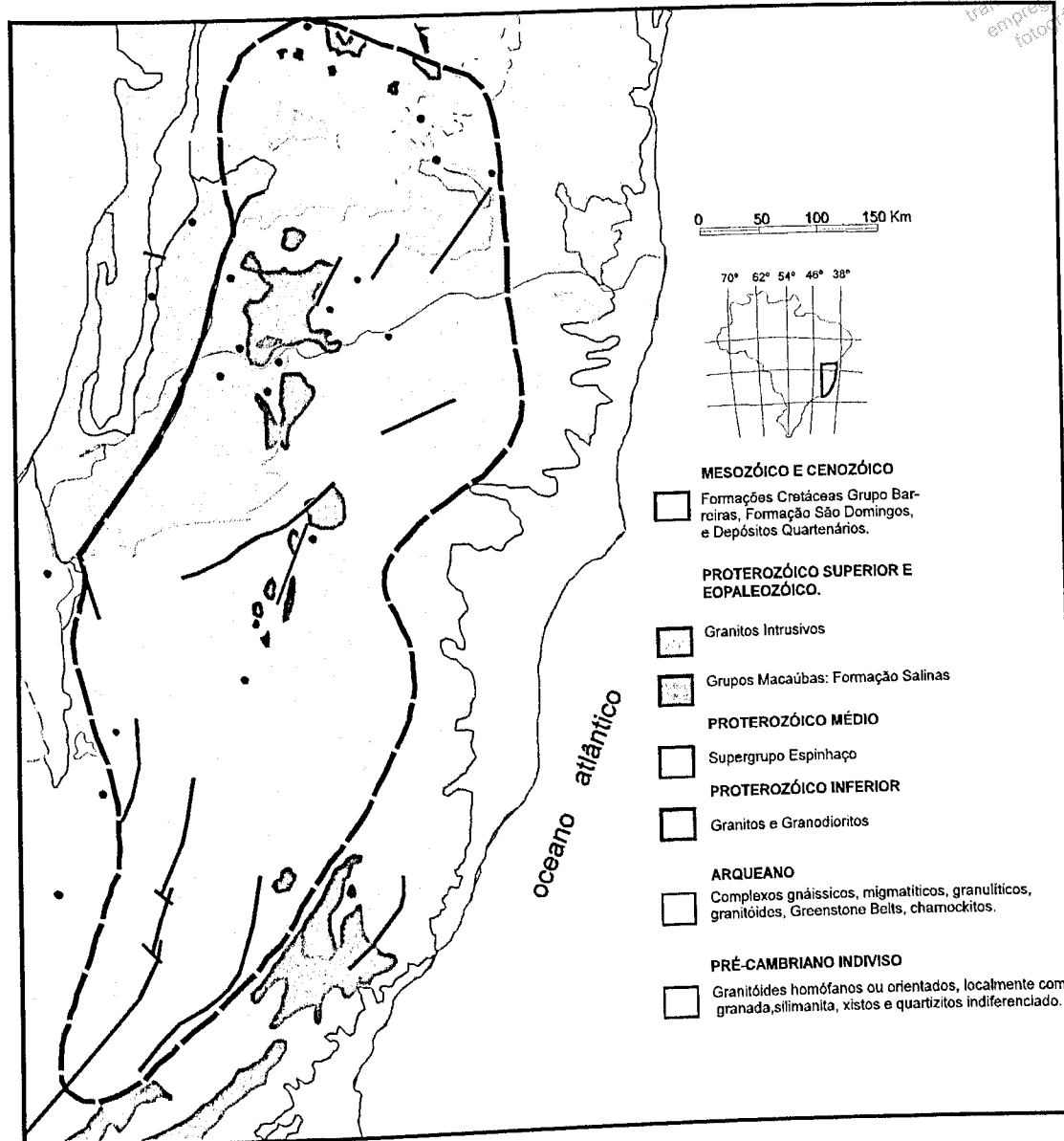


Figura 4- A Província Pegmatítica Oriental Brasileira no seu contexto geológico (adaptado de Correia-Neves *et al.*, 1986).

O posicionamento geológico dos pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira ocorreu em unidades cujas idades vão do Arqueano até possivelmente ao Proterozóico Superior. Uma grande concentração destes pegmatitos encontra-se também no chamado "Pré-cambriano indiviso" (figura 4), constituída por granitóides orientados, metapelitos e metapsamitos (Correia Neves, 1986).

A Faixa de Dobramentos Araçuaí é considerada como a mais importante unidade geotectônica no contexto geológico desta província pegmatítica, sendo uma região de idade brasileira (650-500 Ma), que delimita em parte a borda nordeste do Cráton do São Francisco.

2.5.2- Formação Salinas (Grupo Macaúbas)

A porção da Faixa Araçuaí aflorante dentro da Província Pegmatítica Oriental Brasileira Minas Gerais corresponde principalmente à rochas metamórficas supracrustais de idade originalmente neo-proterozóica pertencente a Formação Salinas do Grupo Macaúbas (Supergrupo São Francisco) que foram retrabalhadas durante o Ciclo Brasileiro (Correia-Neves *et al.*, 1986).

A Formação Salinas como parte integrante do Grupo Macaúbas deve-se aos trabalhos de Pedrosa-Soares (1990, 1992). Tal formação é constituída principalmente por uma monótona sucessão de quartzo-mica xistos e mica xistos, geralmente bandados, refletindo uma variação composicional e granulométrica rítmica, além de xistos carbonáticos, grafita xistos, metagrauvascas e metaconglomerados associados e intercalações de rochas calcossilicatadas pouco espessas.

2.5.3-Granitos tardi- e pós- tectônicos

O núcleo da faixa Araçuaí gerada durante o evento Brasileiro (650-500Ma) é composto por vários batólitos graníticos intrusivos os quais foram estudados por diversos autores, tais como Sá (1977), Pedrosa-Soares (1987,1997), Costa (1987), Correia Neves *et al.* (1987).

Estes corpos foram caracterizados como corpos sintectônicos (650-600 Ma), tarditecônicos (600-550 Ma) e pós-tectônicos (550-500 Ma). Os de caráter pós-tectônico e tardi-terctônicos seriam os principais responsáveis pela geração de pegmatitos, estes sendo portanto granitos oriundos da fusão de sedimentos (Granitos tipo-"S"), ricos em elementos que dão origem aos pegmatitos gemíferos (Pedrosa-Soares, 1997). Os granitos derivados da fusão de rochas ígneas mantélicas (Granitos Tipo-"T"), seriam estéreis quanto a formação de pegmatitos mineralizados e seriam considerados como granitos sintectônicos

As características de colocação dos corpos, relações de contato, assembléias mineralógicas, assinaturas geoquímicas e mineralizações associadas levaram Pedrosa-Soares *et al.* (1997) a caracterizarem cinco diferentes suítes graníticas:

Suíte G1- São granitos do tipo-“S”, porém gerados durante o evento deformacional-metamórficos brasileiro. A foliação gnáissica presente nestas rochas segue o *trend* da Faixa Araçuaí, indicando que a cristalização ocorreu durante o evento deformacional. Alguns corpos foram datados pelo método Rb-Sr, sendo obtidas idades em torno de 655-591 Ma (Pedrosa-Soares *et al.*, 1997);

Suíte G2- A geoquímica destas rochas sugere que se tratam de corpos metaluminosos do tipo-“I” (Carvalho & Pereira, 1997). Foi observado que regionalmente os corpos desta suíte se apresentam foliados e com características dúcteis de deformação, o que sugere que estes foram gerados sintectonicamente (Pinto *et al.*, 1997);

Suíte G3- Apesar de serem considerados tardi-tectônicos, os mesmos não são capazes de gerar pegmatitos gemíferos devido as suas dimensões reduzidas, composta por uma série de pequenos corpos de leucogranitos colocados em grandes áreas migmatíticas do domínio G1. A profusão de estruturas tipo “fantasmas”, assim como nebulíticas remanescentes de metassedimentos, revelam a natureza dia-texitica dos corpos. As idades obtidas através do método U-Pb, a partir de zircões obtidos de silimanita-granada-biotita migmatitos, indicam que o processo anatético ocorreu por volta de 590 ± 28 Ma;

Suíte G4- São granitóides do tipo “I” e provavelmente são originários da porção inferior da crosta continental com contribuição mantélica. Idades obtidas pelo método Rb-Sr, para o batólito Santo Antônio do Jacinto e para o *stock* Guaratinga indicam idade entre 582 e 575 Ma;

Suíte G5- São essencialmente biotita granitos tipo “S”, ou seja, originados da fusão de sedimentos e cuja migração do líquido residual rico em elementos como Li, Be, e F, etc. para as porções mais superiores destas rochas deram origem a cúpulas enriquecidas em tais elementos ou a uma nova fácies do granito, designada de pegmatóide. É a partir desta fácies enriquecidas em tais elementos que os líquidos residuais migram para zonas de fraturas dando origem aos pegmatitos propriamente ditos.

Os biotita granitos possuem textura equigranular, gradando localmente a subporfirítica com fenocristais de feldspato potássico. Os corpos leucograníticos são produtos metassomáticos dos biotita granitos (Pedrosa-Soares *et al.*, 1997). Próximo a porção superior dos plútons durante a formação da fácies pegmatóide a moscovita gradualmente substitui a biotita e microclina, gerando leucogranitos de granulação fina a duas micas ou com moscovita e granada (Pedrosa-Soares *et al.*, 1997).

Siga Jr. (1986) obteve idades em torno de 525 ± 30 Ma para os corpos da suíte G5. Granitos com estas características são observados nas porções entre Itinga e Araçuaí, Coronel Murta e Salinas no nordeste mineiro.

3- GEOLOGIA LOCAL

3.1- Introdução

Os principais depósitos de quartzos hialino e coloridos do Estado de Minas Gerais que possuem qualidade gemológica encontram-se inseridos em dois grandes contextos geológicos, a saber: a Serra do Espinhaço (domínio de quartzos hidrotermais) e a Província Pegmatítica Oriental Brasileira (domínio de quartzos pegmatíticos) (figura 5).

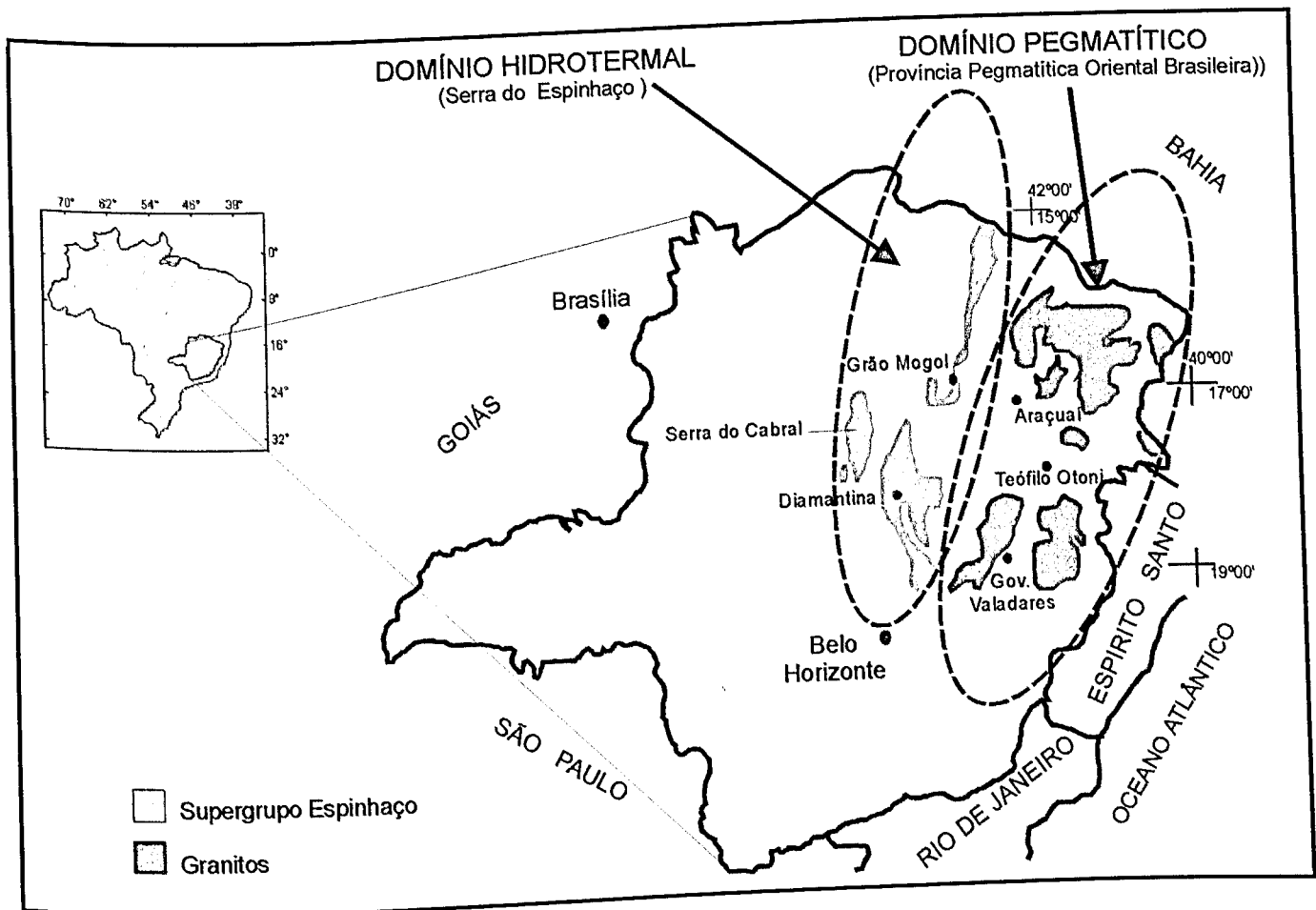


Figura 5- Principais domínios onde são encontrados depósitos de quartzo gemológico em Minas Gerais – a Serra do Espinhaço (domínio de quartzos hidrotermais) e a Província Pegmatítica Oriental Brasileira (domínio de quartzos pegmatíticos).

3.2-Tipologia dos depósitos de quartzo em Minas Gerais

3.2.1- Características gerais

Nos cenários geológicos nacional e mundial, Minas Gerais se destaca como o maior produtor de quartzo, incluindo suas variedades gemológicas. Depósitos de quartzo gemológico, objetivo do presente estudo, apresentam-se em quatro ambientes geológicos principais: **(1) veios hidrotermais, (2) pegmatitos graníticos, (3) cavidades em basalto e, (4) aluviões e coluviões.** Em tais ambientes, encontram-se as variedades hialina, ametista, citrino, róseo, azul, *fumé* e *morion* (Chaves *et al.*, 1999).

Apesar da região Sul do Brasil (Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina) e parte do Uruguai, apresentarem gemas de quartzo, principalmente ametistas associadas a geodos, no Estado de Minas Gerais e outros estados brasileiros carentes em derrames vulcânicos, as variedades coloridas de quartzo estão principalmente relacionadas aos ambientes pegmatíticos e hidrotermais. Por outro lado, ocorrências de variedades levemente coloridas ou incolores que aceitem tratamentos por irradiação e tratamentos térmicos têm sido notificadas em depósitos secundários. De fato, aluviões e coluviões de diversas regiões de Minas Gerais, constituem um tipo de depósito intensamente procurado por geólogos, gemólogos e garimpeiros, devido ao valor comercial do material produzido.

3.2.2- Veios hidrotermais

As maiores jazidas de veios hidrotermais em Minas Gerais ocorrem na Serra do Espinhaço, encaixadas em filitos e quartzitos do Supergrupo Espinhaço. Entre as ocorrências já registradas no domínio hidrotermal podemos destacar: 1- A ametista da Fazenda Sobrado (Felício dos Santos), de coloração muito acentuada, que encontra-se em veios concordantes com micaxistos de posicionamento stratigráfico ainda discutido. 2- Nas proximidades de Diamantina, alguns veios fornecem citrino claro, como em São João da Chapada e Batatal. 3- A principal jazida de *morion* do Brasil, localizada na Fazenda Recruta (Vitória da Conquista, Bahia), que encontra-se atualmente paralisada. 4- A famosa jazida de ametista de Montezuma, típica por seus cristais que tornam-se verdes após aquecidos ("prasiolita"). 6- Os cristais incomuns de ametistas da Fazenda Riacho do Barreiro (Grão Mogol) que desbotam em poucos dias. 7- Os cristais de quartzos *fumé* e *morion* de Sopa (Diamantina), entre diversos outros depósitos. Os detalhes sobre a gênese destes veios serão dados posteriormente.

3.2.3- Pegmatitos graníticos

Os pegmatitos graníticos do nordeste do estado se caracterizam pela presença de um amplo espectro de minerais gemológicos e de coleção, e nos seus núcleos muitas vezes aparecem variedades gemológicas de quartzo. Citrinos ocorrem amplamente, como próximo de Taquaral (Itinga). Ametista escura, pouco comum, aparece principalmente em alguns corpos perto de Teófilo Otoni e em Pancas (Espírito Santo). O quartzo róseo existe com exclusividade em pegmatitos (Cassedanne & Roditi, 1991), normalmente em massas leitosas, ou de forma rara como drusas de cristais muito reduzidos, como nas lavras Laranjeira e da Ilha (Itinga).

3.2.4- Cavidades preenchidas em basaltos

Ametista e ágata ocorrem em geodos preenchendo cavidades em basaltos, na região de Monte Alegre de Minas (Triângulo Mineiro). Aparentemente são depósitos similares às famosas jazidas de ametista/ágata do Rio Grande do Sul, ainda que muito mais restritas.

3.2.5- Aluviões e coluviões

Depósitos aluvionares e coluvionares de quartzo são pouco comuns em Minas Gerais. Em Batatal (Diamantina), quartzo hialino é explorado em coluviões adjacentes a morrotes quartzíticos. Nestes últimos, são típicas as *flashstones*, quando os cristais de quartzo mostram sulcos originados pela ação de raios. Em garimpos aluvionares de diamante, são frequentes os achados de seixos de quartzo hialino ou amarelado, comercializados para lapidação. Em Buenópolis, quartzos hialinos presentes em depósitos coluvionares, atualmente em lavra, podem ser tratados por irradiação transformando-se em ametistas.

3.3- O quartzo da Serra do Espinhaço (Domínio Hidrotermal)

3.3.1- Características gerais

Os veios de quartzos coloridos do Espinhaço Meridional e Central encontram-se inseridos principalmente em quartzitos e filitos do Supergrupo Espinhaço. São veios de dimensões métricas até quilométricas que ocorrem praticamente em toda a região e que se encontram condicionados principalmente a falhamentos inversos de alto ângulo. Os veios de menor porte são maciços, constituídos essencialmente de quartzo leitoso, não cristalizado, sendo que apenas os veios mais potentes, apresentam o quartzo perfeitamente hialino que pode vir a ser tratado por irradiação e tratamento térmico.

É comum a presença de quartzo de ambientes primários sob grandes depósitos coluvionares e aluvionares, fazendo com que seja estabelecida a seguinte regra “toda vez que se encontra o cascalho (depósito secundário) e se escava de maneira a atravessá-lo até atingir a rocha firme, é

3.3- O quartzo da Serra do Espinhaço (Domínio Hidrotermal)

3.3.1- Características gerais

Os veios de quartzos coloridos do Espinhaço Meridional e Central encontram-se inseridos principalmente em quartzitos e filitos do Supergrupo Espinhaço. São veios de dimensões métricas até quilométricas que ocorrem praticamente em todo a região e que se encontram condicionados principalmente a falhamentos inversos de alto ângulo. Os veios de menor porte são maciços, constituídos essencialmente de quartzo leitoso, não cristalizado, sendo que apenas os veios mais potentes, apresentam o quartzo perfeitamente hialino que pode vir a ser tratado por irradiação e tratamento térmico.

É comum a presença de quartzo de ambientes primários sob grandes depósitos coluvionares e aluvionares, fazendo com que seja estabelecida a seguinte regra “toda vez que se encontra o cascalho (depósito secundário) e se escava de maneira a atravessá-lo até atingir a rocha firme, é quase certo que esta esteja cortada por veios primários de quartzo” (Scorza, 1946). Tal regra é de fundamental importância não somente para desvendar a gênese do quartzo hialino que adquire cores após tratamentos adequados, como também para prospecções futuras de lavras que contenham este tipo de material. Nas bordas da Serra do Espinhaço, normalmente a garimpagem ocorre de início em depósitos coluvionares, indo até a parte eluvial e finalmente no próprio veio. Assim, os depósitos coluvionares da Serra do Espinhaço constituem a mais nova fonte de ametistas com qualidades gemológicas do Estado de Minas Gerais.

Este estudo englobou descrições de depósitos primários, como em Grão Mogol, Diamantina, Felício dos Santos e Vitória da Conquista, assim como depósitos coluvionares como em Batatal e Buenópolis.

3.3.2-Depósitos estudados

3.3.2.1- *Quartzo hialino de Batatal (Diamantina)*

Em relação à região de Batatal, a mesma é conhecida desde longa data como uma das maiores produtoras de quartzo hialino da Serra do Espinhaço. O pequeno povoado de Batatal está localizado a cerca de 30 km a oeste da cidade de Diamantina, centralizando uma área onde a quase totalidade da população se dedica à extração do mineral. Durante a década de 1950, a lavra das Cruzetas, a leste do vilarejo, produziu uma grande quantidade de citrinos de ótima qualidade comercial.

A geologia e os depósitos de quartzo de Batatal foram recentemente estudados por Chaves *et al.* (1997). O Supergrupo Espinhaço nesta região é constituído pelas formações Galho do Miguel (quartzitos), Santa Rita (metapelitos), Córrego dos Borges (quartzitos), Córrego da Bandeira (metapelitos) e Córrego Pereira (quartzitos). Essa variedade composicional favoreceu a formação de inúmeros veios de quartzo, a maior parte deles preferenciando as zonas de contato entre as diversas formações.

Duas lavras ativas e próximas foram detalhadas na área, ambas ao sul de Batatal, designadas localmente de lavra dos Quartéis (GPS 18°18'24"S e 43°51'27"W) e lavra do Mané-Boi (GPS 18°18'09"S e 43°51'24"W) (figura 6 e 7). Elas se situam na zona de contato dos quartzitos da Formação Galho do Miguel (a leste) com os filitos e metassiltitos da Formação Santa Rita (a oeste). As atitudes dos acamamentos orientam-se entre NS-N10°E/25-40°W ou NW, coaxiais porém discordantes da xistosidade (NS-N10°E/70-90°E ou SE). Os veios preferenciam os planos de xistosidade, porém apresentam numerosas ramificações que se amoldam também nos planos de acamamento.

Ambas as lavras se situam sobre um mesmo veio, que na área constitui uma típica estrutura "em rosário". Nesta estrutura, o veio alcança espessuras variáveis entre 0,3 até 10 m, como no caso da lavra dos Quartéis; na lavra do Mané-Boi a espessura do veio é inferior a 4 m. A primeira lavra está fornecendo drusas para coleção de grande porte, porém como muitas vezes apresentam partes com um colorido rosado "sujo", sua comercialização torna-se prejudicada. Na Mané-Boi, no entanto, são produzidas além de drusas, quartzo do tipo "igrejado", onde se observam internamente diversas de suas linhas de crescimento preenchidas com material branco (determinado como caulinita por DRX) e quartzo *fumé* (figura 8). Pelo porte atual das lavras, estima-se que elas devam ter produzido algo em torno de 200 ton de quartzo, a maior parte de material para coleção.

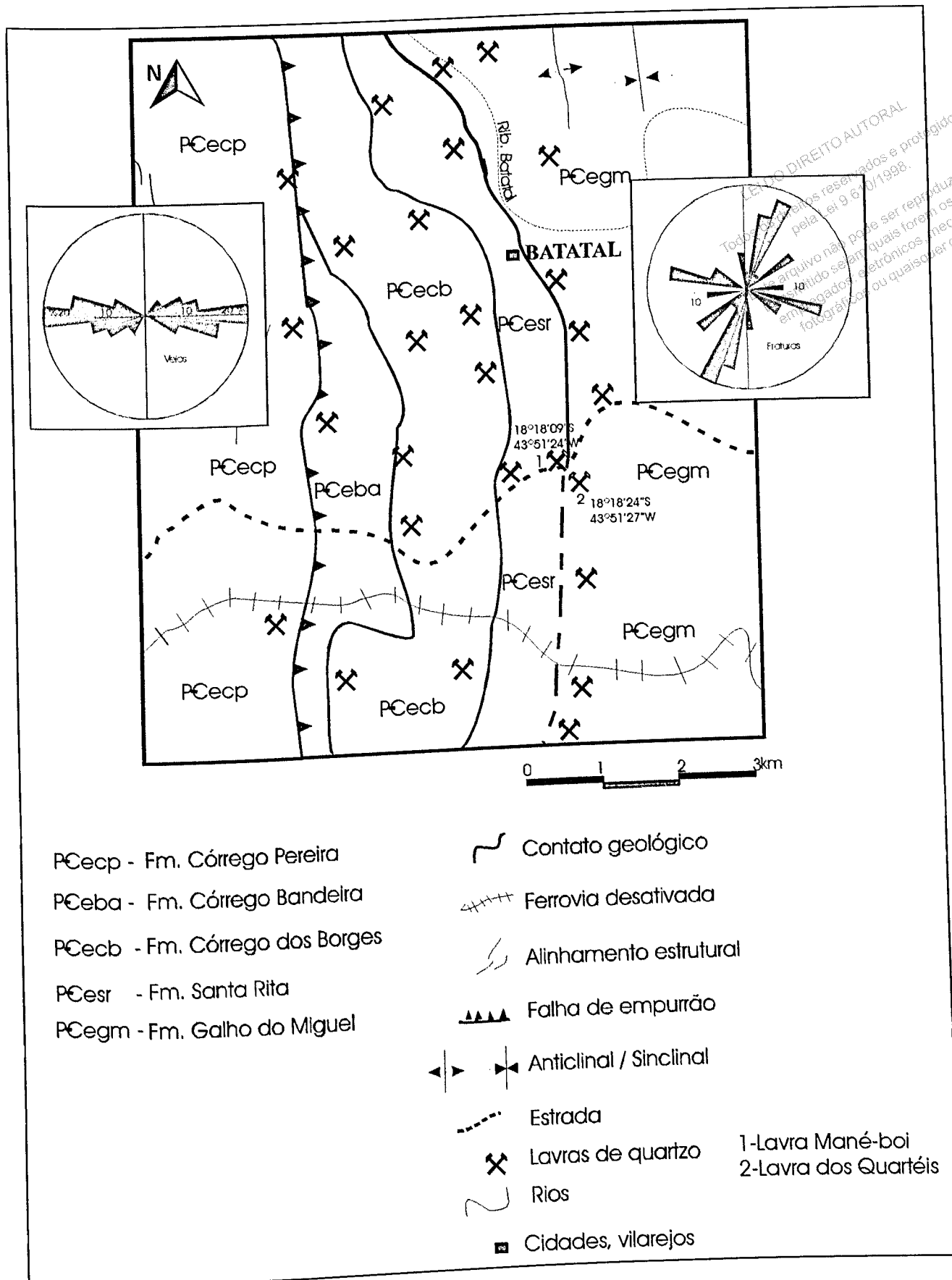


Figura 6- Mapa Geológico da Região de Batatal- Diamantina (modificado de Chaves *et al.*, 1997).

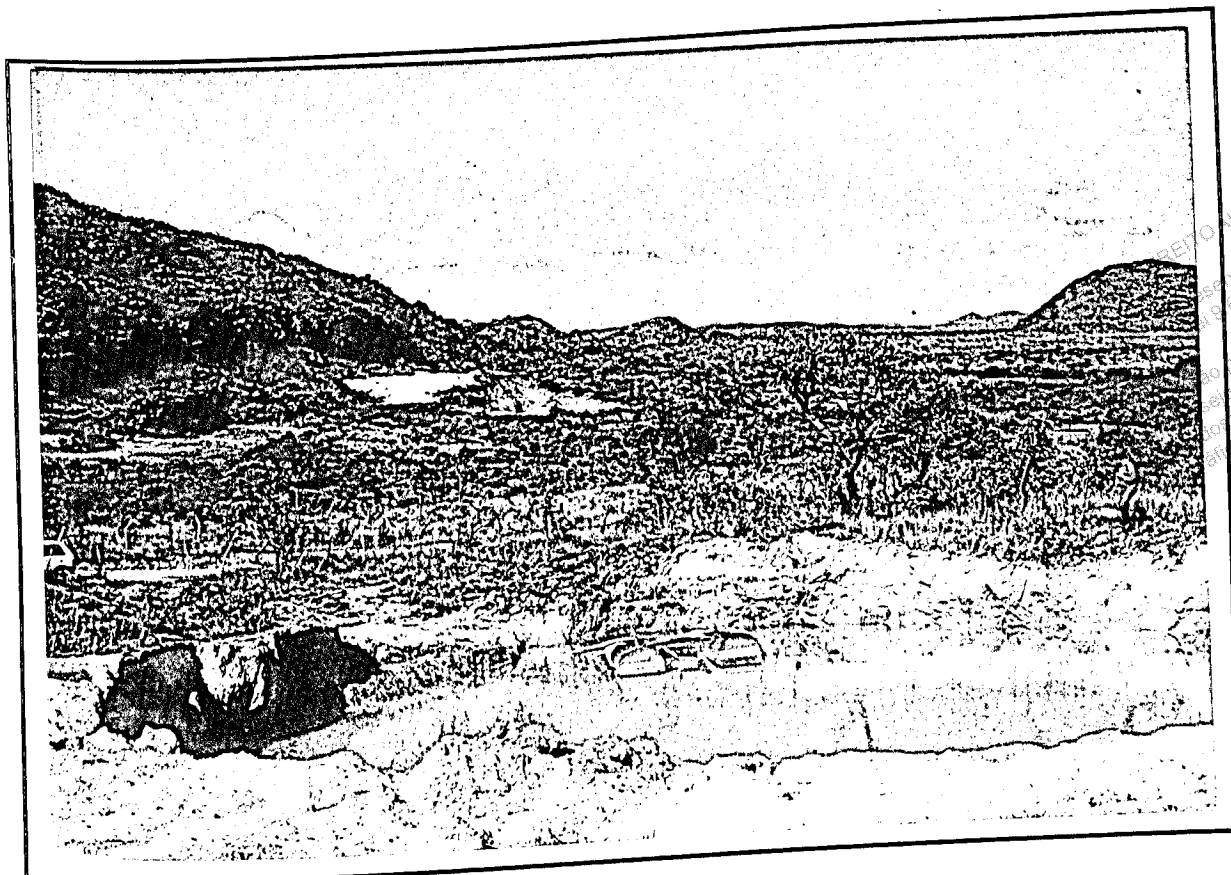


Figura 7- Lavras de quartzo da Região de Batatal (Diamantina). A lavra Mané-Boi (a frente) apresenta variedades de quartzo *fumé* e quartzo hialino, boas para tratamento, além de apresentar peças de coleção conhecidas na região como quartzo "igrejado". A lavra dos Quartéis (ao fundo), apresenta as mesmas variedades coloridas. Ambas se situam sobre um mesmo veio de quartzo.



Figura 8- Detalhes de Quartzos *fumé* da lavra Mané-Boi (Região de Batatal-Diamantina).

3.3.2.2- *Quartzo fumé de Sítio Barra do Pecado (Sopa-Diamantina)*

Uma rara ocorrência de quartzo *fumé* (cinza), que também forneceu notável quantidade de quartzo *morion* (preto), foi descoberta durante o início da década de 1990, estando atualmente paralisada.

Essa ocorrência está localizada no Sítio Barra do Pecado, a cerca de 1,5 km ao norte do vilarejo de Sopa, nas imediações do Ribeirão Caldeirões (GPS 18°12'32"S e 43°41'27"W) (figuras 9 e 10). A área foi mapeada na escala de 1:25.000 quando o depósito ainda não havia sido descoberto (Chaves *et al.*, 1985). O veio mineralizado encontra-se encaixado em quartzitos conglomeráticos, ferruginosos, com lentes decimétricas de filitos sericíticos, os quais possuem acamamento N-S/10-15°E.

O veio apresenta espessura variando entre 0,3 a 1,5 m aflorando sobre um comprimento de 30 m, estando nitidamente paralelizado com o acamamento de suas encaixantes. Os cristais de quartzos *fumé* e *morion* (figura 11) ocorrem em bolsões que variam entre 0,5 e 1 m de diâmetro, dentro de uma massa de quartzo leitoso localmente rica em cristais hialinos, às vezes com inclusões de rutilo dourado. Aparecem associados a esses bolsões um material argiloso amarelado ou marrom ("barroca", para os garimpeiros), o qual, analisado por DRX e FRX, revelou ser constituído de muscovita (>70%) e caolinita/goethita (<10%).

De acordo com Chaves *et al.* (1985), o Ribeirão Caldeirões na região corre sobre uma extensa falha de rasgamento de direção aproximadamente WNW-ESSE, preenchida por rochas metabásicas. Embora não se observe relação aparente entre o veio e tal zona tectonizada, uma relação entre ambos não pode ser descartada. Assim, a área torna-se interessante para novas descobertas da mesma natureza. Na ocorrência estudada, cerca de 1 ton, apenas de quartzo *fumé* (80%) e *morion* (20%) já foram extraídos, realçando o interesse econômico pela região.

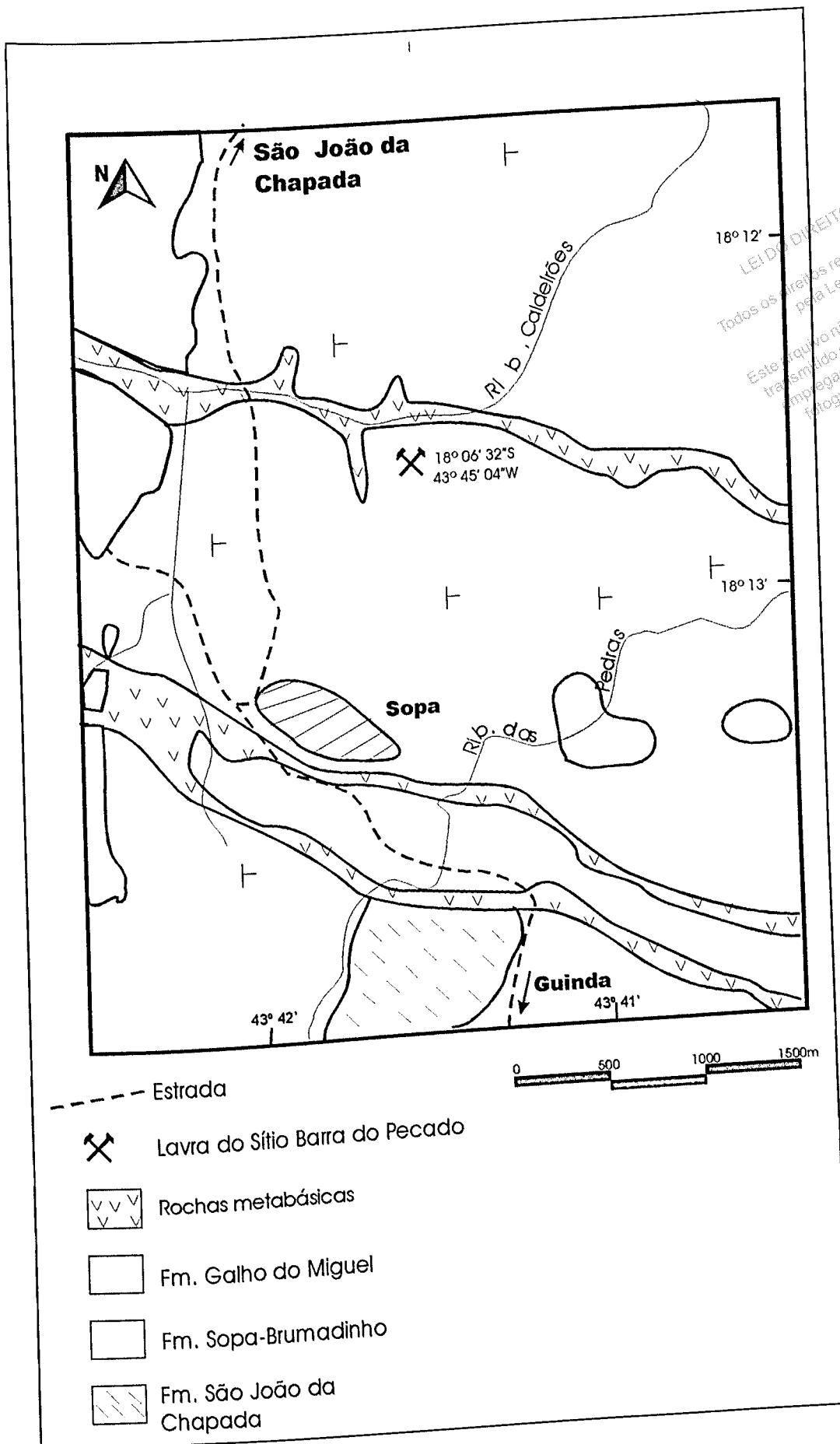


Figura 9– Mapa Geológico da Região de Sopa (Modificado de Chaves *et al.*, 1985), mostrando a localização da Lavra do Sítio Barra do Pecado.

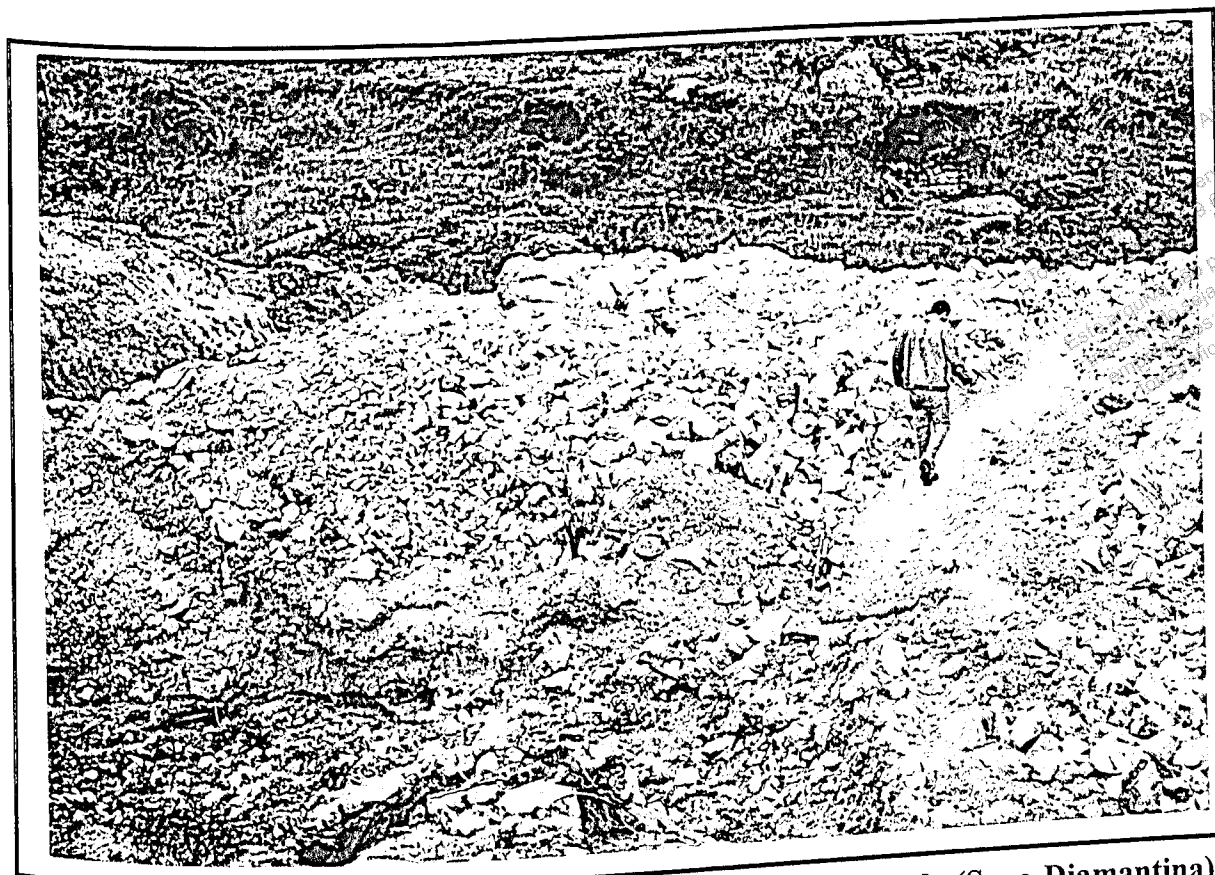


Figura 10- Vista geral da lavra de quartzo do Sítio Barra do Pecado (Sopa-Diamantina).

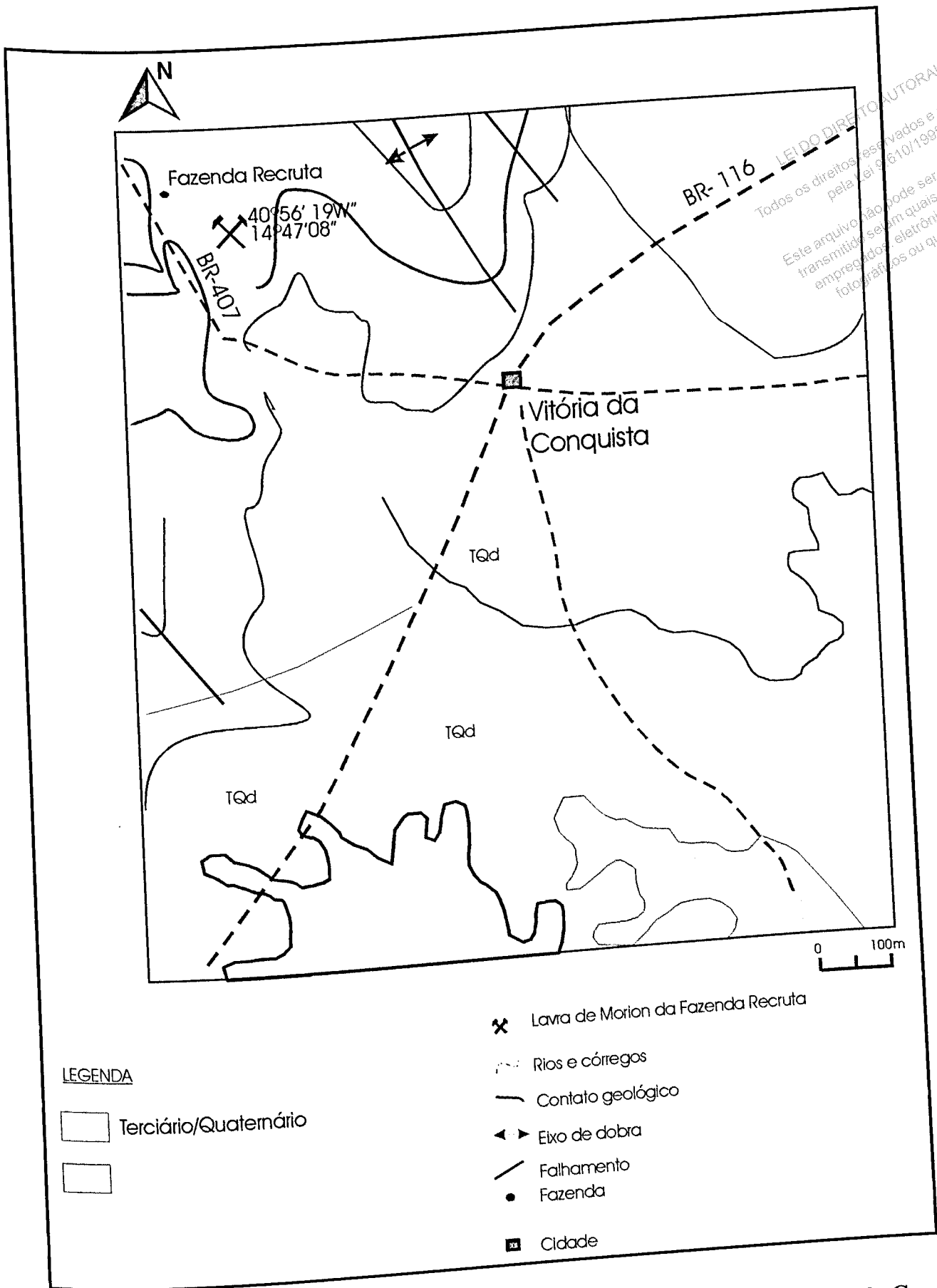


Figura 11 - Detalhe em amostras de quartzo *fumé* do sítio Barra do Pecado (Sopa-Diamantina).

3.3.2.3-Morion da Fazenda Recruta (Vitória da Conquista)

Um grande número de espécimes espetaculares de quartzo de cor preta na década de 70 estiveram expostos em lojas do Brasil e do exterior. A proveniência deste material está relacionada a a região de Vitória da Conquista, a aproximadamente 100km ao norte com a divisa de Minas Gerais (figura 12). A partir de Vitória da Conquista, o acesso a mina é feito durante os primeiros 23,5 km até Bom Jesus da Lapa, onde a mais ou menos 1,5 km a partir deste local em direção ao norte pode-se chegar até a Fazenda Recruta, onde o depósito está localizado (GPS 40°56'19" W e 14°47'08" S). Trata-se de um veio hidrotermal lenticular, de direção predominante E-W com um mergulho de aproximadamente 50°. Segundo Cassedanne & Cassedanne (1973), a presença do quartzo *morion* está associada a grandes cavidades de formato alongado totalmente preenchidas por este tipo de material. A largura do veio principal é variável, chegando às vezes a alcançar 2 m, e seu comprimento pelo menos na porção visível é de aproximadamente 30 m. O tectonismo atuou basculando o veio tanto antes quanto depois da formação do *morion* dentro das cavidades. Fragmentos deste quartzo preto mostram-se freqüentemente cimentados por *cherts* de cor morrom e por calcedônias leitosas botrioidais.

O veio é concordante com a rocha encaixante, um gnaiss levemente bandado composto principalmente por minerais micáceos. O solo verde superficial formado pela decomposição do gnaiss é muito abundante, e às vezes são encontrados muitos espécimes de boa qualidade "submersos" neste material. Os espécimes podem ocorrer sozinhos ou sob a forma de agregados de cristais (figura 13), alguns chegando a medir 50 cm de comprimento e a ter um peso de algumas dezenas de quilos. O hábito apresentado é incomum, sendo bipirâmides {1012} sem prisma, com o eixo-c paralelo à superfície da matriz. Cada cristal pode ocorrer solitário, ou apresentar cristais em crescimento agregados. As faces dos cristais são sempre brilhantes, lisas ou podem apresentar algumas figuras de crescimento. Externamente os cristais são intensamente escuros e opacos, muito raramente apresentando algumas porções *fumé* translúcidas. Localmente observa-se ainda a presença de pequenos cristais milimétricos de quartzo transparente cobrindo porções das faces das pirâmides pretas. É possível observar em cristais grandes que a cristalização geralmente começou ao redor de um núcleo composto por barita, com de uma massa compacta irregular cuja cor varia de branco a cinza escuro. A barita é translúcida, transparente ou raramente amarelada, com muitas faces irregulares. As amostras deste mineral encontram-se dispersas no solo ou inclusas nos espécimes de quartzo *morion*. Também observa-se no veio calcedônias de coloração branco, e hábito mamilar ou perfeitamente botrioidal, de cristalização mais jovem do que o quartzo *morion* em questão. Estes agregados de morion com calcedônia, formam atraentes espécimes de coleção que mostram alternância de faixas claras e levemente escuras.



LEIDO DIRETO AUTENTAL
 Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei nº 9.610/1998.
 Este arquivo não pode ser reproduzido ou transmitido sem quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos ou quaisquer outros.

Figura 12- Mapa geológico da região de Vitória da Conquista, Bahia (modificado de Casse-danne & Cassedanne, 1973).



Figura 13- Afloramento do veio de quartzo *morion* da Fazenda Recruta (Vitória da Conquista-BA).

