UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ESTUDO DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DO CORPO IV E V
DA ESTRUTURA IV DO GREENSTONE BELT DE CRIXÁS (GO)

KLAUS JUERGEN PETERSEN JUNIOR

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Caetano Juliani
Examinadores:	Prof. Dr. Edson Farias Mello
	Prof ^a .Dr ^a .Lydia Maria Lobato
	Prof. Dr. Raul Minas Kuyumjian
	Dr ^a .Rosa Maria da Silveira Bello

SÃO PAULO
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS
DO CORPO IV e V DA ESTRUTURA IV
DO GREENSTONE BELT DE CRIXÁS (GO)**

Klaus Juergen Petersen Júnior

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900014003

SÃO PAULO
2003

*Aos meus pais,
Klausão e Elizete.*

AGRADECIMENTOS

À Erika, Marina e Júlia Yamaguchi Petersen pelo constante apoio e paciência na minha ausência nas diversas etapas deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Caetano Juliani pela orientação em todas as etapas da pesquisa, pelas interpretações refinadas de situações geológicas extremamente complicadas e pelo companherismo.

À Mineração Serra Grande que na pessoa do Geólogo Walter Yamaoka deu grande abertura para a concretização deste trabalho, que além do acesso irrestrito a mina e informações, forneceu hospedagem, alimentação e condução nas diversas etapas de campo. Agradeço igualmente aos colegas de trabalho da Mineração Serra Grande que auxiliaram de diversas maneiras nas etapas de campo, entre outros: geólogos Jaimir, Juliano, Márcio, Edvaldo, Edjarbas, Luís Cláudio, Francisco, Waldomiro e ainda ao Paiva, Zé Cláudio, Augusto, Josino e Valdimira.

À FAPESP que tornou este trabalho financeiramente viável (PROCESSO 99/03045-6) e ao relator secreto, que através de críticas bem fundamentadas, auxiliou de sobremaneira no direcionamento deste trabalho.

Aos Professores Jorge Silva Bettencourt, Rainer Allois Schults-Güttler, Valdecir de Assis Janase, Hardy Jost, que contribuíram em diversas etapas para o desenvolvimento da presente tese.

À Dra. Rosa Maria Bello pelas extensas discussões no campo das inclusões fluidas.

Ao Professores Steffen Hagemann e Peter Neumyer, além de outros colegas do *Centre for Global Metalogeny* da *University of Western Australia*, pela colaboração e profissionalismo durante a etapa de trabalho no exterior.

Reitero agradecimento a Professores anteriormente mencionados e ainda aos Professores Sílvio Vlach, José Noberto Calegari, Gergely A. J. Szabo que contribuíram de diversas formas para os vários estágios de evolução no presente trabalho.

Aos companheiros da Pós-Graduação Rosana Peporini e Éder Luís Santo, Paulo Beljavskis, Gilson Burigo Guimarães, Iede Terezinha Zolinger, Lucelene Martins (Vaudemar), Luiz Gustavo Gallo Vilela (Troglô), Fernando Camargo Feitas (Pobrema),

Carmen Nunes (Xitah), Flávio Carvalho (flavioms@), Fernando Pellegrini Spinelli, Annabel Pérez Aguilar (Coca), Rafael Hernandez Correa (Apum) e Tathiana Benavides, Gaston, Gustavo Correa de Abreu (Torrinha), Elias Casimiro Nkuanga, Artur Deodato Alves (Metanol), Paulo César Corrêa da Costa, Yuri Garin.

Aos técnicos do Instituto de Geociências que em todas as vezes se mostraram extremamente prestativos: Rosa M. Bello (Inclusões Fluidas), Marcos de Souza Nascimento (Microsonda Eletrônica), Flávio Carvalho (Raio X), Angélica D. M. Morente (Microscopia), Isaac (Microscopia Eletrônica), Paulo (Lab. Preparação de Amostras), Paulo (Lab. de Confecção de Lâminas p/ Microsonda), Sandra e equipe (Química), Cláudio Hopp e equipe (laminação) e outros igualmente importantes.

Aos funcionários do IG-USP que ajudaram diariamente nas etapas do trabalho: Ana Paula Cabonal e Magali P. F. Riso (Secretaria de Pós-Graduação), Sônia G. C. Vieira e Valéria Cristina de S. R. Santos (Secretaria do GMG), Dionísio Tadeu de Azevedo (Secretaria da Pós-Graduação), Maristela P. Severino, Érica Celeste do Nascimento, Brenda Maria Mascarenhas e Maria Aparecida Bezerra (Biblioteca).

RESUMO

As mineralizações do Corpo IV e V da estrutura IV do *Greenstone Belt* de Crixás estão encaixadas em metassedimentos carbonosos da Formação Ribeirão das Antas dentro do Grupo Crixás.

As estruturas estudadas revelaram que os corpos com teores econômicos de ouro são núcleos relativamente preservados pelo cisalhamento brasileiro, ou seja apenas a geometria dos corpos de minério é controlada pelos *shear zones*, segundo um padrão “S/C”. Desta maneira propõe-se que a formação dos corpos IV e V mineralizados em ouro tenham se formado em zonas de cisalhamento paleoproterozóicas, conforme datações realizadas por trabalhos anteriores, e que os mesmos tenham sido reorientados e desmembrados pelas zonas de cisalhamento no ciclo Brasileiro.

As relíquias de estruturas sedimentares da Formação Ribeirão das Antas indicam ambiente deposicional marinho, provavelmente bastante oxigenado, próximo a margens continentais ativas.

Os estudos petrográficos permitiram determinar diversas associações relacionadas à alterações hidrotermais, particularmente das gerações de porfiroblastos metamórficos de granada almandínica, Fe-tschermakita, cloritóide e arsenopirita, que devem representar o pico metamórfico, ao qual se sucedeu a mineralização de sulfetos e ouro.

A química dos minerais do corpo IV revelou grandes semelhanças com os minerais de alteração hidrotermal relacionadas das zonas mineralizadas na Mina III, sugerindo que o conjunto faz parte de um mesmo evento metalogenético. As análises permitiram ainda a caracterização dos tipos de alteração relacionados à mineralização de ouro como propilitização, sericitização, albitização, carbonatização, turmalinização, sulfetização, epidotização, silicificação, dispostos na forma de halos aproximadamente concêntricos. Estes halos são reconhecíveis apenas quando os mesmos não foram obliterados pelo evento neoproterozóico. Também foi possível ainda determinar as condições geotermobarométricas para os pares granada-biotita, que ocorrem no núcleo da alteração hidrotermal, revelando condições de T e P variando de 430 a 580°C e 5,7 a 8,3 kbar, respectivamente.

As diferentes estruturas tectônicas associam-se a quatro sistemas de veios de quartzo, denominados Q-IV1, Q-IV2, Q-IV3 e Q-IV4. Dentre estes veios, os mais antigos (Q-IV1 e Q-IV2) são pré-neoproterozóicos. A mineralização principal de ouro e sulfetos, entretanto,

relaciona-se com o segundo sistema de veios (Q-IV2), mas ocorreu imediatamente após a precipitação de quartzo. Esta afirmação é reforçada pelos resultados microtermométricos de inclusões fluidas em quartzo contido na lineação mineral e de estiramento ($L_{m/e3}$), que representa o paleo-conduto da mineralização de sulfetos e ouro, com características do fluido e isócoras idênticas às encontradas nas inclusões fluidas do veio de quartzo Q-IV2. Os veios seguintes têm, neste contexto, apenas o papel de remobilização do Au, geralmente precipitado sob a forma livre. A microtermometria de inclusões fluidas revelou variações significativas nas características dos fluidos e das isócoras, permitindo enquadrá-los nos diversos eventos que acometeram as rochas desse pacote. O cruzamento das isócoras relacionadas aos veios de quartzo Q-IV2 e a geotermobarometria mostrou que os mesmos cristalizaram no final do evento D3, imediatamente após a formação dos porfiroblastos metamórficos. Tanto a análise dos dados de microtermometria (faixas mais largas das isócoras extremas, diagrama $ThCO_2$ versus $TfCO_2$, trilhas de inclusões com fortes variações nas relações volumétricas), assim como diversas feições petrográficas indicaram fortes indícios da existência de processos de imiscibilidade e/ou mistura que seriam responsáveis pela precipitação de sulfetos e ouro.

As observações realizadas, particularmente as altas pressões derivadas da geotermobarometria, indicam que a mineralização nos Corpos IV e V é epitermal, podendo chegar a hipotermal, com fortes vínculos metamórficos ocorridos em condições de fácies xisto verde superior à anfibolito inferior.

Para a realização do estudo petrográfico foi elaborado um programa de computação baseado em *softwares* de baixo custo, que permitiram que o banco de dados petrográfico fosse vinculado a um sistema vetorial de posicionamento. Isso resultou em uma melhor organização dos dados para as interpretações e mostrou que não são necessárias ferramentas de informática altamente dispendiosas para esse tipo de processamento.

ABSTRACT

The mineralizations of ore bodies IV and V of the structure IV of the Greenstone Belt from Crixás are part of the carbonaceous metasediments of the Ribeirão das Antas Formation in the Crixás group.

The studied structures revealed that the bodies with economic quantities of gold are relatively preserved boudins from the Brasiliano shear event, in other words, the geometry of the ore bodies is controlled mainly by the shear zones, according to a "S/C" pattern. In this way it is proposed that the formation of the bodies IV and V mineralized in gold took place in Paleoproterozoic shear zones, according to age determinations accomplished by previous authors, and that these bodies have been only reoriented and dismembered by the shear zones in the Brasiliano cycle.

The relicts of sedimentary structures of the Ribeirão das Antas Formation indicate a marine depositional environment, probably highly oxygenated and close to active continental margins.

The petrographic studies allowed to determine several associations related to hydrothermal alterations, particularly generations of metamorphic porphyroblasts of almandine garnet, Fe-tschermakite, chloritoid and arsenopyrite that should represent the metamorphic peak conditions, to which the sulfide and gold mineralizations are related.

The mineral chemistry of the ore body IV revealed great similarity with the chemistry of the hydrothermal alteration minerals related to the mineralized zones of Mina III, suggesting that the group is part of a same metalogenetic event. The analyses allowed the characterization of the alteration types related to the mineralization of gold as propylization, sericitization, albitization, carbonatization, turmalinization, sulfetization, epidotization and silicification, arranged approximately in the form of concentric haloes. These haloes are only recognizable when the ore bodies were not obliterated by the neoproterozoic event. It was also possible to determine the geothermobarometric conditions for the garnet-biotite pairs, considered as the core of the hydrothermal alteration and revealing conditions of T and P between 430 to 580°C and 5,7 to 8,3 kbar, respectively.

The different tectonic structures may be associated to four quartz veins systems, denominated Q-IV1, Q-IV2, Q-IV3 and Q-IV4. Of these, the oldest (Q-IV1 and Q-IV2) are older than the Neoproterozoic. The main mineralization of gold and sulfides, however, links up with the

second system of veins (Q-IV2), immediately after the precipitation of quartz. This statement is reinforced by microthermometric results in fluid inclusions of quartz related to mineral lineation and stretching ($L_{m/e3}$), that represent the paleo-conduit of the sulfides and gold mineralization, with identical chemical characteristics of the fluid and isochores as in the fluid inclusions of the quartz vein Q-IV2. The following generations of veins have, in this context, only the role of remobilization of Au, generally precipitated as a elemental phase. The microthermometry of fluid inclusions revealed significant variations in the chemical characteristics of the fluids and of the slopes of the isochores, allowing to recognize at last three events that affected these rocks. The crossing of the isochores related to the fluid inclusions of the quartz vein Q-IV2 and the geothermobarometric results showed a crystallization at the end of the D3 event, immediately after the formation of the metamorphic porphyroblasts. The analysis of the microthermometric data (wider gaps of the extreme isochores, diagram Th_{CO_2} versus Tf_{CO_2} , trails of inclusions with strong variations in the volumetric relationships), as well as several petrographic features showed strong indications of the existence of immiscibility and/or mixing processes that would be responsible for the sulfide and gold precipitation.

The experimental observations, particularly the high derived pressures of the geothermobarometry, indicate that the mineralization of the ore bodies IV and V are epithermal to hypothermal, with strong metamorphic links and they formed in conditions of upper greenschist to lower amphibolite facies.

To facilitate the petrographic study, a new program was elaborated based on low cost softwares, that allowed the petrographic database to link to a vectorial system of positioning. This allowed a better organization of the data for the interpretations and it showed that there is no need of expensive software tools for this kind of petrographic data processing.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I OBJETIVOS, LOCALIZAÇÃO E MÉTODOS

INTRODUÇÃO	001
1 OBJETIVOS	001
2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ACESSOS	002
3 MÉTODOS	003
3.1 Amostragem e Nomenclatura de Amostras	003
3.2 Petrografia	004
3.3 Coloração Seletiva	005
3.4 Cátodo-Luminiscência	005
3.5 Microscópio Eletrônico de Varredura	006
3.6 Microsonda Eletrônica	006
3.7 Geotermobarometria (TWQ)	007
3.8 Microtermometria (IG-USP)	007
3.9 Microtermometria (CGM/UWA)	007
3.10 Laser-Raman	008
3.11 Microtermometria em Minerais Opacos com o Auxílio de Infravermelho	008
3.12 Raios-X	009
3.13 Tratamento de Dados Estruturais	010

CAPÍTULO II GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

INTRODUÇÃO	011
1 HISTÓRICO PROSPECTIVO REGIONAL	011
2 GEOLOGIA DA REGIÃO DE CRIXÁS	012
3 ORIGEM E EVOLUÇÃO DOS <i>GREENSTONE BELTS</i> DE GOIÁS	018
4 O <i>GREENSTONE BELT</i> DE CRIXÁS	019
5 DESCRIÇÃO DAS ZONAS DE MINÉRIO CORPO IV E V	027
5.1 Corpo IV	027
5.2 Corpo V	028
6 ZONA DE ALTERAÇÃO RELACIONADA AOS CORPOS DE MINÉRIO	030
7 BRECHAMENTO RELACIONADO AOS CORPOS DE MINÉRIO	031

CAPÍTULO III PETROGRAFIA E BANCO DE DADOS PETROGRÁFICO

INTRODUÇÃO	035
1 FÁCIES VULCANOSSEDIMENTAR	036
2 FÁCIES TERRÍGENA	039
3 FÁCIES DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL	049
3.1 Evento D1	050
3.2 Evento D2	050
3.3 Evento D3	052
3.4 Evento D4	056

3.5	Halos de alteração no Corpo IV	056
4	PETROGRAFIA DOS MINERAIS OPACOS (SULFETOS E OURO)	061
4.1	Sulfetos	061
4.2	Ouro no Corpo IV	065
4.3	Cronologia relativa das fases de sulfetos e ouro no Corpo IV	071
5	MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NA REGIÃO DE CRIXÁS	071
6	TRANSPORTE DE OURO EM SOLUÇÕES HIDROTERMAIS	074
7	BANCO DE DADOS	076

CAPÍTULO IV

QUÍMICA MINERAL E GETERMOBAROMETRIA

INTRODUÇÃO	082
1 CORPO IV E ADJACÊNCIAS	083
2 METABÁSICAS	089
3 ZONA DAS METABÁSICAS HIDROTERMALIZADAS	091
4 ZONA SUPERIOR DA MINA III	095
5 ZONA INTERMEDIÁRIA DA MINA III	100
6 ZONA INFERIOR DA MINA III	106
7 GEOTERMOBAROMETRIA	111

CAPÍTULO V

VEIOS DE QUARTZO E INCLUSÕES FLUIDAS

INTRODUÇÃO	117
1 PETROGRAFIA DOS VEIOS DE QUARTZO	118
1.1 Veios de quartzo da primeira geração no Corpo IV (Q-IV1)	119
1.2 Veios de quartzo da segunda geração no Corpo IV (Q-IV2)	124
1.3 Veios de quartzo da terceira geração no Corpo IV (Q-IV3)	124
1.4 Veios de quartzo da quarta geração no Corpo IV (Q-IV4)	129
2 INCLUSOES FLUIDAS NOS VEIOS E MINERAIS DO CORPO IV	131
2.1 Inclusões fluidas nos veios da primeira geração (Q-IV1)	131
2.1.1 Carbônicas (Tipo 1c)	131
2.1.2 Aquo-carbônicas (Tipo 1ac)	131
2.1.3 Aquosas (Tipo 1a)	132
2.2 Inclusões fluidas nos veios da segunda geração (Q-IV2)	132
2.2.1 Aquo-carbônicas (Tipo 2ac)	134
2.3 Inclusões fluidas nos veios da terceira geração (Q-IV3)	134
2.3.1 Carbônicas (Tipo 3c)	134
2.3.2 Aquo-carbônicas (Tipo 3ac)	134
2.4 Inclusões fluidas nos veios da quarta geração (Q-IV4)	137
2.4.1 Carbônicas (Tipo 4c)	137
2.4.2 Aquo-carbônicas (Tipo 4ac)	137
2.5 Resumo dos tipos composicionais das inclusões fluidas	139
3 MICROTERMOMETRIA	142
3.1 Veios de quartzo da primeira geração no Corpo IV (Q-IV1)	143
3.1.1 Inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias (sistema CO ₂ + CH ₄)	144
3.1.2 Inclusões pseudo-secundárias e secundárias (sistema H ₂ O+CO ₂ + CH ₄ +sais)	146

3.2	Veios de quartzo da segunda geração no Corpo IV (Q-IV2).....	150
3.2.1	Inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias (sistema $H_2O+CO_2 + CH_4$ +sais)	150
3.3	Veios de quartzo da quarta geração no Corpo IV (Q-IV4).....	153
3.3.1	Inclusões primárias (sistema $CO_2 + CH_4$)	154
3.3.2	Inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias (sistema $H_2O+CO_2 + CH_4$ +sais)	155
3.4	Quartzo na $L_{m/e3}$ com pirrotita do Corpo IV	159
3.5	Diagramas $ThCO_2$ x $TfCO_2$ para as gerações de veios e $L_{m/e3}$	163
3.6	Isócoras.....	168
3.6.1	Veio de quartzo da primeira geração (Q-IV1)	168
3.6.2	Veio de quartzo da segunda geração (Q-IV2).....	172
3.6.3	Veio de quartzo da quarta geração (Q-IV4).....	173
3.6.4	Quartzo na $L_{m/e3}$	178

CONCLUSÕES PARCIAIS

CONCLUSÕES PARCIAIS	179
---------------------------	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187
----------------------------------	-----

VITA

VITA

ANEXOS

ANEXO I – PERFIL E-W (ENVELOPE NA CONTRA-CAPA)
 ANEXO II – ANÁLISES DE QUÍMICA MINERAL
 ANEXO III – TABELAS MICROTERMOMÉTRICAS

TABELAS

TABELA 1 - Tabela de abreviações minerais de Kretz (1983) adotada, com modificações.004	
TABELA 2 - Dados geocronológicos (traduzido de Jost & Fortes, 2001).	021
TABELA 3 - Estruturas determinadas por Thomson (1991) no <i>greenstone belt</i> de Crixás, caracterizando quatro fases de deformação.	022
TABELA 4 - Resumo dos eventos definidos por Queiroz (1995).	023
TABELA 5 - Resumo das principais feições evolutivas do <i>greenstone belt</i> de Crixás.	025
TABELA 6 - Veios de quartzo nas zonas mineralizadas do Corpo IV e V.	029

TABELA 7 - Zonas de alteração hidrotermal relacionadas aos Corpos IV e V.....	030
TABELA 8 - Correlação das nomenclaturas de rochas utilizadas para a Formação Rio Vermelho e Ribeirão das Antas.....	035
TABELA 9 - Relações de blastese determinadas para as rochas da Fácies Vulcanossedimentar.	038
TABELA 10 - Relações de blastese determinadas para a Fácies Terrígena, com as alterações e inclusões minerais constatadas ópticamente. A numeração das várias fases minerais se refere ao evento e não ao número de fases encontradas.....	048
TABELA 11 - Relações de blastese determinadas para as assembléias de alteração hidrotermal. A numeração das várias fases minerais se refere ao evento e não ao número de fases encontradas.....	056
TABELA 12 - Valores médios, mínimos e máximos de <i>gold fineness</i> para as zonas mineralizadas da Mina III segundo Fortes <i>et al.</i> (2000) em comparação com dados de análises obtidos para o Corpo IV (amostra IV-23-51) neste trabalho.	066
TABELA 13 - Cronologia relativa dos sulfetos e ouro no Corpo IV. O processo recorrente de precipitação da pirrotita com calcopirita e ouro é representado pela repetição das elipses, sem referência direta ao número de ciclos. A espessura das elipses representa aproximadamente a abundância relativa dos minerais.	071
TABELA 14 - Amostras com fases minerais submetidas a análises com auxílio da microsonda eletrônica de varredura.	082
TABELA 15 - Tipos composicionais das inclusões fluidas para cada veio no Corpo IV.	141
TABELA 16 - Relação de amostras submetidas a medições microtermométricas., com as páginas referidas ao ANEXO 4, onde IF = inclusão fluida, P = primária, PS = pseudo-secundária e S = secundária.	143
TABELA 17 - Resultado de análises espectroscópica com o auxílio de Laser-Raman no Q-IV1.	144
TABELA 18 - Resultado de análises espectroscópica com o auxílio de Laser-Raman no Q-IV2.	150
TABELA 19 - Resultado de análises espectroscópica com o auxílio de Laser-Raman no Q-IV4.	154

FIGURAS

FIGURA 1 – Localização de Crixás (modificado de Yamaoka & Araújo, 1988).....	003
FIGURA 2 – Mapa geológico de Crixás (cedido pela Mineração Serra Grande).....	017
FIGURA 3 – (A) Estereograma sinóptico da foliação S_4 (mergulho para SW) e S_{m3} (mergulho para NW) com medidas restritas ao Corpo IV e na galeria entre Corpo IV e V. (B) Esterograma sinóptico da foliação S_4 (mergulho para SW) e S_{m3} (mergulho para NW) ao longo da galeria de acesso ao Corpo IV. (C) Estereograma sinóptico da lineação mineral/de estiramento ($L_{m/e3}$) no Corpo IV e na galeria entre Corpo IV e V, que representa os eixos de boudins e lineação mineral da pirrotita principalmente. (D) Estereograma sinóptico da $L_{m/e3}$ ao	

longo da galeria de acesso ao Corpo IV, que representa os eixos de boudins e lineação mineral, principalmente da pirrotita.....	025
FIGURA 4 – (A) Estereograma sinóptico da superfície “e” com medidas do Corpo IV e da galeria de acesso ao Corpo IV. (B) Estereograma sinóptico dos eixos de dobras no Corpo IV (vermelho) e ao longo da galeria de acesso ao Corpo IV (preto), coincidentes com ($L_{m/e3}$). (C) Esterograma de contatos tectônicos reconhecidos ao longo da galeria de acesso ao Corpo IV, correlacionáveis à S_4 onde, azul = contato dolomita com clorita-xisto, cinza = contato dolomita com xisto carbonoso, verde = contato clorita-xisto com xisto carbonoso.....	026
FIGURA 5 – Ilustração esquemática do mecanismo de brechamento assistido por fluidos em depósitos de veios hidrotermais (A) e a geometria resultante das brechas (B), segundo Jébrak (1997).....	032
FIGURA 6 – Difrátograma de um clasto de xisto MCAR na amostra IV-22-11218 mostrando sua composição predominante de fluorapatita (28,4%), além de quartzo, carbonatos, pirrotita, flogopita e clinocloro.....	045
FIGURA 7 – Modelo com as zonas de alteração hidrotermal determinadas no Corpo IV. Ocorrem variações neste modelo em função da intensidade da alteração hidrotermal, do tipo de rocha encaixante e da proximidade com zonas de cisalhamento neoproterozóicas.....	058
FIGURA 8 – Relação Au versus Ag do Corpo IV (amostra IV-22-17905) na borda do veio de quartzo com xisto MCAR (5 análises) em comparação com as análises obtidas por Fortes <i>et al.</i> (2000) da zona de minério inferior na Mina III em veio de quartzo.	066
FIGURA 9 – Tela de entrada do banco de dados petrográfico em programado em ACCESS 97.	078
FIGURA 10 – Tela de entrada de dados petrográficos fornecidos pela MSG e descrições macroscópicas de amostras colhidas no presente estudo.....	079
FIGURA 11 – Tela de entrada de dados petrográficos das descrições de lâminas delgadas de amostras colhidas no presente estudo.....	080
FIGURA 12 – Diagramação em 3 dimensões dos testemunhos de sondagem estudados, em vermelho, e a base topográfica da galeria de acesso ao Corpo IV, em azul. A direção real dos testemunhos de sondagem foi obtida com a entrada dos dados de medição com auxílio do Topari fornecidos pela MSG.....	080
FIGURA 13 – Recorte de uma das formas de relatório gerado pelo AUTOCAD com dados do banco ACCESS, relacionando diversas informações das amostras analisadas dos testemunhos de sondagem (linha subvertical) e com a superposição da galeria de acesso ao Corpo IV (linha com valores em metros a partir do início da galeria de acesso ao Corpo IV).	081
FIGURA 14 – Diagrama de classificação química da biotita nas amostras G-IV-002, IV-22-16303, IV-22-17695, IV-22-17905 e K59-19435 (39 análises).	085
FIGURA 15 – Diagrama de classificação química da sericita nas amostras G-IV-002, IV-22-16303, IV-22-17695, IV-22-17905 e K59-19435 (23 análises).	086
FIGURA 16 – Diagrama de classificação químical da clorita nas amostras IV-22-16303 e K59-19435 (4 análises).....	086
FIGURA 17 – Diagrama de classificação química do feldspato nas amostras G-IV-002, IV-22-16303, IV-22-17695 e IV-22-17905 (34 análises).	087
FIGURA 18 – Diagrama de classificação química da granada na amostra IV-22-16303 (24 análises).	088

FIGURA 19 – Perfis analíticos para Mg + Mn, Fe e Ca em granada da amostra IV-22-16303.	088
FIGURA 20 – Diagrama de classificação química do carbonato nas amostras IV-22-16303, IV-22-17695, IV-22-17905 e K59-19435 (24 análises).	089
FIGURA 21 – Diagrama de classificação química do anfibólio na amostra IV-22-01914 (20 análises). A seta indica a direção composicional do núcleo para a borda dos cristais.	090
FIGURA 22 – Diagrama de classificação química do feldspato na amostra IV-22-01914 (8 análises). A seta indica a direção composicional do núcleo para a borda dos cristais.	090
FIGURA 23 – Diagrama de classificação química da clorita na amostra IV-22-01914 (3 análises).	091
FIGURA 24 – Diagrama de classificação química da biotita na amostra K59-29280, K59-34143 e K49-19790 (5 análises).	092
FIGURA 25 – Diagrama de classificação química da sericita na amostra K59-34143 (3 análises).	093
FIGURA 26 – Diagrama de classificação química da clorita na amostra K59-29280, K59-34143 e K49-19790 (16 análises).	093
FIGURA 27 – Diagrama de classificação química do feldspato na amostra K59-29280, K59-34143 e K49-19790 (18 análises).	094
FIGURA 28 – Diagrama de classificação química do carbonato nas amostras K59-29280, K59-34143 e K49-19790 (19 análises).	095
FIGURA 29 – Diagrama de classificação química da sericita e margarita na amostra K49-26274 (7 análises).	096
FIGURA 30 – Diagrama de classificação química da clorita na amostra K49-26274 (8 análises).	097
FIGURA 31 – Diagrama de classificação química da granada metamórfica na amostra K49-26274 (10 análises).	098
FIGURA 32 – Diagramas do perfil das análises de química mineral em um cristal de granada metamórfica na amostra K49-26274 (10 análises).	098
FIGURA 33 – Diagrama de classificação química do anfibólio metamórfico na amostra K49-26274 (9 análises).	099
FIGURA 34 – Diagrama de classificação química do carbonato na amostra K49-26274 (8 análises).	099
FIGURA 35 – Diagrama de classificação química da biotita nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040 (38 análises).	101
FIGURA 36 – Diagrama de classificação química da sericita nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040 (22 análises).	102
FIGURA 37 – Diagrama de classificação química da clorita nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-22755 (29 análises).	102
FIGURA 38 – Diagrama de classificação química do feldspato nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040 (51 análises).	103
FIGURA 39 – Diagrama de classificação química do carbonato nas amostras K59-38571, K59-38578, K03-22755 e K03-23040 (36 análises).	104

FIGURA 40 – Diagrama de classificação química da granada nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-22755 (89 análises).	105
FIGURA 41 – Perfis analíticos da granada: à esquerda da amostra K59-38578 sem mineralização e à direita da amostra K03-22755 com mineralização. Notar que os diagramas da direita abrangem apenas um perfil do núcleo para a borda.	105
FIGURA 42 – Diagrama de classificação química da biotita nas amostras K49-39614 e K49-39664 (27 análises).....	107
FIGURA 43 – Diagrama de classificação química da sericita nas amostras K49-39614 e K49-39664 (27 análises).....	107
FIGURA 44 – Diagrama de classificação química da clorita nas amostras K49-39614 e K49-39664 (3 análises).....	108
FIGURA 45 – Diagrama de classificação química do feldspato nas amostras K49-39614 e K49-39664 (41 análises). As setas indicam variação química do núcleo para borda nas duas amostras.....	108
FIGURA 46 – Diagrama de classificação química do carbonato nas amostras K49-39614 e K49-39664 (12 análises).....	109
FIGURA 47 – Diagrama de classificação química do anfíbólio nas amostras K49-39614 e K49-39664 (21 análises).....	109
FIGURA 48 – Diagrama de classificação química da granada nas amostras K49-39614 e K49-39664 (20 análises).....	110
FIGURA 49 – Perfis analíticos da granada: à esquerda da amostra K49-39614 sem mineralização e com desenvolvimento em atol e à direita da amostra K49-39614 com maior conteúdo na molécula piropro. Notar que os diagramas abrangem apenas um perfil do núcleo para a borda.	111
FIGURA 50 – Diagramas de equilíbrio de fases para a amostra K59-38571a com análises de núcleos a esquerda e borda a direita.....	113
FIGURA 51 – Diagramas de equilíbrio de fases para a amostra K59-38571b com análises de núcleos à esquerda e borda a direita.....	114
FIGURA 52 – Diagramas de equilíbrio de fases para a amostra K49-39664 com análises de núcleos a esquerda e borda a direita.....	115
FIGURA 53 – Diagrama de equilíbrio de fases da amostra K49-39664 com análises de núcleos dos minerais.....	116
FIGURA 54 – A parte superior esquerda mostra a imagem geral da amostra CIV-G019-V1 do Q-IV1 em contato com o xisto carbonoso da encaixante dobrado (evento D3). O detalhe na parte superior direita mostra as zonas onde os fluidos com sulfetos afetaram mais o veio de quartzo, gerando regiões mais leitosas, de cor amarronzada. No recorte ampliado da última imagem pode ser visto como a pirrotita tardia, controlada pela lineação mineral e de estiramento ($L_{m/e3}$), é “injetada” no veio de quartzo. Tanto a partir do veio de pirrotita no quartzo como do contato da encaixante ocorrem zonas permeadas pelos fluidos, gerando zonas de “alta influência” quando há um escurecimento pronunciado do quartzo pelas inclusões fluidas, principalmente pela pirrotita. Abreviações conforme TABELA 1.	123
FIGURA 55 – Histograma das temperaturas de fusão do CO_2 para inclusões do sistema CO_2+CH_4 do Q-IV1, onde P = primária, PS = pseudo-secundária e S = secundária.....	145

FIGURA 56 – Diagrama X_{CO_2} versus X_{CH_4} para inclusões do sistema CO_2+CH_4 do Q-IV1.	145
FIGURA 57 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 nas IF carbônicas do Q-IV1.	146
FIGURA 58 – Temperaturas de fusão do CO_2 de IF aquo-carbônicas no Q-IV1.	146
FIGURA 59 – Temperaturas de homogeneização para as IF aquo-carbônicas do Q-IV1.	147
FIGURA 60 – Temperaturas do eutético para as IF aquo-carbônicas do Q-IV1.	148
FIGURA 61 – As altas salinidades referem-se à amostra 19_21, que contém cristais de saturação de halita, sendo as mesmas calculadas pela dissolução do sal.	148
FIGURA 62 – Temperaturas de homogeneização total para IF do Q-IV1 pseudo-secundárias aquo-carbônicas.	149
FIGURA 63 – Diagrama temperatura de homogeneização total versus temperatura de dissolução do NaCl (Amostra 19_21).	150
FIGURA 64 – Temperaturas de fusão do CO_2 de IF aquo-carbônicas no Q-IV2.	151
FIGURA 65 – Diagrama X_{CO_2} versus X_{CH_4} para inclusões do sistema CO_2+CH_4 do Q-IV2.	151
FIGURA 66 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 nas IF aquo-carbônicas do Q-IV2.	151
FIGURA 67 – Temperaturas do eutético para as IF aquo-carbônicas do Q-IV1.	152
FIGURA 68 – Porcentagem em peso de NaCl equivalente para amostras do Q-IV2, sendo que a amostra primária apresenta um valor estimado de salinidade ($>26\%$), uma vez que não foi possível determinar a Td_{NaCl} .	152
FIGURA 69 – Temperaturas de homogeneização total para IF do Q-IV2 aquo-carbônicas.	153
FIGURA 70 – Temperaturas de fusão do CO_2 de IF carbônicas primárias no Q-IV4.	154
FIGURA 71 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 nas IF carbônicas primárias do Q-IV4.	155
FIGURA 72 – Temperaturas de fusão do CO_2 de IF aquo-carbônicas no Q-IV4 para quartzo, apatita e siderita. O símbolo “~” representa uma faixa de temperaturas sem a presença de medidas.	155
FIGURA 73 – Diagrama X_{CO_2} versus X_{CH_4} para inclusões do sistema aquo-carbônico do Q-IV4.	156
FIGURA 74 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 nas IF aquo-carbônicas do Q-IV4.	157
FIGURA 75 – Temperaturas do eutético para as IF aquo-carbônicas do Q-IV4.	157
FIGURA 76 – Porcentagem em peso de NaCl equivalente para IF aquo-carbônicas do Q-IV4.	158
FIGURA 77 – Temperaturas de homogeneização total para IF aquo-carbônicas do Q-IV4.	158
FIGURA 78 – Diagrama V_{CO_2} x T_{htot} para IF aquo-carbônicas do Q-IV4, compondo a curva de imiscibilidade.	159
FIGURA 79 – Temperaturas de fusão do CO_2 de IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$.	160

- FIGURA 80 – Diagrama $X\text{CO}_2$ versus $X\text{CH}_4$ de IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$ 160
- FIGURA 81 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 de IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$ 161
- FIGURA 82 – Temperaturas do eutético das IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$ 161
- FIGURA 83 – Salinidade nas IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$ 162
- FIGURA 84 – Temperaturas de homogeneização total nas IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$ 162
- FIGURA 85 – Diagrama TfCO_2 - ThCO_2 : (A) Q-IV1 IFP carbônicas, (B) Q-IV1 IFPS carbônicas, (C) Q-IV1 IFS carbônicas, (D) Q-IV1 IFPS aquo-carbônicas. Os números representam associações de IFs relacionados a amostras de cada geração de veios de quartzo. 165
- FIGURA 86 – Diagrama TfCO_2 - ThCO_2 : (A) Q-IV1 IFS aquo-carbônicas, (B) Q-IV2 IFPS aquo-carbônicas, (C) Q-IV2 IFS aquo-carbônicas, (D) Q-IV4 IFP carbônicas. Os números representam associações de IFs relacionados a amostras de cada geração de veios de quartzo. 166
- FIGURA 87 – Diagrama TfCO_2 - ThCO_2 : (A) Q-IV4 IFP aquo-carbônicas em quartzo (12_01A), apatita (26_01AP), quartzo intimamente associado a siderita (73_04Q C/ SID) e siderita (73_05 SID), (B) Q-IV4 IFPS aquo-carbônicas no quartzo (12_01C) e 73_12A) e no quartzo intimamente relacionado a siderita (73_4Q C/ SID), (C) Q-IV4 IFS aquo-carbônicas, (D) IV-22 IFP aquo-carbônicas. Os números representam associações de IFs relacionados a amostras de cada geração de veios de quartzo. 167
- FIGURA 88 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões primárias carbônicas do Q-IV1. (Os valores de Th referem-se às temperaturas de homogeneização do CO_2). 168
- FIGURA 89 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões pseudo-secundárias carbônicas do Q-IV1. (Th = ThCO_2). 169
- FIGURA 90 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões secundárias carbônicas do Q-IV1. 169
- FIGURA 91 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias carbônicas do Q-IV1. 170
- FIGURA 92 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões secundárias aquo-carbônicas do Q-IV1. (d = densidade total do fluido). 170
- FIGURA 93 – Amostra 19_21 apresentando isócoras relativas à inclusões com variações de volumes, alta salinidade (>30%), calculado pelo Bakker (2003, programas Bulk e Isoc). (d = densidade total do fluido). 171
- FIGURA 94 – Isócoras relativas aos termos extremos das inclusões com altas variações em VCO_2/Vtot . (0,1 a 0,95) e em salinidade. 172
- FIGURA 95 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas da inclusão primária e das pseudo-secundárias aquo-carbônicas do Q-IV2 com os dados de Th_{tot} e os resultados geotermobarométricos (d = densidade total do fluido). 173

FIGURA 96 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões secundárias aquo-carbônicas do Q-IV2. (d = densidade total do fluido).....	173
FIGURA 97 – Isócoras relativas às temperaturas de homogeneização do CO ₂ extremas, obtidas de inclusões primárias carbônicas no quartzo do Q-IV4.....	174
FIGURA 98 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões primárias aquo-carbônicas no quartzo do Q-IV4 (d = densidade total do fluido).	174
FIGURA 99 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões primárias aquo-carbônicas em apatita do Q-IV2 (d = densidade total do fluido).....	175
FIGURA 100 – Isócoras relativas aos termos extremos das inclusões pseudo-secundárias, com variações em VCO ₂ /Vtot. (0,4 a 0,8), em quartzo do veio Q-IV4 (d = densidade total do fluido).	176
FIGURA 101 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões secundárias aquo-carbônicas em quartzo do Q-IV4 (d = densidade total do fluido).....	176
FIGURA 102 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas nas inclusões primárias aquo-carbônicas na siderita e nas primárias e pseudo-secundárias aquo-carbônicas em quartzo diretamente relacionado ao carbonato do Q-IV4 (d = densidade total do fluido).	177
FIGURA 103 – Isócoras relativas às inclusões fluidas primárias aquo-carbônicas no quartzo da L _{m/e3}), mostrando as condições de T e P mínimas de aprisionamento (d = densidade total do fluido).	178
FIGURA 104 – Diagrama P-T onde são apresentadas as áreas de possível formação das gerações de veios de quartzo estudadas, com base nos estudos microtermométricos em inclusões fluidas. As setas indicam trajetórias prováveis da evolução dos fluidos. A área de formação do veio Q-IV2 foi sobreposta com os resultados geotermobarométricos, zona essa onde ocorreu a formação dos porfiroblastos metamórficos, principalmente no núcleo da alteração porfílica.	186

