

## AGRADECIMENTOS

---

A realização deste trabalho só foi possível devido à colaboração de várias pessoas e instituições, à quais agradeço sinceramente:

- aos orientadores, Prof. Joachim Karfunkel (UFMG), Prof. Vitaly Petrovsky (Academia de Ciências da Rússia, Instituto Geológico de Komi - Syktykar) e Dr. Richard Wirth (GeoForschungsZentrum Potsdam, Alemanha);
- aos pesquisadores estrangeiros, Alexander Yuvegenin Sukharev, Yuri Glukhov, Valera Silaev, Vladimir Rakin, Sergey Isaenko, Vladimir Lutoev, Lev Makhalaev, Vassily Filippov, Tatiana Shumilova, Alexander Mikhailovich Pystin (Instituto Geológico de Komi-Syktykar), Mikhail Kucher (Universidade Estatal de Moscow), Ofra Klein BenDavid (Instituto Geológico, Israel), Herb Helmstaedt (Universidade de Queens, Canadá);
- a todos os funcionários do Instituto Geológico de Komi - Syktykar, representados nas pessoas do Acadêmico-diretor Prof. Nikolai P. Yushkin e da tradutora Nina Busheneva;
- professores Alcides Nóbrega Sial (UFPE), Alexandre Chaves (CDTN-CNEN), Alexandre Uhlein (UFMG), Antônio Carlos Pedrosa-Soares (UFMG), Carlos Maurício Noce (UFMG), Débora Araújo (UnB), Jean Joel Quemènèur (UFMG), Luiz G. Knauer (UFMG), Marly Babinsky (USP), Ricardo Trindade (USP);
- pelas críticas e sugestões, professores André Danderfer (UFOP), Friedrich E. Renger (UFMG), Mário Chaves (UFMG), Dr. Carlos Schobbenhaus (CPRM), Dra. Jéssica Carvalho (CVRD), Dr. Ulisses Cyrino Penha (CVRD);
- aos amigos e incentivadores Guilherme Modesto Gonzaga e Fernando de Sá Rego;
- a todos os amigos do Centro de Geologia Eschwege-UFMG, Diamantina;
- ao Colegiado de Pós-graduação em Geologia-UFMG, pela concessão da bolsa CAPES e apoio durante a realização deste trabalho;
- a secretária Maria Paula Borges;
- aos graduandos (atuais e antigos) Felipe Pimenta, Daniel Loyola, Samuel Hayden, Gustavo Diniz Oliveira, Túlio Costa Torres;
- ao amigo de todas as batalhas, Ricardo Scholz;
- a todos os garimpeiros e moradores da região da bacia do rio Macaúbas;
- a Gláucia Nascimento Queiroga, companheira presente em todos os momentos e verdadeiro diamante;
- às famílias Martins, Karfunkel, Scholz, Queiroga, Petrovsky, Sukharev e dos garimpeiros do rio Macaúbas, pelo apoio imensurável que me deram ao longo da realização deste trabalho, das quais, com orgulho, faço parte.

## RESUMO

---

A bacia do rio Macaúbas localiza-se no segmento setentrional mineiro da Serra do Espinhaço, *locus typicus* da Formação “Macahubas” de Moraes (1932), glaciogênica e advogada por Moraes (1934) como rocha-fonte para os diamantes e carbonados (variedade policristalina do diamante cuja origem não é totalmente estabelecida), ocorrendo juntos em Minas Gerais somente nos aluviões desta bacia. Posteriormente, esta proposta foi ampliada para outras regiões onde a unidade de metadiamicrito de idade neoproterozóica ocorre, sendo, contudo, contestada por diversos outros trabalhos.

Objetivou-se determinar a origem e a evolução magmática e sedimentar dos diamantes e carbonados aluvionares da bacia do rio Macaúbas (MG) com base na integração dos dados de campos e dos resultados analíticos.

O Supergrupo Espinhaço é constituído por três unidades litoestratigráficas (da base para o topo): **Formação Resplandecente** (remanescentes de dunas eólicas unidirecionais do tipo *barcana*), **Formação Água Preta** (redeposição de parte dos arenitos eólicos da Formação Resplandecente) e pela **Formação Matão** (sedimentação marinha rasa dominada por fluxos de maré). O limite superior de sedimentação do Supergrupo Espinhaço nesta região estaria situado ao redor de 1.4Ga.

O Grupo Macaúbas é caracterizado por quatro formações (da base para o topo): **Formação Duas Barras** (depósitos flúvio-marinhos de abertura do rifte Araçuai), **Formação Serra do Catuni** (sedimentos englaciais de geleiras provenientes da área cratônica, retrabalhados em borda extensional ativa, na zona de transição “marinho-rasa para marinha profunda”), **Formação Chapada Acauã** (transição faciológica lateral e vertical dos sedimentos da Formação Serra do Catuni no sentido E-SE, influenciada por chuva de detritos de *icebergs*) e **Formação Córrego da Ursa** (depósitos flúvio-lacustres controlados por sazonalidades climáticas durante os períodos de degelo).

Dois períodos magmáticos ocorrem na área de estudo: 1) derrames basálticos intra-placa, sinsedimentares e datado em aproximadamente 1.0Ga (sem designação formal), 2) diques gabróicos que cortam toda a seqüência metassedimentar e foram datados em 599.7Ma (**Suíte Metaígneia Córrego Taquari**).

A sedimentação fanerozóica é representada pelos conglomerados cretácicos, crostas lateríticas do Terciário Médio-Superior e pelos depósitos psamo-pelíticos (localmente com ruditos) da **Formação São Domingos**. Todos são capeados por latossolos.

Os levantamentos realizados por espectroscopia no infravermelho (32 cristais) e por luminescência/fotoluminescência (70 diamantes), acrescidos de determinações sobre uma inclusão mineral, atestam que pelo menos parte dos diamantes da bacia do rio Macaúbas foram formados a profundidades iguais ou superiores a 150km, sob influência de gradientes térmicos situados ao redor de 1050-1100°C e pressões em torno de 4.8GPa. As modificações morfológicas sofridas por estes diamantes atestam um longo tempo de residência mantélica, apresentando mais de um estágio de crescimento↔dissolução, com significativo desvio da cinética de equilíbrio entre os fatores que controlam estas reações no manto. Aproximadamente 51% da população de diamantes, analisados *in situ*, possuem algum tipo de clivagem, sendo que 88% destes cristais, por apresentarem figuras de dissolução nas superfícies de clivagem, foram

parcialmente clivados e submetidos aos processos de dissolução a altas temperaturas no manto ou durante a ascensão para a superfície.

As microinclusões presentes no carbonados representam condições excepcionais de cristalização no manto, sob altas pressões, a partir de fluidos ricos em álcalis, cloretos, carbonatos e água, a temperaturas e pressões requeridas para o campo de estabilidade dos diamantes monocristalinos. Os carbonados são saturados em CO, cuja temperatura de formação estaria situada ao redor de 1000°C ou em temperaturas maiores. A presença de chaoíta e lonsdaleíta nas zonas de borda de estruturas semi-esféricas, possivelmente são relictos da presença de inclusões gasosas de CO trapeadas no interior dos microcristais de diamante, cuja atividade decorrente da temperatura e principalmente da pressão de confinamento, localmente resultaram na modificação da estrutura cristalográfica do diamante (cúbica), para hexagonal, segundo hibridizações do tipo *sp* (chaoíta) ou *sp*<sup>3</sup> (lonsdaleíta). A distribuição e a concentração de nitrogênio evidencia que o estado de agregação deste elemento nos carbonados se deu em condições mantélicas. A formação de plaquetas de nitrogênio associada a deslocamentos internos postula a atuação simultânea de cisalhamento (esforço dirigido) associado ao aumento da temperatura, resultando em condições favoráveis para deformação plástica de diamantes e para a conversão dos centros A para centros B no manto superior. Pelo fato de serem extremamente porosos, os carbonados possuem estrutura aberta para a entrada de “mineralizações” posteriores a sua formação, apresentando enriquecimento em minerais e fases minerais da crosta e um alto teor em ETR.