3.3.2.4- Ametista da Fazenda Riacho do Barreiro (Grão Mogol)

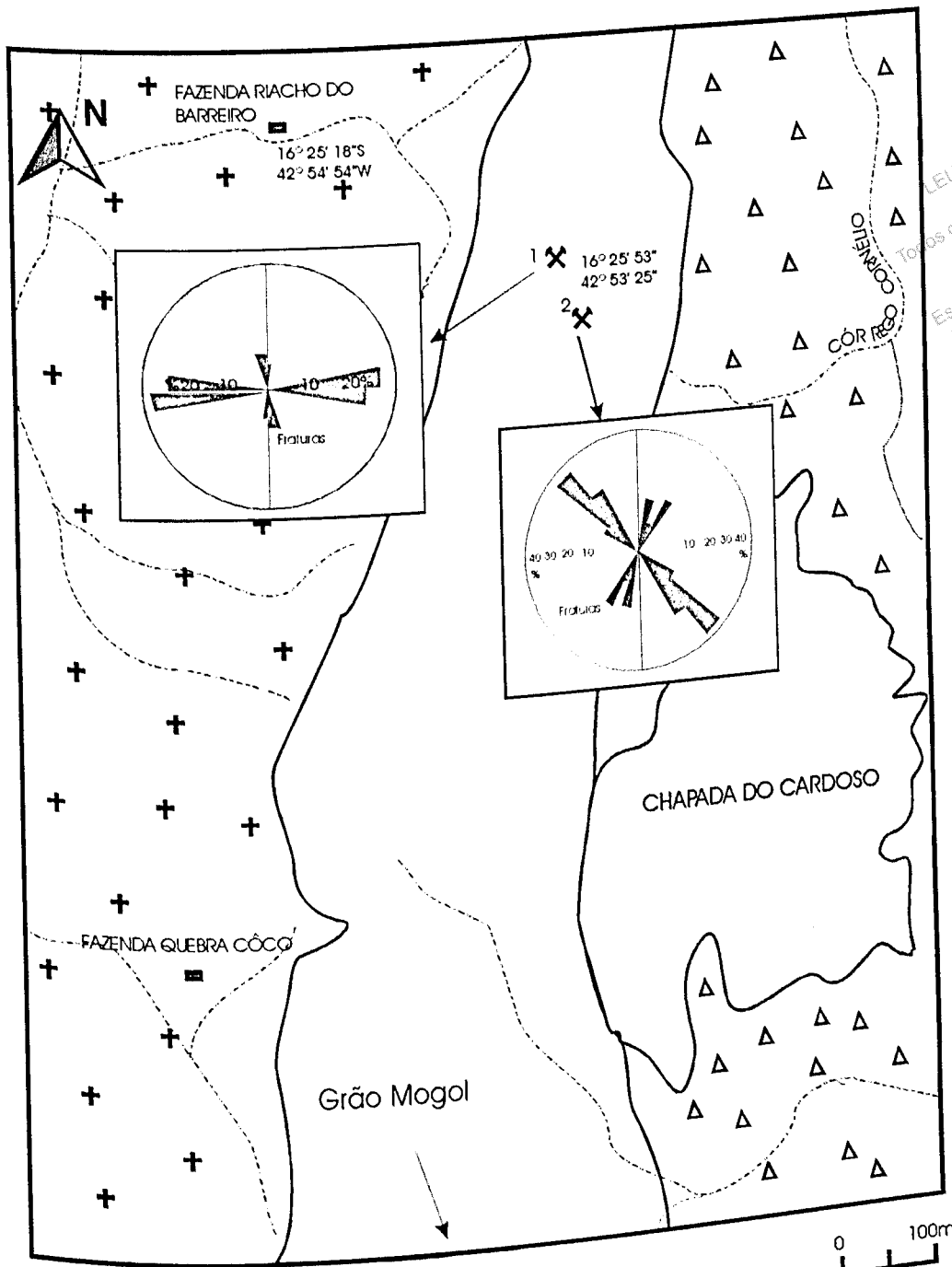
Desde inícios da década de 1970 duas pequenas ocorrências próximas na região de Grão Mogol, têm fornecido de modo esporádico ametistas para lapidação, sendo a última tentativa feita em meados de 1998.

A Fazenda Riacho do Barreiro está localizada distante cerca de 15 km ao norte de Grão Mogol, na borda oeste da serra (GPS 16°25'18"S e 42°54'54"W) enquanto os veios com ametista situam-se nos contrafortes a leste do espigão serrano (GPS 16°25'53"S e 42°53'25"W) (figura 14). A geologia da região imediatamente ao sul da área de ocorrência foi levantada por Chaves (1997) e Chaves *et al.* (1997). Na área do depósito, afloram somente quartzitos finos, laminados, pertencentes à Formação Resplandecente. O acamamento, paralelo à xistosidade orienta-se segundo N10-30°E/55-70°SE, sendo entrecortados por sistemas de fraturas preferenciais nos sentidos W-E e NW-SE.

A ocorrência superior (cota 950 m) possui espessura variável entre 10 e 30 cm, estando orientado W-E/75°N, concordante ao padrão de diaclasamento local. Os cristais de ametista são normalmente mal formados e menores que 5 cm de comprimento, agregando-se uns aos outros

irregularmente no veio. A coloração roxa é na maior parte das vezes bem distribuída ao longo do cristal, fato incomum em ametistas, onde a cor aparece normalmente concentrada nos vértices da pirâmide. No depósito inferior (cota 900 m), o veio possui espessura algo maior, entre 0,5 e 1 m, estando orientado $N30^{\circ}W/70^{\circ}SW$ de modo subparalelo ao padrão de fraturamento (figura 15).

Em termos econômicos, a ametista de Grão Mogol tem o seu potencial limitado, já que sua coloração roxa é perdida após alguns dias de exposição à luz solar (Karfunkel *et al.*, 1998) (figura 16). De outra forma, em termos acadêmicos este mesmo fenômeno possui uma notável importância, já que seu entendimento poderá permitir o conhecimento do "controle" da cor roxa no mineral. Cerca de 2 ton já foram produzidas no local, sendo a maior parte extraída da ocorrência inferior.



LEI DO DIREITO AUTORAL
 Todos os direitos reservados e protegidos
 pela Lei 9.610/1998.
 Este arquivo não pode ser reproduzido ou
 transmitido sejam quais forem os meios
 empregados: eletrônicos, mecânicos,
 fotográficos ou quaisquer outros.

LEGENDA

- Cobertura Laterítica
- Grupo Macaúbas
- Supergrupo Espinhaço
- Complexo Basal
- 1 - Ocorrência superior de ametista
- 2 - Ocorrência inferior de ametista
- Rios e córregos
- Contato geológico

Figura 14 – Mapa geológico da região de Grão Mogol, mostrando a localização das duas ocorrências de ametistas (Chaves, inédito).



LEI DO DIREITO AUTORAL
Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

Figura 15 – Detalhe do veio de ametista da Fazenda Riacho do Barreiro (Grão Mogol).

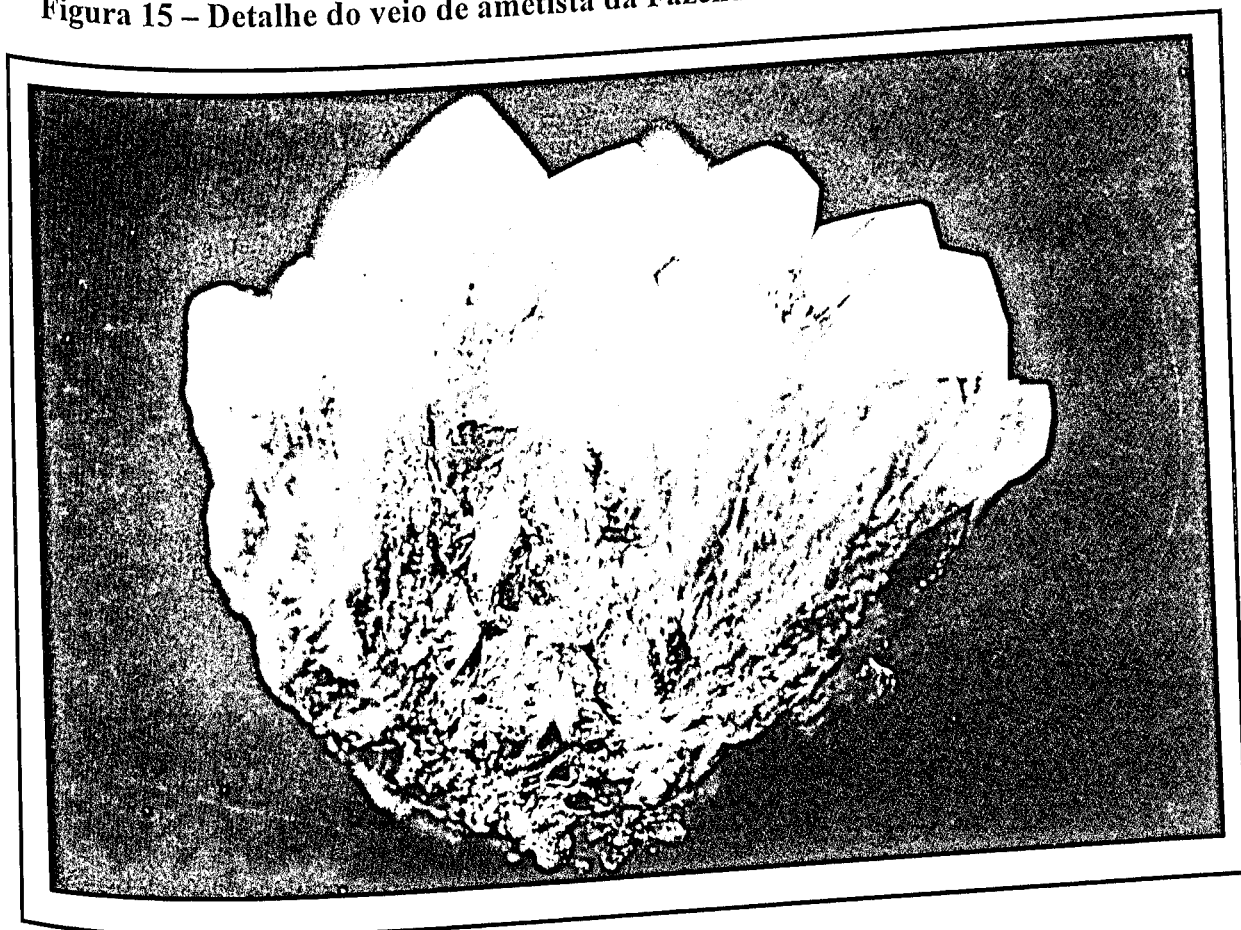


Figura 16- Drusa de quartzo, da lavra Riacho do Barreiro (Grão Mogol), já esbranquiçado devido a exposição ao sol, tendo assim perdido sua cor original violeta. Traços de sua cor original violeta ainda pode ser observado nas laterais da amostra.

3.3.2.5-Ametista da Fazenda Sobrado (Felício dos Santos)

Entre as décadas de 1940 e 1980 duas ocorrências de ametista da Fazenda Sobrado produziram principalmente amostras de coleção, chegando ainda a fornecer espécimens que possuíam um roxo intenso, sendo ótimas para serem lapidadas e comercializadas (figura 17). A jazida, também conhecida como antiga lavra de Zé Canuto, ou da Pedra Roxa, está localizada a SE de Felício dos Santos, a 77 km de Diamantina. O acesso se faz pela estrada em direção ao distrito de Pedra Menina (Município de Rio Vermelho) durante 3,3 km. A partir daí em pequenas estradas de terra razoáveis em período seco, segue-se sempre à direita por 5,7 km até a travessia a vau do Córrego do Palmital, de onde, a cerca de 350 m ao sudeste, alcança-se o primeiro depósito de ametista (figura 18).

A jazida de ametista da Fazenda Sobrado está situada no flanco ocidental da Serra Negra, um "braço" a leste da Cordilheira do Espinhaço, tendo sido descrita por Chaves & Coutinho (1992). A ametista encontra-se relacionada a Unidade Superior de idade proterozóica de uma sequência conhecida como "Serra Negra", composta basicamente por biotita-quartzo-muscovitaxistos com intercalações de quartzitos micáceos, de idade atribuída ao Proterozóico Inferior (figura 18).

O depósito principal, encontra-se entre 825 e 875 m, sobre o flanco oriental de uma alta colina (no outro flanco, existe uma fonte de água termal conhecida como "Água Quente"). Foi lavrado através de diversas pequenas galerias tortuosas de direção geral E-W. A rocha encaixante é um xisto quartzoso mole, com intercalações de clorita-xisto, de atitude N40°E, 20°NW.

Corpos lenticulares, compridos de alguns decímetros até alguns metros, preferencialmente paralelos à xistosidade, ou vênulas de quartzo perpendiculares, são formados por quartzo leitoso, incluindo algumas drusas atapetadas de cristais. Estes últimos, leitosos, hialinos ou morion claro, freqüentemente com eixos paralelos, podem atingir até 30 cm de comprimento.

A ametista ocorre nas lentes, associada a muito caulim, ora em manchas irregulares nos cristais, ora localizando-se na extremidade dos mesmos. Ocorre também formando prismas curtos capeados de uma pirâmide conhecidos como "ceptros". Ambos cresceram sobre quartzo intocolor ou leitoso com hematita. A extremidade superior dos cristais é sempre mais corada.

O segundo depósito está a aproximadamente 300 m ao sudoeste do precedente. Cerca de 10 pequenas galerias (a maior com quase 10m de profundidade), permitiram a lavra de veios mais espessos que no garimpo principal, encaixados em micaxistos. Quartzos morion e "dentes-de-cão" (cristais sólitários, ou que não encontram-se agregados) são muito abundantes, ao inverso da ametista. Ocorrem também alguns quartzos tipo incomuns como o quartzo "jacaré" ou "jacareza-do" (nome devido sua semelhança com a pele do animal homônimo) com inclusões de argila e

hematita. Neste local, os corpos quartzosos mineralizados formam lentes na xistosidade, aqui orientada entre N20°E e N40°W, com mergulhos baixos para NW ou SW (em torno de 20°). Um veio de quartzo leitoso e *morion*, com cerca de 15 cm de espessura, nitidamente discordante desta xistosidade (atitude N10°E, 75°SE) foi testado por cerca de 5m de galeria, mas revelou-se estéril em ametista.

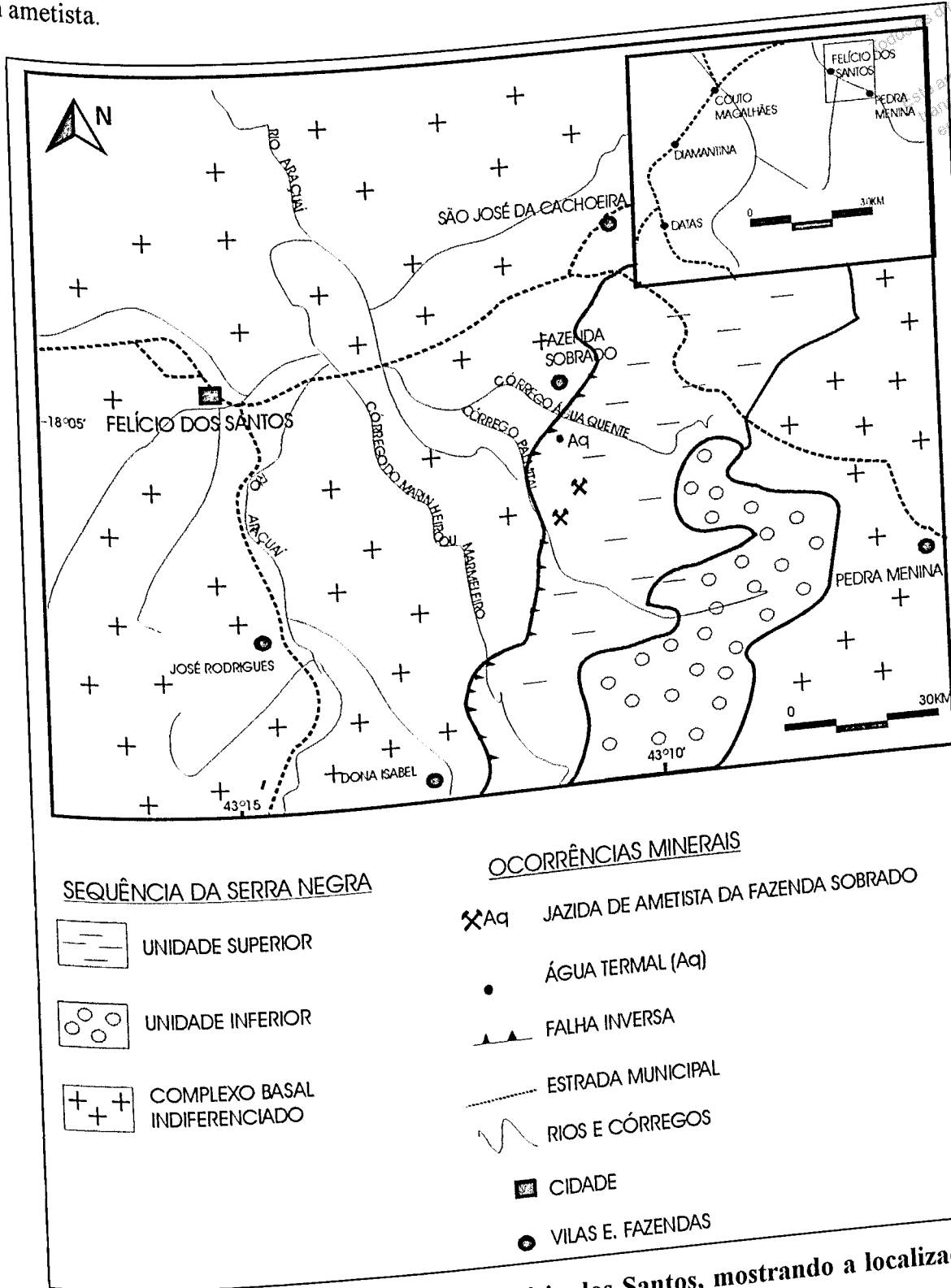


Figura 17- Mapa geológico da região de Felício dos Santos, mostrando a localização da lavra de ametista da Fazenda Sobrado.

LEI DO DIREITO AUTORAL
 todos os direitos reservados e protegidos
 pela Lei 9.610/1998.
 Este arquivo não pode ser reproduzido ou
 permitido sejam quais forem os meios
 empregados: eletrônicos, mecânicos,
 fotográficos ou quaisquer outros.



Figura 18 – Amostras de ametista da Fazenda Sobrado (Felício dos Santos), caracterizadas por uma grande estabilidade de sua cor.

3.3.2.6- Citrino de São João da Chapada (Diamantina)

Duas pequenas ocorrências localizadas na região de São João da Chapada (Diamantina), atualmente exauridas, forneceram durante as décadas de 1960 e 1970 uma razoável quantidade de citrino, juntamente com algum quartzo *fumé* associado.

A ocorrência de São João da Chapada é conhecida como lavra do Morro do Chapéu, estando situada a cerca de 2,5 km SSW da sede do vilarejo, na margem norte do Córrego São João (GPS 18°06'32"S e 43°45'04"W) (Figura 10). Na área afloram quartzitos médios a grossos, típicos da Formação Sopa Brumadinho, possuindo acamamento orientado segundo N5-10°E/50-60°NW, com xistosidade segundo N10°W-N10°E/70-80°NE ou SE. Níveis centimétricos de filito cinza, bastante alterados, aparecem também na área de lavra. O veio mineralizado principal possui espessura variável entre 2 e 3 m, sendo mais ou menos paralelos (N10°W/60°SW) ao acamamento.

O veio na lavra do Morro do Chapéu é constituído predominantemente de quartzo leitoso, amarelado, ou ainda rosado nas proximidades do contato com os quartzitos encaixantes (figura 20), se ramificando e diversos outros veios menores subparalelos à xistosidade (N25°W/35°NE).

As porções mais ricas em citrino ocorreram como bolsões restritos, com cristais euédricos que atingiram até 20 cm de comprimento. Segundo informações locais, o depósito forneceu cerca de 30 ton de material de excelente qualidade, ao longo de 30m de comprimento do veio, atingindo de 1 a 1,5 m de profundidade.

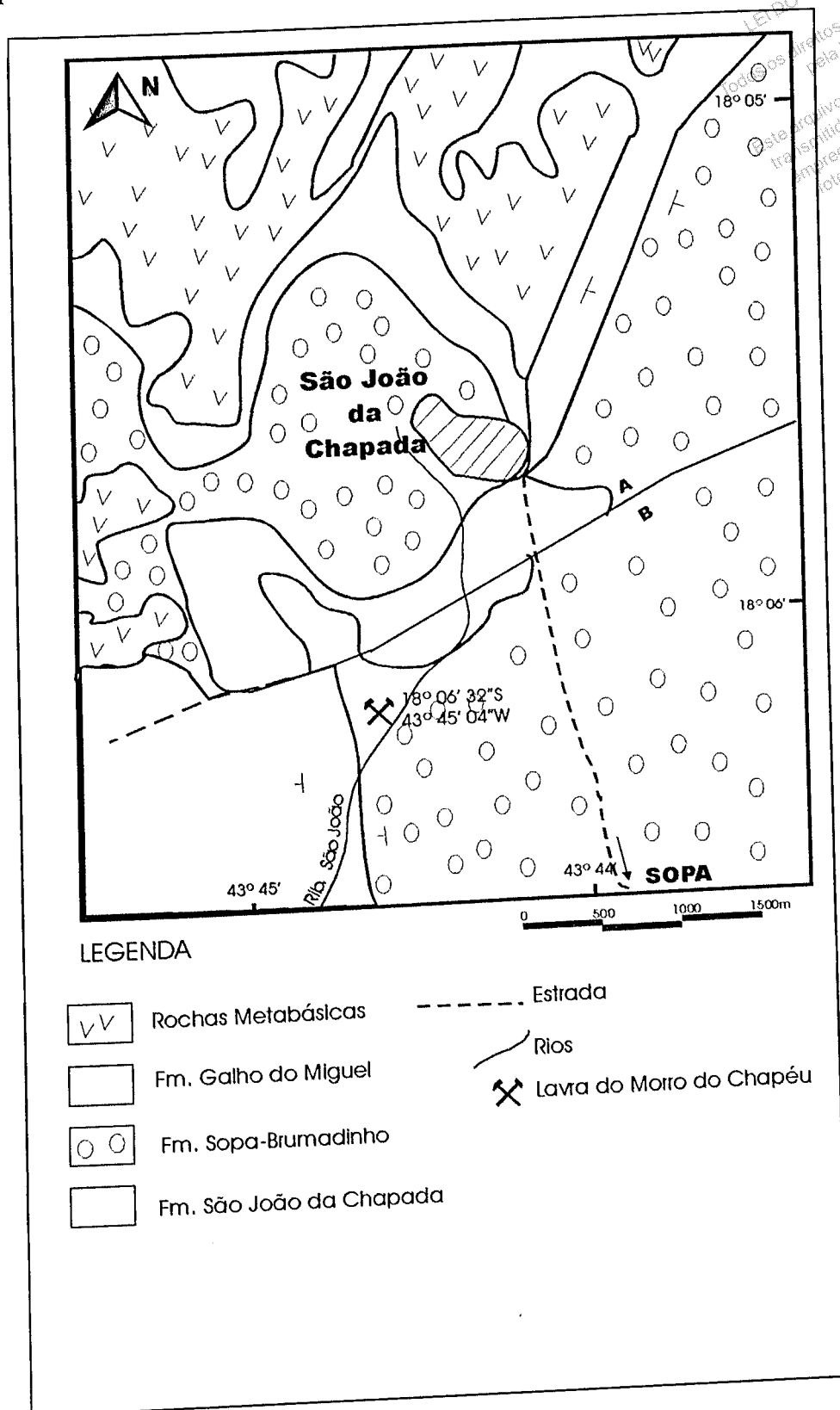


Figura 19- Mapa Geológico da região de São João da Chapada (modificado de Almeida-Abreu, 1982), mostrando a localização da lavra do Morro do Chapéu.



Figura 20- Detalhe do veio de quartzo que produziu citrino em São João da Chapada.

3.3.2.7- Ametista da Fazenda Rainha (Buenópolis)

A partir de meados da década de 1990, um depósito coluvionar situado na borda oeste da Serra do Espinhaço, no município de Buenópolis, tem produzido grande quantidade de quartzo hialino ou levemente arroxeadado. A lavra da Fazenda Rainha situa-se ao norte do vilarejo de Curimataí, sendo acessada pela BR-135, onde 10 km ao norte de Buenópolis toma-se uma estrada de terra (a direita) em direção à referida fazenda (GPS 17°47'01"S e 43°52'23"W) (figuras 21 e 22).

O conhecimento geológico a respeito desta área ainda é escasso. De acordo com o mapa geológico do Projeto Espinhaço (1:100.000), os quartzitos do Supergrupo Espinhaço que predominam na região pertencem à Formação Galho do Miguel, ocorrendo ainda metassedimentos do Supergrupo São Francisco (grupos Macaúbas e Bambuí) (Noce & Fogaça, 1996) (figura 21). Interessante observar que os quartzitos finos que afloram na área da Fazenda Rainha são "pobres" em veios de quartzo. Eles possuem atitude N25-40°E/10-20°NW e são intensamente fraturados segundo N30-45°W/70-80°SW.

O depósito coluvionar ora em lavra é rico em fragmentos angulosos de quartzo e quartzito, ocupando um vale de direção aproximada N-S. Sua espessura média é de 30-40 cm, embora possa variar entre 0 e 2 m. A maior parte do quartzo aproveitável economicamente aparece como clastos sub-angulosos até sub-arredondados, em geral na faixa de 1 a 3 cm de diâmetro. Na maioria das vezes esses clastos são hialinos, mas aparecem também os que apresentam coloração levemente arroxeadada ou esverdeada. Tal material, segundo Pinheiro (1999), adquire coloração violeta intensa depois de irradiação com raios gama (figuras 23 e 24).

De acordo com o Sr. Mikio Takada, atual dono da lavra, no período entre 1996-1997 o local chegou a produzir cerca de 10 kg por dia, e quase 5 ton de material lapidável foram extraídos.

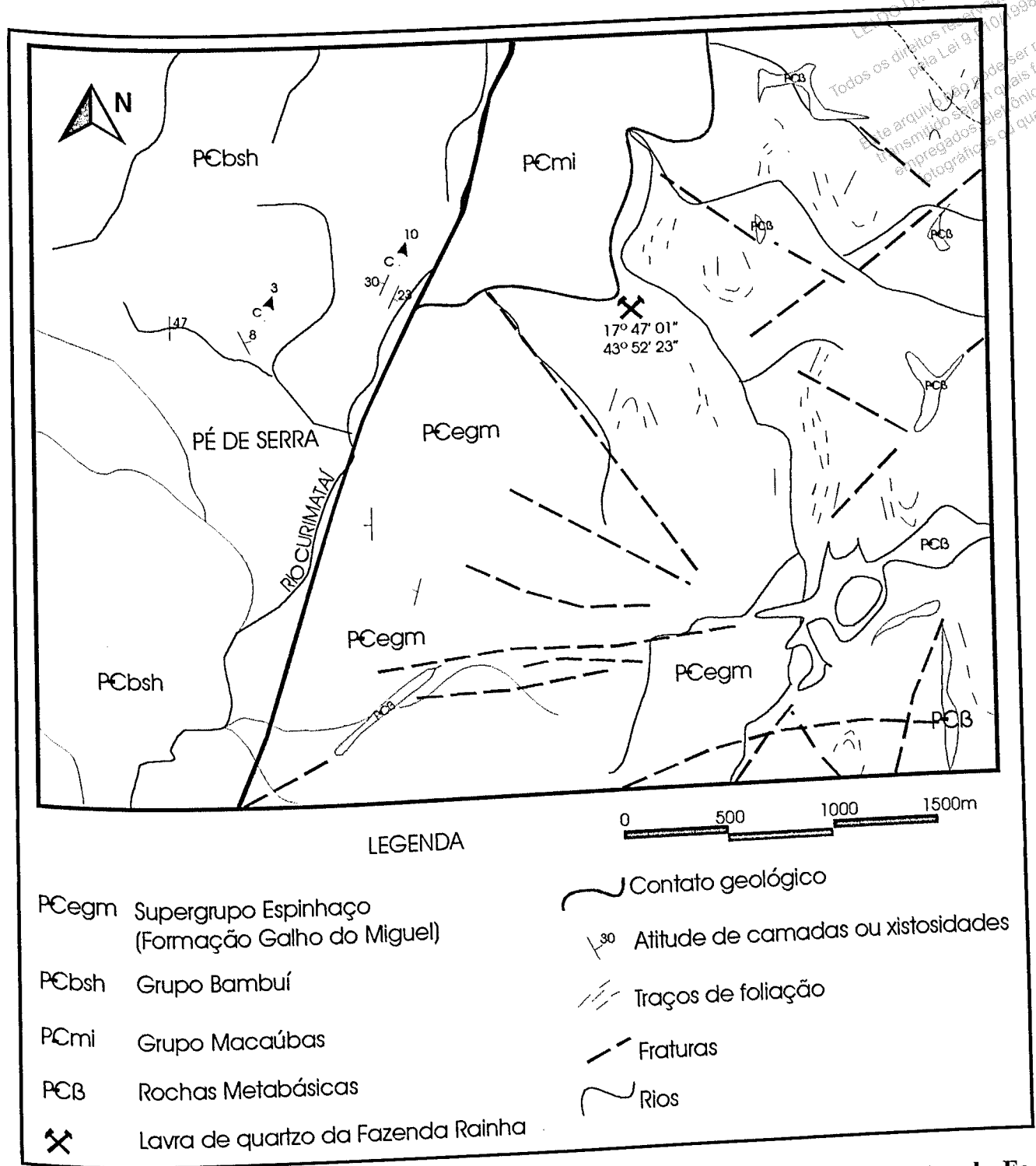


Figura 21- Mapa geológico da região de Buenópolis, mostrando a lavra de quartzo da Fazenda Rainha (modificado de Noce & Fogaça, 1996).

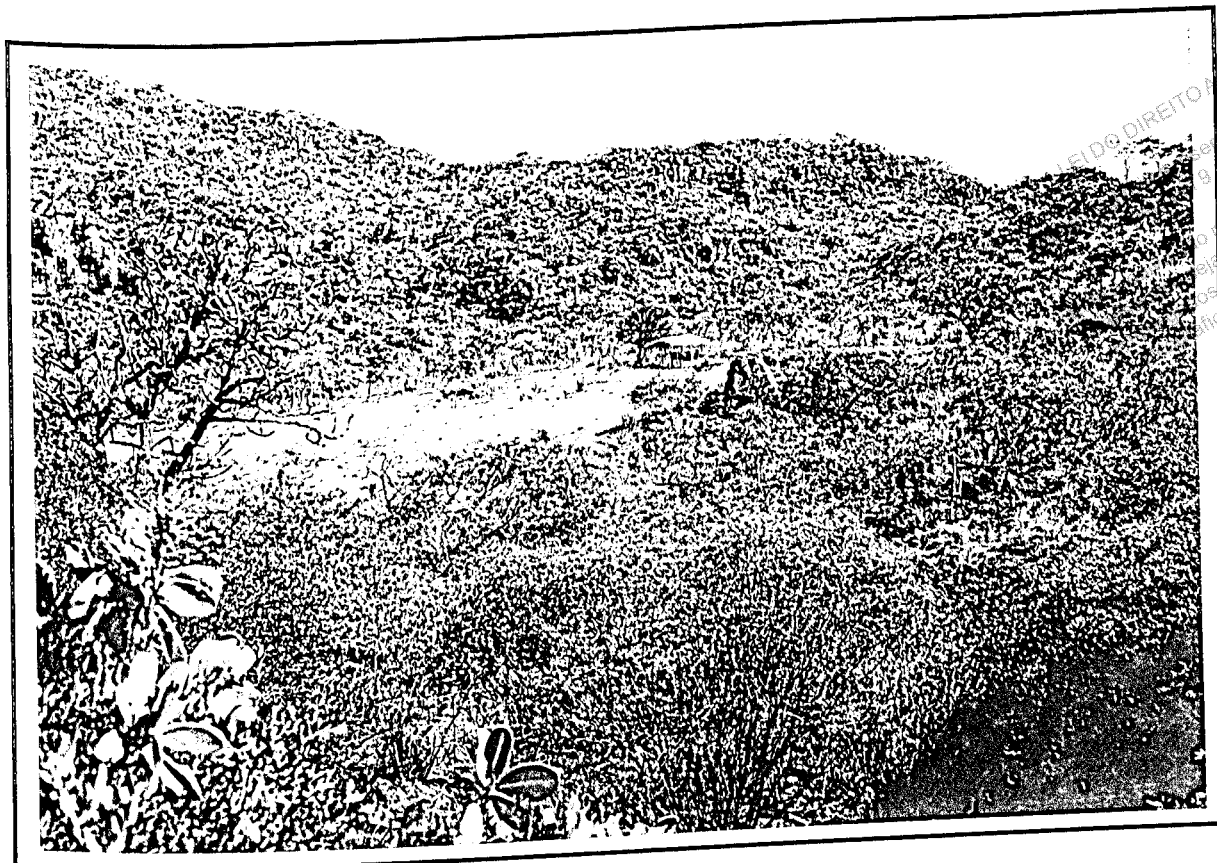


Figura 22- Vista geral da lavra, do tipo coluvionar, da Fazenda Rainha (Município de Buenópolis).

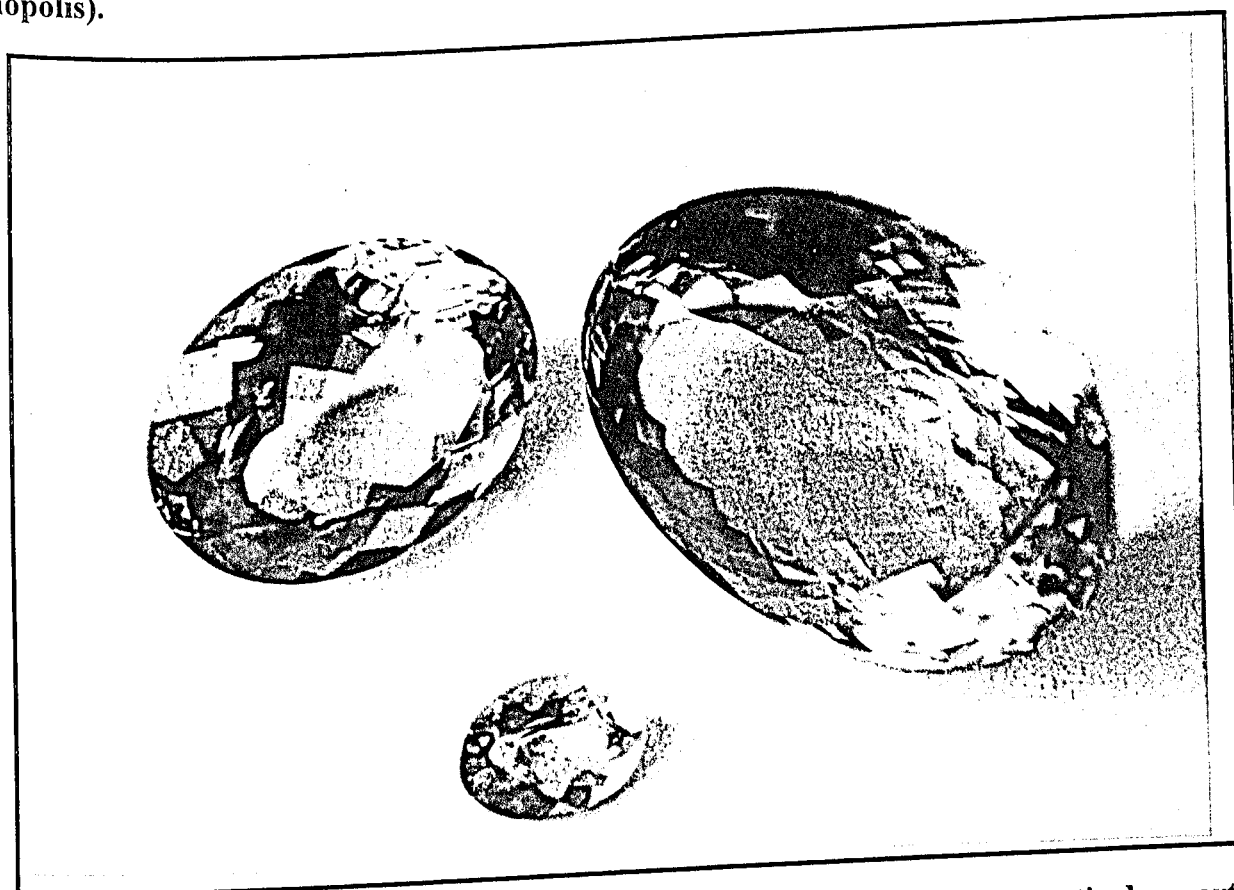


Figura 23- Quartzos levemente arroxeados, irradiados com raios gama a partir do quartzo hialino da Fazenda Rainha. As pedras possuem respectivamente 20, 37 e 60 quilates.

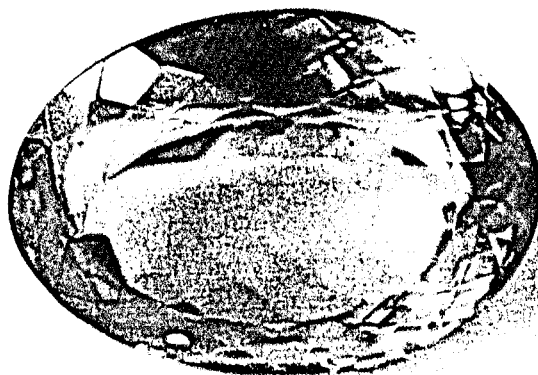


Figura 24— Ametista de Buenópolis irradiada, pesando aproximadamente 60 quilates, apresentando cor aceita comercialmente.

3.3.3- Gênese primária dos depósitos

Um modelo simples para o desenvolvimento dos veios de quartzo na Serra do Espinhaço prevê a existência de fluidos quentes, saturados em sílica, que ascenderam através de fraturas ou falhas, depositando a sua carga. Em consequência da diminuição da temperatura em direção aos níveis crustais mais superiores, a solução enriquecida em sílica define o padrão dos veios de quartzo. Deste modo, veios irregulares, de tamanhos variados, sem cristalinidade e bastante leitosos, são gerados em zonas de baixa solubilidade de sílica, onde a temperatura não ultrapasse os 200 a 300°C. Obviamente que em níveis crustais inferiores, cuja temperatura está em torno de 400°C e possivelmente a solubilidade da sílica é maior, os veios gerados são mais regulares e migram mais facilmente devido a esta maior solubilidade, com isso formando veios maiores que 1km (Carvalho, 1982). Um zoneamento bem definido encontram-se nestes extensos veios Serra do Espinhaço (figuras 25 e 27): Zona 1- Zona de borda correspondente a quartzitos bastante fraturados e parcialmente recristalizados; Zona 2- Zona brechóide, formada principalmente por fragmentos de quartzitos; Zona 3- Zona maciça, constituída por quartzo branco leitoso pouco fraturado; Zona 4- Zona cristalina, corresponde a porção central do veio, onde são encontrados cristais hialinos centimétricos e bem formados dispersos em bolsões de até 40cm de diâmetro.

Vale ressaltar que vários outros fatores também interferem no processo de formação dos veios de quartzo, além da solubilidade da sílica e temperatura, como por exemplo; pressão do

fluido, pressão litostática, e quantidade água necessárias para a formação dos veios.

O grande volume de veios de quartzo presente na Serra do Espinhaço pode ser explicado através da relação direta entre pressão e temperatura. Considerando que os veios de quartzo do Espinhaço tenha se formado durante o Ciclo Brasileiro, onde foram alcançadas temperaturas por volta de 400°C e pressões da ordem de 4kbar (Hoffmann, 1981), o volume de quartzo formado seria algo da ordem de 2 a 2,5g de quartzo por kilograma de solução (Fyfe *et al.*, 1978) (figura 26).



Figura 25- Detalhe mostrando o zoneamento dos veios de grande porte da Serra do Espinhaço; zona central cristalizada, a zona maciça e a zona brechóide de borda.

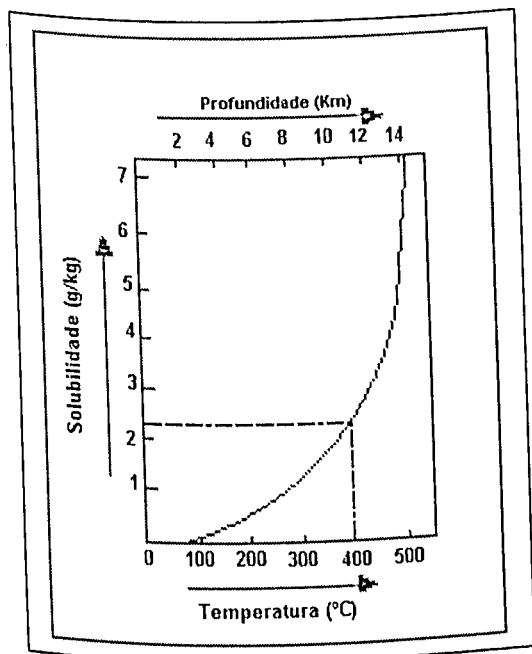


Figura 26- Diagrama esquemático da solubilidade do quartzo em água pura, sob um gradiente geotermobárico de 35°C e 300 bar por quilômetro (Fyfe *et al.*, 1978).

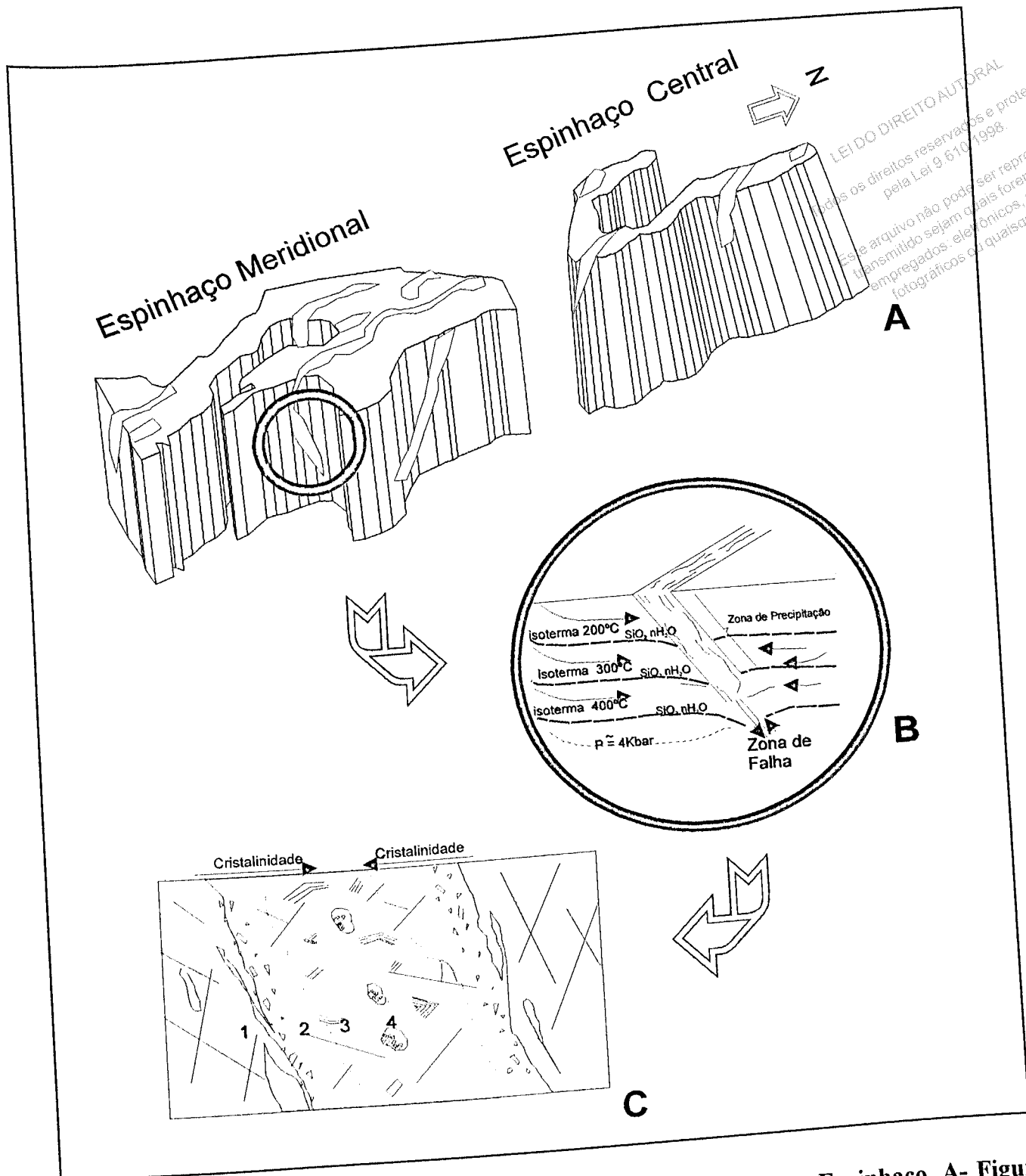


Figura 27- Gênese e zoneamento dos veios hidrotermais da Serra do Espinhaço. A- Figura representativa da Serra do Espinhaço Meridional e Central em três dimensões, com os veios de quartzo mostrado em branco (sem escala). B- Diagrama esquemático das zonas de solubilidade do quartzo e sua conseqüente migração para as zonas mais permeáveis relativas a falhamentos. C- Zoneamento dos veios de quartzo: 1-Zona de borda, 2-Zona brechóide, 3-Zona maciça, 4- Zona central (mais cristalina).

3.4- O quartzo da Província Pegmatítica Oriental Brasileira

3.4.1- Características gerais

Os corpos pegmatíticos estudados pertencem ao distrito pegmatítico de Araçuaí, mais precisamente ao campo pegmatítico de Itinga (figura 28). Este campo pegmatítico estende-se através das zonas metamórficas de baixa pressão e alta temperatura definidas por Costa (1987), localizadas no extremo nordeste do domínio estrutural Araçuaí-Minas Novas de Pedrosa Soares (1995). As rochas hospedeiras destes corpos são principalmente cordierita-biotita xistos pertencentes a Formação Salinas, descritas em detalhes por Costa (1990) (figura 29). Quatro lavras foram descritas: lavras do Pegmatito Urubu e Zé de Lincoln, ambas localizadas nas proximidades do Ribeirão Piauí, um dos afluentes direitos do Rio Jequitinhonha, a aproximadamente 20 km a NE da sede do município; Lavra Teixeira, localizada na região do Taquaral (Itinga); Lavra do Tedi, localizada na área do Jenipapo, a SSW de Itinga (figura 29). Apesar de algumas dessas lavras mostrarem diferenças em sua mineralogia, isto não implica diferenças genéticas entre as mesmas.

Os pegmatitos do campo de Itinga estão associados a granitos alcalinos gerados por fusão crustal (granitos "S"), tardi a pós-tectônicos, de pequenas dimensões e enriquecidos em elementos como o Li, Be, F, etc., que facilitam o aparecimento de um amplo espectro de gemas.

O quartzo, encontra-se preferencialmente no núcleo destes pegmatitos, tratando-se de um grande volume deste mineral cujo beneficiamento ou aplicabilidade prática encontra-se principalmente relacionada ao campo do tratamento de gemas.

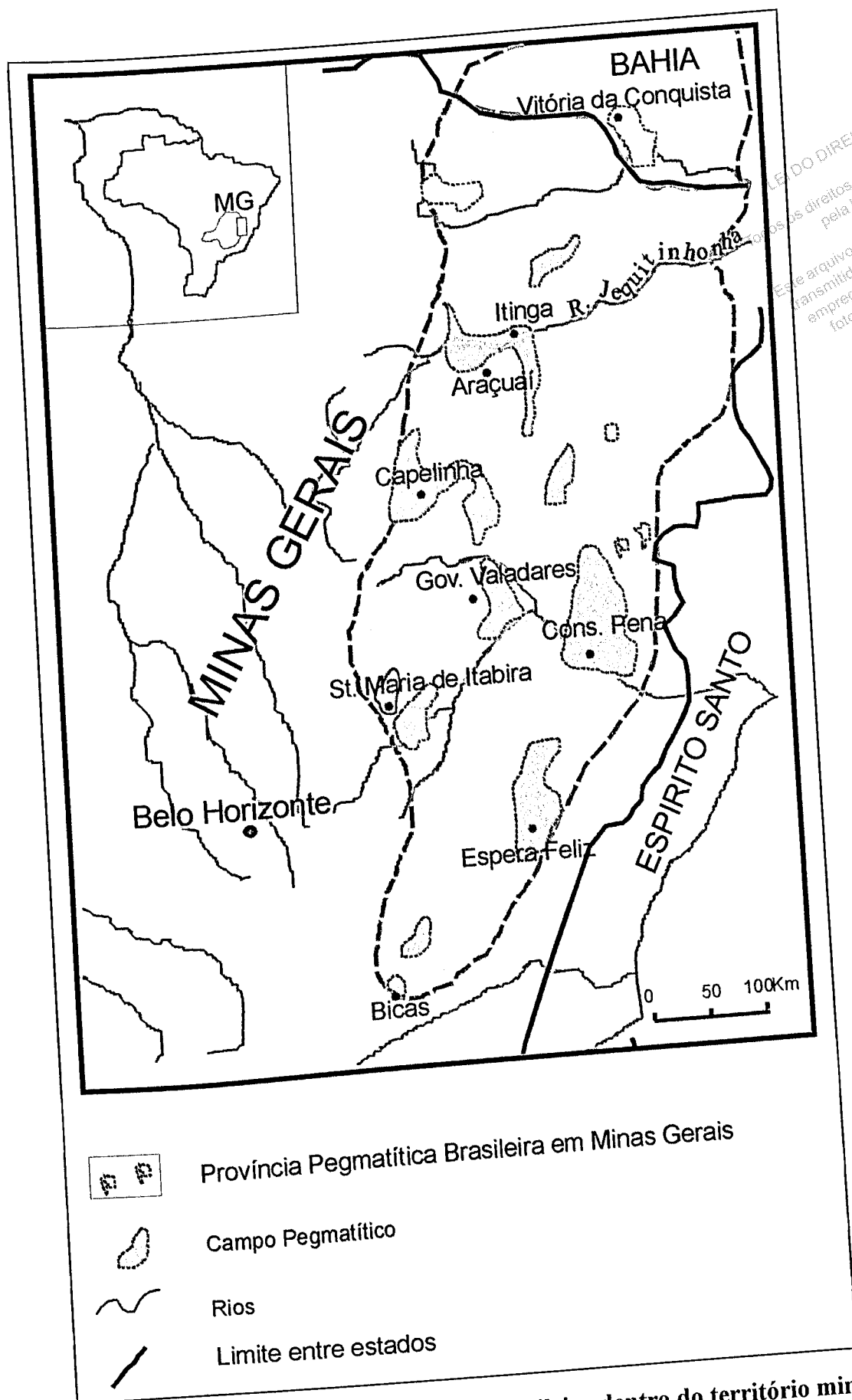


Figura 28- A Província Pegmatítica Oriental Brasileira dentro do território mineiro e seus campos pegmatíticos principais, destacando-se o de Araçuaí-Itinga (adaptado de Quemé-
 néur *et al*, 1993).