PRANCHAS DE FOTOGRAFIAS

PRANCHA 1 - Estrutura brechada nos corpos mineralizados: (A) e (B) Corpo IV; (C) e (D) Corpo V; (E) e (F) Zona Inferior (Mina III).	033
PRANCHA 2 - (A) – Imagem da amostra K59-34143 da lâmina delgada (5x3cm) submetida aos estudos petrográficos e de análise com auxílio de EDS. Os números representam os círculos nos quais foram realizadas análises. A matriz cinza é sericítico/feldspática, com venulações de cloritóide em verde. Em meio a massa sericítico/feldspática ocorrem porfiroblastos de cloritóide, parcialmente decompostos pela cloritização/carbonatização, provavelmente neoproterozóica. (B) Círculo C1 da amostra K59-34143 com cloritóide fraturado. Notar a muscovita fina na matriz (MS1) e muscovita mais grossa (MS3) marcando o reflexo da fratura do porfiroblasto de cloritóide através da matriz. (C) Diagrama da imagem (B) indicando as diversas fases de cristalização dos pares clorita/carbonato sugerindo três pulsos de alteração/preenchimento.....	034
PRANCHA 3 - Ilustração da sequência de formação e destruição dos “nódulos carbonosos”: (A) a evolução da crenulação S _{m3} separou zonas apicais de dobras de material carbonoso; (B) o avanço da intensidade de cisalhamento gerou o “nódulo”; (C) “nódulos” desenvolvidos e já com princípio de deformação; (D), (E) e (F) sequência de destruição da estrutura de acordo com a intensidade do cisalhamento relacionado ao evento D4.	042

- PRANCHA 4 - (A) Corte perpendicular a foliação principal mostrando o estiramento de veios de quartzo dobrados e de nódulos carbonosos, segundo a $L_{m/e3}$ (bloco de amostra com 5 x 3 cm), (C) brecha de quartzo com foliação dobrada marcada por material carbonoso (S_1) em meio a matriz predominantemente sericítica dominado pela foliação S_{m3} (amostra IV-22-18076), (D) brecha com material carbonoso rotacionado, preservando parcialmente a foliação S_1 , (E) brecha angulosa de quartzo com sombras de pressão, (F) brecha carbonática/carbonosa estirada apresentado bandamento interno (S_1), (G) clasto carbonático (calcita) com inclusões de ilmenita e plagioclásio (amostra K59-19435).....043
- PRANCHA 5 - (A) Clasto carbonoso analisado com auxílio de raios X (IV-22-16303). (B) Mesma área de (A) com imagem gerada com auxílio da cátodo-luminiscência revela a apatita em verde intenso limitada ao clasto (IV-22-16303). (C) e (D) Ilmenita com deformações provocadas pela crenulação e alterações para rutilo (pseudorutilo?). Ocorre também turmalina associada. (E) ritimito quartzo-carbonático com estruturas primárias bem preservadas. Pode-se reconhecer claramente a alternância de leitos carbonáticos e quartzo-carbonosos (amostra K59-44950). (F) Epidoto radioativo (ver halo plocróico na biotita a direita) alterado com a proximidade do cisalhamento, gerando microcristalizações.046
- PRANCHA 6 - (A) Dolomito brechado (DOLb) no início de estiramento com associação mineral relacionado às alterações do Evento D2 (Amostra K59-09664). (B) Brechas de QTZ-FSP-CAB xisto carbonoso sendo estiradas em uma matriz clorítico-quartzosa com traços de FSP, TUR, MCAR, EP nas proximidades da zona de cisalhamento (Amostra K59-46249). (C) Brechamento do BT-CHL-SE-PL xisto MCAR (Amostra K59-24100). (D) Albitização do BT-CHL-SE-PL xisto carbonoso à esquerda e seu equivalente não alterado à direita, que apresenta como acessórios ainda PO, TUR, RT. Os nódulos carbonosos são preservados durante a albitização e se apresentam bastante estirados no contato evidenciando proximidade da zona de cisalhamento (Amostra K59-19420).....051
- PRANCHA 7 - (A) Zona de desenvolvimento de dobras intrafoliais relacionadas ao evento D3 No topo da amostra ocorre o xisto carbonoso na forma laminada, resultado da evolução da milonitização (S_{m3}) sobre o xisto carbonoso com brechas. Formam-se então dobras intrafoliais certamente devido a resposta ao esforço em função da competência diferenciada. Tais dobras permitem uma entrada maior de associações de alteração como o cloritito com granada, fina e disseminada neste caso. O veio de quartzo no contato das litologias apresenta pirrotita. Ocorrem ainda veios carbonáticos e biotita. (B) Albitização, cloritização e epidotização provavelmente de um protólito xistoso em virtude das dobras S_{m3} preservadas. A matriz é basicamente albita com QTZ como traço e até 5% de epidoto. No canto inferior esquerdo pode ser visto a sobreposição da alteração clorítica com a presença de porfiroblastos euédricos de AMP (Amostra K59-28273). (C) Cloritito contendo veios e porfiroblastos feldspáticos deformados pela milonitização tardia, provavelmente neoproterozóica.....053
- PRANCHA 8 - (A) Em meio a dolomita cinza hidrotermal, sem sinais de brechamento, encontra-se uma relíquia do ritmito brechado (ver PRANCHA 5 E), interpretado como protólito sedimentar, envolto pela alteração dolomítica. Notadamente ocorre uma borda de reação ao redor da relíquia, indicando alteração predominantemente química, relacionada ao Evento D3 (Amostra K59-44950). (B) Brechas de dolomito estirada em meio ao cloritito, com filmes de biotita nas bordas (Amostra K59-32710). (C) Contato do dolomito hidrotermal com relíquias do clorita xisto (CHL2) contendo epidoto, turmalina, biotita e plagioclásio, preservando ainda deformações relacionadas ao Evento D3. O cloritito à esquerda é mais tardio, porém ainda como parte do final do evento D3, que além de porfiroblastos de biotita porta ainda Fe-tschermakita subédrica (Amostra K59-30079).055

PRANCHA 9 - (A) Cristal de muscovita de veio que sofreu carbonatização suave nas interfaces da geminação, que pode ser reconhecido na parte inferior da fotografia (Amostra K59-38571-22). (B) mesma área com alteração carbonática realçada na imagem gerada pela cátodo-luminiscência (Amostra K59-38571-22). (C) O mineral que cobre toda a metade esquerda da fotografia é siderita (SID4) do veio de alteração (Amostra K59-38571-22). (D) A mesma área revela na imagem gerada pela cátodo-luminiscência (Amostra K59-38571-22). (E) Turmalina, provavelmente TUR3 zonada hidrotermal do início do evento D3 em contato com siderita (Amostra K49-19790). (F) A imagem gerada com auxílio da cátodo-luminiscência revela um núcleo carbonático na turmalina, mas que em função do veio carbonático externo sugere uma alteração posterior, provavelmente SID4, do neoproterozóico (Amostra K49-19790).059

PRANCHA 10 - (A) Porfiroblasto de cloritóide com inclusões de ilmenita alinhadas segundo o plano S_1 , que por sua vez está dobrado pelo evento D3 (amostra K-59-3414). (B) Porfiroblasto de granada subédrica com inclusões de ilmenita alinhadas segundo o plano S_1 igualmente dobrado pelo evento D3 (amostra K-59-36508). (C) Porfiroblasto de granada subédrica parcialmente destruída em virtude da proximidade da zona de cisalhamento neoproterozóica (diâmetro do cristal de granada: 3mm, amostra K49_39614). (D) Porfiroblastos estirados de granada, na parte inferior da imagem, e Fe-tschermakita na parte superior (área da imagem com ca. de 5 x 3 mm, amostra K49-39664). (E) Porfiroblastos de granada e Fe-tschermakita estirados pelo evento D4 entre as linhas brancas tracejadas, ocorrendo ainda porfiroblastos euédricos dos mesmos fora dessa faixa, nas bordas esquerda e direita da imagem (comprimento da amostra: 12 cm, amostra K59-34000). (F) Porfiroblastos de granada e Fe-tschermakita euédricos na matriz de cloritito, em zonas preservadas do cisalhamento neoproterozóico (comprimento da amostra: 10 cm, amostra K59-34000).060

PRANCHA 11 - (A) Arsenopirita no Q-IV1 (amostra 12-01, luz refletida). (B) Arsenopirita com fratura preenchida com calcopirita (Q-IV1, amostra 12-07, luz refletida). (C) Arsenopirita com calcopirita na borda (Q-IV1, amostra 12-07, luz refletida). (D) Arsenopirita subédrica fraturada em contato com pirrotita mais tardia isenta de fraturas no veio I (Q-IV1, amostra 021, luz refletida). (E) Lineação mineral e de estiramento 3 ($L_{m/c3}$) no xisto carbonoso mostra o preenchimento com sulfetos, nesse caso uma borda de arsenopirita com núcleo de pirrotita (Q-IV1, amostra 019, luz refletida). (F) Inclusão euhédrica de arsenopirita na pirrotita (amostra IV-22-17905, luz refletida). Abreviações segundo Tabela 1.062

PRANCHA 12 - (A) Arsenopirita na borda de um cristal subédrico de siderita no Q-IV4 (amostra 73_08, luz refletida). (B) Inclusão de arsenopirita na siderita euhédrica com fraturamento induzido pelos falhamentos tardios (Q-IV4, amostra 73_08, luz refletida). (C) Arsenopirita milonitizada com inclusões de esfalerita e pirrotita (Q-IV4, amostra IV-22-18076, luz refletida). (D) Pirrotita como sombra de pressão do nódulo de material carbonoso (Q-IV1, amostra 21, luz refletida). (E) Pirrotita fraturada com inclusão de esfalerita e turmalina, e quartzo recrystalizado (Amostra IV-22-17905, luz refletida). (F) *Vug* entre cristais de plagioclásio zonado euédricos preenchido com carbonato e cristais euhédricos de pirrotita (Q-IV4, amostra CIV-G026-V4AU, 100% luz refletida, 100% luz transmitida). Abreviações segundo Tabela 1.064

PRANCHA 13 - (A) Grãos de ouro na encaixante carbonosa do veio de quartzo com $L_{m/c3}$ preservada no xisto (Amostra IV-22-17905, 100% luz refletida e 30% luz transmitida). (B) Ouro cristalizado entre grãos de quartzo na zona de influência dos fluidos ligados a pirrotita. O contorno escuro ao redor do grão de ouro é a sombra do próprio mineral na lâmina. (C) Ouro em contato com pirrotita, ambos provenientes da $L_{m/c3}$ do xisto carbonoso hospedeiro do veio de quartzo, sendo que a partir do grão de Au saem diversas trilhas carbônicas (e aqua?) (Amostra IV-22-17905, 100% luz refletida e 30% luz transmitida) (D) O espaço vazio entre

- cristais de plagioclásio (*vug*) foi preenchido com pirrotita, calcita, calcopirita e ouro (Amostra CIV-G026-V4AU, 100% luz refletida e 30% luz transmitida). **(E)** Imagem gerada com auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) com pontos de análise semiquantitativa onde: 7 – quartzo, 8 – pirrotita, 9 e 10 – ouro (amostra IV-22-17905); **(F)** Imagem do xisto carbonoso próximo ao veio de quartzo mineralizado onde: 17, 19 – clorita, 18 – oligoclásio, 20, 26 – dolomita ferrosa, 21, 24 – ouro, 23, 25 – pirrotita (amostra IV-23-14820). Abreviações segundo Tabela 1.....067
- PRANCHA 14 - **(A)** Ouro com inclusões de esfalerita (Amostra IV-22-18737, luz refletida). **(B)** Ouro em contato com esfalerita e com inclusões do mesmo sulfeto (Amostra IV-22-18737, luz refletida). **(C)** Ouro em contato com esfalerita com inclusões do mesmo sulfeto (Amostra IV-22-17905, luz refletida). **(D)** Ouro em fraturas da esfalerita (Amostra IV-23-14020, luz refletida). **(E)** Ouro ao redor da esfalerita e ambos inclusos na pirrotita, ouro também na borda da pirrotita (Amostra IV-22-18076, luz refletida). **(F)** Pirrotita com inclusões de esfalerita e ouro na borda (Amostra IV-22-17905, luz refletida). Abreviações segundo Tabela 1.069
- PRANCHA 15 - **(A)** Ouro com inclusão de esfalerita e parcialmente incluso na pirrotita (Amostra IV-22-18076, luz refletida). **(B)** Ouro, arsenopirita e esfalerita parcialmente inclusos na pirrotita, sendo que a arsenopirita subhedrica apresenta fraturamentos em função da S_{m3} e também contém inclusões de esfalerita (Amostra IV-22-18076, luz refletida). **(C)** Ouro parcialmente incluso na pirrotita (Amostra IV-22-17905, luz refletida). **(D)** Ouro parcialmente incluso na pirrotita (Amostra IV-22-18076, luz refletida). **(E)** Ouro livre com pirrotita no veio de quartzo com carbonato, provavelmente dolomita ferrosa (Amostra IV-23-14877, luz refletida e transmitida). **(F)** Ouro no veio de quartzo com pirrotita (Amostra IV-23-14877, luz refletida e transmitida). Abreviações segundo Tabela 1.070
- PRANCHA 16 - **(A)** Textura do quartzo inequigranular interlobado; o círculo tracejado destaca um cristal subhedral de quartzo (Q-IV1, amostra CIV-G010-V1, campo escuro). **(B)** Detalhe das formas subhedrais dos cristais de quartzo (Q-IV1, amostra CIV-G010-V1, luz transmitida). **(C)** Textura do quartzo inequigranular interlobado e xisto carbonoso dobrado (Q-IV1, amostra CIV-G019-V1, luz transmitida). **(D)** Turmalinização próxima ao contato do xisto carbonoso com o veio de quartzo (Q-IV1, amostra CIV-G019-V1, luz transmitida). **(E)** Cristal subhédrico de turmalina “bicolor” em contato com pirrotita anterior, que por sua vez traz uma inclusão de arsenopirita (Q-IV1, amostra CIV-G019-V1, luz transmitida). **(F)** Finos cristais de turmalina mostrando fraturas com deslocamentos quando posicionados ortogonalmente ao sistema de falhas tardias (evento D4) e cristais paralelos a esse sistema de falha sem fraturas (Q-IV1, amostra CIV-G019-V1, luz transmitida). Abreviações conforme TABELA 1.122
- PRANCHA 17 - **(A)** Quartzo recristalizado com textura poligonal equigranular e *boudins* no xisto carbonoso (Q-IV1, amostra CIV-G021-V1, campo escuro). **(B)** Detalhe da textura equigranular poligonal dentro do *boudin*. (Q-IV1, amostra CIV-G021-V1, campo escuro). **(C)** Relíquia do xisto carbonoso no veio de quartzo, o quartzo recristalizado do xisto carbonoso é inteiramente substituído pelo quartzo inequigranular interlobado (Q-IV1, amostra CIV-G021-V1, luz transmitida). **(D)** Textura inequigranular interlobado com recristalização nas bordas dos grãos devido aos fluidos derivados do xisto carbonoso (Q-IV2, amostra CIV-G027-V2, luz transmitida). **(E)** Agregado de grãos de quartzo no domínio da veio 3 (Q-IV3, amostra CIV-G014-V3, campo escuro). **(F)** Estruturas “S/C” no domínio do veio de quartzo 3, relacionado à D₄ (Q-IV3, amostra CIV-G014-V3, luz transmitida).126
- PRANCHA 18 - **(A)** Grãos de quartzo do domínio da encaixante mostrando quartzo recristalizado com padrão equigranular, poligonal e relativamente menor que o domínio do

- veio (Q-IV3, amostra CIV-G014-V3, luz transmitida). **(B)** Agregado de grãos de quartzo no domínio do veio (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). **(C)** Relíquias da S_1 dobrada com a superposição do cisalhamento posterior à S_{m3} milonítica (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). **(D)** Padrão dos grãos de quartzo no domínio do veio (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). **(E)** Agregado de grãos de quartzo no domínio da encaixante com S_{m3} milonítica deslocada pelo sistema ortogonal de falhas *strike-slip* tardias (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). **(F)** Relíquias da S_1 dobrada, S_{m3} milonítica e o sistema de falhas tardias com preenchimento de carbonato e pirrotita (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). 128
- PRANCHA 19 - **(A)** Veio de quartzo cisalhado/recristalizado (Q-IV4, Amostra CIV-G012-V4, luz transmitida). **(B)** Cristais euhédricos de siderita no veio de quartzo hialino com inclusões fluidas aquo-carbônicas primárias (Q-IV4, Amostra CIV-G073-V4, luz transmitida). 130
- PRANCHA 20 - **(A)** Associação de IFs carbônicas primárias no núcleo do grão de quartzo (Q-IV1, Amostra 19_07). **(B)** Associação de IFs carbônicas primárias entre relíquias de cristais de quartzo subhédricos (Q-IV1, Amostra 19_10). **(C)** Um par geminado de cristais de quartzo subhédricos com inclusões primárias em 19_12c e secundárias em 19_12a e 19_12b (Q-IV1, Amostra 19_12). **(D)** Inclusão fluida aquo-carbônica com dois cristais de saturação sendo halita o cristal cúbico maior e calcita o menor (Q-IV1, Amostra 10_05). **(E)** Imagem de um cristal subhédrico com um grupo de inclusões carbônicas primárias (1c), vários grupos com inclusões aquo-carbônicas secundárias (1ac₁) com até dois cristais de saturação e um grupo de inclusões fluidas aquo-carbônicas tardias (1ac₂) com no máximo um cristal de saturação que corta a trilha do grupo anterior (Q-IV1, Amostra 10_09). **(F)** Detalhe do canto direito inferior onde a trilha de inclusões aquo-carbônica 1ac₁ é cortada pela posterior 1ac₂ (Q-IV1, Amostra 10_09). 133
- PRANCHA 21 - **(A)** Cruzamento das duas gerações de inclusões fluidas aquo-carbônicas, onde 1ac₂ mantém a continuidade sobre 1ac₁ (Q-IV1, Amostra 10_10). **(B)** Inclusão fluida aquo-carbônica com dois cristais de saturação (Q-IV1, Amostra 10_10). **(C)** Grupo de inclusões carbônicas (Q-IV1, Amostra 10_10). **(D)** Imagem de um grupo de inclusões aquo-carbônicas com até dois cristais de saturação (Q-IV1, Amostra 21_02). **(E)** Inclusões fluidas aquo-carbônicas secundárias (Q-IV2, Amostra 27_09). **(F)** Uma das raras inclusões fluidas aquo-carbônicas primárias com 2 cristais de saturação, provavelmente halita e rutilo (Q-IV2, Amostra 27_10). 135
- PRANCHA 22 - **(A)** Grupo de inclusões carbônicas e aquo-carbônicas com feições que sugerem condições de imiscibilidade e/ou variação de pressão durante o aprisionamento (Q-IV3, Amostra 14_3). **(B)** Inclusões aquo-carbônicas predominantes no veio 3 (Veio 3, Amostra 14_10). **(C)** O mineral no centro aparenta ser de um sulfeto (provável seção ortogonal de uma “injeção” de pirrotita proveniente da $L_{m/e3}$ na encaixante) que gerou um halo de inclusões aquo-carbônicas ao seu redor (Q-IV3, Amostra 14_5). **(D)** Quartzo incluso na arsenopirita com inclusões aquo-carbônicas ricas em metano no contato com o sulfeto e nos planos internos (Q-IV4, Amostra 12_01). **(E)** Detalhe da fotografia 3-D com inclusões aquo-carbônicas ricas em metano na interface quartzo/arsenopirita (Q-IV4, Amostra 12_1). **(F)** Trilhas de inclusões aquosas tardias, provavelmente relacionadas aos sistemas de falhas do evento D4 (Q-IV4, Amostra 12_07). 136
- PRANCHA 23 - **(A)** Associação pirrotita-apatita-calcita (apatita no centro, incolor), onde ocorre ouro livre, contendo inclusões predominantemente aquo-carbônicas (Q-IV4, Amostra 26_01). **(B)** Detalhe das inclusões aquo-carbônicas da foto anterior (Q-IV4, Amostra 26_01). **(C)** Inclusões aquo-carbônicas primárias na siderita (Q-IV4, Amostra 73_05). **(D)** Trilha de

inclusões aquo-carbônicas no quartzo (Q-IV4, Amostra 73_09). (E) Raras inclusões carbônicas no veio 4 (Q-IV4, Amostra 73_10). (F) Plano de inclusões fluidas aquo-carbônicas pseudo-secundárias em um cristal subhédrico de quartzo (Q-IV4, Amostra 73_12).....	138
PRANCHA 24 - Trilhas de inclusões fluidas geradas pelas falhas tardias com aspecto “S/C” (Q-IV4, Amostra 73_13).....	139

CAPÍTULO I

OBJETIVOS, LOCALIZAÇÃO E MÉTODOS

INTRODUÇÃO

A região de Crixás em Goiás tem sido alvo de diversos estudos desde a década de 70, década na qual foram caracterizados *greenstone belts* nesta região, semelhante aos modelos africanos da época. A atividade até então garimpeira foi sendo substituída pela mineração subterrânea mecanizada com a implantação da Mina Serra Grande, logo após a determinação da reserva do Corpo III em meados de 1980.

A contínua sondagem na busca de novos corpos de minério aliado aos avanços na interpretação extremamente complicada do controle estrutural da jazida, resultou no descobrimento dos Corpos IV e V, sendo que o presente trabalho faz um enfoque detalhado do Corpo IV com extensões ao Corpo V.

A sobreposição de eventos paleoproterozóicos a neoproterozóicos e diversos sistemas de alterações hidrotermais com intensidades variadas agindo sobre um pacote de rochas com litologias originais bastante diversas, principalmente das rochas da Formação Ribeirão das Antas, traz grandes complicadores para um estabelecimento preciso do controle da mineralização até os dias de hoje.

O presente trabalho procura contribuir com os numerosos estudos realizados na área por diversos pesquisadores, notadamente da Universidade Federal de Brasília, e propõe um modelo de evolução estrutural para o Corpo IV e Corpo V, ambos relativamente próximos e contidos na Formação Ribeirão das Antas.

1 OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho é a caracterização metalogenética do Corpo IV e Corpo V, visando uma melhor compreensão dos controles das mineralizações. Para tanto foi dada uma importância especial na comparação petrográfica e litoquímica com as outras zonas de minério próximas (Zona Superior, Intermediária e Inferior da Mina III), visando vincular resultados de pesquisas anteriores com os novos corpos de minério.

Os trabalhos iniciais envolveram o mapeamento de galerias de acesso aos corpos de minério com amostragem e descrições, paralelamente à descrição e amostragem de

testemunhos de sondagem, considerados essenciais para a compreensão e estabelecimentos de padrões de alteração e zonas de cisalhamento.

Procurou-se, estabelecer a cronologia relativa de eventos que veio a dar forma e/ou a destruir partes da mineralização do Corpo IV. O Corpo V que se situa nas imediações do Corpo IV, possui características semelhantes, o que permite seu enquadramento em um modelo semelhante.

Coube um destaque especial na interpretação das texturas relacionadas às diversas gerações de veios de quartzo que tem antes, durante e depois das mineralizações um papel fundamental. Ainda, dada à importância dos veios de quartzo, foram estabelecidas características dos fluidos envolvidos por meio da microtermometria de inclusões fluidas.

Visto que, devido a complexidade da mineralização haveria uma grande quantidade de dados a serem processados, de uma maneira que permitisse modificações constantes e sem perda de informação com a evolução da pesquisa, foi elaborado um programa de banco de dados vinculado a um sistema de posicionamento tridimensional. Isso permitiu o manuseio integral dos dados, o que por final auxiliou de sobremaneira na proposta do modelo metalogenético das mineralizações.

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ACESSOS

As zonas mineralizadas denominadas Corpo IV e Corpo V situam-se dentro da área pertencente à Mineração Serra Grande, situada a aproximadamente 5 km não pavimentados, a sudeste da cidade de Crixás.

Crixás localiza-se a aproximadamente 450 km a noroeste de Brasília ou a aproximadamente 400 km ao norte de Goiânia (FIGURA 1), onde todos os acessos são asfaltados. Conforme a FIGURA 1 pode-se verificar que a rodovia principal de acesso é a BR 153 ou “Belém-Brasília”.

A Cidade de Crixás oferece ainda um campo de pouso para aeronaves bimotor, o que permite um período de viagem de 1 hora até Brasília.

FIGURA 1 – Localização de Crixás (modificado de Yamaoka & Araújo, 1988).

3 MÉTODOS

3.1 Amostragem e Nomenclatura de Amostras

Todas as amostras utilizadas no presente estudo foram colhidas nas galerias e dos testemunhos de sondagem. As amostras foram serradas no Laboratório de Tratamento de Amostras do IG-USP conforme as exigências para cada análise.

As amostras dos testemunhos de sondagem, assim como as respectivas lâminas delgadas foram codificadas segundo o nome do furo do testemunho de sondagem seguido de um hífen e a metragem em centímetros. Por exemplo, uma amostra a 161,26 metros, medida do topo da amostra, do início do testemunho de sondagem (0 m), denominado pela MSG como K59, é codificada como “K59-16126”.

Para a abreviação da nomenclatura mineral, foi adotada a proposta de Kretz (1983) em inglês, com algumas modificações, conforme a TABELA 1 abaixo.

TABELA 1 – Tabela de abreviações minerais de Kretz (1983) adotada, com modificações.

ACM	acmita	EP	epídoto	OPX	ortopiroxênio
ACT	actinolita	FA	faialita	OSM	ossumilita
AEG	aegirina	FAC	ferroactinolita	PG	paragonita
AK	akermanita	FED	ferroedenita	PRG	pargasita
AB	albita	FS	ferrosilita	PER	periclásio
ALN	allanita	FTS	ferrotschermakita	PHE	fengita
ALM	almandina	FL	fluorita	PHL	fllogopita
AMP	anfíbólio	FO	forsterita	PGT	pigeonita
ANL	analcita	GRT	granada	PL	plagioclásio
AND	andalusita	GED	gedrita	PRH	prenhita
ANK	ankerita	GLN	glaucofano	PMP	pumpeliita
ANN	annita	GR	grafita	PY	pirita
AN	anortita	GRS	grossulária	PRP	piropo
ATH	antofilita	GRU	grunerita	PRL	pirofilita
AP	apatita	HD	hedenbergita	PO	pirotita
ASP	arsenopirita	HEM	hematita	QTZ	quartzo
BT	biotita	HC	hercinita	RBK	riebeckita
BCR	brucita	HB/AC	hornblenda/actinolita	RT	rutilo
CAM	Ca-clinoanfíbólio	ILL	illita	SA	sanidina
CPX	Ca-clinopiroxênio	ILM	ilmenita	SPR	safirina
CAL	calcita	JD	jadeita	SID	siderita
CCP	calcopirita	KLN	caolinita	SRP	serpentina
CEN	clinoenstatita	KFS	Feldspato potássico	SE	sericita
CFS	clinoferrosilita	KY	cianita	SIL	sillimanita
CHL	clorita	LMT	laumontita	SPS	espessartita
CLD	cloritóide	MCAR	material carbonoso	SP	esfalerita
CHU	clinohumita	MGS	magnesita	SPL	espinélio
CZO	clinozoisita	MAG	magnetita	ST	estauroilita
COE	coesita	MARG	margarita	STP	estilpnomelano
CRD	cordierita	MC	microclínio	TLC	talco
CRN	corindon	MNZ	monazita	TTN	titanita
CRO	crossita	MNT	montmorilonita	TUR	turmalina
CUM	cummingtonita	MS	muscovita	TR	tremolita
DMD	diamante	NE	nefelina	TS	tschermakita
DI	diopsídio	OLG	oligoclásio	USP	ulvoespinélio
DOL	dolomita	OMP	onfacita	WO	wollastonita
DOLF	dolomita ferrosa	OAM	ortoanfíbólio	ZRN	zircão
EN	enstatita	OR	ortoclásio	ZO	zoisita

3.2 Petrografia

Foram confeccionadas cerca de 150 lâminas delgadas de rochas. O estudo das seções delgadas foi realizado em microscópios AXIOPLAN, NIKON, OLYMPUS e LEITZ WETZLAR do Laboratório de Petrologia do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IG/USP. Nestes equipamentos foram também obtidas as fotomicrografias.

Foram ainda confeccionadas cerca de 20 seções polidas, que foram estudadas em microscópios NIKON e OLYMPUS do laboratório de inclusões fluidas do *Centre for Global Metallogeny* da *University of Western Australia*.

Para o estudo de inclusões fluidas foram confeccionadas cerca de 25 lâminas polidas em ambos os lados. O estudo dessas seções foi realizado no laboratório de inclusões fluidas do *Centre for Global Metallogeny* da *University of Western Australia* e no Laboratório de Inclusões Fluidas do IG-USP.

Para a análise com auxílio da microsonda eletrônica foram confeccionadas 18 lâminas delgadas polidas, com recobrimento metálico.

3.3 Coloração Seletiva

Todas as lâminas delgadas foram parcialmente tratadas pelo meio de coloração seletiva segundo o método descrito abaixo:

- a) Ataque com HCl 1,5% por 10-15 segundos, seguido de lavagem imediata com água destilada corrente e secagem com pistola de ar quente.
- b) Submersão de metade de cada lâmina em solução com 0,2 g de Alizarina red/100 cc de HCl 1,5% e 2,0 g de ferrocianeto de potássio/100cc de HCl 1,5%, na proporção 3:2, respectivamente, por 30-40 segundos.
- c) Submersão das mesmas metades de cada lâmina em recipiente contendo apenas a solução 0,2 g de alizarina red/100 cc de HCl 1,5%, por 10 a 15 segundos. Lavagem imediata em água destilada não corrente e secagem com pistola de ar quente.
- d) Colocação das lamínulas para proteção da área tratada.

3.4 Cátodo-Luminiscência

O Laboratório de Cátodo-luminiscência do IG-USP dispõe de um equipamento LUMINISCOPE ELM-3K que trabalha em conjunto com a platina Modelo ELM 3.1R. A platina está montada em um Microscópio OLYMPUS BX 40 com uma câmera OLYMPUS PRO SERIES 3 CCD, que opera em conjunto com um IBM/PC para geração, edição e armazenamento de imagens.

3.5 Microscópio Eletrônico de Varredura

Foi utilizado um equipamento MEV LEO 440 I com detector de elétrons secundários retro-espalhados, cátodo-luminiscência e espectrômetro de energia dispersiva de raios X com janela de Si-Li, do Laboratório de Microscopia Eletrônica do IG-USP.

3.6 Microsonda Eletrônica

Após conclusão das descrições petrográficas foram escolhidas 18 amostras para a análise química dos minerais em microsonda eletrônica (MSE). Foram analisados minerais representativos dos diversos litotipos, tanto para caracterização e classificação química, como para cálculos geotermobarométricos.

As análises foram realizadas com a microsonda eletrônica JEOL JXA 8600 do Laboratório de Microsonda Eletrônica do IG-USP, com corrente de aceleração do feixe de elétrons de $20 \pm 0,1 \mu\text{A}$, tensão de 15kV e diâmetro do feixe de 10 μm para os feldspatos e de 5 μm para os demais minerais.

Os resultados das análises foram processados através dos softwares MICROSOFT EXCEL 2000 e MINPET 2.02, onde foram calculadas proporções catiônicas e elaborados diagramas da variação composicional e de classificação.

As condições para o re-cálculo dos cátions para cada mineral foram:

- Feldspato. Oxigênio e OH (O, OH, F): 32; Al^{IV} no sítio tetraédrico: 8-Si. Cátions normalizados para o valor 8,0: Si+Al.
- Anfibólio cálcico. Cálculo do Fe^{3+} pela média dos processos 15-NK e 13 CNK (Leake *et al.*, 1997).
- Clorita. Oxigênio e OH (O, OH, F): 36; número de grupos OH: 16; Al^{IV} no sítio tetraédrico: 8-Si. Cátions normalizados para o valor 20: Si+ Al^{IV} + Al^{IV} +Ti+Cr+ Fe^{2+} +Mn+Mg.
- Muscovita. Oxigênio e OH (O, OH, F): 24; número de grupos OH: 4; Al^{IV} no sítio tetraédrico: 8-Si. Cátions normalizados para o valor 14: Si+ Al^{IV} + Al^{IV} +Ti+Cr+ Fe^{2+} +Mn+Mg.
- Biotita. Oxigênio e OH (O, OH, F): 24; número de grupos OH: 2,0; Al^{IV} no sítio tetraédrico: 8-Si. Cátions normalizados para o valor 14: Si+ Al^{IV} + Al^{IV} +Ti+Cr+ Fe^{2+} +Mn+Mg.
- Granada. Todo o ferro foi assumido como sendo FeO. Normalização com 24 oxigênios e 16 cátions com membros finais segundo Deer *et al.* (1992).

3.7 Geotermobarometria (TWQ)

As interpretações geotermobarométricas foram realizadas com o auxílio do programa de computador TWQ 2.02, que utiliza um banco de dados termodinâmicos internamente consistentes de Berman (1980), para minerais e fluidos das fases K-Na-CASH, além de dados para os seguintes minerais:

1. antofilita, talco, rutilo assim como os componentes das seguintes soluções sólidas: olivina (FO, FA), ortopiroxênio (EN, FS, Al-OPX), cordierita (Mg-, Fe-), granada (ALM, PY, GROS, ESPESS), ilmenita (Fe-, GK), e espinélio de Mg-Fe.
2. Propriedades de *mixing* da Hedenbergita e Clinopiroxênio de Mg-Fe-Al (M1).
3. Propriedades provisionais para Biotita (PHL, ANN, SID, EST).

3.8 Microtermometria (IG-USP)

O trabalho de microtermometria foi executado com o auxílio de um microscópio LEITZ WETZLAR, utilizando-se duas platinas CHAIX-MECA tipo MTM 85 (Platina I para resfriamento e Platina II para aquecimento) do Laboratório de Inclusões Fluidas do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IG-USP, onde a seção do mineral pode ser resfriada a -180°C e aquecida até 600°C .

As medições das duas platinas da “SOCIÉTÉ CHAIX-MECA” foram padronizadas para correção da temperatura, uma delas utilizada apenas para resfriamentos (platina I: -180 a 40°C) e outra para aquecimento (platina II: 40 a 550°C).

3.9 Microtermometria (CGM/UWA)

As análises microtermométricas foram realizadas com uma platina de aquecimento e resfriamento totalmente automática LINKAM THMSG 600, acoplada a um programador de temperatura TMS 93 do laboratório de inclusões fluidas do *Centre for Global Metallurgy* na *University of Western Australia*. A platina é diariamente calibrada com inclusões sintéticas fornecidas pela SYNFLINK. A bomba de nitrogênio líquido (LNP) do sistema de resfriamento opera diretamente de um recipiente térmico não pressurizado com até 2 litros de nitrogênio líquido. As medições são coletadas por meio de perfis de temperatura pré-estabelecidos que contêm a sequência de intervalos consecutivos com os gradientes de aquecimento e resfriamento.

3.10 Laser-Raman

Os espectros de Laser Raman foram registrados com o auxílio de um espectrômetro DILOR® SUPERLABRAM equipado com filtro holográfico de ponto, *gratings* de 600 e 1800 g/mm e um detector com CCD refrigerado por N₂ líquido com resolução de 2000 x 400 *pixel*. As inclusões são iluminadas com laser de 514,5 nm gerado por um equipamento de laser de íon-argônio SPECTRA PHYSICS modelo 2017, com intensidade de 5 mW nas amostras aliado a um período de acumulação de 30 segundos. Para a coleta do *scattered light* e para focar o feixe de laser é utilizado uma objetiva de microscópio OLYMPUS de 100X. O campo do laser focado nas amostras possui o diâmetro aproximado de 1 µm. Os valores dos picos são determinados com uma precisão de $\pm 1 \text{ cm}^{-1}$ determinados pelas linhas de emissão de plasma e neônio. Para a análise de CO₂, O₂, N₂, H₂S e CH₄ na fase vapor, faz-se a caracterização do espectro de 1000 to 3800 cm^{-1} utilizando um tempo de integração único de 20 segundos por espectro. O tempo limite de detecção é dependente da sensibilidade instrumental, da pressão parcial de cada gás e da qualidade óptica para cada inclusão fluida. Os limites de detecção são estimados ao redor de 0,1 mole % para CO₂, O₂ e N₂, e 0,03 moles % para H₂S e CH₄. Erros nas razões calculadas de gás são geralmente menores que 1 mol %.

3.11 Microtermometria em Minerais Opacos com o Auxílio do Infravermelho

O estudo de propriedades ópticas de minerais com o auxílio do infravermelho não é uma técnica nova, tendo sido utilizada anteriormente a década de 30, mas sua aplicação no estudo de inclusões fluidas teve início apenas em meados de 1980 (Campbell *et al.*, 1984, *in*: Lindass *et al.*, 2002).

A absorção óptica do cristal ocorre quando o comprimento de onda da luz passando através do cristal corresponde a diferença de energia entre estados de energia ocupados e não-ocupados (eletrônico e vibracional). O excitação de estados de energia ocupados para estados não-ocupados é acompanhado da absorção do comprimento de onda correspondente. Tal processo eletrônico é chamado de transição do espaço de banda (*band gap transition*). Se, por exemplo, o incremento na absorção com o aumento da energia de fótons for igual ou maior que o espaço de banda, a amostra se apresenta, em essência, opaca. A súbita mudança de absorção com energias próximas do espaço de banda aparece no espectro de absorção como um forte pico, chamado de pico de absorção principal (*main absorption edge*). No caso da pirita, por exemplo, o pico de absorção principal situa-se a aproximadamente 1,38 µm,

sendo que comprimentos de onda mais curtos que este valor, como da luz visível (0,35 a 0,75 μm), possuem energia mais alta que o espaço de banda da pirita, e como resultado, tais comprimentos de onda são inteiramente absorvidos. Comprimentos de onda mais longos que 1,38 μm , como do próximo/médio infravermelho, são de energia mais baixa que o espaço de banda da pirita e, em geral, atravessam o cristal sem serem absorvido (Lindass *et al.*, 2002). Mas existem diversos fatores que vem a dificultar a observação com o auxílio de infravermelho como inclusões minerais, intercrescimentos e variações químicas do cristal. Entre elas o conteúdo de arsênio é interpretado como um elemento indesejado para obter observações, mas por outro lado, já foram realizadas observações de inclusões fluidas em arsenopirita (com. verb. Mernaugh, 2002). De qualquer maneira, mesmo que se obtenha condições consideradas ideais de observação, o estudo de inclusões fluidas com o auxílio da câmera infravermelha é bastante difícil, pois a maneira de visualização apresenta uma qualidade que, de longe, não se compara a condições de estudo com luz visível e, somado a isso, ocorre ainda forte interferência nas imagens em função das variações de temperaturas impostas a amostra durante a microtermometria.

Utilizou-se um microscópio OLIMPUS BX 60 em associação com um programador LINKAM MDS 600. Ao microscópio foi acoplado uma câmera de infravermelho Hamamatsu C2741 que trabalha na faixa de 400 a 2200 nm e o vidro de quartzo da platina Linkam é substituída por um vidro de C₂nSe. É necessário ainda uma objetiva IR-PLAN 50X trabalhando em conjunto com um condensador IR-CONDENSER 20X.