No atual estado da arte, consideram-se puramente especulativas as hipóteses acerca da natureza da(s) possível(is) fonte(s) ígnea(s) provedoras dos diamantes e carbonados aluvionares da bacia do rio Macaúbas, bem como a idade e a localização do(s) evento(s) de *emplacement* destes corpos na superfície. Até o presente, não existem evidências que comprovem que estes minerais estejam relacionados ao retrabalhamento de parte de unidades sedimentares mais antigas, ou que constituam remanescentes de intrusões de rochas de afinidade mantélica no Neoproterozóico.

A erosão, o transporte e a sedimentação destes minerais para o atual sítio abrangido pela bacia do rio Macaúbas se deve à progradação das geleiras do evento glacial do Grupo Macaúbas, com idade de deposição em torno de 800 a 700Ma. O primeiro estágio de concentração de diamantes e carbonados estaria associada à deposição sedimentos englaciais em ambiente glácio-marinho transicional sob influência de falhas normais ativas, que possibilitaram o retrabalhamento de parte do material trazido pelas geleiras do interior do cráton durante a deposição do Grupo Macaúbas - Formação Serra do Catuni - ao longo da borda ocidental do rifte Araçuaí. O segundo evento de concentração provavelmente está ligado aos efeitos da orogênese Brasileira, em que parte das falhamentos normais foram reativadas como grandes falhas de empurrão, lítricas e assintóticas em profundidade. Considera-se que o encurtamento provocado pela progradação da maior parte das duplexes tenha sido paralelo às camadas (*layer parallel shortening*), resultando num conseqüente espessamento crustal do pacote sedimentar.

A bacia hidrográfica do rio Macaúbas constitui um sistema de drenagem recente, gerada no final do Plioceno ou começo do Pleistoceno. A preservação de uma parte significativa do pacote de metadiamictito diamantífero, até a instalação da protobacia do rio Macaúbas, possibilitou a erosão e deposição para seus aluviões dos diamantes e carbonados contidos na Formação Serra do Catuni.

## ABSTRACT

---

The Macaúbas River is a northwestern tributary of the medium Jequitinhonha River, located in central-north Minas Gerais State (MG). The area of 1500 km<sup>2</sup> is relatively unpopulated with only a few and hard to access dirt roads. Diamonds have been washed in this region for over 200 years. Moraes (1932) introduced the stratigraphic term “*formação Macahubas*” for a conglomeratic sequence of glacial origin in this region, and Moraes (1934) considered this rock as source for alluvial occurrences of diamonds and carbonados.

The aim of this Thesis was to determine magmatic and sedimentary evolution of such minerals by integration of field and analytical data.

The Espinhaço Supergroup comprises three lithostratigraphic units: **Resplandecente Formation** (aeolian depositional system), **Água Preta Formation** (metabreccia, representing deposition under instable conditions), **Matão Formation** (shallow marine transgressive sediments). The upper limit of sedimentation is situated around 1.4Ga.

About 85% of the Macaúbas river basin is composed by the Neoproterozoic glaciogenic sediments of the Macaúbas Group, divided into four lithostratigraphic units: **Duas Barras Formation** (pre-glacial fluvio-marine sediments), **Serra do Catuní Formation** (englacial sediments redeposited by active normal faults under glaciomarine environment), **Chapada Acauã Formation** (lateral facies of the Serra do Catuní sediments with dropstones derived from floating-ice), **Córrego da Ursa Formation** (deltaic glaciofluvial sediments controlled by climatic changes).

Two magmatic periods were dated in igneous zircons by U-Pb SHRIMP II method: 1) greenschists as tholeiitic basalts, reflecting transitional volcanism, following the initial stages of continental rifting and preceding the onset of sea floor spreading of the Araçuaí rift (1.0Ga), 2) basaltic magmatism of the Brasiliano deformation (599.7Ma).

Remnants of conglomerates occur in “chapadas” and may be related to the uplift of the Espinhaço Range during an arid period possibly forming a fluvial braided system, marking the proto-basin of the Jequitinhonha River during Early Cretaceous time. The “chapadas are formed also by **São Domingos Formation** sediments.

Physical characteristics and gemological grading (slightly modified) of 496 diamonds *in situ* were determined (May 2000 through March 2005). In addition, several stones have been acquired for more detailed analyses. According to distribution and concentration of nitrogen, it is possible to stipulate that some crystals have grown under temperatures ranging from 1050-1100°C and pressure around 4.8GPa. These data are in agreement with common conditions of diamond crystallization in magmatic environment. The external morphological modifications testify long residence time in the upper mantle, exhibiting superimposed surface features of growth and dissolution due to slight variations of the equilibrium reactions. Half of the examined diamonds are cleaved, of which three quarters are attributed to primary processes. This is in accordance with results obtained by other authors for diamonds from the Espinhaço Range in Minas Gerais. By mineralogical and gemological classification, it was postulated that diamonds from the Macaúbas

river basin were transported and deposited by a mechanism that preserved such characteristics, evidenced mainly by crystal morphology, crystal state, gem quality and some surface features of primary origin.

The carbonados constitute black diamond varieties with unknown origin. They have never been found in direct association with kimberlitic pipes but they are always associated with single diamond crystals in alluvial sediments. The carbonados from Macaubas River have been Laser-cut and polished to analyses in Russia (URAS) and Germany (GFZ). The grains with a grain size in the range of 1 to 10 micron are usually separated by open grain boundaries or pore space. Images obtained by SEM and TEM show that the grain boundary planes are extremely irregular just like a jigsaw puzzle. They form many cavities filled with secondary low pressure minerals such as kaolinite, quartz, mica, oxides and florencite. It turns out that nearly all of the inclusions reported so far are of secondary origin. All of them occur along grain boundaries or in interconnected pore space. Fluids have penetrated the interconnected pores during the residence time in alluvial sediments, thus giving rise to the crystallization of the observed minerals under low pressure conditions. They are not related to the formation of carbonado, but represents pore filling. Dislocation density varies and low angle grain boundaries are common. However, a second group of smaller inclusions (less than 500 nm) exclusively located inside individual grains is completely different. They consist of a fluid and solid phases. The solid phases are carbonates (Ba- and Ca-carbonate), chlorides (KCl), silicates (Ca, Al, K, Fe, Ti), sulphides and some metals. Very often carbonates, silicates and chlorides coexist in one inclusion. This mineral paragenesis is precisely the same as observed in kimberlitic diamonds from Siberia, South Africa and Canada. The mineral assemblage in kimberlitic diamond is interpreted as precipitates from the trapped fluid from which the diamond has grown in supercritical conditions. A third group of inclusions consists of aggregated nitrogen forming nanometre-sized platelets. The aggregated nitrogen suggests a long residence time at high temperature, which can only be assumed under mantle conditions. These observations suggest the formation of carbonado under similar conditions like kimberlitic diamond. The unusual grain boundaries indicate rapid nucleation influenced also by metal-catalyst system and growth of the individual grains followed by corrosion.

Although diamonds and carbonados from the Macaúbas river basin have been exploited for over 100 years, their primary source rock is, up to date, unknown. The many magmatic cleaved diamonds summing up with the other mentioned preserved primary (magmatic) surface features and carbonados indicate either a proximal kimberlitic/lamproitic source or a different sedimentary transport mechanism than fluvial. The latter hypothesis is reinforced by the presence of exotic minerals in the basin gravel, associated with englacial sediments reworked by normal faults (primary concentration). Thus, an extra-basinal is considered (outside the actual geographic boundary of the basin) source for the Macaúbas River Basin diamonds transported by ice during Neoproterozoic time (800-700Ma). The second period of concentration is related to reactivation of such normal faults as fold-thrusts belts during Brasiliano orogeny, promoting thickening of diamondiferous englacial sediments by layer parallel shortening from duplexes systems progradation.

A renewed fluvial transport during recent time concentrated the tillite diamonds to their present sites.

# SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>i</b>
<b>RESUMO</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>vi</b>

---

<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
--------------------------------	----------

---

I.1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
I.2- LOCALIZAÇÃO E ACESSO	1
I.3- ASPECTOS FISIOGRAFICOS, CLIMA E VEGETAÇÃO	4
I.4- NATUREZA DO PROBLEMA	5
I.5- OBJETIVOS	10
I.6- METODOLOGIA	11
I.6.1- Trabalhos de campo	12
I.6.1.1- Mapeamento geológico	12
I.6.1.2- Prospecção aluvionar	14
I.6.1.3- Coleta de material para análises geoquímicas e geocronológicas	15
I.6.1.4- Descrição de diamantes e carbonados <i>in situ</i>	16
I.6.2- Trabalhos de laboratório	18
I.6.2.1- Determinação dos minerais pesados através do método óptico e por espectroscopia Raman	18
I.6.2.2- Espectrometria de massa para obtenção do fracionamento isotópico de C e O em clastos de carbonato extraídos do pacote de metadiamictito do Grupo Macaúbas	18
I.6.2.3- Geoquímica das rochas metabásicas	19
I.6.2.4- Espectrometria de massa para datação dos zircões através do método U-Pb SHRIMP	19
I.6.2.5- Métodos analíticos empregados no estudo dos diamantes e carbonados	20
I.6.2.5.1- Fotogoniometria	20
I.6.2.5.2- Difractometria de raios X	22

I.6.2.5.3- Espectroscopia e espectrometria	22
<i>A- Microscopia eletrônica de varredura (SEM) acoplado a um dispersor de energia (EDS)</i>	22
<i>B- Espectroscopia por luminescência, fotoluminescência e ressonância eletrônica de spin</i>	22
<i>C- Espectroscopia Infravermelho pela transformada de Fourier (FTIR)</i>	23
<i>D- Espectroscopia Raman (RS)</i>	23
<i>E- Feixe iônico focado associado ao microscópio de transmissão eletrônica (FIB-TEM)</i>	24
<i>F- Espectrometria de massa para obtenção do fracionamento isotópico de C nos diamantes e carbonados</i>	24
<i>G- Espectrometria de massa para obtenção do fracionamento isotópico de C nos carbonados a partir de ensaios de variação de temperatura x tempo</i>	25
<i>H- Espectrometria de massa para obtenção do fracionamento isotópico de C em inclusões fluidas nos carbonados</i>	25
<i>I- Espectrometria de chama para obtenção da composição química de inclusões fluido-gasosas nos carbonados</i>	25
I.6.2.5.4- Análise por ativação neutrônica (AAN) para determinação de Elementos Terras Raras (ETR) nos carbonados	26
I.7- IDEALIZAÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E REDAÇÃO DA TESE	27

---

**CAPÍTULO II- CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL** **29**

II.1- EMBASAMENTO	30
II.2- SUPERGRUPO ESPINHAÇO	32
II.2.1- Estratigrafia	32
II.3- SUPERGRUPO SÃO FRANCISCO	36
II.3.1- Grupo Macaúbas	37
II.3.1.1- Estratigrafia	38
II.3.1.2- Magmatismo associado ao Grupo Macaúbas	42
II.3.2- Grupo Bambuí	42
II.4- GEOLOGIA ESTRUTURAL DAS UNIDADES PRÉ-CAMBRIANAS	43
II.5- COBERTURAS MESO-CENOZÓICAS	43
II.6- EVOLUÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL	45

---

III.1- SUPERGRUPO ESPINHAÇO	50
III.1.1- Formação Resplandecente	50
III.1.2- Formação Água Preta	53
III.1.3- Formação Matão	54
III.1.3.1- Geocronologia	55
III.1.4- Processos sedimentares e sistemas deposicionais	57
III.2- GRUPO MACAÚBAS	58
III.2.1- Formação Duas Barras	61
III.2.1.1- Geocronologia	62
III.2.2- Formação Serra do Catuni	63
III.2.2.1- Composição isotópica de <i>C</i> e <i>O</i> em carbonatos da Formação Serra do Catuni	69
III.2.3- Formação Chapada Acauã	70
III.2.4- Formação Córrego da Ursa	71
III.2.5- Processos sedimentares e sistemas deposicionais	73
III.3- MAGMATISMO NEOPROTEROZÓICO	75
III.3.1- Geoquímica e geocronologia	76
III.4- SUÍTE METAÍGNEA CÓRREGO TAQUARÍ	78
III.4.1- Geoquímica e geocronologia	78
III.5- COBERTURAS MESO-CENOZÓICAS	80
III.5.1- Conglomerados cretácicos	80
III.5.2- Formação São Domingos	81
III.6- GEOLOGIA ESTRUTURAL DAS UNIDADES PRÉ-CAMBRIANAS	82
III.6.1- Domínio I	84
III.6.2- Domínio II	84
III.6.3- Domínio III	85
III.6.4- Domínio IV	85
III.7- RESUMO GERAL SOBRE O MAPEAMENTO GEOLÓGICO	88

<b>CAPÍTULO IV- MINERAIS PESADOS</b>	<b>90</b>
<hr/>	
IV.1- PROSPECÇÃO ALUVIONAR	91
IV.2- CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS PESADOS	95
IV.3- RESUMO GERAL SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DAS CAMPANHAS DE PROSPECÇÃO ALUVIONAR NA BACIA DO RIO MACAÚBAS	99
<b>CAPÍTULO V- DIAMANTES MONOCRISTALINOS</b>	<b>100</b>
<hr/>	
V.1- GÊNESE	100
V.2- CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS DIAMANTES DA BACIA DO RIO MACAÚBAS	103
1. Peso	104
2. Qualidade gemológica	105
3. Aparência	107
4. Pontos de radiação	109
5. Capa	111
6. Jaças	112
7. Morfologia externa, dissolução e figuras de superfície	113
8. Estado cristalino	126
9. Nitrogênio nos diamantes	127
9.1. Infravermelho ( <i>Infra Red- IR</i> )	127
9.2. Luminescência	133
10. Inclusões	137
11. Isótopos de carbono	141
V.3- RESUMO GERAL SOBRE OS LEVANTAMENTOS REALIZADOS NOS DIAMANTES DA BACIA DO RIO MACAÚBAS	144
<b>CAPÍTULO VI- CARBONADO</b>	<b>147</b>
<hr/>	
VI.1- GÊNESE	147
VI.2- CARBONADOS DOS RIOS MACAÚBAS E JEQUITINHONHA	150

VI.3- RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE TOTAL DA AMOSTRA (RÚSSIA)	152
VI.3.1- Características gerais	153
VI.3.2- Estrutura interna	154
VI.3.3- Minerais e associações de fases minerais nos carbonados	156
VI.3.4- Elementos Terras Raras (ETR)	166
VI.3.5- Nitrogênio nos carbonados	167
VI.3.6- Isótopos de carbono	171
VI.3.7- Inclusões fluido-gasosas	176
VI.4- RESULTADOS OBTIDOS POR <i>FIB-TEM</i>	181
VI.4.1- Introdução ao método	181
VI.4.2- Textura, estrutura interna, inclusões e paragêneses	183
VI.5- RESUMO GERAL SOBRE OS LEVANTAMENTOS REALIZADOS NOS CARBONADOS DA BACIA DO RIO MACAÚBAS	191

---

**CAPÍTULO VII- DISCUSSÕES GERAIS** **194**

VII.1- DIAMANTES DA BACIA DO RIO MACAÚBAS: REGISTROS DOS PROCESSOS MAGMÁTICOS	194
VII.2- DIAMANTES DA BACIA DO RIO MACAÚBAS: REGISTROS DOS PROCESSOS SEDIMENTARES	195
VII.3- CARBONADOS DA BACIA DO RIO MACAUBAS: REGISTROS DOS PROCESSOS MAGMÁTICOS	197
VII.4- CARBONADOS DA BACIA DO RIO MACAÚBAS: REGISTROS DOS PROCESSOS SEDIMENTARES	201
VII.5- CICLOS DE REDISTRIBUIÇÃO SEDIMENTAR: ÁREA(S) E ROCHA(S)-FONTE, PROCESSOS E MECANISMOS DE TRANSPORTE, DEPOSIÇÃO E CONCENTRAÇÃO, IDADE DOS CICLOS	201

---

**CAPÍTULO VIII- CONCLUSÕES** **209**

---

**CAPÍTULO IX- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** **211**

---

Anexo I- Mapa Geológico	232
Anexo II- Mapa de Pontos, drenagens e prospecção	234
Anexo III- Pontos de prospecção aluvionar: localização, descrição e volume de amostragem	236
Anexo IV- Características e procedência dos diamantes estudados por métodos analíticos	239