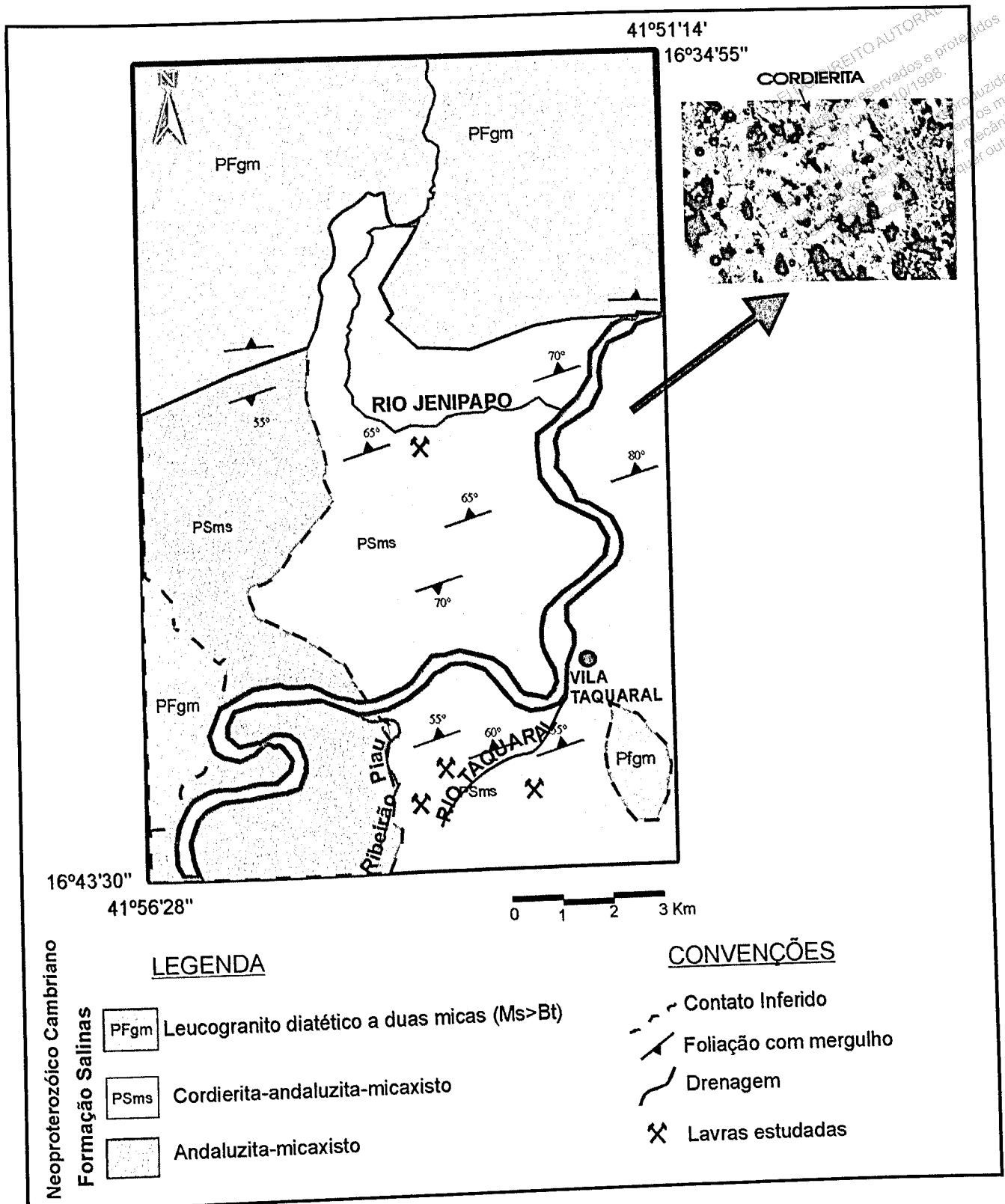


Figura 29- Mapa Geológico das regiões dos rios Jenipapo, Taquaral e Piauí (Itinga-Araçaí). A colocação dos corpos pegmatíticos deu-se concordantemente ao plano da xistosidade e fraturas (modificado de Costa, 1987). Em detalhe, fotografia da seção delgada do cordierita-xisto da Formação Salinas.

3.4.2- Depósitos estudados

3.4.2.1. *Quartzo hialino/fumé da Lavra Urubu (Taquaral, Itinga)*

O Pegmatito Urubu tem sido objeto de discussão nas geociências ao longo dos anos, devido ele ser um dos mais “completos” pegmatitos brasileiros com relação ao seu zoneamento. Apesar de possuir um caráter gemífero bastante elevado, este corpo pegmatítico apresenta um núcleo de quartzo pouco explorado como gema, ou seja, os cristais de quartzo hialino presentes em seu núcleo, até o presente momento não despertaram o interesse comercial. No entanto, quartzos *fumé* de boa qualidade gemológica têm sido obtidos a partir do tratamento por irradiações, seguido ou não de tratamentos térmicos, em quartzos hialinos desta lavra. Cassedanne & Cassedanne (1981) e Quéméneur *et al.* (1993) descreveram previamente este corpo pegmatítico quanto suas características genéticas, relações de contato, dimensões e mineralogia, porém nenhuma conotação quanto ao beneficiamento da abundante quantidade de quartzo hialino presente em seu núcleo foi dada pelo referidos autores.

O pegmatito Urubu está localizado nas proximidades do Ribeirão Piauí, afluente da margem direita do baixo Jequitinhonha (GPS 16° 42' 53" W e 41° 53' 07" S). O acesso à lavra deste pegmatito é feito inicialmente a partir de Belo Horizonte pela Rodovia Federal BR-367 até o município de Araçuaí; posteriormente toma-se a aproximadamente 3km antes da vila de Taquaral (sentido Araçuaí-Taquaral) uma pequena estrada de acesso até a Companhia de Mineração Arqueana. Esta estrada em dado momento bifurca para a esquerda e o corpo pegmatítico Urubu encontra-se a aproximadamente 500m a partir desta bifurcação. Nesta região ocorrem outros corpos pegmatíticos, todos eles associados aos granitos pós-tectônicos pertencentes a suíte “G5” de Pedrosa-Soares (1997).

O pegmatito Urubu é um corpo lenticular irregular, com dimensões aproximadas de 300m de comprimento por 15m de espessura e 50m de largura. Sua rocha encaixante é um cordierita-biotita-xisto de coloração cinza escura pertencente a Formação Salinas (Costa, 1990) (figura 29). O corpo ocorre concordantemente a foliação regional, ou preenchendo planos de fraturas. Sua atitude média deste corpo é N40°E / 65° NW, medida esta que pouco varia em outros corpos pegmatíticos da região que possuem direção geral NNE-SSW com mergulhos em torno de 60° e caimentos para NW ou SE. A mineralogia dos corpos pegmatíticos da região do rio Piauí, mostram uma composição global granítica, apresentando: quartzo, albita, microclina como minerais essenciais; muscovita e/ou espodumênio como minerais varietais; petalita, berilo e turmalinas como acessórios. Ocorrem ainda corpos de substituição ricos em lepidolita e/ou polucita.

O pegmatito Urubu é um corpo granítico, heterogêneo e albitizado, sendo um dos exemplos mais perfeitos de pegmatito zonado: sua zona de borda é composta por muscovita; a zona

mural apresenta microclina, quartzo, muscovita e albita; sua zona intermediária apresenta albita, petalita, turmalinas e berilos. No núcleo do corpo ocorrem os quartzos estudados no presente trabalho.

O quartzo é muito abundante, apresentando-se em cristais euédricos com tons leitosos que alcançam 1m de comprimento ou mais, sendo muitas vezes bi-terminados, ou ocorrem também como prismas pequenos (Cassedanne & Cassedanne, 1981). Os espécimens maiores são apreciados por colecionadores. Pequenos cristais prismáticos e transparentes, simples ou bi-terminados, encontram-se dispersos no feldspato na porção sul da lavra. O pegmatito Urubu foi lavrado principalmente para minerais de lítio (espodumênio, ambligonita e petalita), porém na atualidade os serviços limitam-se a pequenas "faisqueiras" feitas por garimpeiros.



DIREITO AUTORAL
Direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

Figura 30- Detalhe do contato do veio pegmatítico da lavra Urubu, com os xistos da Formação Salinas (Taquaral, Itinga).

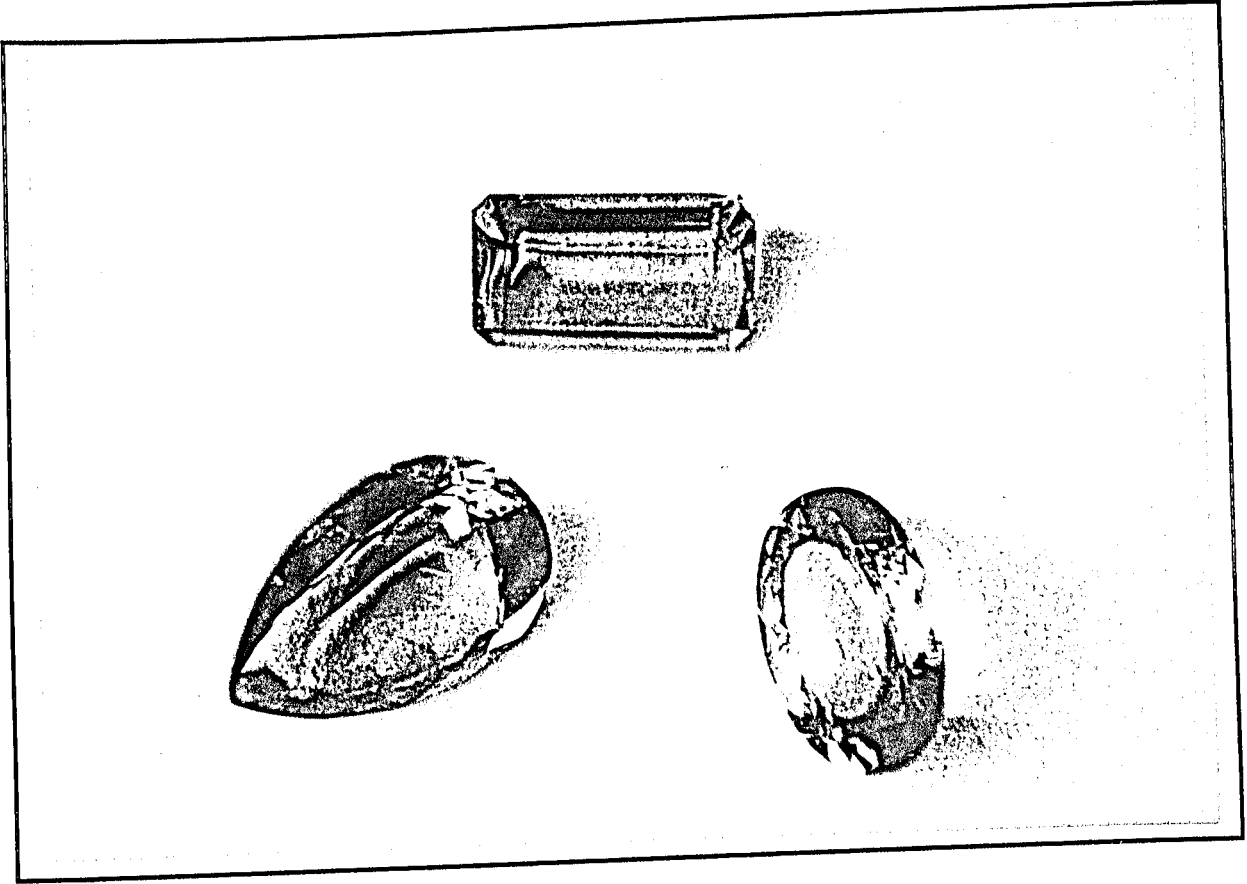


Figura 31- Quartzos *fumés* originados a partir da irradiação de quartzo hialino do Pegmatito Urubu, mostrando que a saturação da cor é total.

3.4.2.2- Citrino e quartzo hialino da lavra Zé de Lincoln (Taquaral, Itinga)

Outro corpo pegmatítico, situado nas proximidades da lavra Urubu, foi também enfocado no presente trabalho. É conhecido na região como lavra Zé de Lincoln (GPS 16° 48' 02" W e 41° 57' 54" S), sendo característico pelo grande volume de lepidolitas de hábito botrioidal que já produziu, estando a lavra atualmente paralizada.

O pegmatito Zé de Lincoln também é um corpo fortemente zonado, de atitude N20° E/ subverticalizados, possuindo em média 300m de comprimento, 15m de espessura e 15 de largura. Além dos minerais comuns dos pegmatitos desta região, observou-se a presença de esmeralda na zona mural, feldspática, deste corpo. No núcleo quartzoso do mesmo ocorre, além de quartzos leitosos e hialinos, uma razoável quantidade de citrinos, em cristais centimétricos, que são esporadicamente lavrados na área e que foram estudados neste trabalho. Trata-se de um excelente material que pode ser beneficiado por tratamento térmico e irradiação.



Figura 32- Detalhe da entrada da lavra pegmatítica Zé de Lincoln, Taquaral (Itinga).

3.4.2.3.-Citrino da Lavra Teixeira (Taquaral, Itinga)

O pegmatito da Lavra Teixeira que ocorre na região de Taquaral (GPS 41° 50' 15" W e 16° 42' 55" S) mostra características muito semelhante aos pegmatitos Urubu e Zé de Lincoln da região do Ribeirão Piauí. São também complexos a petalita ou complexos a espodumênio de estrutura fortemente zonada. A direção deste corpo obedece o padrão regional NE-SW, com feições geralmente concordantes de colocação. A Lavra Teixeira é de propriedade do famoso "Zé da Estrada", comerciante de gemas e minerais de coleção desta região. Trata-se portanto, de uma das poucas lavras mecanizadas da região, que tem seu forte em produzir espécimens de coleção, ou seja, minerais de hábitos incomuns, como o quartzo "jacaré" que são vendidos para colecionadores e museus do mundo inteiro (figura 35). O citrino laranja-amarronzado da mesma pode ser tratado por irradiação e culminar num laranja mais intenso, sem os tons marrons, conhecido comercialmente como citrino "madeira". Esta lavra por sua vez é constituída de galerias de dimensões 20m de comprimento por 1,5m de largura e altura, que seguem o contato entre a zona intermediária e o núcleo de quartzo. Este corpo mostra-se zonado com pelo menos três zonas bem marcadas, a saber; zona de borda (composição granítica e espessura de aproximadamente 1m), zona intermediária (intercrescimento gráfico, albita predominado sobre a microclina, muscovita e turmalina) e núcleo (quartzo, turmalina, amblygonita e lepidolita). A direção deste corpo é paralela a foliação regional do xisto, contudo suas espessuras atingem no máximo 10m.

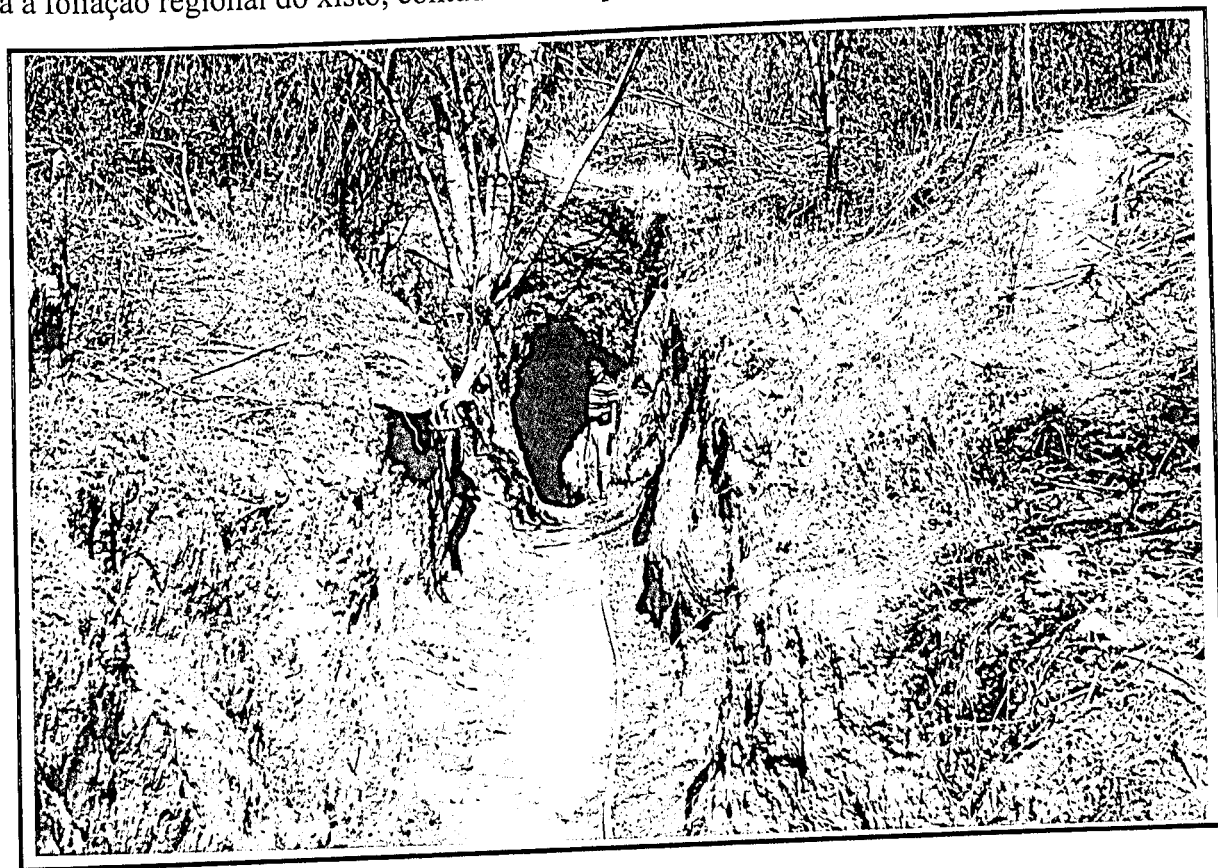


Figura 33- Vista da entrada da Lavra Teixeira, localizada na região de Taquaral (Itinga).

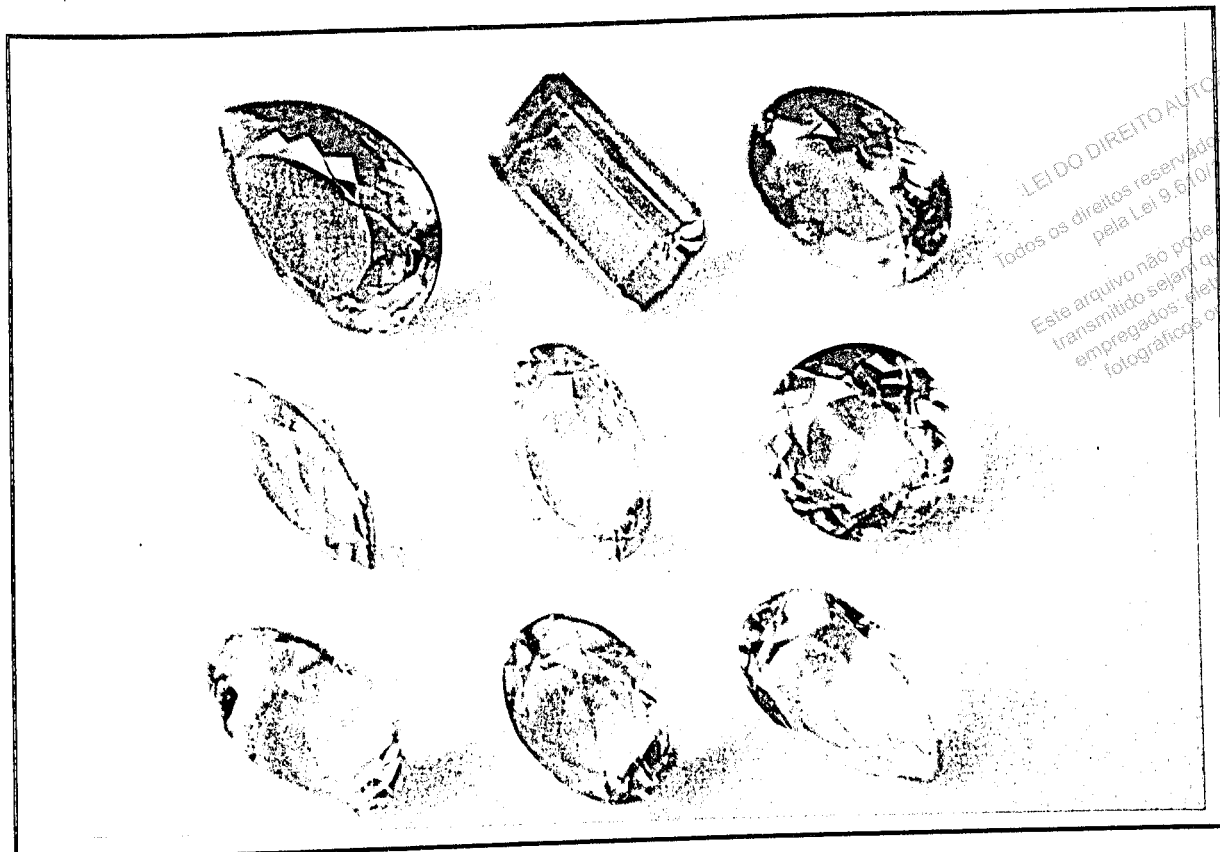


Figura 34- Quartzos *fumé* e laranja amarronzados naturais, provenientes da Lavra Teixeira.

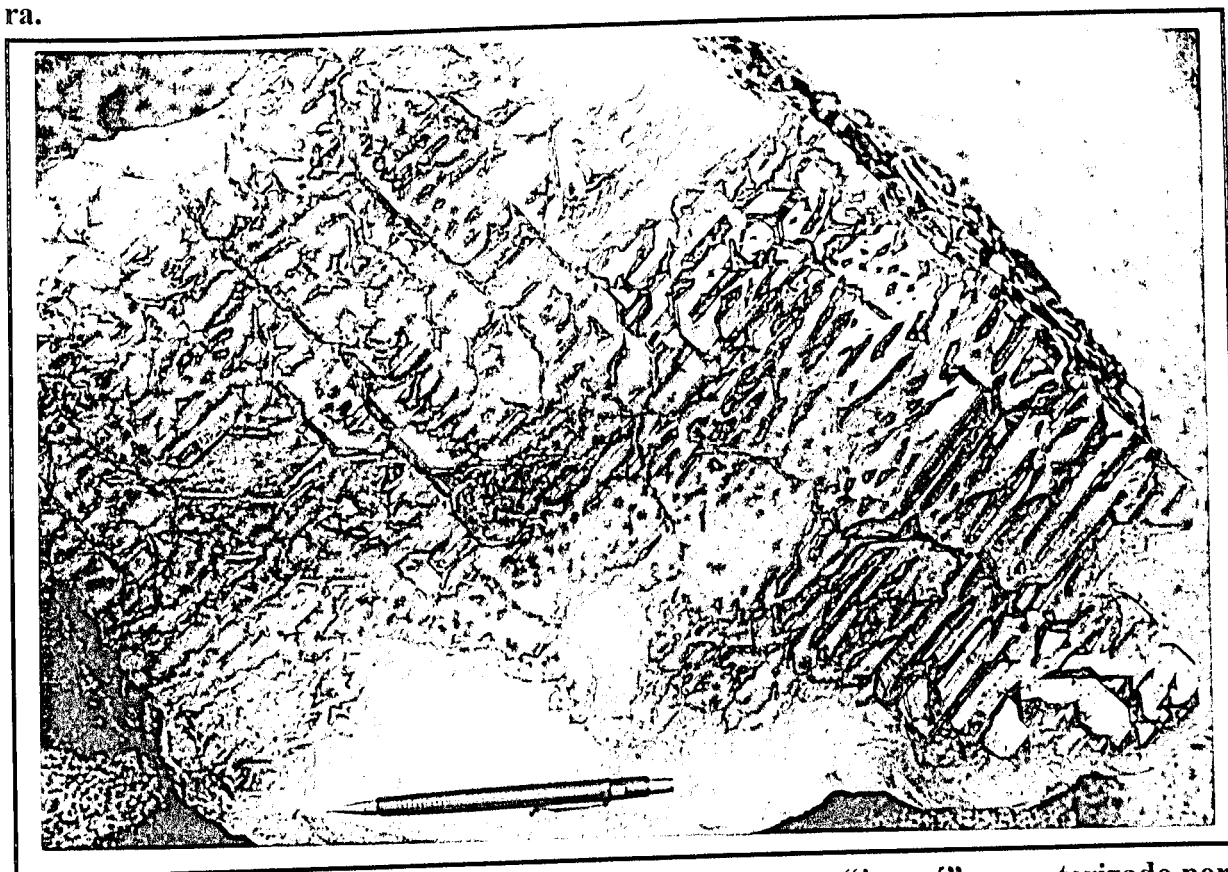


Figura 35- Espécimen de coleção conhecido como quartzo "jacaré", caracterizado por duas fases distintas de cristalização, uma de quartzo *fumé* com feições de corrosão e uma base de quartzo leitoso. Espécimen típico da Lavra Teixeira. A peça possui dimensões 80cm de comprimento x 45cm de largura.

3.3.2.4. Citrino e quartzo hialino da Lavra do Tedi (Rio Jenipapo, Itinga)

A região ao redor do Rio Jenipapo-Itinga é também conhecida por sua potencialidade para gemas, minerais ornamentais e minerais industriais (figura). Na área, além da lavra do Tedi existem dezenas de lavras a céu aberta exploradas rudimentarmente por garimpeiros.

Os pegmatito da lavra do Tedi apresenta características diferentes da classificação básica proposta por Cerný (1982), sendo em geral uma mistura dos tipos complexo a petalita e complexo a lepidolita. Tratando-se de um corpo que possui dimensões 3 x 100m em planta, e zona de borda caracterizada pela presença de muscovitas que crescem a partir da mesma em direção ao centro do corpos. A mineralogia deste corpo é representada por quartzo, microclina, albita e muscovita como minerais essenciais, petalita, cassiterita, tantalita-columbita, ambligonita, turmalina e berilo como acessórios e lepidolita e polucita como minerais secundários nos corpos de substituição. Algumas vezes nota-se na zona de borda um processo metassomático, que ocorre tanto do lado do pegmatito como dentro da rocha encaixante. Este processo transforma alguns minerais do xisto (biotita, cordierita e plagioclásio) em outros como zinwaldita (biotita litinífera) e schorlita. A direção deste corpo é NNE-SSW com mergulhos variando de 65° a 85°, ora para NW ora para SE. A forma do mesmo varia de lenticular a planar, sendo a primeira o resultado da percolação dos fluidos dentro dos planos de foliação dos xistos, e a segunda oriunda do preenchimento de planos de fratura.

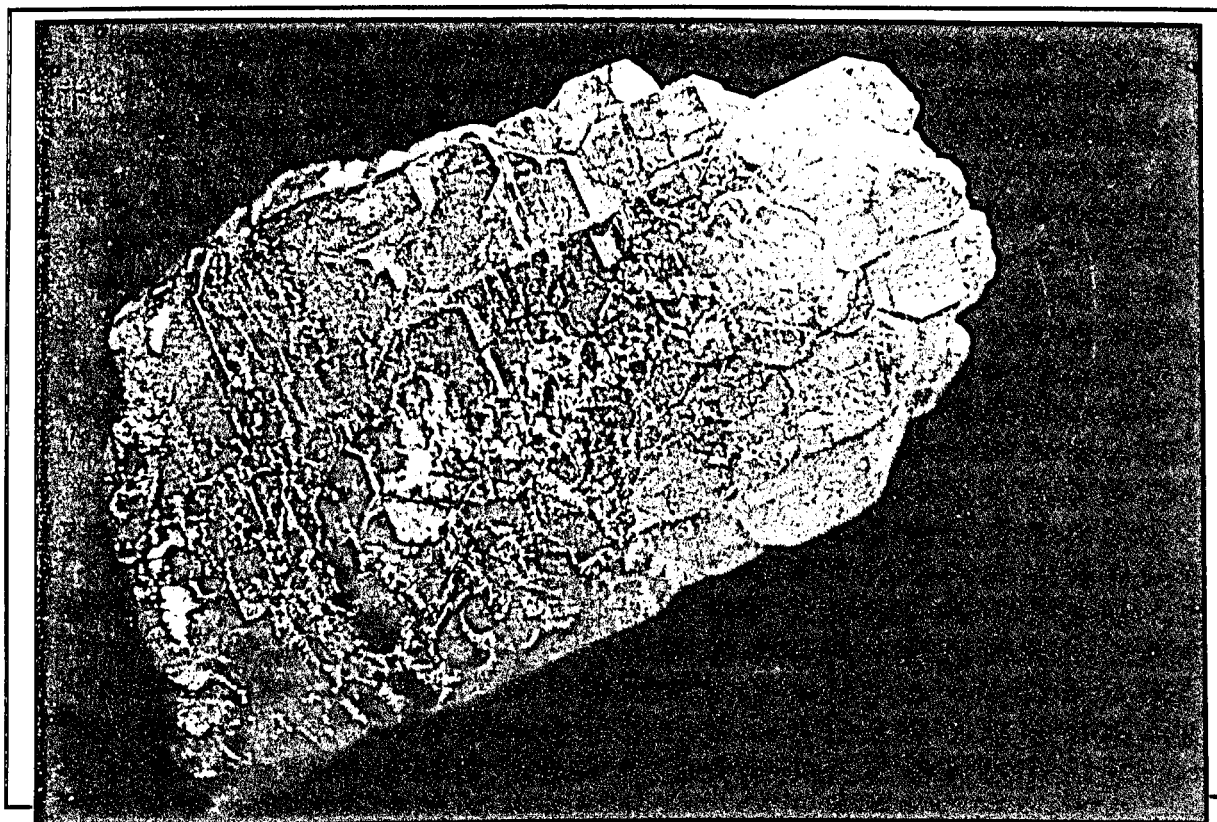


Figura 36- Espécimen de coleção proveniente de lavra do Tedi (região do Jenipapo), tratando-se de um citrino laranja-amarronzado, com feições do quartzo tipo “jacaré”.

3.3.2.5-Ametista da Fazenda Itajobi (Pancas)

A região de Pancas, no Espírito Santo encontra-se também inserida no contexto geológico da Província Pegmatítica Oriental Brasileira, sendo conhecida no meio internacional como grande produtora de minerais gemológicos e de excepcionais peças de coleção (Moore, 1990). Como paradoxo, porém, no Brasil esta área ainda tem seu potencial gemológico pouco conhecido pela comunidade das geociências (Chaves, 1992). A Fazenda Itajobi está situada a cerca de 5km ao sul de Pancas. O veio de ametista estudado constitui um dos numerosos pequenos depósitos que ocorrem na área (GPS 40°52'W e 19° 14'25 S). Toda a região é constituída por rochas gnáissicas do Complexo Basal, muito alteradas, intrudidas por plútons graníticos na forma de pães-de-açúcar, além de pegmatitos associados a estes últimos.

Os depósitos portadores de minerais gemológicos em Pancas associam-se a pegmatitos alterados, não zonados, além de *placers* derivados. O veio estudado encontra-se em área arrasada entre os plútons graníticos, onde a mineralogia básica foi bastante alterada, constituindo-se de quartzo leitoso microfraturado, muscovita, schorlita e caulinita, com raros bolsões contendo minerais gemológicos. O corpo é tabular, possuindo em média 1,5m de espessura, com a ametista aparecendo juntamente com quartzos leitoso, hialino, *fumé* e *morion*, atapetando pequenas cavidades irregularmente localizadas.

O potencial da área pode ser considerado como bastante grande, já que os pegmatitos são mal conhecidos em termos geológicos e econômicos. A maior parte das lavras da região se concentram nos depósitos aluvionares, visando o crisoberilo, o qual alcança preços significativos no mercado internacional. No entanto, desconhecem-se dados a respeito de produção.



Figura 37– Amostra de ametista de cor intensa da lavra da Fazenda Itajobi (Pancas-ES).

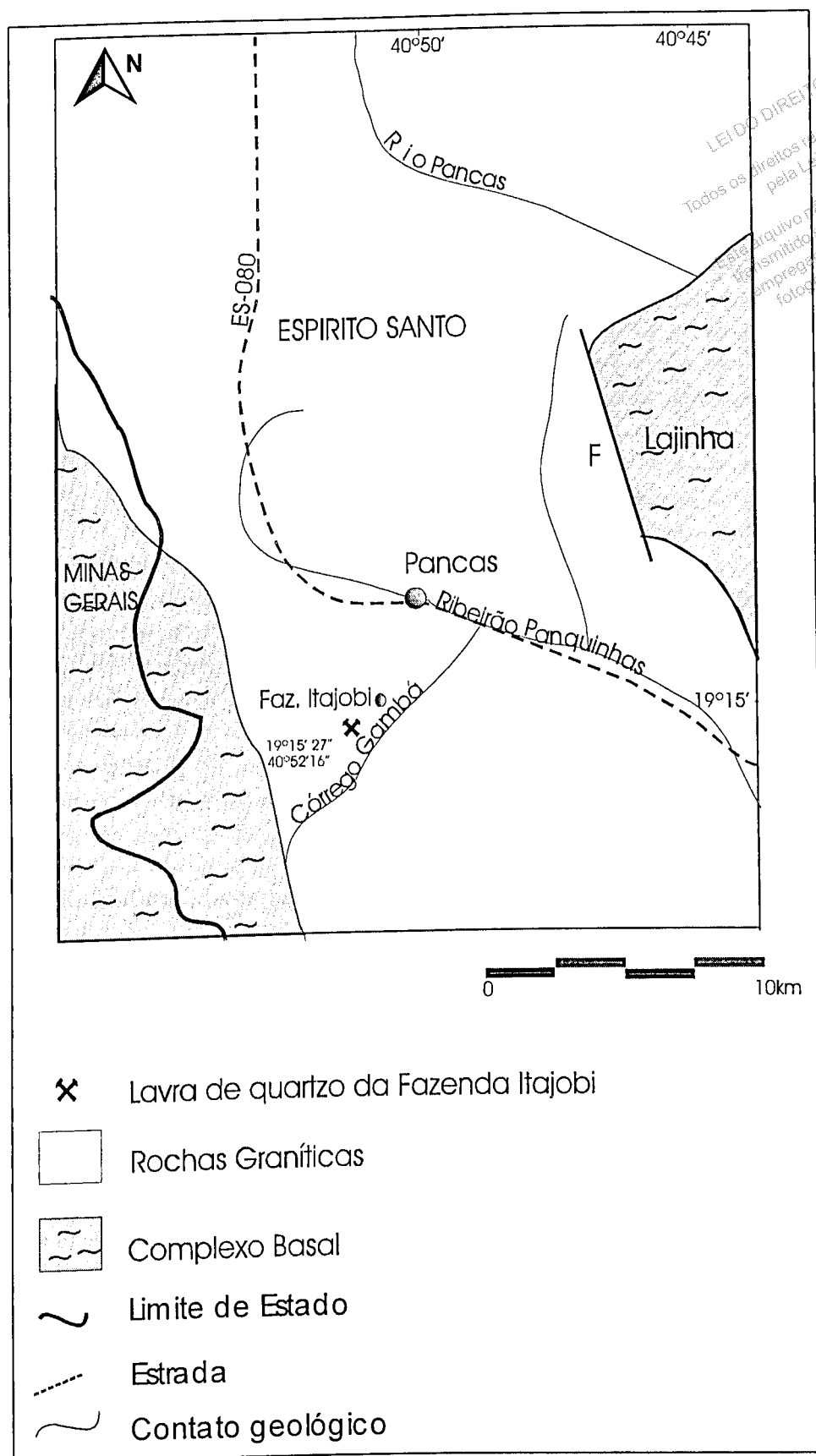


Figura 38 -Mapa Geológico da Região de Pancas, Espírito Santo (modificado de Fontes *et al.*, 1978).

3.3.3- Gênese primária dos depósitos

O grande volume de quartzo encontrado na Província Pegmatítica Oriental Brasileira associa-se ao núcleo dos corpos pegmatíticos. Os pegmatitos da região norte de Minas foram formados a partir de soluções graníticas ricas em elementos raros que migraram e se acumularam na cúpula dos plutons granitóides originais, com sua posterior migração para planos de fraturas devido o alívio de pressão (figura 39).

Dois tipos de pegmatitos são encontrados na Província Pegmatítica Oriental Brasileira: os pegmatitos anatéticos e os pegmatitos residuais. Os pegmatitos anatéticos são mobilizados félsicos de mineralogia simples, gerados a partir da fusão parcial de rochas regionais. Os pegmatitos residuais são originados a partir de resíduos líquidos dos granitos pegmatóides, sendo estes últimos os mais importantes quanto a presença de minerais de qualidade gemológica e elementos raros. Apesar de ambos possuírem o quartzo como mineral principal que no seu núcleo, um maior grau de cristalinidade deste mineral é obtido especialmente nos pegmatitos residuais-graníticos. Os pegmatitos anatéticos da província são corpos tabulares e pouco espessos, que se destacam dos demais por não apresentarem minerais litiníferos e por raramente conterem corpos de substituição. Apesar dos pegmatitos anatéticos serem abundantes nesta província, os mesmos são de pouco interesse econômico, apesar de serem aproveitados na exploração de feldspatos e/ou micas.

Segundo a classificação de Cerny (1982) os pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira podem ser enquadrados na família LCT, ou seja, pegmatitos Litiníferos e enriquecidos em elementos raros como o Césio e o Tântalo. Minerais litiníferos como espodumênio, petalita, amblygonita e lepidolita são abundantes em toda a província. O césio é encontrado na polucita, enquanto que o tântalo (e/ou nióbio), forma uma solução sólida na columbita-tantalita.

Os pegmatitos complexos, por sua vez, são corpos de grandes dimensões que exibem geralmente um zoneamento textural e mineralógico bem desenvolvido (figura 40), além de possuir acentuado interesse econômico. De acordo com Cameron *et al.* (1949), estes corpos apresentam o seguinte zoneamento: 1- Zona de Borda- Esta zona é caracterizada pela sua pequena espessura, textura aplítica e por sua notável continuidade. A mineralogia essencial é composta por feldspato, quartzo e muscovita, tendo como minerais acessórios, turmalina, berilo, apatita e granada; 2- Zona Mural- É caracterizada pela granulação grossa e maior espessura que a zona de borda, não possuindo continuidade. A mineralogia desta zona inclui plagioclásio, pertita, quartzo, moscovita e turmalina com biotita, apatita (e outros fosfatos), columbita-tantalita, granada e berilo ocorrem raramente; 3- Zona Intermediária- Os minerais presentes nesta zona são principalmente quartzo, plagioclásio, pertita, turmalinas e apatita; 4- Núcleo- O tamanho do núcleo depende da porção do

corpo e da espessura da zona intermediária. A mineralogia comumente encontrada é composta principalmente por quartzo, pertita-quartzo-plagioclásio. É nesta zona que se encontra o maior volume de quartzos hialino e coloridos de qualidade gemológica, que podem ser tratados por irradiação e aquecimento.

Nos pegmatitos complexos é comum a presença de corpos de substituição, ou seja, porções de pegmatitos que sofreram alterações durante as fases tardias do processo pegmatítico, na qual os líquidos residuais ricos em elementos voláteis (Fe e Cl) atacaram e desestabilizaram os minerais ou agregados pré-existentes, gerando novas assembléias minerais (figura 40).

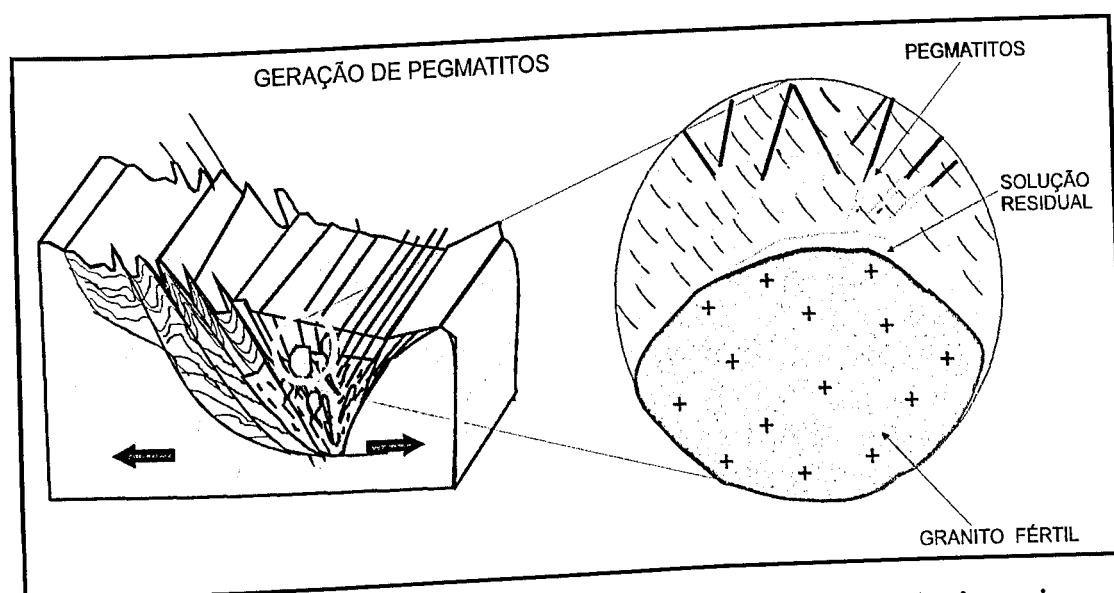


Figura 39- Geração de corpos pegmatíticos a partir de soluções residuais enriquecidas em elementos raros que se acumulam na cúpula dos granitos "G5" e que migram para cima devido ao alívio de pressão. O quartzo encontra-se preferencialmente associado ao núcleo pegmatítico.

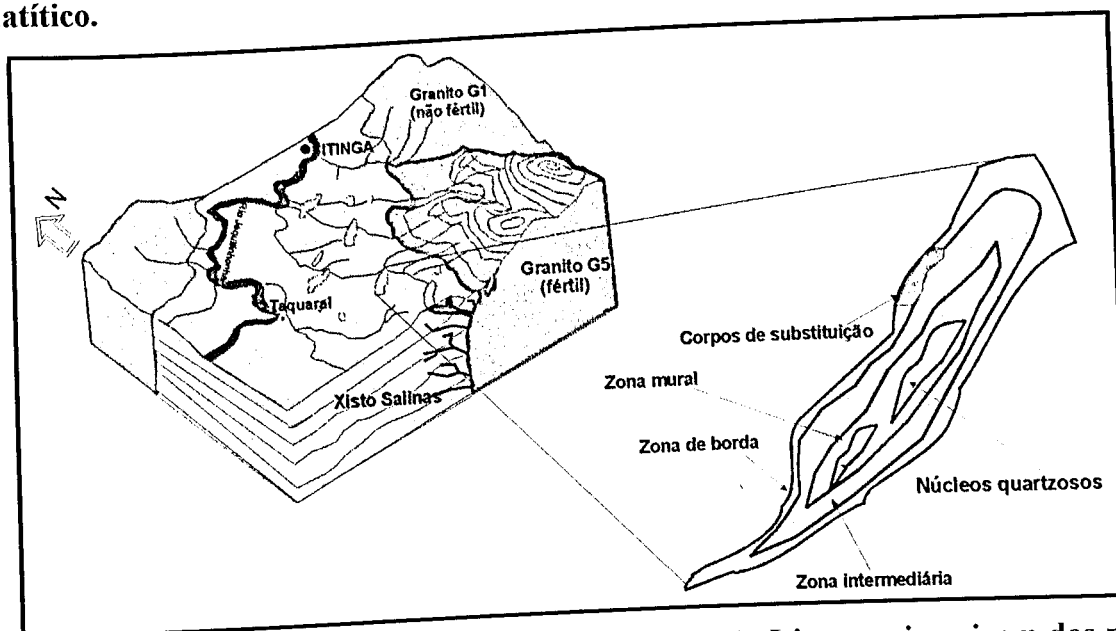


Figura 40- Desenho esquemático do campo pegmatítico de Itinga, cuja origem dos pegmatitos onde os mesmos estariam relacionado a suite granítica G5 de Pedrosa-Soares *et al.* (1997). Detalhes do zoneamento do corpo também são ressaltados à direita.

4- MINERALOGIA

4.1-Composição química

A denominação quartzo *lato sensu* aplica-se aos minerais de composição química SiO_2 ou $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. As variedades coloridas macrocristalinas de quartzo como: ametista, citrino e quartzo *fumé* apresentam suas cores relacionadas às presenças de impurezas, como o alumínio e ferro trivalentes que ocorrem substituindo o silício tetravalente, e também à presença de radiação natural no depósito primário ou artificial no laboratório.

A aquisição da cor está intimamente ligada com o problema da substituição do sílico pelas impurezas mencionadas anteriormente, o que por sua vez gera um desequilíbrio eletrônico devido à diferença entre suas valências. Assim que o desequilíbrio é instalado, ocorre um rápido restabelecimento do equilíbrio por outras impurezas monovalentes, como o Li^+ , o Na^+ , o K^+ e o H^+ que atuam como verdadeiros compensadores eletrônicos (Rossman, 1994) (figura 41).

O alumínio em geral encontra-se presente desde valores menores que 13 ppm até valores da ordem de 15.000 ppm (Smith & Steele, 1984), enquanto que o ferro ocorre em torno de 350 ppm. Segundo Dennen (1966), o conteúdo de Li^+ , Na^+ e K^+ é proporcional ao conteúdo de $\text{Fe}+\text{Al}$, enquanto que análises quantitativas de H^+ somente podem ser feitas através da presença de bandas de $(\text{OH})^-$ ou de água molecular que ocorrem internamente no mineral. Os estudos de elementos menores como o lítio, sódio, potássio e hidrogênio, como influenciadores na cor das variedades gemológicas de quartzo são extremamente recentes, pois no passado apenas conheciam-se as influências do ferro e do alumínio.

O conteúdo de impurezas contido dentro dos cristais depende amplamente do ambiente de cristalização do quartzo, daí a necessidade de se fazer uma correlação entre as variedades coloridas desse mineral com o seu ambiente de crescimento.

O sódio e o potássio encontram-se principalmente relacionados com as causas de cores em quartzos sintéticos, enquanto que o lítio e o hidrogênio são os principais elementos que juntamente com o ferro e o alumínio darão origem às variedades naturais, como ametistas, citrinos e quartzos *fumé* (Rossman, 1994).