3.12 Raios X

A análise utiliza o princípio da difração dos raios X, resultado de um processo em que estes raios são dispersos pelos elétrons dos átomos sem mudança de comprimento de onda (dispersão coerente ou de Bragg). Para que ocorra um feixe difratado por dispersão é necessário que algumas condições geométricas satisfaçam a lei de Bragg traduzido na forma de $n\lambda = 2d\sin\theta$, onde λ é o comprimento de onda da radiação (aproximadamente monocromática), d é a distância interplanar e θ é o ângulo de Bragg. A difração resultante, que compreende posições e intensidades das linhas de difração, é uma propriedade física fundamental da substância e fornece dados para sua identificação e de sua estrutura atômica (Gomes, 1984).

3.13 Tratamento de Dados Estruturais

Os dados estruturais obtidos nos trabalhos de campo foram processados com o auxílio do programa de computador GEOorient 9.1. Para tanto utilizou-se da rede equiárea de Schmidt no hemisfério inferior.

CAPÍTULO II

GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

INTRODUÇÃO

Este Capítulo trata primeiramente do histórico geológico da região de Crixás, da geologia local e de datações realizadas até o momento na área e proximidades. São então apresentadas diversas tabelas, reunindo as diversas hipóteses e descrições macroscópicas detalhadas das zonas mineralizadas do Corpo IV, Corpo V e zonas de alteração hidrotermal, além de dados sobre o desenvolvimento estrutural e metamórfico do *Greenstone Belt de Crixás*.

1 HISTÓRICO PROSPECTIVO REGIONAL

Bartolomeu Bueno da Silva (Anhangüera) descobriu em 1727 um veio aurífero situado no atualmente denominado *greenstone belt* Serra de Santa Helena, ou de Goiás, que marcou o início da exploração aurífera no estado de Goiás. Após esse fato, seguiram-se 250 anos de exploração não documentada até que Barbosa *et al.* (1969) produziram o primeiro relato geológico, interpretando os terrenos granito-gnáissicos como Arqueanos e os xistos como Pré-cambrianos, ambos situados na base do Grupo Araxá.

Em meados de 1970 foram estudados alguns projectos em Goiás por parte da Mineração MONITA Ltda., através dos Projetos Pilar-Mara Rosa do DNPM/CPRM e Crixás-Goiás da Metais de Goiás S.A. – METAGO. Ribeiro Filho *et al.* (1978) destacaram dentro do Projeto Pilar-Mara Rosa as diferenças entre rochas vulcanossedimentares de Crixás-Pilar de Goiás e os xistos Araxá, seguido da interpretação de Danni & Ribeiro (1978), de aquelas rochas supracrustais serem *greenstone belts* e relacionando-as com terrenos da África do Sul, descritos por Viljoen & Viljoen (1969) e Anhaeusser (1979). A consagração dos terrenos *greenstone* veio após a descoberta de rochas ultramáficas com textura *spinifex* em Crixás por Saboia (1979). Ainda neste período foi realizado o projeto geofísico Brasil-Canadá com levantamentos geofísicos aerotransportados e terrestres (magnetometria, gama-espectrometria) e geoquímica (Carmo, 1978).

O Projeto Crixás merece destaque entre os primeiros trabalhos na região por ter detalhado as mineralizações atualmente exploradas. Esta área foi selecionada em virtude da associação de litotipos que apresentava potencialidades para concentração de metais de base, além de ouro, face à ocorrência de aluviões e eluviões mineralizados ao longo do Rio Vermelho. No final de 1974 as prospekções aluvionares no Rio Vermelho e tributários conduziram à descoberta das

mineralizações de arsenopirita, pirrotita e ouro, onde desenvolveram-se as “Minas” I, II, III, III-Extensão e IV. Sondagens pioneiras interceptaram as mineralizações auríferas, mas devido à dificuldade de determinação da sua continuidade, os trabalhos foram interrompidos para a realização de estudos geofísicos e geoquímicos na tentativa de desvendar a complexidade estrutural da região. Em 1980 as sondagens foram retomadas e a partir de 1983 foram definidas as reservas da Mina III (Yamaoka & Araújo, 1988).

2 GEOLOGIA DA REGIÃO DE CRIXÁS

A geologia da região foi detalhada por diversos trabalhos realizados pela Universidade de Brasília (Kuyumjian, 1981; Danni *et al.*, 1981; Danni *et al.*, 1986; Jost & Ferreira Filho, 1987; Nilson *et al.*, 1988; Jost *et al.*, 1995), assim como pela METAGO (Teixeira, 1981) com posterior compilação e inclusão de novos dados pelo DNPM, Distrito de Goiânia (Lacerda & Lima Jr., 1996) e pela CPRM (Montalvão & Araújo, 1979; Montalvão, 1985, 1986). Neste período foram confeccionadas ainda sínteses bibliográficas sobre a geologia da área por Marini *et al.* (1984) e Danni (1988).

Os terrenos Arqueanos de Goiás na porção central do Estado representam uma típica associação de complexos granito-gnáissicos e *greenstone belts* recobrimdo cerca de 50.000 km² do setor meridional do Maciço Mediano de Goiás (Almeida, 1968) ou Maciço de Goiás (Fuck *et al.*, 1993; Fuck, 1994). Os contatos reconhecidamente tectônicos da porção Arqueana são: ao norte e oeste com rochas metavulcânicas, metassedimentares e gnaisses do Neoproterozóico pertencentes ao Arco Magmático de Goiás (Pimentel *et al.* 1999 *in*: Jost *et al.* 1999); a sul e sudeste com uma estreita faixa de rochas supracrustais Paleoproterozóicas da região de Mossâmedes (Pimentel *et al.*, 1996), e a leste e nordeste com rochas metassedimentares Mesoproterozóicas atribuídas ao Grupo Serra da Mesa.

A região de Crixás está inserida no extremo norte dos terrenos Arqueanos de Goiás, onde ocorrem três cinturões de rochas supracrustais arqueanas denominados inicialmente por Danni & Ribeiro (1978) como Grupo Pilar de Goiás. Os mesmos autores apresentaram ainda um primeiro arcabouço estratigráfico das rochas supracrustais, com rochas ultramáficas serpentinizadas basais, seguidas por vulcânicas básicas predominantes, quartzitos ferruginosos, rochas carbonatadas e quartzitos, metavulcânicas ácidas a básicas, muscovita xistos granatíferos e quartzitos muscovíticos, filitos grafitosos, sericita-clorita xistos, biotita xistos e anfíbolitos.

Estas seqüências foram efetivamente caracterizadas como *greenstone belts* nas proximidades das cidades de Crixás e Goiás por Saboia (1979). Ao reconhecer texturas *spinifex* nas rochas ultramáficas de Crixás propôs as denominações de *Greenstone Belt* de Crixás, compreendendo as Faixas de Crixás, Guarinos e Pilar, e *Greenstone Belt* de Goiás ao sul.

Saboia (1979) também subdividiu as rochas da Faixa Crixás em três unidades maiores, denominadas de: 1) Basal, com rochas vulcânicas ultrabásicas; 2) Média, composta por rochas vulcânicas básicas, e; 3) De Topo, formada essencialmente por rochas sedimentares clásticas e químicas. Estratigrafia semelhante foi também descrita para as faixas de Guarinos e Pilar.

O Grupo Araxá, encontra-se estratigraficamente superposto, discordantemente, aos terrenos granito-*greenstone* sendo constituído basicamente por mica xistos. O contato tectônico é sugerido pelas mudanças de direções das seqüências observadas, tanto em Crixás (Saboia, 1979), como em Pilar de Goiás e Guarinos (Danni & Ribeiro, 1978). Em Crixás verifica-se maior deformação no contato entre as duas unidades, onde ocorrem dobras de arrasto e transposição tectônica indicando um possível cavalgamento do Grupo Araxá. Atualmente esta unidade é denominada Seqüência Santa Terezinha, e os *greenstone belts* como Grupo Crixás (Jost & Fortes, 2001).

Saboia & Teixeira (1980) e Teixeira *et al.* (1981) apresentaram estudos geológicos e petrográficos detalhados de texturas e estruturas das lavas ultramáficas do *Greenstone Belt* de Crixás, que incluem *pillow* lavas, *pillow* brechas, amígdalas, variolas, juntas poliedrais e texturas *spinifex*, caracterizando completamente os derrames ultrabásicos e as suas estruturas internas. Danni *et al.* (1980, 1986) verificaram estruturas muito semelhantes a estas no *Greenstone Belt* de Hidrolina (Grupo Pilar de Goiás), confirmando o caráter vulcânico e komatiítico das rochas ultramáficas, e baixo grau de metamorfismo, correspondente à fácies xisto verde. Kuyumjian & Teixeira (1982) descreveram ainda estruturas orbiculares em lavas ultramáficas de Crixás, e detalharam perfis de variações de texturas e estruturas dos derrames.

Detalhadas descrições estratigráficas dos litotipos de Faixa Crixás foram elaboradas por Saboia *et al.* (1981) o que propiciou a subdivisão nas seguintes formações, da base para o topo:

- a) **Córrego Alagadinho:** formada predominantemente por metavulcânicas ultramáficas komatiíticas com intercalações subordinadas de *metachert* ferífero, metassedimentos finos, metatufos aluminosos e corpos intrusivos piroxeníticos e gabróicos;
- b) **Rio Vermelho:** essencialmente composta por metavulcânicas básicas, com corpos menores de grafita xistos, clorita xistos, quartzitos, fuchcita quartzitos, *metacherts*

ferríferos ou não e rochas ultrabásicas talcificadas;

- c) **Ribeirão das Antas:** constituída por metassedimentos pelíticos e químicos, representados por grafita-clorita-quartzo xisto, quartzitos grafitosos bandados, cloritóide-clorita-quartzo xisto e níveis descontínuos de mármore dolomíticos, bem como biotita xistos com ou sem hornblenda, *metacherts* ferríferos, localmente manganésíferos, *metacherts*, bancos de clorita-talco xisto e anfibólio xistos. São ainda comuns fuchcita xistos e fuchcita quartzitos.

Ao proporem a revisão estratigráfica do Grupo Pilar de Goiás na Faixa Crixás, Castro & Magalhães (1984) atribuíram a Danni & Ribeiro (1978) a extensão da denominação de Grupo Pilar de Goiás às rochas supracrustais do *Greenstone Belt* de Crixás, e detalharam a litoestratigrafia definida por Saboia *et al.* (1981), redefinindo seus contatos, litotipos e relações espaciais. Concluíram que as rochas aflorantes na região do Córrego Meia Pataca fazem parte da Formação Córrego Alagadinho, e não da Formação Ribeirão das Antas. Reconheceram ainda contatos gradacionais da Formação Córrego Alagadinho com a Formação Rio Vermelho e, contatos concordantes a gradacionais, desta última com a Formação Ribeirão das Antas. Subdividiram ainda a Formação Ribeirão das Antas, da base para o topo, nas unidades Grafitosa-Manganésífera, Grafitosa-carbonatada e Grauvaqueana. A unidade Grafitosa-carbonatada apresenta granada-cloritóide-clorita xistos quartzosos com níveis carbonatados e, principalmente na parte sul e central da Faixa, são comuns rochas vulcânicas ácidas e intermediárias e seus derivados vulcanoclásticos. Esta unidade intermediária é a hospedeira das mineralizações de ouro na região.

Como resultado do mapeamento na escala 1:25.000 da região de Hidrolina, Danni *et al.* (1986) apresentaram uma revisão e reintegração dos dados existentes sobre os terrenos granito-*greenstone* de Goiás. Estes autores estabeleceram ainda um quadro evolutivo completo com os períodos de vulcanismo e sedimentação, deformação e metamorfismo, além da colocação das massas de rochas ácidas que desmembraram as rochas supracrustais.

A integração dos dados geológicos das seqüências vulcano-sedimentares da região de Goiás, com informações sobre a estratigrafia, quimismo e estruturas dos *greenstone belts*, foram apresentadas por Danni (1988) e suas modelagens teóricas foram propostas por Kuyumjian (1981), Kuyumjian & Araújo Filho (1984), Montalvão (1986), Araújo Filho & Kuyumjian (1991) e Kuyumjian (1993). Os últimos consideraram a hipótese da existência de pontos quentes fixos sob uma crosta fina que teriam gerado as seqüências vulcanossedimentares.

Jost & Oliveira (1991) revisaram a estratigrafia dos *greenstone belts* Arqueanos da região de Crixás considerando a estratigrafia de cada uma das faixas separadamente e propuseram as denominações de:

- a) **Grupo Crixás**, subdividido nas Formações Córrego Alagadinho, Rio Vermelho e Ribeirão das Antas. Este último com uma Subunidade Inferior com assembléias de *metachert* carbonoso e filito-manganesífero, uma Média, com predominância de mármore carbonoso filítico, e uma Superior, formada por metapelitos.
- b) **Grupo Guarinos**, composto pelas Formações Serra do Cotovelo, Serra Azul, São Patricinho, Aimbé e Cabaçal.
- c) **Grupo Pilar de Goiás**, constituído pelas Formações Córrego Fundo, Cedrolina, Boqueirão e Serra do Moinho. Os autores verificaram ainda contatos tectônicos ou bruscos nas Formações Rio Vermelho, e bruscos ou gradacionais nas demais do Grupo Crixás.

Magalhães & Nilson (1992) definiram o cinturão de cisalhamento de empurrão Córrego-Geral-Meia Pataca através de um conjunto de feições de deformação e alterações hidrotermais com mineralizações de ouro associadas. Os mesmos autores propõem ainda subdividir o então Grupo Pilar de Goiás em quatro unidades:

- A – metabasalto toleítico e anfíbolito foliado.
- B – clorita xisto, mármore dolomítico e mica-quartzo xisto.
- C – granada-sericita-clorita protomilonito (xisto) carbonoso, milonitos-ultramilonitos carbonoso dolomítico sericítico-clorítico (xisto) e quartzoso, e sericita milonito.
- D – metagrauvaca.

Nesta subdivisão de unidades, Magalhães & Nilson (1992) consideram as unidades A e D como protólitos e B e C como prováveis resultados de processos de deformação e alteração hidrotermal sobre a metabásicas (Formação Rio Vermelho). As paragêneses evidenciam condições de metamorfismo regional e de alteração hidrotermal posterior de fácies xisto-verde e epidoto anfíbolito. Baseado nas atitudes das feições estudadas por Magalhães (1991) foram propostos dois domínios estruturais, denominados Córrego Geral (DCG) e Meia Pataca (DMP), interpretados, respectivamente, como rampa frontal e rampa lateral oblíqua, com transporte tectônico de oeste para leste.

O estudo do quimismo da Unidade Grauvaqueana da Faixa Crixás, ou Unidade D da Formação Ribeirão das Antas, mostrou semelhança com aqueles de arcos magmáticos continentais e nenhuma correlação com as rochas granito-gnáissicas dos blocos Anta e Caiamar, sugerindo que essas rochas não se constituem do embasamento da seqüência vulcano-sedimentar (Magalhães & Nilson, 1993).

O quimismo das rochas vulcânicas ultramáficas destas seqüências tem sido sucessivamente estudado, caracterizando-as efetivamente como komatiitos (Saboia & Teixeira, 1980; Saboia *et al.*, 1981; Montalvão *et al.*, 1981; Montalvão *et al.*, 1982; Kuyumjian & Dardenne, 1983; Kuyumjian & Dias, 1991a; b). Foram detectadas variações nos padrões de Al e HREE, comparativamente aos *greenstones* do mundo, provavelmente devido a processos metamórficos ou metassomáticos pouco compreendidos, durante os quais as concentrações de vários elementos tradicionalmente imóveis foram fortemente alteradas (Arndt *et al.*, 1989).

Lacerda (1997) reafirmou as subdivisões supracitadas e relacionou as diversas minas e garimpos de ouro com as formações que as hospedam, destacando que parte da mineralização da Mina III associam-se a Formação Rio Vermelho, vinculada com zonas de falhas de empurrão. Em outros locais, como no Garimpo Neco Machado, vinculam-se a zonas de transcorrência, ou a zonas de charneira de dobras com flancos invertidos, como nos garimpos Tóti e Três Buracos.

Os terrenos vulcano-sedimentares aflorantes entre os municípios de Crixás e Hidrolina formam três faixas alongadas com direção predominante NW-SE, com rochas dobradas em isoclinais apertados, com mergulho para SW, separadas por corpos granito-gnáissicos que Jost *et al.* (1999) propõem chamar de Complexo Anta, Caiamar, Hidrolina e Bloco Moquém. O Bloco Moquém se distingue dos complexos por apresentar contatos marcados por falhas com planos formando ângulos de mergulho moderados a verticais.

Blum *et al.* (2000) realizaram levantamentos gravimétricos nas porções centrais e norte de Goiás cobrindo 9000 km² das associações granito-*greenstone*. O correlacionamento dos dados gravimétricos obtidos com os resultados do Projeto *Brasil-Canada's Geophysical Project* (Carmo, 1978) e dos conhecimentos geológicos atualizados resultaram no perfil da estrutura tectônica “em flor” para a Formação Ribeirão das Antas. Os mesmos autores propõem profundidades para os *greenstones* de Crixás em torno de 1200 m, Guarinos com 1000 m e Pilar de Goiás com 1550 m.

A compilação de trabalhos anteriores e mapeamentos recentes realizados pela MSG são apresentados no mapa geológico da FIGURA 2.

TRAÇO EM SUPERFÍCIE DE ZONAS DE CISALHAMENTO
ZONAS DE CISALHAMENTO TANGENCIAIS

RAMPAS FRONTAIS - EMPURRÕES DÚCTIS

- ① Nível Inferior da Mina III
- ② Nível Superior da Mina III
- ③ Nível Mina II
- ④ Nível Mina IV

RAMPAS LATERAIS

- ⑤ Mina III
- ⑥ Mina Nova
- ⑦ Crixás
- ⑧ Bela Vista

ZONA DE CISALHAMENTO TRANSCORRENTE

- ⑨ Sinistral NW
- ⑩ Destral NS
- Superfície

- Td** Cobertura detrito - laterítica
- Vq** Vela de quartzito
- Pt-gr** Granitoides subvolcânicos a plutônicos
- Pt-b** Plutônicas básicas
- Pt-as** Seqüência Santa Terezinha (Paleoproterozóico): quartzitos, mica - quartzito - xistos, mica - xistos, metacherts, metavulcânicas ácidas, básicas e ultrabásicas.

SEQUÊNCIA ALÓCTONE MINA DOS INGLESES

- Pm-g** Xistos grafitosos
- Pm-i** Vulcânicas intermediárias
- Pm-b** Vulcânicas básicas
- Pm-ul** Vulcânicas ultrabásicas

SEQUÊNCIA GREENSTONE NORMAL

- Pgo-ul** Metagrauwacas
- Pgo-gn** Granada - clorita xistos
- Pgo-mn** Xistos manganesíferos grafitosos
- Pgo-g** Xistos grafitosos com níveis de dolomitos

FORMAÇÃO RIO VERMELHO

- Pvr-ba** Derrames básicos metamorfizados

FORMAÇÃO CORALAGUAREDO

- Pcr-ul** Derrames ultrabásicos metamorfizados

PRÉ CAMBRIANO INDIVISO

- Pcp** Diques e sills de metaproxenito
- Pcp** Diques, sills e corpos disformes de metagabros
- Pt-gne** Granito gnaiss

- R** Reserva garimpeira
- G** Garimpo em atividade
- A** Garimpo abandonado

CONTATO DE SEQUÊNCIAS ALÓCTONES

- D** Disjunção polidrai
- p** pillow - lava
- S** Spinelix
- X** Xistocidade
- A** Acumamento
- S** Sinclinal invertido
- F** Fraturas
- F** Falha comprovada (inferida quando tracejada)
- L** Lineação
- E** Estradas
- R** Rios / Córregos

FIGURA 2 - Mapa geológico de Crixás
 (cedido pela mineração Serra Grande).
 Página 17

3 ORIGEM E EVOLUÇÃO DOS *GREENSTONE BELTS* DE GOIÁS

Segundo Araújo Filho & Kuyumjian (1991), os *greenstone belts* de Goiás podem ter se formado intracratonicamente numa mini-placa arqueana delgada, onde dois pontos-quentes de idades concomitantes teriam iniciado suas atividades por volta de 2,8-2,7 Ga, quando surgiram as primeiras manifestações conhecidas de formação de rochas verdes no *Greenstone* de Crixás. Os *greenstones* setentrionais de Goiás envolvendo Crixás, Pilar de Goiás-Hidrolina e Guarinos, apresentam uma forma grosseiramente triangular em planta, possuindo idades entre 2,8 a 2,5 Ga.

Os pontos-quentes teriam funcionado como uma referência fixa em relação a uma delgada mini-placa arqueana de grande mobilidade, linear e angular, se comparadas às placas pós-jurássicas e, provavelmente, afastadas de 500 a 600 km uma da outra. O fluxo calórico dos pontos-quentes provocaria um entumescimento original nos *greenstones*, que serviriam de fonte de sedimentos imaturos. Estes seriam depositados sobre as bordas dos domos gnássicos adjacentes, formando um estágio inicial de proto-aulacógeno e aulacógeno assimétrico. Na seqüência seriam abertas calhas ou fossas tectônicas incipientes, por onde teriam se instalados condutos onde lavas ultramáficas e máficas fluiriam, formando o empilhamento da seqüência máfica-ultramáfica. Com a progressão da abertura das calhas, o restante da seqüência vulcânica cálcio-alcalina e sedimentar, incompleta e delgada, teria sido instalada (Araújo Filho & Kuyumjian, 1992).

Uma junção tríplice do tipo RRR, ou análoga, conduziria a formação de um aulacógeno assimétrico na concentração norte dos *greenstone belts*, onde os braços ativos das calhas estariam formando os *greenstones* de Crixás, Pilar de Goiás-Hidrolina e Guarinos. Ao sul, por uma assimetria mais acentuada do ponto aulacógeno, uma linearidade maior constituiria o *greenstone* de Goiás Velho-Faina (Araújo Filho & Kuyumjian, 1992).

A integração dos resultados analíticos de elementos traço pouco móveis de meta-basaltos das seqüências vulcano-sedimentares proterozóicas levou Kuyumjian & Dias (1991) a concluírem que estas se formaram em ambientes de subducção, sugerindo ainda que, a faixa oriental também constitui um arco magmático, da mesma forma que a faixa ocidental (Pimentel & Fuck, 1987). Segundo Kuyumjian & Dias (1992), a evolução dos dois arcos magmáticos foi acompanhada e seguida, até o Brasiliano, de processos de acreção envolvendo sistemas de arco e de retro-arco proterozóicos e micro-placas continentais arqueanas, e que tal evolução teria sido responsável pela atual estruturação do maciço.

Radaelli (1992) interpreta os depósitos de ouro e estanho em Goiás como diretamente relacionados à Tectônica Superimposta Araxá (TSA) do Proterozóico, que teria gerado lascas destacadas do manto superior nas superfícies de *décollement* mais profundas e cita exemplos como os Complexos de Canabrava, Niquelândia e Barro Alto. Em relação às seqüências metavulcanossedimentares, o mesmo autor considera que a tectônica proterozóica possui características contracionais, o que impossibilitaria que magmas provenientes do manto (básicos e ultrabásicos) pudessem atingir a superfície, e explica a origem das mesmas como sendo Arqueanas. A TSA é definida como um conjunto de deformações rúpteis-dúcteis em planos horizontais restritos, com falhas transcorrentes em rochas do embasamento, além de *overthrust faults imbrications* entre o Araxá e o embasamento. O evento revelou grau metamórfico da fácies xisto verde a epidoto-anfibolito em virtude do transporte de massas horizontais das rochas superiores de WNW para ESE (Radaelli 1990, *in*: Radaelli 1992).

4 O GREENSTONE BELT DE CRIXÁS

Existe um consenso geral de que o preenchimento da bacia sedimentar em Crixás se deu em dois estágios, o primeiro com abundante magmatismo toleítico, seguido progressivamente pelo segundo, detrítico em ambiente anóxico e que, esta seqüência se apresenta estratigraficamente invertida (Theodoro, 1995). Os xistos carbonosos na metade inferior da seqüência detrítica apresentam intercalações de mármore com relíquias de oólitos e prováveis esteiras algais, indicativas de águas rasas e planícies de maré (Theodoro, 1995; Theodoro & Jost, 1996). Já na metade superior ocorrem camadas métricas de xisto carbonoso com fragmentos de provável púmice, sugerindo vulcanismo félsico distal contemporâneo (Jost *et al.*, 1996b).

Os estudos geoquímicos permitiram ainda reconhecer “lascas” de rochas metassedimentares Proterozóicas que ocorrem imbricadas ao longo de falhas internamente aos equivalentes arqueanos (Jost *et al.*, 1996a).

Jost *et al.* (1996b) concluem que a seção metassedimentar em Crixás e Guarinos possui propriedades que não diferem de terrenos arqueanos de outras regiões. Existe um nítido contraste no ambiente deposicional representado pelos xistos carbonosos basais e metaturbiditos distais de topo. A seqüência basal indica uma bacia deposicional rasa que esteve sob regime distensivo, e os metaturbiditos, pela sua natureza e súbito ingresso na bacia, podem sugerir uma fase de soerguimento acelerado. A semelhança geoquímica entre os xistos carbonosos e os metaturbiditos permitem inferir que não houve mudanças na composição da área fonte das duas

seqüências. Queiroz *et al.* (1999) propõem que a estrutura *dome and keel* dos terrenos *granito-greenstone* evoluíram em resposta aos eventos magmáticos e deformacionais durante o Arqueano. As datações realizadas (SHRIMP, zircão e titanita conforme TABELA 2) definiram dois grupos principais de idades. Complexo Anta, Caiamar e Hidrolina com 2,84 a 2,79 Ga e Bloco Moquéim com 2,71 Ga (TABELA 2). Isso sugere que os complexos foram introduzidos numa crosta siálica mais antiga e que o Bloco Moquéim representa um magmatismo relativamente juvenil.

Pesquisas enfocando as estruturas tectônicas que afetaram a região de Crixás foram feitas por Kuyumjian (1981) e Kuyumjian & Araújo Filho (1984), dando continuidade às observações de Saboia (1979), Saboia & Teixeira (1980) e Saboia *et al.* (1981). Os resultados indicaram uma seqüência de eventos deformacionais que foram considerados contínuos, exceto para o embasamento, tendo sido iniciados com a formação de dobras isoclinais D₁, posteriormente verticalizadas pelas intrusões de rochas ácidas. Essas intrusões teriam gerado as estruturas D₂, que por sua vez foram redeformadas juntamente com D₁, por dobras fechadas com planos axiais de baixo ângulo (D₃). A estes eventos seguiram-se dobras abertas (D₄) e dobras de amplitude quilométrica (D₅).

Thomson (1991) deduziu quatro períodos deformacionais, com metamorfismo da fácies anfibolito superpostos ao evento da fácies de xistos, ao estudar o relacionamento das texturas em inclusões de porfiroblastos metamórficos de granada e plagioclásio, da matriz e das assembléias minerais metamórficas. Esse estudo restringiu-se às rochas imediatamente acima, dentro e abaixo da Zona de Minério Inferior da Mina III, zona essa que apresenta as maiores similaridades com as mineralizações do Corpo IV e V, em função da presença predominante de veios de quartzo no xisto carbonoso, brechamento, e também das relações de *Gold Fineness*. A autora reconheceu nos trabalhos de campo diversas estruturas tectônicas, compartimentando-as em estruturas regionais, ou fora da área da mina, e dentro da área mineralizada (TABELA 3). Ainda segundo Thomson (1991), existe pouca dúvida que ocorreu um período relacionado a empurrões ou nappismo no Arqueano, mas não havia certeza se esse seria o único evento de importância a afetar as rochas do *Greenstone Belt* de Crixás. As deformações D₁ e D₂ foram interpretadas como decorrência de nappismo arqueano, que resultou na inversão estratigráfica observada na região. A estrutura S₃ é interpretada como sendo resultado de empurrões pós-arqueanos e essa seria a geradora do metamorfismo da fácies anfibolito verificada no xisto carbonoso, sobreposto ao evento metamórfico da fácies xisto-verde, registrado no clorita-muscovita-granada ± epidoto xisto.

TABELA 2 - Dados geocronológicos (traduzido de Jost & Fortes, 2001).

a) – Dados de U-Pb SCHRIMP em zircão e titanita em milhões de anos (Queiroz, 1999).

COMPLEXO	ROCHA	MINERAL	IDADE	IDADE MAGMÁTICA	IDADE METAMÓRFICA
Anta	Tonalito	zircão	3174 ± 4 a 2948 ± 6 Ma	2792 ± 7 Ma	
Caiaamar	Tonalito Tocambira	zircão	3073 ± 6 a 3048 ± 17 Ma	2842 ± 6 Ma	
	Crixás-Açu Gnaiss Tonalítico	zircão	3051 ± 5 a 2931 ± 7 Ma	2772 ± 3 Ma	
	Crixás-Açu Gnaiss Tonalítico	titanita			2711 ± 34 Ma 2011 ± 15 Ma
	Águas Claras Gnaiss Granodiorítico	zircão	3076 ± 6 a 2976 ± 22 Ma	2844 ± 7 Ma	
Hidrolina	Gnaiss Granodiorítico	zircão	Não	2875 ± 5 Ma	
Bloco Moquém	Gnaiss Granítico	zircão	Não	2711 ± 3 Ma	
	Gnaiss Granítico	zircão	Não	2709 ± 6 Ma	
	Gnaiss Granodiorítico	zircão	Não	2707 ± 4 Ma	

b) – Sm-Nd, Pb-Pb, e Rb-Sr de unidades de rocha em milhões de anos.

Unidade	Rocha	Método	Idade/Ma	Razão inicial	Fonte
Formação Córrego Alagadinho	Meta- komatiito	Sm/Nd	2825±98	-	Arndt <i>et al.</i> (1989)
		Pb/Pb	2728±140	-	Arndt <i>et al.</i> (1989)
Complexo Caiaamar	Tonalito	Rb/Sr	2924±150	0,7012	Montalvão (1985)
		Rb/Sr	2929±105	-	Vargas (1992)
Complexo Anta	Tonalito	Rb/Sr	2461±100	0,707	Vargas (1992)
Complexo Hidrolina	Granodiorito	Rb/Sr	2653±40	0,6938	Montalvão (1985)

c) – Eventos mineralizantes

Local/Método	Rocha	Mineral	Idade/Ma	Fonte
M I N A I I I	K-Ar	anfíbólio xisto	726 ± 16	Fortes (1996), Fortes <i>et al.</i> (1997)
		anfíbólio xisto com biotita	709 ± 13	
			506 ± 7	
		anfíbólio xisto com clorita	563 ± 8	
		quartzo-clorita-carbonato-sericita-xisto	518 ± 7	
		sericita xisto	478 ± 7	
		sericita xisto	510 ± 7	
			575 ± 19	
	Rb-Sr	biotita-mármore	561 ± 8	
		anfíbólio xisto com biotita	731 ± 76	Fortes (1996), Fortes <i>et al.</i> (1997)
		anfíbólio xisto com clorita	647 ± 27	
		quartzo-clorita-carbonato-sericita-xisto	437 ± 13	
		biotita-mármore	497 ± 48	
	Ar-Ar	anfíbólio xisto com biotita	548 ± 1	Fortes (1996), Fortes <i>et al.</i> (1997)
		anfíbólio xisto com clorita	578 ± 0.5	
		sericita xisto	496 ± 0.3	
		sericita xisto	504 ± 1.4	
Cachoeira do Ogó	minério	Galena	2025±40	Pulz (1995)

Ainda segundo Thomson (1991), os veios de quartzo abundantes que hospedam a Zona de Inferior de minério, seriam evidências dos fluxos em larga escala resultantes do cisalhamento tardio. A autora sugere uma grande semelhança da foliação S_1 e da lineação mineral com os resultados estruturais obtidos por Hagemann (1989) no Grupo Canastra, relacionado ao Neoproterozóico (Ciclo Brasileiro).

Tabela 3 – Estruturas determinadas por Thomson (1991) no *Greenstone Belt* de Crixás, caracterizando quatro fases de deformação.

DOMÍNIOS	FOLIAÇÃO	LINEAÇÃO	CRENULAÇÃO	DOBRAS
REGIONAL (fora da área mineralizada)	N65°E/20°NW = S_3 N25°W/20°SW = S_1	N70°W/15-20°, definida por <i>mineral rodding</i> sobre o plano de foliação N65°E/20°NW	S_2 = Superfície de crenulação com direções bastante dispersas, tendendo a E-W subhorizontal com leve plunge para o W. S_4 = Superfície de crenulação N-S sub-horizontal com suave <i>plunge</i> para o norte sobre a foliação N65°E/20°NW.	
LOCAL (dentro da área mineralizada)	N65°E/20°NW = S_3	N77°W/12° definida por uma lineação mineral ou <i>rodding</i> sobre o plano N65°E/20°NW. Nessa zona ocorrem <i>rods</i> de quartzo com até 10 m de diâmetro, boudinados em seções longitudinais.		N18°W/22° e N11°E/30° representam duas populações de dobras <i>chevron</i> . Essas dobras dobram a foliação assim como a lineação.

O *Greenstone Belt* de Crixás foi anteriormente considerado como *synformal keels* em função da sua geometria, distribuição espacial das unidades estratigráficas e da interpretação que, os Complexos Granitóides, eram rochas soerguidas do embasamento. As investigações estruturais e estratigráficas em Crixás (Magalhães, 1991 e Queiroz, 1995) mostraram que as supracrustais não eram sinformes, mas que exibiam a clássica estruturação em domos e quilhas.

Queiroz (1995) identificou três fases de deformação nos seus estudos conforme representados na TABELA 4, a seguir.

Novas investigações estruturais e estratigráficas nos *greenstone belts* de Crixás (Magalhães, 1991; Queiroz, 1995), Guarinos (Jost & Ferreira Filho, 1987; Jost *et al.*, 1995) e Pilar de Goiás (Danni *et al.*, 1986) confirmaram que as seqüências supracrustais não são sinformes, mas estruturas mais complexas que resultara de pelo menos 4 eventos deformacionais (D1 a D4). Baseado nessa última premissa, foi elaborado uma tabela que reúne os 4 eventos, datações e características relevantes no que tange ao Grupo Crixás, particularmente à Formação Ribeirão das Antas no contexto dos Corpos IV e V (TABELA 5).

Tabela 4 – Resumo dos eventos definidos por Queiroz (1995).

Evento	Fase	Período	Descrição da Fase	Estruturas relacionadas
1	D_{n-1}	Arqueano (?)	Estruturação em domos e quilhas em virtude da colocação dos corpos granito-gnáissicos de composição granodiorítica a tonalítica.	
2	D_n	Neoproterozóico (?)	Nucleação de dobras F_n , foliação S_n , lineação mineral e de estiramento L_{m/e_n} e zonas de cisalhamento dúcteis tangenciais ZC_n , essas últimas descritas como falhas de empurrão por Magalhães (1991) no cinturão de cisalhamento de empurrão Córrego Geral-Meia Pataca. Os esforços geradores teriam a direção NW/SE, com vergência de NW para SW.	F_n : N71°W/16° S_n : N18°E/19°NW L_{m/e_n} : N71°W/16°
	D_{n+1}	Neoproterozóico (?)	Geração de dobras F_{n+1} , responsáveis pelo dobramento das falhas de empurrão do cinturão de cisalhamento de empurrão Córrego Geral - Meia Pataca, a foliação S_{n+1} , a lineação de intersecção $Li_{n/n+1}$ e as crenulações Lcr_{n+1} . A essa fase é atribuída ainda a nucleação do Corredor Transpressivo Ribeirão das Antas/Rio Vermelho com zonas de cisalhamento sinistógeras. Os esforços geradores teriam direção EW, com vergência de W para E.	S_{n+1} : N09°W/44°SW $Li_{n/n+1}$: N01°W/15° Lcr_{n+1} : N01°W/15° e N74°W/21°

Os trabalhos de campo permitiram reunir um modesto número de medidas estruturais, visto que o presente estudo não visa uma análise estrutural detalhada, mas que permite confirmar as conseqüências dos principais eventos. As medidas obtidas dentro dos limites dos Corpos IV e V revelaram um predomínio do evento Neoproterozóico, S_4 com mergulho para SW (FIGURA 3 A e B). Os planos com tendência para NE devem representar o evento D_3 , com S_{m3} , em concordância com os dados de Queiroz (1995). Esta última afirmação é reforçada pelas medições das lineações minerais e estiramento ($L_{m/e3}$), assim definidas pela autora anteriormente mencionada e que mostram uma forte tendência de se posicionarem sobre a S_{m3} (FIGURA 3 C e D). Ainda no domínio do Corpo IV foram realizadas medidas das superfícies “C” das estruturas “S/C” que no estereograma sinóptico mostraram novamente a influência do evento D_4 (FIGURA 4 A). Medidas de dobramentos no domínio do Corpo IV demonstram o seu paralelismo com $L_{m/e3}$ (FIGURA 4 B), o que sugere uma preservação destas do evento D_4 . Ao longo da galeria de acesso para o Corpo IV foram realizadas medições de contatos litológicos que demonstraram novamente a imposição tectônica de evento D_4 (FIGURA 4 C). Fica assim demonstrado, em acordo com a coleção de medidas realizada por Queiroz (1995), que a região mineralizada do Corpo IV e V foi afetada pelo evento D_4 Neoproterozóico, reposicionou os contatos litológicos e destruiu os resquícios de S_{m3} em grande parte. Igualmente pode-se observar que as relíquias da S_{m3} são preservados, assim como a $L_{m/e3}$, sendo que esta última tem vínculos indiscutíveis com o *trend* da mineralização dos Corpos IV e V.

TABELA 5 - Resumo das principais feições evolutivas do *Greenstone Belt* de Crixás.