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Localização e acesso para a região da bacia do rio Macaúbas.	<b>2</b>
<b>Figura 2</b>	Mapa de situação e articulação das folhas 1:100.000 no âmbito do Projeto Espinhaço, destacando-se, em vermelho, a área da presente pesquisa. Modificado de Noce (1997).	<b>3</b>
<b>Figura 3</b>	Mapa hipsométrico da região do Anticlinal de Itacambira, destacando-se aproximadamente a região da bacia do rio Macaúbas.	<b>4</b>
<b>Figura 4</b>	Distribuição dos metassedimentos do Supergrupo Espinhaço. Modificado de Chaves (1997).	<b>6</b>
<b>Figura 5</b>	Distribuição dos sedimentos neoproterozóicos glaciogênicos. Modificado de Karfunkel & Hoppe (1988).	<b>8</b>
<b>Figura 6</b>	Padrões de interferência de superfícies planas e curvas segundo a Lei de Bragg.	<b>21</b>
<b>Figura 7</b>	Compartimentação geotectônica da Plataforma Sul-Americana segundo Almeida <i>et al.</i> (1976). Retirado e modificado de Dardenne & Schobbenhaus (2001).	<b>29</b>
<b>Figura 8</b>	Mapa geológico simplificado da porção E-SE do Cráton do São Francisco, em contato com parte da Faixa de Dobramentos Araçuaí (modificado de Uhlein 1991).	<b>31</b>
<b>Figura 9</b>	Seção geológica na região do Anticlinal de Itacambira (segundo Moraes <i>et al.</i> 1937).	<b>33</b>
<b>Figura 10</b>	Colunas estratigráficas para o Supergrupo Espinhaço no Anticlinal de Itacambira, segundo Karfunkel & Karfunkel (1975, retirado de Noce 1997).	<b>35</b>
<b>Figura 11</b>	Modelo esquemático das relações entre as unidades litoestratigráficas do Grupo Macaúbas e suas principais litologias. Segundo Noce <i>et al.</i> (1993).	<b>39</b>
<b>Figura 12</b>	Colunas estratigráficas da Formação Serra do Catuni, tectonicamente sobreposta pelo Supergrupo Espinhaço segundo Noce (1997), modificado de Karfunkel & Karfunkel (1975).	<b>41</b>
<b>Figura 13</b>	Mapa geológico simplificado da bacia do rio Macaúbas.	<b>48</b>
<b>Figura 14</b>	Coluna estratigráfica esquemática para a região estudada (sem escala). Legendas: vide figuras 15, 20 e 21	<b>49</b>
<b>Figura 15</b>	Perfis colunares litoestratigráficos do Supergrupo Espinhaço ao longo dos córregos Taquari e Dona-Lavras.	<b>51</b>
<b>Figura 16</b>	Roseta de paleocorrentes relativos às estratificações cruzadas de grande porte da Formação Resplandecente entre os córregos da Dona e Lavras.	<b>52</b>
<b>Figura 17</b>	Roseta de paleocorrentes relativos às estratificações cruzadas acanaladas da Formação Matão, região do Córrego Taquari.	<b>54</b>
<b>Figura 18</b>	Idades de zircões detríticos da Formação Matão plotadas em comparação à curva concórdia, com seus respectivos erros (indicados pelas elipses) e discordâncias (indicada pela distância do centro da elipse até a curva). A designação "OPU-2655" refere-se à identificação da amostra desde o LOPAG/DEGEO/UFOP.	<b>55</b>
	Principais estruturas sedimentares do Supergrupo Espinhaço. A) estratificações cruzadas tangenciais de cauda longa e de grande porte da Fm. Resplandecente (córrego da Dona, ponto 18 (F7), vista de NE para SW). B) detalhe de um clasto de metabrecha	

<b>Figura 19</b>	intraformacional da Fm. Água Preta (córrego da Dona, ponto 19 (F7), vista de S para N). C) clastos de metarenito dispersos caoticamente na matriz metarenítica, associada a estruturas convolutas da Fm. Água Preta (córrego das Lavras, ponto 248 (G8), vista de NW para SE). D) contato erosivo separando dois níveis de metabrecha-conglomerática intraformacional, Fm. Água Preta (ponto 194 (F2), vista de SW para NE). E) “descontinuidades” plano-paralelas que limitam os <i>foresets</i> da estratificação cruzada tabular de pequeno porte, representando “superfícies de reativação” em ambiente de maré (Fm. Matão, ponto 297 (F3), vista de S para N). F) estratificação cruzada por onda “ <i>hummocky</i> ” (Fm. Matão, ponto 133 (F2), vista de SW para NE).	<b>56</b>
<b>Figura 20</b>	Perfis colunares litoestratigráficos do Grupo Macaúbas ao longo dos córregos Água Limpa, Retiro, Marinheiros e do ribeirão da Ilha.	<b>59</b>
<b>Figura 21</b>	Perfis colunares litoestratigráficos do Grupo Macaúbas ao longo dos córregos dos Barcos, Dona e Taquari.	<b>60</b>
<b>Figura 22</b>	Roseta de paleocorrentes relativos às estratificações cruzadas de pequeno porte e baixo ângulo da Formação Duas Barras.	<b>61</b>
<b>Figura 23</b>	Idades de zircões detríticos da Formação Duas Barras plotadas em comparação à curva concórdia, com seus respectivos erros (indicados pelas elipses) e discordâncias (indicada pela distância do centro da elipse até a curva). A designação “MG05-04” refere-se à identificação da amostra desde o LOPAG/DEGEO/UFOP.	<b>62</b>
<b>Figura 24</b>	Mapa geológico simplificado destacando-se os pontos onde foram realizados levantamentos estatísticos na Formação Serra do Catuni.	<b>64</b>
<b>Figura 25</b>	Distribuição granulométrica (em %) em 6 pontos onde foram realizados levantamentos estatísticos nos metadiamicritos da Formação Serra do Catuni, Grupo Macaúbas (2.000 contagens por ponto).	<b>65</b>
<b>Figura 26</b>	Distribuição tipológica (em %) da fração granulométrica fragmento que compõe o arcabouço sedimentar dos metadiamicritos estudados.	<b>66</b>
<b>Figura 27</b>	Distribuição tipológica (em %) da fração granulométrica seixo que compõe o arcabouço sedimentar dos metadiamicritos estudados.	<b>67</b>
<b>Figura 28</b>	Distribuição tipológica (em %) da fração granulométrica bloco que compõe o arcabouço sedimentar dos metadiamicritos estudados.	<b>68</b>
<b>Figura 29</b>	Estruturas sedimentares da Fm. Duas Barras. A) marcas onduladas assimétricas, na forma de lunatas irregulares (ponto 35 (B6), vista de SE para NW). B) Níveis de ferro intercalados ao metarenito (ponto 212 (E3), vista de S para N). C) contato brusco entre o metarenito da Fm. Duas Barras (base do pacote), sobreposto pelo metadiamicrito da Fm. Serra do Catuni (ponto 36 (B6), vista de SW para NE).	<b>71</b>
<b>Figura 30</b>	A) intercalação lenticular (interpretada como depósito de <i>outwash</i> ) de metarenito no metadiamicrito da Fm. Serra do Catuni (ponto 291 (D8), vista de SE para NW). B) seixo isolado na matriz do metarenito micáceo da Fm. Chapada Acauã, interpretado como remanescentes da perda de detritos por <i>icebergs</i> (chuva de detritos; ponto 288 (E8), vista de NE para SW). C) clasto de rocha metabásica com forma pentagonal e base achatada ( <i>flat-iron</i> ), interpretada como fluxo de detrito ( <i>debris flow</i> ) incorporado na base da geleira ( <i>lodgement till</i> ; ponto 372 (E4)). D) detalhe de um sulco alongado presente na porção plana (base) do clasto anteriormente descrito. E) metasiltito laminado da Fm. Córrego da Ursa, interpretado como depósitos de lago periglacial (ponto 234 (E5), vista de SSE para NNW). F) metarenito com estratificação cruzada acanalada e granodecrescência da Fm. Córrego da Ursa ascendente, interpretado remanescente do degelo sazonal de parte das geleiras (ponto 311 (E4), vista de S para N).	<b>72</b>
<b>Figura 31</b>	Idades de zircões ígneos do corpo metabasáltico do rio Jequitinhonha plotadas em comparação à curva concórdia, com seus respectivos erros (indicados pelas elipses) e discordâncias (indicada pela distância do centro da elipse até a curva). A designação “MG05-03” refere-se à identificação da amostra desde o LOPAG/DEGEO/UFOP.	<b>77</b>
<b>Figura 32</b>	Idades de zircões ígneos da Suíte Metaígneia Córrego Taquari plotadas em comparação à curva concórdia, com seus respectivos erros (indicados pelas elipses) e discordâncias (indicada pela distância do centro da elipse até a curva).	<b>79</b>
	A) conglomerados e micro-conglomerados semi-consolidados da Fm. São Domingos (estrada Itacambira-Juramento, localizada nas imediações da Serra da Bota, vista de S	