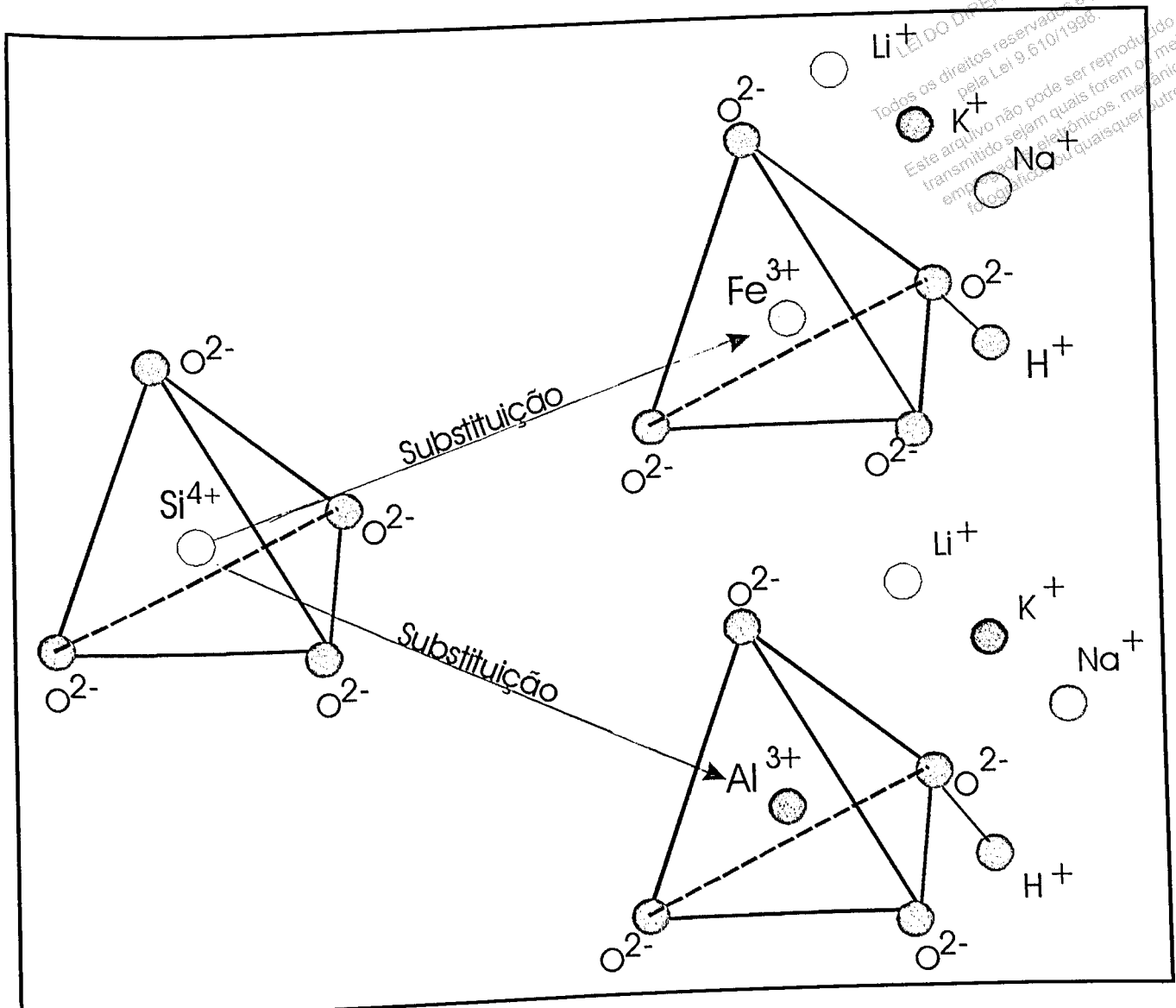


Figura 41- Impurezas mais comuns em cristais de quartzo coloridos e que atuam diretamente na cor. Os elementos sódio e potássio estão relacionados principalmente a quartzos sintéticos (Rossman, 1994)

4.2- Sistema cristalino

Desde longa data se conhece a cristalização do quartzo no âmbito do sistema trigonal, classe trapezoédrica (Dana & Hurlbult, 1969). Em Minas Gerais são comuns os cristais tipicamente hexagonais-romboédricos, trigonais e hexagonais-trapezoédricos. As faces trigonais-trapezoédricas x são observadas ocasionalmente e revelam a simetria verdadeira do cristal. Estas faces x são pequenas truncaturas entre uma face do prisma e a de um romboedro adjacente; elas ocorrem na parte superior das faces do prisma no quartzo direito e na superior esquerda no quartzo esquerdo (figura 42). Os trapezoedros trigonais são formas que refletem a estrutura do cristal. O arranjo dos tetraedros de SiO_4 sob a forma de hélice orientada no sentido direito ou esquerdo determina a natureza (ou "a mão") do quartzo (figura 42). Em Minas Gerais o quartzo esquerdo predomina sob o quartzo direito; eles são comumente observados em várias lavras, como por exemplo a de quartzo *fumé* da Serra do Espinhaço, que ocorre na lavra do Sítio Barra do Pecado, em Sopa-Diamantina (figura 43).

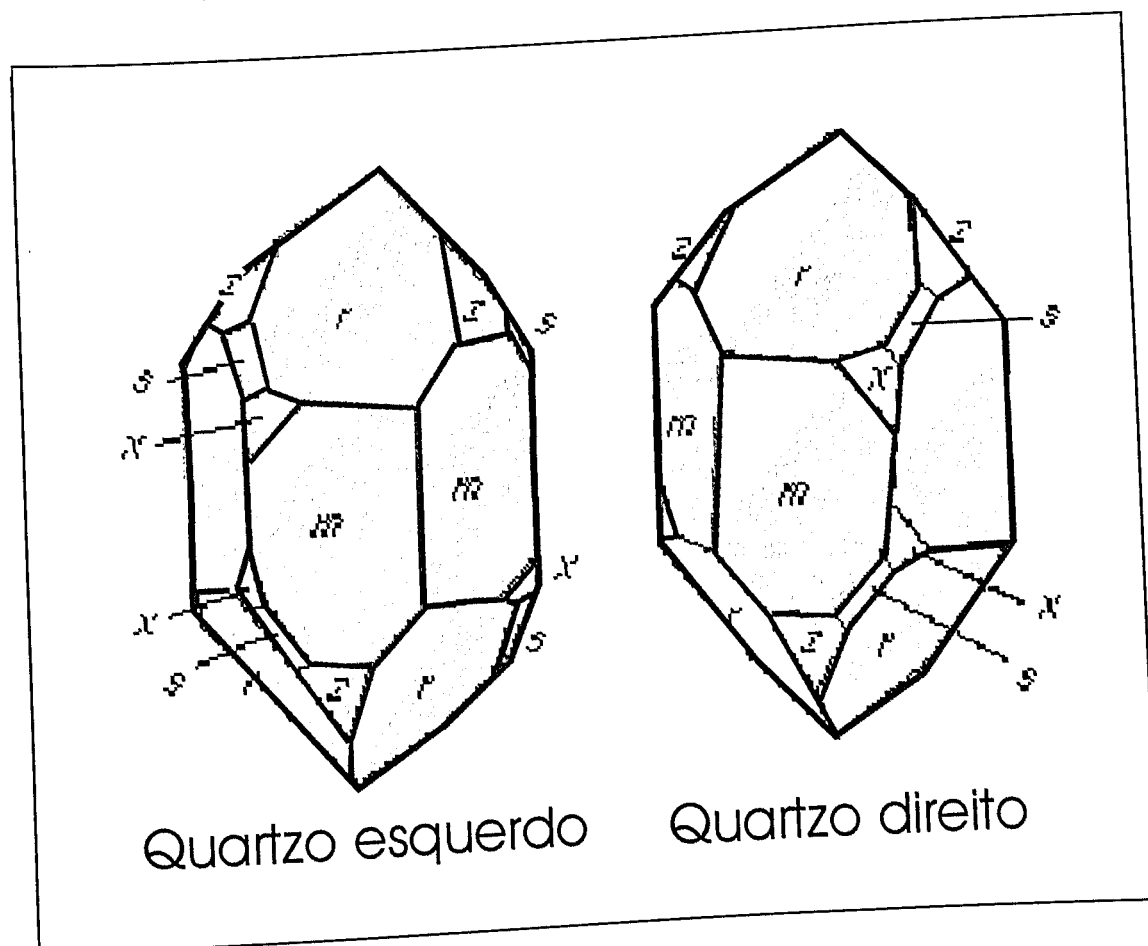


Figura 42- A morfologia dos cristais de quartzo direito e esquerdo. As faces menores são x , y e z que localizam-se à esquerda do observador no quartzo esquerdo e à direita no quartzo direito.

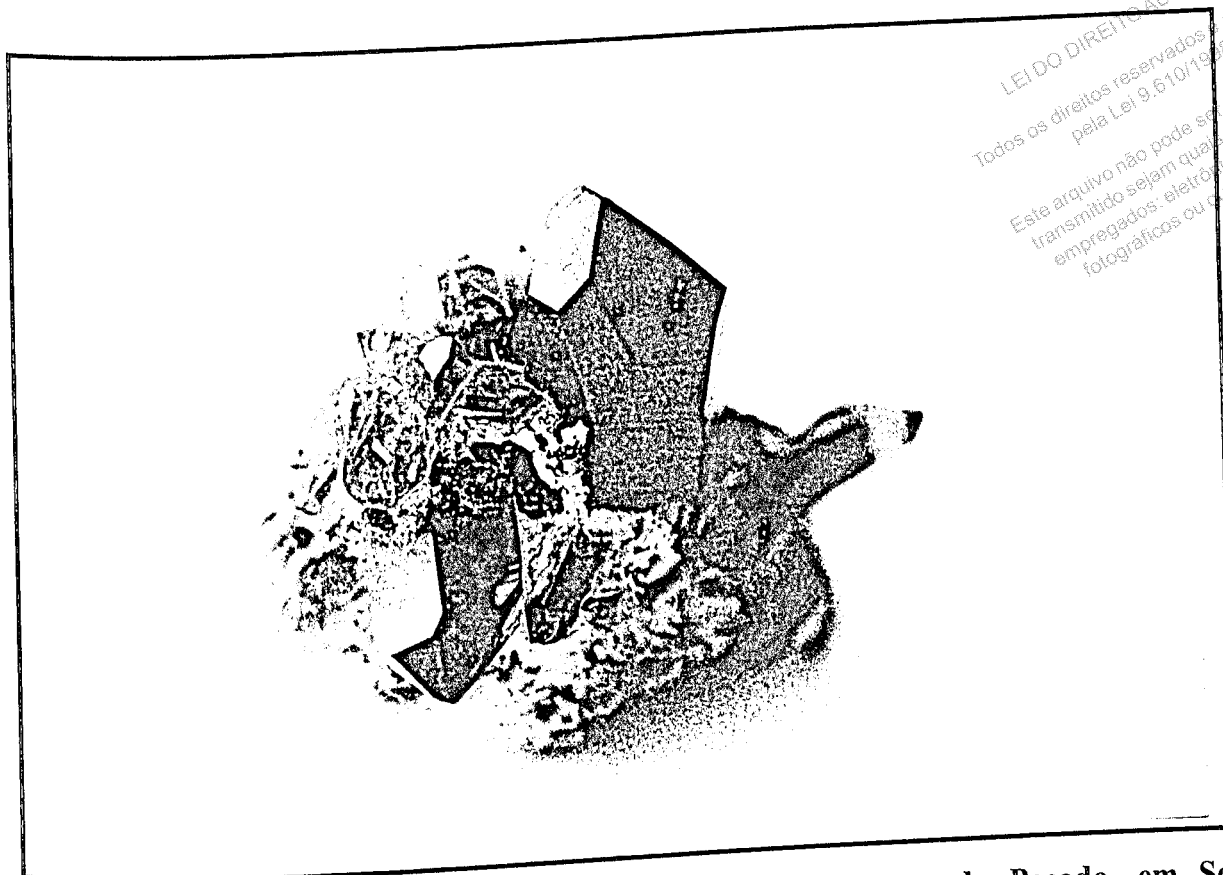


Figura 43- Típico quartzo esquerdo da lavra do Sítio Barra do Pecado, em Sopa-Diamantina (o cristal maior, central na drusa).

4.3-Hábito

O alto valor comercial dos cristais de quartzo de Minas Gerais não se devem apenas às variedades de gemas coradas existentes. Uma fatia do mercado de gemas pouco ressaltada, mas que agrega grandes valores aos cofres das cidades de Diamantina, Corinto, Araçuaí, Teófilo Ottoni e Governador Valadares, trata-se do comércio de minerais com hábitos diferentes ou incomuns, que ocorrem caracteristicamente em diversas regiões de Minas Gerais.

Entre estes cristais mais interessantes devido aos seus hábitos incomuns, destacam-se:

- 1- Os biterminados, constituindo uma combinação de romboedros positivos e negativos que muitas vezes são desenvolvidos de maneira tão igual a ponto de culminarem na formação uma bipirâmide hexagonal (figura 44);
- 2- Os quartzos tipo *laser*, representando cristais que desenvolvem-se desproporcionalmente ao longo do eixo *c*, assemelhando-se a uma grande barra, podendo os mesmos ocorrerem isoladamente ou como drusas (figura 45). O quartzo *laser* é um dos que se destacam entre os demais, pois tornaram-se bastante apreciados por colecionadores,

estando os mesmos sempre expostos nas principais feiras de gemas do mundo inteiro, como em Tucson (Arizona, EUA), Idar-Obstain (Alemanha) e Teófilo Otoni (Brasil). Em Minas Gerais, os cristais de quartzo *laser* são comuns nas lavras do Espinhaço Meridional;

- 3- Os cristais prismáticos comuns, que quando ocorrem isolados da drusa original sendo de pequenas dimensões, são comumente conhecidos por “dentes-de-cão”, ou “polegares” (*thumbnail specimens*) (figura 46);
- 4- Em diversas regiões da Serra do Espinhaço Meridional, como por exemplo a área de Batatal (Diamantina), são comuns cristais cujas linhas de crescimento descrevem feições geométricas. Tal material tem sido conhecido como “quartzo igrejado”, ou “baracado” sendo um dos objetos mais procurados por colecionadores (figura 47);
- 5- Quando inclusões minerais de quartzo mais impuros ou leitosos se colocam ao longo da linhas de crescimento, dando um aspecto nevoado, o nome *phanton quartz* ou quartzo fastasma é utilizado (figura 48);
- 6- Os quartzos oblatos, cristais com achatamento do cristal ao longo dos eixos z ou x, ou de duas de suas faces prismáticas, são comuns em certas regiões da Serra do Espinhaço. Tais cristais refletem um ambiente de cristalização de mais moderada pressão, não permitindo ao cristal crescer livremente (figura 49);
- 7- Em Minas Gerais, o quartzo existe sob muitas formas, mas nenhuma delas se compara ao chamado “quartzo jacaré” ou “jacarezado” (figura 50), que por sua vez corresponde a um espécimen de coleção de rara beleza. O mesmo apresenta duas fases de cristalização distintas, às vezes uma leitosa e outra *fumé*, sendo que a porção *fumé* apresenta figuras de dissolução ou corrosão (figuras 51 e 52) que em alguns espécimens formam verdadeiros mosaicos (figura 53). A diferença composicional parece contribuir para o aparecimento desta dissolução, deste modo, leva-se a pensar que uma mesma solução deu origem às fases *fumé* e leitosa, porém com uma certa diferenciação composicional presente. A fase *fumé* apresenta cristais menores, indicando que a cristalização desta fase ocorreu em temperaturas menores do que a originou a fase leitosa. A porção *fumé* adquiriu esta coloração devido a mesma estar enriquecida em Al e Li, elementos que migraram e se concentraram na porção superficial do cristal “jacaré”, e que por sua vez deram origem a coloração *fumé*, mediante a presença da radiação natural existente em certos pegmatitos (ver capítulo 5 – Causas de cor em quartzo). Tais cristais bem formados e com a capa *fumé* são extremamente apreciados por colecionadores (figura 52).

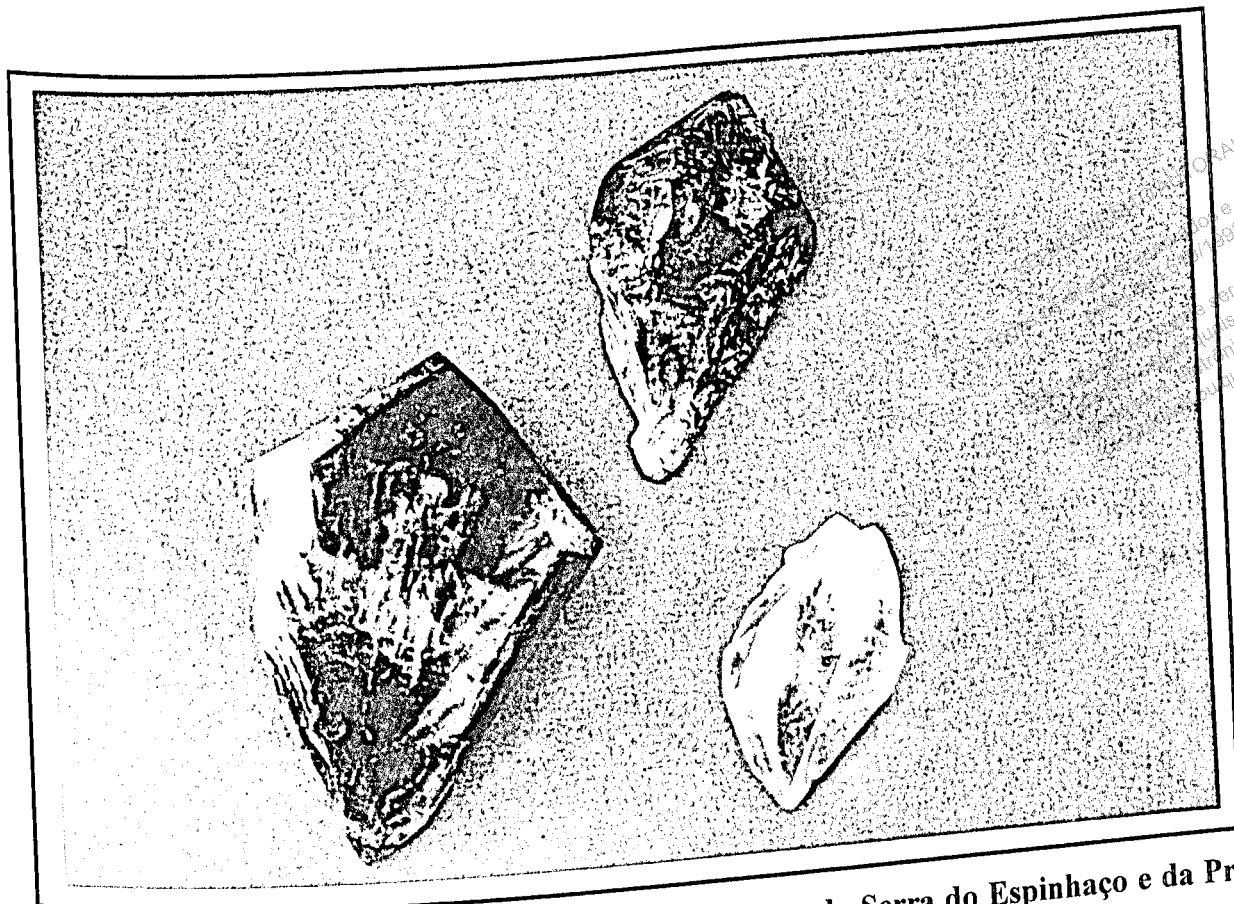


Figura 44- Cristais biterminados de quartzo provenientes da Serra do Espinhaço e da Província Pegmatítica Oriental Brasileira.

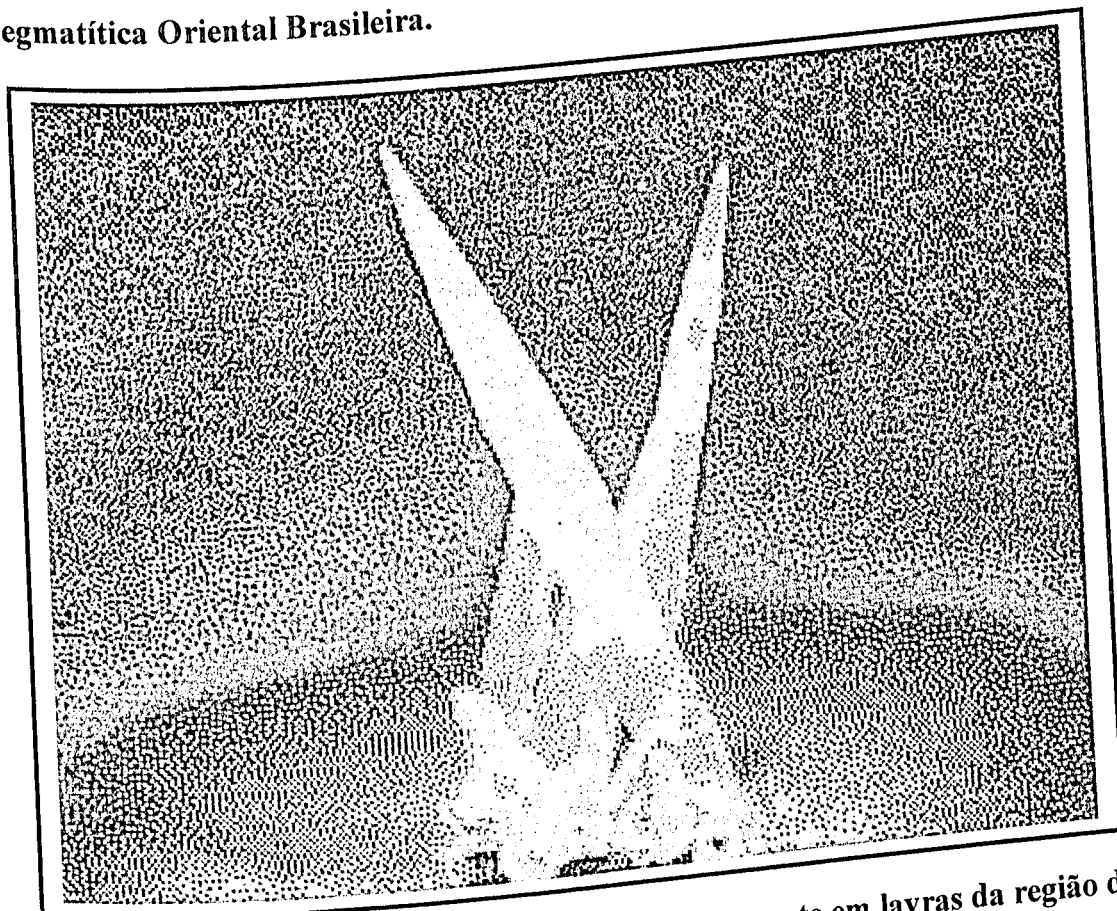


Figura 45- Drusa de quartzo tipo *laser*, que aparece tipicamente em lavras da região do Espinhaço Meridional.

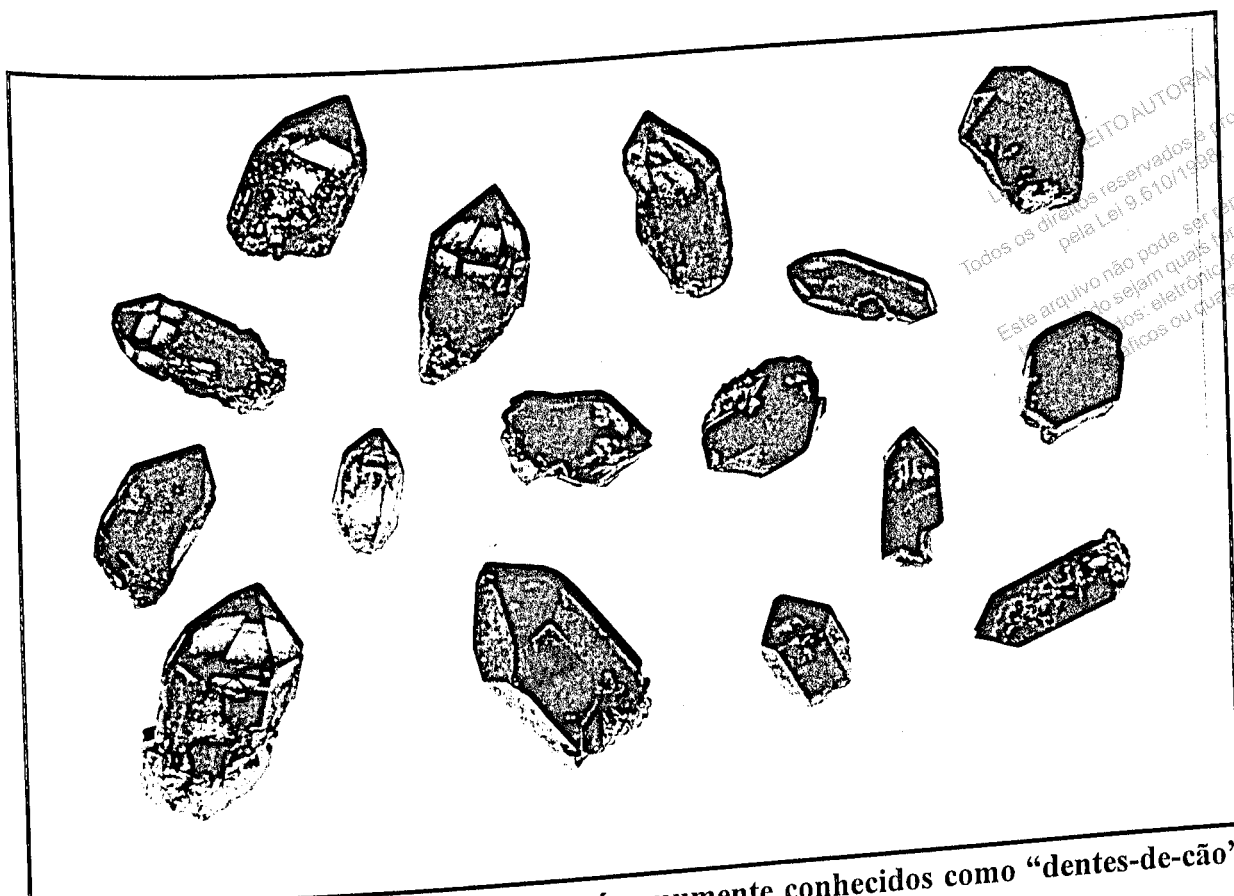


Figura 46- Cristais isolados de quartzo *fumé* comumente conhecidos como “dentes-de-cão” ou “polegares” (*thumbnail*).

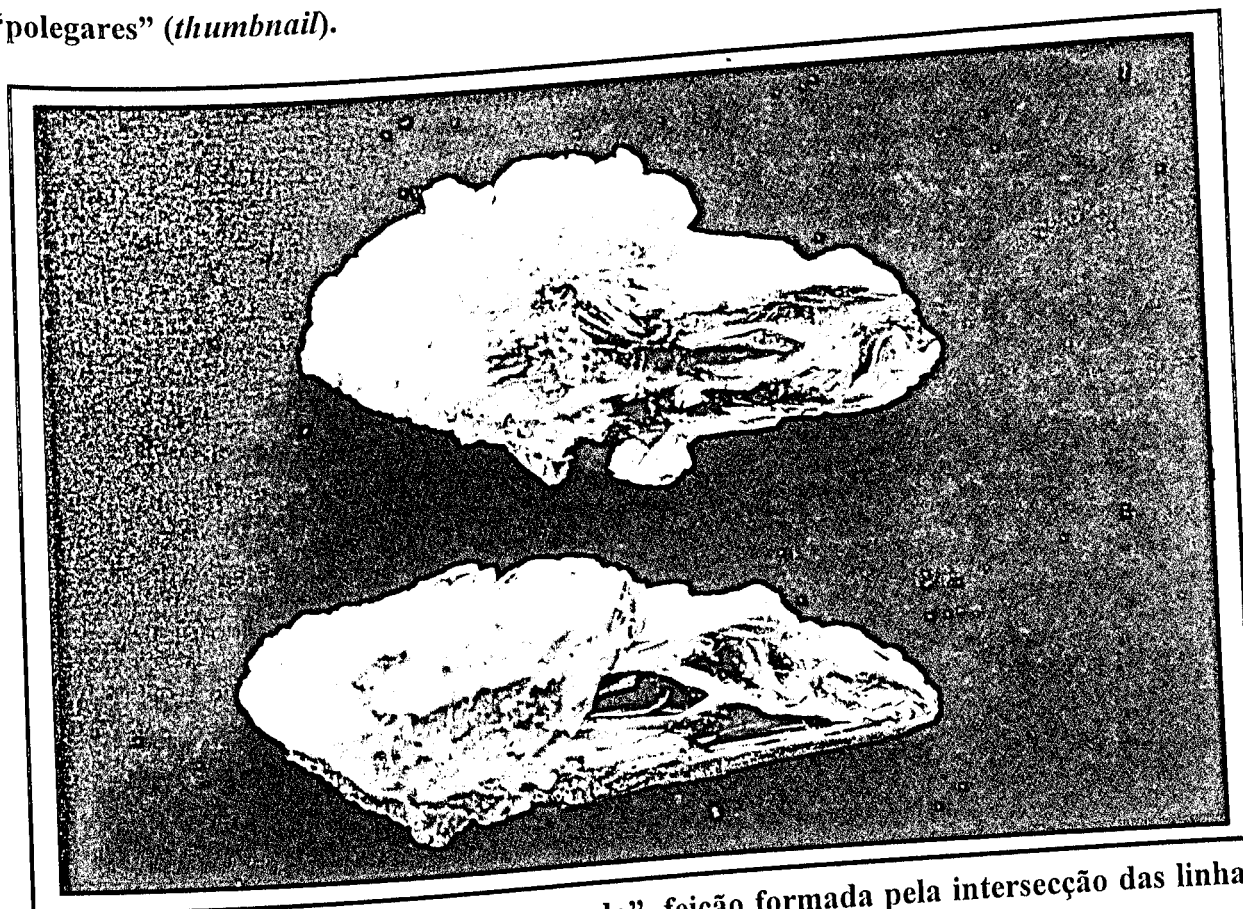
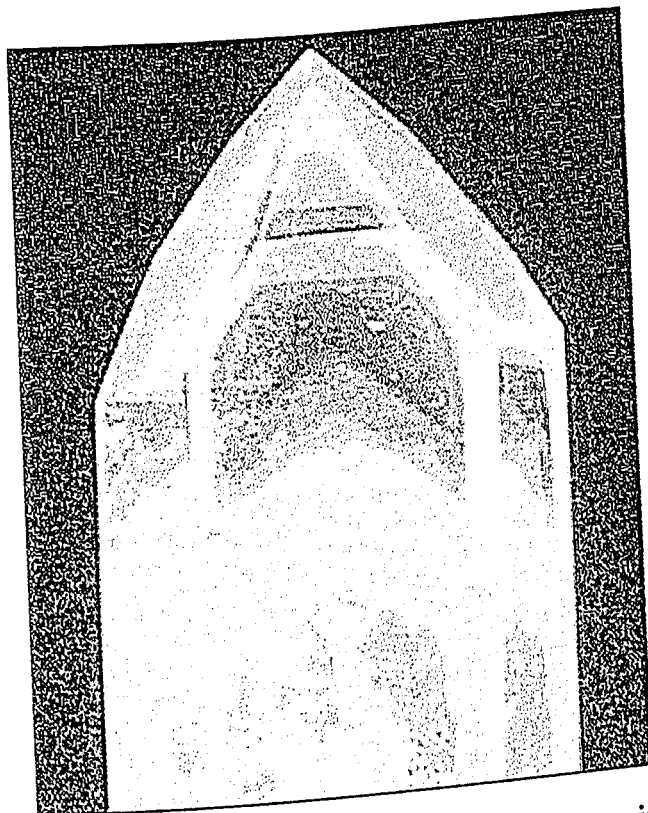


Figura 47- Quartzo “igrejado” ou “barracado”, feição formada pela intersecção das linhas de crescimento do cristal.



LEI DO DIREITO AUTORAL
Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

Figura 48 – Quartzo fantasma ou *phanton quartz*, assim denominado devido a grande quantidade de impurezas presentes no interior do cristal, o que lhe confere um aspecto nevoado de cor branca leitosa.



Figura 49- Drusa mostrando cristais de quartzo oblato, típicas de algumas regiões da Serra do Espinhaço.

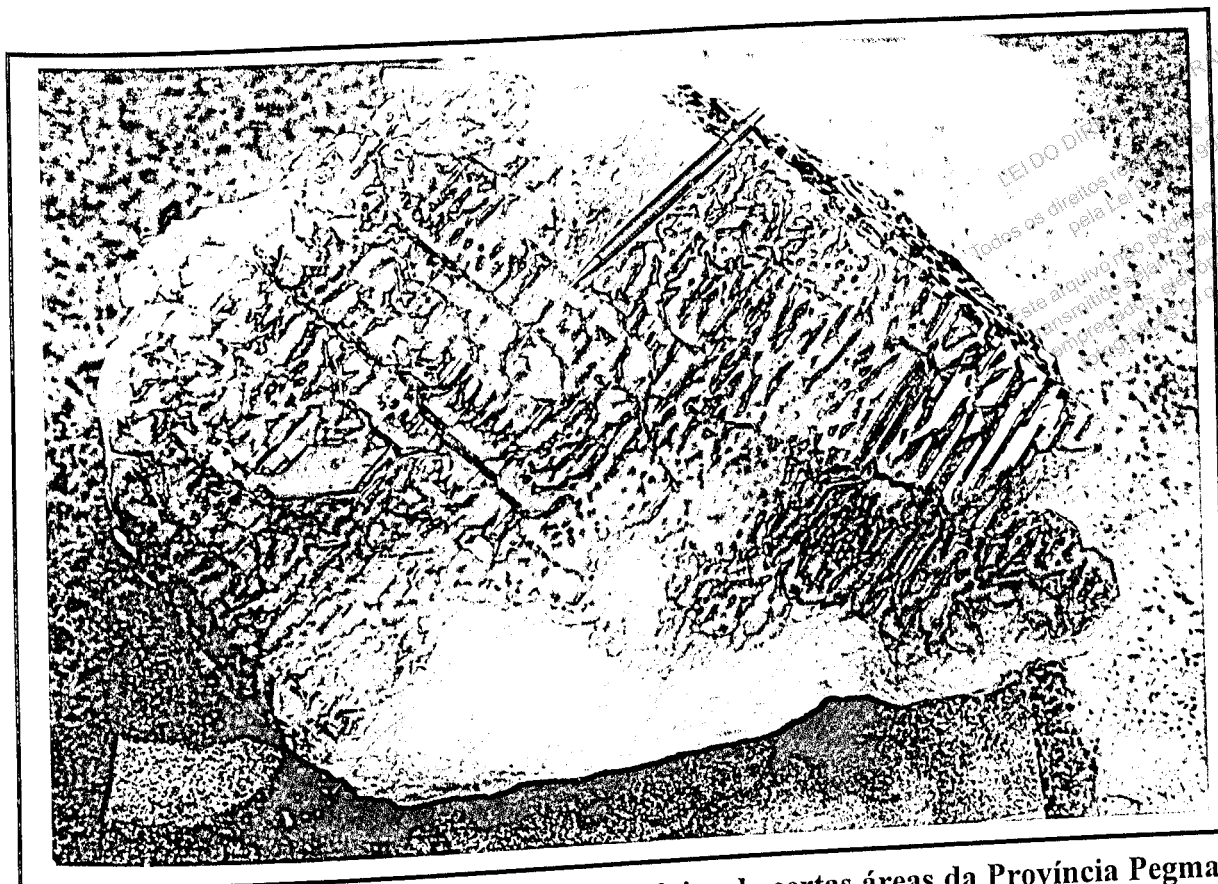


Figura 50 – Quartzo “jacaré” ou “jacarezado” típico de certas áreas da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. O cristal apresenta duas fases de cristalização, uma leitosa e outra *fumé*.

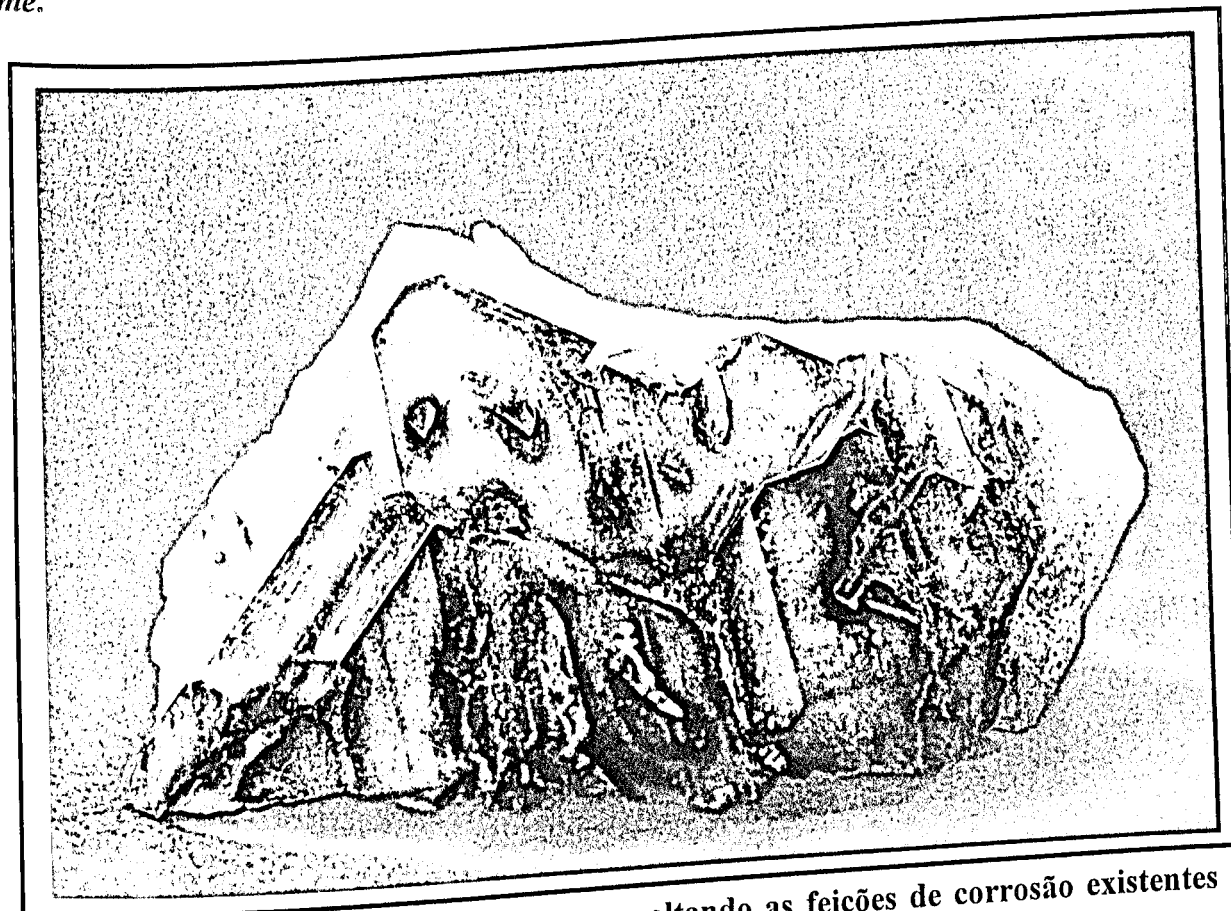


Figura 51– Quartzo “jacaré” em detalhe, ressaltando as feições de corrosão existentes na porção *fumé*. Espécimen de dimensões 25 cm (comprimento) x 15 cm (largura).

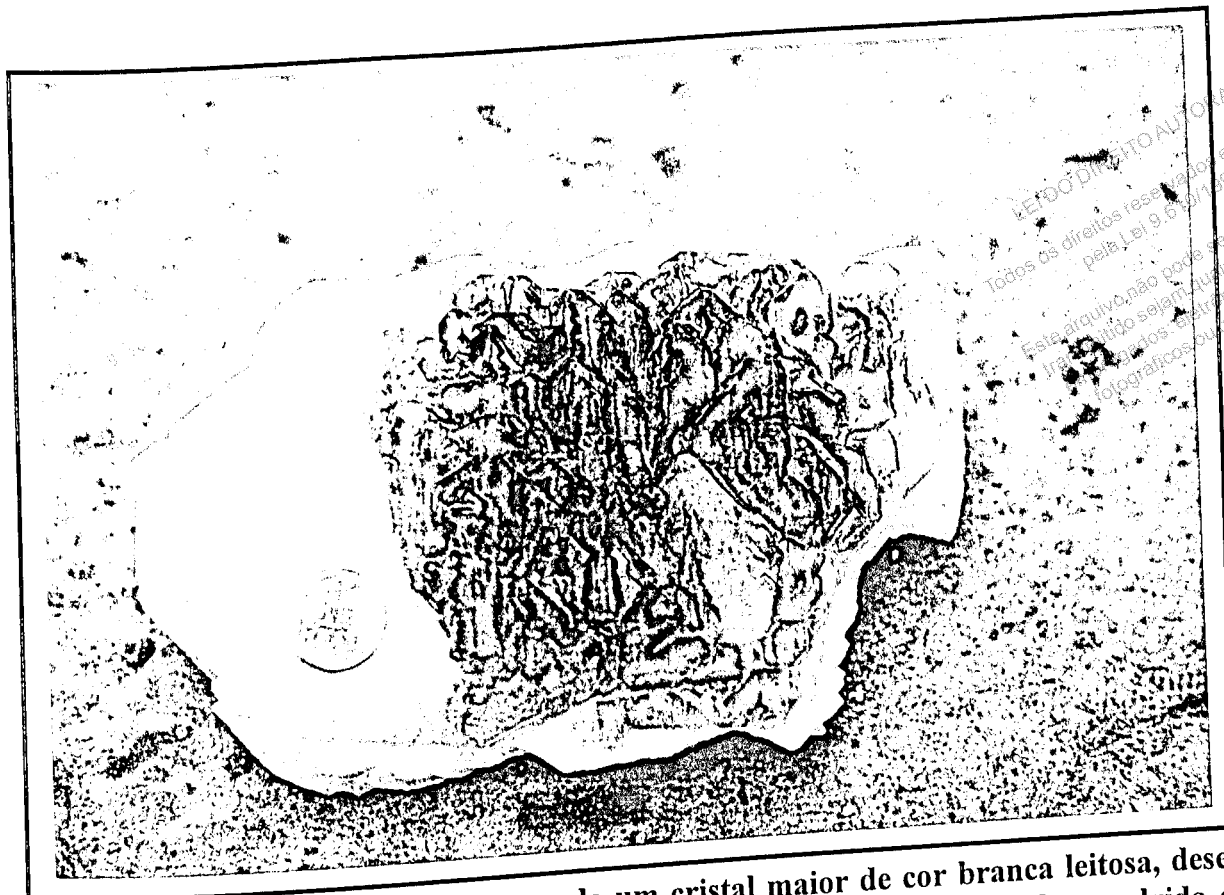


Figura 52- Cristal tipo "jacaré" mostrando um cristal maior de cor branca leitosa, desenvolvido em uma primeira fase de cristalização e uma segunda fase *fumé* desenvolvida em outra fase de cristalização. Espécimen de coleção bastante apreciado por aficionados.

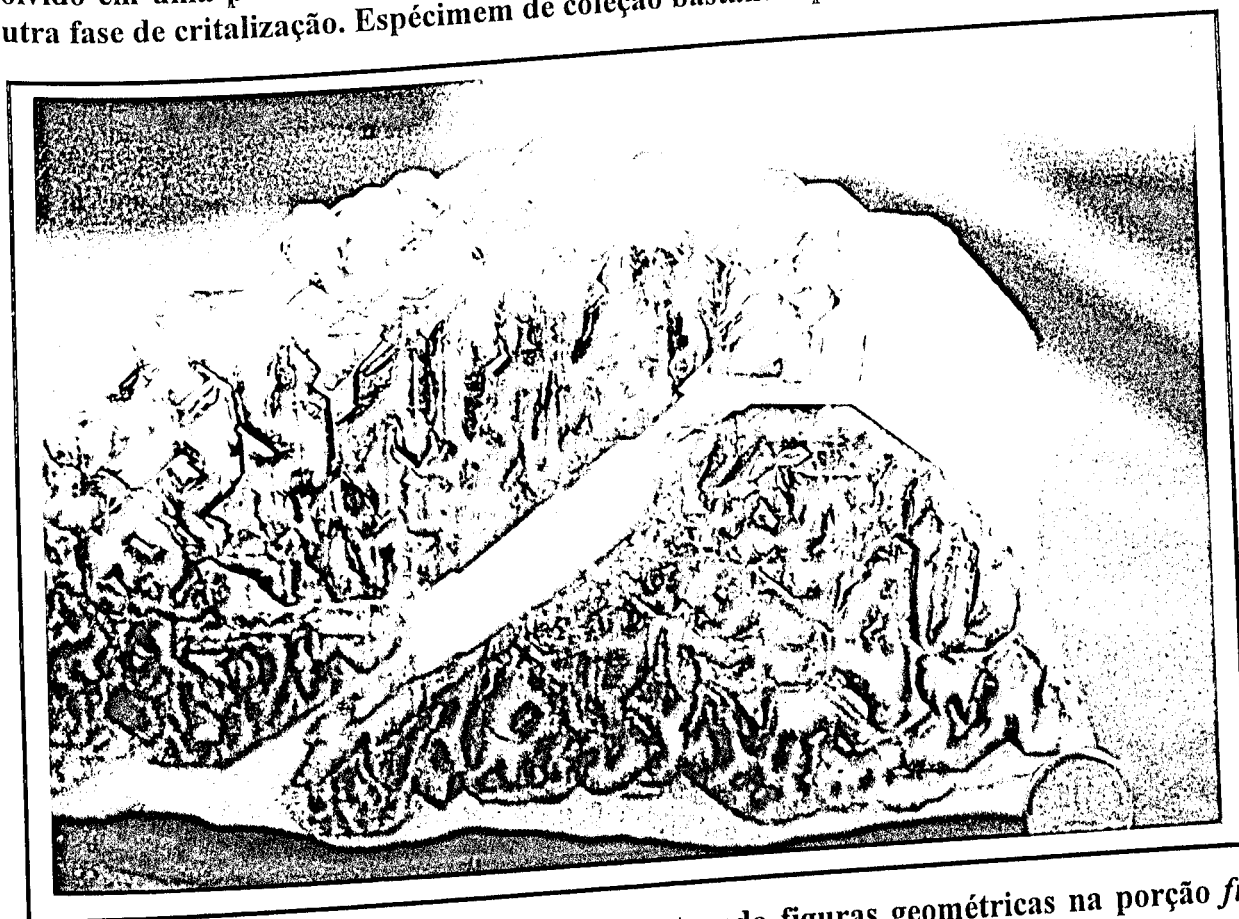


Figura 53- Detalhes do quartzo "jacaré", mostrando figuras geométricas na porção *fumé* devidas ao processo de corrosão.

4.4- Geminção

São freqüentes os cristais perfeitamente geminados nas lavras estudadas de Minas Gerais. Os geminados designam-se usualmente como geminados de contato ou como geminados de penetração. Os geminados de contato têm uma superfície de contato de composição definida separando os dois indivíduos, enquanto que o geminado de penetração são constituídos por dois indivíduos que se interpenetram tendo uma superfície irregular de contato, ou um eixo de geminação (Dana & Hurlbut, 1969). Os quartzos de Minas Gerais mostra vários tipos de geminação. Na figura 54a, ilustra-se a “Lei do Brasil” com o plano do geminado perpendicular a um dos eixos cristalográficos, aqui os indivíduos direito e esquerdo formando um geminado de penetração. Na figura 54b mostra um “geminado do Delfinado”, que é uma geminação de penetração tendo o eixo c como seu o eixo. Tais geminados são compostos seja de dois indivíduos direitos seja de dois esquerdos. Na figura 54c ilustra-se a “Lei do Japão”, com o plano do geminado paralelo a um romboedro $\{11\bar{2}2\}$. Apesar destas geminações já terem sido relatadas por outros autores, uma geminação incomum para o quartzo, pode ser observada em algumas amostras de quartzo proveniente da Serra do Espinhaço, área de Sopa (Diamantina). Trata-se de uma geminação do tipo penetrativa entre dois indivíduos, que define um plano irregular paralelo a uma das faces da pirâmide (figura 55).