EVENTO		IDADE	METAMORFISMO	EVOLUÇÃO ESTRUTURAL	MAGMATISMO	OBSERVAÇÕES
Pré-D1	A R Q U E A N O	2,825 Ma Sm-Nd mas provavelmente >3 Ga ¹			Fluxos de lavas komatiíticas e toleíticas, seguidas por sedimentação subaquática.	Estruturas menos deformadas preservam texturas spinifex, cumuláticas, e brechas de fluxo. As máficas apresentam <i>pillow</i> , variolas, vesículas e orbículos. Os metassedimentos possuem lentes de <i>chert</i> , microconglomerados, grauvacas e ritmitos.
D1			Regional (fácies xisto verde).	Desenvolvimento da foliação principal S ₁ (em geral paralela a S ₀) com forte transposição e formação de dobras regionais apertadas e isoclinais (orientação desconhecida). O evento progrediu para um empurrão com escamas delgadas e inversão da sequência estratigráfica.		
D2		2842±6Ma Caíamar 2792±7Ma Anta U-Pb (ZRN) SHRIMP ⁵	De contato (fácies albita-epídoto hornfels)	Soerguimento polifásico dos complexos Anta, Caíamar e Hidrolina. Os complexos são delimitados pela mudança nas trajetórias de S ₁ das supracrustais e pelo contato com os granitóides.	Tonalito, granodiorito e raros granitos em escala quilométrica	Esse evento ocorreu contemporaneamente ou imediatamente após o primeiro metamorfismo e transporte tectônico das supracrustais ⁶ . A idade de D ₂ em cada <i>greenstone belt</i> depende da idade dos complexos adjacentes ⁶ , no caso do <i>Greenstone</i> de Crixás, ca. de 50 Ma.
D3 PALEO- PROTERO- ZÓICO		2707±4Ma Moquém 2011±15Ma Id. Metam. Caíamar U-Pb (ZRN) SHRIMP ⁵	Regional. Fácies epidoto-anfibolito ²	Reorientação de S ₀ , S ₁ , desenvolvimento da foliação milonítica S _{m3} e da lineação de estiramento L _{m/c3} . Desenvolvimento de falhas de empurrão, <i>shear faults</i> e atividade magmática. Soerguimento do Bloco Moquém por meio de falhas <i>strike-slip</i> durante a compressão norte-sul e falhas de empurrão com vergência para o norte.	Intrusões menores, provavelmente graníticas, que sofreram intenso metassomatismo sódico ⁴ .	Evolução dos dobramento D ₁ , D ₂ e D ₃ pode representar uma continuidade progressiva de 2 eventos. Ocorrem texturas preservadas no Corpo IV como sericita em <i>microlitons</i> (S ₁) e matriz com sericita milonítica (S _{m3}).
D4 NEO- PROTERO- ZÓICO		726±16 to 478±7 Ma K-Ar ^{3,4}	Regional	<i>High-strain corridors</i> transpressivos e redobramento da dobras D ₃ . Falhas de empurrão em finas escamas com vergência para E e de dobras apertadas a isoclinais.		Relacionado ao ciclo Brasileiro (Neoproterozoico). Muitas das datações U-Pb SHRIMP em zircões forneceram idades de até 590 Ma ⁵ .

Fontes: Arnt *et al.* (1989)¹, Magalhães (1991), Thomson (1991)², Jost *et al.* (1992), Fortes, (1996)³; Fortes *et al.* (1997)⁴, Queiroz *et al.* (2000)⁵; Jost & Fortes (2001)⁶.

FIGURA 3 – (A) Estereograma sinóptico da foliação S_4 (mergulho para SW) e S_{m3} (mergulho para NW) com medidas restritas ao Corpo IV e na galeria entre Corpo IV e V. **(B)** Esterograma sinóptico da foliação S_4 (mergulho para SW) e S_{m3} (mergulho para NW) ao longo da galeria de acesso ao Corpo IV. **(C)** Estereograma sinóptico da lineação mineral/de estiramento ($L_{m/c3}$) no Corpo IV e na galeria entre Corpo IV e V, que representa os eixos de boudins e lineação mineral da pirrotita principalmente. **(D)** Estereograma sinóptico da $L_{m/c3}$ ao longo da galeria de acesso ao Corpo IV, que representa os eixos de boudins e lineação mineral, principalmente da pirrotita.

FIGURA 4 – (A) Estereograma sinóptico da superfície “C” com medidas do Corpo IV e da galeria de acesso ao Corpo IV. (B) Estereograma sinóptico dos eixos de dobras no Corpo IV (vermelho) e ao longo da galeria de acesso ao Corpo IV (preto), coincidentes com ($L_{m/e3}$). (C) Esterograma de contatos tectônicos reconhecidos ao longo da galeria de acesso ao Corpo IV, correlacionáveis à S_4 onde, azul = contato dolomita com clorita-xisto, cinza = contato dolomita com xisto carbonoso, verde = contato clorita-xisto com xisto carbonoso.

5 DESCRIÇÃO DAS ZONAS DE MINÉRIO CORPO IV E V

A descrição a seguir sumariza as principais feições determinadas em campo, divididas em Corpo IV, Corpo V e Zona de alteração relacionada aos corpos de minério.

Os eventos de alteração hidrotermal e cisalhamento pré-neoproterozóicos serão considerados doravante como sendo reativos ao Paleoproterozóico, de acordo com as datações realizadas na área (TABELA 2).

5.1 Corpo IV

O Corpo IV está encaixado no xisto carbonoso, se apresenta milonitizado e afetado por intensa sericitização pré-cisalhamento neoproterozóica. Lentes delgadas e deformadas de quartzo são relativamente raras e são comuns veios de quartzo pós-cisalhamento, geralmente pouco espessos. Ocorre sulfetização intensa, principalmente com pirrotita e vênulas de carbonato de ferro estirados na foliação. Nas zonas mais preservadas das estruturas “S/C” pôde-se reconhecer em diversos pontos, relíquias da foliação metamórfica S_1 , S_{m3} crenulada e da lineação mineral $L_{m/e3}$, paralela ao eixo de crenulação.

O *hanging wall* do Corpo IV pôde ser reconhecido a aproximadamente 360 m do corpo V na galeria de acesso entre o Corpo IV e V, local esse onde predominam xistos carbonosos, com biotita ocorrendo de maneira rítmica, e quartzo com pouco carbonato de ferro em relação as zonas mais distais. Ao se aproximar das zonas mais internas do Corpo IV percebe-se de maneira geral uma intensa alteração sericítica nas encaixantes e forte variação nos mergulhos devido as estruturas “S/C”.

Em uma galeria de desenvolvimento do Corpo IV ocorre calcário grafítico, cinza escuro a preto, e brechas cortadas por diversos veios delgados de quartzo na base, em contato com filito grafítico. O calcário carbonoso próximo as zonas mais silicificadas adquire tom cinza a acastanhado, onde fica evidente o bandamento sedimentar dobrado. A borda superior desses calcários é silicificada na forma de veios tardios de quartzo hialino a branco, que incluem fragmentos miloníticos e alongados de xistos carbonosos, nos quais se nota forte sericitização.

Porfiroblastos de calcita são comuns em bordas e preenchimento de fraturas. Ocorrem dobras intrafoliais paralelas a foliação milonítica em faixas, que podem representar zonas silicificadas ou de *chert* em meio ao calcário. O fundo da galeria de desenvolvimento mostra um dobramento em escala métrica com eixo paralelo a lineação de estiramento mineral principal ($L_{m/e3}$: N37°W/20°) e ao *plunge* dos corpos de minério. O calcário carbonoso apresenta ainda *boudins* de calcita sugerindo tratarem-se de veios de calcita prévios ao cisalhamento e às dobras intrafoliais. Em meio ao xisto carbonoso ocorre uma faixa com aproximadamente 1,5 m de espessura de sericita xisto com clorita, contendo porfiroblastos de anfibólio de até 7 cm de comprimento, e granada mais fina (até 1 cm de diâmetro). Esses porfiroblastos estão cortados pela foliação milonítica neoproterozóica e apresentam leve rotacionamento, sendo que alguns cristais apresentam-se pouco deformados e orientados segundo a foliação milonítica.

A foliação principal S_1 apresenta-se crenulada segundo um eixo paralelo à lineação mineral predominante. Paralelo a foliação S_1 ocorrem zonas miloníticas (S_{m3}) com pouca silicificação em relação aos falhamentos mais tardios e deve estar relacionado a um evento metamórfico regional, assim como S_1 .

Nas proximidades do Corpo IV, na galeria de acesso ao Corpo V, pode-se constatar a zona de cisalhamento principal, sendo que os maiores mergulhos situam-se no início do Corpo IV, relativo a galeria, e que devem estar relacionadas as estruturas “S/C”.

Os blocos envoltos pela “C” tem os veios de quartzo mais preservados e encaixados na sintética e na antitética. Junto aos veios de quartzo ocorre forte enriquecimento de biotita, silicificação, sericitização, carbonatização (carbonatos de ferro) e sulfetização.

O Corpo IV apresenta diversas gerações de quartzo que foram ordenados segundo a cronologia relativa reconhecida nas paredes da galeria. A TABELA 6 apresenta a cronologia relativa dos veios de quartzo no Corpo IV.

5.2 Corpo V

As rochas do Corpo V estão encaixadas, de maneira semelhante ao Corpo IV, no xisto carbonoso, sendo que o este tem como principal diferença uma estruturação predominantemente de quebra e preenchimento (*crak and seal*) e apresenta uma quantidade relativamente maior de arsenopirita euhedrica.

A arsenopirita ocorre nos clastos e restitos do xisto grafítico e restringe-se à foliação milonítica e nas bordas dos veios de Q-V1 e Q-V2 (TABELA 6), onde ocorre crescimento dos maiores cristais, característica semelhante ao halo de alteração reconhecido por Jost & Fortes (2001) na Mina III. A encaixante com xisto carbonoso apresenta pirrotita foliada segundo S_{m3} .

As estruturas de quebra e preenchimento são pré-cisalhamento principal (Pré-Neoproterozóico) no domínio do Corpo V e se apresentam em bom estado de preservação, sendo que nas imediações externas do corpo de minério ocorrem estruturas relacionadas ao cisalhamento neoproterozóico, indicando um deslocamento para o norte.

Em uma porção mais deformada na borda da estrutura de quebra e preenchimento do Corpo V, ocorre um início de estiramento, cortado por pequenas falhas com preenchimento de carbonato, sugerindo fraturamento nos estágios iniciais da falha e progressão para o cisalhamento principal. Poderiam também ser interpretados como dois eventos deformacionais distintos, mas, de qualquer maneira, o minério correlaciona-se ao cisalhamento.

TABELA 6 - Veios de quartzo nas zonas mineralizadas do Corpo IV e V.

EVENTO	CORPO IV	CORPO V	CARACTERÍSTICAS	OURO
Pré- D1			Microconglomerados, dolomitos, quartzitos, <i>chert</i> , material carbonoso na encaixante metasedimentar.	Possível, mas sem indícios comprovados
D1			S ₁ 260/31 (moda). BT-CHL-SE xisto carbonoso.	
D2		Q-V0: escuro, estruturas <i>crack and seal</i> preservado das zonas de cisalhamento, com Fe-carbonato, foliado, brechado. ASP+CCP+PO+FE+CAB	Relacionado ao soerguimento dos corpos graníticos. Turmalinização.	
D3	Q-IV1: escuro, desenvolve-nos <i>tension gash</i> , pós-S ₁ . QTZ + Fe-CAB + PO + ASP + CCP + SPH + TUR Q-IV2: desenvolvem-se sobre o plano “C” das estruturas “S/C” (foliação milonítica S _{m3}), leitoso a hialino, <i>budins</i> .	Q-V1: na foliação milonítica, dobrado na ponta das lentes onde intercepta o cisalhamento, distensivo. Q-V2: no plano “C” das estruturas “S/C” (foliação milonítica S _{m3}), estirado e dobrado intrafolialmente	Associação GRT + HB + CHL + BT + EP + ASP1 + SPH + QTZ. Pico metamórfico na fácies epidoto-anfibolito. L _{m3} 309/24 (moda) paralelo ao <i>plunge</i> dos corpos de minério e ao eixo de dobras do Corpo IV. Desenvolvimento da foliação milonítica S _{m3} 241/44 (moda). Silicificação, sericitização, carbonatização, biotitização, sulfetação.	Associado aos sulfetos e veios quartzo-carbonáticos, particularmente ao final deste evento.
D4	Q-IV3: Relacionado a falhas subverticais do evento transpressivo (N-S). PY+BO Q-IV4: desenvolvem-se sobre o plano “C” das estruturas “S/C” tardias (S _{m4}), muito estiradas e com dobras intrafoliais. QTZ + FSP + PO + AU + CCP + ASP + CAB.		S _{c4} 283/28 (moda). Silicificação.	

Abreviações: Q-IV1 a 4 – veios de quartzo 1 até 4 do Corpo IV, Q-V0 a 2 – veio de quartzo 0 até 2 do Corpo V, Abreviações minerais conforme TABELA 1

Ocorrem veios de quartzo paralelos a foliação milonítica, deformados com restos de xisto grafitoso e porfiroblastos de arsenopirita. Os veios de quartzo encontrados no Corpo V possuem uma cronologia relativa e características semelhantes aos do Corpo IV, conforme a TABELA 6.

Os Q-V1 e Q-V2 (TABELA 6) ocorrem em zonas pouco deformadas e não foram afetados pelo cisalhamento neoproterozóico. Esses veios mais antigos e cisalhados ao redor do corpo de minério apresentam Fe-dolomita fina, sendo muito fraturados e deformados.

6 ZONA DE ALTERAÇÃO RELACIONADA AOS CORPOS DE MINÉRIO

O mapeamento das paredes das galerias permitiu o reconhecimento de halos de alteração concêntricos ao redor do minério, bastante semelhantes nos Corpos IV e V, particularmente nas áreas pouco afetadas pelo cisalhamento neoproterozóico. Leitos ou pequenas lentes sericíticas com biotita são comuns nos xistos carbonosos, de maneira semelhante aos que ocorrem no Corpo Superior, e apresentam biotita concentrada nas bordas, sendo cortados pelos veios Q-V2. Afastando-se das lentes, a rocha torna-se mais grafitosa, mais rica em arsenopirita e a sericita aparentemente desaparece.

Uma subdivisão relacionada ao núcleo das alterações encontradas é apresentada na TABELA 7.

TABELA 7 – Zonas de alteração hidrotermal relacionadas aos Corpos IV e V.

	<i>PROXIMAL</i>	<i>INTERMEDIÁRIO</i>	<i>DISTAL</i>
CORPO IV	Xisto carbonoso, veios de quartzo com granada, anfibólio, biotita, sericita, pirrotita, arsenopirita, calcopirita (predominância da pirrotita)	Biotita + sericita Lentes de sericita no xisto carbonoso	Xisto carbonoso Carbonato de ferro (siderita?)
CORPO V	Xisto carbonoso, veios de quartzo com granada, anfibólio, biotita, sericita, pirrotita, arsenopirita, calcopirita (predominância da arsenopirita)	Biotita + sericita Lentes de sericita no xisto carbonoso	Xisto carbonoso Carbonato de ferro (siderita?)

7 BRECHAMENTO RELACIONADO AOS CORPOS DE MINÉRIO

Visto que a presença de brechamento está estritamente relacionada com a entrada de fluidos hidrotermais e que ambos os processos estão vinculados aos processos mineralizantes,

é feito aqui uma caracterização dos tipos possíveis de sistemas de brechamento que afetam os corpos de minério.

Brechas são mais comumente encontradas nas partes superiores da crosta terrestre, saturadas de fluidos, onde a deformação rúptil é dominante. As brechas hidrotermais constituem uma subclasse da família das brechas, na qual as rochas brechadas interagem com soluções hidrotermais, tipicamente ricas em água (Jébrak, 1997).

Os estudos petrográficos tem mostrado que os sistemas de brechamento nos corpos mineralizados do *Greenstone Belt* de Crixás, principalmente nos Corpos IV e V e Zona Inferior, conforme PRANCHA 1, estão intimamente relacionados à alterações hidrotermais ao longo de condutos, resultando em diversos tipos e intensidades de alteração. Outra feição importante foi o reconhecimento da forma recorrente da atuação dos fluidos, que pôde ser reconhecida, por exemplo, em porfiroblastos de cloritóide. A PRANCHA 2 mostra um porfiroblasto de cloritóide com preenchimento da fratura caracterizado pela precipitação repetitiva de clorita e calcita. Essas características limitam a classificação de processos na área estudada a dois tipos, de acordo com os critérios de Jébrak (1997):

- a) Brechamento assistido por fluidos (fraturamento hidráulico): é relacionado a um incremento da pressão do fluido dentro dos veios. O aumento da pressão do fluido pode ter várias origens, entre elas, a diminuição da permeabilidade da falha pelo movimento desta ou pela deposição de minerais, ou pela efervecência ou *boiling*, como resultado de reações químicas. O *stress* se manifesta na forma de pulsos de maneira uniforme e é um brechamento comum em depósitos minerais.
- b) Brechamento assistido por fluidos (fraturamento crítico): é relacionado a destruição do equilíbrio entre a pressão do fluido e o *stress* regional dentro do veio. A pressão do fluido diminui em resposta a uma súbita abertura de espaços geradas por movimentos rápidos ou pela intersecção de veios diferentes, o que vem a explicar porque as intersecções de veios são associadas com zonas de brechamento intenso. O *stress* se manifesta na forma de pulsos de maneira uniforme, sendo esse tipo de brechamento comumente encontrado em depósitos do tipo *lode*.

Esses dois tipos de brechamento podem ser vistos no esquema da FIGURA 5, sendo que os mesmos ocorrem, geralmente, em íntima associação, porque ambos dependem de variações na pressão dos fluidos. Ambos os tipos de brechamento assistidos por fluidos geram texturas de fragmentação *in situ*, como brechas em mosaico, num padrão de “quebra-cabeça”

sem rotação significativa dos fragmentos. Uma leve rotação dos fragmentos foi observada no Corpo V, como resultado do brechamento crítico, porque os fragmentos sofrem um colapso imediatamente após a fragmentação. Isso indica que ocorreu um brechamento crítico extenso e que o processo de dilatação foi um processo contínuo com larga disponibilidade de espaços abertos (Jébrak, 1997).

Outra característica do brechamento assistido por fluidos é o fato dos fragmentos serem angulares e do brechamento seguir tipicamente planos de descontinuidade pré-existent (Jébrak, 1997), como é o caso das brechas de xisto carbonoso rompidas preferencialmente nos planos de foliação nos Corpos IV, V e da Zona Inferior.

FIGURA 5 – Ilustração esquemática do mecanismo de brechamento assistido por fluidos em depósitos de veios hidrotermais (A) e a geometria resultante das brechas (B), segundo Jébrak (1997).

PRANCHA 1 – Estrutura brechada nos corpos mineralizados: (A) e (B) Corpo IV; (C) e (D) Corpo V; (E) e (F) Zona Inferior (Mina III).

PRANCHA 2 - (A) – Imagem da amostra K59-34143 da lâmina delgada (5x3cm) submetida aos estudos petrográficos e de análise com auxílio de EDS. Os número representam os círculos nos quais foram realizadas análises. A matriz cinza é sericítico-feldspática, com venulações de clorito em verde. Em meio a massa sericítico/feldspática ocorrem porfiroblastos de cloritóide, parcialmente decompostos pela cloritização/carbonatização, provavelmente neoproterozóica. **(B)** Círculo C1 da amostra K59-34143 com cloritóide fraturado. Notar a muscovita fina na matriz (MS1) e muscovita mais grossa (MS3) marcando o reflexo da fratura do porfiroblasto de cloritóide através da matriz. **(C)** Diagrama da imagem (B) indicando as diversas fases de cristalização dos pares clorita-carbonato sugerindo três pulsos de alteração/preenchimento.

CAPÍTULO III

PETROGRAFIA E BANCO DE DADOS PETROGRÁFICO

INTRODUÇÃO

Os diversos trabalhos geológicos efetuados na área da Mina III por vários autores utilizaram termos distintos na descrição das mesmas unidades ou litotipos, dificultando muitas vezes o resgate dos dados obtidos no decorrer dos últimos 20 anos. Por este motivo é inicialmente apresentada uma proposta de correlação dos termos utilizados nos principais estudos petrográficos e das nomenclaturas de rochas adotadas pela Mineração Serra Grande conforme a TABELA 8.

TABELA 8 – Correlação das nomenclaturas de rochas utilizadas para a Formação Rio Vermelho e Ribeirão das Antas.

Nomenclatura MSG	THOMSON (1986)	THEODORO (1995)	FORTES (1996)
Solo			
Saprólito, amarelo, marrom, verde, vermelho, grafítico)			
Anfibólito fino, médio e grosso		Fácies Vulcanossedimentar	Talco xisto
Clorita-anfibólio xisto	Anfibólito foliado		Metabasalto
Dolomito			Anfibólio xisto
Dolomito biotítico, dolomito brechado com grafita	Clorita-plagioclásio-quartzo-dolomita xisto	Fácies Carbonática	
Dolomito grafítico			
Dolomito impuro, com disseminação de biotita e/ou clorita, encaixante da zona mineralizada	Dolomita-clorita-biotita-quartzo xisto		
Carbonato-clorita xisto. Transição entre o dolomito impuro e o clorita-xisto (CVX)	Dolomito venulado e clorita-biotita-quartzo xisto		Quartzo-clorita-carbonato-sericita xistos
	Dolomito maciço com zonas ricas em clorita e sericita		Sericita-carbonato xistos
Clorita-xisto verde, granadito e granada-clorita xisto	Clorita-sericita-granada xisto bandado	Fácies Vulcanossedimentar	Clorita-granada xisto e granaditos
Clorita xisto	Sericita-clorita xisto		Sericita-clorita xisto
Sericita xisto e sericita-quartzo xisto da capa da zona mineralizada			Quartzo-clorita-sericita-granada xisto
Clorita-granada-magnetita-anfibólio xisto e magnetita maciça	Clorita-magnetita xisto		Pirrotita-magnetita-biotita xisto
Sulfeto maciço			Sulfeto Maciço
Veio de quartzo e <i>metachert</i>			Veios de quartzo mineralizados
Grafita xisto fino	Pelito grafítico	Fácies Carbonosa	Xistos Carbonosos
Grafita xisto e/ veios de quartzo, grafita xisto superior à zona de veios de quartzo e <i>metachert</i> grafítico	Brecha pelítica grafítica cimentada por quartzo (zona mineralizada inferior)		
Metagrauvaca	Quartzo-biotita-plagioclásio xisto bandado	Fácies Terrígena	Xistos feldspáticos

As sobreposições de alterações hidrotermais e falhas trazem grandes dificuldades para o reconhecimento, separação e interpretação das unidades e dos eventos que acometeram

principalmente as rochas da Formação Ribeirão das Antas. As diferenças de competência existentes nos contatos litológicos são um dos controles fundamentais para o desenvolvimento das zonas de cisalhamento e/ou reativação de zonas de cisalhamento mais antigas. Os fluidos de alteração utilizam-se da permeabilidade nas rochas impostas pelo brechamento, dobramento e das zonas de cisalhamento.

A inversão estratigráfica reconhecida por autores anteriores (Theodoro, 1995; Jost *et al.*, 2000) pode ser reconfirmada na interpretação da descrição dos testemunhos de sondagem. No detalhamento das unidades pertencentes à área em estudo será considerado o posicionamento estratigráfico atual, ou seja, os metassedimentos da Formação Ribeirão das Antas na base e as metabásicas da Formação Rio Vermelho no topo.

Com base nos estudos petrográficos dos testemunhos de sondagem IV-22, IV-23, IV-29, K-03, K-06, K-44, K-49, K-59 e mapeamento geológico das galerias de acesso, foi possível a subdivisão de três unidades litotípicas. Esta subdivisão utiliza a nomenclatura proposta por Theodoro (1995) com modificações, que refere-se à composição do protólito metamorfoisado e às zonas de alteração hidrotermal, o que simplifica o agrupamento das unidades, dada a grande complexidade litológica.

Os sulfetos representam uma parte fundamental na associação com a mineralização de ouro dos Corpos IV e V e, sendo assim, foi feita uma cuidadosa descrição aos mesmos. Outra meta importante no estudo dos opacos foi a tentativa de se estabelecer uma correlação temporal relativa entre as diversas espécies de sulfetos e com o ouro. Os estudos foram realizados em seções polidas e nas amostras de veios polidos em ambos os lados (*flinks*), visando também uma melhor fundamentação petrográfica para o estudo das inclusões fluidas.

Após a descrição das unidades litotípicas segue uma descrição do banco de dados construído especialmente para atender as necessidades do projeto, no processamento e posicionamento do grande número de informações petrológicas.

1 FÁCIES VULCANOSSEDIMENTAR

As rochas da fácies vulcanossedimentar na área estudada são representadas por metabasaltos toleíticos, apresentando-se freqüentemente como anfíbolitos a anfibólio-xistos, com cores verde clara a verde escura, em função do conteúdo de anfibólio, granulações que vão do muito fino ao grosso e texturas grano- a nematoblástica. Ocorrem diversas estruturas relíquias de estruturas ígneas, como amígdalas, *pillow lavas*, materiais *interpillows*, tufos,

brechas (*pillow breccias*) e derrames maciços. As principais características destas rochas são a presença constante de hornblenda/actinolita.

A composição principal dos anfibolitos é de anfibólio com núcleo de actinolita e bordas de hornblenda (70-80%, ver Capítulo IV - Química Mineral), cristais grandes de oligoclásio recristalizado (15%) e acessórios como zircão e óxidos de ferro.

O anfibolito ainda sofre alterações posteriores que afetam principalmente zonas menos impermeáveis como de falhas, inter-brechas, inter-*pillows* e tufos, onde ocorre silicificação, epidotização, sulfetização, cloritização, biotitização e carbonatização. A grande diferença de competência entre os derrames maciços e *pillows* com os depósitos de tufos torna estes últimos altamente susceptíveis a direcionar as zonas de cisalhamento, resultado dos esforços a que todo o pacote foi submetido.

Dentro das zonas mais permeáveis e alteradas hidrotermalmente ocorrem titanita e epidoto, por vezes relacionados a estruturas “S/C”. O carbonato de ferro de cor azul na coloração seletiva substitui o anfibólio, sendo que quartzo (15-20%), calcita (<10%) e clorita (picnoclorita) (5-20%) compõem as fases de alteração hidrotermal mais tardias. Na lâmina IV-22-01687 foram encontrados cristais de turmalina que devem estar relacionados aos eventos de alteração. A dolomita como mineral de alteração se apresenta muitas vezes na forma de pseudomorfos da hornblenda/actinolita, principalmente nas zonas de fraturas, o que pode ser indicativo de altas pressões de CO₂ relacionadas ao evento que fraturam os porfiroblastos. A clorita e epidoto são singenéticos e a biotita é cloritizada (CHL3) e epidotizada (EP3). O plagioclásio possui inclusões de epidoto (EP1), titanita e clorita. Existe uma relação de blastese entre a dolomita, biotita, sulfetos e clorita com a foliação, provavelmente S_{m3}. A pirrotita ocorre envolta por epidoto microcristalino. Em zonas mais intensamente alteradas são encontrados porfiroblastos euédricos de anfibólio tardios (amostra IV-22-01687), que podem ser correlacionados às zonas ricas em porfiroblastos de ferrotschermakita, nos metassedimentos da Formação Ribeirão das Antas, que está relacionado ao evento de alteração hidrotermal associado ao evento D3.

Os estudos petrográficos permitiram elaborar uma tabela de relações de blastese que foram associados aos eventos que ocorreram nos litotipos do Grupo Crixás apresentado na TABELA 9.

TABELA 9 – Relações de blastese determinadas para as rochas da Fácies Vulcanossedimentar.

FÁCIES VULCANOSSEDIMENTAR					
	ARQUEANO			PALEOPROTERO-ZÓICO	NEOPROTERO-ZÓICO
	S ₀	D1 (S ₁)	D2	D3 (S _{m3})	D4 (S ₄)
Hornblenda/actinolita					
Oligoclásio					
Zircão					
Óxido de ferro					
Dolomita					
Fe-tschermakita					
Quartzo					
Epídoto					
Titanita					
Turmalina					
Clorita					
Calcita					
Biotita					
Pirrotita					
Quartzo					
	Derrames submarinos	Desenvolve em zonas de menor competência		Fácies epídoto-anfibolito. Alterações em locais de maior permeabilidade (p. ex.: tufos, materiais <i>inter-pillows</i>)	Falhas tardias reativam falhas anteriores
Convenção: --- Mineral da direita altera para mineral da esquerda. --- Mineral da direita incluso no mineral da esquerda.					

A base desta unidade com a Unidade Terrígena é tectônica, e a sua espessura total é estimada em 300 a 500 m (Jost & Fortes, 2001). O contato no topo com os meta-komatiitos da Formação Córrego Alagadinho, que não foi constatada nos trabalhos de mapeamento, é considerado abrupto pelos autores anteriormente mencionados.

Foram reconhecidos episódios vulcanogênicos, caracterizando ciclos com pequenas variações e com escala métrica variável, que se repetem várias vezes ao longo do pacote de metabásicas. Esta sequência se apresenta invertida nos testemunhos de sondagem, podendo ser dividida por meio de suas estruturas e litotipos em três episódios vulcanogênicos correlatos, que se repetem várias vezes dentro da unidade vulcanossedimentar. Da base para o topo foi observada a seguinte ordem:

- a) Derrames maciços: metabasitos maciços a pouco foliados, verde claro com granulações muito fina a grossa. Frequentemente apresentam venulações preenchidas com calcita branca, condicionadas por fraturas, com bordas cloritizadas.
- b) *Pillow* lava: *pillows* com mais de 20 cm de altura, às vezes com amígdalas em suas bordas, com leitos de tufos carbonatizados e geralmente foliados.

- c) Tufos: coloração verde clara a branca, apresentam granulação média, laminados e/ou foliados.

2 FÁCIES TERRÍGENA

A fácies terrígena constitui camadas de xistos deformados, com intercalações de rochas dolomíticas e metabásicas, freqüentemente cortadas por zonas de cisalhamento e zonas com forte alteração hidrotermal sobrepostas. Esta unidade litológica é particularmente importante por hospedar quase todos os corpos mineralizados da Mina III, além dos Corpos IV e V.

As rochas desta unidade tem sido usualmente denominada de metagrauvacas, no sentido de Krynnine (*in*: Friedman & Sanders, 1978), onde a *graywacke* é considerado como: “arenito composto por partículas de quartzo anguloso, *chert* e fragmentos abundantes de rochas metamórficas, com pouco ou nenhum cimento e feldspato, contendo mais que 12-17% de micas e clorita, tanto na matriz argilosa como nos fragmentos de rocha”. Este termo tem gerado confusão nas descrição de terrenos metamorfisados, vulcanossedimentares ou não, devido ao seu vínculo genético com a teoria dos geossinclinais e, assim sendo, Friedman & Sanders (1978) não recomendam a sua utilização. Esses autores sugerem que estas rochas sejam denominadas de arenitos líticos argilosos. Suguio (1998) propõe ainda a tradução para o português do termo *wacke* como “vaque”. Neste trabalho será adotada a nomenclatura *metawacke*, em acordo com Ronde *et al.* (1992).

Será adotado ainda o termo carbonoso ao invés de grafitoso, em acordo com Fortes (1996) que definiu valores isotópicos (δC_{org}) de -15,11 a -17,99 ‰ para a matéria carbonosa, indicando uma grafitização apenas incipiente e, ainda, classificando-os como sendo de origem orgânica.

Existem duas terminologias para descrever a matéria carbonosa precambriana: querogênio e betume. Querogênio se refere a matéria orgânica insolúvel, em partículas macromoleculares, dispersa em sedimentos consolidados, os quais estiveram virtualmente imóveis desde sua deposição. Acredita-se que o querogênio precambriano deve ter sido similar aos querogênios tipo I, derivado de algas lacustrinas, e tipo II de fitoplâncton marinho. Betume se refere a substâncias orgânicas macromoleculares, as quais são móveis na forma de fluidos viscosos (em geral óleo ou gás), ou que passaram a uma fase imóvel, solidificado por processos de polimerização. O depósito mineral de Witwatersrand também apresenta material

carbonoso na forma de leitos e nódulos (Spangenberg & Frimmel, 2001), de forma semelhante à encontrada na Formação Ribeirão da Antas.

Rasmussen *et al.* (1999) demonstraram que o movimento de hidrocarbonetos que atravessam arenitos podem formar nódulos ao redor de minerais pesados e radioativos detríticos (p. ex. monazita e torita). Sua teoria se baseia no fato que a radiação ionizante provoca ligações cruzadas e polimerização das moléculas de hidrocarbonetos. Durante tal processo, as ligações C-H e C-S são quebradas preferencialmente às C-C, o que resulta na liberação de H e S para o fluido circundante. Se houver uma salmoura rica em metais em migração simultânea ou posterior nestas rochas, é possível que o enxôfre reaja com os metais formando sulfetos disseminados dentro do betume ou na forma de uma fina camada de sulfetos ao redor deste, mantendo seu núcleo radioativo. Este é o caso encontrado em *Eastern Goldfields* no oeste Australiano e na bacia de Witwatersrand na África do Sul. Os nódulos encontrados na Formação Ribeirão das Antas não apresentavam camadas de sulfetos, traços de radioatividade, segundo testes feitos com contador Geiger, e não foram encontrados minerais pesados radioativos nos metassedimentos desta formação.

Os “nódulos carbonosos” encontrados nos metassedimentos da Formação Ribeirão das Antas, constituídos por material carbonoso e carbonato em proporções diversas (PRANCHA 3), foram primeiramente interpretados como de origem sedimentar. Os estudos petrográficos, entretanto, indicam que a maioria destes nódulos são provenientes de leitos mais ricos em matéria carbonosa que foram transpostos pela S_1 e, na região apical das dobras associadas ao evento regional de crenulação, foram truncados, isolados e rotacionados pela transposição plano-axial S_{m3} (PRANCHA 4 G). Com a superposição da foliação geradas pela zona de cisalhamento houve rotação e a recristalização dos elastos, o que provocou uma aglutinação da matéria carbonosa em pequenos elipsóides posicionados perpendicularmente ao esforço, conforme pode ser observado na PRANCHA 3 A, B e C. Em seções perpendiculares ao esforço os fragmentos mostram-se com seções circulares conforme PRANCHA 4 A. Com o aumento da intensidade do cisalhamento estas estruturas são ainda mais estiradas, surgem sombras de pressão e com a continuidade da deformação, os nódulos são destruídos (PRANCHA 3 D, E e F, ver também a TABELA 10).

Esta evolução sugere que outros materiais considerados como clastos, como os carbonatos, agregados de quartzo com ou sem micas, xisto carbonoso e material pelítico, podem ser, pelo menos em parte, originados por brechamentos pré- ou sin- S_{m3} (PRANCHA 4 C, D, E e F), feições essas bastante comuns nas zonas mineralizadas (ver Capítulo II,

Brechamento relacionado aos corpos de minério).

A litologia é composta predominantemente por *metawacke* feldspáticos de cor cinza a negra, carbonosos e com freqüentes clastos líticos diversos, chegando a constituir leitos de *metawackes* líticos. Esta unidade inclui freqüentes camadas, bandas e lâminas de filito carbonoso, derivadas de folhelhos, geralmente em contato gradacional, onde são mais poupados das deformações regionais associadas aos eventos de cisalhamento. Não raramente ocorrem leitos ricos em clastos variando de grânulos a seixos com até 5 cm de comprimento, constituindo metarenitos feldspáticos ou líticos argilosos conglomeráticos. Frequentemente possuem clastos de carbonatos, que podem predominar sobre os demais nas proximidades dos corpos de rochas carbonáticas.

A matriz do *metawacke* é composta, em essência, por plagioclásio (10 a 40%), quartzo (~ 5%), biotita (3 a 15%), clorita (10 a 20%), material carbonoso (1 a 20%), muscovita (0 a 30%), carbonatos (0 a 20%), além de acessórios como ilmenita, turmalina, epídoto, rutilo, titanita, apatita, pirrotita, arsenopirita, calcopirita e pirita.

Localmente a rocha encontra-se bem preservada de deformações tardias e nestes partes pode-se verificar clastos angulosos a pouco arredondados, com granulação submilimétrica a decimétrica. Estes últimos são formados predominantemente por quartzo monomilerálico ou como agregados de feldspatos, carbonatos com inclusões de material carbonoso e/ou óxidos de Ti/Fe e fragmentos líticos carbonáticos, de filitos carbonosos, de quartzitos ou *metachert* e, mais raramente, de agregados de quartzo e feldspato (PRANCHA 4 B). Em função da proximidade das zonas de cisalhamento tardias, que também coincidem com as áreas de influência da alteração hidrotermal, ocorrem deformações suaves a destrutivas como estiramento dos clastos/brechas e dos “nódulos carbonosos”.

PRANCHA 3 – Ilustração da seqüência de formação e destruição dos “nódulos carbonosos”: (A) a evolução da crenulação S_{m3} separou zonas apicais de dobras de material carbonoso; (B) o avanço da intensidade de cisalhamento gerou o “nódulo”; (C) “nódulos” desenvolvidos e já com princípio de deformação; (D), (E) e (F) seqüência de destruição da estrutura de acordo com a intensidade do cisalhamento relacionado ao evento D4.

PRANCHA 4 – (A) Corte perpendicular a foliação principal mostrando o estiramento de veios de quartzo dobrados e de nódulos carbonosos, segundo a $L_{m/e3}$ (bloco de amostra com 5 x 3 cm), (C) brecha de quartzo com foliação dobrada marcada por material carbonoso (S_1) em meio a matriz predominantemente sericitica dominado pela foliação S_{m3} (amostra IV-22-18076), (D) brecha com material carbonoso rotacionado, preservando parcialmente a foliação S_1 , (E) brecha angulosa de quartzo com sombras de pressão, (F) brecha carbonática/carbonosa estirada apresentando bandamento interno (S_1), (G) clasto carbonático (calcita) com inclusões de ilmenita e plagioclásio (amostra K59-19435).

O contato inferior dos xisto carbonosos com as metabásicas é abrupto marcado pela zona de cisalhamento, que no Perfil E-W (ANEXO 1) pode ser reconhecida na superfície pelo sistema superimposto de drenagem do Rio Vermelho. A parte superior da Unidade Terrígena apresenta ritmitos e/ou dolomitos primários e os bitotita-clorita xistos, mas está geralmente mascarada pela intensa dolomitização (Jost & Fortes, 2001).

Foram encontradas várias relíquias das rochas originais nos testemunhos de sondagem tectonizadas, às vezes com suave alteração hidrotermal, como por exemplo ritmitos quartzo-carbonático-carbonoso (PRANCHA 5 E), arenitos e microconglomerados. No testemunho de sondagem F-462 foi identificado uma zona de microconglomerados com seixos de até 0,6 cm, predominantemente de quartzo, arredondados, que gradam para meta-arenito a meta-siltito com grânulos dispersos, com estruturas típicas de correntes de turbidez, indicando ambiente deposicional próximo a margens continentais ativas, corroborando a afirmação de Jost & Fortes (2001).

Foi detectada uma alta concentração (até ~ 28,4%) de fluorapatita, em uma análise de clasto carbonoso da Unidade Terrígena na *metawacke* (FIGURA 6, PRANCHA 5 A e B, amostra IV-22-11218). A presença de apatita nas concentrações acima mencionadas traz informações complementares sobre o ambiente deposicional, principalmente da zona mineralizada. Sobre a precipitação do fósforo, Froelich *et al.* (1982), propõem que partículas de oxi-hidróxido de ferro, formadas hidrotermalmente pela reação entre fluidos ricos em ferro e água do mar oxigenada, podem co-precipitar fósforo. Adicionalmente a crosta oceânica e seus sedimentos em regiões de flancos de arcos também atuam como sítios removedores de fósforo da água marinha (Wheat *et al.*, 1996). A retirada de fósforo pelos óxidos de Fe está relacionada com o nível de oxigênio da atmosfera e hidrosfera (Shen *et al.*, 2000). Os mesmos autores citam ainda um exemplo de fosfogênese no período final do Proterozóico em um oceano bastante oxigenado, permitindo a retirada de fósforo pelo “bombeamento” de Fe hidrotermal e pela proliferação da atividade microbiológica.