<b>Figura 33</b>	para N). B) conglomerado cretácico reliquiar, de matriz ferruginosa (laterítica), e clastos profundamente intemperizados (estrada Itacambira-Juramento, localizada nas imediações da Serra da Bota, vista de S para N).	<b>81</b>
<b>Figura 34</b>	Domínios estruturais da bacia do rio Macaúbas.	<b>82</b>
<b>Figura 35</b>	Domínios estruturais I, II, III e IV presentes na região da bacia do rio Macaúbas.	<b>83</b>
<b>Figura 36</b>	A) dobramento de dimensões decamétricas do Domínio estrutural I. Apresenta-se ligeiramente simétrica, com desenvolvimento de uma foliação milonítica intraflanquial, na forma de uma clivagem de fratura espaçada (córrego saco de Mel, ponto 27 (F2), vista de S para N). B) dobra assimétrica característica do Domínio II, desenvolvida em metarenito da Fm. Resplandecente (rio Macaúbas, 200 (E2), vista de N para S).	<b>86</b>
<b>Figura 37A</b>	Estrias tectônicas desenvolvidas sobre o metarenito micáceo da Fm. Chapada Acauã. Domínio III. Ponto 137 (E11), vista de E para W.	<b>87</b>
<b>Figura 37B</b>	Duplexes verdadeiros do Domínio III desenvolvidos em metadiamicrito da Fm. Serra do Catuni. Ponto 36 (B6), vista de WSW para ENE.	<b>87</b>
<b>Figura 37C</b>	Contato tectônico entre os grupos Macaúbas e Bambuí (Domínio IV). O contato é marcado por falhas de empurrão de alto ângulo. Estrada Juramento-Itacambira, próximo a Serra da Bota. Vista de N para S.	<b>87</b>
<b>Figura 38</b>	Desvios Raman para crisoberilo, granada almandina, monazita e estauroilita extraídos da bacia do rio Macaúbas durante as campanhas de prospecção aluvionar. Eixo X: número de contagens, eixo Y: $\text{cm}^{-1}$ .	<b>97</b>
<b>Figura 39</b>	Mapa geológico simplificado destacando os pontos de prospecção aluvionar (em vermelho) onde foram recuperados diamantes e carbonados.	<b>98</b>
<b>Figura 40</b>	Distribuição de peso dos diamantes da bacia do rio Macaúbas.	<b>105</b>
<b>Figura 41</b>	Distribuição da cor e pureza nos diamantes da bacia do rio Macaúbas.	<b>107</b>
<b>Figura 42</b>	Distribuição das superfícies <i>frosting</i> .	<b>108</b>
<b>Figura 43</b>	Distribuição dos <i>radiation spots</i> segundo o agrupamento em peso (ct).	<b>110</b>
<b>Figura 44</b>	Distribuição das cores dos <i>radiation spots</i> segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>110</b>
<b>Figura 45</b>	Distribuição dos diamantes com jaças e sem jaças segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>112</b>
<b>Figura 46</b>	Distribuição da morfologia externa dos diamantes segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>115</b>
<b>Figura 47</b>	Distribuição das figuras de superfície nos diamantes segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>116</b>
<b>Figura 48</b>	A) Octaedro com simetria preservada e (B) transicional.	<b>117</b>
<b>Figura 49</b>	Rombododecaedro de faces lisas e arestas abauladas (A); cristal irregular (B).	<b>117</b>
<b>Figura 50</b>	Sistemas de <i>trigons</i> com relevo negativo numa superfície clivada (A); canal de corrosão (B).	<b>117</b>
<b>Figura 51</b>	<i>Hillocks</i> : A) em blocos e B) em pirâmide.	<b>118</b>
<b>Figura 52</b>	Estrutura em disco: A) <i>Lamination lines</i> , (B) relevo baixo.	<b>118</b>
<b>Figura 53</b>	Superfície de clivagem “secundária” (A), aresta apresentando desgaste por abrasão mecânica (B).	<b>118</b>
<b>Figura 54</b>	Fotogonômograma de um diamante do tipo <i>dodecahedroid</i> orientado ao longo de L4, evidenciando a perda de planos de simetria paralelos aos eixos, com decréscimo da forma de simetria do cristal até 4/m. Pontos característicos de reflexão são distinguidos.	<b>120</b>
<b>Figura 55</b>	Forma elipsoidal de um cristal arredondado, inicialmente octaédrico (linhas pontilhadas). As superfícies pertencentes ao elipsóide são marcadas por cores escuras.	<b>121</b>
<b>Figura 56</b>	Fotogonômograma de um diamante com superfícies convexas do <i>dodecahedroid</i> e <i>trigohexahedroid</i> (distinguido pelas linhas tracejadas) pertencendo ao elipsóide simétrico por um conjunto de parâmetros.	<b>122</b>
<b>Figura 57</b>	Superfície de dissolução com fragmento reliquiar da face octaédrica “decorada” por “pontos” de aquecimento térmico orientados anti-paralelos à face, <i>dodecahedroid</i> e <i>trigohexahedroid</i> separados por arestas.	<b>122</b>
	Evolução da dissolução no diamante: a) estágio inicial – octaedro perfeito; b) início da	