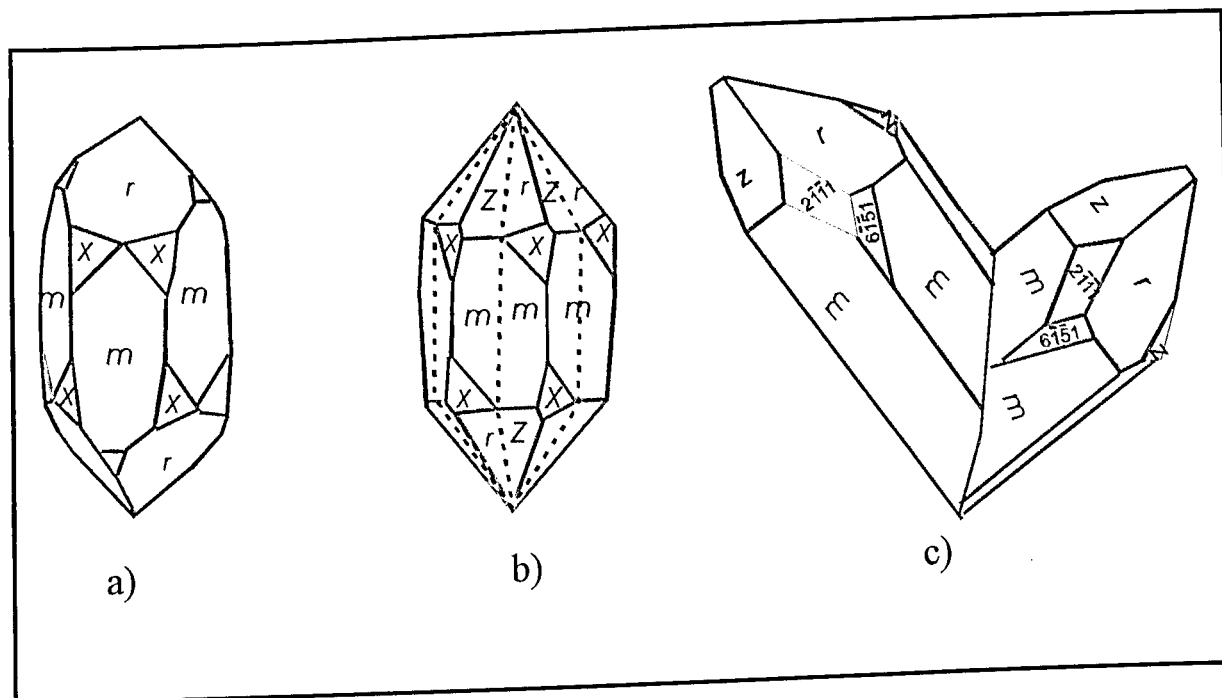


Figura 54- Tipos de geminações raras encontradas em cristais de quartzo de Minas Gerais. A) Geminção do Brasil, b) Geminção do Delfinado, c) Geminção do Japão (adaptado de Dana & Hurlbut, 1969).

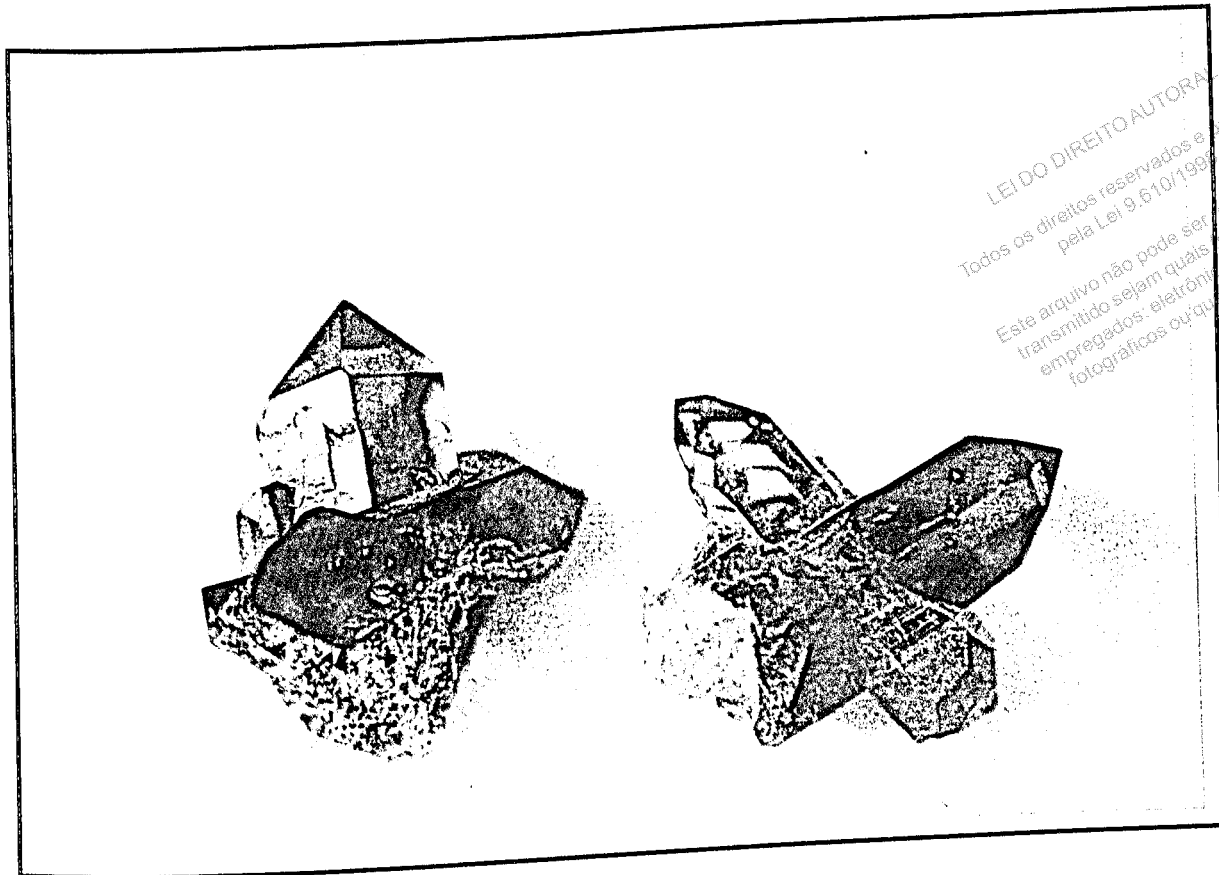


Figura 55 – Geminção penetrativa incomum em quartzo *fumé*, porém bastante observada nos quartzos da Serra do Espinhaço. Os dois indivíduos se interpenetram definindo desta maneira um plano irregular de geminação. Dimensões das amostras aproximadamente 2,5 cm (comprimento dos cristais) x 2 cm (largura).

4.5- Tamanho

O tamanho dos cristais varia fortemente entre as amostras examinadas, desde milimétricas até exemplares medindo de 1 a 2 m. Cristais de quartzo “gigantes” (acima de 2 m) são comuns em certas áreas da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. Grande parte deste material incomum é vendido como peça de coleção ou até mesmo doada para museus de mineralogia do Brasil e de outros países. Porém, grande parte desses cristais são simplesmente destruídos, devido a falta de experiência dos garimpeiros em lidar com material de grande tamanho.

Tem sido ainda registrados em Minas Gerais, cristais de quartzo “gigantes” de diversas colorações, porém os leitosos (figura 56) são os que mais se destacam. Quanto aos hábitos, os mesmos podem ser biterminados ou não, ou até mesmo possuírem aspectos “jacarezados”, conforme descrito anteriormente.

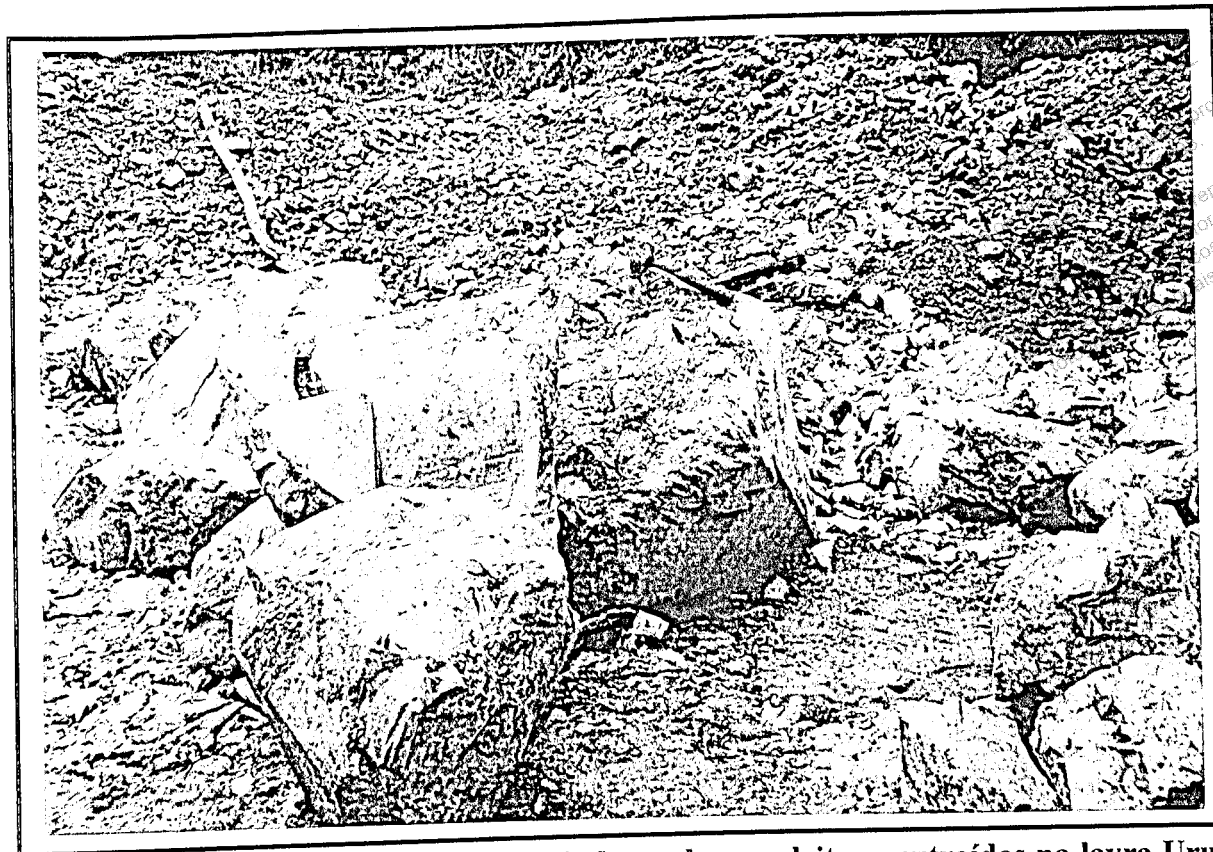


Figura 56 – Cristais de quartzo “gigantes”, de cor branca leitosa, extraídos na lavra Urubu (Itinga), na Província Pegmatítica Oriental Brasileira.

4.6- Cor (principais variedades coloridas)

As principais variedades coloridas ou não de quartzo presentes nas lavras de Minas Gerais, são ametistas, citrinos e quartzo *fumé*, porém espécimens róseos, maços ou cristalizados, e a presença de um raro quartzo azul, também são verificados. Por outro lado, pode-se dizer que as variedades incomuns de quartzo obtidas por irradiação e tratamento térmico em laboratório também são variedades importantes, dentre elas destacando-se o quartzo verde (prasiolita), obtido da irradiação da ametista, o quartzo verde-amarelado (conhecido no comércio de gemas como *green-gold*), o quartzo laranja-amarronzado (conhecido como “madeira”), o quartzo amarelo-alaranjado (conhecido como “conhaque” ou *cognac*).

4.6.1- Quartzo hialino (cristal-de-rocha)

É o quartzo em seu estado ideal, puro, aparecendo como cristais transparentes, simples ou como drusas. Os cristais hialinos têm sido a base de muitos tratamentos resultando em gemas coloridas utilizando espécimens encontrados em Minas Gerais (figura 57). São registrados casos de quartzos hialinos que se transformaram após tratamento por irradiação em ametistas de boa qualidade gemológica, em depósitos da Serra do Espinhaço. Porém, alguns quartzos hialinos da

Província Pegmatítica Oriental Brasileira são passíveis de se transformarem em citrinos após tratamentos semelhantes. O quartzo hialino é um dos principais espécimens gemológicos desse mineral, capaz de agregar altos valores após estes tratamentos.

No que diz respeito a volume, Minas Gerais já constituiu um dos maiores produtores de quartzo hialino para fins comerciais visando as indústrias óptica e eletro-eletrônica (décadas de 1940 até 1980). No entanto, atualmente o Estado começa a figurar como um dos maiores produtores para fins comerciais na indústria de gemas tratadas.

4.6.2- Ametista

É a variedade de quartzo mais apreciada no comércio, sendo o seu nome de origem grega significando “não ébrio”, por se acreditar que tal gema curava a embriaguez. As jazidas mais importantes encontram-se no Brasil (Pará e Rio Grande do Sul), Uruguai e República Malgaxe. São encontradas em geodos, veios, pegmatitos e depósitos detríticos. Sua cor está principalmente relacionada a impurezas de ferro contidas na estrutura do quartzo; neste caso o íon corante é o Fe^{4+} , com ajuda de água molecular e/ou hidroxila, fato este a ser discutido nos próximos capítulos.

A cor da ametista é freqüentemente distribuída de modo irregular em cristais naturais. Ela geralmente encontra-se concentrada na face romboédrica principal $r = \{1011\}$ e também apresenta uma série de bandas finas e escuras que paralelizam a face r e ocasionalmente a face $z = \{0111\}$. A geminação polissintética é com freqüência observada no setor romboédrico do cristal.

4.6.3- Citrino

O nome citrino é derivado da sua cor amarelo-limão (do latim, *Citrus*). A maioria dos citrinos que se encontram no mercado são na realidade ametistas “queimadas”, ou seja, tratadas termicamente, ou ainda quartzos *fumé*. Assim, a ametista brasileira torna-se amarela clara a 470°C, e amarela escura a parda-avermelhada entre temperaturas de 550-560°C (figura 57), enquanto alguns quartzos *fumé* tomam a cor do citrino a aproximadamente 300-400°C (Schmetzer, 1989). Todos os citrinos aquecidos tem uma coloração avermelhada, enquanto que os naturais são amarelos pálidos. Os citrinos aquecidos não possuem nenhum pleocroísmo, enquanto que nos naturais este fenômeno aparece, porém bastante fraco.

Com freqüência, os citrinos são denominados erroneamente no mercado de gemas como topázios, sendo que alguns comerciantes acrescentam alguns qualificativos tais como: topázio da Bahia, de Ouro, de Madeira, de Palmeira, Rio Grande, etc.

Os citrinos de cores naturais são raros. Existem lavras no Brasil (Bahia, Goiás e Minas Gerais), República Malgaxe, E.U.A. (Pikes Peak, Colorado), Espanha (Córdoba e Salamanca), na

antiga U.R.S.S. (Mursinka, Urais), França e Escócia. Sua cor parece estar também relacionada a impurezas de ferro, assim como na ametista, porém em outro estado de oxidação, que no citrino seria o Fe^{3+} .

A origem da cor dos citrinos ainda é assunto controverso. O estado-da-arte com referência a este assunto sugere que os citrinos derivados de ametistas quando tratadas termicamente tem sua cor relacionada ao Fe^{3+} . Uma melhor discussão sobre este assunto pode ser vista em Schmetzer (1989) e agora no presente trabalho.

4.6.4- Quartzo *fumé*

Esta variedade deve seu nome a sua cor enfumaçada (figura 57). As pedras muito escuras ou mesmo pretas são chamadas de *morion*. O *fumé* se descolora a temperaturas entre 140-400°C. Frequentemente possui inclusões de agulhas de rutilo. Sua cor está principalmente relacionada a radiação natural em quartzos contendo impurezas de alumínio e lítio em sua estrutura. Através da combinação de irradiação e tratamento térmico alguns cristais de Minas Gerais tornam-se laranja-amarronzados, principalmente os da região da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. A origem de sua cor está relacionada a um defeito na sua estrutura cristalina, conhecido como "centro de cor". Quanto a sua estabilidade pode-se dizer que as amostras provenientes da Serra do Espinhaço tem maior estabilidade do que as provenientes da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. Estes dois assuntos são um dos objetivos desta dissertação, e assim maiores detalhes serão fornecidos nos próximos capítulos.

4.6.5- Quartzo róseo

Em Minas Gerais o quartzo róseo ocorre em veios maços e raramente sob a forma de cristais euédricos (figura 57). Ambos são fundamentalmente diferentes quanto a origem de sua coloração, sua foto-estabilidade e seu espectro de absorção. Porém, os mesmos ocorrem somente no ambiente pegmatítico. Quartzo róseo maço ocorre associado com cristais grandes de feldspato, com ou sem outros tipos de gemas, sendo que o mesmo apresenta um aspecto nevoado causado por agulhas de rutilo (Vultée, 1955a,b; Vultée & Lietz, 1956), porém mais recentemente identificado como dumortierita por Applin & Hicks (1987). A cor do quartzo róseo é estável até por volta de 575°C.

O quartzo róseo cristalizado é pouco comum. Maschmeyer & Lehmann (1983) analisaram os raros agregados euédricos do Pegmatito Sapucaia (região de Governador Valadares) e concluíram que estes espécimens possuíam 118 átomos de fósforo por milhão de átomos de sílica ($118/10^6$ átomos). A cor do quartzo róseo cristalizado possui baixa estabilidade e desaparece a

aproximadamente 200°C, o que possivelmente torna sua cor ligada a um centro de cor tendo o fósforo como elemento principal.

As principais ocorrências brasileiras que produziram muito quartzo róseo maciço, assim como cristalizado foram amplamente descritas por Cassedanne & Roditi (1991).

4.6.6- Quartzo verde

O quartzo verde (prasiolita) propriamente dito já foi registrado através do tratamento térmico de ametistas hidrotermais da região de Montezuma (norte de Minas Gerais), porém um quartzo verde-amarelado proveniente do tratamento de quartzo hialino, típico de regiões pegmatíticas da Província Pegmatítica Brasileira não pode ser designado de prasiolita, pois segundo Schmetzer (1989), quartzo verde-amarelados são considerados citrinos (figura 57). A ocorrência deste tipo de citrino tem sido registrada em ambiente pegmatítico, como por exemplo nas lavras de São José da Safira (Minas Gerais). Entretanto, em Cristalina (Goiás) já foram registradas ocorrências desta variedade em depósitos hidrotermais. Sua coloração é devida a presença de Fe^{2+} (Rossman, 1994). Maiores detalhes quanto ao conhecimento da origem da cor desta variedade de quartzo ainda se fazem necessários.

4.6.7- Quartzo azul

Ocorrências importantes de quartzo de coloração azul têm sido relatadas apenas na Espanha e Brasil. Uma nova ocorrência desta variedade, localizada em Itacambira (norte de Minas Gerais) (figura 57), foi estudada, estando condicionada a pegmatitos encaixados em rochas do Complexo Basal. Sua cor é devida a minúsculas agulhas de elbaíta (turmalina azul ou indicolita), como indicado por análises de fluorescência de raios-X efetuadas no CDTN/CNEN. Tal variedade de quartzo encontra-se amplamente aberta a análises futuras, pois pouco se sabe sobre esta nova ocorrência no que diz respeito a sua geologia, mineralogia e características gemológicas.

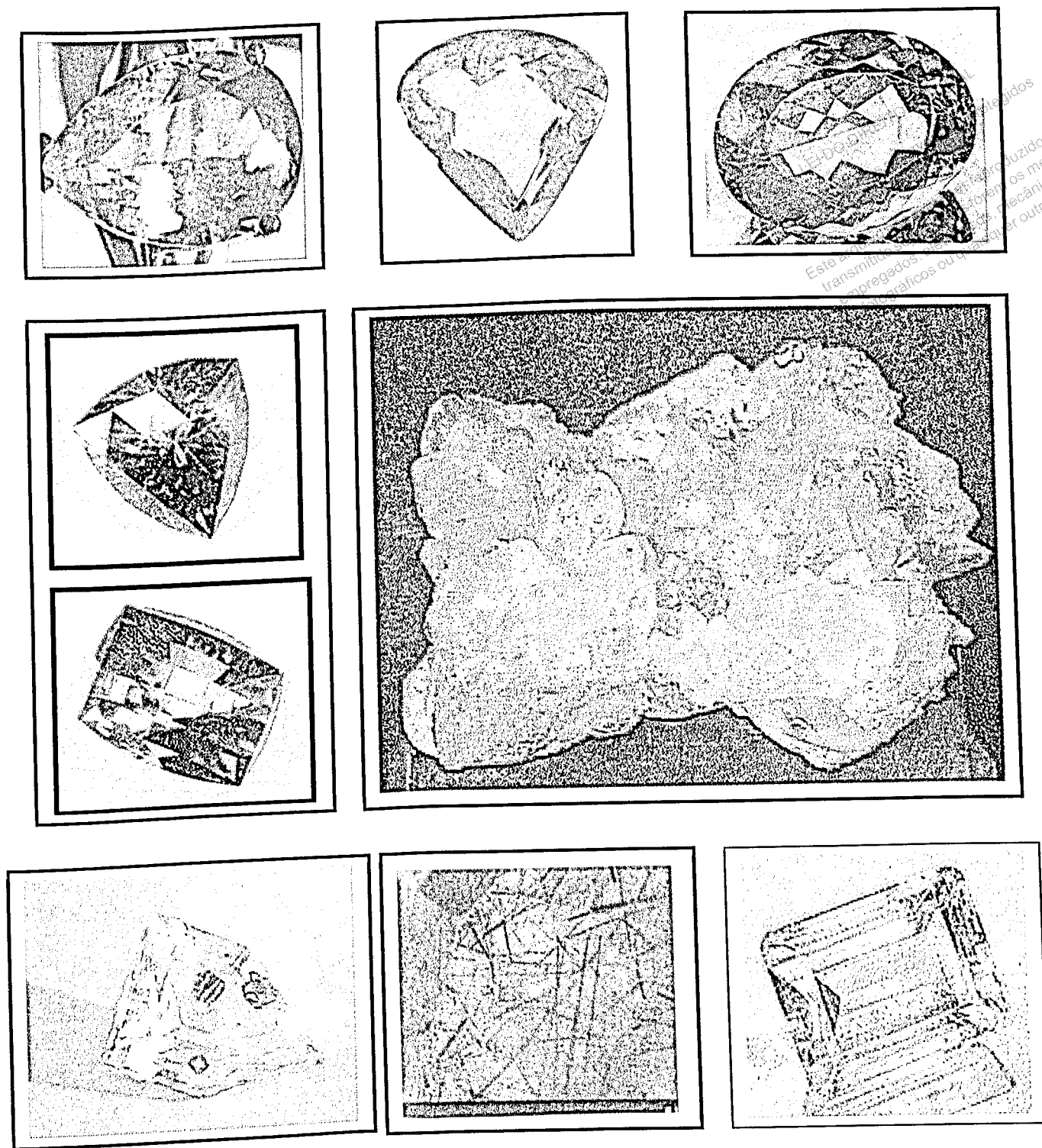


Figura 57- Variedades gemológicas de quartzo encontradas em Minas Gerais, e cujas cores podem ser intensificadas por tratamentos térmicos, ou adquiridas a partir de irradiação em laboratório de alguns tipos raros de quartzos incolores.

4.7- Propriedades gemológicas

As propriedades medidas em amostras de quartzo gemológico provenientes da Serra do Espinhaço e da Província Pegmatítica Oriental Brasileira, não serviram como diagnósticas para comparações entre as duas regiões, pois as mesmas revelaram valores idênticos ou aproximados nas análises simples tomadas em refratômetro, polariscópio, conoscópio, difratômetro e balança digital, onde se analisaram, respectivamente, índice de refração, caráter óptico no que se refere a anisotropia e isometria do quartzo, figuras de interferências, pleocroísmo e densidade. As medidas tomadas apenas nas principais variedades de quartzo de Minas Gerais serão descritas a seguir.

4.7.1- Ametista

As ametistas provenientes de Minas Gerais, não possuem propriedades gemológicas de identificação diferentes das demais que ocorrem em outras partes do mundo. Análises do índice de refração tomadas em 12 amostras de ametistas provenientes das lavras das fazendas Rainha (Buenópolis), Riacho do Barreiro (Grão Mogol), Sobrado (Felício dos Santos) e Itajobi (Pancas-ES) revelaram valores da ordem de $\omega = 1.543$ e $\varepsilon = 1.550$, enquanto que a densidade apresentou valores da ordem de $2.65 \pm 0,03$. Algumas amostras são levemente pleocróicas.

4.7.2- Citrino

Um total de 10 amostras de citrinos proveniente das lavras de São João da Chapada, na região de Diamantina (Serra do Espinhaço), e da Lavra Teixeira, na região do Rio Taquaral-Itinga (Província Pegmatítica Oriental Brasileira) foram analisadas e os valores correspondentes aos índices de refração foram de $\omega = 1.547$ e $\varepsilon = 1.550$, enquanto que a densidade medida hidrostaticamente é de $2.65 \pm 0,07$. Os cristais provenientes da Província Pegmatítica Oriental Brasileira são levementes pleocróicos. Vale ressaltar que os citrinos analisados encontravam-se livres de inclusões e em fraturas.

4.7.3- Quartzo *fumé* e *morion*

Suas características físicas não diferem muito das ametistas e citrinos. A densidade relativa medida em 8 amostras é $2.65 \pm 0,05$ enquanto seus índices de refração são $\omega = 1.540$ e $\varepsilon = 1.550$. As variedades provenientes da Serra do Espinhaço são menos saturadas em *fumé* quando comparadas com as mesmas oriundas da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. Foram analisadas amostras provenientes das lavras do Sítio Barra do Pecado e de Batatal (Diamantina) e Teixeira (Itinga), bem como uma amostra de *morion* da Fazenda Recruta (Vitória da Conquista-Bahia).

5- CAUSAS DE COR NOS QUARTZO DE MINAS GERAIS

5.1- Considerações gerais

As cores apresentadas pelo quartzo gemológico são o resultado direto da absorção dos comprimentos de onda pertencentes ao espectro eletromagnético em regiões do infravermelho, visível e ultravioleta (bandas 145 nm no ultravioleta, até 2700 nm no infravermelho) (figura 58).

A absorção dos comprimentos de onda dentro do espectro visível, que estende-se de 375 nm a 740 nm, é o mais entendido até o presente momento, significando que falta uma melhor caracterização da absorção no campo do ultravioleta e infravermelho. A caracterização dentro do espectro visível reside no fato do melhor entendimento dos comprimento de onda dentro do limite observado pelo olho humano. Porém, em se tratando de uma melhor caracterização das reais causas de cor em quartzo, ou seja, o que existe dentro da gema causando a absorção dos comprimentos de onda, as absorções no ultravioleta e infravermelho devem ser levadas também em consideração. Hoje sabe-se que estes comprimentos de ondas absorvidos estão diretamente ligado a presença de impurezas dentro do cristais e dos seus posicionamentos no retículo cristalino.

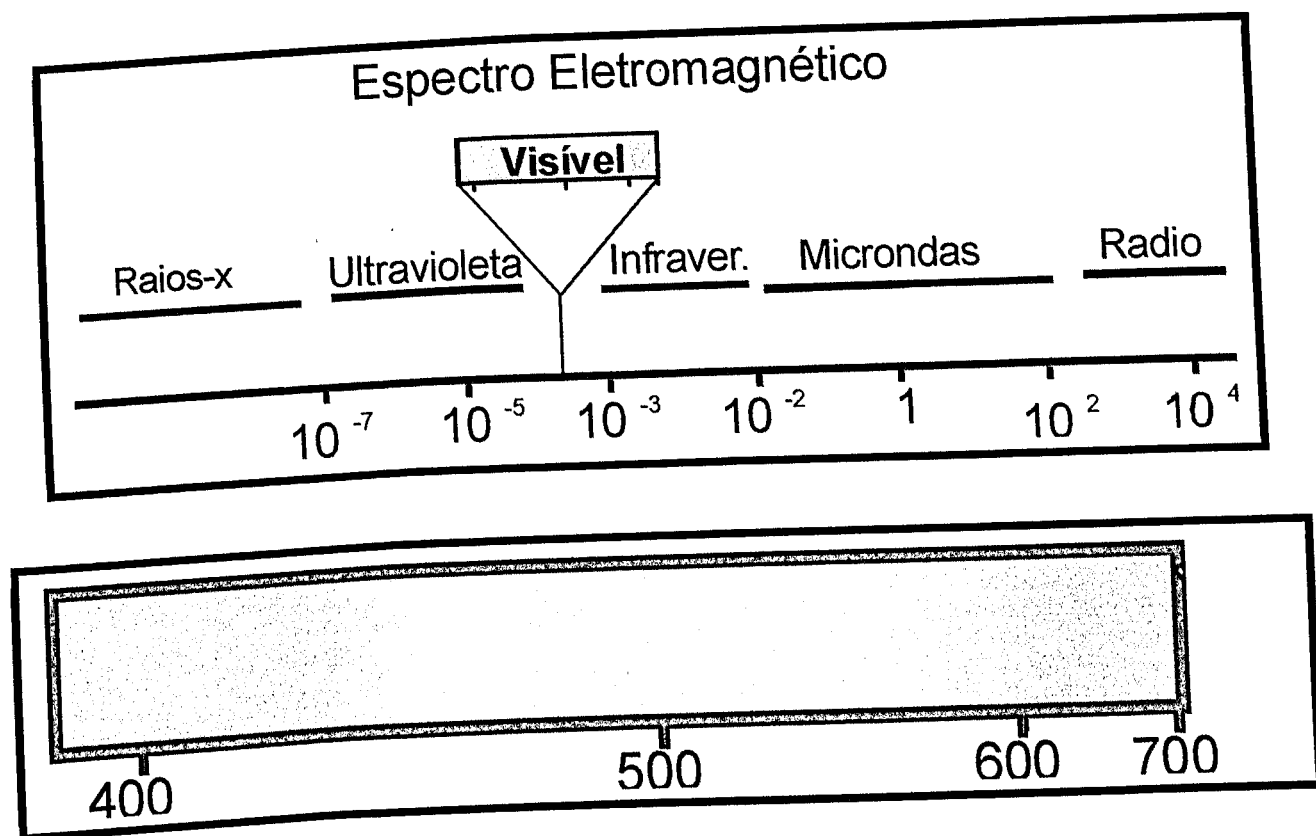


Figura 58- O espectro eletromagnético. O quartzo absorve comprimentos de ondas dentro da faixa dos espectros visível, ultravioleta e infravermelho; o espectro visível abrange a faixa que vai de 375 nm a aproximadamente 740 nm.

5.1.1- Ions metálicos

Como mencionado anteriormente, a cor em quartzos é o resultado da absorção de determinados comprimentos de ondas do espectro visível devido a presença de impurezas. Por sua vez, a cor observada corresponde a uma combinação dos comprimentos de ondas transmitidos pela gema. Mas, como será então que determinadas impurezas absorvem estes comprimentos de onda? Vamos então lembrar que os elétrons de um átomo movem-se ao redor destes em volumes específicos (camadas) conhecidos como orbitais. Estes orbitais correspondem a níveis distintos de energia (Fyfe, 1964). A absorção de determinados comprimentos de ondas no espectro visível ocorre quando estes elétrons, com a incidência da luz natural, são levados (saltam) para outros orbitais de maior energia. Essa correspondente mudança de orbital (mudança de energia), será igual à energia da luz absorvida.

O fenômeno da mudança de orbitais por parte dos elétrons de um íon é conhecido como “transição”, ou seja, a mudança de um elétron do estado de repouso para um estado excitado, dando a cor ao mineral. Tal estado de excitação é quase sempre instável, de modo que o elétron deve posteriormente retornar ao seu estado de repouso (figura 59). Em geral esta volta ao estado de repouso é feita de duas maneiras: a) o elétron pode liberar energia sob a forma de calor ou, b) essa liberação de energia é feita através da luminescência.

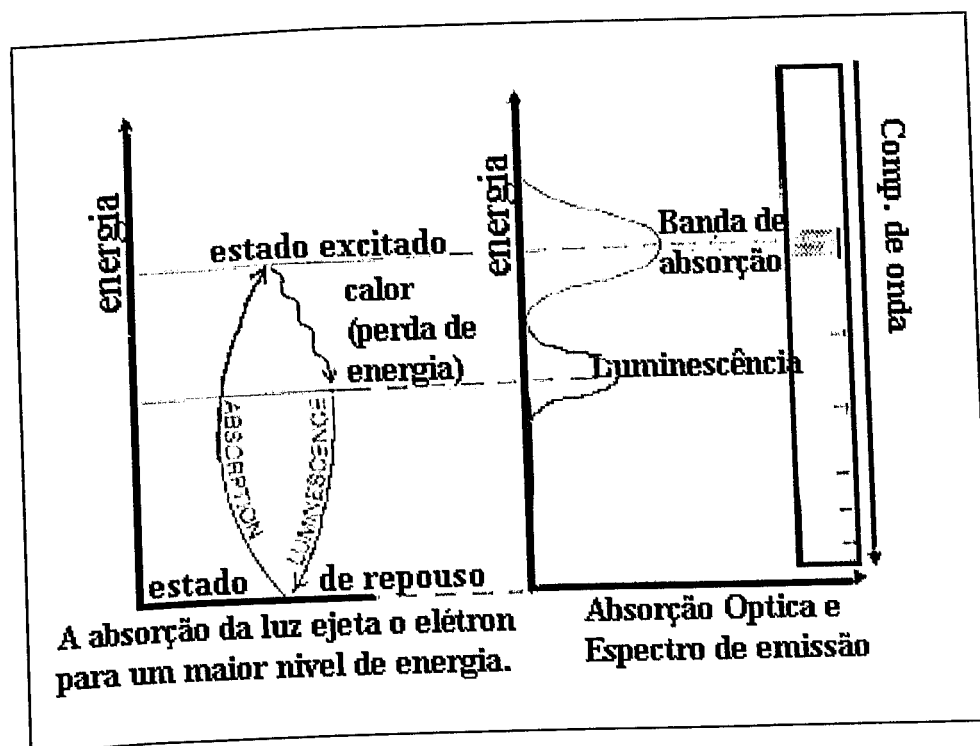


Figura 59- Desenho esquemático do espectro de absorção de luz por um mineral. Quando um cristal absorve luz, os elétrons são levados de um nível de energia baixo (estado de repouso), para um nível de energia maior (estado de excitação). Esta energia é perdida quando o elétron volta ao seu estado de repouso dissipando esta energia sob a forma de calor ou através de luminescência, que seria a emissão da luz propriamente dita (Fristch & Rossman, 1987).

Com o advento de novas técnicas analíticas, a presença de impurezas torna-se apenas um dos causadores de cor. O fenômeno de transição é apenas um dos processos de aquisição de cor em gemas que se aplica em algumas variedades de quartzos, como o quartzo róseo e o citrino provenientes do tratamento de ametistas (Rossman, 1994).

Estudos recentes mostraram que a cor adquirida pela ametista e pelo quartzo *fumé* estaria relacionada a irradiações naturais presentes nos depósitos e que as mesmas dariam origem a fenômenos de transferência de carga e centros de cor (defeitos na estrutura cristalina). A cor de alguns citrinos são relacionadas ao centro de cor e ao fenômeno de transição.

5.1.2- Centros de cor

Diversas cores nas variedades gemológicas do quartzo são o resultado da exposição a radiações de alta energia. Isto pode ocorrer na natureza como resultado da ampla ocorrência de baixas concentrações de isótopos radioativos naturais de urânio, tório e potássio. A irradiação artificial também pode ocasionar tais efeitos, por meio de uma grande variedade de tecnologias de laboratório. A radiação muda o estado de oxidação dos íons metálicos e interage com os "defeitos" nos cristais. Estes defeitos podem ser simples átomos ausentes (vacâncias) ou elétrons extraídos pela irradiação. Assim sendo, centro de cor é um termo genérico para o defeito que causa absorção da luz, particularmente um defeito que é afetado pela irradiação.

A ausência de uma carga positiva existe quando elementos como o Fe^{3+} e o Al^{3+} substituem o Si^{4+} . Para compensar este desequilíbrio, entram em cena cátions monovalentes como Li^+ , H^+ e Na^+ que também se encontram na estrutura do quartzo. Tais elementos são conhecidos como "compensadores elétricos" na linguagem física, e toda esta configuração é conhecida como "centro precursor de cor". Os centros precursores de Fe^{3+} e Al^{3+} estão presentes em baixa concentração, mas podem ser importantes para a origem dos verdadeiros centros de cor em quartzo (Rossman, 1994). O quartzo *fumé* e alguns tipos de citrinos têm suas cores relacionadas ao centro de cor.

O modelo mostrado na figura 60 representa o centro de cor *fumé*, que primeiramente foi primeiramente esboçado por O'Brien e Pryce (1955), e desenvolvido em detalhe por O'Brien (1955) baseado em espectros de ressonância paramagnética eletrônica de quartzos *fumé* irradiados com raios-X. Na parte (a) da figura mostra-se a estrutura ideal do quartzo sem impurezas, enquanto na parte (b) nota-se que o alumínio encontra-se substituindo alguns átomos de silício. Devido ao problema de valência entre estes elementos, ocorre o desequilíbrio eletrônico, entrando em cena os compensadores de carga, na figura representados pelo Li^+ e H^+ . Na parte (c) da figura mostra-se o quartzo hialino sendo submetido a irradiação natural ou artificial. Segundo

O'Brien (1955), é neste momento que um elétron não emparelhado, localizado num orbital de um átomo de oxigênio próximo a um átomo de alumínio, se desloca criando um defeito na estrutura cristalina do quartzo, possivelmente voltando a recarregar o átomo compensador inicial. Esta configuração final é conhecida como o centro de cor que culmina no aparecimento do *fumé*. O centro de cor Al-Li, responsável por tal coloração, é dominante em ambientes pegmatíticos, enquanto que em ambientes hidrotermais o centro dominante é o Al-OH (Guzzo *et al.*, 1997).

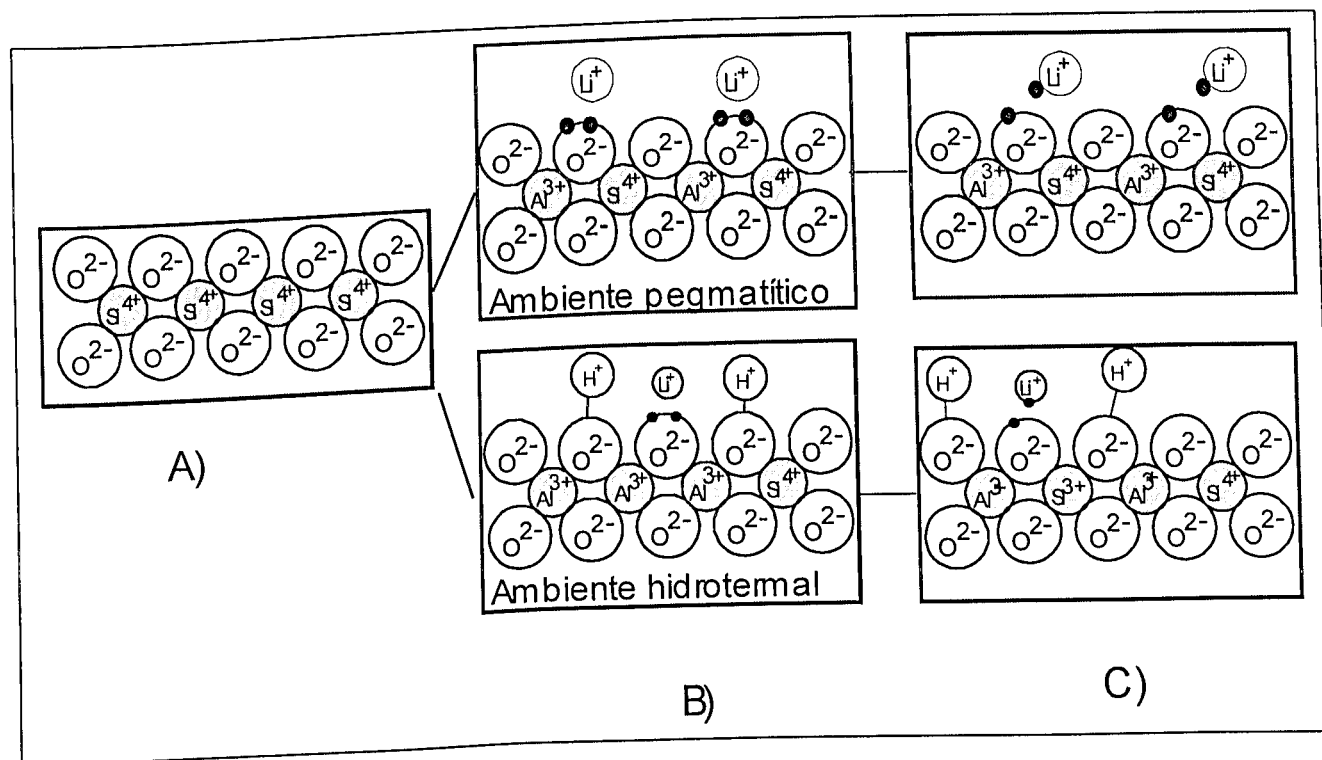


Figura 60– Modelo esquemático da aquisição de cor *fumé* pelo quartzo. a) quartzo sem compensadores (ideal), b) quartzo após a compensação e c) quartzo após irradiação natural ou artificial. (adptado de O'Brien, 1955).

Foi Mackey (1963) quem determinou a partir dos padrões de espectros de ressonância paramagnética eletrônica em quartzos irradiados, que um cátion monovalente encontraria-se associado com o alumínio substitucional, e que este cátion estaria nas redondezas do íon Al³⁺ e que o mesmo faria parte também de um centro precursor do tipo [AlO₄/M]⁰, onde M = H⁺, Li⁺ ou Na⁺. Note na parte (b) da figura 60 que já existe uma certa tendência a observar que o principal compensador do alumínio em ambientes hidrotermais é o H⁺ (Al-OH), e o principal compensador do alumínio em ambientes pegmatíticos é o Li⁺ (Al-Li).

No caso da ametista, apesar da mesma possuir características de centros de cor, a vacância causada pela perda do elétron do orbital parece não existir, e assim sua causa de cor estaria mais relacionada ao fenômeno de transferência de carga.

O espectro de ressonância paramagnética eletrônica de citrinos cuja cor foi originada por irradiação foi estudado por Maschmeyer *et al.* (1980), que encontraram dois centros paramagnéticos. Eles distinguiram este tipo de citrino de cor amarela natural da ametista tratada termicamente que, a qual com frequência apresenta uma coloração amarronzada mais intensa do que a natural. Machmeyer & Lehmann (1983a) descreveram sete centros em citrinos que são originados da irradiação.

5.1.3- Transferência de carga

Na transferência de carga existe uma série de maneiras nas quais os elétrons podem saltar de um átomo para outro e, quando isto acontece, cores espetaculares podem resultar. Vários são os exemplos de transferência de carga em minerais, destacando-se principalmente duas variedades gemológicas que possuem a sua cor relacionada com tal fenômeno: o heliodoro (berilo amarelo, colorido pelo Fe^{3+}) e a safira (coríndon azul).

Em gemas de quartzo a ametista é a variedade cuja causa de cor encontra-se relacionada com a transferência de carga. O mecanismo deste fenômeno sugere que o violeta resulta da absorção devido a transferência de carga existente entre o O^{2-} e Fe^{3+} , dando origem a um ferro de valência incomum (Fe^{4+}) após irradiação natural ou artificial, e conseqüentemente a cor violeta desta variedade (Cox, 1977).

Cohen (1984) acrescenta que a intensidade da banda de absorção da ametista a 545 nm tem características de transferência de carga. Este fenômeno é responsável pelos tons mais fortes nas cores do mineral, mas geralmente não age sozinha, existindo assim, muitas vezes, uma outra causa de cor envolvida no processo. A cor forte em ametistas de alguns depósitos é explicada por tal fenômeno, como por exemplo a cor violeta intensa da ametista de Pau D'Arco (PA).

A influência do ambiente na cor da ametista reside no fato de que a mesma seria dominante em ambientes hidrotermais e pouco observadas em ambientes pegmatíticos. A influência da água molecular ou da hidroxila na cor da ametista será mostrada em maiores nos próximos capítulos.

O modelo mostrado na figura 61 para a cor violeta da ametista ainda não está bem definido, pois a influência da água molecular e do $(\text{OH})^-$ ainda são muito especulativas, porém as observações realizadas no campo mostraram que esta influência necessita de uma melhor caracterização, sendo um dos objetivos laboratoriais deste trabalho. Vasconcelos *et al.* (1994) admitem

através de análise por infravermelho a influência da água em porções ametista nos quartzos "ametrinos" da Mina Anahi, Bolívia.

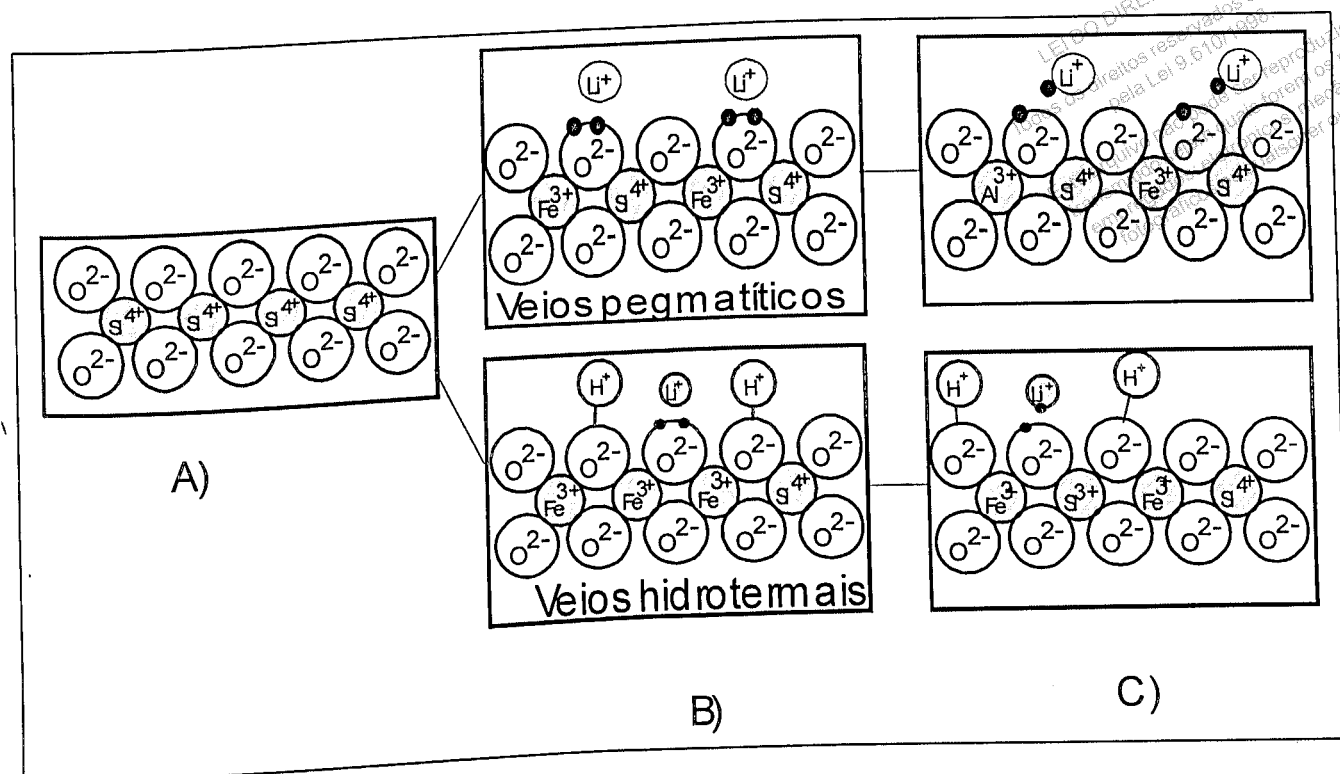


Figura 61- Modelo esquemático da aquisição da cor violeta pelo quartzo nos ambientes pegmatítico e hidrotermal. Em a) o quartzo sem substituições ou impurezas (ideal), em b) os principais compensadores, o Li e o $(\text{OH})^-$, enquanto em c) após a irradiação a transferência de carga entre Fe^{3+} e O^{2-} ocorre em ambientes hidrotermais onde a compensação é do OH, em ambientes pegmáticos quase não há transferência de carga, pois o principal compensador neste caso é o lítio.

5.1.4 – Inclusões Minerais

Todas as cores discutidas até o presente momento têm sido relacionadas à absorção de comprimentos de ondas do espectro visível, porém também existem relações entre a cor a presença de propriedades físicas como reflexão, difração, dispersão, interferência e espalhamento, causadas pela presença de inclusões e/ou texturas lamelares. A cor do quartzo azul natural encontrado na região de Itacambira (Espinhaço Central), tem sua causa relacionada a dispersão da luz incidente em minutas inclusões. Outras ocorrências de quartzo azul são registradas na Espanha e na Virgínia (EUA). O quartzo azul de Minas Gerais (figura 62) encontra-se relacionado a pequenos corpos pegmatíticos encaixados em rochas do Complexo Basal, porém um maior detalhamento deste depósito ainda se faz necessário.