A análise da FIGURA 6 revela ainda que o clasto rico em fluorapatita apresenta calcita e flogopita, provavelmente primários, em concordância com análises da química mineral (ver Capítulo da química mineral), sendo que a clorita e dolomita foram gerados durante os eventos de alteração hidrotermal.

Foi ainda ópticamente constatada a alteração da ilmenita, provavelmente para pseudorutilo (PRANCHA 5, C e D), sendo que este tipo de alteração é muito comum em

depósitos de minerais pesados com ilmenita detrítica (Wort & Jones, 1980). O rutilo parece associar-se predominantemente com as zonas hidrotermais mineralizadas em ouro, de modo semelhante os descrito por De Ronde *et al.* (1992) em mineralizações de ouro no *Greenstone Belt* de Barberton. Houston (1988, *in*: de Ronde *et al.*, 1992) também relata aumento de concentração de TiO_2 , principalmente sob a forma de rutilo em rochas cisalhadas mineralizadas em ouro da mina de Barbrook, também em Barberton.

FIGURA 6 – Difrátograma de um clasto de xisto MCAR na amostra IV-22-11218 mostrando sua composição predominante de fluorapatita (28,4%), além de quartzo, carbonatos, pirrotita, flogopita e clinoclóro.

A TABELA 10 apresenta as relações de blastese na Fácies Terrígena reconhecidos ópticamente nos estudos petrográficos.

PRANCHA 5 – (A) Clasto carbonoso analisado com auxílio de raios X (IV-22-16303). (B) Mesma área de (A) com imagem gerada com auxílio da cátodo-luminiscência revela a apatita em verde intenso limitada ao clasto (IV-22-16303). (C) e (D) Ilmenita com deformações provocadas pela crenulação e alterações para rutilo (pseudorutilo?). Ocorre também turmalina associada. (E) ritimito quartzo-carbonático com estruturas primárias bem preservadas. Pode-se reconhecer claramente a alternância de leitos carbonáticos e quartzo-carbonosos (amostra K59-44950). (F) Epidoto radioativo (ver halo plocróico na biotita a direita) alterado com a proximidade do cisalhamento, gerando microcristalizações.

Nas zonas de alteração da ilmenita, o epidoto é também alterado, restando apenas contornos microcristalinos em agregados muito finos de minerais, ou apenas como pseudomorfos (PRANCHA 5 F), indicando, provavelmente, mudanças na composição do fluido hidrotermal essencialmente aquoso para fluidos com CO₂, que instabilizam o epidoto (Kerrick, 1974). Outra característica marcante é o aporte de K⁺ no sistema, dando início a pelo menos duas gerações de biotita e uma de sericita (D3), seguida de uma redução de temperatura e da atividade do potássio no evento D4, resultando em intensa cloritização tardia.

Os clastos já arredondados e estirados de carbonato primário sofrem alterações para clorita e biotita, restando seus contornos marcados pela biotita milonítica. Clastos de xisto carbonoso tem turmalina e ilmenita, este último substituído por rutilo. A turmalina ocorre ainda no xisto carbonoso, nos "nódulos" carbonosos e em veios de quartzo (Q-IV1), apresentando às vezes cristais rompidos pela crenulação S_{m3}.

A presença de rochas carbonáticas sedimentares intercaladas na fácies terrígena é bastante limitada, o que dentro das dimensões deste estudo, não permitiu um tratamento individualizado (por exemplo, uma fácies carbonática primária). A ocorrência dos carbonatos com características primárias será tratada dentro do contexto da fácies terrígena e os grandes corpos de dolomito, resultado da alteração das rochas metassedimentares, foi incluída na Fácies de alteração hidrotermal, discutida a seguir.

Nas proximidades das zonas mineralizadas há grandes dificuldades nas interpretações da origem das rochas carbonáticas, devido à deformação intensa e ao hidrotermalismo com carbonatização associada. Entretanto, alguns corpos com tamanhos limitados de dolomito, intercalados na fácies terrígena, foram considerados sedimentares em função dos contatos gradacionais com o *metawacke*, estruturas laminadas carbonosas (PRANCHA 5 E), pela presença de leitos micáceos e de clastos silicáticos, observada fora das zonas de deformação e/ou alteração mais intensa. Próximo aos contatos com a *metawacke* ocorre frequentemente texturas sugestivas de que parte do material carbonoso e da calcita sejam de origem sedimentar. Muitas vezes a recristalização da rocha oblitera ainda mais estas texturas, que são reconhecíveis apenas pelos contornos deixados pelo material carbonoso.

TABELA 10 – Relações de blastese determinadas para a Fácies Terrígena, com as alterações e inclusões minerais constatadas ópticamente. A numeração das várias fases minerais se refere ao evento e não ao número de fases encontradas.

FÁCIES TERRÍGENA					
	ARQUEANO			PALEOPROTERO-ZÓICO	NEOPROTERO-ZÓICO
Fase Mineral	S₀	D1 (S₁)	D2	D3 (S_{m3}/L_{m/e3})	D4 (S₄)
Material Carbonoso					
Zircão					
Óxido de ferro					
Quartzo					
Muscovita	MS0			MS3	
Oligoclásio					
Albita					
Clorita		CHL1		CHL3	CHL4
Biotita			BT2	BT3	BT4?
Epídoto		EP1			
Calcita					
Dolomita					
Ilmenita					
Rutilo					
Turmalina		TUR2		TUR3	
Titanita					
Granada					
Fe-tschermakita					
Cloritóide					
Arsenopirita			ASP2	ASP3	
Pirrotita					
Calcopirita					
Ouro					
Siderita					
Flúorapatita					
BRECHAMENTO					
	Deposição sub-aquática, provavelmente próxima a margens continentais ativas.	Aproximadamente paralela a S ₀ .		Fácies epídoto-anfibolito, principais alterações e geração de porfiroblastos (GRT, AMP, CLD, ASP). Precipitação de Au durante a sulfetização.	Falhas tardias reativam falhas anteriores. Milonitização das diversas associações de alterações minerais.
Convenção:	Mineral da direita altera para mineral da esquerda. Mineral da direita incluso no mineral da esquerda.				

Nos dolomitos, são comuns porções brechadas, interpretadas por Theodoro (1995) como provavelmente originadas por sobrecarga, colapso ou solapamento durante a diagênese. Esse processo, provavelmente de maneira semelhante à amostra da PRANCHA 5 E, parece ser raro na Formação Ribeirão das Antas. Foram reconhecidos de maneira mais geral,

brechamentos generalizados, tanto nas rochas carbonáticas como nos xistos, provavelmente em função da colocação dos Complexos Anta e Caiamar e do desenvolvimento dos diversos sistemas de falhas.

De acordo com estas estruturas e texturas, os dolomitos foram subdivididos em dolomito clástico e dolomito brechado, ambos com conteúdos variáveis em material carbonoso.

O dolomito clástico apresenta dolomita levemente ferrosa (30 a 40%), clorita (10 a 30%), feldspato (15%), quartzo (10%), biotita (10 a 40%), turmalina (5 a 15%) além de acessórios como rutilo, epídoto e sulfetos. Devido a granulação fina, o feldspato não pode ser identificado opticamente, mas parece constituir plagioclásio. A dolomita apresenta cor azul clara na coloração seletiva, distinguindo-se da dolomita hidrotermal, que apresenta cor azul forte.

O dolomito brechado apresenta carbonatos (65%), quartzo (10%), clorita (10%), biotita (10%) e turmalina, muscovita, rutilo, plágioclásio, material carbonoso e epídoto como acessórios, sendo que os últimos em conjunto chegam a perfazer mais de 5% do volume da rocha. A dolomita levemente ferrosa nestas rochas é substituída por dolomita ferrosa, sugerindo que estas brechas, pelo menos em parte não são diagenéticas, e sim hidrotermais. A dolomita ferrosa foi reconhecida como parte das alterações hidrotermais desenvolvidas durante o evento D3. Ocorre ainda carbonato fino na interface entre os fragmentos e a matriz, geralmente orientadas pelo cisalhamento, identificado como calcita levemente ferrosa.

3 FÁCIES DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

Com base nos estudos petrográficos, foram caracterizadas diversas fácies de alteração hidrotermal, que puderam ser enquadrados nos diversos eventos que deram origem aos Corpos mineralizados IV e V e adjacências. Sistemas minerais relacionados ao metamorfismo estão geralmente relacionados a eventos metamórficos progressivos, comuns em depósitos de ouro encaixados em turbiditos e de lodo arqueano (Pirajno, 1992).

Entre as diversas fácies de alteração destaca-se a ocorrida no evento D3, paleoproterozóico, relacionado com a foliação milonítica S_{m3} . A esta última é também atribuída a mineralização dos Corpos IV e V.

As alterações são relacionadas a seguir, separadas por evento, as fases minerais características podem ser vistas nas TABELAS 10 e 11. Por último é apresentado um diagrama com os halos de alteração hidrotermal reconhecidos no Corpo IV.

3.1 Evento D1

As alterações relacionadas ao primeiro evento são raras em virtude de terem sido sobrepostas a pelo menos dois eventos miloníticos e alterações hidrotermais posteriores, reduzindo as chances da preservação.

Foram reconhecidos uma sericitização (MS1) provavelmente associada a uma epidotização (EP1) na Formação Ribeirão das Antas e a anfibolitização, provavelmente dos piroxênios originais, dos metabasaltos na Formação Rio Vermelho.

Não foi reconhecido qualquer relação destas alterações com a mineralização dos Corpos IV e V.

3.2 Evento D2

Neste evento há um aumento do número de alterações, provavelmente devido ao aumento da permeabilidade das rochas devido ao brechamento (PRANCHA 6 A, B, C e D) e pelo soerguimento polifásico dos complexos granito-gnáissicos. Estes complexos trouxeram provavelmente consigo elevações de temperatura e fluidos, com destaque para os mais potássicos.

As alterações definidas foram: potassificação (BT2), cloritização (CHL2), dolomitização (DOL2) e com menor intensidade e mais localizados, turmalinização associada com a formação de rutilo, este último parcialmente como resultado da alteração da ilmenita (PRANCHA 6 B e D).

Esses eventos de alteração também não são reconhecidos como diretamente relacionados à mineralização do Corpo IV e V, a não ser pelo relacionamento estrutural do brechamento, considerado uma das características presentes nos corpos de minério.

PRANCHA 6 – (A) Dolomito brechado (DOLb) no início de estiramento com associação mineral relacionado às alterações do Evento D2 (Amostra K59-09664). **(B)** Brechas de QTZ-FSP-CAB xisto carbonoso sendo estiradas em uma matriz clorítico-quartzosa com traços de FSP, TUR, MCAR, EP nas proximidades da zona de cisalhamento (Amostra K59-46249). **(C)** Brechamento do BT-CHL-SE-PL xisto MCAR (Amostra K59-24100). **(D)** Albitização do BT-CHL-SE-PL xisto carbonoso à esquerda e seu equivalente não alterado à direita, que apresenta como acessórios ainda PO, TUR, RT. Os nódulos carbonosos são preservados durante a albitização e se apresentam bastante estirados no contato evidenciando proximidade da zona de cisalhamento (Amostra K59-19420).

3.3 Evento D3

Este evento sem dúvida engloba o conjunto de alterações hidrotermais mais importante no que tange a mineralização do Corpo IV e V, e possivelmente das outras mineralizações da Mina III.

Pôde-se caracterizar também uma assembléia de minerais de alteração que sugere a atuação de uma intensa alteração propilítica (Pirajno, 1992), nas zonas das mineralizações (ver TABELA 10 e 11). As alterações associadas são:

- *albitização*: fase importante na alteração propilítica que resulta provavelmente da concentração de sódio liberado de plagioclásios (provavelmente OLG1), tendo sido ópticamente constatada ainda albitização da muscovita (MS1), o que deve contribuir ainda mais com relação ao conteúdo de Na. A albitização como um tipo separado de alteração exigiria uma introdução metassomática de sódio no processo, o que não foi confirmado neste evento. O plagioclásio resultante da alteração atinge composições da albita pura próximo ao minério e de oligoclásio em porções mais afastadas (PRANCHA 6 D – ver ainda Capítulo 4, Química Mineral).
- *cloritização*: a clorita de alteração (CHL3) também assume um papel de destaque neste evento (PRANCHA 7 A, B e C, PRANCHA 8 B e C) e as análises de química mineral demonstraram tratar-se basicamente de picnoclorita com raras exceções no campo da ripidolita e pseudoturingita. A variação química pode refletir diferentes distâncias zonais de corpos de minério sulfetado, fato que não pôde ser comprovado neste estudo. A clorita como uma das fases dominantes revela uma larga adição de magnésio e/ou ferro ao sistema, o que pode ser comprovado pelas outras assembléias minerais ricas nesses elementos (p. ex. dolomita ferrosa, almandina e ferro-tschermakita). Entre as associações comumente encontradas com a cloritização, foram determinadas pirrotita, arsenopirita (ASP3), calcopirita, esfalerita e pirita (PRANCHA 6 D), sendo que cabe destaque para os porfiroblastos metamórficos granada almandínica, ferro-tschermakita, cloritóide e mais raramente, biotita e albita. Os porfiroblastos são detalhados abaixo, após a descrição das alterações.

PRANCHA 7 – (A) Zona de desenvolvimento de dobras intrafoliais relacionadas ao evento D3. No topo da amostra ocorre o xisto carbonoso na forma laminada, resultado da evolução da milonitização (S_{m3}) sobre o xisto carbonoso com brechas. Formam-se então dobras intrafoliais certamente devido a resposta ao esforço em função da competência diferenciada. Tais dobras permitem uma entrada maior de associações de alteração como o cloritito com granada, fina e disseminada neste caso. O veio de quartzo no contato das litologias apresenta pirrotita. Ocorrem ainda veios carbonáticos e biotita. **(B)** Albitização, cloritização e epidotização provavelmente de um protólito xistoso em virtude das dobras S_{m3} preservadas. A matriz é basicamente albita com QTZ como traço e até 5% de epidoto. No canto inferior esquerdo pode ser visto a sobreposição da alteração clorítica com a presença de porfiroblastos euédricos de AMP (Amostra K59-28273). **(C)** Cloritito contendo veios e porfiroblastos feldspáticos deformados pela milonitização tardia, provavelmente neoproterozóica.

- *carbonatização*: as assembléias de carbonatos de alteração exigem principalmente magnésio, ferro, cálcio e manganês, sendo que a dolomitização de calcário envolve normalmente extenso metassomatismo magnesiano. A carbonatização de rochas silicáticas envolve predominantemente metassomatismo aniônico com a introdução de CO_3^{2-} , como por exemplo a substituição carbonática multifásica de silicatos em assembléias ricas em clorita ou sericita associadas a veios de quartzo com ouro em terrenos metamórficos. A dolomitização é um dos eventos hidrotermais dominantes nas proximidades dos corpos mineralizados e apresenta variações composicionais entre a dolomita e anquerita, sendo tratada doravante como dolomita ferrosa (PRANCHA 8 A, B e C). Essa variação poderia, assim como nas cloritas, revelar auréolas com relação à proximidade do corpo de minério, confirmada no Corpo IV na forma de um largo halo de carbonato de ferro ao redor da mineralização. Outra feição que determina dolomititos como resultado da alteração carbonática, quando não ocorrem relíquias preservados do protólito (PRANCHA 8 A), são aqueles dolomititos cinza nos quais se encontram acessórios como feldspato, material carbonoso, turmalina e rutilo, associação característica da fácies terrígena com minerais de alteração. A PRANCHA 8 C ilustra uma porção dolomítica com tais características, onde ainda pode ser visto um veio de alteração tardio com quartzo, clorita, carbonato e biotita. Os dolomititos hidrotermais sofrem pelo menos dois tipos de alteração: uma predominantemente albitica e outra, aparentemente posterior a última, com cloritização e silicificação.
- *epidotização*: geração EP3 relacionado ao final do evento D3 onde os cristais de epidoto apresentam algumas vezes sombras de pressão de pirrotita (PRANCHA 7 B). Ocorre ainda um freqüente zonamento no epidoto, que deve representar o desenvolvimento do EP3 sobre núcleos de EP1, caracterizado por zonamento: a) interno, com muitas inclusões de opacos, biotita, muscovita, feldspato, e b) externo com cristalização quase isenta de inclusões, apenas poucos opacos.

PRANCHA 8 – (A) Em meio a dolomita cinza hidrotermal, sem sinais de brechamento, encontra-se uma relíquia do ritmito brechado (ver PRANCHA 5 E), interpretado como protólito sedimentar, envolto pela alteração dolomítica. Notadamente ocorre uma borda de reação ao redor da relíquia, indicando alteração predominantemente química, relacionada ao Evento D3 (Amostra K59-44950). **(B)** Brechas de dolomito estirada em meio ao cloritito, com filmes de biotita nas bordas (Amostra K59-32710). **(C)** Contato do dolomito hidrotermal com relíquias do clorita xisto (CHL2) contendo epidoto, turmalina, biotita e plagioclásio, preservando ainda deformações relacionadas ao Evento D3. O cloritito à esquerda é mais tardio, porém ainda como parte do final do evento D3, que além de porfiroblastos de biotita porta ainda Fe-tschermakita subédrica (Amostra K59-30079).

3.4 Evento D4

O evento revela alterações hidrotermais limitadas a veios quartzo-carbonáticos e uma cloritização tardia (CHL4) que, nos limites dos Corpos IV e V não apresentaram conexões com a mineralização de ouro.

Os carbonatos desse evento de alteração revelaram composições de calcita a siderita, esta última característica desse evento, ocorrendo basicamente como mineral de veio e comumente na forma de cristais euédricos. A análise com auxílio da cátodo-luminiscência indica alteração para siderita, conforme pode ser visto na PRANCHA 9, de A a F.

A TABELA 11 relaciona os eventos de alteração determinados para cada evento do *Greenstone Belt* de Crixás.

TABELA 11 – Relações de blastese determinadas para as assembleias de alteração hidrotermal. A numeração das várias fases minerais se refere ao evento e não ao número de fases encontradas.

FÁCIES DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL					
Fase Mineral	ARQUEANO			PALEOPROTERO-ZÓICO	NEOPROTERO-ZÓICO
	S₀	D1 (S₁)	D2	D3 (S_{m3}/L_{m/e3})	D4 (S₄)
Quartzo					
Muscovita	MS1			MS3	
Oligoclásio					
Albíta					
Clorita		CHL2		CHL3	CHL4
Biotita			BT2	BT3	BT4?
Epidoto		EP1			EP3
Calcita					
Dolomita				DOL3	
Ilmenita					
Rutilo					
Turmalina					
Titanita					
Granada					
Fe-tschermakita					
Cloritóide					
Arsenopirita			ASP2	ASP3	
Pirrotita					
Calcopirita					
Ouro					
Siderita					
			Cloritização, potassificação, dolomitização, turmalinização e alteração da ilmenita para rutilo.	Alteração Propilítica	Carbonatização associada com silicificação e cloritização.

3.5 Halos de alteração no Corpo IV

A construção do modelo dos halos de alteração relacionados ao Corpo IV, mostrou-se bastante difícil devido às deformações presentes neste evento (D3) e a sobreposição do evento neoproterozóico.

A ocorrência de zonas com porfiroblastos metamórficos relacionados a cloritização do final do evento D3 são uma marca comum em todas as mineralizações da Mina III (Corpo superior, intermediário e inferior e do Corpo IV e V), com granada almandínica, Fe-tschermakita e cloritóide (ver capítulo de química mineral).

O Corpo IV e V, assim como todas as zonas mineralizadas da Mina III apresentam núcleos de alteração com clorititos e porfiroblastos de granada $\pm$ Fe-tschermakita $\pm$ cloritóide, sendo que cloritóide não foi constatado no Corpo IV. Esta zona deve representar o núcleo da alteração propilítica que se manifestou no final do Evento D3 porque a mesma ocorre tanto acima como abaixo das zonas mineralizadas em geral, invariavelmente preservadas do Evento D4.

A granada almandínica ocorre na forma de duas variedades: uma mais abundante que não foi constatada em associação com ouro ou sulfetos e outra, relativamente mais magnesianas, que ocorre em íntima associação com ouro e sulfetos, como no caso do Corpo IV e Zona Inferior da Mina III (ver capítulo IV sobre química mineral). Os porfiroblastos de granada se apresentam euédricos a subédricos freqüentemente com inclusões de ilmenita que marcam a S_1 dobrada durante o evento D3 (PRANCHA 10, B e F). Esses planos de inclusões podem, em certos casos, sugerir erradamente o rotacionamento do cristal de granada durante o seu crescimento. Da mesma maneira os porfiroblastos de cloritóide pré a singenéticos da granada apresentam as mesmas feições quanto a planos de inclusões (PRANCHA 10 A). Outra informação importante fornecida pelas gerações de porfiroblastos é quando os mesmos foram afetados pelo cisalhamento do evento neoproterozóico, verificado na forma do estiramento e destruição desses porfiroblastos (PRANCHA 10, C, D e E).

Foi confirmado petrograficamente as características singenéticas da albita na forma de seu membro final, dolomita ferrosa e arsenopirita, relacionados a zona de minério.

Ocorrendo a presença de nódulos carbonosos, estes indicam proximidade da zona de cisalhamento Neoproterozóico quando achatado/estirados, marcando as estruturas que cortam e delimitam zonas de minério, enquanto seu equivalente arredondado indica preservação do evento tardio e, eventual existência de zonas propícias para existência de minério.

A FIGURA 7 apresenta uma diagramação do modelo de halos de alteração hidrotermal relacionado ao Corpo IV com suas associações minerais.

FIGURA 7 – Modelo com as zonas de alteração hidrotermal determinadas no Corpo IV. Ocorrem variações neste modelo em função da intensidade da alteração hidrotermal, do tipo de rocha encaixante e da proximidade com zonas de cisalhamento neoproterozóicas, esta última representada na parte esquerda da figura.

PRANCHA 9 – (A) Cristal de muscovita de veio que sofreu carbonatização suave nas interfaces da geminação, que pode ser reconhecido na parte inferior da fotografia (Amostra K59-38571-22). (B) mesma área com alteração carbonática realçada na imagem gerada pela cátodo-luminiscência (Amostra K59-38571-22). (C) O mineral que cobre toda a metade esquerda da fotografia é siderita (SID4) do veio de alteração (Amostra K59-38571-22). (D) A mesma área revela na imagem gerada pela cátodo-luminiscência (Amostra K59-38571-22). (E) Turmalina, provavelmente TUR3 zonada hidrotermal do início do evento D3 em contato com siderita (Amostra K49-19790). (F) A imagem gerada com auxílio da cátodo-luminiscência revela um núcleo carbonático na turmalina, mas que em função do veio carbonático externo sugere uma alteração posterior, provavelmente SID4, do neoproterozóico (Amostra K49-19790).

PRANCHA 10 - (A) Porfiroblasto de cloritóide com inclusões de ilmenita alinhadas segundo o plano S_1 , que por sua vez está dobrado pelo evento D3 (amostra K-59-3414). (B) Porfiroblasto de granada subédrica com inclusões de ilmenita alinhadas segundo o plano S_1 igualmente dobrado pelo evento D3 (amostra K-59-36508). (C) Porfiroblasto de granada subédrica parcialmente destruída em virtude da proximidade da zona de cisalhamento neoproterozóica (diâmetro do cristal de granada: 3mm, amostra K49_39614). (D) Porfiroblastos estirados de granada, na parte inferior da imagem, e Fe-tschermakita na parte superior (área da imagem com ca. de 5 x 3 mm, amostra K49-39664). (E) Porfiroblastos de granada e Fe-tschermakita estirados pelo evento D4 entre as linhas brancas tracejadas, ocorrendo ainda porfiroblastos euédricos dos mesmos fora dessa faixa, nas bordas esquerda e direita da imagem (comprimento da amostra: 12 cm, amostra K59-34000). (F) Porfiroblastos de granada e Fe-tschermakita euédricos na matriz de cloritito, em zonas preservadas do cisalhamento neoproterozóico (comprimento da amostra: 10 cm, amostra K59-34000).

4 PETROGRAFIA DOS MINERAIS OPACOS (SULFETOS E OURO)

Os minerais opacos relacionados ou não a mineralização de ouro são detalhados petrograficamente, ainda conforme a TABELA 10, apresentada anteriormente. Por problemas de amostragem não foi possível determinar associações com ouro no Corpo V. A sua proximidade e semelhança com o Corpo IV, entretanto, permitem inferir associações correlacionáveis para ambos os corpos de minério.

4.1 Sulfetos

Os Corpos IV e V apresentam basicamente uma mesma associação de sulfetos que são: esfalerita, arsenopirita, pirrotita e calcopirita, sendo que no Corpo IV prevalece a pirrotita e no Corpo V há uma quantidade relativamente maior de arsenopirita, geralmente na forma de porfiroblastos euhédricos.

A esfalerita que ocorre disseminada nas encaixantes dos xistos carbonosos é normalmente anédrica, e de granulação fina (abaixo de 1 mm). A mesma nunca foi encontrada nos veios de quartzo, indicando uma cristalização anterior aos veios.

A arsenopirita se apresenta normalmente euhédrica na primeira geração (ASP2) e irregular na segunda (ASP3), sendo normalmente restrita a fraturas (PRANCHA 11 A) e a lineação mineral e de estiramento $L_{m/e3}$ (PRANCHA 11 E). Outra característica da arsenopirita da primeira geração nas lâminas estudadas é fato da mesma se apresentar freqüentemente fraturada, provavelmente pela S_{m3} (PRANCHA 11 D). A PRANCHA 11 F apresenta um cristal de arsenopirita euhédrico (ASP2) incluso na pirrotita. A calcopirita aparece freqüentemente preenchendo fraturas ou na borda dos cristais de arsenopirita e pirrotita (PRANCHA 11 B e C), indicando um caráter relativamente mais tardio destes.

A siderita é característica do evento D4, freqüentemente euhédrica, e apresenta arsenopirita como inclusão, indicando seu caráter tardio em relação arsenopirita, como na amostra 73_08. Tanto os cristais de siderita como a arsenopirita são cortados por fraturas, provavelmente relacionadas aos falhamentos tardios (PRANCHA 12 A e B). Outro fator que permite o reconhecimento da arsenopirita como sendo anterior ao cisalhamento, são os cristais arredondados pela milonitização relacionado ao evento D4, como pode ser verificado na PRANCHA 12 C. Ainda nessa figura pode-se notar uma fase anterior da pirrotita, próximo da esfalerita, indicando o caráter recorrente de cristalização, particularmente da pirrotita.

PRANCHA 11 – (A) Arsenopirita no Q-IV1 (amostra 12-01, luz refletida). (B) Arsenopirita com fratura preenchida com calcopirita (Q-IV1, amostra 12-07, luz refletida). (C) Arsenopirita com calcopirita na borda (Q-IV1, amostra 12-07, luz refletida). (D) Arsenopirita subhédrica fraturada em contato com pirrotita mais tardia isenta de fraturas no veio 1 (Q-IV1, amostra 021, luz refletida). (E) Lineação mineral e de estiramento 3 ($L_{m/e3}$) no xisto carbonoso mostra o preenchimento com sulfetos, nesse caso uma borda de arsenopirita com núcleo de pirrotita (Q-IV1, amostra 019, luz refletida). (F) Inclusão euhédrica de arsenopirita na pirrotita (amostra IV-22-17905, luz refletida). Abreviações segundo TABELA 1.

O sulfeto mais tardio do evento D3, ao qual associa-se a mineralização de ouro no Corpo IV, é a pirrotita, que ocorre principalmente em fraturas e nos veios de quartzo. A pirrotita possui um forte controle estrutural relacionado à $L_{m/e3}$ (PRANCHA 11 E). A PRANCHA 11 E mostra a pirrotita fraturada no veio de quartzo recristalizado com inclusões de turmalina (TUR3) e esfalerita reforçando o caráter tardio desse sulfeto, mas sendo pré-cisalhamento principal (Evento D4).

As análises de grãos de sulfeto com auxílio da microscopia eletrônica de varredura aliada ao programa SEMquant, para determinação semiquantitativa da porcentagem atômica de elementos, revelaram uma razão de enxofre e ferro com média de 56,5:43,5, respectivamente (Amostra IV-23-14820), tendo sido detectado até 0,3% de cobre em um dos pontos analisados.

Em uma das amostras dos veios de quartzo ocorrem bordas de plagioclásio na forma de cristais euhédricos zonados desenvolvidos nas paredes de cavidades (*vugs*). A PRANCHA 12 F mostra um corte nessa zona onde os espaços vazios entre os cristais de plagioclásio são preenchidos por uma matriz carbonática com porfiroblastos euhédricos de pirrotita. O fato da superfície dos cristais de feldspato se apresentarem bastante preservados pode indicar: a) um pH em condições próximas do neutro do fluido com pirrotita e b) que os fluidos com sulfetos devem ter precipitado a pirrotita devido ao súbito alívio de pressão quando da entrada nos espaços vazios (*vugs*). Esse processo representa um dos mecanismos tardios da precipitação do ouro pela desestabilização das espécies dominantes no transporte de ouro como $AuHS(aq)$ e $Au(HS)^{2-}$ (Cooke & Simmons, 2000), particularmente do último que prevalece em condições de pH próximo do neutro. A microtermometria de inclusões fluidas reforça essa hipótese (ver Capítulo V adiante).

PRANCHA 12 – (A) Arsenopirita na borda de um cristal subhédrico de siderita no Q-IV4 (amostra 73_08, luz refletida). (B) Inclusão de arsenopirita na siderita euhédrica com fraturamento induzido pelos falhamentos tardios (Q-IV4, amostra 73_08, luz refletida). (C) Arsenopirita milonitizada com inclusões de esfalerita e pirrotita (Q-IV4, amostra IV-22-18076, luz refletida). (D) Pirrotita como sombra de pressão do nódulo de material carbonoso (Q-IV1, amostra 21, luz refletida). (E) Pirrotita fraturada com inclusão de esfalerita e turmalina, e quartzo recristalizado (Amostra IV-22-17905, luz refletida). (F) *Vug* entre cristais de plagioclásio zonado euédricos preenchido com carbonato e cristais euhédricos de pirrotita (Q-IV4, amostra CIV-G026-V4AU, 100% luz refletida, 100% luz transmitida). Abreviações segundo TABELA 1.

4.2 Ouro no Corpo IV

O ouro no Corpo IV ocorre com granulação variável desde submicroscópica até pepitas centimétricas, sendo que, em quase todas as amostras estudadas, o mesmo está ligado a veios distensivos de quartzo ou na matriz do xisto carbonos relacionado à $L_{m/e3}$. Uma exceção é a precipitação de ouro tardio em fraturas no plagioclásio nas bordas do Q-IV4, com associação predominantemente pirrotita/calcita/apatita, que sugere remobilização de um veio anterior pelo evento D4, devido à presença de associações incomuns relativos ao evento neoproterozóico, como pirrotita e plagioclásio, e a ausência de quartzo (PRANCHIA 13 D).

As análises de grãos de ouro por microscopia eletrônica de varredura, revelaram uma associação freqüente de ouro e prata (amostras IV-22-17905 e IV-23-14820) com 7,1 a 9% (média de 8% em cinco análises) de prata. Em pontos da amostra IV-22-17905 foram encontrados teores mais altos de cobre nos grãos de ouro com 8,5 a 15% (média de 6,8% em três análises), sendo que nesses também ocorre prata com média de 8%.

A razão Au/Ag nos grãos de ouro apresenta variação intimamente associada aos minerais hospedeiros ou aos quais o metal está associado. Isso sugere que razões Au/Ag iniciais em rochas-fonte e mecanismos de deposição, como reações do fluido com as rochas encaixantes, fluidos de alta salinidade e imiscibilidade de líquidos tenham grande importância nas variações observadas (Coelho, 1999).

Fortes *et al.* (2000) fizeram uma discussão baseada em análises com auxílio da microsonda em grãos de Au visando obter a relação de *gold fineness* definida por Fischer (1945) conforme $(Au/Au+Ag) \times 1000$, com Au e Ag em porcentagem em peso. Os valores obtidos para análises nas três Minas variam entre 866 e 980 (média de 942) que são compatíveis com valores de mineralizações de Au tipicamente arqueanas que, segundo Morrison *et al.* (1991), são de 940, 780 e 1000, respectivamente para média, mínimo e máximo.

A aplicação do *gold fineness* para a mineralização do Corpo IV visou encontrar relações com os corpos mineralizados da Mina III, utilizando-se os resultados obtidos por meio de microscopia eletrônica de varredura (amostra IV-22-17905, PRANCHIA 13 E), de maneira semelhante aos dados analíticos obtidos por Fortes *et al.* (2000). Os valores obtidos nessa interpretação para o Corpo IV revelaram valores relativamente mais baixos em relação aos dos demais corpos mineralizados da Mina III (TABELA 12), sendo que o diagrama de relação Au (porcentagem atômica) versus Ag (porcentagem atômica) do Corpo IV mostrou

grande semelhança com o diagrama referente à zona inferior da Mina III conforme a FIGURA 8.

TABELA 12 – Valores médios, mínimos e máximos de *gold fineness* para as zonas mineralizadas da Mina III segundo Fortes *et al.* (2000) em comparação com dados de análises obtidos para o Corpo IV (amostra IV-23-51) neste trabalho.

	Zona Superior (sulfeto maciço)	Zona Inferior (veio de quartzo)	Zona Inferior (xisto carbonoso)	Zona da Granada (quartzo-clorita muscovita-granada xisto)	Corpo IV (veio de quartzo, borda com xisto MCAR)
Média	947	949	942	938	915
mínimo	925	929	866	923	909
máximo	980	962	961	955	928

FIGURA 8 – Relação Au versus Ag do Corpo IV (amostra IV-22-17905) na borda do veio de quartzo com xisto MCAR (5 análises) em comparação com as análises obtidas por Fortes *et al.* (2000) da zona de minério inferior na Mina III em veio de quartzo.

No depósito do Corpo IV não foram encontradas evidências da ocorrência de ouro associado a arsenopirita, como definidos por Fortes (1996) na Mina III. Todas as amostras estudadas mostraram uma forte relação de ouro com a pirrotita (PRANCHA 13 B, C, D, E e F).

A pirrotita, como discutida anteriormente, mostra forte controle estrutural relacionado à $L_{m/c3}$ e essa canalização dos fluidos nessa estrutura deve representar o principal conduto de transporte do ouro e sulfetos no corpo IV (PRANCHA 13 A). Não foram constatadas evidências do transporte de ouro e/ou sulfetos pelos veios de quartzo, sendo que todos os sulfetos assim como o ouro associado tem fortes vínculos com a encaixante do xisto carbonoso. Esse fato sugere que os veios de quartzo mineralizados atuaram como zonas de descompressão de fluidos e/ou de mistura, o que deve ter causado a desestabilização dos fluidos transportando sulfetos e ouro tanto nos veios como na encaixante carbonosa.

PRANCHA 13 - (A) Grãos de ouro na encaixante carbonosa do veio de quartzo com $L_{m/e3}$ preservada no xisto (Amostra IV-22-17905, 100% luz refletida e 30% luz transmitida). **(B)** Ouro cristalizado entre grãos de quartzo na zona de influência dos fluidos ligados a pirrotita. O contorno escuro ao redor do grão de ouro é a sombra do próprio mineral na lâmina. **(C)** Ouro em contato com pirrotita, ambos provenientes da $L_{m/e3}$ do xisto carbonoso hospedeiro do veio de quartzo, sendo que a partir do grão de Au saem diversas trilhas carbônicas (e aqua-carbônicas?) (Amostra IV-22-17905, 100% luz refletida e 30% luz transmitida). **(D)** O espaço vazio entre cristais de plagioclásio (*vug*) foi preenchido com pirrotita, calcita, calcopirita e ouro (Amostra CIV-G026-V4AU, 100% luz refletida e 30% luz transmitida). **(E)** Imagem gerada com auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) com pontos de análise semiquantitativa onde: 7 – quartzo, 8 – pirrotita, 9 e 10 – ouro (amostra IV-22-17905); **(F)** Imagem do xisto carbonoso próximo ao veio de quartzo mineralizado onde: 17, 19 – clorita, 18 – oligoclásio, 20, 26 – dolomita ferrosa, 21, 24 – ouro, 23, 25 – pirrotita (amostra IV-23-14820). Abreviações segundo TABELA 1.

O ouro no Corpo IV deve ter sido precipitado próximo aos estágios finais da pirrotita, provavelmente durante diversos pulsos mineralizantes relacionados ao final do evento D3. Grãos maiores de ouro apresentam inclusões de esfalerita que ocorre de maneira disseminada no xisto carbonoso, reforçando o caráter relativamente primário do sulfeto, sem demonstrar maiores afinidades deste em relação ao ouro e a pirrotita (PRANCHA 14 A, B, C). Algumas vezes foi observada a presença de ouro em fraturas da esfalerita como mostra a PRANCHA 14 D. A PRANCHA 14 E, F e PRANCHA 15 A, B mostra a cronologia relativa entre o ouro, esfalerita e pirrotita, onde a pirrotita envolve a esfalerita e parcialmente o ouro. A arsenopirita também não apresentou relacionamento direto com ouro, pelo menos a arsenopirita da primeira geração fraturada (ASP2), como mostra a PRANCHA 15 B onde um cristal euhédrico fraturado de arsenopirita está em contato com pirrotita e ouro, esses últimos mais tardios, ocorrendo ainda esfalerita inclusa tanto na pirrotita como na arsenopirita.

A associação pirrotita e ouro no veio de quartzo podem ser vistas na PRANCHA 15 E, F onde o ouro ocorre sob a forma livre no quartzo e associado a pirrotita. Carbonato está presente entre a encaixante do xisto carbonoso e o quartzo de veio, conforme a PRANCHA 15 E, o que indica uma fase de veios mais tardios.

PRANCHA 14 – (A) Ouro com inclusões de esfalerita (Amostra IV-22-18737, luz refletida). (B) Ouro em contato com esfalerita e com inclusões do mesmo sulfeto (Amostra IV-22-18737, luz refletida). (C) Ouro em contato com esfalerita com inclusões do mesmo sulfeto (Amostra IV-22-17905, luz refletida). (D) Ouro em fraturas da esfalerita (Amostra IV-23-14020, luz refletida). (E) Ouro ao redor da esfalerita e ambos inclusos na pirrotita, ouro também na borda da pirrotita (Amostra IV-22-18076, luz refletida). (F) Pirrotita com inclusões de esfalerita e ouro na borda (Amostra IV-22-17905, luz refletida). Abreviações segundo TABELA 1.

PRANCHA 15 - (A) Ouro com inclusão de esfalerita e parcialmente incluído na pirrotita (Amostra IV-22-18076, luz refletida). (B) Ouro, arsenopirita e esfalerita parcialmente incluídos na pirrotita, sendo que a arsenopirita subhédrica apresenta fraturamentos em função da S_{m3} e também contém inclusões de esfalerita (Amostra IV-22-18076, luz refletida). (C) Ouro parcialmente incluído na pirrotita (Amostra IV-22-17905, luz refletida). (D) Ouro parcialmente incluído na pirrotita (Amostra IV-22-18076, luz refletida). (E) Ouro livre com pirrotita no veio de quartzo com carbonato, provavelmente dolomita ferrosa (Amostra IV-23-14877, luz refletida e transmitida). (F) Ouro no veio de quartzo com pirrotita (Amostra IV-23-14877, luz refletida e transmitida). Abreviações segundo TABELA 1.