<b>Figura 58</b>	dissolução – formação de um cilindro elíptico; c) formação da <i>face-seam</i> ; d) início da formação das superfícies do <i>trigohexahedroid</i> ; e) desenvolvimento das superfícies convexas do <i>dodecahedroid</i> (com <i>face-seam</i> ) e <i>trigohexahedroid</i> ; f) forma limite de um <i>dodecahedroid</i> com <i>face-seam</i> . Gonomogramas sumarizados das superfícies do primeiro quadrante. Superfícies atuais marcadas a cores, símbolos das direções são marcadas por polígonos vazios.	<b>123</b>
<b>Figura 59</b>	Regeneração das superfícies do diamante com diferentes estágios: A) pequeno tempo de regeneração; B) longo tempo de regeneração de um cristal arredondado pela dissolução.	<b>125</b>
<b>Figura 60</b>	<i>Hillocks</i> de regeneração na superfície de um diamante <i>dodecahedroid</i> .	<b>125</b>
<b>Figura 61</b>	Distribuição dos diamantes com clivagens primárias e secundárias e diamantes não clivados de acordo com o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>127</b>
<b>Figura 62</b>	Diagramas de Infra-vermelho ilustrando os diferentes tipos de agregação de nitrogênio pela estrutura do diamante. O desenvolvimento do tipos e do grau de agregação de nitrogênio é função do tempo e da temperatura (Mendelsohn & Milledge 1995).	<b>130</b>
<b>Figura 63</b>	Razões entre absorções no IR de (B) / (A) <i>versus</i> agregação de plaquetas de nitrogênio.	<b>132</b>
<b>Figura 64</b>	Resultados do modelo cinético da reação de agregação de A → B dos diamantes estudados em uma série de isotermas em gráficos de % de defeitos de A x conteúdo de nitrogênio para tempos de residência no manto de 0.4Ga, 1.6Ga e 3.2Ga (adaptado de Taylor <i>et al.</i> 1990).	<b>133</b>
<b>Figura 65</b>	Espectros de luminescência dos diamantes D-5, D-6 e D-9.	<b>135</b>
<b>Figura 66</b>	Espectros de fotoluminescência dos diamantes D-1 a D-10.	<b>136</b>
<b>Figura 67</b>	A) Inclusões de olivina dispostas no plano octaédrico. B) região de contato inclusão-diamante. C) mapa químico (EDS) da olivina (linhas espectrais K $\alpha$ Mg, K $\alpha$ Fe, K $\alpha$ Si). D) detalhe do contato, acrescida de uma inclusão de KCl. E) mapa químico mostrando a existência de flúor. (F) entre a olivina e o diamante.	<b>140</b>
<b>Figura 68</b>	Variação de valores de $\delta^{13}\text{C}$ para diamantes peridotíticos e eclogíticos, sedimentos (matéria orgânica e carbonatos) e meteoritos (Cartigny <i>et al.</i> 1999).	<b>142</b>
<b>Figura 69</b>	Carbonado MGC4 (1.06ct), morfologia irregular e brilho adamantino a metálico (A). Carbonado MGC19 (2.27ct), forma octaédrica e superfície fosca, com destaque para os canais profundos na superfície (B). Imagem obtida por MEV, modo de elétrons secundários.	<b>152</b>
<b>Figura 70</b>	Morfologia externa dos carbonados MGC0 (A, B), MGC2 (C), MGC1 (D) e MGC3 (E), este último com detalhe da superfície rugosa (F). Todas as figuras foram obtidas por MEV, modo Campo; as partes escuras das figuras de B a F, representam a porção formada por diamantes, enquanto as partes claras correspondem a “impurezas”.	<b>153</b>
<b>Figura 71</b>	Microcristais individuais de diamante que compõem a matriz do carbonado (A-D) e agregados de microcristais que formam um grão único (E-F). As setas a partir de “hkl” e “hhl” mostram superfícies com evidências de crescimento e/ou dissolução, ao passo que a seta em “sc” mostra estrutura provavelmente desenvolvida por abrasão mecânica. Imagens obtidas por MEV, modo de elétrons secundários. A, B) MGC0, C) MGC2, D) MGC1, E, F) MGC4.	<b>155</b>
<b>Figura 72</b>	Lonsdaleíta ocorrendo na forma de estruturas semi-circulares na matriz dos microdiamantes que compõem o carbonado MGC0 (A, B). Imagem obtida por MEV, elétrons secundários, posterior ao ataque químico.	<b>156</b>
<b>Figura 73</b>	Fase metálica de ferro nativo (A), liga de Cu-Zn (B), liga de Fe-Cr (C) - carbonado MGC0, e liga de Fe-Ni (kamacita) no carbonado MGC3 (D).	<b>158</b>
<b>Figura 74</b>	Diagrama ternário envolvendo as fórmulas empíricas calculadas para o sistema Fe-Ni-Cr (retirado de Silaev <i>et al.</i> 2005). I – Carbonados, II – diamantes dos Montes Urais com películas metálicas, III – minerais com composição intermediária entre os <i>end members</i> : 1: kamacita, 2: metataenita, 3: ortotaenita, 4: tetrataenita, 5: awaruita, 6: cromoferrida, 7: ferrocromida. Áreas preenchidas por tons em cinza: A – região característica para os carbonados do rio Macaúbas e de Juína; B – região característica para os carbonados da Chapada Diamantina.	<b>159</b>
<b>Figura 75</b>	Quimismo das goethitas presentes nos carbonados do rio Macaúbas (retirado de Silaev	<b>160</b>

	<i>et al.</i> 2005).	
<b>Figura 76</b>	Diagrama ternário Al-Si-Me <sup>+</sup> +Me <sup>2+</sup> (metais) mostrando o quimismo entre as os minerais do grupo das micas-caolinita-allophana. Espécies minerais: 1 – biotita, 2 – celadonita, 3 – alumoceladonita, 4 – muscovita, 5 – caolinita, 6 – allophana. Dados referentes aos carbonados do rio Macaúbas (retirado de Silaev <i>et al.</i> 2005).	<b>161</b>
<b>Figura 77</b>	Diagramas ternários mostrando as relações entre os óxidos de Ti-Fe-Si-Zr-Al em soluções sólidas presentes em zircões inclusos em diamantes monocristalinos dos Montes Urais (1 e 2) e de zircões presentes em carbonados do rio Macaúbas (retirado de Silaev <i>et al.</i> 2005).	<b>162</b>
<b>Figura 78</b>	Composição normativa dos aluminofosfatos que formam soluções sólidas com fosfatos. Dados referentes a carbonados da bacia do rio Macaúbas (retirado de Silaev <i>et al.</i> 2005).	<b>163</b>
<b>Figura 79</b>	Freqüência de distribuição de fosfatos e aluminofosfatos em carbonados 1) rio Macaúbas, 2) Chapada Diamantina, 3) Juína. Retirado de Silaev <i>et al.</i> 2005.	<b>164</b>
<b>Figura 80</b>	Freqüência de distribuição comparativa entre os minerais e fases minerais observados em todos os carbonados estudados: 1) bacia do rio Macaúbas, 2) Chapada Diamantina, 3) Juína. M: metais nativos, S: sulfetos, H: halitos, OX: óxidos, SIL: silicatos, OXS: fosfatos e aluminofosfatos. Retirado de Silaev <i>et al.</i> 2005.	<b>164</b>
<b>Figura 81</b>	A) TiO <sub>2</sub> na matriz do carbonado, B) inclusões de Cr metálico e oxidado (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), C) inclusão de xenotímio, D) “zonamento” entre soluções sólidas de monazita e aluminofosfato, E) cavidade preenchida por hematita com inclusões de pirita. As cavidades freqüentemente apresentam druzas de diamante com microcristais de faces planas e bem desenvolvidas, F) sobrecrecimento de cristais de diamante recobertos película metálica de TiO <sub>2</sub> , estando por sua vez recoberta por fase mineral aluminossilicatada.	<b>165</b>
<b>Figura 82</b>	Padrão de distribuição de ETR nos carbonados do rio Macaúbas (MGC0, MGC4, MGC6/6 e MGC6/7), Chapada Diamantina (ChDC2) e Juína (MtGrC2). Normalizados segundo os condritos (retirado de Petrovsky <i>et al.</i> 2004). 1 – MGC4; 2 – MtGrC2; 3 – MGC6/6; 4 – MGC0; 5 – MGC6/7; 6 – ChDC2.	<b>166</b>
<b>Figura 83</b>	Espectrogramas de fotoluminescência dos carbonados MGC1, MGC2 e MGC3.	<b>168</b>
<b>Figura 84</b>	Espectros de <i>EPR</i> dos carbonados MGC0 a MGC4. As amostras MGC2 e MGC4 caracterizam-se por conter um alto conteúdo em nitrogênio, ocorrendo o inverso para as amostras MGC0, MGC1 e MGC3 (verificado pelas “janelas” espectrais adjacentes ao eixo central paramagnético).	<b>170</b>
<b>Figura 85</b>	Espectros de fotoluminescência dos carbonados MGC3 (linhas contínuas) e MGC2 (linha tracejada) nas temperaturas de 300 e 77 °K. Não foi plotado o espectro da amostra MGC2 (menor temperatura) pelo fato de que o pico do defeito T1 é praticamente inexistente.	<b>171</b>
<b>Figura 86</b>	Padrão de distribuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ para carbonados, impactitos e diamantes monocristalinos (paragênese peridotítica e eclogítica). Para o campo dos carbonados, coluna preta corresponde a carbonados da África Central, coluna branca corresponde a carbonados do Brasil. Retirado de De <i>et al.</i> (2001).	<b>172</b>
<b>Figura 87</b>	Histogramas de distribuição dos isótopos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}\%$ ) nos carbonados do rio Macaúbas.	<b>172</b>
<b>Figura 88</b>	Dinâmica de liberação de gases nos carbonados a partir do ensaio de aquecimento 20-1000°C.	<b>177</b>
<b>Figura 89</b>	Dinâmica de liberação de gases nos carbonados a partir do ensaio de aquecimento (A): 1 - 20 a 300°C, 2 – 300 a 400°C, 3 – 400 a 500°C, 4 – 500 a 600°C, 5 – 600 a 700°C, 6 – 700 a 800°C, 7 – 800 a 900°C, 8 – 900 a 1000°C. B e C: pirocromatogramas de dois estágios de aquecimento: 20 a 500°C e 500 a 1000°C.	<b>178</b>
<b>Figura 90</b>	Diagrama ternário CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-CO onde foram plotados as concentrações destes gases em carbonados e demais rochas a partir de ensaios de aquecimento a 1000°C. A – rochas mantélicas, B – produtos da interação crosta-manto, C – rochas crustais (retirado e adaptado de Bartoshinsky <i>et al.</i> 1987a).	<b>179</b>
<b>Figura 91</b>	Diagrama ternário do subgrupo dos hidrocarbonetos C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3+4</sub> . Concentrações destes gases em carbonados e magmatitos a partir de ensaios de aquecimento a 1000°C. A –	<b>179</b>