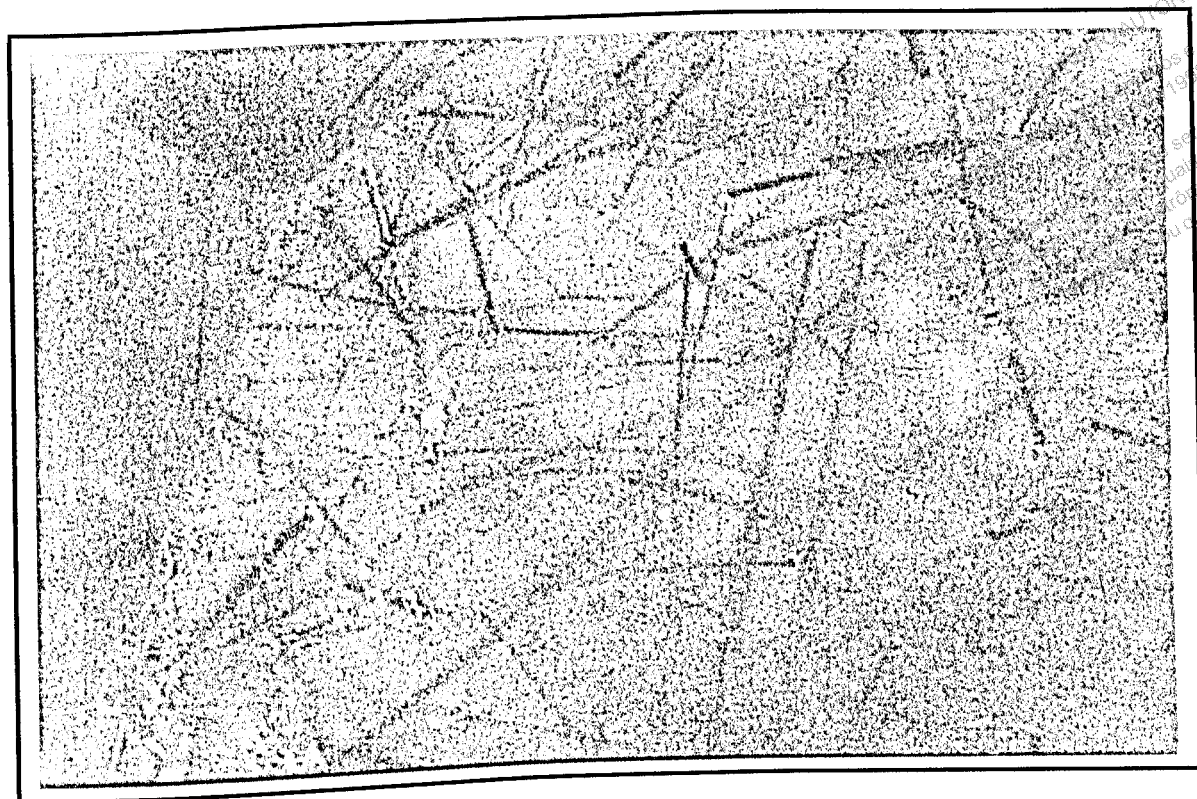


Figura 62- Quartzo azul mostrando em detalhes as agulhas de elbaíta azulada (indicolita) como seu principal causador da cor .

5.2- Caracterização química das variedades gemológicas estudadas

Os aspectos analíticos aqui mencionados são referentes apenas às três variedades principais de quartzo gemológico aqui enfocadas: ametista, citrino e quartzo *fumé*.

5.2.1- Fluorescência de raios-X

Foram analisados elementos maiores como silício, ferro e alumínio em amostras de quartzos provenientes da Serra do Espinhaço e da Província Pegmatítica Oriental Brasileira, apresentados na tabela 2 sob a forma de percentagem em óxidos. No entanto, elementos menores importantes como o lítio não foram detectados por este tipo de análise. A fluorescência de raio-X mostrou-se um método de pouco significado para os objetivos deste trabalho, pois os conteúdos de impurezas da ordem 100 a 350 ppm que podem influenciar na cor das variedades gemológicas de quartzo, tais como lítio, sódio e magnésio não foram medidos, dando assim um resultado pouco confiável para a análise da real causa da cor do mineral.

Tabela 2 - Análises por fluorescência de raios-X em quartzos das regiões da Serra do Espinhaço e da Província Pegmatítica Oriental Brasileira.

Variedades e Localidades	Amostra	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P.F (%)
Ametista de Grão Mogol (hidrotermal)	GM- 01	99,6	0,07	-	-	0,008	0,012	0,27
	GM- 02	99,4	0,06	-	-	-	0,014	0,43
	GM- 03	99,0	0,06	-	-	-	0,011	0,36
	GM- 04	99,5	0,06	-	-	0,007	0,019	0,40
Ametista de Buenópolis (hidrotermal)	BUE- 01	99,6	0,06	-	0,007	-	0,014	0,23
	BUE- 02	99,4	0,06	-	-	-	0,018	0,25
Ametista de Felício dos Santos (hidrotermal)	FS- 01	94,4	0,06	-	-	-	0,013	0,43
Citrino da Lavra Teixeira (pegmatítico)	LT- 01	99,4	0,07	0,49	-	0,060	0,013	0,28
	LT- 02	99,1	0,07	-	-	0,021	0,012	0,85
	LT- 03	99,7	0,07	-	-	-	0,015	0,19
	LT- 04	99,6	0,07	-	-	-	0,013	0,32
Citrino de São João da Chapada (pegmatítico)	SJ- 01	99,7	0,07	0,13	0,008	0,007	0,015	-
	SJ- 02	99,9	0,08	-	-	-	0,013	-
Citrino da lavra José de Lincoln (pegmatítico)	JL- 01	99,8	0,07	-	-	-	0,015	0,16
	JL- 02	99,6	0,09	-	-	-	0,017	0,20
<i>Fumé</i> de Pancas-ES (pegmatítico)	PAN- 01	99,7	0,25	-	0,007	-	0,015	-
<i>Fumé</i> de Sopa-MG (hidrotermal)	SOP- 01	99,9	0,08	-	-	-	0,08	-
	SOP- 02	99,8	0,08	-	-	-	0,08	-
<i>Fumé</i> da Lavra Urubu (irradiado) (pegmatítica)	URU- 01	99,1	0,08	-	0,010	-	0,08	0,67
	URU- 01	99,7	0,07	-	0,008	0,014	0,015	0,15
<i>Fumé</i> de Batatal (Lavra Mané-Boi) (hidrotermal)	MB- 01	99,5	0,06	-	0,007	-	0,015	0,40
	MB- 02	99,6	0,06	-	0,007	-	0,020	0,28
	MB- 03	99,4	0,07	-	0,007	-	0,012	0,47
	MB- 04	99,7	0,06	-	-	-	0,014	0,23
	MB- 05	99,2	0,07	2,43	0,006	-	0,018	0,25

5.2.2- Espectrometria de Absorção atômica

Os dados mostrados na tabela 3, correspondem a análises por absorção atômica em ametistas das mesmas regiões. O conteúdo de ferro nessas amostras girou em torno de 280 ppm, podendo ultrapassar valores da ordem de 300 ppm, e o conteúdo de alumínio é comparativamente baixo, sendo algo em torno de 35 ppm. O lítio não ultrapassa os 25 ppm. Elementos como sódio e potássio, apresentaram em média respectivamente 4 ppm e 10 ppm. A ametista é uma variedade comum em ambiente hidrotermal como o da Serra do Espinhaço, enquanto que em regiões pegmatíticas ela ocorre apenas como "traços" de cor em tons leves ou tons *fumé*. Estes últimos cristais foram analisados e apresentaram um teor de lítio e alumínio ligeiramente maior que os da Serra do Espinhaço.

Nos citrinos analisados, o conteúdo de ferro giraram em torno de 150 ppm, sendo tais valores tanto para citrinos provenientes da Província Pegmatítica Oriental Brasileira, como para os da Serra do Espinhaço. Citrinos de ambas as localidades apresentam um tom amarronzado devido a forte presença de alumínio e lítio, chegando a saturarem em *fumé* quando expostos a radiação ionizante. O conteúdo desses elementos foi ligeiramente maior nos citrinos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira (tabela 3).

Quando "filtradas" por tratamento térmico a cor *fumé* desaparece, restando a cor laranja-amarelada nos citrinos das diversas áreas da Província Pegmatítica Oriental Brasileira e nos citrinos amarelos em regiões da Serra do Espinhaço. Tudo isso leva a crer que as causas de cores desta variedade são distintas. Assim, ainda não existe um consenso quanto a causa de cor em citrinos (Schmetzer, 1989), porém já se sabe que o ferro é um dos principais participantes. No caso dos citrinos de Minas Gerais, o leve aumento nos conteúdos de alumínio e lítio pode ser a diferença necessária para esclarecer este problema.

Nos quartzos *fumé* analisados, o conteúdo de alumínio é ligeiramente superior ao de ferro, chegando a ultrapassar valores da ordem de 300 ppm. O ferro apresenta em média valores entre 65 e 156 ppm. O lítio parece também ser uma das impurezas características no quartzo *fumé* de Minas Gerais, com conteúdos da ordem de 200 ppm em média. Elementos menores como o sódio e potássio juntos não ultrapassam 30 ppm. No entanto o quartzo *fumé* de regiões pegmatíticas como as amostras da Lavra Urubu apresentaram teores de ferro menores que os das lavras de regiões hidrotermais, como o *fumé* de Sopa. A quantidade de alumínio e lítio parece ser ligeiramente maior nos quartzos *fumé* das lavras pegmatíticas. A amostra referente ao *fumé* de Pancas (ES) apresenta "traços" ametistados, ou levemente violetas, sendo este o único caso em que os teores de ferro e alumínio mantiveram-se parecidos (tabela 3).

Tabela 3. Conteúdos de ferro, alumínio, sódio e potássio (em ppm), analisados em ametistas, citrinos e quartzos *fumé* naturais.

Variedades e Localidades	Amostra	C _{Fe}	C _{Al}	C _{Li}	C _{Na}	C _K
		1100 ppm*	1100ppm*	90ppm*	30ppm*	30ppm*
Ametista de Grão Mogol (hidrotermal)	GM- 01	263	35	14	8	10
	GM- 02	258	37	17	12	4
	GM- 03	310	32	23	10	12
Ametista de Buenópolis (hidrotermal)	BUE- 01	271	28	4	13	7
	BUE- 02	270	52	13	18	7
	BUE- 03	290	28	11	15	16
Ametista de Felício dos Santos (hidrotermal)	FS- 01	314	39	23	17	12
	FS- 02	307	47	15	4	7
	FS- 03	305	65	12	15	13
Traços de ametistas de pegmatitos (Araçuaí) (pegmatítica)	TAP- 01	282	60	72	13	11
	TAP- 02	189	76	77	9	17
Citrino da Lavra Teixeira (pegmatítico)	LT- 01	189	125	117	16	8
	LT- 02	144	137	98	4	15
Citrino de São João da Chapada (pegmatítico)	SJ- 01	186	138	89	8	8
	SJ- 02	166	121	76	8	10
Citrino da Lavra do Tedi (pegmatítica)	LTE- 01	192	176	125	13	13
	LTE- 02	172	156	112	16	13
<i>Fumé</i> de Pancas-ES (pegmatítico)	PAN- 01	156	187	224	12	17
	PAN- 02	143	198	213	12	19
	PAN- 03	176	201	219	9	17
<i>Fumé</i> de Sopa (hidrotermal)	SOP- 01	65	210	110	8	7
	SOP- 02	67	335	188	7	13
	SOP- 03	89	270	170	15	19
<i>Fumé</i> da Lavra Urubu (irradiado) (hidrotermal)	URU- 01	109	317	223	11	14
	URU- 02	65	302	215	3	4
	URU- 03	78	275	199	10	10
<i>Fumé</i> de Batatal (Lavra Mané-boi) (hidrotermal)	MB- 01	72	267	103	16	15
	MB- 02	83	225	97	12	12
	MB- 03	93	322	77	5	19

* Limite de detecção

5.2.3- Ressonância Paramagnética Eletrônica

Dados de ressonância paramagnética eletrônica (RPE) em ametistas provenientes da região de Grão Mogol revelaram dois principais íons compensadores, o Li^+ e H^+ (figura 63). Sabendo-se que toda a Província Pegmatítica Oriental Brasileira apresenta caráter litífero, além de ser um meio naturalmente radioativo, seria natural que as zonas centrais quartzosas destes pegmatitos, fossem pura ametista, caso o $[\text{FeO}_4/\text{Li}]^0$ fosse o compensador principal. Porém isto não acontece, o que do ponto de vista geológico esse precursor estaria descartado como causador da cor. Por outro lado, como trata-se de um ambiente hidrotermal, nada mais natural pensar que o $[\text{FeO}_4/\text{H}^+]^0$ seja o principal compensador. O hidrogênio em questão seria retirado da molécula de água, deixando íons $(\text{OH})^-$ livres, indo unir-se ao oxigênio da estrutura e compensando assim o desequilíbrio eletrônico.

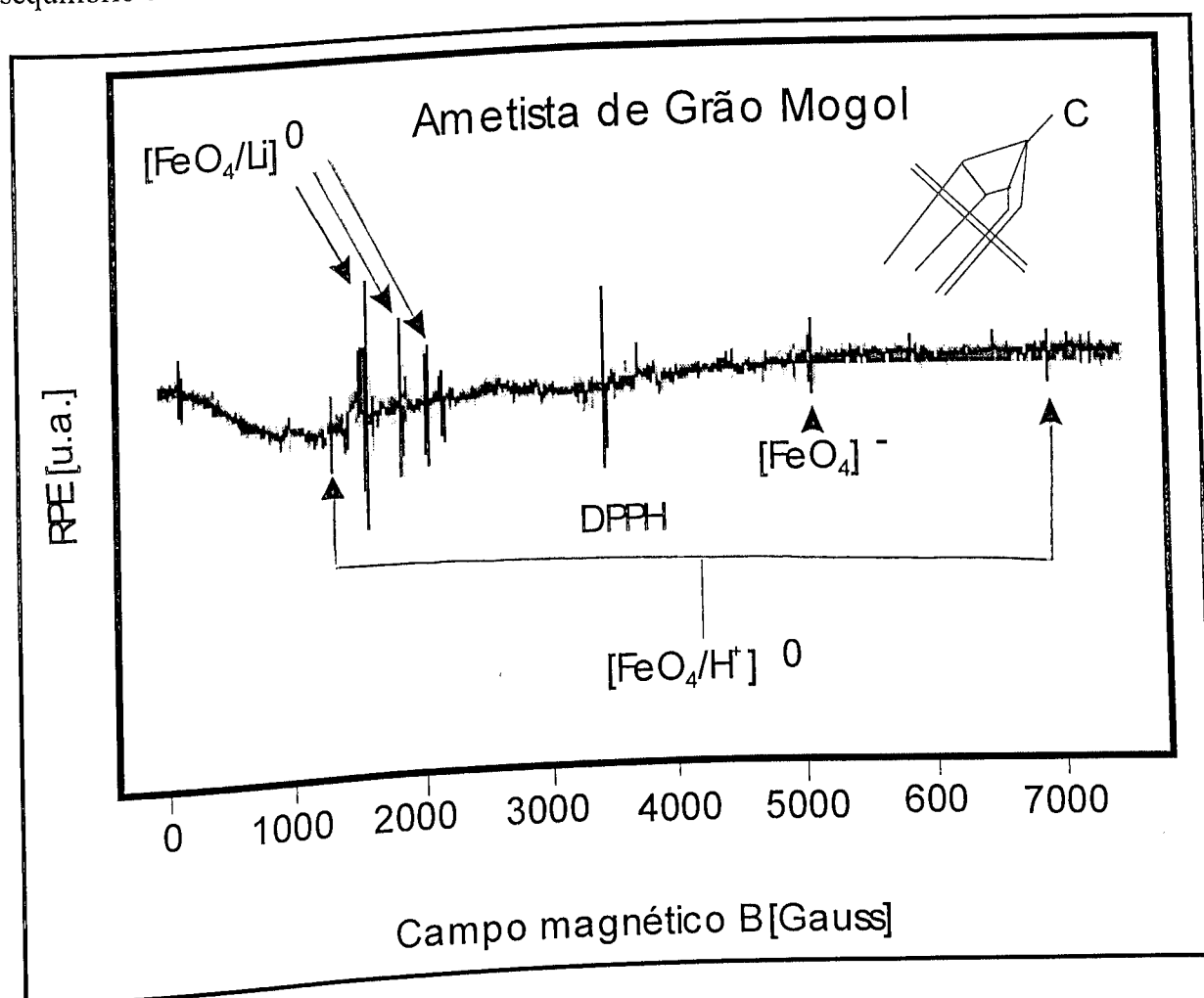


Figura 63 – Espectro de RPE em ametista da Fazenda Riacho do Barreiro (Grão Mogol) e seus principais compensadores (Li^+ e H^+) após a substituição do Si^{4+} pelo Fe^{3+} , obtido em seção transversal ao eixo c (adaptado de Pinheiro, 1999).

Medidas de RPE tomadas sob temperatura ambiente em citrinos naturais, laranja-amarronzados da região de Itinga (Província Pegmatítica Oriental Brasileira) revelaram a presença de centros de cor relacionados a impurezas de alumínio $[AlO_4]^0$, similar ao do quartzo *fumé* (figura 64). Entretanto, sinais relativos à presença de Fe^{3+} não foram registrados. Possivelmente, o ferro só se encontra no estado Fe^{2+} , ou então a medida foi tomada num cristal não perfeitamente perpendicular ao seu eixo c .

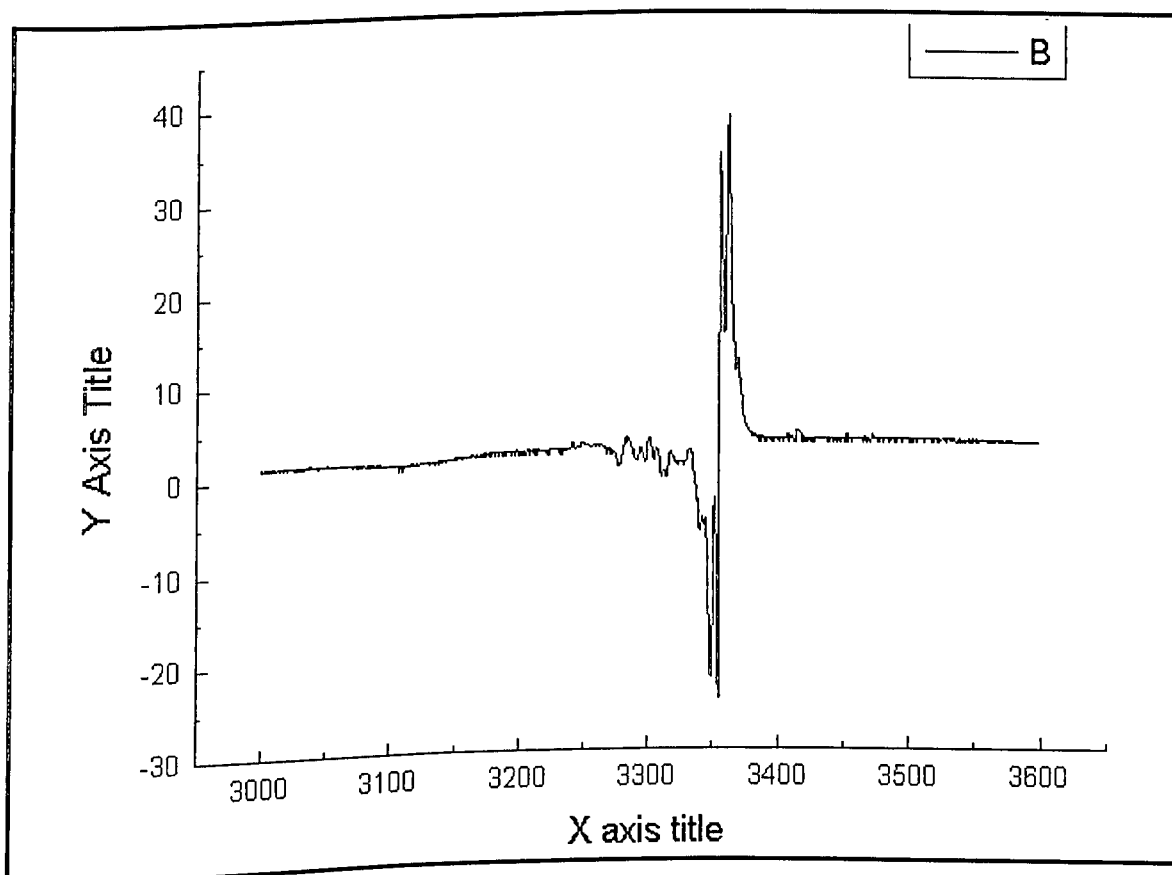
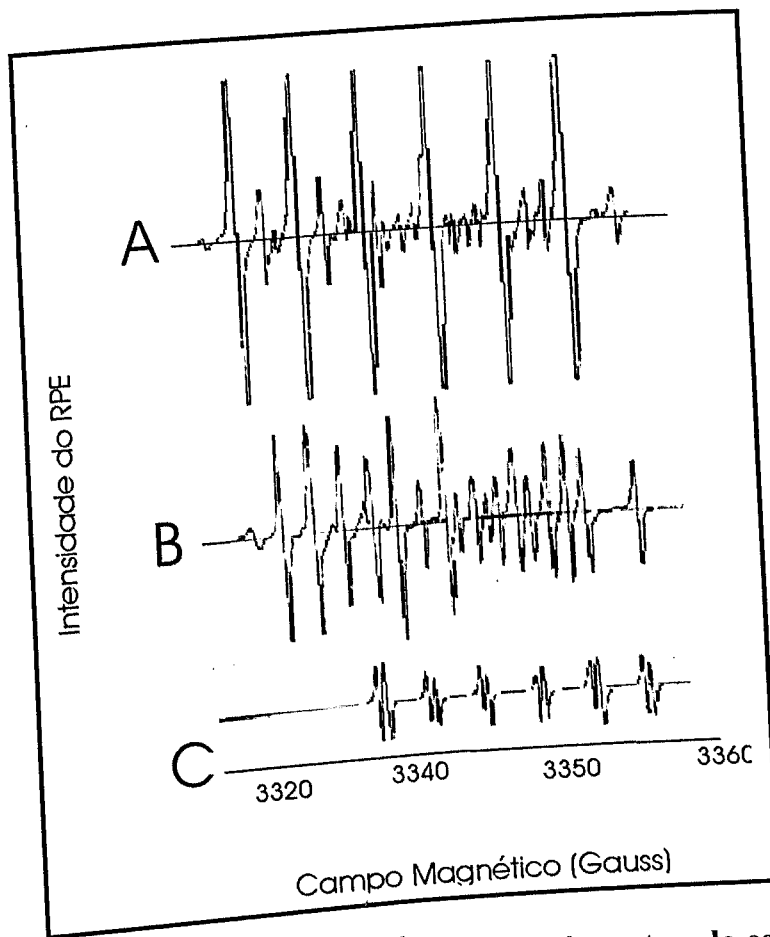


Figura 64- Espectro de análise por RPE em citrinos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira (região de Itinga).

Os espectros de RPE de quartzos *fumé* identificaram centros de alumínio com seus principais compensadores H^+ e Li^+ . Os sinais relativos ao centro $[Al/Li]^0$ mostraram grande redução em seu tamanho após aquecimento da amostra em $250^{\circ}K$, mostrando com isso que o mesmo é menos estável que o centro $[Al/OH]^0$, o qual por sua vez mostrou-se mais estável perante este tratamento térmico (figura 65).

A espectroscopia de RPE começa a figurar como uma das mais importantes técnicas analíticas usadas na distinção entre gemas tratadas e não tratadas (figura 66).



LEI DO DIREITO AUTORAL
 Todos os direitos reservados e protegidos
 pela Lei 9.610/1998.
 Este arquivo não pode ser reproduzido ou
 transmitido sejam quais forem os meios
 empregados: eletrônicos, mecânicos,
 fotográficos ou quaisquer outros.

Figura 65- Espectro de análise por RPE de quartzo *fumé*, mostrando os centros de $[Al/Li]^0$.
 A) RPE em amostras de quartzo *fumé* sem aquecimento, B) RPE em amostra aquecida a $250^\circ K$, C) centros estáveis perante o aquecimento até $250^\circ K$ (adaptada de Mackey & Boss, 1970).

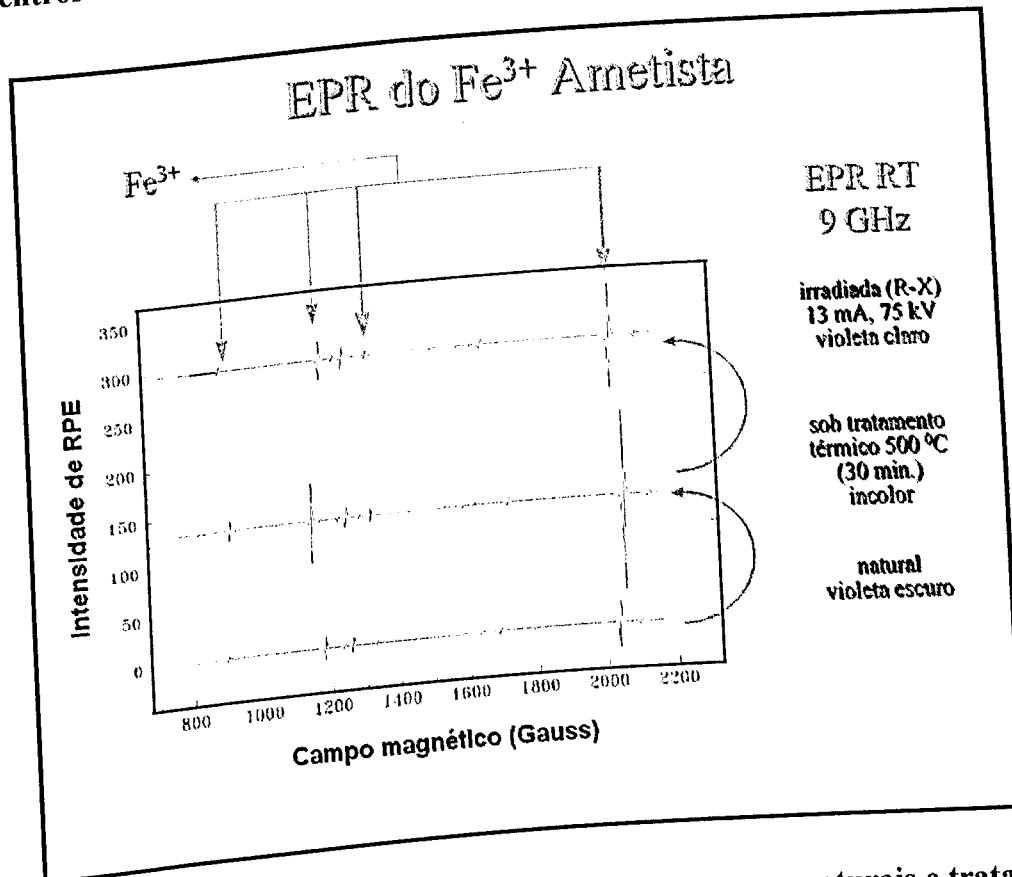


Figura 66- Espectros de RPE usados na distinção entre gemas naturais e tratadas.

5.2.4- Espectroscopia de absorção óptica

A figura 67 mostra o espectro de absorção típico de ametistas da Serra do Espinhaço em seções paralelas ao eixo c . Este espectro indica que há uma intensa absorção nas bandas a 950, 545 e 357 nm, que definem as janelas de transmissão na região do 460nm e na porção vermelha do espectro. A absorção óptica das ametistas desta região a 540 nm é consistente com o Fe^{4+} pois esta banda corresponde a presença de elementos metálicos (Holden, 1925).

Dotto & Isotani (1991) colocaram ametistas em ciclos de irradiação e calor e mostraram que as bandas a 545 e 357 nm apresentam a mesma origem. A banda a 950 nm é mais intensa sob luz polarizada perpendicular ao eixo c ; a banda a 545 nm tem mais ou menos a mesma intensidade de ambas polarizações; e a banda 357 nm é mais intensa com a luz polarizada paralela ao eixo c (Balitsky, 1977). A região profunda do ultravioleta absorve mais intensamente quando o vetor elétrico é polarizado paralelamente ao eixo c (Stock & Lehmann, 1977).

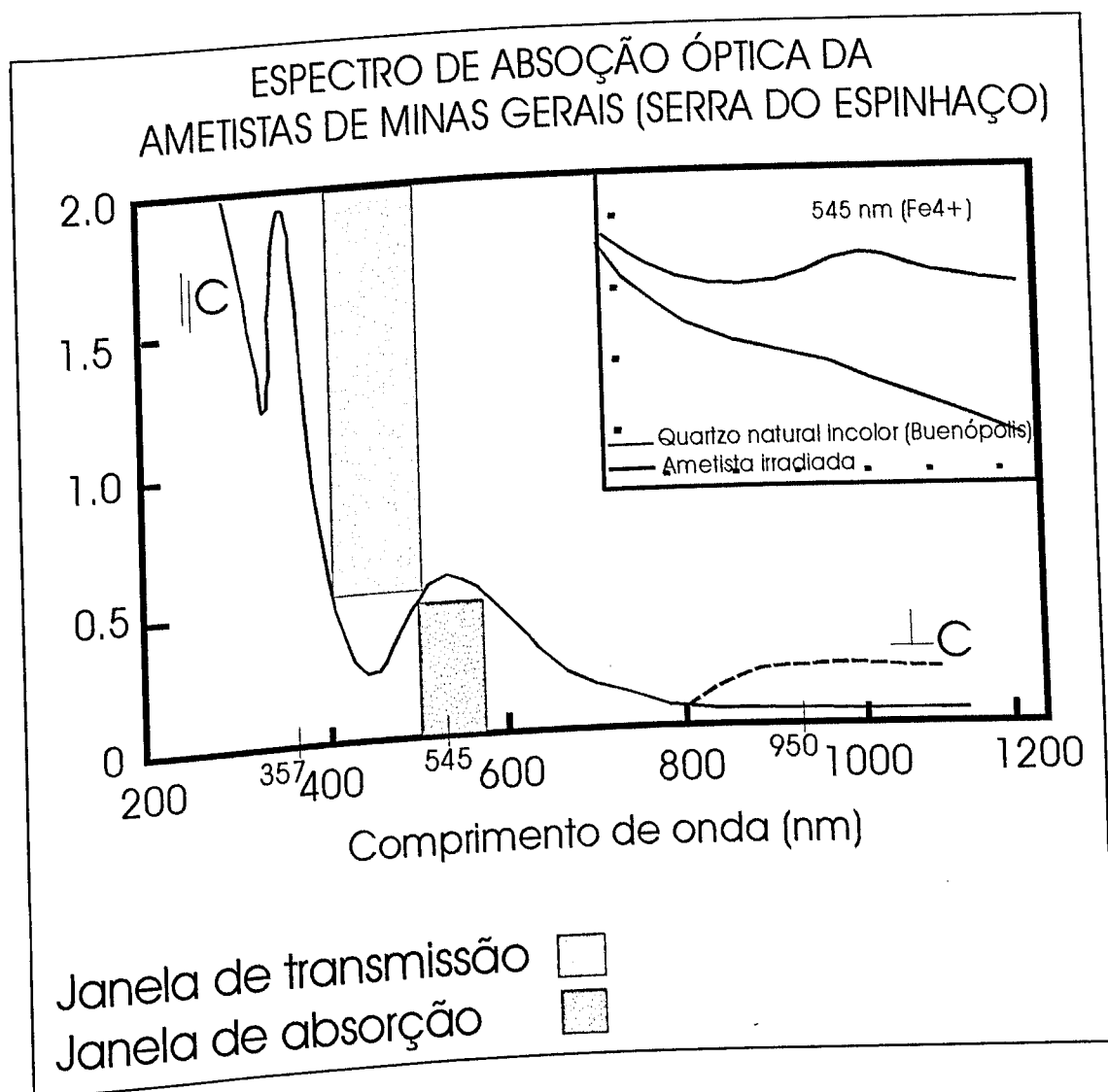


Figura 67– Espectro de absorção ópticas das ametistas de Minas Gerais, apresentando absorções máximas em 950, 545 e 357 nm.

Este arquivo não pode ser
transmitido sejam quais forem os
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

O espectro de absorção óptica do citrino natural da região de Itinga (Província Pegmatítica Oriental Brasileira) mostra forte absorção na região do ultravioleta (<400 nm), que estende-se para as regiões de menores comprimentos de onda do espectro visível. A mesma amostra quando tratada termicamente mostra uma redução na janela de absorção dentro do ultravioleta, e um certo aumento na janela de transmissão situado nos menores comprimentos de onda do espectro visível (figura 68).

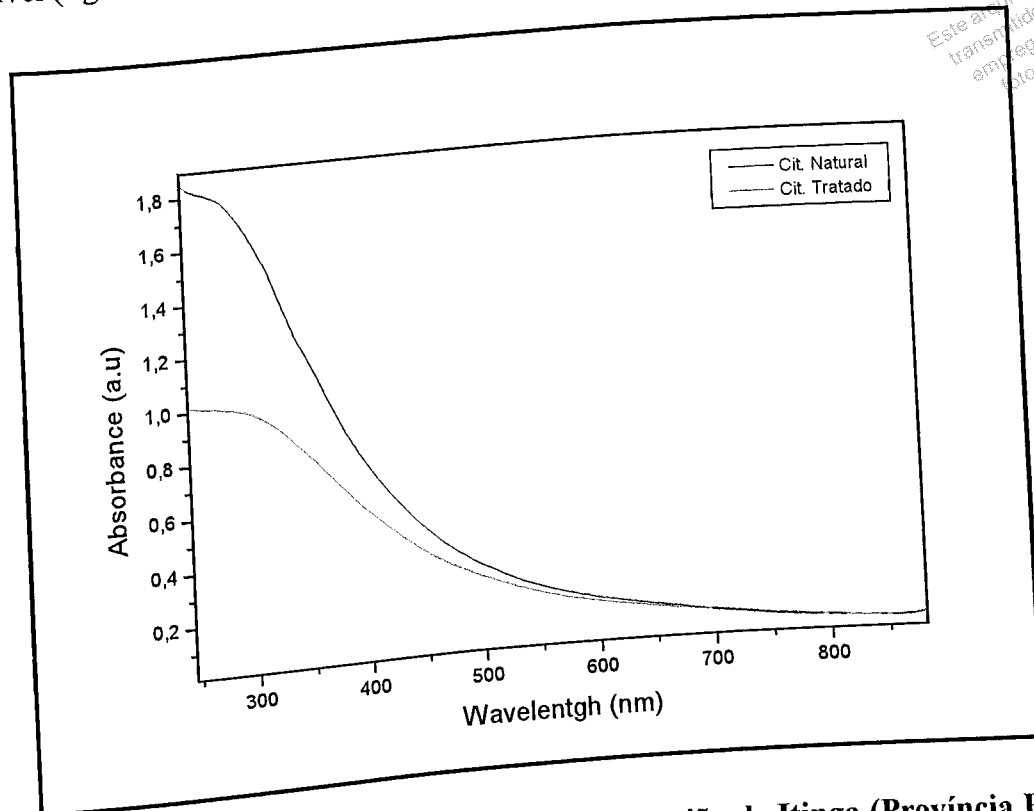


Figura 68- Espectro de absorção óptica em citrino da região de Itinga (Província Pegmatítica Oriental Brasileira), mostrando absorção forte na faixa do ultravioleta e após tratamento térmico uma redução nos valores desta absorção.

A absorção óptica de quartzos *fumé* são variáveis, no entanto elas são dominadas pelas bandas próximo a 427 nm e 670 nm, que estão localizadas em regiões de intensa absorção no ultravioleta e pequenas absorções no espectro visível (figura 69). A intensidade da cor *fumé* está relacionada com a banda em 427 nm dentro do faixa do ultravioleta (Meyer *et al.*, 1984).

Para efeito de melhor visualização comparativa, os espectros de absorção óptica do quartzo incolor, ametista e citrino de Minas Gerais encontram-se sintetizados na figura 70.

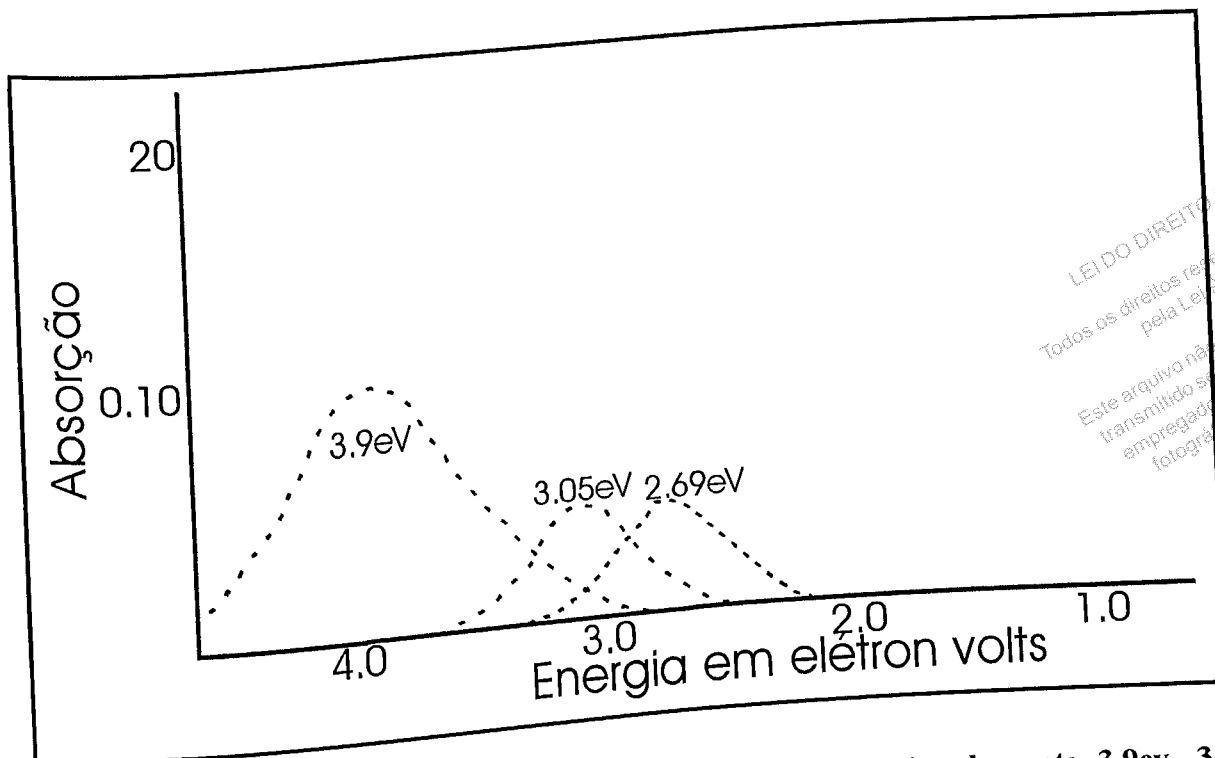


Figura 69- Espectro de absorção do quartzo fumé a aproximadamente 3.9ev, 3.05ev, e 2.69ev.

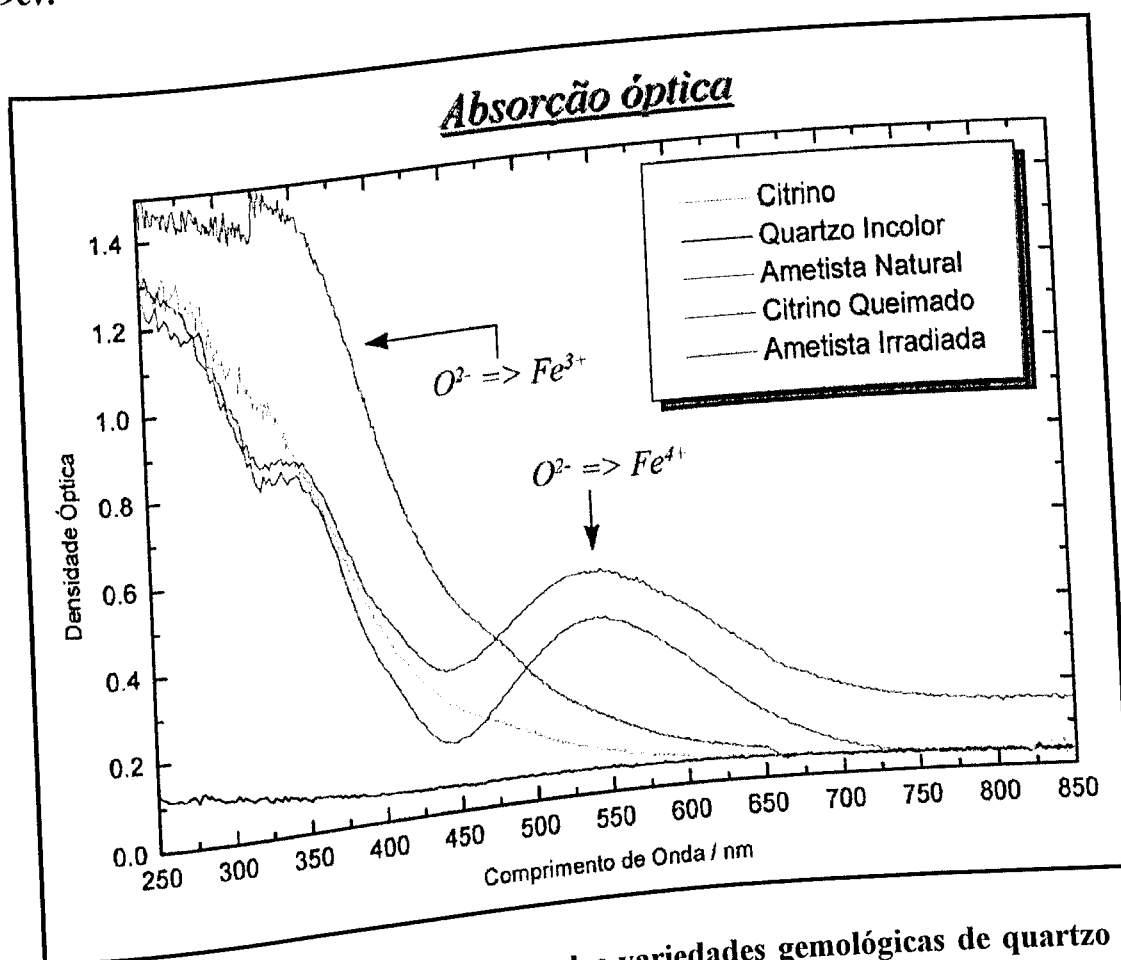


Figura 70- Espectros de absorção óptica das variedades gemológicas de quartzo de Minas Gerais.

5.2.5- Espectroscopia de absorção no infravermelho

As bandas de absorção mais fortes das ametistas de Minas Gerais encontram-se entre 950-1200 cm^{-1} (figura 71), estando relacionadas principalmente às presenças de elementos como silício, alumínio e ferro. A segunda banda de absorção mais forte encontra-se entre 400 e 550 cm^{-1} , que são resultados de sua estrutura polimerizada. Bandas de absorção média também foram registradas entre 550 e 850 cm^{-1} . Quanto maior a presença de impurezas dentro da ametista maior a acentuação do braço a aproximadamente 780 cm^{-1} . Deste modo pode-se dizer que a cor mais forte da ametista está relacionada a amostra mais impura.

A presença de água como mostrado pelo espectro da figura 72, está relacionada a bandas de $(\text{OH})^-$, identificadas a aproximadamente 3600 e 3400 cm^{-1} .

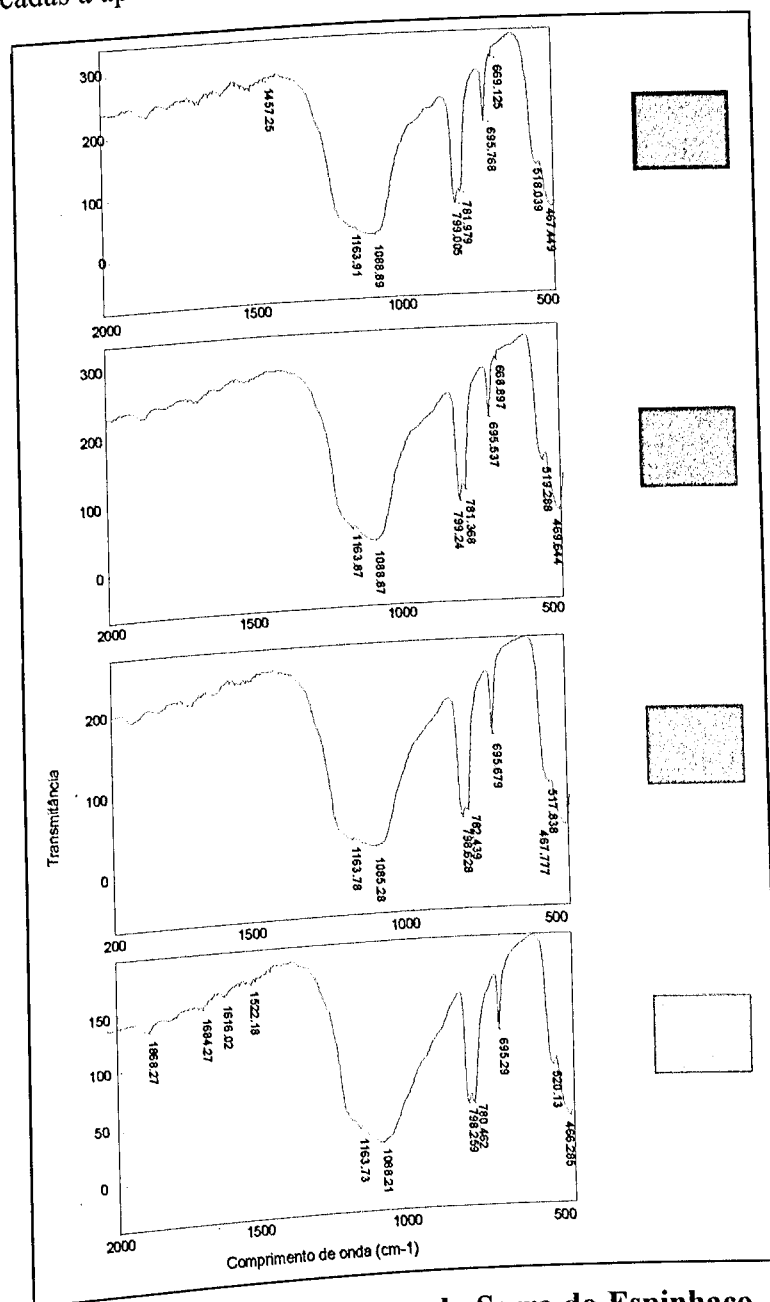


Figura 71- Espectros de infravermelho em ametistas da Serra do Espinhaço. As bandas entre 950 e 1200 cm^{-1} são as mais importantes e refletem as impurezas presentes no cristal. Os retângulos ao lado, significam a intensidade da coloração.

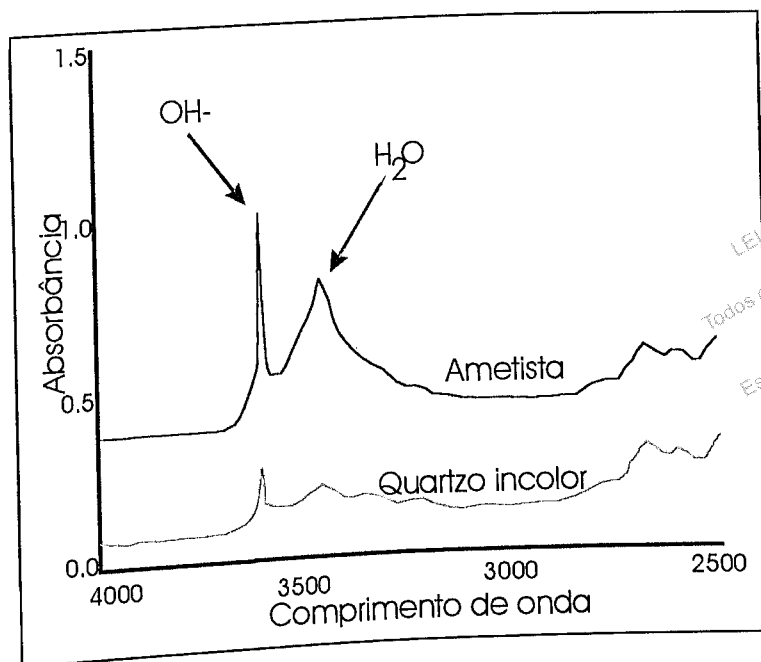


Figura 72- Espectros de infravermelho em ametistas da Serra do Espinhaço, mostrando picos relacionados à presença de $(OH)^-$.