4.3 Cronologia relativa das fases de sulfetos e do ouro no Corpo IV

A análise petrográfica permitiu estabelecer uma cronologia para os sulfetos, ouro e minerais associados conforme a TABELA 13, abaixo.

A precipitação da pirrotita nos veios de quartzo está aparentemente relacionada a imiscibilidade e/ou mistura de fluidos constatada ópticamente nas associações de inclusões fluidas relacionadas (ver Capítulo V, estudo das inclusões fluidas).

TABELA 13 – Cronologia relativa dos sulfetos e ouro no Corpo IV. O processo recorrente de precipitação da pirrotita com calcopirita e ouro é representado pela repetição das elipses, sem referência direta ao número de ciclos. A espessura das elipses representa aproximadamente a abundância relativa dos minerais. As linhas tracejadas indicam inclusões minerais nos minerais relativamente mais tardios, da esquerda para a direita, respectivamente.

SULFETOS, OURO E MINERAIS RELACIONADOS NO CORPO IV					
	ARQUEANO			PALEOPROTERO-ZÓICO	NEOPROTERO-ZÓICO
Fase Mineral	S₀	D1 (S₁)	D2	D3 (S_{m3}/L_{m/e3})	D4 (S₄)
Quartzo	●	●	●	●	●
Albíta					
Dolomita				DOL3 ●	
Turmalina					●
Arsenopirita			ASP2 ●	ASP3 ●	●
Pirrotita					●
Calcopirita					●
Ouro					●
Siderita					●
Esfalerita		●			
Calcopirita					●
		Esfalerita ocorre inclusa nos outros sulfetos.	Primeira geração de arsenopirita, euédrica, fraturada.	Evento relacionado a mineralização de ouro e sulfetos	

5 MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NA REGIÃO DE CRIXÁS

As primeiras descrições detalhadas das mineralizações auríferas da Mina III são devidas a Yamaoka & Araújo (1986), quando destacaram a ocorrência de três tipos de minérios, quais sejam: 1) de sulfeto maço com arsenopirita, pirrotita e magnetita em abundância, além de pirita e calcopirita subordinados, com ganga de sericita, cloritóide e granada; 2) minério com cloritóide e granada ± arsenopirita ± pirrotita ± magnetita; 3) sericítico, composto por xistos sericíticos finos com arsenopirita e pirrotita disseminados em pequenas quantidades. O minério nessas três formas de ocorrência varia em dimensão, teor, reserva, localização e rocha hospedeira, de modo geral, considerados como gerados durante o desenvolvimento de uma falha de empurrão.

Kuyumjian & Dardenne (1983) sugerem uma origem hidrotermal exalativa e posterior segregação metamórfica em zonas axiais de dobras isoclinais para o depósito da Mina III. Já Thomson (1986; 1990) considera o depósito como hidrotermal desenvolvido ao longo da falha de empurrão e relacionada ao ciclo Brasileiro, enquanto Yamaoka & Araújo (1988) classificam o depósito como sendo do tipo *stratabound* e estratiforme singenético de origem exalativa. Bettencourt *et al.* (1990) associa o depósito da Mina III a zonas de cisalhamento de baixo ângulo, confinados em nível estratigráfico preferencial, ou seja, imediatamente acima do contato entre metabásicas e metassedimentos, sugerindo uma natureza estratiforme.

As mineralizações de ouro encontram-se confinadas a faixas mais intensamente deformadas, notadamente em planos de empurrão e estruturas derivadas, em encaixantes como sericita milonitos e milonito-ultramilonitos carbonosos. Os corpos mineralizados encontram-se orientados ou dobrados segundo, ou próximo, à direção da lineação de estiramento L_{n+2} . Esta lineação associada à foliação milonítica S_{n+2} caracteriza a fase D_{n+2} definida como deformação de cisalhamento simples dúctil-frágil (Magalhães, 1991; 1992). O ouro ocorre associado a sulfoarseniatos, sulfetos e óxidos (arsenopirita, pirrotita, calcopirita e ilmenita), sendo considerada como uma mineralização epigenética, relacionada a fase de deformação D_{n+2} citada e a um possível evento posterior de alteração hidrotermal (Magalhães & Lobo, 1986; Magalhães, 1991).

O ouro ocorre incluso ou preenchendo microfraturas na arsenopirita, incluso no quartzo da ganga, no contato entre sulfetos ou entre sulfetos e minerais de ganga, incluso em ilmenita, preenchendo microfraturas em porfiroblastos de granada, incluso ou preenchendo microfraturas de quartzo em veios. Esta grande variedade de ocorrência indica diversos estágios de precipitação do ouro (Fortes & Jost, 1996).

Kuyumjian & Costa (1999) em seu estudo na Seqüência Mina Inglesa, situada a noroeste da Mina III, considerada hospedada em uma unidade de topo do *Greenstone Belt* de Crixás (Kuyumjian, 1981), realça a importância das anomalias de potássio e sódio relacionadas a granitogênese tardias e de volumes relativamente menores em Crixás. Os dados fornecidos por Pires (1995) por meio da análise de dados gama-espectométricos, particularmente para o canal do potássio, possibilitou evidenciar diversas anomalias correlacionáveis diversas vezes com intrusões granitóides, zonas de alteração hidrotermal e ocorrências auríferas ao longo de zonas de cisalhamento NS (Kuyumjian & Costa, 1999). A principal diferença da mineralização na Seqüência Mina Inglesa das mineralizações da Mina

III e Mina Nova são a ausência nestas últimas de intrusivas granitóides/gabróicas e de galena. Os autores sugerem que o fluido hidrotermal responsável pela mineralização na Mina Inglesa percolou os granitóides, promovendo carbonatização e lixiviamento do chumbo. A conclusão sobre a mineralização segundo Kuyumjian & Costa (1999) é de que a Sequência Mina Inglesa e intrusivas associadas sofreram tectonismo, provavelmente neoproterozóico, que como resultado gerou segregação metamórfica de fluidos, reconcentração de sulfetos e ouro de origem hidrotermal, sem descartar sua possível origem vulcano-exalativa, ao longo da zona de cisalhamento direcional dextrógira NS.

Os corpos de minério são controlados estruturalmente pela intersecção de lineações paralelas ao eixo de dobras semi-recumbentes, assimétricas e apertadas, formadas por cisalhamento dúctil simples progressivo, quase puro. A gênese do depósito foi considerada como produto de mobilização metamórfica-hidrotermal aliada a concentração, ou remobilização e reconcentração, sem descartar a existência de pré-concentrações singenéticas (Fortes & Jost, 1996).

Jost & Fortes (2001) classificam as mineralizações de ouro na Mina III, correlacionáveis em parte ao Corpo IV e V, em dois tipos:

- Sulfetos maciços: foi determinada próxima a interface entre metabasaltos e uma fácies de formação ferrífera óxido-silicática (Formação Rio Vermelho) e xistos carbonosos e mármore maciços (Formação Ribeirão das Antas). Sulfetos e carbonatos substituem magnetita e silicatos da formação ferrífera bandada indicando atividade hidrotermal epigenética pós-metamórfica, em contraste com a alteração sin-vulcânica rica em alumínio e ferro.
- Veios de quartzo: ocorrem inseridos nos xistos carbonosos cisalhados da Formação Ribeirão das Antas. Como alterações hidrotermais foram reconhecidos carbonatizações discretas e sulfetização. O ouro ocorre tanto como inclusões no quartzo, carbonato ou minerais de sulfeto, como também no material carbonoso.

Os autores reconhecem ainda um terceiro tipo de mineralização restrito ao depósito da Mina Nova, denominado de minério disseminado, nos xistos carbonosos cisalhados da Formação Ribeirão das Antas.

6 TRANSPORTE DE OURO EM SOLUÇÕES HIDROTERMAIS

Os complexos aquosos bi-sulfetados e cloretados eram até pouco tempo os tipos considerados mais apropriados para promover o transporte de ouro em soluções hidrotermais, em virtude da disponibilidade de *ligands* de S e Cl reduzido na maioria dos fluidos mineralizantes e, da estabilidade termodinâmica elevada destes complexos (Seward, 1991, *in* Mikucki, 1998). Atualmente existe um consenso que três complexos de bi-sulfetos; $\text{Au}(\text{HS})^0$, $\text{HAu}(\text{HS})_2^0$ e $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ são potencialmente importantes no transporte de ouro em soluções hidrotermais (Seward, 1973; Shenberger & Barnes, 1989; Hayashi & Ohmoto, 1991, *in* Mikucki, 1998). Neste contexto, os complexos de ouro-cloreto são geralmente considerados de pouca importância em condições típicas da fácies sub-anfibolito.

Estudos recentes procuram extrapolar os dados existentes para condições de temperatura mais alta, resultando em discrepâncias com dados de solubilidades medidas. Experimentos recentes confirmaram, entretanto, a dominância de AuCl_2^- como cloreto que transporta ouro sob condições hidrotermais em condições altas de P-T (Mikucki, 1998).

Os cálculos de Mikucki (1998), indicaram que os formadores de complexos de ouro predominantes são:

- $\text{Au}(\text{HS})^0$ em temperaturas limitadas até 300°C, temperatura e pH relativamente baixo dos fluidos.
- $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ seria o principal bi-sulfeto atuando com conteúdos moderados a altos de H_2S ($m_{\text{H}_2\text{S}}$) e a altas temperaturas.
- AuCl_2^- apenas em altas temperaturas, podendo superar $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ como principal complexo transportador de Au.

Os estudos de solubilidade de ouro transportado como $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ confirmaram valores de 1-100ppb em baixa temperatura e 10-10000 ppb em fluidos mineralizantes de alta temperatura, mesmo desprezando-se a contribuição de AuCl_2^- em sistemas de alta temperatura. A solubilidade do ouro em altas temperaturas traz várias consequências importantes. Primeiramente as solubilidades excedem amplamente as concentrações mínimas requeridas para formar um fluido efetivamente mineralizado em ouro (~5 ppb Au, Heinrich *et al.*, 1989) tornando desnecessária a explicação através de complexos de ouro exóticos (p. ex. complexos de ouro de tioarseniato). E, mais importante, os cálculos feitos por Mikucki (1998) dão suporte a especulações anteriores de que a maioria dos fluidos mineralizantes arqueanos foram provavelmente, insaturados em ouro em suas regiões de origem (conforme Phillips &

Powell 1993). Esses fatores permitem a canalização de fluidos mineralizados em ouro que, em função da modesta subsaturação, não permitem a sua precipitação em níveis crustais mais profundos, próximo à fonte, o que faz com que os fluidos se mantêm efetivamente mineralizados em toda a extensão crustal, onde os depósitos de ouro arqueano se formaram. Deve ser levado em consideração ainda que esses fatores podem ser responsáveis pela produção relativamente baixa de ouro em terrenos da fácies anfibolito em relação aqueles depósitos relacionados à fácies xisto verde (conforme Ridley *et al.*, 1996), ou seja, uma subsaturação a temperaturas mais elevadas levaria a processos menos eficientes na deposição mineral (Mikucki 1998).

O ouro associado a arsenopirita e/ou pirita com arsênio é encontrado em vários depósitos meso- a epitermais, ou seja, com temperaturas abaixo de 300°C. Nestes depósitos o ouro precipita-se após a formação da arsenopirita, nas bordas e fraturas da mesma. Este processo se daria através da redissolução da arsenopirita, produzindo localmente “armadilhas redutoras” para o ouro. Esta reação de dissolução pode ser exemplificada através da fórmula estequiométrica sob condições de HCl 0,01 molar a 350°C (Pokrovski *et al.*, 2002):

A precipitação do ouro por meio da criação de condições altamente redutoras em relação ao fluido global pela dissolução da arsenopirita pode representar um mecanismo eficiente na extração de Au das soluções hidrotermais (Pokrovski *et al.*, 2002).

A presença de fluidos aquo-carbônicos com salinidades muito altas coexistindo com fluidos aquo-carbônicos com salinidade média também podem ser indicativos de imiscibilidade (Fortes & Giuliani, 1995, *in*: Fortes *et al.*, 2000). Isto também pode influenciar o transporte de ouro na forma de complexos de hidrosulfetos e/ou cloretos e na sua deposição por meio de variações no pH, Eh, aCl, aS e fO₂ da solução, resultando na variação das razões Au/Ag. Estas razões têm ainda nítidas relações para cada zona mineralizada com os minerais hospedeiros e associações minerais, sugerindo que as seqüências paragenéticas, onde os sulfetos tendem a ser tardios, também têm influência na razão Au/Ag.

7 BANCO DE DADOS

O projeto da presente tese previu o tratamento de um grande número de informações, particularmente em relação a dados de descrição petrográfica e posicionamento espacial dos mesmos. Para que houvesse um tratamento rápido e sem perda de informação, optou-se pelo armazenamento dos dados em um banco de dados, sendo que para tanto, foi necessário elaborar um programa com características específicas.

Dada a importância que essa ferramenta representou no manuseio dos dados petrográficos, é apresentada uma descrição sucinta dos motivos que levaram a elaboração de um programa e a maneira que foi realizada.

O mercado de *software* oferece diversos programas de gerenciamento de dados voltados para o setor mineral, os quais oferecem recursos necessários para um manuseio eficiente de dados petrográficos com posicionamento espacial (por exemplo: VULCAN[®], DATAMINE[®], GENCOM[®], entre outros). Esses programas em geral são direcionados para questões gerenciais de minas, de alto custo, exigem treinamento específico e um equipamento de computação sofisticado, em geral uma estação de trabalho. Isso desestimulou a utilização de tais programas para a aplicação bastante específica exigida no desenvolvimento do presente estudo.

Por outro lado, a aquisição de um número relativamente grande de dados tornou imprescindível o uso de uma ferramenta que tornasse possível a atualização e manuseio constante destes dados, sem risco de perda de informação. Aliado a essa versatilidade seria ainda necessário à amarração espacial dos dados selecionados sobre uma projeção tridimensional em escala dos posicionamentos de testemunhos e das galerias mapeadas. Outro fator importante seria o uso de programas de computador relativamente acessíveis, que pudessem utilizar microcomputadores padrão e até mesmo portáteis, sem exigir muito investimento financeiro e de tempo no treinamento.

Após uma análise dos *softwares* disponíveis no IG-USP, optou-se pelo uso do MICROSOFT ACCESS 97[®] para construção do banco de dados do projeto, o qual é definido como um sistema de gerenciamento de dados relacionável e que trabalha sob a plataforma WINDOWS[®] 95 e 98. Este gerenciador de banco de dados ofereceu uma grande flexibilidade no manuseio dos dados preenchendo as necessidades do projeto.

Na parte gráfica foi utilizado o programa AUTOCAD 2000[®], que permite grande precisão nas modelagens tridimensionais e, nesta versão em particular, oferece uma

conectividade mais eficiente com bancos de dados externos, visando relacionar os dados com objetos espacialmente. O mesmo programa permite também a execução de rotinas de filtragem dos dados proveniente do banco.

Para que o AUTOCAD 2000 acesse as informações de um banco de dados externo são necessários dois procedimentos (Burchard & Pitzer, 2000):

- a) É necessário utilizar o *ODBC Data Source Administrator* que é fornecido pelo sistema operacional WINDOWS, que é uma interface de programação permitindo ao AUTOCAD acessar o banco de dados, no caso do ACCESS 97. Importante notar que o AUTOCAD 2000 não consegue acessar bancos de dados em versões posteriores ao ACCESS 97. O MICROSOFT ACCESS 97 fornece drivers diretos de banco de dados que podem evitar a configuração de um arquivo de origem de dados *ODBC*, podendo-se acessar os seus arquivos diretamente de um arquivo de configuração *OLE DB*. Na configuração do banco de dados do presente trabalho ocorreram situações em que o *driver* fornecido pela MICROSOFT não permitia uma conexão com o arquivo de configuração *OLE DB*, por motivos desconhecidos.
- b) Deve-se configurar um arquivo *.UDL* através da caixa de diálogo *Data Link Properties* do AUTOCAD que vai apontar para a tabela do banco de dados ACCESS 97.
- c) Cria-se um arquivo de configuração de *OLE DB* que conterá as informações que o AUTOCAD utiliza para acessar dados em arquivos de banco de dados. O arquivo de configuração é onde se adicionam as informações que identificam o nome do arquivo da origem de dados de *ODBC*. Esse arquivo é criado através do comando *Tools/dbConnect Manager* onde se cria um *Data Source Name*. Logo após a confirmação, acessa-se o guia *Provider* onde se seleciona *Microsoft OLE DB Provider for ODBC Drivers*. No guia *Connection* seleciona-se o botão de opção *Use Data Source Name* onde se busca o nome de origem de dados (*data source name – DSN*). Se necessário adota-se uma senha no *Step 2* e no *Step 3* escolhe-se o catálogo da lista. Após esses procedimentos faz-se o teste (botão *Test Connection*) para se assegurar que o AUTOCAD estabeleceu corretamente a conexão com o banco de dados.

O Gerenciador de Banco de Dados criado (FIGURA 9) permite a correlação ampla ou detalhada de toda a gama de descrições, particularmente das descrições minerais, tendo sofrido inúmeras adaptações no decorrer dos trabalhos de pesquisa.

Através desse banco é possível, por exemplo, correlacionar o conteúdo em porcentagem de determinado mineral nos pontos ou áreas de interesse, seleção de litotipos ou determinados minerais em um perfil, sondagem ou em toda área, seleção dos pontos com análises petrográficas, químicas, recuperação de amostras a partir da especificação de, por exemplo, teores.

Para o total aproveitamento do potencial no manuseio destes dados, é necessário o amarramento dos posicionamentos individuais, relativo e absoluto, das descrições, em uma concepção tridimensional, que é desempenhado pelo programa de desenho vetorial AUTOCAD. Esta estrutura organizacional pode gerar perfis com elementos de interesse, em qualquer posição desejada, culminando com perfil E-W da área de pesquisa (ANEXO 1).

Para facilitar o relacionamento dos nomes de minerais foi necessário a adoção de formas abreviadas, utilizando-se para tal, a forma modificada da tabela proposta por Kretz (1983), com abreviações em inglês e nomes por extenso em português (ver TABELA 1).

FIGURA 9 – Tela de entrada do banco de dados petrográfico elaborado em ACCESS 97.

O atual nível de desenvolvimento do banco de dados em ACCESS 97 no trabalho de pesquisa, já permite um processamento constante das descrições petrográficas, de acordo com a evolução dos conhecimentos. A FIGURA 10 apresenta a página de entrada de dados acumulados pela MSG e descrições macroscópicas realizadas no presente trabalho. Ao se

acessar a pasta PETRO no canto inferior da FIGURA 10, é aberta uma tela para a inserção dos dados petrográficos do estudo de lâminas delgadas (FIGURA 11). Nesta etapa foi também elaborada a estrutura para plotagem do mapa em três dimensões em AUTOCAD 2000 (FIGURA 12), com o posicionamento e desvios dos testemunhos de sondagem estudados, além da posterior inserção dos dados do banco, que culminou com a proposta do modelo da área estudada (ANEXO 1, perfil E-W). A FIGURA 13 mostra um recorte de uma das formas de mapas gerados pelo AUTOCAD com dados do banco ACCESS. Até o final do presente estudo, o banco de dados se mostrou funcional e deverá continuar evoluindo para formas com mais recursos e velocidade de fornecimento de interpretações equacionadas.

ID amostra	Código do Furo	Topo (m)	Base (m)	Comp (m)	Coord. E	Coord. N	Coord. Prof.
5	IV-22	0,00	2,00	2,00			

DADOS MSG

Nome da rocha: Sapolito vermelho (SAPVM) Amostra: 0 Teor (g/t): -9,00

Descrição: Sapolito vermelho com fragmentos de metabasito.

DADOS PROJETO:

KP.T.: IV-22 S/AM Rocha: Estrutura:

Fotografias disponíveis (Dir: \3 BD-MINA3\Imagens):

Descrição: Mergulho da Sn principal: Mergulho da Sn+1: Mergulho da Sn+2:

Cor vermelha com fragmentos de metabasito.

MACRO:

MICRO:

NOTAS:

☐ PETROLOGIA ☐ EDS ☐ GEOTERMBAR ☐ ESTRUTURAL
☐ MEV-EDS ☐ QUÍMICA ☒ BLASTESE ☐ CROQUIS

ANÁLISES (TECLE PAGE DOWN)

PETRO MEV/EDS EDS QUÍMICA GEOTERMBAR BLASTESE COORDENADAS CROQUIS

FIGURA 10 – Tela de entrada de dados petrográficos fornecidos pela MSG e descrições macroscópicas de amostras colhidas no presente estudo.

AMOSTRA

PETRO MEV/EDS EDS QUÍMICA GEOTERMBAR BLASTESE COORDENADAS CROQUÍIS

KP-T- IV-22 01687 Granulação: Fina-média (2,5mm)

Características gerais: Textura: Granonematoblástica Protólito: Básicas (Fm. Rio Vermelho)

AD1. Cor predominante: verde musgo. CAB: As bordas são geralmente mal definidas, ocorrendo algumas bordas bem definidas em contato com HBAC. Eles são posteriores aos HBAC truncando alguns cristais do mesmo, utilizando sua morfologia como fronteira (pseudomorfismo). Ocorrem de 3 maneiras: veio com 2-3mm, detriticos e como alteração do HBAC. HBAC: apresentam cristalização em forma de roda (eixo c // a tangente) com fraturas. Eles também alteram para CAB + Qtz. Óxidos cristalizam após HBAC. QTZ: Participa na alteração, junto com o CAB do HBAC. CAET: ANF fino recristaliza o mais grosso. ANF c/ núcleo de AC (+claro) com borda HB. CAB substitui o ANF. Flocos de

Procedimentos:

Fotografias disponíveis (Dir: \3 BD-MINA3\Imagens\): KP-T-IV-22-01-LD_SX.jpg KP-T-IV-22-01-LD.jpg

Croquis disponíveis (Dir: \3 BD-MINA3\Croquis\):

MINERALOGIA	%	DESCRIÇÃO
patita (AP)	0 %	
carbonato "verde" (CA)	20 %	Disseminado em grãos finos (<0,1mm), frequentemente com bordas de reação e fortes linhas de clivagem; reagem verde pela C.S.
orita (CHL)	0 %	Flocos não estressados.
pidoto (EP)	0 %	Clinozoisita, ocorrem na forma de cristais subhedrais, às vezes relativamente grandes.
omblenda/Actinolita	60 %	Pleocroísmo médio, verde azulado perp. e verde claro //. Frequentemente apresentam bordas de alteração.
pacos (OPA)	0 %	Anhedricos, OX?
agioclásio (PL)	15 %	Verificar qual feldspato. Albita? Não apresenta geminação e não foi possível caracterizar figura.
actinolita (ACT)		Mal recristalizado com extinção ondulante em alguns pontos, heterogranular

FIGURA 11 – Tela de entrada de dados petrográficos das descrições de lâminas delgadas de amostras colhidas no presente estudo.

FIGURA 12 – Diagramação em 3 dimensões dos testemunhos de sondagem estudados, em vermelho, e a base topográfica da galeria de acesso ao Corpo IV, em azul. A direção real dos testemunhos de sondagem foi obtida com a entrada dos dados de medição com auxílio do Topari fornecidos pela MSG.

FIGURA 13 – Recorte de uma das formas de relatório gerado pelo AUTOCAD com dados do banco ACCESS, relacionando diversas informações das amostras analisadas dos testemunhos de sondagem (linha subvertical), e com a superposição da galeria de acesso ao Corpo IV (linha com valores em metros a partir do início da galeria de acesso ao Corpo IV).

CAPÍTULO IV

QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOMETERIA

INTRODUÇÃO

Foram selecionadas amostras representativas de fases minerais do Corpo IV, mineralizados ou não, e ainda das zonas interpretadas como núcleos de alteração hidrotermal dos diversos corpos de minério da Mina III (zona superior, intermediária e inferior), conforme TABELA 14 abaixo e ANEXO 2 com tabelas de resultados analíticos. Visto que as alterações são semelhantes nos diversos corpos de minério, tentou-se estabelecer um padrão comparativo entre as mesmas, na busca de uma classificação mais refinada do Corpo IV.

TABELA 14 -- Amostras com fases minerais submetidas a análises com auxílio da microsonda eletrônica de varredura.

AMOSTRA	NOME DA ROCHA	CARACTERÍSTICAS
<i>CORPO IV (zonas mineralizadas e adjacências)</i>		
G-IV-002a	Biotita-sericita xisto carbonoso	<i>Metawacke</i> , próxima do Corpo IV, cisalhado, carbonoso. Acessórios: TUR, PO, ASP, AP
IV-22-17695	Biotita-sericita xisto carbonoso	<i>Metawacke</i> , Au>20,00 g/t, clastos deformados c/ sombras de pressão. TUR, GRT, PO, ASP, EP, AP
IV-22-16303	Clorita-biotita xisto carbonoso	<i>Metawacke</i> , Au<0,01 g/t, clastos estirados. Acessórios: GRT, SE, TUR, ASP
IV-22-17905	Clorita-flogopita-sericita xisto carbonoso	<i>Metawacke</i> , Au>3,00 g/t, contato com veio de quartzo. Acessórios: TUR, ASP, PO
K59-19435	Clorita-biotita-sericita xisto carbonoso	<i>Metawacke</i> , Au=0,07g/t, Acessórios: TUR, EP, PO.
<i>Anfibolito (Fm. Rio Vermelho) e prováveis metabásicas alteradas da Fm. Ribeirão das Antas</i>		
IV-01914	Anfibolito fino	Metabásica da Formação Rio Vermelho
K59-29280	Oligoclásio-dolomita-clorita xisto	Metabásica alterada na Formação Ribeirão das Antas
K59-34143	Clorita-turmalina-oligoclásio-cloritóide-sericita xisto	Metabásica alterada na Formação Ribeirão das Antas
K49-19790	Biotita-dolomita-oligoclásio xisto	Metabásica alterada na Formação Ribeirão das Antas
<i>Zonas mineralizada Superior da Mina III (Perfil E-W)</i>		
K49-26274	Cloritito c/ porfiroblastos de CLD, AMP e GRT	Lapa do minério sem análise de Au.
<i>Zonas mineralizada Intermediária da Mina III (Perfil E-W)</i>		
K59-38571	Cloritito c/ porfirobl. de GRT	S/ mineralização
K59-38587	Cloritito c/ porfirobl. de GRT	S/ mineralização
K03-22755	Cloritito c/ porfirobl. de GRT	Mineralizado
K03-23040	Biotita-xisto carbonoso	Mineralizado
<i>Zonas mineralizada Inferior da Mina III (Perfil E-W)</i>		
K49-39614	Biotita-sericita-plagioclásio xisto c/ porfirobl. de GRT e AMP	Zona da GRT/AMP não mineralizada.
K49-39664	Biotita-sericita-plagioclásio xisto c/ porfirobl. de GRT e AMP	Zona da GRT/AMP não mineralizada.

Alguns litotipos amostrados indicaram tratar-se de metabásicas alteradas em meio aos metasedimentos da Formação Ribeirão das Antas, devido a feições como estruturas *pillow* e *interpillow*. Para efetuar comparações foram realizadas análises destas associações encontradas nos metassedimentos e, ainda, de uma amostra de metabásica da Formação Rio Vermelho.

Por problemas de amostragem, não foi possível realizar análises do Corpo V, sendo que pela proximidade e semelhanças estruturais e litológicas, o mesmo poderá ser inicialmente enquadrado em uma caracterização semelhante à proposta para o Corpo IV.

Considera-se aqui o termo mineralizado como sendo a presença de ouro ou sulfeto em qualquer quantidade, no limite de detecção da análise química realizada pela MSG, diferente do termo utilizado na mina onde o mesmo representa o teor mínimo para viabilidade de lavra. Novamente os índices relativos às fases minerais representam o evento gerador (D1 a D4) que pode ser visualizado na TABELA 10 do Capítulo III.

1 CORPO IV E ADJACÊNCIAS

Foram amostrados pontos do Corpo IV, tanto nas galerias (G-IV-002) como dos testemunhos de sondagem (IV-22-16303, IV-22-17695 e IV-22-17905), mineralizadas ou não, visando a caracterização das fases e associações minerais. Para efeitos comparativos foram realizadas análises em uma amostra de clorita-biotita-sericita xisto carbonoso (K59-19435), não mineralizada, em uma posição estratigráficamente diferente do Corpo IV, mas com características petrográficas bastante semelhantes.

A amostra G-IV-002 do Corpo IV foi colhida durante os trabalhos de mapeamento como uma amostra representativa do xisto carbonoso com veios quartzo-carbonáticos e sua descrição segue abaixo:

- *Amostra G-IV-002 (Biotita-sericita xisto carbonoso)*: é caracterizada pela sua cor negra em função do conteúdo em material carbonoso, estrutura xistosa bastante deformada, com clastos muito estirados e venulações quartzosas. Esta rocha possui ainda turmalina e rutilo, este último provavelmente como resultado da alteração da ilmenita (ver Capítulo 3). Ocorre pequena quantidade de carbonato associado ao quartzo de veio dobrado, mas não na matriz sericítica. Esta amostra não possui análise química em relação ao Au.

A partir do testemunho de sondagem IV-22 foram colhidas três amostras do xisto carbonoso nas imediações do Corpo IV onde:

- *Amostra IV-22-16303 (Clorita-biotita xisto carbonoso)*: região não mineralizada, pouco menos de 10 m acima do Corpo IV, onde a biotita está levemente cloritizada. Como alterações foram reconhecidas albitização, silicificação, sulfetação, carbonatização e cloritização, sendo a última a mais fraca em relação às demais. Nódulos carbonosos se apresentam achatados (evento D4). Como acessórios ocorrem apatita zonada, sericita (MS1, inclusa no quartzo da matriz), epídoto, granada (porfiroblasto metamórfico), rutilo, titanita, zircão e arsenopirita.
- *Amostra IV-22-17695 (Biotita-sericita xisto carbonoso)*: faixa com mineralização incipiente a pouco menos de 5 m do Corpo IV. Foram reconhecidas as seguintes alterações hidrotermais: predominância da sericitização (MS3) superposto a albitização, silicificação, carbonatização, turmalinização e sulfetação. Ocorre um conteúdo maior de pirrotita em relação à amostra IV-22-16303 e uma ausência de clorita relativamente às outras amostras. Como acessórios ocorrem apatita, epídoto, granada (porfiroblasto metamórfico), rutilo, titanita, zircão, arsenopirita e pirrotita.
- *Amostra IV-22-17905 (Clorita-flogopita-sericita xisto carbonoso)*: amostra mineralizada do Corpo IV com ouro livre. A sulfetação se destaca com até 5% de pirrotita e arsenopirita associada a sericitização (MS3), silicificação (na forma de veios de quartzo colocados na S1 crenulada pelo evento D3, além das $L_{m/e3}$). Foram observados ainda a albitização, turmalinização e cloritização, nódulos carbonosos arredondados (poupados do evento D4) e a ausência da granada. Como acessórios tem-se: zircão, turmalina, apatita, sericita (MS1).

A amostra escolhida do testemunho de sondagem K59 por sua semelhança petrográfica com o xisto carbonoso mineralizado do Corpo IV, apresenta as seguintes características:

- *Amostra K59-19435 (Clorita-biotita-sericita xisto)*: indicação incipiente de mineralização de ouro. Pode representar a borda da alteração sericítica, onde ainda se reconhece a albitização, cloritização, turmalinização. Nódulos carbonosos se apresentam arredondados e não foi observado granada. Ocorre destruição pelo evento D3 do epídoto assim como a deformação do plagioclásio. Os acessórios são: zircão, turmalina, apatita, epídoto, dolomita e rutilo.

Foram realizadas diversas análises nessas amostras visando caracterizar as diversas fases minerais envolvidas nas alterações que se relacionam ou não a mineralização de ouro.

As análises da biotita em todas as amostras anteriormente mencionadas foram reunidas na FIGURA 12. Pode-se notar que a biotita da amostra IV-22-16303 (BT4) deve representar possivelmente as zonas de influência mais próximas do cisalhamento imposto pelo evento neoproterozóico, e estas apresentam uma composição mais definida no campo de classificação da biotita (FIGURA 14). Todas as outras amostras apresentam uma composição intermediária entre a flogopita e a biotita, sendo que ocorrem fortes indícios de que a biotita relativamente mais magnesiânica, chegando à composição da flogopita, está relacionada ao evento mineralizante no D3. Essa observação reforça o fato que ao final deste evento ocorreu um forte metassomatismo ferro-magnésiano relacionado a mineralização de ouro e sulfetos.

FIGURA 14 – Diagrama de classificação química da biotita nas amostras G-IV-002, IV-22-16303, IV-22-17695, IV-22-17905 e K59-19435 (39 análises).

A sericitização (MS3) é reconhecidamente um componente da alteração relacionada a mineralização, sendo a mesma rara a inexistente fora dos halos hidrotermais mineralizados ou dentro das zonas intensamente cisalhadas pelo tardio evento D4 (FIGURA 15). Na amostra G-IV-002a, a sericita é o componente principal da matriz com freqüente ocorrência de micrólitons revelando a foliação anterior (S_1). Sua composição química varia entre os cristais dos micrólitons, na qual há enriquecimento em Mg^{2+} e Fe^{2+} em direção às bordas e uma leve tendência de empobrecimento em sílica. Essa entrada de fluidos ferro-magnesianos no sistema está aparentemente vinculada ao evento D3 e conseqüentemente a mineralização de ouro e sulfetos no Corpo IV, fato comprovado pelas medições microtermométricas nas inclusões fluidas (ver Capítulo V, medidas das temperaturas do eutético).

FIGURA 15 – Diagrama de classificação química da sericita nas amostras G-IV-002, IV-22-16303, IV-22-17695, IV-22-17905 e K59-19435 (23 análises).

A análise da clorita (CHL3 ou CHL4) apresenta problemas devido à alteração hidrotermal tardia que afeta os cristais. As poucas análises de qualidade indicam que a clorita hidrotermal tem composição de picnoclorita, com variações para ripidolita (FIGURA 16). Essas análises foram feitas em um mineral do mesmo domínio estrutural e com as mesmas características ópticas, havendo, desta forma, necessidade de mais análises para avaliar se esta variação no quimismo esta relacionada a variações no fluido hidrotermal, ou se trata apenas de um problema analítico. A petrografia indica pouco ou nenhum relacionamento direto com a mineralização, mas a presença intensa de clorita pode indicar alterações posteriores que eventualmente tenham obliterado zonas mineralizadas.

FIGURA 16 – Diagrama de classificação química da clorita nas amostras IV-22-16303 e K59-19435 (4 análises).

As análises dos feldspatos nas amostras G-IV-002, IV-22-16303, IV-22-17695 e IV-22-17905 revelaram diferenças entre as fases mais proximais e distais da zona mineralizada conforme mostra a FIGURA 17. As zonas mais externas em relação a mineralização apresentam oligoclásio alterando para plagioclásio mais sódico, enquanto que dentro da zona mineralizada ocorre a albita praticamente pura.

FIGURA 17 – Diagrama de classificação química do feldspato nas amostras G-IV-002, IV-22-16303, IV-22-17695 e IV-22-17905 (34 análises).

Foram realizadas análises em granada da amostra IV-22-16303 (FIGURA 18), permitindo a sua classificação como almandínica, e, revelando uma composição mais magnesiana em relação a granada nas demais zonas não mineralizadas com granada da Mina III (ver adiante).

Os perfis analíticos realizados em uma granada da amostra IV-22-16303 (FIGURA 19) mostram uma tendência de enriquecimento de ferro em detrimento ao cálcio do núcleo para as bordas do cristal.

FIGURA 18 – Diagrama de classificação química da granada na amostra IV-22-16303 (24 análises).

FIGURA 19 – Perfis analíticos para Mg + Mn, Fe e Ca em granada da amostra IV-22-16303.

A análise de carbonatos nas amostras IV-22-16303, IV-22-17695, IV-22-17905 e K59-19435 (FIGURA 20) mostrou que os mesmos apresentam composição intermediária entre a dolomita e a anquerita, tratada doravante como dolomita ferrosa. Nas fases mineralizadas a dolomita ferrosa ocorre inclusa no plagioclásio e parcialmente inclusa na pirrotita. A calcita levemente ferrosa ocorre na amostra K59-19435 associados a clastos. Em alguns pontos da amostra os clastos já arredondados e estirados de calcita primária sofrem alterações, gerando clorita e biotita, restando seus contornos marcados pela biotita milonítica (BT3). As análises em geral não revelaram a presença de rodocrosita e, sendo assim, não foi necessária a apresentação do diagrama de classificação com essa fase carbonática.

FIGURA 20 – Diagrama de classificação química do carbonato nas amostras IV-22-16303, IV-22-17695, IV-22-17905 e K59-19435 (24 análises).

2 METABÁSICAS

Foram realizadas análises nas fases minerais de anfibolito da Formação Rio Vermelho para a caracterização da associação mineral, visando confrontá-la com análises de rochas metabásicas alteradas encontradas dentro da Formação Ribeirão das Antas.

A amostra IV-01914 (anfibolito fino) apresenta uma geração porfiroblástica de anfibólios, as vezes orientados radialmente, imersos em uma matriz de anfibólios finos e plagioclásio. Como acessórios ocorrem epidoto, opacos não identificados, rutilo e titanita. Um veio tardio quartzo-feldspático tardio corta a amostra, possivelmente como resultado das mesmas alterações hidrotermais reconhecidas nos metasedimentos da Formação Ribeirão das Antas.

O anfibólio da metabásica pertencente à Formação Rio Vermelho revelou uma composição de hornblenda magnesiana/actinolita (FIGURA 21), relativamente ao núcleo e borda, sendo que esta associação é considerada uma relíquia da alteração dos piroxênios originais.

As análises dos porfiroblastos euédricos de anfibólio de alteração, relacionados ao final do evento D3, apresentam uma composição nitidamente diferenciada, caracterizada com Fe-tschermakita (ver adiante). Esta última geração de anfibólio foi reconhecida em quase todas as zonas mineralizadas (Mina III e Corpo IV) e se associa intimamente com os porfiroblastos euédricos de granada, cloritóide e arsenopirita (ASP3).

FIGURA 21 – Diagrama de classificação química do anfibólio na amostra IV-22-01914 (20 análises). A seta indica a direção composicional do núcleo para a borda dos cristais.

A análise dos feldspatos revelou uma tendência bastante semelhante da alteração hidrotermal as outras zonas mineralizadas da Mina III, caracterizada no halo interno da mineralização do Corpo IV, onde o oligoclásio torna-se mais sódico (FIGURA 22). O veio quartzo-feldspático tardio que corta a amostra IV-01914 também indica tal tendência. Isso sugere novamente uma semelhança dos sistemas de alteração que acometeram tanto o Corpo IV como as metabásicas e, se esse for o caso, mostra que a alteração feldspática permite a preservação de relíquias ígneas nas rochas metabásicas.

FIGURA 22 – Diagrama de classificação química do feldspato na amostra IV-22-01914 (8 análises). A seta indica a direção composicional do núcleo para a borda dos cristais.