	rochas mantélicas, B – produtos da interação crosta-manto, C – rochas crustais (adaptado de Bartoshinsky <i>et al.</i> 1987a).	
<b>Figura 92</b>	Diagrama ternário CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-CO onde foram plotados as concentrações destes gases em carbonados a partir de dois ensaios de aquecimento: A – 20 a 500°C e B – 500 a 1000°C (retirado e adaptado de Bartoshinsky <i>et al.</i> 1987a).	<b>180</b>
<b>Figura 93</b>	Diagrama ternário do subgrupo dos hidrocarbonetos C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>3+4</sub> onde foram plotados as concentrações destes gases em carbonados a partir de dois ensaios de aquecimento: A – 20 a 500°C e B – 500 a 1000°C (retirado e adaptado de Bartoshinsky <i>et al.</i> 1987a).	<b>180</b>
<b>Figura 94</b>	Carbonado MGC12 cortado por laser (A) e posteriormente polido para observação no SEM (B). No modo de elétrons secundários (C e D), ressalta-se a presença de inclusões dada pela diferença de coloração entre as porções claras (inclusões) e escuras (matriz do carbonado). As imagens obtidas por SEM serviram como suporte para a seleção das partes onde seriam retirados os foils (método FIB), para investigação detalhada utilizando TEM.	<b>182</b>
<b>Figura 95</b>	Imagens de elétrons secundários (SEM) mostrando as etapas do processo de preparação e extração do foil (segundo Wirth 2004, 2005). A – deposição da película de platina na superfície onde será retirado o foil. A cobertura de platina serve para proteger a superfície da ação do FIB. Corrente de gálio de alta amperagem (2700 pA) aplicada na parte anterior e posterior da superfície coberta por platina delimitam a região do foil. B – forte contraste superficial devido a redeposição de diversos materiais. C – a amostra é inclinada de 45° com relação ao feixe de íons para desgaste até atingir a espessura de 500 nm. As bordas são perfuradas de modo a permitir a retirada do foil. D – polimento final do foil a 120 nm. Nesta etapa, o fragmento está completamente livre para ser pinçado com auxílio de um microscópio ótico. A preparação final para análises no TEM compreende a cobertura do foil com uma película de carbono.	<b>183</b>
<b>Figura 96</b>	Principais texturas nos carbonados.	<b>186</b>
<b>Figura 97</b>	Inclusões presentes no carbonado MGC11, foil 771: <b>A)</b> 4 – apatita, 5 – BaSO <sub>4</sub> + CaSO <sub>4</sub> , 6 – quartzo; <b>B)</b> 7 e 8 – quartzo, 9 – apatita, 10 - indeterminada, 11 – indeterminada; <b>C)</b> 12 – clorita, 13 – Si+K+Ca+Fe+Ba+Ce, 14 – CaCO <sub>3</sub> ; <b>D)</b> 16 - Si+K+Ca+Fe+Ba, 17 - Si+K+Ca+Fe+Ba.	<b>187</b>
<b>Figura 98</b>	Inclusões presentes no carbonado MGC11, foil 772: <b>A)</b> 1 – zircão, 2 – Pb, 3 – clorita, 4 – Ca+Si+O+Ba+Fe+Al, 5 – quartzo, 6 – mica (?), 7 - muscovita; <b>B)</b> 8 – quartzo, 9 – apatita, 10 – Si+Ba+Ca+K+Fe+S+Mg+Al, 11 – flogopita (?), 12 – flogopita (?); <b>C)</b> 13 – (Pb+Zn)O, 14 – caolinita, 15 – caolinita, 16 – apatita, 17 – quartzo, 18 – Si+Al+K+Mg; <b>D)</b> Linha de varredura química ao longo da inclusão 13, usando difração de raios X nas intensidades Pb K $\alpha$ , Zn K $\alpha$ e O K $\alpha$ ; <b>E)</b> Detalhe da região compreendida entre as inclusões 1 e 2. A área de borda é formada por uma solução sólida de Pb juntamente com um cristal de zircão idiomórfico.	<b>188</b>
<b>Figura 99</b>	Soluções sólidas observadas numa mesma cavidade: A) apatita e B) quartzo (foil 771); foil 772, C) microinclusão na matriz do grão de diamante que constitui o carbonado, D) mapa de distribuição dos elementos químicos usando difração de raios X nas intensidades Ca K $\alpha$ , C K $\alpha$ e O K $\alpha$ para imageamento. Devido a espessura homogênea do foil, as concentrações dos elementos correspondem às intensidades das colorações da imagem. C → azul, Ca + O → verde.	<b>189</b>
<b>Figura 100</b>	A) padrão de cisalhamento no carbonado MGC12 evidenciado pelos deslocamentos internos com bordos serrilhados, cuja direção do esforço dirigido orienta-se no mesmo sentido das estruturas serrilhadas; B) plaquetas de nitrogênio orientadas ao longo destas estruturas de cisalhamento.	<b>190</b>
<b>Figura 101</b>	Hábitos cristalinos mais comuns dos diamantes extraídos de um dos pipes kimberlíticos da Cia. ALROSA Ltda, Arkhangelsk, Rússia (retirado de Zintchouk & Koptil' 2003).	<b>196</b>
<b>Figura 102</b>	Exemplos de das curvas de dispersão de sedimentos dos padrões dos tipos I e II (extraído de Morris & Kaszycki 1997).	<b>204</b>
<b>Figura 103</b>	Perfis de deformação mostrando a geometria de três <i>end members</i> baseados nas possíveis variações de <i>strain</i> (segundo Woodward <i>et al.</i> 1986).	<b>207</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Esquema de classificação adotado para os diamantes da bacia do rio Macaúbas. (*) – Dados obtidos parcialmente em laboratório.	<b>17</b>
<b>Tabela 2</b>	Estratigrafia comparativa entre os trabalhos de Karfunkel & Karfunkel (1975) e Noce (1997).	<b>40</b>
<b>Tabela 3</b>	Pontos levantados para tratamento estatístico.	<b>63</b>
<b>Tabela 4</b>	Distribuição isotópica de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}\text{‰}$ e $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ em clastos de carbonato.	<b>70</b>
<b>Tabela 5</b>	Elementos maiores / óxidos constituintes (% ponderal). *A soma não inclui Perda ao Fogo.	<b>76</b>
<b>Tabela 6</b>	Elementos traços (ppm).	<b>76</b>
<b>Tabela 7</b>	Dados analíticos de uma amostra de metagabro da Suíte Metaígneia Córrego Taquari. Elementos Maiores / Óxidos constituintes (% ponderal). * A Soma não inclui Perda ao Fogo (PF).	<b>78</b>
<b>Tabela 8</b>	Dados analíticos de uma amostra de metagabro da Suíte metaígneia Córrego Taquari. Elementos Traços (ppm).	<b>78</b>
<b>Tabela 9</b>	Registro histórico sobre diamantes e carbonados na bacia do rio Macaúbas. * Nome popular pelo o qual é conhecido na região.	<b>91</b>
<b>Tabela 10</b>	Distribuição de minerais pesados segundo os pontos amostrados cujas drenagens cortam somente litotipos do Supergrupo Espinhaço.	<b>93</b>
<b>Tabela 11</b>	Distribuição de minerais pesados segundo os pontos amostrados cujas drenagens cortam somente litotipos do Grupo Macaúbas.	<b>93</b>
<b>Tabela 12</b>	Distribuição de minerais pesados segundo os pontos cujas drenagens cortam litotipos do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas, acrescidos dos pontos amostrados ao longo do rio Macaúbas.	<b>94</b>
<b>Tabela 13</b>	Serviços exploratórios e diamantes analisados <i>in situ</i> e adquiridos para estudo analítico.	<b>103</b>
<b>Tabela 14</b>	Distribuição dos diamantes segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>104</b>
<b>Tabela 15</b>	Gradação da cor dos diamantes.	<b>106</b>
<b>Tabela 16</b>	Classificação de pureza dos diamantes adaptado segundo CIBJO e Karfunkel <i>et al.</i> (2001).	<b>106</b>
<b>Tabela 17</b>	Relação entre cor e pureza segundo as categorias de agrupamento.	<b>106</b>
<b>Tabela 18</b>	Distribuição das superfícies <i>frosting</i> segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>108</b>
<b>Tabela 19</b>	Distribuição de <i>radiation spots</i> segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>109</b>
<b>Tabela 20</b>	Distribuição dos diamantes encapados segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>111</b>
<b>Tabela 21</b>	Distribuição de diamantes com e sem jaças segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>112</b>
<b>Tabela 22</b>	Distribuição da morfologia externa segundo o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>115</b>
<b>Tabela 23</b>	Distribuição das figuras de superfície segundo o agrupamento em categorias de peso (ct). <i>LL</i> – <i>Lamination lines</i> ; <i>Hillock</i> – <i>Bl</i> : <i>Hillocks</i> em bloco; <i>Hillock</i> – <i>Py</i> : <i>Hillocks</i> em pirâmide.	<b>123</b>
<b>Tabela 24</b>	Parâmetros de reflexão de diamantes com superfície curva. Dados retirados de Orlov (1977).	<b>120</b>
<b>Tabela 25</b>	Distribuição dos diamantes com clivagens primárias e secundárias e diamantes não clivados de acordo com o agrupamento em categorias de peso (ct).	<b>126</b>
<b>Tabela 26</b>	Tipos de defeitos estruturais associados a nitrogênio e sua absorção no <i>IR</i> .	<b>129</b>
<b>Tabela 27</b>	Tempo decorrido a diferentes temperaturas para produzir: * 20 e ** 99% de nitrogênio diamantes do tipo Ib (segundo Evans 1992).	<b>130</b>
<b>Tabela 28</b>	Conteúdo e a forma de agregação de nitrogênio nos diamantes da bacia do rio Macaúbas. * $\text{cm}^{-1}$ . Onde: u.a. – unidade atômica; NA – centros do tipo A; NB – centros do tipo B; NT – conteúdo total de nitrogênio; %IaB – porcentagem de centros relacionados ao defeito B; Classificação espectral segundo Mendelssohn & Milledge (1995).	<b>131</b>