Os espectros de infravermelho obtidos em citrinos de Minas Gerais são semelhantes ao da ametista. As bandas entre $950-1200\text{ cm}^{-1}$ e 400 e 550 cm^{-1} são as mais importantes, e as colorações mais fortes estão relacionadas às amostras mais impuras (figura 73). Segundo Aines & Rossman (1984) a banda observada a aproximadamente 3400 cm^{-1} é atribuída a pequenos grupos de água molecular aprisionados no quartzo durante o crescimento do cristal (figura 74) e o pequeno pico a 3600 cm^{-1} ao ânion hidroxila $(OH)^-$. Desta forma pode-se dizer que o citrino é mais "hídrico" que a ametista.

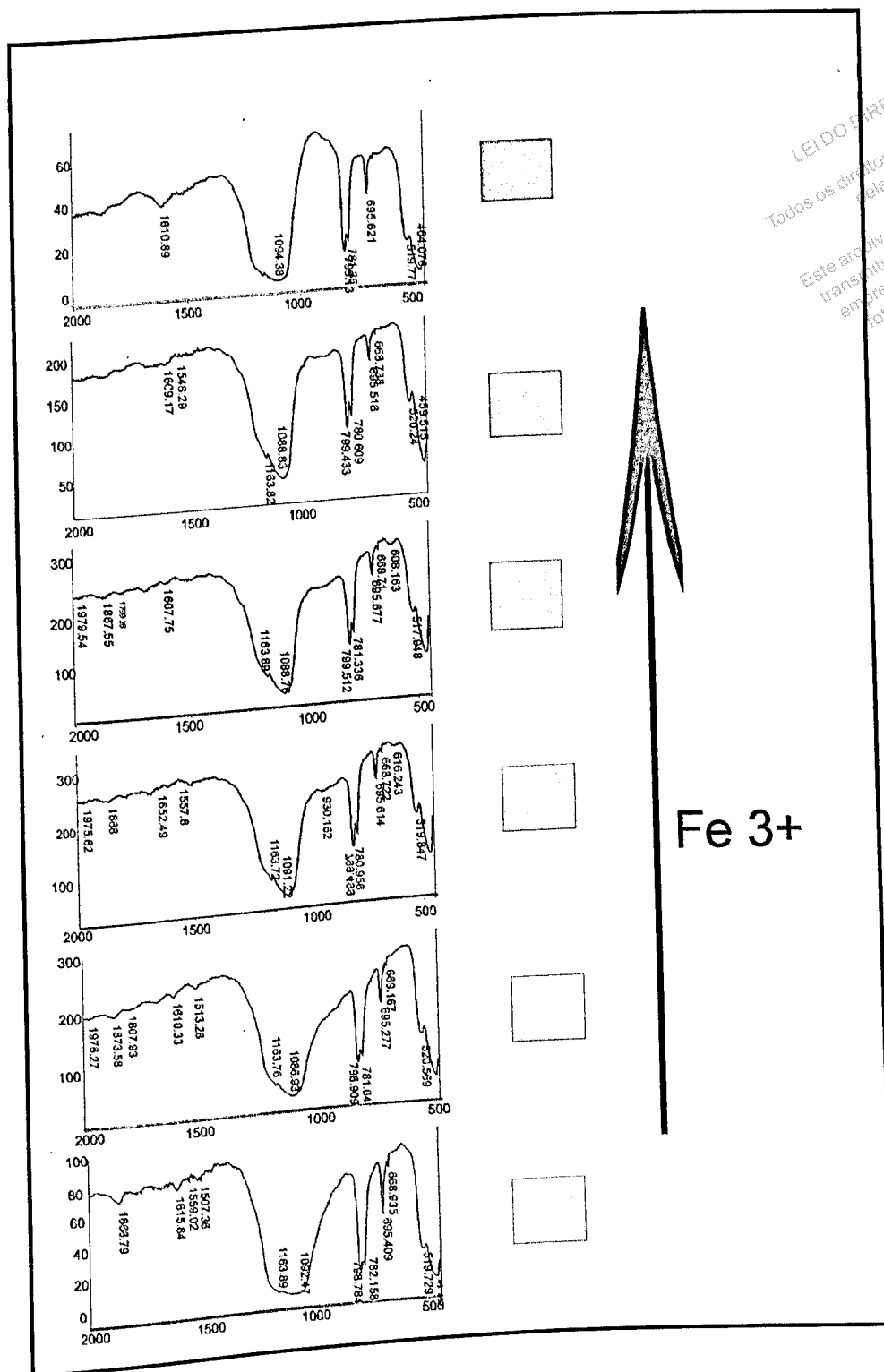


Figura 73- Espectros de absorção no infravermelho (faixa entre 500 e 2000 nm) em citrinos de Minas Gerais, mostrando semelhanças com o espectro das ametistas. As bandas mais importantes estão entre 950 e 1200cm⁻¹. As cores mais fortes em destaque nos retângulos encontram-se associadas a maiores quantidades de impurezas.

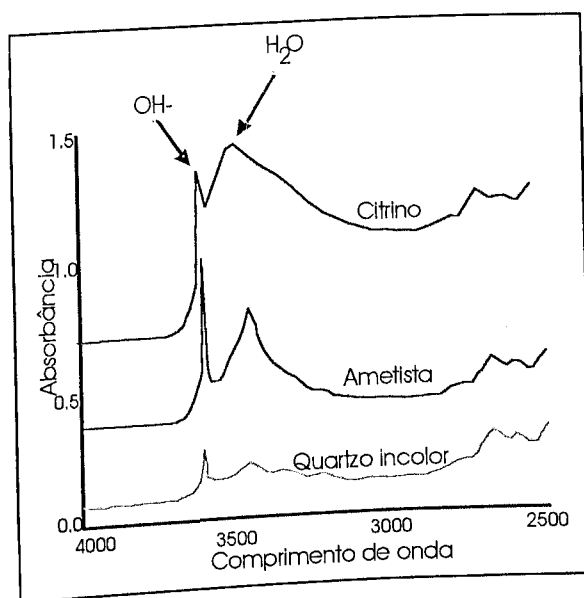


Figura 74- Espectro de absorção no infravermelho (faixa entre 2500 e 4000 nm) em citrinos de Minas Gerais, mostrando a influência da água molecular (H_2O), através da banda a 3400 cm^{-1} .

5.3- Influências do ambiente geológico

5.3.1- Generalidades

Os estudos demonstraram que determinadas variedades parecem relacionadas predominantemente com um determinado tipo de ambiente geológico de formação. Como por exemplo, a ametista tem o seu maior volume relacionado a depósitos hidrotermais. Por outro lado, o quartzo *fumê* apesar de ser também encontrado em alguns depósitos hidrotermais, o mesmo é dominante em ambiente pegmatítico, sendo esta relação válida também para o quartzo róseo. O quartzo hialino está ligado aos dois ambientes, porém depois de irradiado em laboratório vai revelar o seu ambiente original de formação com a cor resultante. A verdade é que esta quase “curiosidade” mineralógica pode ser corroborada pela física e química, e deste modo a combinação entre a tipologia dos depósitos de quartzo e suas variedades coloridas torna-se peça fundamental não somente para o real entendimento das causas de cor nas gemas de quartzo coloridas naturalmente, como também em seus produtos obtidos pela irradiação e tratamento térmico.

Vale ressaltar que este tipo de estudo somente é possível graças ao fato de Minas Gerais ser uma região bastante privilegiada. Isto significa dizer que talvez em nenhum outro lugar do mundo ocorram depósitos hidrotermais e pegmatíticos com tamanha potencialidade de gemas coloridas de quartzo, facilitando assim as comparações entre os dois tipos de depósitos. Desta maneira, todos os tratamentos a serem aplicados nas amostras parecem estar condicionados com o ambiente geológico original de crescimento do cristal.

Isso certamente não é uma regra, mais a preferência de certas variedades por um determinado ambiente geológico é notória. Como exemplo podemos citar a dominância de ametistas em depósitos hidrotermais ao invés de depósitos do tipo pegmatítico. Em contrapartida, existe a do-

LEI DO DIREITO AUTORAL
 Todos os direitos reservados e protegidos
 pela Lei 9.610/1998.
 Este arquivo não pode ser reproduzido ou
 transmitido sejam quais forem os meios
 empregados: eletrônicos, mecânicos,
 fotográficos ou quaisquer outros.

minância dos quartzos *fumé e morion* em depósitos pegmatíticos. Quanto ao citrino, o mesmo ocorre em ambos os ambientes, porém vale ressaltar que o citrino laranja ou com tons mais escuros parece ser dominante em pegmatitos, enquanto que os citrinos de cor amarela parecem ser típicos de ambientes hidrotermais.

Assim sendo, na Serra do Espinhaço predominam os depósitos de ametista, enquanto na Província Pegmatítica Oriental, raros são os pontos onde existe a presença desta variedade colorida de quartzo. Todavia o ambiente pegmatítico possui predominantemente vários pontos de ocorrência de quartzo *fumé*.

Estas dominâncias das variedades gemológicas por certos ambientes de cristalização estão ligadas à própria constituição química do mineral. O quartzo natural contém, além de silício e oxigênio, pequenos conteúdos de impurezas tais como Al^{3+} e Fe^{3+} que podem substituir o Si^{4+} . No entanto, devido a esta substituição natural, uma carga positiva fica faltando, e a partir daí entram em cena os cátions compensadores de carga, que são principalmente o Li^+ e o H^+ . O problema da substituição natural associada a irradiação origina os centros de cor, ou seja, ligações do tipo Al-Li e Al-OH e/ou Fe-Li e Fe-OH que influenciam na causa da cor nos quartzos. Saber a dominância destas ligações em cada ambiente geológico, faz com que se conheça um pouco mais sobre a influência destes ambientes na cor dos quartzos.

5.3.2- A influência do ambiente geológico na cor do quartzo *fumé*

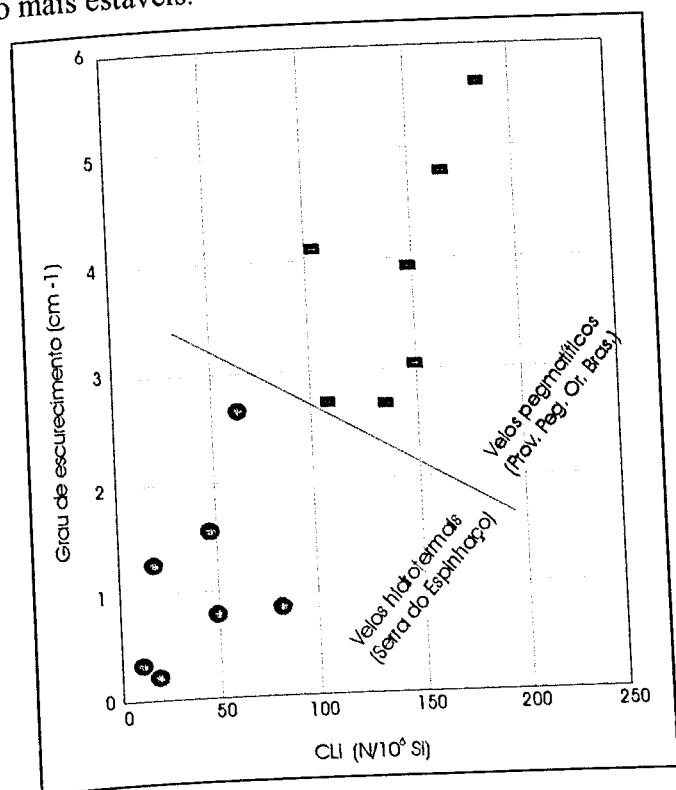
Na Província Pegmatítica Oriental (região de Itinga), a presença de quartzos *fumé* com vários graus de escurecimento é visivelmente maior, do que na Serra do Espinhaço, onde os veios de origem hidrotermal. A formação de centros de cor por irradiação- γ aumenta quando aumenta a relação dos conteúdos de Al-Li / Al-OH, e esta relação parece ser maior nos pegmatitos, conforme mencionado anteriormente. Em ambientes hidrotermais, o precursor dominante é o Al-OH, o que aparentemente diminui a relação anterior e com isso diminui também a formação do centro de cor de alumínio. Isto significa dizer que em ambientes hidrotermais a formação de centros de cores de alumínio que darão origem a cor *fumé* é significativamente menor.

De acordo com Guzzo *et al.* (1996), os centros de alumínio do tipo Al-Li e Al-OH estão relacionados principalmente ao quartzo *fumé*, de modo que os centros do tipo Al-Li seriam dominantes nos quartzos do ambiente pegmatítico, dando origem a tal coloração mais facilmente. Os centros do tipo Al-OH estariam relacionados predominantemente a ambientes hidrotermais, significando que quartzos hialinos com alto conteúdo de Al-Li originarão a cor *fumé* mais facilmente quando submetidos a irradiação do que os com alto conteúdo de Al-OH. Vale ressaltar que tanto no ambiente hidrotermal quanto no pegmatítico a cor *fumé* está intimamente ligada ao centro Al-

Li, significando que apenas a ligação Al-Li origina a cor *fumé*, enquanto que a presença do Al-OH apenas "atrapalha" a aquisição desta cor. Em síntese, a cor do quartzo *fumé* depende da relação Al-Li / Al-OH, quanto maior esta relação, maior o grau de escurecimento, e esta relação será maior nos quartzos *fumé* de pegmatitos.

Através de análises por irradiação- γ realizadas em amostras de quartzo hialino (CDTN/CNEN e EMBRARAD) da Província Pegmatítica e da Serra do Espinhaço revelaram total dependência do aumento no grau de escurecimento proporcional ao aumento do conteúdo de lítio. Quartzos hialinos de veios hidrotermais apresentam uma quantidade de lítio menor quando comparados com os de pegmatitos (figura 75) e como conseqüência o grau de escurecimento é menor quando submetidos a mesma quantidade de irradiação. A quantidade de irradiação necessária para adquirir a cor *fumé* em quartzo hialinos de regiões pegmatíticas é menor do que a quantidade de irradiação necessária para quartzos de regiões hidrotermais. A presença do lítio nas amostras de quartzos estudadas favorece a irradiação enquanto que a presença de $(OH)^-$ ou H_2O nestas mesmas amostras dificultam a aquisição da cor *fumé*, necessitando assim maior quantidade de radiação. O inverso também ocorre, e assim a cor *fumé* de amostras de pegmatitos são adquiridas com menor quantidade de irradiação, mas também são perdidas mais rapidamente, ou seja, em menor tempo e temperatura quando comparados aos quartzos *fumé* de regiões hidrotermais. Este fenômeno de estabilidade da cor *fumé* é de fundamental importância para quem trabalha com tratamentos, pois quartzos hialinos de regiões pegmatíticas que se transformam em *fumé* gastam menos tempo de irradiação, porém são menos estáveis, enquanto que os de regiões hidrotermais gastam mais tempo, mas em compensação serão mais estáveis.

Figura 75- Influência do lítio no grau de escurecimento dos quartzos. As amostras de quartzo da Serra do Espinhaço mostraram um menor grau de escurecimento quando comparadas com as da Província Pegmatítica Oriental Brasileira.



5.3.3- A influência do ambiente geológico na cor da ametista

A ametista encontrada naturalmente nos veios hidrotermais da Serra do Espinhaço, assim como a originada a partir de tratamentos radioativos por raios gama em quartzos hialinos da lavra da Fazenda Rainha (Buenópolis), têm sua cor relacionada com a presença de ferro. Entretanto, a presença de ferro associado com a radiação ionizante natural ou artificial, *a priori* suficiente para o desenvolvimento da cor da ametista nesta região, parece não ser capaz de desenvolver a mesma variedade na Província Pegmatítica Oriental Brasileira. Então, como explicar que num ambiente pegmatítico naturalmente radioativo e com conteúdo de ferro de certo modo elevado, o desenvolvimento de ametista encontra-se limitado?

As observações de campo nos atentaram para um fato bastante curioso, pois a maioria das ocorrências de ametistas da Serra do Espinhaço, estão associadas a águas termais, fato este já ressaltado em Chaves & Coutinho (1992). Rossman (1993) afirma que o campo de influência da hidroxila e da água molecular na causa de cor de minerais, em particular o quartzo, ainda é totalmente inexplorado.

A famosa ametista de Pau d'Arco (PA), uma das que apresentam cor violeta mais intensa das encontradas no Brasil, também está associada a águas termais. Seria apenas coincidência que a mais famosa das ametistas estivessem numa região onde a abundância de água é de 75% quando comparada com o resto do país? Ou será que a água tem de fato um papel fundamental no desenvolvimento da cor nesta variedade?

A ametista é encontrada predominantemente em ambientes hidrotermais, como já visto, sua cor está relacionada a formação do íon incomum Fe^{4+} após irradiação. Sua ausência em províncias pegmatíticas parece estar relacionada ao fato de que tais ambientes são mais propícios a formação de outros centros precursores de ferro e somente o Fe-OH é capaz de gerar o Fe^{4+} por transferência de carga. A estabilidade da cor e o grau de escurecimento, baseando-se em dados de espectroscopia de absorção óptica, ressonância paramagnética eletrônica e de infravermelho estão relacionados com a quantidade de irradiação e o conteúdo de Fe-OH. Na lavra da Fazenda Rainha (Buenópolis), a existência de um quartzo hialino que após irradiado adquire a cor violeta corrobora com a hipótese de tratar-se de um quartzo com alto conteúdo de Fe-Li, porém hospeda dado por um ambiente coluvionar com pouca ou nenhuma irradiação natural. No segundo caso, na lavra da Fazenda Riacho do Barreiro (Grão Mogol) esta relação parece invertida, onde uma ametista de cor forte perde em apenas alguns dias praticamente toda sua coloração violeta (Karmunkel *et al.*, 1998), significando que ela possui um baixo conteúdo de Fe-OH, estando presente num ambiente hidrotermal possivelmente de elevada radiação natural.

5.3.4- A influência do ambiente geológico na cor do citrino

As ocorrências principais em Minas Gerais estão na Região do distrito pegmatítico de Araçuaí (Província Pegmatítica Oriental Brasileira) e lavras da região de Diamantina (Serra do Espinhaço). São em geral, citrinos de coloração laranja a laranja-amarronzado. No entanto, uma discussão em torno desta variedade torna-se complicada pelo fato de que um número de cores como amarelo, amarelo-esverdeado e tons laranja-amarronzados sejam produzidas no quartzo por irradiação (natural ou artificial) com ou sem subsequente tratamento térmico.

Numa discussão sobre o que são verdadeiramente os citrinos, deve ser levado em consideração a classificação de Schmetzer (1989), onde o mesmo reconhece existir pelo menos cinco possibilidades de origem para estes quartzos:

- (1) Quartzos de ocorrência natural;
- (2) Quartzos da variedade ametista tratados termicamente;
- (3) Quartzos sintéticos intercrescidos na presença de ferro;
- (4) Quartzos irradiados (com ou sem subsequente aquecimento), produzidos a partir de cristais incolores ou a partir de cristais levemente amarelados ou alaranjados;
- (5) Quartzos produzidos a partir de quartzos *fumé*, através de tratamentos térmicos.

Infelizmente, a maior parte da literatura antiga não distingue claramente o tipo de citrino usado nas pesquisas. Desta forma não é possível determinar se as amostras de citrinos "naturais" usados em estudos mais antigos tinham na verdade uma história de tratamento.

Trabalhos anteriores relacionam o Fe^{3+} substitucional como a principal causa de cor em citrinos naturais. Embora o Fe^{3+} esteja indubitavelmente presente nestes citrinos, como evidenciado por padrões de EPR (Barry & Moore, 1964), os espectros de absorção óptica mostram forte absorção na região do ultravioleta, estendendo para as regiões de menores comprimentos de onda do espectro visível. Aines & Rossman (1986) observaram que o hidrogênio está presente em certas zonas do citrino sob a forma de molécula de água, e este dado torna a Serra do Espinhaço como uma região bastante promissora para a prospecção de citrinos.

A presença de citrinos na Província Pegmatítica Oriental Brasileira, seria assim uma espécie de "anomalia" associada aos veios pegmatíticos hidratados, o que não é muito comum, ou veios pegmatíticos que tiveram uma grande participação de águas magmáticas durante o crescimento do cristal de quartzo.

A real causa de cor em citrinos naturais ainda é muito especulativa, porém um fato realmente interessante é que a cor amarela ou laranja de vários minerais gemológicos estão associados ao Fe^{3+} . Uma outra característica é o tratamento de amostras, tanto de regiões pegmatítica quanto de hidrotermais, nunca desbotou cor laranja totalmente depois de aquecimento acima de

500°C. Neste caso o que acontece neste caso é a “filtragem” da coloração levemente *fumé* que também se mistura com o laranja. Isto é um indício forte de não se tratar um centro de cor que está dando origem ao laranja e sim ao *fumé* da amostra, sendo por este motivo que em várias análises por RPE o centro de alumínio referente a cor *fumé* sempre é encontrado. Baseado no fato que a maioria das gemas de cor amarela e laranja são coloridas por Fe^{3+} , e da dificuldade de esbranquecer a amostra perante tratamento térmico, a idéia de ter apenas um íon corante, no caso o próprio Fe^{3+} dando a cor laranja torna-se mais forte, porém este íon possui uma influência muito grande de sua coordenação iônica, ou seja, o mesmo deve estar num sítio intersticial, onde torna-se muito difícil a mudança de seu estado de valência. Por esta razão, a cor laranja nunca desaparece, nem mesmo quando submetido a altas temperaturas, levando a crer que tal cor não tem nenhuma ligação com a irradiação natural. O papel da água molecular na causa de cor do citrino ainda necessita de maiores esclarecimentos físicos.

Tons amarelo-esverdeados resultam quando o quartzo de certas localidades são irradiados, como por exemplo os quartzos de São João da Safira (figura 57). Esta cor incomum é proveniente do seguinte processo: irradiação de quartzo incolor até tornar-se *fumé* seguido por tratamentos térmicos a temperaturas relativamente baixas (entre 150-250°C).

6- PRINCIPAIS TRATAMENTOS EM QUARTZO DE MINAS GERAIS

6.1- Aspectos Gerais

O que são tratamentos em gemas ? – O Instituto Gemológico Americano (GIA) os define como qualquer processo controlado pelo homem que porventura melhore a aparência, a durabilidade e o valor de uma gema. Os tratamentos envolvem em geral, irradiação e/ou subsequente tratamento térmico.

A prática de submeter cristais e lascas de quartzo de diversas regiões de Minas Gerais a irradiação e tratamento térmico para fins comerciais é extremamente recente, embora tais processos já tenham sido realizados para fins científicos. Isso deve-se ao fato do quartzo ser um dos mais abundantes minerais do Estado, e relativamente possuir preços menores quando comparado a outros minerais tradicionais como berilo, turmalinas, diamante etc.

O beneficiamento do quartzo por irradiação e tratamento térmico visando o aumento de sua qualidade gemológica, certamente ajudará o Estado de Minas Gerais a manter uma produção constante e controlada deste tipo de gema, além de ser um dos incentivadores de investimentos do mesmo gênero a outros grupos de minerais que aceitem tais tratamentos.

6.2- Irradiação

Em Minas Gerais tem-se ressaltado principalmente a existência de quartzos hialinos que adquirem a cor *fumé* após a irradiação. Entretanto quartzo hialinos que porventura possam adquirir as cores violeta e laranja-amarronzada também têm sido relatados. Vale ressaltar também a existência de quartzos hialinos que adquirem tons amarelo-esverdeados após este mesmo processo de tratamento.

6.2.1-Do hialino ao quartzo *fumé*

O quartzo *fumé* pode ser obtido através da irradiação de quartzo hialinos, citrinos e ametistas. Em Minas Gerais o quartzo hialino destaca-se como matéria prima principal na aquisição da cor *fumé*. Quartzo hialinos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira necessitam de doses de irradiação mais baixas para se transformarem em *fumé* quando comparados com os quartzos provenientes da Serra do Espinhaço (figura 76). No entanto, o quartzo hidrotermal da Serra do Espinhaço é mais estável em sua cor do que o quartzo pegmatítico em questão. Isto significa que quartzos de regiões pegmatíticas perdem a cor com mais velocidade, em torno de 350°C, enquanto que os de origem hidrotermal ultrapassam os 400°C até desbotarem.

Quando a ametista sintética é irradiada em um ambiente de laboratório, sua cor alcança níveis de saturação após a exposição que variam entre 2 a 6 Mrad (Balitsky, 1977; Hosaka & Taki, 1983) de irradiação gama. São dosagens extremamente baixas quando comparadas com um

ambiente natural. Comparativamente, a irradiação gama do ^{40}K sozinha, seria capaz de produzir doses de 6×10^6 Mrad por ano em um ambiente pegmatítico (Reinitz & Rossman, 1988).

Em depósitos de ametistas tipo hidrotermais, argilas potássicas estão sempre presentes, e talvez esta possa ser a fonte de irradiação natural. A intensidade da cor de uma ametista natural não é necessariamente saturada, apesar da exposição a altas dosagens. Lehmann & Moore (1966) ressaltaram que a irradiação de uma ametista brasileira com raios-X teve a intensidade de sua cor aumentada pelo menos cinco vezes mais.

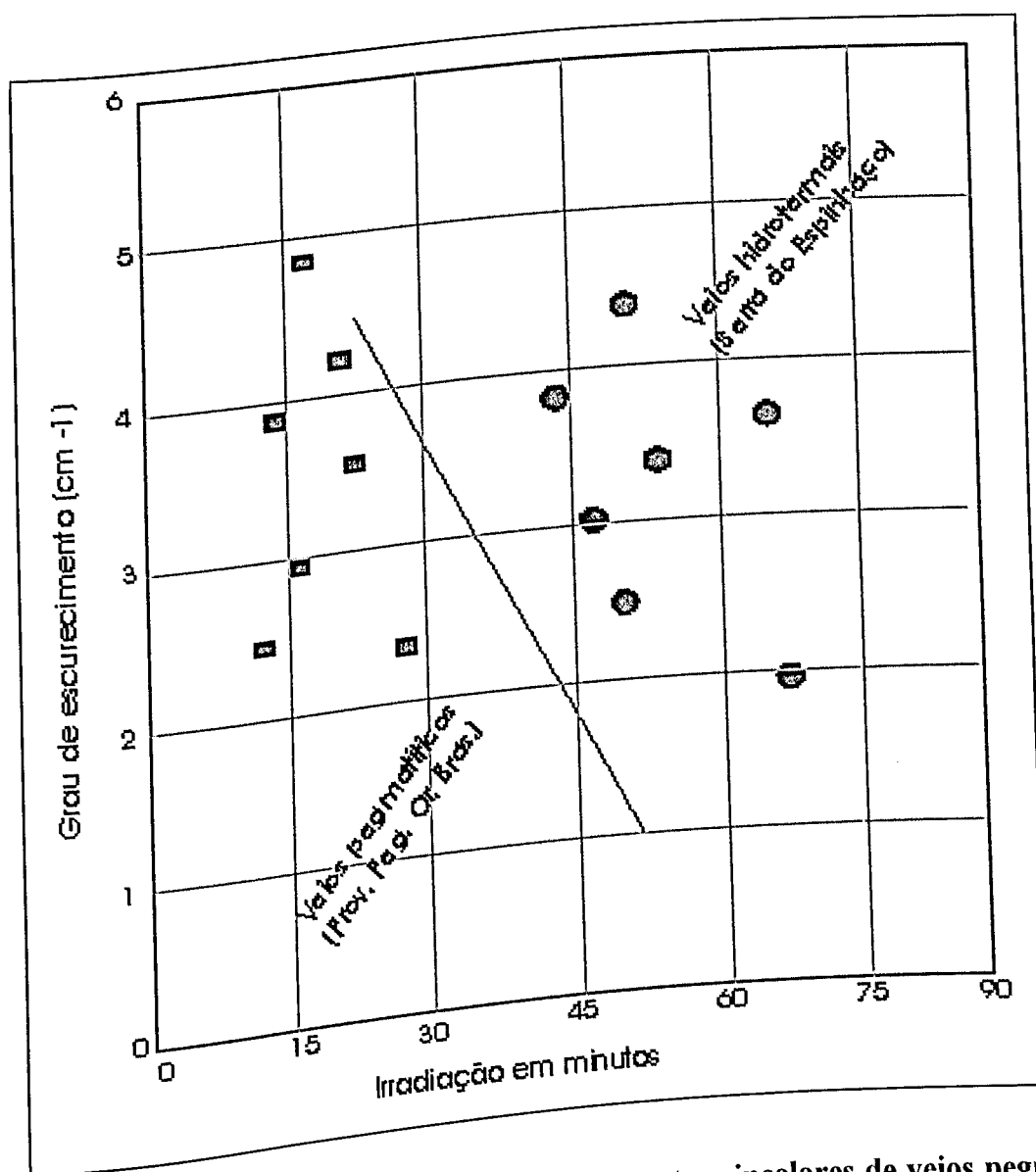


Figura 76- Diagrama mostrando que as amostras de quartzos incolores de veios pegmatíticos necessitam de menor quantidade de irradiação para se saturarem na cor *fumé*, quando comparados com os veios da Serra do Espinhaço.

6.2.2- Do hialino à ametista

Ametistas provenientes de ambientes hidrotermais como a ametista da lavra de Buenópolis (Fazenda Rainha) adquirem a cor violeta após irradiação- γ , no entanto saturam na cor. A ametista de Buenópolis desenvolveu a cor *fumé* somente após doses que ultrapassaram 80 kGy. A cor desta ametista pode ser restabelecida através do aquecimento a 300°C.

A saturação alcançada pela ametista de Grão Mogol foi registrada em doses relativamente baixas (menores que 50 kGy) quando comparadas com a da Fazenda Rainha. Doses mais elevadas deram origem a cor *fumé*, pois assim como o ferro, o alumínio também substitui o silício causando instabilidade e a criação do centro $[AlO_4/Li]$ responsável por esta cor.

6.2.3- Do hialino ao citrino laranja-amarronzado e ao amarelo-esverdeado

Citrinos amarelo-esverdeados (*green-gold*) resultam quando quartzos de certas localidades, como por exemplo São José da Safira (MG) e Cristalina (GO) são irradiados. O processo é o seguinte: (1) irradiação de quartzo incolor por raios gama, (2) irradiação de quartzo incolor até tornar-se *fumé* seguido por tratamento térmico a baixa temperatura (150° a 250°C) e, (3) tratamento térmico de quartzos *fumé* naturais também a baixa temperatura.

6.3- Tratamentos térmicos

A importância dos tratamentos térmicos reside no fato de que grande parte das gemas tratadas por irradiação saturam na cor. Por exemplo, se a gema tratada é uma ametista ou um citrino de cor clara, após determinadas doses de irradiação ela torna-se muito escura, daí a importância de um tratamento térmico para "filtrar" essa cor. Essa visão é puramente comercial, sendo que do ponto de vista científico, estudar o desbotamento até a total perda de cor das variedades coloridas de quartzo também são de grande valia, na medida em que se conhece o comportamento perante as diversas temperaturas, ou seja para o melhor conhecimento da estabilidade da cor em quartzo torna-se necessário o clareamento total da amostra. De acordo com estas duas visões do tratamento térmico, relataremos como ele ocorre em amostras de ametistas, citrinos e quartzos *fumé*.

6.3.1- Em ametistas

Quando a ametista é inicialmente aquecida, a cor violeta começa a clarear. Com o contínuo aquecimento, a ametista pode tornar-se completamente incolor, ou cores amarelas e verdes podem desenvolver-se em temperaturas que variam dos 300° aos 560°C. Nas ametistas de Minas Gerais ainda não se observou cores amarelas após o aquecimento, sendo que cores verdes já foram registradas, como nas famosas ametistas de Montezuma (Schumann, 1976). Sob doses de irradiações elevadas (acima de 80 kGy), algumas amostras desenvolvem a cor *fumé*. Como as

ametistas são variedades gemológicas que alcançam preços elevados no mercado devido sua cor violeta, tons *fumés* tornam-se indesejados, pois diminuem o preço da gema. No entanto, tons *fumés* em ametistas podem ser filtrados através de tratamentos térmicos em temperaturas que não ultrapassem 300°C, beneficiando a gema que ficará apenas com a cor violeta. Vale ressaltar que caso esta temperatura seja ultrapassada, além da filtragem da cor *fumé* começará a desbotar o violeta.

A cor da ametista é instável a luz natural, mas isso não significa que a mesma não possa ser usada em jóias. Naturalmente que exposições demasiadas ao sol, agridirá a natureza fotoestável da gema, por isso deve-se "educar" o uso da ametista apenas durante a noite.

Enquanto investigações sistemáticas de foto-estabilidade da ametista ainda não tenham sido realizados, experimentos informais sobre a perda de cor dessa variedade têm mostrado que muitos geodos de ametista do sul do Brasil perdem 1/3 de sua cor após dois meses sob a luz do sol (Currier, 1985). As ametistas bolivianas (Anahi) perdem 1/3 de sua cor após dois meses sob a luz do sol (Vasconcelos *et al.*, 1994). Um observador cuidadoso pode perceber que grande parte dos geodos de ametista usados em propostas decorativas apresenta cores pálidas após serem colocados em locais iluminados, certamente isto é o resultado do decaimento fotoquímico dos centros de cor do mineral.

Hassan (1972) e Dotto & Isotani (1991) apresentaram estudos detalhados sobre as características de temperaturas de perda de cor através do espectro da ametista e sua regeneração em resposta a irradiação. Estudos de uma ametista de Thunder Bay, Ontário (Canadá) sugerem que no ambiente natural, onde prolongada exposição ao calor magmático ocorre, a ametista perde sua cor sob temperaturas abaixo de 145°C (McArthur *et al.*, 1993). Outros estudos têm demonstrado que a estabilidade das ametistas variam de acordo com seu conteúdo de ferro e presença de (OH)- (Vasconcelos *et al.*, 1994).

Em Minas Gerais, a foto-estabilidade da ametista varia amplamente, como por exemplo em cristais provenientes da Região de Grão Mogol, onde a ametista perde sua cor durante exposição ao sol em alguns dias (Karfunkel *et al.*, 1998), enquanto que ametistas de Buenópolis e Felicidade dos Santos a mesma começa a desbotar apenas sob temperaturas acima de 350°C. Daí a necessidade de uma melhor caracterização da presença dos conteúdos de ferro e hidroxila, causadores da cor da ametista.

6.3.2- Em citrinos

Citrinos laranja-amarronzados naturais da Província Pegmatítica Oriental Brasileira podem ter sua cor intensificada através de tratamentos térmicos a aproximadamente 300°C, pois tal processo retira os tons marrons que existem nesta variedade de quartzo, aumentando assim a to-

nalidade laranja e com isso agregando mais valor a gema em questão.

A estabilidade da cor em citrino variam amplamente, até mesmo porque em Minas Gerais há indícios que eles sejam coloridos pelos fenômenos de centro de cor, como também pela simples presença de Fe^{3+} ou seja duas causas de cor estariam relacionadas à esta variedade. Citrinos como o de São João da Chapada (Serra do Espinhaço) não tem sua cor intensificada por tratamentos térmicos, enquanto que os citrinos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira modificam-se facilmente quando submetidos a este processo.

6.3.3- Em quartzos *fumé*

Estudos qualitativos relataram que os quartzos *fumé* naturais poderiam ser descoloridos aquecendo-se a 600°C durante 5 min, porém o método mais adequado seria o que envolve temperaturas em torno de 400°C durante 10 min, pois não modificam a estrutura cristalina do mineral cujo limite é de 573°C (transformação de quartzo α em β). A temperatura e o tempo caem um pouco quando o quartzo *fumé* é proveniente de regiões pegmatíticas como os da Lavra Teixeira (Província Pegmatítica Oriental Brasileira).

No entanto, nos depósitos de Minas Gerais, citrinos de cor laranja, marrom-alaranjada e marrom, podem também ser obtidos a partir do aquecimento a baixas temperaturas (150°C e 250°C) de quartzos *fumé* pegmatíticos (região de Itinga), bem como também a partir da irradiação de quartzos hialinos desta mesma região, seguida de subsequente tratamento térmico a baixas temperaturas.

6.4- As leis, órgãos de controle e o manual de tratamento

Com exceção do embelezamento normal de uma gema (polimento e facetamento) é de inteira responsabilidade do vendedor na hora da compra, informar todo o processo envolvido no tratamento para o melhoramento da cor da gema.

A falha na identificação de gemas naturais tratadas, quando existente, é uma prática desonesta de comércio. Tais informações é exigida em todos os níveis de comércio de jóias.

Muitas gema tem sido tratadas historicamente e tradicionalmente. Os métodos de tratamento para melhoramento de sua cor variam com cada espécimen.

A Comissão Federal de Comércio (The Federal Trade Commission) (figura 77), com a cooperação do comitê de vigilância dos Joalheiros (cooperation of the Jewelers Vigilance Committee), advertem a indústria joalheira de um modo geral a informar o consumidor sobre o tratamento de gemas, quanto ao tipo de tratamento realizado.

A forma básica de comunicar o consumidor é via panfletos explicativos de fácil entendimento. Porém, antes de tudo o joalheiro deve tomar conhecimento do Manual de tratamento de

gemas (Gemstone Enhancement Manual), editado pela Associação Americana de Comércio de Gemas-AGTA (figura 77). Este manual tem sido usado no comércio, para indicar a possibilidade de tratamento e identificação do processo em questão através de códigos que consistem de uma ou mais letras. Quando um vendedor oferece ao cliente um gema que foi tratada por meios que encontram-se ou não descritos nos panfletos, o vendedor deve informar o comprador o específico tratamento através de uma linguagem clara, pois códigos e abreviações existente no manual não são suficientes.

Quanto ao tratamento das gemas de quartzo, as mesmas podem ser divididas em 2 categorias básicas:

1. Gemas não tratadas.

A letra "N" (Natural) é o símbolo que aparece no Manual do AGTA para gemas não tratadas ou naturais. Esta gema deve vir acompanhada de um documento comercial tal como um atestado de laboratório gemológico garantindo o fato de a gema não ser realmente tratada.

2. Gemas tratadas normalmente.

A letra "G" é designada para as gemas de quartzo tratadas normalmente por raios- γ . O tipo de tratamento coberto por este símbolo encontra-se indicado na tabela 4. A letra "H" (do inglês *Heating*) é associada as gemas que são normalmente tratadas apenas pelo processo térmico.

Muitos tratamentos são difíceis de serem provados, e a técnica mais simples é indicar que tal tratamento foi feito. Ao assumir este tratamento existirá tanto o beneficiamento do vendedor e do consumidor perante as leis, em caso de desentendimento entre o comprador e o vendedor.

Tabela 4- Símbolos usados no comércio para diferenciar gemas de quartzo tratadas das não tratadas.

GEMA	CÓDIGO	MÉTODO	USO	ESTABILIDADE	CUIDADOS	ADVERTÊNCIAS
Ametista	H ou G	Irradiação c/ou tratamento térmico.	Ocasional	Excelente	Especial	podem desbotar sob longa exposição a luz solar.
Citrino	H ou G	Irradiação c/ou tratamento térmico.	Frequente	Excelente	Normal	Alguns podem desbotar
Quartzo fumé	H ou G	Irradiação c/ou tratamento térmico.	Frequente	Excelente	Normal	podem desbotar sob longa exposição a luz solar.

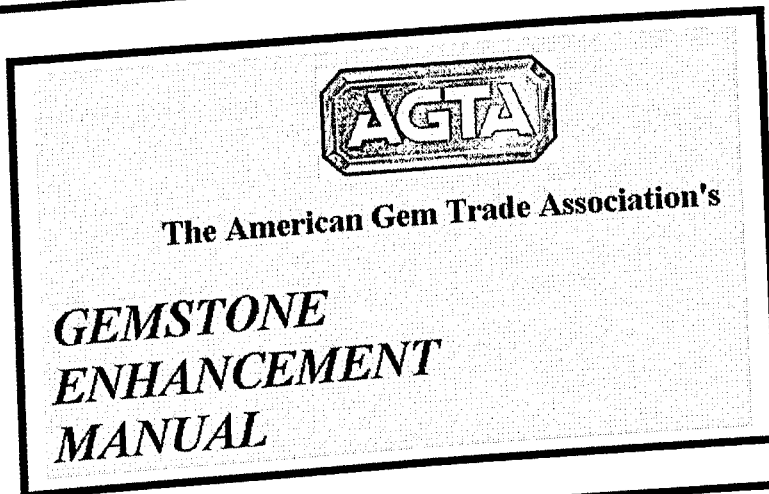
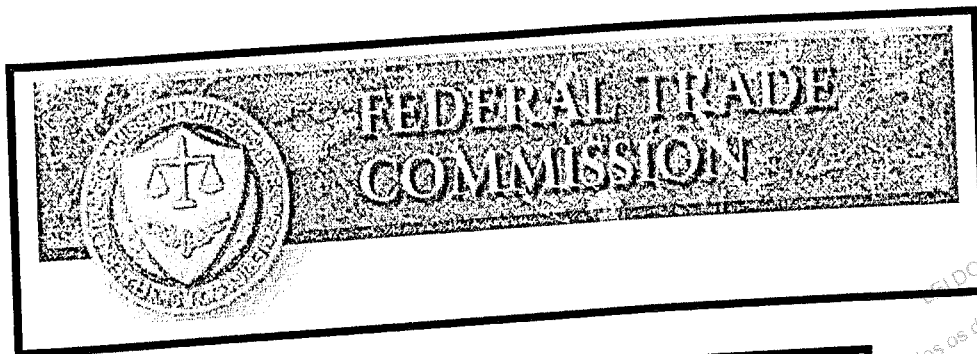
No Brasil, o controle da qualidade de gemas é de responsabilidade da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, que juntamente com o IBGM-Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos fazem as leis que regulamentam a qualidade de gemas dentro do território nacional brasileiro (figura 77).

Atualmente, existem quatro Normas Brasileiras sendo utilizadas pelo setor, sendo duas na área de gemas e duas para o ouro: a primeira, a NBR 10.630, classifica os materiais gemológicos e apresenta o modelo para emissão do Certificado de Identificação da Gema; a segunda, a NBR 12.254, refere-se à classificação de diamantes, a terceira, a NBR 8.000, fixa as condições exigíveis para a comercialização de ouro refinado; e a quarta, a NBR 8.001, prescreve os métodos para a determinação do título de ouro refinado (copelação e espectrofotometria de absorção atômica).

Para garantir a qualidade e autenticidade dos artigos de joalheria e ourivesaria e folheados em metais preciosos, inclusive seus métodos, como a galvanoplastia, é necessário ampliar-se a elaboração de normas junto à ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Por proposição do IBGM, um grupo de estudo foi criado, em agosto de 1993, pelo Comitê Brasileiro de Siderurgia e Mineração - CBI/ABNT, para a elaboração de duas novas normas técnicas para o setor. Dessa forma, poderá ser certificada a qualidade dos produtos do setor, dentro de um sistema compatível e reconhecido internacionalmente. As propostas de normas referem-se à titularidade de metais preciosos e ao folheamento destes metais, inclusive seus métodos, como a galvanoplastia. Embora amplamente utilizados pelo setor no Brasil, não estão normatizados nem regulamentados por legislação específica, como em diversos países, dificultando a fiscalização de eventuais distorções. Essas duas normas possibilitarão que a produção de jóia e de folheados seja realizada dentro de rígidos padrões de qualidade, resguardando-se os direitos do consumidor brasileiro e permitindo maior participação desses produtos no mercado internacional.

Em consequência do trabalho que vem sendo desenvolvido pelo Setor, a ABNT acatou proposta do IBGM e criou o CB33 - Comitê Brasileiro de Normalização para Joalheria, Gemas, Metais Preciosos e Bijuteria, cuja coordenação está a cargo do IBGM (figura 77).



DIREITO AUTORAL
 Todos os direitos reservados e protegidos
 pela Lei 9.610/1998.
 Este arquivo não pode ser reproduzido ou
 transmitido sem a qualificação em meios
 empregados: eletrônicos, mecânicos,
 fotográficos ou quaisquer outros.

Figura 77- Principais órgãos controladores da qualidade de gemas. No Brasil as leis sobre material gemológico fazem parte das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

7- ASPECTOS MERCADOLÓGICOS

7.1- Generalidades

O Estado de Minas Gerais foi durante muito tempo o maior produtor de quartzo para fins ópticos e agora com a descoberta de lavras cujo quartzo são passíveis de tratamento que culminam na formação da ametista, citrino, quartzo *fumé* e *morion*, além da rara descoberta de quartzo que adquirem tons esverdeados após tratamento, ele começa a destacar-se como o maior produtor de quartzo gemológico do mundo.

Em Minas Gerais, o quartzo, juntamente com as outras gemas ditas tradicionais como berilos, topázios, turmalinas e diamante são responsáveis por aproximadamente 25% da produção mundial.

Apesar da grande contribuição do Estado de Minas ao comércio de gemas, fornecendo matéria-prima para a confecção de jóias em outros países a exportação de jóias tipicamente brasileiras com as variedades ametistas, citrino, e quartzo *fumé*, juntamente com as demais gemas tradicionais mineiras citadas anteriormente não chega a ocupar 5% dentro do mercado brasileiro, e sua produção é considerada irrisória em nível mundial.

No setor de gemas e jóias, Minas Gerais agrega pouco valor às suas matérias primas porque vem atuando sistematicamente no início da cadeia produtiva. Isto significa dizer que as gemas deste estado quando exportado isoladamente em bruto pouco contribuem para a economia estadual. Mas, quando se combina ouro e pedras preciosas na indústria joalheira, quando trata-se a gema para que ela adquira a cor de mercado, quando se lapida a gema aqui mesmo no estado, e não a exporta em estado bruto, agregam-se valores a estes produtos, gerando riqueza, novos empregos e divisas para o país.

O Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos - IBGM aponta o setor de gemas e jóias como responsável pela geração de mais de 500.000 empregos, distribuídos em atividades de garimpo, em oficinas de lapidação, em indústrias de jóias e bijuterias, e no comércio. A mão de obra em garimpo e lapidação, representa milhares de empregos em áreas mais pobres do Brasil, como por exemplo o Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais.

Projetos recentes do Governo Estadual como o "Programa de Gemas e Jóias" e "Tecnologia Mineral" visam buscar a conjugação de esforços para o desenvolvimento de metodologias capazes de melhorar as certezas na prospecção de gemas; o estabelecimento de controles estruturais de corpos com potencial gemológico; a melhoria de procedimentos de lavra; desenvolvimento de processos alternativos para beneficiamento e utilização de minerais associados; melhoria de técnicas para fundição em joalheria, desenvolvimento de procedimentos para tratamento de gemas e criação de *design* de jóias e bijuterias associado a processos de produção.

Como contribuição ao Estado de Minas, em particular aos programas citados anteriormente fica registrado através desta dissertação que com o advento de novas técnicas de tratamento em gemas aliados ao conhecimento geológico dos depósitos, o mineral quartzo está sendo considerado um dos mais importantes dentre os minerais tratáveis presente no estado de Minas Gerais, isto deve-se ao fato de sua grande abundância, seu fácil e baixo preço de tratamento, e o mais importante de tudo seu baixo preço de compra na lavra.

7.2. Valores agregados ao quartzo gemológico após tratamentos

Segundo dados do DNPM apenas a ametista e o citrino pode gerar algo em torno de 20 milhões de dólares, isso sem falar no quartzo fumé "morion" e nos espécimens de coleção (figura 78).

Os tratamentos de quartzo por irradiação e subsequente tratamento térmico agrega um valor de aproximadamente 400% sobre o valor original de uma pedra de cor fraca ou incolor. Em Minas Gerais as principais variedades gemológicas que podem.

Tabela 5- Variedades de coloridas de quartzo e seus valores após tratamento.

Variedade de quartzo	Cor original	Valor US\$/quilate	Cor após tratamento	Valor US\$/quilate
Ametista	violeta fraco ou incolor	2 dólares	Violeta médio a forte	8 dólares
Citrino	Fumé ou in- color	2 dólares	Amarelo, laranja, e la- ranja amarronzado.	6 dólares
"morion"	Fumé ou in- color	2 dólares	Pedra escura totalmente opaca.	6 dólares
Verde	Violeta fraco ou incolor.	2 dólares	Verde amarelado co- nhecido como <i>green</i> <i>gold</i> .	8 dólares

Obs. A prasiolita (quartzo verde) não apresenta tons amarelados, pois segundo Schmetzer (1989) gemas irradiadas que apresentem tons verde-amarelado são considerados como citrinos.