De maneira semelhante ao oligoclásio, a clorita encontrada nos veios quartzo-feldspáticos tardios revela também uma composição semelhante à encontrada nos halos externos do Corpo IV (picnoclorita, FIGURA 23).

FIGURA 23 – Diagrama de classificação química da clorita na amostra IV-22-01914 (3 análises).

3 ZONA DAS METABÁSICAS HIDROTERMALIZADAS

Os estudos de testemunhos de sondagem que são apresentados na forma do perfil E-W (ANEXO 1) permitiram o reconhecimento de um corpo com dimensões consideráveis, e com características de rocha metabásicas, intercalado nos metassedimentos da Formação Ribeirão das Antas.

Foram analisadas 3 amostras com e sem mineralização de ouro, desta zona para se determinar as fases minerais e associações relacionadas com essa zona. As amostras analisadas foram:

- *Amostra K59-29280 (Oligoclásio-dolomita-clorita xisto):* a rocha apresenta silicificação, dolomitização e cloritização, esta última principalmente como resultado da alteração da biotita. Ocorrem porfiroblastos pós-tectônicos de magnetita em associação com veios carbonáticos (dolomita). Os acessórios são magnetita (porfiroblastos metamórficos), ilmenita e epidoto. Sem mineralização
- *Amostra K59-34143 (Clorita-turmalina-oligoclásio-cloritóide-sericita xisto):* ocorrem duas gerações de sericita sendo que a última é resultado da sericitização de vários

minerais, em particular do oligoclásio. Ocorre mineralização a 10 m abaixo desta amostra. Outra alteração presente é a turmalinização que representa até 10% dos minerais na lâmina delgada estudada. Essa zona ainda apresenta porfiroblastos de Fe-tschermakita e cloritóide. Foram identificados apenas sulfetos como acessórios.

- *Amostra K49-19790 (Biotita-dolomita-oligoclásio xisto)*: zona com forte albitização, mineralizada, além de vênulas tardias quartzo-carbonáticas. Como acessório ocorre arsenopirita euédrica com calcopirita nas bordas, além de leves sombras de pressão de biotita e carbonato. A sombra de pressão nos porfiroblastos se deve provavelmente a atuação do evento neoproterozóico.

As análises da biotita nas amostras K59-29280, K59-34143 e K49-19790 revelaram uma composição bem próxima do limite da flogopita, indicando a proximidade da mineralização, confirmada com exceção da amostra K59-29280 (FIGURA 24).

FIGURA 24 – Diagrama de classificação química da biotita na amostra K59-29280, K59-34143 e K49-19790 (5 análises).

A sericita pôde ser analisada na amostra K59-34143, cuja composição é muito semelhante à da MS3, relacionada ao evento D3 (FIGURA 25). Essa geração de sericita preenche parcialmente fraturas no cloritóide.

FIGURA 25 – Diagrama de classificação química da sericita na amostra K59-34143 (3 análises).

A clorita analisada nas três amostras mostrou uma variação composicional (FIGURA 26), provavelmente devido ao tipo de protólito alterado. A alteração da Fe-tschermakita gera picnoclorita, enquanto que a alteração da biotita na amostra K49-19790 gera diabantita. As características dos cristais alterados da clorita analisada pode ter causado problemas analíticos, sendo que os dados obtidos devem ser interpretados com reservas. Ocorre ainda clorita na matriz, entre os porfiroblastos metamórficos de cloritóide, que apresentam uma cor de interferência azul intensa e distinta dos demais tipos de clorita.

FIGURA 26 – Diagrama de classificação química da clorita na amostra K59-29280, K59-34143 e K49-19790 (16 análises).

Os feldspatos nas três amostras revelaram composições muito semelhantes às proximidades do Corpo IV, com destaque para a amostra K49-19790 (FIGURA 27). A

amostra K59-34143 apresenta oligoclásio com inclusões de ilmenita e blastese singenética à granada. O oligoclásio na amostra K59-29280 ocorre na matriz. Na amostra K49-19970 ocorre albita na forma pura em concordância com a mineralização desta amostra, como resultado extremo da albitização, preenchendo fraturas, às vezes com formas euédricas e sendo interpretado como singenético à turmalina e à arsenopirita.

FIGURA 27 – Diagrama de classificação química do feldspato na amostra K59-29280, K59-34143 e K49-19790 (18 análises).

As análises dos carbonatos revelaram novamente uma variação entre as composições de calcita e de dolomita ferrosa (FIGURA 28), sendo caracterizado sua fase singenética com a arsenopirita, provavelmente ASP3. A calcita ocorre como uma fase tardia, pós-fraturas do cloritóide, provavelmente relacionada ao evento D4.

As análises nas diversas fases minerais não confirmaram indícios de variação química que pudesse caracterizar essa zona como sendo alterações de um protólito metabásico, com exceção, talvez, da presença de magnetita e cloritóide e da ausência de granada.

FIGURA 28 – Diagrama de classificação química do carbonato nas amostras K59-29280, K59-34143 e K49-19790 (19 análises).

4 ZONA SUPERIOR DA MINA III

Durante os estudos dos testemunhos de sondagem foi coletada uma amostra nas proximidades da zona superior, descrita a seguir:

- *Amostra K49-26274 (Cloritito com porfiroblastos de cloritóide, anfibólio e granada):* zona da lapa do minério da zona superior, sendo que 20 m acima no testemunho de sondagem tem início as anomalias de Au (a amostra estudada não tem análise), onde ocorre uma massa de cloritito com porfiroblastos metamórficos sin- a pós-tectônicos (evento D3), centimétricos, de granada, Fe-tschermakita e cloritóide. Como acessórios ocorrem carbonato e biotita e como minerais de alteração hidrotermal, clorita (alteração do anfibólio, cloritóide e granada) e sericita (alteração do cloritóide). Ocorrem ainda delgados veios quartzo-carbonáticos tardios.

A sericita encontrada na amostra é resultado da alteração de fases minerais como a clorita (CH2), cloritóide e biotita (BT2) como evidência da sericitização do evento D3, que associada aos outros processos de alteração caracteriza a alteração propilítica (ver Capítulo III). A composição da sericita em relação ao Fe^{2+} e Mg^{2+} se apresenta bastante similar às outras zonas de alteração (FIGURA 29), reforçando a hipótese anteriormente mencionada. Esta amostra revelou ainda a presença de margarita, inclusa parcial- ou totalmente no cloritóide e representa uma das alterações desse mineral.

FIGURA 29 – Diagrama de classificação química da sericita e margarita na amostra K49-26274 (7 análises).

Foram realizadas análises em alguns cristais de clorita (FIGURA 30) que são resultado de alteração da sericita e granada, devendo assim tratar-se da CHL4 tardia (neoproterozóica). A sua composição é de ripidolita, em contrapartida à clorita do evento D3, que é picnoclorita. Essa observação é reforçada pelas características da mudança composicional na sericita e granada, com um enriquecimento quase contínuo em ferro.

FIGURA 30 – Diagrama de classificação química da clorita na amostra K49-26274 (8 análises).

A granada se apresenta sob a forma de porfiroblastos metamórficos, singenéticos ao anfibólio e cloritóide (com pequenas diferenças de contemporaneidade), sendo que foram realizados perfis analíticos em diversos cristais na tentativa de revelar modificações composicionais durante o seu desenvolvimento. Trata-se basicamente de almandina com variações nos membros piropo, grossulária e espessartita conforme mostra a FIGURA 31. Na FIGURA 31 pode-se reconhecer basicamente duas fases evolutivas distintas (ver seta): uma inicial de enriquecimento em Ca com perda de Mn e logo após uma fase com enriquecimento em Mg e Fe. Essa última fase caracteriza uma das evidências para a alteração propilítica associada à mineralização de ouro e sulfetos, durante o final do evento D3.

O detalhamento do perfil analítico dessa granada mostra (FIGURA 32) relações dos teores de Ca-Mg-Fe-Mn que indicam que a cristalização do núcleo da granada ocorreu em temperaturas relativamente baixas, mas a pressões relativamente mais altas, ao qual segue-se uma parte intermediária com aumento contínuo da temperatura e queda da pressão. Após esta fase houve ainda aumento da temperatura e da pressão, até os reequilíbrios finais nas bordas, com fortes quedas na temperatura e na pressão. Este complexo padrão terá de ser melhor estudado, mas mostra correlações com o comportamento do zonamento químico observado parcialmente no plagioclásio, podendo ainda estar associado à evolução de forma recorrente na fase final do evento D3.

FIGURA 31 – Diagrama de classificação química da granada metamórfica na amostra K49-26274 (10 análises).

FIGURA 32 – Diagramas do perfil das análises de química mineral em um cristal de granada metamórfica na amostra K49-26274 (10 análises).

As análises do anfibólio confirmam a diferença composicional em relação à hornblenda/actinolita encontradas nas metabásicas da Formação Rio Vermelho. O anfibólio dessa zona é Fe-tschermakita (FIGURA 33) na forma de porfiroblastos metamórficos relacionados ao final do evento D3, possivelmente paleoproterozóico, sem evidências consideráveis de mudança composicional nas análises de núcleo e borda dos cristais.

FIGURA 33 – Diagrama de classificação química do anfibólio metamórfico na amostra K49-26274 (9 análises).

Os carbonatos da amostra K49-26378 ocorrem apenas como inclusões nos porfiroblastos metamórficos da granada e anfibólio (com exceção dos veios quartzo-carbonáticos tardios), não tendo sido encontrado na matriz. A análise dessas inclusões minerais revelou composição da calcita, que pode representar fases primárias preservadas do carbonato (FIGURA 34)

FIGURA 34 – Diagrama de classificação química do carbonato na amostra K49-26274 (8 análises).

5 ZONA INTERMEDIÁRIA DA MINA III

As amostras a seguir representam a Zona Intermediária da Mina III, onde a mineralização também apresenta a associação granada, Fe-tschermakita e as alterações, que em conjunto caracterizam o evento propilítico.

As amostras possuem as seguintes características petrográficas:

- *Amostra K59-38571 (Cloritito com porfiroblastos de granada)*: basicamente na porção superior de uma faixa de cloritito com porfiroblastos metamórficos de granada sem mineralização de Au ou sulfetos, situa-se na capa de uma anomalia de Au e sulfetos (não atinge teor de corte nessa região). Ocorrem veios quartzo-carbonáticos onde se reconhecem cristais euédricos de quartzo, indicando crescimento em condições de alívio, provavelmente devido a um evento (D2?) que gerou brechamento nessa porção. O carbonato substitui pseudomorficamente a granada e o plagioclásio, e a sericita ocorre como duas gerações: uma que se apresenta dobrada, pré- D3, e outra que sericitiza a clorita (CHL2), provavelmente do final do evento D3. Como acessórios ocorrem biotita, quase sempre intensamente cloritizada, apatita e rutilo.
- *Amostra K59-38587 (Cloritito com porfiroblastos de granada)*: bastante semelhante a Amostra K59-38571, mas agora em uma posição no limite inferior da faixa do cloritito com granada em relação à amostra K59-38571. Não ocorrem mineralização de ouro e sulfetos. Um veio tardio (evento D4) corta a amostra com quartzo, calcita e cristais euédricos de siderita, esta última típica do evento D4 (ver Capítulo V sobre estudo dos veios de quartzo). Biotita ocorre de maneira disseminada, sendo que a clorita se apresenta na forma de várias gerações (CHL2, CHL3 e CHL4), alterando diversas fases minerais. Essa zona ainda sofreu albitização. Sericita, epídoto e apatita foram observados como acessórios.
- *Amostra K03-22755 (Cloritito com porfiroblastos de granada)*: Esta amostra representa praticamente a lapa da zona intermediária mineralizada, com Au visível e sulfetos (pirrotita até 5% e arsenopirita em menor quantidade). Basicamente clorita na matriz, com sulfetos e carbonatos. Ocorrem também nódulos carbonosos arredondados e porfiroblastos de granada sin-sulfetos. A biotita destaca-se entre os acessórios estando quase totalmente cloritizada. Ausência de plagioclásio.
- *Amostra K03-23040 (Biotita xisto carbonoso)*: Ainda na zona intermediária mineralizada, representando a capa do minério com Au visível e sulfetos (com até 10% de arsenopirita e

3% de pirrotita). Apresenta bastante carbonato, sulfetização e albitização. Até 10% de material carbonoso.

Foi analisada a biotita das amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040, sendo que as duas primeiras apresentaram fases bem caracterizadas no campo da biotita (FIGURA 35), semelhante a biotita que ocorre no halo mais externo e não mineralizado do Corpo IV (relativamente menos magnesianas). A biotita da amostra mineralizada K03-23040 destaca-se pelo seu conteúdo relativamente maior em magnésio, comprovando a hipótese da variação composicional relativamente à distância da mineralização, onde as zonas hidrotermais mais próximas à mineralização contêm minerais de composição mais magnesiana.

FIGURA 35 – Diagrama de classificação química da biotita nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040 (38 análises).

A sericita apresentou pouca variação composicional nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040 mantendo ainda grande semelhança composicional com a sericita do Corpo IV. Fica evidente, entretanto, a relação inversa do conteúdo em ferro e magnésio onde as amostras não mineralizadas K59-38571 e K59-38578 são mais ricas em Fe^{2+} ao contrário da sericita na amostra fortemente mineralizada K03-23040, que tem variação positiva para Mg^{2+} (FIGURA 36).

FIGURA 36 – Diagrama de classificação química da sericita nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040 (22 análises).

A análise da clorita revelou de maneira geral uma composição da ripidolita (FIGURA 37), semelhante a amostra K49-26274 (zona superior não mineralizada quanto a sulfetos e Au, e relacionada ao evento neoproterozóico) e a amostra IV-22-16303 (halo externo da mineralização do Corpo IV, também sem mineralização). Ocorrem exceções em campos de classificação próximos, mas sem representação interpretativa até o momento, podendo até tratar-se de problemas analíticos gerados pelo estado alterado dos cristais de clorita.

FIGURA 37 – Diagrama de classificação química da clorita nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-22755 (29 análises).

O feldspato mostrou a mesma tendência das zonas albitizadas com uma evolução do oligoclásio em direção a albita pura, como mostra a FIGURA 38, com a classificação do plagioclásio das amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040. Nota-se que na amostra

mineralizada K03-23040, não é atingido o campo da albita pura, o que pode evidenciar instabilidade dessa próxima do núcleo da alteração (cloritito com granada).

FIGURA 38 – Diagrama de classificação química do feldspato nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-23040 (51 análises).

Os carbonatos ocorrem nas diversas formas já constatadas nas análises de outras zonas (FIGURA 39). A calcita foi reconhecida como sendo resultado de alterações tardias da granada, preenchimento de fraturas ou como parte da matriz, por vezes, com feições de clastos primários. Cabe aqui destacar que o carbonato da zona efetivamente mineralizada apresenta a mesma composição de dolomita ferrosa de outras zonas mineralizadas (*e.g.* Corpo IV). A anquerita na forma do membro final é o resultado de alterações da granada e epidoto, gerando às vezes pseudomorfos desses minerais. A siderita é uma fase carbonática característica do evento neoproterozóico e se apresenta normalmente na forma de cristais euédricos, em meio aos veios de quartzo de geração análoga.

FIGURA 39 – Diagrama de classificação química do carbonato nas amostras K59-38571, K59-38587, K03-22755 e K03-23040 (36 análises).

Foram realizados diversos perfis analíticos na granada almandínica das amostras K59-38571, K59-38587 (ambas não mineralizadas) e K03-22755 (mineralizada) (FIGURA 40). De maneira semelhante a toda granada analisada, é mantida uma evolução que inicia com relativamente mais moléculas de espessartita/piropo, evoluindo para aumento do teor de grossulária e por fim de piropo/espessartita. Essa evolução caracteriza a entrada de fluidos carbonáticos, relacionados às fases de dolomitização no início do evento D3 e logo após o forte metassomatismo ferro-magnésiano que, ao fim do evento D3 estaria relacionado à mineralização de ouro e sulfetos. O perfil analítico da amostra K03-22755 mineralizada comparado ao perfil da amostra K59-38587 não mineralizada (FIGURA 41) revela a maior diferença no conteúdo em magnésio, que, na granada associada à mineralização possui pelo menos três vezes mais da molécula de piropo. A comparação da variação composicional e dos valores em porcentagem de óxidos com as granadas do Corpo IV, revela grandes semelhanças.

FIGURA 40 – Diagrama de classificação química da granada nas amostras K59-38571, K59-38578 e K03-22755 (89 análises).

FIGURA 41 – Perfis analíticos da granada: à esquerda da amostra K59-38578 sem mineralização e à direita da amostra K03-22755 com mineralização. Notar que os diagramas da direita abrangem apenas um perfil do núcleo para a borda.

6 ZONA INFERIOR DA MINA III

A zona inferior da Mina III é considerada petrograficamente a mais semelhante ao Corpo IV, pelo seu forte vínculo com veios de quartzo em meio ao xisto carbonoso, e freqüentes texturas brechadas. A análise do *gold fineness* também indica similaridades dessas mineralizações (ver capítulo de petrografia).

Foram analisadas as fases minerais de duas amostra próximas com as seguintes características:

- *Amostra K49-39614 (Biotita-sericita-plagioclásio xisto com porfiroblastos de granada e anfibólio):* Ocorrem zonas de cloritito permeados com porfiroblastos centimétricos de granada e anfibólio, numa região da amostra menos afetada pelo cisalhamento relacionado ao evento D4. A zona da granada/anfibólio não mineralizada representa a capa do minério da zona inferior. Ocorrem duas gerações de biotita. Porfiroblastos de anfibólio apresentam inclusões de granada (granada pré- a sin-anfibólio).
- *Amostra K49-39664 (Biotita-sericita-plagioclásio xisto com porfiroblastos de granada e anfibólio):* Ocorrem zonas de cloritito permeados com porfiroblastos centimétricos de granada e anfibólio, parcialmente destruídos em alguns pontos pelo cisalhamento relacionado ao evento D4. A zona da granada e anfibólio não mineralizada representa a capa do minério da zona inferior.

As análises da biotita nas duas amostras, mesmo as sericitizadas foram classificadas dentro do campo da biotita e devem representar, da mesma maneira que na biotita do Corpo IV, o halo próximo da mineralização (FIGURA 42). A petrografia revelou que a biotita nessas amostras é pré-granada e anfibólio (BT2), sofrendo a sericitização imposta pelo evento D3. Ocorre ainda uma geração de biotita pós-tectônica.

FIGURA 40 – Diagrama de classificação química da biotita nas amostras K49-39614 e K49-39664 (27 análises).

A sericita ocorre sob duas formas: inclusa no anfibólio com uma composição relativamente menos ferro-magnesiana, e como alteração da biotita (BT2), indicando aumento no conteúdo de Na^{2+} , Fe^{2+} e Mg^{2+} em acordo com o metassomatismo que acometeu o final do evento D3 (FIGURA 43). Pode-se destacar a sericita da amostra K59-39614, que ocorre inclusa no anfibólio, por apresentar uma relação maior para Mg/Fe.

FIGURA 43 – Diagrama de classificação química da sericita nas amostras K49-39614 e K49-39664 (27 análises).

A clorita analisada revelou ser o resultado da alteração da biotita e do anfibólio e pode ser caracterizada como sendo picnoclorita (FIGURA 44).

FIGURA 44 – Diagrama de classificação química da clorita nas amostras K49-39614 e K49-39664 (3 análises).

As análises dos feldspatos nas amostras K49-39614 e K49-39664 foram reunidas no diagrama classificatório da FIGURA 45 e apresentam o mesmo sentido evolutivo das demais zonas com plagioclásio. Essas amostras são diferenciáveis por apresentarem plagioclásio mais cálcico (iniciando com a labradorita) que todas as outras amostras analisadas.

FIGURA 45 – Diagrama de classificação química do feldspato nas amostras K49-39614 e K49-39664 (41 análises). As setas indicam variação química do núcleo para borda nas duas amostras.

A análise dos carbonatos revela a presença de calcita (FIGURA 46) como resultado da alteração da granada/anfibólio, sendo que a alteração apresenta padrões claros do cisalhamento neoproterozóico que afetou essa zona, destruindo parcialmente a alteração

gerada pelo evento D3. A deformação, chegando a destruição, dos porfiroblastos de anfibólio e granada foi também observada nos trabalhos de mapeamento das galerias do Corpo IV, marcando a proximidade dos limites do mesmo, no truncamento neoproterozóico dos corpos de minério.

FIGURA 46 – Diagrama de classificação química do carbonato nas amostras K49-39614 e K49-39664 (12 análises).

Os porfiroblastos de anfibólio metamórfico apresentam composição da Fe-tschermakita, da mesma forma que nas outras zonas mineralizadas, sem variações maiores nos perfis composicionais, conforme a FIGURA 47.

FIGURA 47 – Diagrama de classificação química do anfibólio nas amostras K49-39614 e K49-39664 (21 análises).

A granada apresenta a mesma composição almandínica das demais amostras, sendo que nessas amostras ocorre apenas o segundo estágio de seu padrão evolutivo (FIGURA 48), ou seja, enriquecimento na molécula piropo. Isso ainda pode explicar o padrão de cristalização em atol dessas granadas, observado apenas nesse local, indicando apenas a segunda fase evolutiva do padrão geral (falta a fase de enriquecimento na molécula grossulária). Em contrapartida ocorre a granada almandínica mais rica em magnésio, a algumas dezenas de metros abaixo zona mineralizada inferior da Mina III. Esta se distingue do padrão geral, sendo indicativa da proximidade da zona mais alterada em relação ao Mg^{2+} e, conseqüentemente, uma zona mais propícia para mineralização.

FIGURA 48 – Diagrama de classificação química da granada nas amostras K49-39614 e K49-39664 (20 análises).

Os perfis analíticos realizados nas duas granadas da FIGURA 48 revelaram a mesma evolução composicional do núcleo para a borda dos cristais (FIGURA 49), além da variedade de granada almandínica, com maior conteúdo em piropo que deve indicar proximidade da mineralização.

FIGURA 49 – Perfis analíticos da granada: à esquerda da amostra K49-39614 sem mineralização e com desenvolvimento em atol e à direita da amostra K49-39614 com maior conteúdo na molécula piropo. Notar que os diagramas abrangem apenas um perfil do núcleo para a borda.

7 GEOTERMobarometria

Foram realizados estudos termobarométricos utilizando-se a paragénesis granada-anfibólio-biotita-plagioclásio-sericita. Os resultados obtidos mostram-se muito interessantes para definição do modelo genético da mineralização, notadamente quanto ao nível crustal do desenvolvimento da zona de cisalhamento e das temperaturas dos fluidos hidrotermais.

Duas amostras foram avaliadas, uma representada por um metassedimento com granada, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita, opacos, carbonatos e clorita na matriz, cortada por veios hidrotermais com micas, plagioclásio e carbonato.

Uma outra amostra corresponde a um milonito com cristalização de hornblenda e granada pós-cisalhamento pré-neoproterozóico, com plagioclásio, biotita, quartzo, carbonatos, clorita e muscovita menos frequente.

Os minerais utilizados nos cálculos são de cristalização associada à zona de cisalhamento, com possíveis núcleos remanescentes do metamorfismo regional. Todos se situam nas proximidades das zonas mineralizadas, razão pela qual as temperaturas obtidas devem corresponder ao evento hidrotermal associado a mineralização de ouro.

Nestes cálculos foi utilizada a termobarometria com o banco de dados termodinâmicos internamente consistentes de Berman (1988), através do *software* TWQ (Berman, 1992). Devido à presença de carbonatos todos os cálculos foram efetuados com fração molar de H₂O:CO₂ de 0,8:0,2. Os equilíbrios das reações analisadas mostram-se muito susceptíveis à variação da fração molar de CO₂, razão pela qual haverá necessidade de melhor estimativas desta atividade nos estudos futuros. Pode-se notar também que será necessário adequar o modelo de atividade do *end-member* flogopita nos cálculos, devido às composições muito ricas em ferro dos minerais.

Para os cálculos geotermobarométricos foram utilizadas as composições do núcleo e da borda dos seguintes minerais em paragênese: granada, biotita, muscovita e plagioclásio.

Os resultados da amostra K59-38571 podem ser observados nas FIGURAS 50 e 51, calculadas através das seguintes reações químicas:

- 1): $\alpha\text{QTZ} + 2 \text{ CAL} + \text{AN} = \text{GRT} + 2 \text{ CO}_2$
- 2): $\text{ALM} + 2 \text{ CAL} + \text{MS} + \alpha\text{QTZ} = 2 \text{ AN} + \text{ANN} + 2 \text{ CO}_2$
- 3): $\text{PHL} + \text{ALM} = \text{ANN} + \text{PY}$
- 4): $\text{MS} + \text{GRT} + \text{ALM} = \text{ANN} + 3 \text{ AN}$
- 5): $3 \alpha\text{QTZ} + \text{MS} + 6 \text{ CAL} + \text{ALM} = \text{ANN} + 2 \text{ GRT} + 6 \text{ CO}_2$
- 6): $\alpha\text{QTZ} + \text{PY} + \text{MS} + 2 \text{ CAL} = 2 \text{ AN} + \text{PHL} + 2 \text{ CO}_2$
- 7): $\text{PY} + \text{MS} + \text{GRT} = 3 \text{ AN} + \text{PHL}$
- 8): $3 \alpha\text{QTZ} + \text{PY} + \text{MS} + 6 \text{ CAL} = 2 \text{ GRT} + \text{PHL} + 6 \text{ CO}_2$

Na amostra K59-38571 (FIGURA 50), as análises com as composições dos núcleos dos minerais mostraram-se razoavelmente equilibradas ao redor de 545 - 550°C, a 7,1 - 7,8 kbar. Nota-se também que o equilíbrio biotita/granada situa-se em aproximadamente 500°C e 6,8 kbar, condição esta que pode ser atribuídas à maior facilidade de difusão iônica intracristalina na biotita, relativamente aos minerais desidratados e com clivagem menos proeminente, com consequência do resfriamento do sistema. As composições das bordas mostram-se, ao contrário do esperado, ainda mais desequilibradas que as dos núcleos, com condições situadas entre 540 - 550°C e 6,6 - 7,8 e 450°C e 5,9 kbar para a biotita-granada, mostrando pequena redução das condições P-T.

FIGURA 50 – Diagramas de equilíbrio de fases para a amostra K59-38571a com análises de núcleos a esquerda e borda a direita.

Um outro conjunto de minerais da mesma amostra K59-38571 (FIGURA 51) revelaram uma faixa de variação que vai de 580°C/10,8 kbar até 585°C/12,2 kbar e com um ponto de desequilíbrio da biotita/granada em 750°C /14,8 kbar. As análises na borda forneceram am uma faixa de variação que vai de 570°C/10,5 kbar até 570°C /11,4 kbar e com um ponto de desequilíbrio da biotita/granada em 655°C /12,6 kbar.

Excetuando o equilíbrio granada-biotita da amostra anterior, os resultados são compatíveis com temperaturas da fácies xisto verde, em seu limite superior, ou início da fácies anfibolito, o que está em acordo com as observações petrográficas, com cloritóide estável nos metassedimentos hidrotermalizados. Entretanto, as pressões resultantes são, de modo geral, bastante altas, o que é incompatível com uma evolução tectônica em crosta com grau geotérmico típico de zonas de subducção e evolução barrowiana, e mais coerente com zonas metamórficas de alta pressão. Entretanto, as temperaturas estão, face à proximidade dos minerais com os veios, relacionadas ao evento hidrotermal, o que sugere, que a zona de cisalhamento instalou-se em níveis crustais profundos, em rochas relativamente frias. Em sendo correto este pressuposto, os terrenos *greenstone* deveriam ser parte de crátons estáveis e frios, quando das mineralizações auríferas, que seriam então mesotermiais a hipotermiais e, possivelmente, relacionadas a fluidos predominantemente metamórficos gerados em níveis crustais inferiores.

FIGURA 51 – Diagramas de equilíbrio de fases para a amostra K59-38571b com análises de núcleos à esquerda e borda à direita.

Entretanto, não pode ser descartada a hipótese destes resultados serem consequência de disequilíbrios químicos causados pelos fluidos hidrotermais em minerais de eventos anteriores parcialmente recrystalizados.

Devido às pressões altas obtidas nestes metassedimentos, foram feitos alguns cálculos com o anfibólio, granada, plagioclásio e biotita da amostra K49-39664, objetivando analisar as condições P-T em outro sistema químico. Nestes cálculos foram utilizadas as seguintes reações de equilíbrio:

- 1): $36 \text{ Ab} + 68 \text{ ALM} + 64 \text{ GRT} + 15 \text{ PARG} + 48 \text{ WO} = 51 \text{ Fe-PA} + 12 \text{ TR} + 96 \text{ AN}$
- 2): $3 \text{ PARG} + 4 \text{ ALM} = 4 \text{ PY} + 3 \text{ Fe-PA}$
- 3): $5 \text{ PHL} + 16 \text{ GRT} + 17 \text{ ALM} + 9 \text{ AB} + 12 \text{ WO} = 5 \text{ ANN} + 24 \text{ AN} + 3 \text{ TR} + 9 \text{ FePa}$
- 4): $17 \text{ PHL} + 16 \text{ GRT} + 17 \text{ ALM} + 9 \text{ AB} + 12 \text{ WO} = 17 \text{ ANN} + 24 \text{ AN} + 3 \text{ TR} + 9 \text{ Parg}$
- 5): $5 \text{ PY} + 16 \text{ GRT} + 12 \text{ ALM} + 9 \text{ AB} + 12 \text{ WO} = 24 \text{ AN} + 3 \text{ TR} + 9 \text{ Fe-PA}$
- 6): $17 \text{ PY} + 16 \text{ GRT} + 9 \text{ Ab} + 12 \text{ WO} = 24 \text{ AN} + 3 \text{ TR} + 9 \text{ PARG}$
- 7): $9 \text{ AB} + 17 \text{ ALM} + 16 \text{ GRT} + 12 \text{ WO} = 9 \text{ Fe-PA} + 3 \text{ Fe-TR} + 24 \text{ AN}$
- 8): $36 \text{ TR} + 80 \text{ GRT} + 85 \text{ ALM} + 45 \text{ AB} + 60 \text{ WO} = 120 \text{ AN} + 51 \text{ Fe-TR} + 45 \text{ PARG}$
- 9): $\text{PHL} + \text{ALM} = \text{ANN} + \text{PY}$
- 10): $5 \text{ ALM} + 3 \text{ TR} = 3 \text{ Fe-TR} + 5 \text{ PY}$
- 11): $\text{PY} + 16 \text{ GRT} + 12 \text{ ANN} + 9 \text{ AB} + 12 \text{ WO} = 24 \text{ AN} + 12 \text{ PHL} + 3 \text{ TR} + 9 \text{ Fe-PA}$
- 12): $\text{PHL} + 16 \text{ GRT} + 17 \text{ ALM} + 9 \text{ Ab} + 12 \text{ WO} = 12 \text{ ANN} + 24 \text{ AN} + 3 \text{ Fe-TR} + 9 \text{ PARG}$
- 13): $36 \text{ FeTr} + 85 \text{ PY} + 80 \text{ GRT} + 45 \text{ AB} + 60 \text{ WO} = 120 \text{ AN} + 51 \text{ TR} + 45 \text{ Fe-PA}$
- 14): $12 \text{ PY} + 16 \text{ GRT} + 5 \text{ ALM} + 9 \text{ AB} + 12 \text{ WO} = 24 \text{ AN} + 3 \text{ Fe-TR} + 9 \text{ PARG}$
- 15): $15 \text{ Fe-PA} + 68 \text{ PY} + 64 \text{ GRT} + 36 \text{ AB} + 48 \text{ WO} = 96 \text{ AN} + 12 \text{ Fe-TR} + 51 \text{ PARG}$
- 16): $17 \text{ PY} + 16 \text{ GRT} + 17 \text{ ANN} + 9 \text{ AB} + 12 \text{ WO} = 24 \text{ AN} + 17 \text{ PHL} + 3 \text{ Fe-TR} + 9 \text{ Fe-PA}$
- 17): $17 \text{ PY} + 16 \text{ GRT} + 5 \text{ ANN} + 9 \text{ AB} + 12 \text{ WO} = 24 \text{ AN} + 5 \text{ PHL} + 3 \text{ Fe-TR} + 9 \text{ PARG}$

Apesar de muito desequilibrados (FIGURA 52), os resultados das composições dos núcleos revelaram uma faixa de variação que vai de 470°C/7,4 kbar até 545°C/7,8 kbar e as de bordas 550°C/7,5 kbar até 605°C/8 kbar, que indicam as condições P-T semelhantes aos da amostra anterior, o que sugere fortemente que a secção da zona de cisalhamento e a mineralização hoje exposta em superfície foram geradas em profundidade.

FIGURA 52 – Diagramas de equilíbrio de fases para a amostra K49-39664 com análises de núcleos a esquerda e borda a direita.

A amostra K49-39664 pertence à zona de intensa alteração hidrotermal dos cloritos com granada nos metassedimentos próximo à Zona Inferior da Mina III, e é o único ponto amostrado que apresenta os porfiroblastos estirados e fraturados pelo cisalhamento neoproterozóico, gerando ainda uma foliação no cloritito (protólito hidrotermal). A rocha é um cloritito com biotita e muscovita na matriz e porfiroblastos de plagioclásio, almandina e Fe-tschermakita.

Foram gerados diversos diagramas P-T, utilizando-se a mesma fração molar de H₂O:CO₂ de 0,8:0,2, com a associação granada, biotita, muscovita e plagioclásio, dos quais foram selecionados os dois apresentados na FIGURA 53, utilizando as seguintes reações químicas:

- 1): $6 \text{ Fe-TS} + \text{ANN} = 7 \text{ ALM} + 4 \text{ GRT} + \text{MS} + 3 \alpha\text{QTZ} + 6 \text{ W}$
- 2): $7 \text{ ALM} + 5 \text{ GRT} + \text{PHL} + 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ WO} = 6 \text{ Fe-TS} + 3 \text{ DOL} + \text{ANN}$
- 3): $6 \text{ ALM} + 5 \text{ GRT} + \text{PY} + 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ WO} = 6 \text{ Fe-TS} + 3 \text{ DOL}$

- 4): $3 \text{ DOL} + \text{MS} + 3 \alpha\text{QTZ} = \text{PHL} + \text{GRT} + 6 \text{ CO}_2$
 5): $7 \text{ ALM} + 12 \text{ DOL} + 5 \text{ MS} + 15 \alpha\text{QTZ} + 6 \text{ WO} = 6 \text{ Fe-TS} + 4 \text{ PHL} + \text{ANN} + 24 \text{ CO}_2$
 6): $3 \alpha\text{QTZ} + \text{MS} + 3 \text{ DOL} + \text{ALM} = \text{ANN} + \text{GRT} + \text{PY} + 6 \text{ CO}_2$
 7): $21 \text{ DOL} + 6 \text{ MS} + 18 \alpha\text{QTZ} + 6 \text{ Fe-TS} = 7 \text{ PY} + 11 \text{ GRT} + 6 \text{ ANN} + 6 \text{ WO} + 42 \text{ CO}_2$
 8): $11 \text{ ALM} + 12 \text{ DOL} + 5 \text{ MS} + 15 \alpha\text{QTZ} + 6 \text{ WO} = 6 \text{ Fe-TS} + 4 \text{ PY} + 5 \text{ ANN} + 24 \text{ CO}_2$
 9): $\text{PHL} + \text{ALM} = \text{ANN} + \text{PY}$
 10): $7 \text{ PY} + 5 \text{ GRT} + 6 \text{ ANN} + 6 \text{ WO} + 6 \text{ CO}_2 = 3 \text{ DOL} + 6 \text{ PHL} + 6 \text{ Fe-TS}$
 11): $3 \alpha\text{QTZ} + 7 \text{ PY} + \text{MS} + 4 \text{ GRT} + 6 \text{ ANN} + 6 \text{ WO} = 7 \text{ PHL} + 6 \text{ Fe-TS}$
 12): $3 \alpha\text{QTZ} + \text{PY} + \text{MS} + 4 \text{ GRT} + 6 \text{ ALM} + 6 \text{ WO} = \text{PHL} + 6 \text{ Fe-TS}$
 13): $00 \alpha\text{QTZ} + 7 \text{ PY} + 5 \text{ MS} + 12 \text{ DOL} + 6 \text{ ANN} + 6 \text{ WO} = 11 \text{ PHL} + 6 \text{ Fe-TS} + 24 \text{ CO}_2$
 14): $15 \alpha\text{QTZ} + \text{PY} + 5 \text{ MS} + 12 \text{ DOL} + 6 \text{ ALM} + 6 \text{ WO} = 5 \text{ PHL} + 6 \text{ Fe-TS} + 24 \text{ CO}_2$

A amostra F49-39664 apresenta uma faixa de equilíbrio razoável do núcleo com 510-560°C a 9,4-11,2 kbar. As bordas mostram-se mais equilibradas com 525-570°C a 7,8-8,8 kbar.

FIGURA 53 – Diagrama de equilíbrio de fases da amostra K49-39664 com análises de núcleos dos minerais.

CAPÍTULO V

VEIOS DE QUARTZO E INCLUSÕES FLUIDAS

INTRODUÇÃO

O corpo de minério Corpo IV está inteiramente encaixado no xisto carbonoso da Formação Rio Vermelho e apresenta diversos sistemas de veios de quartzo (ver TABELA 6 do Capítulo II). A análise microtermométrica nos veios do corpo de minério foi realizada visando uma melhor compreensão dos processos físico-químicos envolvidos, particularmente nos eventos anteriores ao Brasileiro, considerando que o mapeamento das galerias revelou que as zonas mineralizadas são relíquias preservadas dos últimos eventos tectônicos.

O estudo microtermométrico realizado por Fortes (1996) selecionou amostras das zonas de minério na Mina III e Mina Nova. Esse enfoque das amostras coletadas para análise traz dificuldades ao se tentar realizar comparações, porque o presente estudo analisou gerações de veios de quartzo cronologicamente diferenciadas no Corpo IV, relacionados a mineralização ou não, através do mapeamento nas galerias da mina.

Entre os objetivos dos estudos das inclusões fluidas nos veios de quartzo do Corpo IV podem ser citados:

- a caracterização da evolução P-V-T-X dos veios e/ou dos fluidos hidrotermais mineralizantes ou não.
- a identificação da relação entre a evolução dos fluidos e da deposição dos sulfetos, particularmente daqueles associados com ouro.

Cabe aqui reafirmar que o significado deste estudo depende da suposição de que o volume e composição das inclusões fluidas examinadas permaneceram constantes (condição isoplética e isocórica) desde o seu aprisionamento (Roedder, 1984; Diamond, 1990; Goldstein & Reynolds, 1994). As bases para a validade destas condições são dadas no capítulo sobre petrografia dos veios de quartzo.

Goldstein & Reynolds (1994) mencionaram ainda a importante condição para se obter dados microtermométricos consistentes: “A única maneira possível para se interpretar dados microtermométricos de inclusões fluidas é quando se processam conjuntamente os dados de várias inclusões dentro de uma mesma assembléia de inclusões fluidas (*Fluid Inclusion Association - FIA*), ou seja, num grupo de inclusões petrograficamente associado, passível de uma descriminação”.