<b>Tabela 29</b>	Conteúdo e a forma de agregação de nitrogênio nos espectros de luminescência.	<b>134</b>
<b>Tabela 30</b>	Principais defeitos estruturais obtidos por luminescência e fotoluminescência.	<b>135</b>
<b>Tabela 31</b>	Característica dos espectros de luminescência/fotoluminescência.	<b>136</b>
<b>Tabela 32</b>	Classificação das inclusões minerais nos diamantes (modificado de Meyer 1987, Helmstaedt 2002 e Taylor & Armand 2004). <sup>a</sup> Minerais identificados por difração de raios X e microsonda eletrônica. <sup>b</sup> Stachel (2001). <sup>c</sup> <i>Tetragonal almandine pyrope phase</i> . <sup>d</sup> Paragênese incerta. <sup>e</sup> Provavelmente identificado. <sup>f</sup> Leung <i>et al.</i> (1996). <sup>g</sup> Helmstaedt (2002).	<b>138</b>
<b>Tabela 33</b>	Inclusões determinadas nos diamantes do rio Macaúbas. <sup>a</sup> Determinada através de microsonda eletrônica com sistema de dispersão de energia ( <i>EDS</i> ) acoplado, Instituto de Geologia de Komi – Syktykar, Rússia. <sup>b</sup> Determinada através de foco iônico focado ( <i>FIB</i> ), com sistema de dispersão de energia ( <i>EDS</i> ) acoplado ao microscópio de transmissão eletrônica ( <i>TEM</i> ), GeoForschungsZentrum – Potsdam, Alemanha. <sup>c</sup> Determinada através de microscopia eletrônica Raman, Instituto de Física, Icx/UFMG (Chaves <i>et al.</i> 2005a).	<b>139</b>
<b>Tabela 34</b>	Distribuição de isótopos de carbono nos diamantes D-10 e D-11. <sup>a</sup> Análises realizadas na Universidade Estatal de Moscow, Rússia.	<b>143</b>
<b>Tabela 35</b>	Descrição, localização e principais feições dos carbonados estudados. <sup>(a)</sup> Carbonatos caracterizados nos institutos de geologia de Moscow e de Syktykar, Rússia. <sup>(b)</sup> Carbonados caracterizados através de feixe iônico focado ( <i>FIB</i> ), GeoForschungsZentrum-Potsdam, Alemanha. N.M.- Não medido.	<b>151</b>
<b>Tabela 36</b>	Composição dos principais minerais e fases minerais presentes nos carbonados.	<b>156</b>
<b>Tabela 37</b>	Distribuição dos ETR nos carbonados.	<b>164</b>
<b>Tabela 38</b>	Características dos espectros de luminescência e fotoluminescência nos carbonados.	<b>167</b>
<b>Tabela 39</b>	Características dos espectros de <i>EPR</i> nos carbonados. Onde: $g=2.00$ equivale à superposição dos centros P1, correspondendo ao zero de projeção na zona dos <i>spins</i> do nitrogênio e de outros sinais indeterminados; $A_{\parallel MT}$ = energia do campo magnético com vibração paralela aos <i>spins</i> ; $A_{\perp MT}$ = energia do campo magnético com vibração perpendicular aos <i>spins</i> ; $\Delta B_{, MT}$ = campo magnético total.	<b>169</b>
<b>Tabela 40</b>	Características dos espectros de <i>ESR</i> nos carbonados. Onde: $I_{+1}/I_0$ : relação entre a intensidade da energia de recebida ( $I_{+1}$ ) e a energia emitida ( $I_0$ ), calculada pela equação: $I_{+1}/I_0 = -4.594 \cdot \Delta B_{(MT)}^2 + 2.178 \cdot \Delta B_{(MT)}^2 + 0.075$ . $S_{P1}$ : energia de hibridização para centros P1; $S_{pc}$ : energia de hibridização da amostra.	<b>169</b>
<b>Tabela 41</b>	Valores de isótopos de carbono ( $\delta^{13}C_{\text{‰}}\text{PDB}$ ) nos carbonados do rio Macaúbas e de Juína.	<b>173</b>
<b>Tabela 42</b>	1.5 horas de aquecimento.	<b>174</b>
<b>Tabela 43</b>	3 horas de aquecimento.	<b>174</b>
<b>Tabela 44</b>	6 horas de aquecimento.	<b>174</b>
<b>Tabela 45</b>	3 horas de aquecimento + 1.5 horas de ataque pela solução de KOH.	<b>174</b>
<b>Tabela 46</b>	3 horas de aquecimento + 3 horas de ataque pela solução de KOH.	<b>175</b>
<b>Tabela 47</b>	6 horas de aquecimento + 4 horas de ataque pela solução de KOH.	<b>175</b>
<b>Tabela 48</b>	Aquecimento escalonado (700 a 1000°C) em ambiente a vácuo, na presença de CuO.	<b>175</b>
<b>Tabela 49</b>	Aquecimento escalonado no vácuo (600 a 900°C).	<b>175</b>
<b>Tabela 50</b>	Temperatura de cristalização do carbonado a partir de dados isotópicos de $\delta^{13}C$ .	<b>176</b>
<b>Tabela 51</b>	Razões de correlação entre as fases gasosas observadas no intervalo de 500-100°C.	<b>178</b>
<b>Tabela 52</b>	Principais características dos <i>foils</i> do carbonado MGC11 analisados pelo método <i>FIB-TEM</i> .	<b>184</b>
<b>Tabela 53</b>	Principais características dos <i>foils</i> dos carbonados MGC12-14 analisados pelo método <i>FIB-TEM</i> .	<b>185</b>