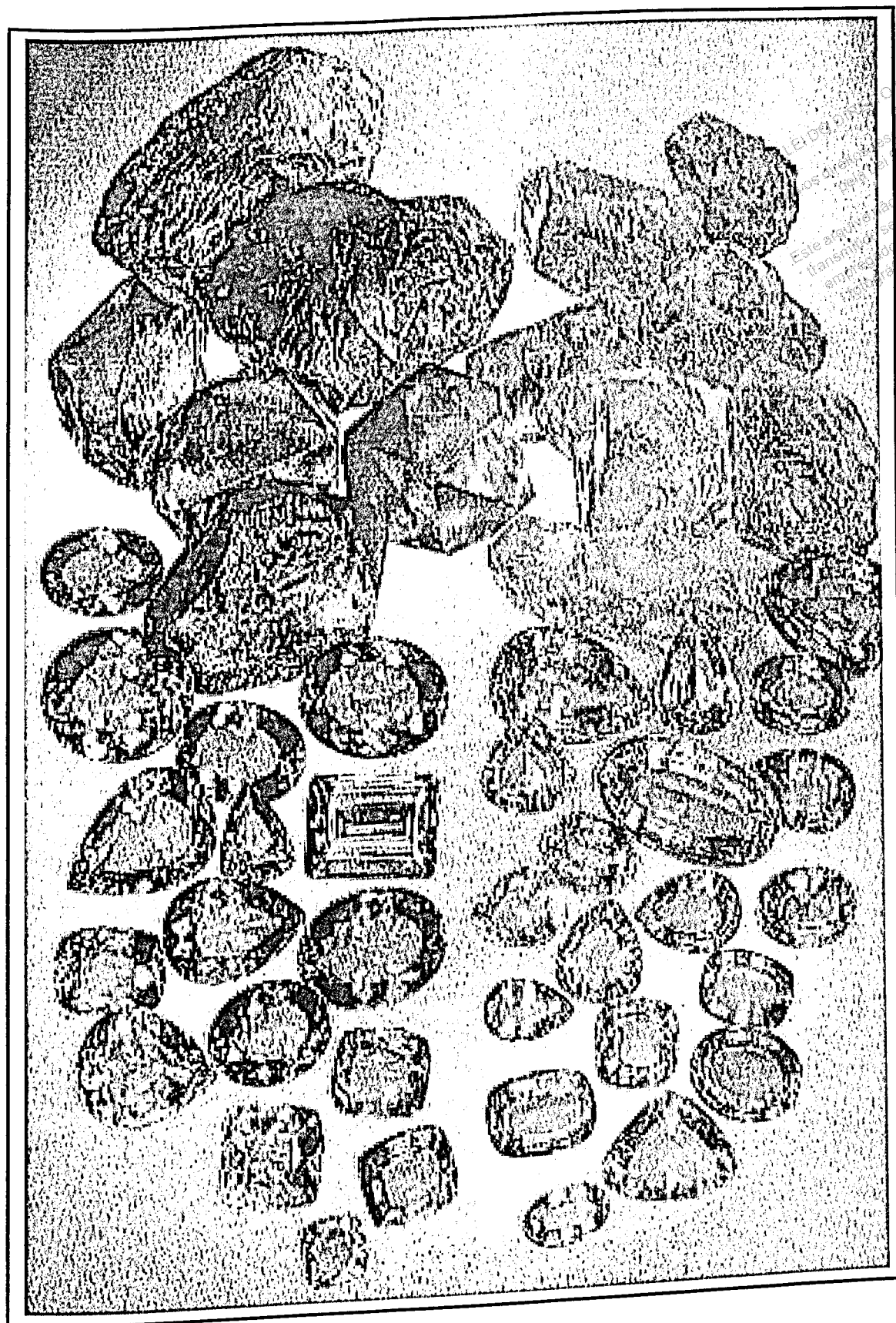


Figura 78 – As duas variedades principais de gemas de quartzo e suas cores principais resultantes após irradiação e subsequente tratamento térmico: violeta médio (ametista), laranja amarronzado (citrino) (fonte: Gems of Minas, 1990).

7.3. Perfil analítico das Principais variedades gemológicas de quartzo de Minas Gerais.

7.3.1. Perfil analítico da ametista

No Estado de Minas Gerais são raros as ametistas que possui o violeta intenso, porém em particular determinadas regiões da Serra do Espinhaço encontram-se dominadas por uma espécie de quartzo incolor que depois de tratado adequadamente adquire a cor violeta típica da ametista.

Trata-se na maioria das vezes, de um material de depósito coluvionar, que é encontrado sob a forma de seixos arredondados que variam de 1-8 cm de diâmetro. Após lapidação as gemas de ametistas apresentam quilatagem que variam de 10 a 70 quilates, todos com aproveitamento de aproximadamente 90%. De acordo com os dados obtidos o quilo deste material na lavra é de cerca de 300 dólares americanos.

As ametistas de um modo geral são raras em Minas Gerais, e principalmente as de tamanho grande, porém este material incolor de quartzo que culmina na formação da ametista apresenta-se com uma das maiores quilatagem já observada para ametistas.

O tratamento térmico desta ametista pode causar o desaparecimento da cor violeta a aproximadamente 400°C, não passando pelo citrino como ocorre com algumas ametistas. A cor violeta pode ser considerada estável para usos sem grandes exposição à luz solar., sendo que a cor pode ser restaurada por irradiação gama.

Em alguns casos quando o arredondamento não é intenso observa-se algumas faces perfeitamente cristalizadas. Uma característica fundamental é a ausência de fraturas e inclusões de outros minerais.

De acordo com o guia de preços de diamante e pedras coradas *Michelsen Gemstone Index*, o preço cotados em dólares americano uma ametista 10 quilates tratada de cor violeta escuro e poucas inclusões custará cerca de US\$140.00 (cento e quarenta dólares americano), cerca de R\$250,00 reais (figura 79).

Tabela 6 – Avaliação de preços de ametistas, segundo o guia gemológico americano *Michelsen Gemstone Index*.

	Pureza	<1 quilate	1 quilate	2-5 quilate	5-10 quilates	>10 quilates
Ametista Clara	VLI	5 <i>US\$</i>	6	7	8	9
	LI	4	5	6	7	8
Ametista Escura	VLI	9	12	19	36	41
	LI	7	8	10	14	31



LEI DO DIREITO AUTORAL
Todos os direitos reservados e protegidos
pela Lei 9.610/1998.
Este arquivo não pode ser reproduzido ou
transmitido sejam quais forem os meios
empregados: eletrônicos, mecânicos,
fotográficos ou quaisquer outros.

Figura 79- Ametista e outras variedades de quartzo colorido sendo comercializadas da forma correta, isto é, levando-se em consideração o preço internacional existente nos guias gemológicos e avaliações de especialistas no setor.

MEMÓRIA UFPA

7.3.2. Perfil analítico do Citrino

Os principais produtores de citrinos tratáveis do estado são as regiões pertencentes a Província Pegmatítica Oriental Brasileira. Quartzos incolores ou levemente amarelados, após tratamento adequado adquirem tons alaranjados forte, bem como algumas espécies de quartzo *fumé* que após tratamento térmico deram origem um citrino de cor laranja amarronzado (figura 80). A região da Serra do Espinhaço apresenta poucas ocorrências de citrinos comercializáveis de ocorrência natural. O tratamento de citrinos de Minas Gerais de um modo geral resume-se a filtragem da cor fumé que geralmente ocorre com o laranja. Grande parte do materia disponível no mercado atualmente são produzidos de tratamento por aquecimento da ametista de Pau d'Arco (PA) ou do Rio Grande do Sul e Uruguai. Deste modo com o tratamento deste material Minas Gerais pode chegar a ser um grande produtor de citrinos de cor laranja e laranja amarronzados. A aproximadamente 400°C o tratamento térmico causa a perda do matiz fumé deixando apenas o matiz laranja. Nas cinco amostras analisadas a cor não desbotou em temperaturas entre 450° e 500°C, significando que tais matizes são de origem completamente diferentes.

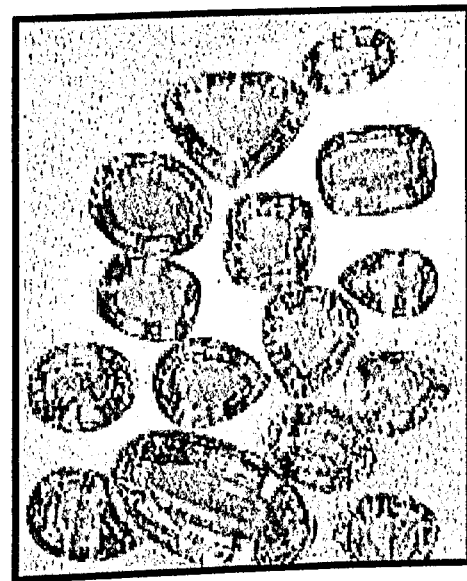
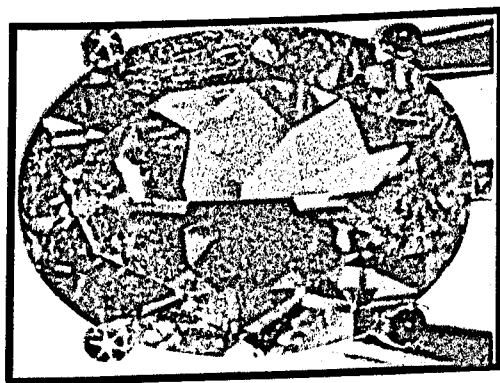


Figura 80- Citrino “madeira” tratado por irradiação- γ , típico da Província Pegmatítica Oriental Brasileira.

O quilo do citrino levemente laranjado ou incolor (que culmine no citrino após tratamento) é algo em torno de R\$ 20,00 na lavra. Este material tem um aproveitamento menor quando comparado ao da ametista coluvionar, pois trata-se de “cristais grandes” martelados, e este processo de quebração do cristal muitas vezes leva o aparecimento de fraturas diminuindo assim o tamanho das pedras a ser futuramente comercializadas. No Brasil o preço do citrino após tratamento é de aproximadamente US\$8.00 dólares por quilate cerca de R\$18,00 reais. Por exemplo, um citrino de 10 quilates e de coloração laranja-amarronzado, com poucas inclusões visíveis custará algo em torno de US\$ 9.00 por quilate (segundo o Michelsen Gemstone Price Guide), o que não difere muito do preço brasileiro. Esta gema no Brasil custará algo em torno de R\$124,00 enquanto que nos Estados Unidos ela custará US\$ 80.00.

Tabela 7- Avaliação de preços de citrinos, segundo o guia gemológico americano *Michelsen Gemstone Index*.

	Pureza	<1 quilate	1 quilate	2-5 quilate	5-10 quilates	>10 quilates
Citrino	VLI	5	6	7	8	9
Claro	LI	4	5	6	7	8
Citrino	VLI	7	8	10	11	14
Escuro	LI	6	7	8	9	10

Em 1998, grande quantidade de quartzo possuidores de tons verdes diferentes do usual foram lançado no mercado de gemas com o nome de “quartzo *green-gold* e *conaque*”. Tais gemas são resultante da irradiação de cristais ou lascas incolores de regiões de Minas Gerais como; São José da Safira e que de acordo com a dose de radiação eram capazes de adquirirem tais cores. De acordo com a classificação de Schmetzer (1989) o quartzo verde amarelado pertence a classificação de citrino e não se tratando portanto de prasiolita. Variedades de quartzo *green-gold* alcançam preços elevados quando trabalha-se com pedras de maiores quilatagens (figura 81).

LEI DO DIREITO AUTORAL

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610/1998.

Este arquivo não pode ser reproduzido ou transmitido sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos ou quaisquer outros.

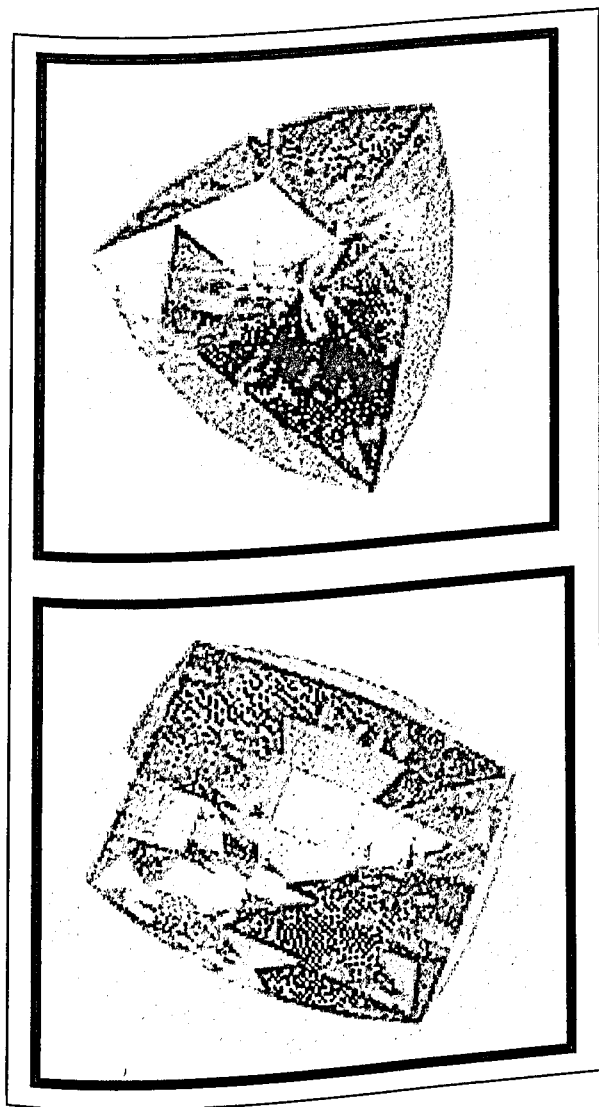


Figura 81- Citrino Neon ou "Green Gold"

Origem = Brasil

Cor = Verde amarelado

Pureza = Limpo á lupa

Brilho = Excelente

Lapidação = Triângulo Cushion

Dimensões = 32.0 mm x 32.0 mm

Peso = 86.70 quilates

Preço = \$774.00

Citrino Neon Ou "Green Gold"

Origem = Brasil

Cor = Verde amarelado

Pureza = Limpo à lupa

Brilho= Excelente

Lapidação = Retângulo Cushion

Tratamento = Irradiação / Aquecimento

Dimensões = 23.5 mm x 30.0 mm

Peso = 86 quilates

Preço= \$780.30

7.3.3. Perfil analítico do quartzo fumé e "Morion"

No comércio de gemas do estado de Minas Gerais o quartzo completamente escuro conhecido no mercado como *morion* parece ter grande aceitação no mercado para a confecção de jóias com ouro, pois o resultado é fantástico. A grande maioria dos designers de jóias preferem acoplar a suas criações ao *morion* pois segundo os mesmos esta pedra combina com qualquer peça do vestuário.

Em Minas Gerais as duas regiões em questão neste trabalho destacam-se na produção de quartzo *fumé*, tanto a Serra do Espinhaço quanto a Província Pegmatítica Brasileira possuem grande quantidades de quartzo incolores até levemente *fumé* que através de tratamento adequado por irradiação apenas pode transformar-se em *morion*. Lavras naturais de "morion" são pouco comuns em Minas Gerais como um todo.

O quartzo *fumé* é uma variedade popular de quartzo. Ele tem uma cor incomum para uma gema porém é de fácil reconhecimento. Conhecido do público em geral apenas as variedades marrons ou pretas ("morion") são alvos de lapidadores.

O quartzo *fumé* é também é muito usado como pedra ornamental sendo esculpidos neste material, esferas, pirâmides, obeliscos, ovos, vasos e tudo mais que a imaginação mandar.

O quartzo *fumé* das regiões da Serra do Espinhaço parecem ser mais estáveis quanto a sua cor do que os provenientes das regiões da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. A diferença desta estabilidade é de ordem composicional como comentada no capítulo anterior. Deste modo podemos dizer que é melhor investir em quartzos *fumé* de regiões hidrotermais do que de regiões pegmatíticas.

O quartzo *fumé* pode ser obtido de irradiações em quartzo incolor, ametistas e citrino, porém é mais vantagem comercial a irradiação de quartzos hialinos pois em determinados centros comerciais as variedades ametistas e citrinos são produtos superiores ao quartzo *fumé*.

O preço do quartzo *fumé* no Brasil é cerca de US\$2.00 por quilate, porém quando aliado a trabalhos de designers de jóias famosos este preço chega a triplicar.

7.3.4. Espécimens de coleção

O quartzo possui uma ampla variedade de forma e tamanhos como visto no capítulo referente a mineralogia. Devido a esta característica o quartzo passou a ser objeto de colecionadores de minerais gemológicos, bem como também alvo de misticismo.

O quartzo de coleção tem atraído dezenas de compradores e colecionadores a Minas Gerais, mais precisamente as regiões de Diamantina, Araçuaí, Governador Valadares, e Teófilo Otoni. Grande parte deste material é exposto em museus de mineralogia do mundo inteiro ou vai ser objeto de venda nas grandes feiras como a de Tucson, no Arizona.

Quartzo gigantes, tipo *laser* e drusas (figura 82) chegam a custar muito mais do que as pedras preciosas mais famosas. Vale ressaltar que não existe um critério de classificação e avaliação de peças de coleção, e por este motivo o possuidor pode pedir qualquer valor, pois não existe uma referência de preço. Duas dicas para os colecionadores que forem comprar uma peça de coleção em regiões de garimpo são: 1- Nunca elogiar demais o mineral; 2- Nunca se mostrar tão interessado pela peça em questão.

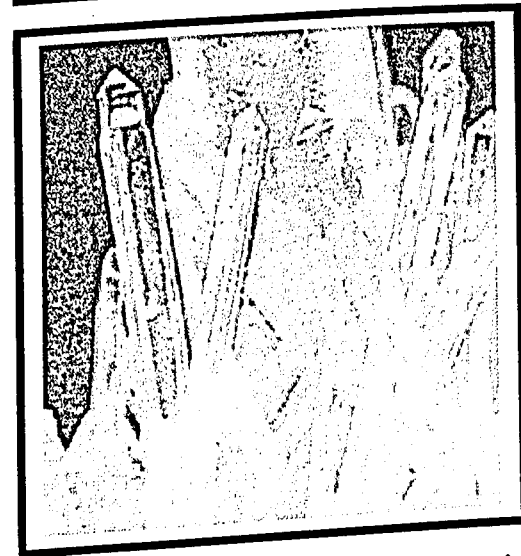


Figura 82- Minerais de coleção comumente observados na região norte de Minas Gerais.

7.4. Valores agregados a jóias de ouro com variedades gemológicas de quartzo

A Itália, que não possui matéria-prima e a mão de obra é uma das mais caras, dispõe como o maior fabricante de jóias do mundo, o Brasil se mantém apenas como produtor de matéria-prima. A Itália sem reservas de ouro e pedras preciosas, exporta cerca de US\$ 4 bilhões de jóias com gemas por ano.

De acordo com o IBGM, o mercado internacional de pedras coradas, que não inclui diamante, é de US\$ 1,5 bilhões por ano. O Brasil participa apenas com 4% nesse mercado, embora estime-se que seja o responsável por 30% da produção comercializada internacionalmente. Estima-se que Minas Gerais seja responsável pela metade da produção brasileira de pedras coradas.

Conforme dados do MICT/SECEX/DECEX, em 1998, o Brasil exportou 388 milhões de dólares de ouro em barras, fios e outros, dos quais Minas Gerais participou com 42%; 54 milhões de dólares de pedras preciosas, cabendo a Minas Gerais 52% do montante e 25 milhões de joalheria em ouro, dos quais Minas Gerais contribuiu com 20%.

A indústria joalheira de Minas Gerais só poderá participar do mercado externo desde que sejam criadas condições adequadas para o aumento da sua competitividade e o incremento da produção, congregando esforços para beneficiar internamente metais e pedras preciosas, agregando-lhes valor, ao invés de se continuar a exportar esses materiais em estado bruto (figura 83).

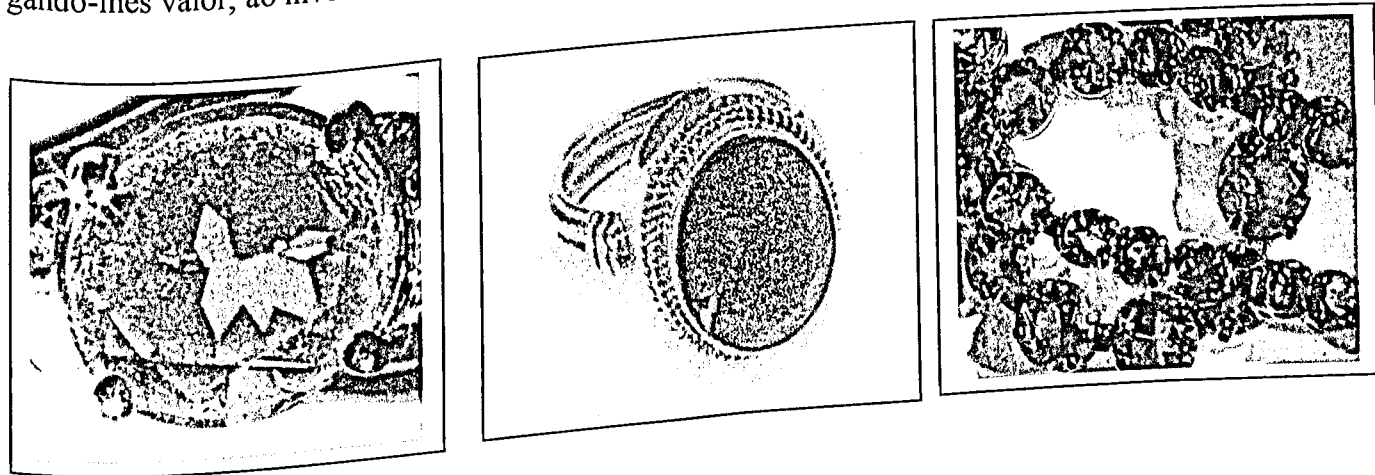


Figura 83- Gemas das variedades coloridas de quartzo acopladas à jóias de ouro.

7.5. Estatísticas do setor gemológico mineiro.

Minas Gerais contribuiu com aproximadamente 25% as exportações de gemas lapidadas no ano de 1999, isto significa algo em torno de 13.522 milhões de dólares dos 57 milhões exportadas em todo o Brasil. A meta de exportação era da ordem de 90 milhões de dólares. Apesar desta meta não ter sido alcançada houve um acréscimo da ordem de 39% em relação ao ano anterior (1998). A produção do setor joalheiro de Minas Gerais no ano de 1999 encontra-se sumari- zado na tabela 8.

Tabela 8- Produção do setor joalheiro de Minas Gerais (1999). Fonte. IBGM

13.522 milhões de dólares	pedras lapidadas
9.225 milhões de dólares	pedra bruta
7.436 milhões de dólares	safira, rubis e esmeraldas
3.007 milhões de dólares	diamantes lapidados
775 milhões de dólares	diamantes brutos

As metas das exportações brasileira até 2002 encontram-se sumarizadas na tabela 9.

Tabela 9- Metas das exportações brasileira do setor de gemas e jóias.

METAS DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DO SETOR DE GEMAS E JÓIAS, POR SEGMENTOS SELECIONADOS.						
1997 - 2002						
US\$ MILHÕES						
PRODUTOS Industrializados	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Pedras Lapidadas	68	70	90	120	160	200
Obras / Artefatos de Pedras	10	11	15	25	35	50
Joalheria de Ouro	28	30	40	60	100	150
Folheados Metais Preciosos	6	7	10	15	20	30
Produtos para a Indústria	45	50	70	90	100	120
TOTAL	157	168	225	310	415	550

Fonte: IBGM

9-CONCLUSÕES

Em Minas Gerais, cristais de quartzo gemológico encontram-se em depósitos distribuídos no contexto de dois grandes ambientes geológicos diferentes: a Serra do Espinhaço e a Província Pegmatítica Oriental Brasileira. A caracterização destes depósitos permitiu importantes conclusões a respeito da mineralogia, quimismo e gênese do mineral nestas regiões.

Na Serra do Espinhaço, o quartzo ocorre em veios de origem hidrotermal, formados por segregação metamórfica e encaixados em quartzitos e filitos do Supergrupo Espinhaço, enquanto na Província Pegmatítica Oriental, o mineral se associa na maior parte ao núcleo de pegmatitos zonados, originados a partir da cúpula de granitos férteis, que mineralizaram principalmente os xistos da Formação Salinas (Grupo Macaúbas) e rochas do embasamento cristalino.

Os quartzos coloridos encontrados nos dois ambientes descritos, apresentam características físicas e químicas distintas. Assim sendo, demonstrou-se que a ametista, cuja coloração decorre da presença de ferro em sua estrutura, é dominante no ambiente hidrotermal (Serra do Espinhaço), como o resultado da presença de centros de cores do tipo Fe-OH, típico deste ambiente. De outra forma, a pouca abundância de ametista no ambiente pegmatítico deve-se ao domínio do centro de cor Fe-Li, característico deste ambiente.

Por outro lado, revelou-se que o quartzo *fumé*, o qual possui sua coloração devido a presença de alumínio, é dominante no ambiente pegmatítico da Província Oriental, em decorrência do centro de cor Al-Li, que é típico deste domínio. No ambiente hidrotermal, o quartzo *fumé* é formado mais raramente, quando ocorre o centro Al-OH que é de mais difícil geração.

Apesar de por seus atributos químicos a ametista ser mais facilmente gerada no ambiente hidrotermal, assim como o quartzo *fumé* ser dominante no ambiente pegmatítico, estas variedades não possuem grande estabilidade de cor nos seus respectivos ambientes preferenciais. Assim como a cor é mais facilmente adquirida, os experimentos realizados demonstraram que ela também será mais facilmente perdida. O contrário se verificou para essas mesmas variedades nos ambientes trocados: ametista é rara nos pegmatitos e o *fumé* é raro nos veios hidrotermais, porém, quando conseguem se formar nestes ambientes sua cores possuem uma grande estabilidade.

Quanto ao quartzo citrino, cuja cor em geral é atribuída às presenças de ferro e titânio, tal variedade não possui um ambiente típico de formação, apesar de ser mais rara nos veios hidrotermais do Espinhaço do que nos pegmatitos da Província Oriental. Além disto, mostrou-se que existem várias tonalidades de cor amarela que podem ter origem em fenômenos distintos, os quais ainda precisam ser melhor caracterizados.

Em termos de produção, verificou-se que a maior parte do quartzo hialino é proveniente da Serra do Espinhaço e regiões adjacentes, sendo utilizado principalmente como objetos de

adorno, coleção e para fins esotéricos. As variedades coloridas como ametista, *fumé* e citrino, de maior valor na indústria gemológica, são produzidas em grande parte nos pegmatitos, porém não chegando a constituir uma "parte nobre" de tal produção, visto que a garimpagem visa principalmente outros minerais gemológicos mais valiosos como berilo, andaluzita, crisoberilo, turmalinas, etc.

Por outro lado, demonstrou-se que as técnicas de irradiação e tratamento térmico podem valorizar os quartzos tanto de origem hidrotermal como os de origem pegmatítica. Como exemplos, devem ser citados os quartzos hialinos de Buenópolis e as ametistas de Grão Mogol, de origem hidrotermal, cujas colorações podem ser mudadas ou intensificadas após tratamento por irradiação- γ e por vezes subsequente tratamento térmico. Nos depósitos pegmatíticos, ressalta-se os quartzos hialinos da região de Itinga, que ao serem tratados tornam-se citrinos, ou mesmo citrinos levemente coloridos que têm a sua coloração intensificada.

Conclui-se assim que a indústria joalheira de Minas Gerais deve investir também em novas tecnologias de tratamentos em gemas de quartzo para tornar-se mais competitiva no mercado globalizado, bem como lapidar um maior percentual da produção estadual de gemas. Essa indústria só poderá participar do mercado externo desde que sejam criadas condições adequadas para o aumento de sua competitividade e o incremento da produção, congregando esforços para beneficiar internamente metais e pedras preciosas, agregando-lhes valor, ao invés de se continuar a exportar esses materiais em estado bruto. Deste modo, o quartzo não pode ser visto apenas como matéria-prima de exportação, e assim as gemas aqui produzidas devem ser manufaturadas até o produto final, ou seja, a jóia, e depois exportá-las, principalmente para os países asiáticos que figuram como os principais consumidores de jóias com as variedades coloridas de quartzo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida-Abreu PA (1993) *A evolução geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil*. Tese de Doutorado. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Alemanha. 150p.
- Almeida-Abreu PA (1982) Projeto mapeamento geológico do Espinhaço Meridional-Relatório da quadricula São João da Chapada. Conv. DNPM-CPRM-Eschwege. Diamantina-MG.
- Aines RD, Rossman GR (1986). Relationships between radiation damage and trace water in zircon, quartz and topaz. *Am. Min.* 71: 1186-1193.
- Applin KR, Hicks BD (1987) Fibers of dumortierite in quartz. *Am. Min.* 72:170-172.
- Balitsky VS (1977) Growth of large amethyst crystals from hydrothermal fluoride solutions. *J. Crystal Growth* 41:100-102.
- Bank H (1976) Citrin. *Z. Deutsch. Gemmol. Ges.* 25:189-194.
- Barry TI, McNamara P, Moore W J (1965) Paramagnetic Resonance and optical properties of amethyst and citrine quartz. *Nature* 211:623.
- Benfield J (1997) *Gems and Precious stones*. Wisconsin-Madison University. Interactive CD Rom.
- Bukanov VV, Markova GA (1969) The smoky and citrine color of natural quartz. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR* 187:115-117.
- Calas G (1988) Electron Paramagnetic Resonance. In: *Spectroscopic Methods in Mineralogy and Geology*, p.513-571.
- Campos JCS & César-Mendes J (1997) Caracterização Preliminar do Depósito de Ametista da Serra do Sudário, Vermelho Novo-MG, In: *Simp. Geol. Minas Gerais*, 9. Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 1997. Boletim 14, p.123-124.
- Carvalho A S (1982) *Geologia e Gênese das mineralizações de quartzo no Espinhaço Meridional, Minas Gerais-Brasil*. Dissertação de mestrado-UNB, p127.
- Carvalho JB, Pereira LMM (1997) Caracterização petrológica das rochas graníticas e charnokíticas da porção leste do Estado de Minas Gerais, baseada em dados petrográficos. In: *Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 9, Ouro Preto, *Anais... SBG-MG*, p.98-100.
- Cassedanne, JP, Cassedanne, JO (1973) Black quartz from Vitoria da Conquista, Brazil. *Min. Rec.*, 4:264-266.
- Cassedanne JP, Roditi M (1991) Crystallized and massive rose quartz deposits in Brazil. *J. Gemmology* 22:273-286.

- Cassedanne, JP, Cassedanne, JO (1981) The Urubu Pegmatite and vicinity. *Min. Rec.* 12:73-77.
- Cassini, C.T. (1997) *As ametistas de Pau D'Arco e Alto Bonito no Pará e do Alto Uruguai no Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado-UFPa, 98p.
- Cerny P (1982) Anatomy and classification of granitic pegmatites. In: Cerny, P. ed. *Granitic Pegmatites in Science and Industry. Mac Short Course Handbook* 8:37.
- César-Mendes J, Scheller T, Costa W (1998) As ametistas da Serra do Sudário. In: XL Congr. Bras. de Geologia –Belo Horizonte, 1998. P256.
- Chaves MLSC, Dussin IA, Uhlein A, Alvarenga CJS (1985) Projeto mapeamento Espinhaço Meridional- *Relatório da Quadricula Sopa*. Convênio DNPM-CPRM-Centro de Geologia Eschwege. Diamantina-MG.
- Chaves MLSC (1997) Geologia e Mineralogia do diamante da Serra do Espinhaço. *Tese de doutoramento*. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.
- Chaves, MLSC, Coutinho, DC (1992) Nota sobre a jazida de ametista da Fazenda Sobrado (Felicidade dos Santos, MG). *Rev. Esc. Min.* 29:112-119.
- Chaves MLSC, Karfunkel J, Quéméneu J, Addad J (1997) Depósitos de quartzo da região de Batatal (Diamantina, MG). In: *Anais do 9º Simp. De Geologia de Minas Gerais-SBG Núcleo MG-Bol.* 14:103-104.
- Chaves MLSC, Brito W, Favacho-Silva MD (1999) Tipologia dos depósitos de quartzo gemológico em Minas Gerais e regiões adjacentes. In *Anais do XL Simp. Geologia de Minas Gerais e Centro-Oeste*.
- Cohen A J (1956) Color center in the alpha-quartz called amethyst. 36th *Annual Meeting of the Mineralogical Society of America*, New Orleans, Louisiana P.874-881.
- Cohen A J, Hassan F. (1974) Ferrous and ferric ions in synthetic and natural amethyst. *Am Min* 59:719-728.
- Correia-Neves JM, Pedrosa-Soares AC, Marciano, VRPRO (1986) A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Rev. Bras. Geoc.* 16:106-118.
- Costa A G (1987) *Petrologie und geochemische untersuchungen des gneiss-migmatit-gebietes von Itinga, Jequitinhonha Tal, NordÖstliches Minas Gerais Brasilien*. Tese de Doutorado, 287p. (Universidade de Clausthal - Alemanha).
- Costa AG (1990) Evolução Petrológica para uma sequência de rochas metamórficas regionais do tipo baixa pressão na região de Itinga, NE do Estado de Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.* 19: 440-448.

- Cox RT (1977) Optical absorption of the d4 ion Fe⁴⁺ in pleochroic amethyst quartz. *J Phys, C: Solid State Phys* 10:4631-4643.
- Currier RH (1985) Natural fading of amethyst. *Gems & Gemology* 22:130-139.
- Dana JD, Hurlbut CS (1969) *Manual de Mineralogia*. Tradução de Rui Ribeiro Franco. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Dossin IA, Uhlein A, Dossin TM (1984) Geologia da Faixa Móvel Espinhaço em sua porção meridional - MG. In: *33° Congr. Bras. Geol.*, Rio de Janeiro 7: 3118-3132.
- Dossin, IA, Dossin, TM & Chaves, MLSC (1990) Compartimentação estratigráfica do Super-grupo Espinhaço em Minas Gerais os Grupos Diamantina e Conselheiro Mata. *Rer. Bras. Geoc.*, 20 (1-4):178-186.
- Dotto CT & Isotani S (1991) Irradiation and heating effects in amethyst crystal from Brazil. *Radiation Effects and Defects in Solids* 117:355-361.
- Drapper D (1920) The high level diamond-bearing breccias of Diamantina, Brazil. *Transact. Geol. Soc. S. Africa* 23:43-51.
- Epstein DS (1988) Amethyst Mining in Brazil. *Gems & Gemology* 24:214-228.
- Eschwege W L (1822) *Geognotisches Gemalde von Brasilien und Wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten*. Weimar. Jandes Industrie Comptoir. Berlin. 44p.
- Fogaça ACC, Almeida-Abreu PA, Schorscher HD (1984) Estratigrafia da sequência supracrustal arqueana na porção mediana-central da Serra do Espinhaço - MG.- *33° Congr. Bras. Geol.*, Rio de Janeiro. (2): 2654-2667.
- Fritsch E & Rossman GR (1987) An update on color in gems. Part 1: Introduction and colors caused by dispersed metal ions. *Gems & Gemology* 23:128-138.
- Fritsch E & Rossman GR (1988) An update on color in gems. Part 2: Color Involving Multiple Atoms and Color Center. *Gems & Gemology*, 24:3-15.
- Fyfe WS (1964) *Geochemistry of Solids*. Mcgraw-Hill Book Co., New York.
- Gems of Minas (1990)- Calendário Agenda da coleção particular de Kalil Elawar. Teófilo Otoni -Brasil.
- Griffiths JHE, Owen J, Ward IM (1954b) Magnetic resonance in irradiated diamond and quartz. In: *Defects in Crystalline Solids. Report of the conference on defects in crystalline solids*. The Physical Society, London, p.81-88.
- Guzzo PL, Iwasaki F, Iwasaki H (1997) Al-related centers in relation to γ -irradiation (Response in natural quartz). *Phys. Chem. Miner.* 24:254-263.
- Hassan F (1972) Amethyst. *Min. Rec.* 3:221-225.

- Herrgesel G & Pflug R (1986) The thrust belt of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil) - *Zbl. Geol. Paläont.*, 9/10, p.1405-1414.
- Hosaka M, Taki S (1983) Hydrothermal growth of amethyst and citrine in NaCl and KCl solutions. *J Crystal Growth* 64:572-576.
- Hutton DR, Troup G J (1966) Paramagnetic Resonance centres in amethyst and citrine quartz. *Nature* 211: 623.
- Kahwage MA (2000) *Gemas e minerais de coleção da região do Ribeirão Piauí. Tese de Mestrado.* Belo Horizonte. UFMG-IGC.
- Karfunkel J, Pedrosa-Soares AC, Dossin IA (1985) O Grupo Macaúbas em Minas Gerais, revisão dos conhecimentos. In: 3º. *Simp. Geol. Minas Gerais.*
- Karfunkel J, Quemeneur, J, Chaves, MLSC, Banko A, Lameiras, FS, Pinheiro, MVB, Pfannes HD (1998) A ametista de Grão Mogol (MG): ocorrência, descrição e métodos de tratamento. In: Cong. Brasileiro de Geologia, SBG-MG, p.263.
- Knauer LG (1990) Evolução geológica do Pré-Cambriano da porção centro-leste da Serra do Espinhaço Meridional e metalogênese associada. Tese de Mestrado. UNICAMP, Campinas. 298p.
- Kreffit GB (1975) Effects of high-temperature electrolysis on the coloration characteristics and OH absorption bands in α -quartz. *Radiation Effects* 26:249-260.
- Lehmann G (1967) Farbzentren des Eisens als Ursache der Farbe von Amethyst. *Zeit Naturforsch* 22a:2080-2086.
- Lehmann G (1971a) Yellow color centers in natural and synthetic quartz. *Phys. Kondens. Mat-erie.* 13:297-306.
- Lehmann G (1971b) The structure of yellow iron centers in quartz. *Phys. Stat. Sol.* (b) 48:K65-K67.
- Lehmann G, Moore WJ (1966) Optical and paramagnetic properties of iron centers in quartz. *J. Chem. Phy.* 44:1741-1745.
- Loeffler BM, Burns RG (1976) Shedding light on the color on gems and minerals. *American Scientist* 64:636-647.
- Machado N, Schrank A, Abreu FR, Knauer LG, Almeida-abreu PA (1989) Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: 5º *Simp. Geol. Minas Gerais (SBG/Nucleo MG)*, Bol. 10, p.171-174.

- Mackey JH (1963) An epr study of impurity related colour centres in aluminium-doped quartz. *J Chem Phys* 39:74-83.
- Maschmeyer D, Lehmann G (1983) New hole centers in natural quartz. *Phys. Chem. Min.* 10:84-88.
- Maschmeyer D, Niemann K, Hake H, Lehmann G, Rauber A (1980) Two modified smoky quartz centers in natural citrine. *Phys. Chem. Min.* 6:145-156.
- Metamig- Metais de Mina Gerais (1976)- Estudo Geoeconômico da Região do Vale do Rio Equitinhonha. Belo Horizonte, 154 p. (Relatório inédito).
- Meyer BK, Lohse F, Spaeth JM, Weil JA (1984) Optically detected magnetic resonance of the [Al O4]0 centre in crystalline quartz. *J Phys C: Solid State Phys* 17:L310-36.L
- McArthur JR, Jennings EA, Kissin SA, Sherlock RL (1993) Stable-isotope, fluid-inclusion and mineralogical studies relating to the genesis of amethyst, Thunder Bay amethyst mine, Ontario. *Can. J. Earth Sci.* 30:1955-1969.
- Mc Millan PF, and Hofmeister AH (1988) Infrared and Raman Spectroscopy. In: *Spectroscopy Methods in Mineralogy and Geology*. p.99-159.
- Moenk W WH (1974) Silica, the three-dimensional silicates, borosilicates and beryllium silicates. *The Infrared Spectra of Minerals. Min Soc.* 16:365-382.
- Mombourquette MJ, Minge J, Hantehzadeh MR, Weil JA, Halliburton L (1989) Electron Paramagnetic Resonance Study of Fe 3+ in α -quartz: Hydrogen-compensated center. *Phys. Rev. B* 39:4004-4008.
- Moraes L J (1929) Geologia da Região de Diamantina, Estado de Minas Gerais *DNPM/SGM Rel. Anual.* p.29-34, Rio de Janeiro.
- Moraes LJ (1937) Geologia econômica do norte de Minas Gerais. Rio de Janeiro. *DNPM/SFPM Bol.* 19, 132p.
- Moraes-Rego J (1931) Glaciação Eopaleozóica no centro do Brasil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 2:109-112.
- Nassau K (1975) The origin of color in gems and minerals. *Gems & Gemology* 15:2-11.
- Nassau K, Prescott E (1977) Smoky, Blue, Greenish yellow and other irradiation-related color in quartz. *Min. Mag.* 41:301-312.
- Nassau K (1983). *The Physics and Chemistry of Color. The Fifteen Causes of Color.* John Wiley & Sons, New York.
- Nassau K (1984) *Gemstone Enhancement.* Butterworths. Stoneham, MA.
- Neumann E, Schmetzer K (1984a) Mechanism of thermal-conversion of color and color-centers by heat treatment of amethyst. *N. Jb. Min. Mh.* 6:272-282.

- Noce CM, Pedrosa-Soares AC, Grossi Sad JH, Baars Jr, Guimarães MLV, Mourão MAA, Oliveira MJR, Roque NC (1997) Nova divisão estratigráfica regional do Grupo Macaúbas na Faixa Araçuaí: registro de uma bacia neoproterozóica. In: *9º Simp. Geol. Minas Gerais*, Ouro Preto 14:29-31.
- Nuttall RHD, Wiel JA (1980a) Oxygen-17 hyperfine structure of trapped-hole center $[AlO_4]_0$ in α -quartz. *Solid State Commun.* 35:789-791.
- Nuttall RHD, Wiel JA (1980b) Two hydrogenic trapped-hole species in α -quartz. *Solid State Commun.* 33:99-102.
- Nuttall RHD, Wiel JA (1981a) The magnetic properties of the oxygen-hole aluminum centers in crystalline SiO_2 . I. $[AlO_4]_0$. *Canad. J. Phys.* 59:1696-1708.
- Nuttall RHD, Wiel JA (1981b) The magnetic properties of the oxygen-hole aluminum centers in crystalline SiO_2 . II. $[AlO_4/H^+]^+$ and $[AlO_4/Li^+]$. *Canad. J. Phys.* 59:1709-1718.
- Nuttall RHD, Wiel JA (1981b) The magnetic properties of the oxygen-hole aluminum centers in crystalline SiO_2 . III. $[AlO_4]^+$. *Canad. J. Phys.* 59:1886-1892.
- Mackey JH (1963) An epr study of impurity related colour centres in aluminium-doped quartz. *J. Chem. Phys.* 39:74-83.
- Meyer BK, Lohse F, Spaeth JM, Weil JA (1984) Optically detected magnetic resonance of the $[AlO_4]_0$ centre in crystalline quartz. *J. Solid State Phys.* 17:L31-L36.
- O'Brien MCM (1955) The structure of the colour centers in smoky quartz. *Proc Royal Soc.* A231:404-414.
- O'Brien MCM, Pryce MHL (1955) Paramagnetic resonance in irradiated diamond and quartz: interpretation. In: *Effects in Crystalline Solids: report of the conference on defects in crystalline solids*. The Physical Society, London, p.88-91.
- Paiva G (1946) Províncias pegmatíticas do Brasil. *Bol DNPM/DFPM*78:13-21.
- Pedrosa-Soares AC, Monteiro RLBP, Correia-Neves JM, Leonardos OH, Fuzikawa K (1987) Metassomatic evolution of granites, Northeast of Minas Gerais, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.* 17:512-518.
- Pedrosa-Soares AC, Dardenne MA, Hasui Y, Castro FDC, Carvalho MVA (1994) *Nota explicativa dos mapas geológico, metalogenético e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais*. Escala: 1/1.000.000. Belo Horizonte, SEME/COMIG, 97p.
- Pedrosa-Soares AC, Noce CM, Monteiro RLBP, Mourão MAA, Lima AJ de (1990) A Evolução Monocíclica da Faixa Araçuaí no Médio Jequitinhonha: evidências estratigráficas, estruturais e metamórficas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37. Natal, *Boletim de Resumos*, SBG, p.292.

- Pedrosa-Soares AC, Noce CM, Vidal PH, Monteiro RLBP, Leonardos OH (1992)** Towards a new tectonic model for the Upper Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) - West Congollian (SW Africa) belt. *Jour. South Am. Earth Sci.* 6:33-34.
- Pedrosa-Soares AC, Wiedemann C, Fernandes MLS, Faria LF, Ferreira JCH (1997)** Geotectonic significance of the Neoproterozoic granitic magmatism in the Araçuaí Belt, Eastern Brazil: a model and pertinent questions. *Rev. Bras. Geoc.*, Vol. Especial do II ISGAM, 1997.
- Pflug R (1965)** A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais. *DNPM/DGM. Bol.* 226, 55p.
- Pflug R (1968)** Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais. *DNPM/DGM, Notas Prelim. Estud.* 142, 20p.
- Pflug R & Renger F (1973)** Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Cráton Sancerfranciscano. - 27^o Cong. Bras. Geol. Aracaju. *Anais...SBG.* 2:5-19.
- Pflug R, Hoppe A, Brichta A (1980)** Paleogeografia do Pré-cambriano na Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. In Zeil, W.(ed). - Nuevos Resultados Geocientíficos Alemanes en Latinoamérica. *Proyetos de la Dutsche Forschungsgemeinschaft.* Boppard. p. 33-43.
- Pinheiro MVB (1999)** Investigações das alterações de cor em gemas do grupo do quartzo e sua correlação com as mudanças nos centros de cor induzidas por irradiação (X e Gama) e tratamentos térmicos. *Relatório de projeto de recém-doutorado.* Ref. CEX245197.CDTN-UFMG. Belo Horizonte.
- Pinto CP, Drumond JB, Feboli WL (1997)** Projeto Leste: mapeamento geológico, cadastramento de recursos minerais da região leste de Minas Gerais - *Etapa 1.* Belo Horizonte. CPRM. 161p.
- Putzer H (1976)** *Metallogenetische Provinzen in Suedamerika.* Stuttgart. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 318p.
- Quéméneur J, Lagache M, Correia-Neves JM (1993)** Le pegmatite Urubu, Araçuaí, Minas Gerais (Brazil), exemple de pegmatite complex à petalite: zonalite, mineralogique et géochimie des micas et tourmalines. *C.R. Academie Scientific de Paris, Série II,* p.1425-1431.
- Reinitz IM, Rossman GR (1988)** The role of natural radiation in tourmaline coloration. *Am. Min.* 73:822-825.
- Renger F (1979)** Evolução dos conceitos geológicos da Serra do Espinhaço. In: 1^o Simp. Geol. Minas Gerais, Diamantina., *Anais...* (1): 9-28.
- Rossman GR (1994)** Colored varieties of the silica minerals. Reviews in mineralogy. *Mineralogical Society of America.* 29:433-467.

- Samoilovich MI, Tsinober LI, Kreiskop VN (1969) The nature of radiation-produced citrine coloration in quartz. *Sov. Phys Cryst.* 13:727-730.
- Samoilovich MI, Tsinober LI, Dunin-Barkavsky RL, Lisitsina EE, Khadzhy VE (1976) About the third type of citrine color of natural quartz. *Zap. Vses. Min. Obsh.* 105:223-227.
- Schmetzer K (1987) Zur Deutung der Farbursache blauer Saphire-eine Diskussion. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte* 8:337-343.
- Schmetzer K (1989) Methods for the distinction of natural and synthetic citrine and prasiolite. *J. Gemmology* 21:368-391.
- Schobbenhaus C (1993) *O Proterozóico médio do Brasil com ênfase à região centro-leste. uma revisão. Tese de Doutorado.* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg-Alemanha. 166p.
- Schöll WU & Fogaça ACC (1979) Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina (M.G.). In: *1º Simp. Geol. Minas Gerais, Diamantina. Anais...*(1): 55-73.
- Scorza E P (1946) Quartzo na Serra do Cabral, Estado de Minas Gerais, Brasil. In: *Anais do II Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia*, Petrópolis, vol 3, p210.
- Siga Jr O (1986) A evolução geocronológica da porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas. *Dissertação de Mestrado*, 140p. (IG-USP).
- Smith G, Strens RGJ (1976) Intervalence transfer absorption in some silicate, oxide and phosphate minerals. In: R.G.J. Strens, Kd., *The Physics and Chemistry of Minerals and Rocks*, John Wiley & Sons, New York, p.583-612.
- Stock HD, Lehmann G (1977) Phenomena associated with diffusion of trivalent iron in amethyst quartz. *J Phys Chem Solids* 38:243-246.
- Webster R (1983) *Gems, Their Sources, Descriptions and Identification*, Butterworths, London.
- Vasconcelos PM, Wenk HR, Rossman GR (1994) The Anahi ametrine deposit, Bolivia. *Gems and Gemology* 30:4-23.
- Vultée JV (1955a) Über die orientierten verwachsungen von rutil in quarz. *N Jb Min Abh* 87:389-415.
- Vultée JV (1955b) Die verwachsungsgesetze der orientierten einlagerungen von rutil in quarz. *Z Krist* 107:1-17.
- Vultée JV, Lietz J (1956) Über die rolle des titans als färbungsursache von blau-und rosenquarzen. *N Jb Naturwiss* 3:49-58.
- Wood DL, Nassau K (1968) The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. *Am. Min.* 53:777-800.