A seguir são relacionados os diversos grupos de inclusões fluidas reconhecidos em cada veio de quartzo estudado, com os critérios de cronologia relativa da TABELA 6 do Capítulo II.

1 PETROGRAFIA DOS VEIOS DE QUARTZO

Para uma correta interpretação das medições microtermométricas é necessário uma petrografia detalhada dos veios amostrados, visando reconhecer evidências de que não houve processos de deformação e/ou recristalização tardias. Esses processos podem destruir ou modificar as inclusões fluidas, descaracterizando o pré-requisito de que a inclusão fluida represente um sistema isoplético e isocórico desde o seu aprisionamento (Goldstein, 1986).

Todas as amostras de veios de quartzo neste trabalho foram submetidas a uma cuidadosa investigação petrográfica para determinar se houve algum processo de modificação posterior das inclusões fluidas e, se houve, qual poderia ter sido sua influência na análise microtermométrica.

Passchier & Trouw (1996) determinaram várias evidências para o reconhecimento petrográfico da recristalização dinâmica e estática, sendo esses os dois processos de recristalização mais importantes. Essas evidências podem ser reconhecidas com algumas limitações nos veios de quartzo e outros minerais, conforme explicado abaixo.

A recristalização dinâmica pode ocorrer de maneira parcial ou completa, de acordo com sua intensidade, revelando as seguintes texturas características:

- Recristalização parcial, onde os grãos apresentam um padrão bimodal, com agregados de pequenos grãos com tamanhos uniformes entre grãos maiores com extinção ondulante. Os grãos maiores podem apresentar sub-grãos com o mesmo tamanho dos grãos menores.
- Recristalização completa onde ocorre ausência de evidências de deformação interna, uma orientação preferencial e um tamanho relativamente uniforme dos grãos.

Já a recristalização estática se manifesta principalmente através da redução da área de borda (*grain boundary area reduction*), impondo aos cristais contatos retos ou suavemente curvos.

A seguir é apresentada a descrição petrográfica das amostras, até então estudadas, polidas de ambos os lados (*flink's*) e que foram submetidas à análise microtermométrica (sub-

capítulo de microtermometria a seguir). A classificação em Q-IV1 a Q-IV4 representa uma cronologia relativa dos veios (TABELA 6 do Capítulo II), determinada nos trabalhos de mapeamento das galerias, sendo que a numeração adotada não possui vínculo direto com as 4 fases de deformação (Jost, 2001) estabelecidas na geologia regional.

1.1 Veios de quartzo da primeira geração no Corpo IV (Q-IV1)

1.1.1 Amostra CIV-G010-V1

Granulação: 0,14 to 2 mm

Forma dos grãos: anhedrais com poucos cristais subhedrais.

Tipo dos agregados de grãos: inequigranulares interlobados (PRANCHA 16 A)

O Q-IV1 desenvolveu-se durante uma fase distensiva (*tension gash veins*) nos xistos carbonosos (PRANCHA 16 C).

O xisto carbonoso encaixante apresenta pirrotita, arsenopirita e calcopirita associados à lineação mineral e de estiramento ($L_{m/e3}$). Essa lineação é paralela à direção de crenulação, sugerindo um forte controle estrutural na precipitação e recristalização dos sulfetos acima. A esfalerita ocorre de maneira disseminada no xisto carbonoso. A pirrotita, com alguma calcopirita nas bordas, apresenta-se freqüentemente como uma fase tardia entre os sulfetos sendo controlada pela $L_{m/e3}$. Esses sulfetos invadem os veios de quartzo de maneira dendrítica, quando o veio de quartzo secciona a $L_{m/e3}$ no xisto carbonoso, feição essa bastante preservada nas amostras estudadas (FIGURA 54), sugerindo uma recorrência dos processos hidrotermais.

Os grãos de quartzo apresentam pouca ou nenhuma extinção ondulante, às vezes com sub-grãos e contatos irregulares. Alguns poucos cristais subhedrais prismáticos ocorrem com suas pontas voltadas para o centro do veio, com padrão sintético de crescimento, corroborando com a interpretação obtida nos trabalhos de mapeamento e com o padrão predominantemente distensivo do veio (PRANCHA 16 A e B).

Um número relativamente pequeno de grãos apresenta grupos de inclusões isoladas no centro indicando uma suave recristalização das bordas.

A ausência de contatos retos e junções tríplices com 120 graus, indicam que a amostra do veio de quartzo pode ser considerada como bem preservada, com algumas modificações locais, principalmente na borda de alguns grãos.

1.1.2 Amostra CIV-G019-V1

Granulação: 0,1 to 1,4 mm

Forma dos grãos: anhedrais com poucos cristais subhedrais.

Tipo dos agregados de grãos: inequigranulares interlobados (PRANCHA 16 C)

A rocha hospedeira do veio de quartzo é o xisto carbonoso e neste ocorrem arsenopirita, pirrotita e calcopirita orientados segundo a lineação mineral e de estiramento ($L_{m/e3}$). Esfalerita disseminada ocorre subordinadamente no xisto. A FIGURA 54 mostra a relação entre $L_{m/e3}$, os sulfetos e as áreas do veio de quartzo mais ou menos afetadas pela interação dos fluidos mineralizantes com a encaixante. As áreas mais afetadas do veio de quartzo destacam-se pela coloração marrom mais intensa do quartzo, coloração essa que apresenta diferenças devido a relações de tipos de inclusões fluidas e sólidas (ver a discussão posterior sobre tipos de inclusões fluidas).

No contato entre o xisto carbonoso e os veios de quartzo ocorrem, às vezes, cristais aciculares de turmalina que invadem o veio de quartzo. Esses cristais, que cortam diversos grãos de quartzo, apresentam-se bem preservados, mas localmente estão fraturados, apesar de possuírem tamanhos maiores que 1 mm de comprimento e 10 μ m de espessura. Algumas das fraturas na turmalina apresentam deslocamentos (PRANCHA 16 F), particularmente quando os cristais se posicionam ortogonalmente ao sistema de falhas tardias (evento D4). Por outro lado, os cristais que se posicionam paralelamente a esse evento estão totalmente preservados. A turmalina ocorre envolvida ou inclusa em todos os minerais do veio (pré-/sin-pirrotita, conforme pode ser visto na PRANCHA 16 E), e é claramente pós-dobramento do xisto carbonoso. Isso demonstra que a turmalina foi o primeiro mineral a precipitar durante o episódio de abertura do veio e ainda que, o veio de quartzo não sofreu modificações fortes após a cristalização da turmalina.

Alguns grãos de quartzo apresentam extinção ondulante fraca, bordas irregulares com sub-grãos e recristalização suave.

1.1.3 Amostra CIV-G021-V1

A amostra apresenta dois domínios distintos relacionados ao quartzo:

a) Domínio do veio de quartzo

Granulação: 0,4 to 2,0 mm

Forma dos grãos: anhedrais, com poucos cristais subhedrais.

Tipo dos agregados de grãos: inequigranulares interlobados a poligonais

O veio de quartzo apresenta algumas relíquias do xisto carbonoso encaixante, refletindo o processo de abertura que também permitiu a entrada de fluidos mais tardios (PRANCHIA 17 C). O quartzo original nas relíquias está quase todo substituído pelo seu equivalente recrystalizado, apresentando grãos inequigranulares característicos do veio.

Ocorrem duas assembléias distintas de inclusões fluidas no veio: uma aquo-carbônica com cristais de saturação (halita e possivelmente carbonato) e uma carbônica.

O veio apresenta granulação variada com formas irregulares, poucas vezes poligonais ou com junções trípticas, o que indica processos de recrystalização locais.

b) Quartzo no domínio da encaixante

Granulação: 0,2 to 0,8 mm

Forma dos grãos: cristais subhedrais a euhédricos.

Tipo dos agregados de grãos: equigranulares poligonais (PRANCHIA 17 A e B)

O quartzo no domínio da encaixante carbonosa foi recrystalizado e está associado a dobras apertadas e *boudins*. Pirrotita é fase dominante entre os sulfetos controlados pela $L_{m/e3}$, com inclusões muito pequenas de calcopirita sendo claramente pós-milonitização (evento D3). A esfalerita ocorre disseminada no xisto e, junto com a arsenopirita, como inclusão na pirrotita. A arsenopirita apresenta freqüentemente fraturas induzidas pela milonitização, o que reforça a existência de uma fase prévia deste sulfeto, provavelmente anterior ao dobramento e milonitização do xisto carbonoso (ASP2).

O quartzo mostra texturas de recrystalização e grãos aproximadamente equidimensionais, em geral menores que os grãos do veio (PRANCHIA 17 A e B). Essas feições sugerem, juntamente com as dobras apertadas e *boudins*, que a recrystalização foi promovida durante ou imediatamente após a primeira fase de milonitização do xisto. O quartzo recrystalizado apresenta poucas inclusões fluidas, sempre muito pequenas ($<5 \mu m$) e sem cristais de saturação, comuns nos veios. Inclusões arredondadas, com fases cristalinas constituídas por minerais opacos e transparentes, são interpretados como *melt inclusions*.

PRANCHA 16 – (A) Textura do quartzo inequigranular interlobado; o círculo tracejado destaca um cristal subhedral de quartzo (Q-IV1, amostra CIV-G010-V1, campo escuro). (B) Detalhe das formas subhedrais dos cristais de quartzo (Q-IV1, amostra CIV-G010-V1, luz transmitida). (C) Textura do quartzo inequigranular interlobado e xisto carbonoso dobrado (Q-IV1, amostra CIV-G019-V1, luz transmitida). (D) Turmalinização próxima ao contato do xisto carbonoso com o veio de quartzo (Q-IV1, amostra CIV-G019-V1, luz transmitida). (E) Cristal subédrico de turmalina “bicolor” em contato com pirrotita anterior, que por sua vez traz uma inclusão de arsenopirita (Q-IV1, amostra CIV-G019-V1, luz transmitida). (F) Finos cristais de turmalina mostrando fraturas com deslocamentos quando posicionados ortogonalmente ao sistema de falhas tardias (evento D4) e cristais paralelos a esse sistema de falha sem fraturas (Q-IV1, amostra CIV-G019-V1, luz transmitida). Abreviações conforme TABELA 1.

FIGURA 54 – A parte superior esquerda mostra a imagem geral da amostra CIV-G019-V1 do Q-IV1 em contato com o xisto carbonoso dobrado da encaixante (evento D3). O detalhe na parte superior direita mostra as zonas onde os fluidos com sulfetos afetaram mais o veio de quartzo, gerando regiões mais leitosas, de cor amarronzada. No recorte ampliado da última imagem pode ser visto como a pirrotita tardia, controlada pela lineação mineral e de estiramento ($L_{m/e3}$), é “injetada” no veio de quartzo. Tanto a partir do veio de pirrotita no quartzo como do contato da encaixante ocorrem zonas de “alta influência de fluidos da $L_{m/e3}$ ” quando há um escurecimento pronunciado do quartzo pelas inclusões fluidas, principalmente pela pirrotita. Abreviações conforme TABELA 1.

A ausência de inclusões fluidas com cristais de saturação no domínio da encaixante sugere que o fluido mais salino veio através de aberturas mais largas (> 1 cm) após a milonitização e dobramento, ao final do evento D3.

1.2 Veio de quartzo da segunda geração no Corpo IV (Q-IV2)

1.2.1 Amostra CIV-G027-V1

Granulação: 0,4 to 2,5 mm

Forma dos grãos: anhedrais

Tipo dos agregados de grãos: inequigranulares interlobados (PRANCHA 17 C)

Os núcleos dos grãos de quartzo não apresentam sinais de recristalização. Os grãos apresentam formas irregulares com contornos curvos, ocorrendo recristalização nas bordas, bordas essas, realçadas pelos fluidos provenientes das encaixantes de xisto carbonoso. Em certas zonas do quartzo ocorre maior influência dos fluidos derivados do xisto carbonoso, evidenciado pela coloração marrom mais intensa, dando um aspecto turbido ao quartzo. Uma das fraturas é preenchida com arsenopirita não fraturada com pequenas inclusões de calcopirita nas bordas. Essa arsenopirita deve ser pós-milonítica (ASP3) ou simplesmente ter sido poupada pelo fraturamento, verificado em alguns cristais de arsenopirita.

1.3 Veio da terceira geração no Corpo IV (Q-IV3)

1.3.1 Amostra CIV-G014-V3

A amostra apresenta dois domínios distintos relacionados ao quartzo:

a) Domínio do veio de quartzo

Granulação: 0,4 to 2,5 mm

Forma dos grãos: anhedrais

Tipo dos agregados de grãos: inequigranulares interlobados (PRANCHA 17 E)

O veio apresenta uma grande variação na granulação, sendo basicamente constituído por grãos com núcleos preservados, contendo grupos de inclusões, além de bordas irregulares parcialmente recristalizadas. Ocorre um sistema de fraturas ortogonais à S_1 e à S_{m3} provavelmente relacionadas ao evento mais tardio (D_4) e que aparentemente não causa

modificações dos grupos de inclusões nas proximidades. Na amostra analisada, esses eventos tardios de deformação são reconhecíveis apenas em relíquias do xisto carbonoso destacados dentro do veio e na encaixante. No domínio do veio, esse sistema de fraturas apresenta finas linhas definidas por inclusões fluidas, muito pequenas ($< 3 \mu\text{m}$), provavelmente aquosas, em uma disposição semelhante à “S/C”, cortando os grãos mais antigos de quartzo (PRANCHA 17 F).

b) Quartzo no domínio da encaixante

Granulação: 0,2 to 0,8 mm

Forma dos grãos: subhedrais

Tipo dos agregados de grãos: equigranulares poligonais a interlobados (PRANCHA 18 A)

Os grãos de quartzo no xisto carbonoso encaixante são menores que os grãos no domínio do veio, com pequenas variações em suas dimensões. As bordas dos grãos apresentam linhas geralmente retas, com junções tríplexes de 120 graus.

Esse domínio mostra finas linhas de material carbonoso que são interpretadas como S_1 dobradas, cortadas pelo evento milonítico posterior S_{m3} , o qual reposiciona o material carbonoso em um padrão semelhante a “S/C”. A amostra toda é cortada pelas últimas fases deformacionais, provavelmente relacionadas à D_4 , em geral ortogonais a S_1 .

1.3.2 Amostra CIV-G015-V3

A amostra apresenta dois domínios distintos relacionados ao quartzo:

a) Domínio do veio de quartzo

Granulação: 0,1 to 1,6 mm

Forma dos grãos: anhedrais

Tipo dos agregados de grãos: inequigranulares interlobados (PRANCHA 18 B, C e D).

PRANCHA 17 – (A) Quartzo recristalizado com textura poligonal equigranular e *boudins* no xisto carbonoso (Q-IV1, amostra CIV-G021-V1, campo escuro). (B) Detalhe da textura equigranular poligonal dentro do *boudin*. (Q-IV1, amostra CIV-G021-V1, campo escuro). (C) Relíquia do xisto carbonoso no veio de quartzo; o quartzo recristalizado do xisto carbonoso é inteiramente substituído pelo quartzo inequigranular interlobado (Q-IV1, amostra CIV-G021-V1, luz transmitida). (D) Textura inequigranular interlobada com recristalização nas bordas dos grãos devido aos fluidos derivados do xisto carbonoso (Q-IV2, amostra CIV-G027-V2, luz transmitida). (E) Agregado de grãos de quartzo no domínio da veio 3 (Q-IV3, amostra CIV-G014-V3, campo escuro). (F) Estruturas “S/C” no domínio do veio de quartzo 3, relacionado à D₄ (Q-IV3, amostra CIV-G014-V3, luz transmitida).

O veio de quartzo desta amostra possui características idênticas ao da amostra CIV-G014-V3. Os grãos de quartzo apresentam grande variação no tamanho e bordas irregulares com relíquias do xisto carbonoso dobrado e cisalhado (pré-D4). Essas relíquias são interpretadas como a evidência principal de que o veio de quartzo é posterior ao sistema de dobras e ao cisalhamento que afetou o xisto carbonoso da encaixante. Ocorre ainda um sistema de fraturas ortogonais às foliações no xisto carbonoso e às paredes do veio o qual deve estar relacionado às zonas de cisalhamento tardias (PRANCHA 18 C e D). Essas fraturas são preenchidas com carbonato e pirrotita, sendo o carbonato característico dos sistemas de falhas tardias.

b) Quartzo no domínio da encaixante

Granulação: 0,1 to 0,6 mm

Forma dos grãos: subhedrais

Tipo dos agregados de grãos: equigranulares poligonais a interlobados.

Os grãos de quartzo na encaixante de xisto carbonoso são em geral equigranulares com tamanhos menores que os cristais do veio, indicando que a recrystalização está relacionada à fase milonítica, provavelmente D3. Essa observação também sugere que a recrystalização no xisto carbonoso teve lugar antes da abertura e preenchimento do veio de quartzo principal. A zona de cisalhamento destruiu parcialmente os leitos carbonosos da S_1 dobrada e, tanto a zona de cisalhamento como a S_1 dobrada são cortados por falhas tardias (PRANCHA 18 E e F).

Movimentos tardios de *strike-slip* são evidenciados por deslocamentos nas estruturas S_1 e S_{m3} e são interpretados como sendo parte dos sistemas de falhas relacionados ao cisalhamento tardio (PRANCHA 18 E e F). A ocorrência de preenchimento das fraturas com carbonato reforça essa afirmação.

PRANCHA 18 – (A) Grãos de quartzo do domínio da encaixante mostrando quartzo recristalizado com padrão equigranular, poligonal e relativamente menor que o domínio do veio (Q-IV3, amostra CIV-G014-V3, luz transmitida). (B) Agregado de grãos de quartzo no domínio do veio (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). (C) Relíquias da S_1 dobrada com a superposição do cisalhamento posterior à S_3 milonítica (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). (D) Padrão dos grãos de quartzo no domínio do veio (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). (E) Agregado de grãos de quartzo no domínio da encaixante com S_3 milonítica deslocada pelo sistema ortogonal de falhas *strike-slip* tardias (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida). (F) Relíquias da S_1 dobrada, S_3 milonítica e o sistema de falhas tardias com preenchimento de carbonato e pirrotita (Q-IV3, amostra CIV-G015-V3, luz transmitida).

1.4 Veio da quarta geração no Corpo IV (Q-IV4)

1.4.1 Amostra CIV-G012-V4

A amostra apresenta dois domínios distintos relacionados ao quartzo:

a) Domínio do veio de quartzo hialino

Veio de quartzo muito translúcido com algumas fraturas. Não há sinais de recristalização nesse domínio.

b) Domínio do veio de quartzo cisalhado

Granulação: 0,2 to 1,0 mm

Forma dos grãos: anhedrais

Tipo dos agregados de grãos: equigranulares poligonais a interlobados.

O domínio do veio de quartzo cisalhado na amostra localiza-se próximo aos sulfetos e mostra sinais de recristalização associados com zonas de quartzo mais escuras devido ao número relativamente grande de inclusões fluidas (zonas de alta influência dos fluidos derivados da encaixante). A arsenopirita ocorre com pequenas inclusões de calcopirita nas bordas.

1.4.2 Amostra CIV-G026-V4

Granulação: 0,2 to 1,0 mm

Forma dos grãos: anhedrais

Tipo dos agregados de grãos: equigranulares poligonais a interlobados (PRANCHA 19 A).

Granulação: até 20,0 mm no carbonato e feldspato

Forma dos grãos: anhedrais a subhedrais

Tipo dos agregados de grãos: o quartzo no meio do veio é maciço e leitoso. O carbonato e feldspato mostram contornos retos e corroídos

Esse veio tardio de quartzo, com 10 cm de espessura, está hospedado no xisto carbonoso dobrado, sendo que suas bordas apresentam pirrotita, calcopirita, ouro livre, apatita, carbonato e feldspato (sem quartzo). Essa borda, com aproximadamente 5 cm de espessura e constituída por cristais subédricos menores que 2 cm, fornece indícios, através de

associações petrográficas com os minerais anteriormente mencionados, de que o veio tenha se formado num evento anterior (provavelmente D3) e tenha sido reativado pelo evento neoproterozóico, com a neoformação de quartzo no núcleo do veio. O quartzo que ocorre no núcleo do veio é leitoso e não apresenta sinais de recristalização. As fraturas estão limitadas às bordas deste veio (pré-D4) e são preenchidas com sulfetos e ouro. As paredes das fraturas apresentam contatos corroídos, provavelmente devido à entrada de fluidos com a mineralização.

A amostra abrange a borda do veio, que tem associado carbonato, apatita, feldspato, sulfetos e ouro. O ouro ocorre nessa amostra como um grão de aproximadamente 1 x 0,3 x 1,5, cm intimamente associado com a pirrotita.

1.4.3 Amostra CIV-G073-V4 (4SI)

O quartzo é de maneira geral hialino e maciço com poucas fraturas. Essa amostra do veio é caracterizada pela ocorrência de cristais euhédricos de siderita (3 - 5 mm, PRANCHA 19 B), mas foram encontrados cristais com até 5 cm. Sulfetos ocorrem nas fraturas do quartzo e como inclusões nas bordas dos cristais euhédricos de siderita. O sulfeto dominante é a pirrotita, sendo que a Arsenopirita (ASP2) também ocorre, com fraturas pré-pirrotita.

PRANCHA 19 – (A) Veio de quartzo cisalhado/recristalizado (Q-IV4, Amostra CIV-G012-V4, luz transmitida). (B) Cristais euhédricos de siderita no veio de quartzo hialino com inclusões fluidas aquo-carbônicas primárias (Q-IV4, Amostra CIV-G073-V4, luz transmitida).

2 INCLUSÕES FLUIDAS NOS VEIOS E MINERAIS DO CORPO IV

Os grupos de inclusões fluidos (IF) estudados foram selecionados cuidadosamente através de critérios de classificação onde, inicialmente são separadas associações de interesse, relacionadas a feições texturais e/ou a proximidades de fases minerais de interesse para o estudo. Estas são separadas em inclusões contidas em grãos individualizados (contendo principalmente as IF primárias e pseudo-secundárias) e em fraturas e/ou zonas de inter-grãos (IF secundárias), sempre no quartzo, salvo descrição específica em contrário. Estas são então classificadas em carbônicas (c), aquo-carbônicas (aq-c) e aquosas (aq), que por sua vez contêm as subdivisões genéticas: primárias, pseudosecundárias e secundárias de acordo com Roedder (1984).

Foi ainda possível a obtenção de medidas a partir de minerais como apatita (com íntima relação com pirrotita e ouro) e siderita, sendo que ambas apresentaram inclusões fluidas primárias aquo-carbônicas.

As classificações definidas nas amostras dos veios de quartzo do Corpo IV são apresentadas a seguir, divididas inicialmente pela geração do veio de quartzo à qual se relacionam e subdivididos em sistemas químicos.

2.1 Inclusões fluidas no veio da primeira geração (Q-IV1)

O veio de quartzo 1 apresenta a maior diversidade de inclusões fluidas, com inclusões carbônicas, aquo-carbônicas e aquosas. Para maior clareza, os tipos composicionais serão abordados separadamente. O Q-IV1 é representado pelas amostras CIV-G010-V1, CIV-G019-V1 e CIV-G021-V1.

Alguns grupos de inclusões carbônicas são de difícil classificação, por causa da possibilidade da existência de delgados filmes de H₂O, podendo ser, na realidade, aquo-carbônicas.

2.1.1 Carbônicas (Tipo 1c)

As inclusões carbônicas no Q-IV1 são interpretadas como sendo primárias, ocorrendo em trilhas isoladas no núcleo dos grãos (PRANCHA 20 A, PRANCHA 21 C) ou de cristais subédricos (PRANCHA 20 C e E). A PRANCHA 20 B apresenta um plano de inclusões que se desenvolveu provavelmente entre 2 cristais subédricos de quartzo.

De maneira geral as inclusões formadas em fraturas inter-grãos de quartzo são interpretadas como sendo secundárias, mas não diferem muito nas suas qualidades físicas das formadas no interior do quartzo.

2.1.2 Aquo-carbônicas (Tipo 1ac)

Algumas regiões do Q-IV1 apresentam associações de inclusões aquo-carbônicas pseudo-secundárias em planos, nas quais pode-se reconhecer relações VCO_2/V_{tot} com 0,3 a 0,5 ou mais (amostras 19_5, 19_21). Essas mesmas feições foram também encontradas em IF aquo-carbônicas secundárias no quartzo. Esses grupos possuem um dos critérios indicativos de imiscibilidade, conforme discussão de Ramboz *et al.* (1982).

A maior parte das inclusões aquo-carbônicas secundárias contém, freqüentemente, de um a três cristais de saturação (PRANCHA 20 D, PRANCHA 21 B e D). Foi ainda reconhecida uma geração tardia de inclusões (1ac₂), de ocorrência mais rara, que corta a primeira geração (PRANCHA 20 E e detalhe F, PRANCHA 21 A).

O cristal de saturação mais freqüente é a halita, ocorrendo ainda, calcita, determinada ópticamente e com o auxílio da espectrometria Laser-Raman.

2.1.3 Aquosas (Tipo 1a)

Existe um número relativamente menor de inclusões aquosas que aparentemente ocorrem associadas com as inclusões carbônicas. As inclusões tipo 1a apresentam normalmente um a dois cristais de saturação, sendo um deles a halita.

2.2 Inclusões fluidas no veio da segunda geração (Q-IV2)

A amostra do Q-IV2 apresenta como principal característica, em relação ao Q-IV1, a ausência de inclusões carbônicas e aquosas. A petrografia revelou apenas inclusões fluidas aquo-carbônicas no quartzo, sem cristais de saturação. Um único caso de inclusão fluida primária, que ocorre isolada, revelou a existência de um cristal de saturação de halita, ao lado de outro mineral, provavelmente, rutilo (PRANCHA 21 F), determinado pela espectrometria Laser-Raman (o cristal acicular negro, foi destruído pelo feixe de laser – amostra CIV-G027-V2).

PRANCHA 20 – (A) Associação de IFs carbônicas primárias no núcleo do grão de quartzo (Q-IV1, Amostra 19_07). (B) Associação de IFs carbônicas primárias entre relíquias de cristais de quartzo subédricos (Q-IV1, Amostra 19_10). (C) Um par geminado de cristais de quartzo subédricos com inclusões primárias em 19_12c e secundárias em 19_12a e 19_12b (Q-IV1, Amostra 19_12). (D) Inclusão fluida aquo-carbônica com dois cristais englobados, sendo halita o cristal cúbico maior e calcita o menor (Q-IV1, Amostra 10_05). (E) Imagem de um cristal subédrico com um grupo de inclusões carbônicas primárias (1c), vários grupos com inclusões aquo-carbônicas secundárias (1ac₁) com até dois cristais de saturação e um grupo de inclusões fluidas aquo-carbônicas tardias (1ac₂), com no máximo um cristal de saturação, que corta a trilha do grupo anterior (Q-IV1, Amostra 10_09). (F) Detalhe do canto direito inferior onde a trilha de inclusões aquo-carbônica 1ac₁ é cortada pela posterior 1ac₂ (Q-IV1, Amostra 10_09).

2.2.1 Aquo-carbônicas (Tipo 2ac)

De maneira geral as relações volumétricas entre as fases carbônicas e aquosas das inclusões aquo-carbônicas são bastante semelhantes nos três grupos genéticos, primárias: pseudosecundárias e secundárias (PRANCHA 21 E).

Destaca-se apenas a inclusão primária 27_10 com cristais de saturação (PRANCHA 21 F), único caso na amostra estudada.

Da mesma maneira que na amostra do veio 1 ocorrem pelo menos duas gerações de trilhas com inclusões aquo-carbônicas, sendo a primeira geralmente menor (IF menores que 3 μm) que a segunda (IF menores que 15 μm).

2.3 Inclusões fluidas no veio da terceira geração (Q-IV3)

O Q-IV3 se caracteriza por apresentar diversas regiões com inclusões carbônicas e aquo-carbônicas em uma mesma trilha, com forte variação nas relações $V_{\text{CO}_2}/V_{\text{tot}}$, particularmente nos veios relacionados aos sulfetos, sugerindo processos de imiscibilidade (Ramboz *et al.*, 1982).

Ocorrem ainda diversas falhas tardias que formam finos cordões de inclusões fluidas com uma ou duas fases, que raramente, ultrapassam 3 μm . Essas falhas são características dos eventos tardios que afetaram a encaixante e os veios, provavelmente pelo evento D4.

O Q-IV3 é representado pelas amostras CIV-G014-V3 e CIV-G015-V3 .

2.3.1 Carbônicas (Tipo 3c)

As inclusões carbônicas parecem estar intimamente ligadas aos veios com sulfetos, ocorrendo basicamente em fraturas e associadas a trilhas de inclusões aquo-carbônicas, com feições de imiscibilidade (PRANCHA 22 A).

2.3.2 Aquo-carbônicas (Tipo 3ac)

As inclusões aquo-carbônicas predominam no Q-IV3, sendo em geral secundárias, relacionadas a fraturas inter-grãos. Elas freqüentemente apresentam cristais de saturação e quase sempre são constituídas por $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_{2\text{l}}+\text{CO}_{2\text{g}}+\text{sólido}$.

Em alguns pontos ocorre uma segunda geração de inclusões aquo-carbônicas, evidenciada pelo truncamento de trilhas da geração anterior.

PRANCHA 21 – (A) Cruzamento das duas gerações de inclusões fluidas aquo-carbônicas, onde $1ac_2$ mantém a continuidade sobre $1ac_1$ (Q-IV1, Amostra 10_10). (B) Inclusão fluida aquo-carbônica com duas fases cristalinas (Q-IV1, Amostra 10_10). (C) Grupo de inclusões carbônicas (Q-IV1, Amostra 10_10). (D) Imagem de um grupo de inclusões aquo-carbônicas com até dois cristais de saturação (Q-IV1, Amostra 21_02). (E) Inclusões fluidas aquo-carbônicas secundárias (Q-IV2, Amostra 27_09). (F) Uma das raras inclusões fluidas aquo-carbônicas primárias com fases cristalinas, provavelmente halita e rutilo (Q-IV2, Amostra 27_10).

PRANCHA 22 – (A) Grupo de inclusões carbônicas e aquo-carbônicas com feições que sugerem condições de imiscibilidade e/ou variação de pressão durante o aprisionamento; discussão no texto (Q-IV3, Amostra 14_3). (B) Inclusões predominantemente aquo-carbônicas (Q-IV3, Amostra 14_10). (C) O mineral no centro aparenta ser de um sulfeto (provável seção ortogonal de uma “injeção” de pirrotita proveniente da $L_{m/c3}$ da encaixante) que gerou um halo de inclusões aquo-carbônicas ao seu redor (Q-IV3, Amostra 14_5). (D) Quartzo incluído na arsenopirita com inclusões aquo-carbônicas ricas em metano no contato com o sulfeto e nos planos internos (Q-IV4, Amostra 12_01). (E) Detalhe da fotografia 3-D com inclusões aquo-carbônicas ricas em metano na interface quartzo/arsenopirita (Q-IV4, Amostra 12_1). (F) Trilhas de inclusões aquosas tardias, provavelmente relacionadas aos sistemas de falhas do evento D4 (Q-IV4, Amostra 12_07).

2.4 Inclusões fluidas no veio da quarta geração (Q-IV4)

O Q-IV4 caracteriza-se por apresentar uma granulação mais grossa, por vezes maciça, hialina e com diversos sistemas de fraturas provavelmente induzidos por falhamentos tardios. Essas falhas geram linhas finas em padrões semelhantes às estruturas “S/C” e que portam inclusões fluidas monofásicas bastante finas e de difícil medição.

Os cristais de siderita euédrico freqüentes nestes veios possuem inclusões fluidas aquo-carbônicas primárias que, através de medições microtermométricas, puderam ser confrontadas com as inclusões no quartzo próximo ao carbonato, visando confirmar a inexistência de eventuais modificações nas inclusões fluidas do veio (ver microtermometria adiante).

O Q-IV4 é representado pelas amostras CIV-G012-V4, CIV-G026-V4AU e CIV-G073-V4SI.

2.4.1 Carbônicas (Tipo 4c)

Inclusões carbônicas primárias são raras no Q-IV4 e exigem muita atenção na sua classificação pelo fato de freqüentemente ocorrerem “filmes” muito finos de H₂O nas suas bordas. Foram determinadas inclusões carbônicas apenas na amostra CIV-G073-V4SI (PRANCHA 23 E).

2.4.1 Aquo-carbônicas (Tipo 4ac)

As inclusões aquo-carbônicas são dominantes nas três amostras a estudadas, mas no Q-IV4, raramente apresentam cristais de saturação (PRANCHA 23 D).

Próximos aos contatos do quartzo com a arsenopirita e pirrotita ocorrem grupos de inclusões aquo-carbônicas primárias com uma baixa proporção volumétrica de H₂O (<10%) e com tonalidade escura o que dificulta interpretação das fases. Esse grupo representa, provavelmente, a melhor amostra dos fluidos relacionados a mineralização (PRANCHA 22 B).

A amostra apresenta predominantemente inclusões aquo-carbônicas com proporções H₂O:CO₂ altos, tendo sido evidenciado, em vários pontos, seu caráter tardio em relação às inclusões aquo-carbônicas com baixos valores de H₂O:CO₂.

As inclusões com proporções H₂O:CO₂ altas também ocorrem nos cristais de siderita euhédricos (Amostra CIV-G073-V4SI), sugerindo que as IFs no veio sofreram pouca ou nenhuma modificação (PRANCHA 23 C).

PRANCHA 23 – (A) Associação pirrotita-apatita-calcita (apatita no centro, incolor), onde ocorre ouro livre, contendo inclusões predominantemente aquo-carbônicas (Q-IV4, Amostra 26_01). (B) Detalhe das inclusões aquo-carbônicas da foto anterior (Q-IV4, Amostra 26_01). (C) Inclusões aquo-carbônicas primárias na siderita (Q-IV4, Amostra 73_05). (D) Trilha de inclusões aquo-carbônicas no quartzo (Q-IV4, Amostra 73_09). (E) Raras inclusões carbônicas no veio da quarta geração (Q-IV4, Amostra 73_10). (F) Plano de inclusões fluidas aquo-carbônicas pseudo-secundárias em um cristal subédrico de quartzo (Q-IV4, Amostra 73_12).

Foram encontradas inclusões pseudo-secundárias com cristais de saturação apenas em um ponto da amostra CIV-G073-V4SI onde o plano de inclusões está situado em um cristal subédrico de quartzo, de maneira muito semelhante aos cristais subédricos frequentes do Q-IV1, devendo tratar-se de outra geração (PRANCHA 23 F).

A PRANCHA 24 apresenta trilhas de inclusões fluidas muito pequenas, provavelmente monofásicas aquosas que seguem um padrão “S/C”.

PRANCHA 24 –Trilhas de inclusões fluidas geradas pelas falhas tardias com aspecto “S/C” (Q-IV4, Amostra 73_13).

2.5 Resumo dos tipos composicionais das inclusões fluidas

As dimensões das inclusões fluidas variam de submicroscópicas até 50 μm sem demonstrar padrões definidos. Os resultados microtermométricos não apresentaram variações em função dos tamanhos, podendo-se, portanto, presumir que durante a formação das inclusões não houve uma influência diferencial sobre a composição local e a densidade dos fluidos no veio, por meio de qualquer efeito físico-químico dependente de área superficial (Diamond, 1990). Essa afirmação pode ser reforçada, em relação à última geração de veios de quartzo estudada, pela análise microtermométrica com resultados coerentes em outras fases minerais distintas, como nas IFs primárias da siderita euédrica e do quartzo circundante, relacionados ao Q-IV4.

A TABELA 15 estabelece os tipos composicionais encontrados nas amostras dos diversos veios de quartzo.

Os cristais de quartzo do Q-IV1 destacam-se pela grande quantidade de inclusões aquo-carbônicas com minerais de saturação. Essas inclusões apesar de serem em geral secundárias, indicam a influência de fluidos relativamente mais salinos que os dos veios posteriores. Além dessas inclusões, o Q-IV1 se caracteriza pelas inclusões carbônicas

primárias, particularmente em cristais de quartzo subédricos e pelas evidências de imiscibilidade e/ou variações de pressão (a serem discutidas no capítulo de microtermometria), relacionadas aos veios com sulfetos.

Ocorrem muitos veios de sulfetos (com ou sem ouro) e carbonato que invadem o Q-IV1, provenientes do xisto carbonoso, particularmente dos pontos onde a $L_{m/e3}$ é seccionada pelo veio de quartzo (“injeções” de pirrotita no veio a partir da encaixante carbonosa) sugerindo um sistema recorrente do movimento de fluidos no sistema hidrotermal. Geralmente, a partir de um veio principal com sulfetos e carbonatos, normalmente reconhecido pela sua espessura maior e quantidade de minerais precipitados, derivam uma infinidade de veios menores, criando uma malha dendrítica formada predominantemente por inclusões minerais (geralmente pirrotita) e inclusões fluidas carbônicas e aquo-carbônicas. Essa quantidade localizada de inclusões fornece uma aparência túrbida com coloração amarronzada ao quartzo nestes locais (zonas de alta influência de fluidos derivados da encaixante no veio de quartzo). Nestas zonas são freqüentemente encontradas evidências de imiscibilidade, com grupos de inclusões fluidas numa mesma trilha com grande variação de relações volumétricas entre as fases, associações de inclusões carbônicas com aquo-carbônicas, estas últimas com ou sem cristais de saturação.

A amostra do Q-IV2 revelou apenas grupos de inclusões aquo-carbônicas primárias, praticamente isentas de cristais de saturação. A ausência de uma diversidade maior de grupos de inclusões pode estar associada ao fato que a amostra analisada não possui contato com o xisto carbonoso e sulfetos, mineralizados ou não.

O Q-IV3 apresenta inclusões predominantemente aquo-carbônicas, de maneira semelhante ao Q-IV1, incluindo cristais de saturação com dimensões relativamente menores. Novamente o grupo de aquo-carbônicas ocorre em pelo menos duas gerações. Neste veio ocorrem fraturas relacionadas à falhas tardias raramente evidenciadas nos Q-IV1 e Q-IV2. Esse fato deve estar relacionado aos cuidados tomados na coleta das amostras da primeira geração, ao se evitar a influências de eventos posteriores. Essas fraturas tardias contém inclusões muito finas ($< 3 \mu\text{m}$) monofásicas, provavelmente aquosas, que não oferecerem condições ópticas para análise microtermométrica.

As inclusões encontradas no Q-IV4 se assemelham às do Q-IV1 com exceção de ocorrerem aquo-carbônicas primárias e um número relativamente menor de cristais de saturação. Na amostra CIV-G073-V4SI foi encontrado um único cristal de quartzo subédrico, com grupos de inclusões aquo-carbônicas primárias contendo cristais de saturação. O Q-IV4

apresenta também zonas com evidências de imiscibilidade (a serem discutidas no capítulo de microtermometria), além do sistema de fraturas com diminutas inclusões fluidas monofásicas, provavelmente aquosas, relacionadas aos sistemas de falhas tardios.

TABELA 15 – Tipos composicionais das inclusões fluidas para cada veio no Corpo IV.

GRUPOS DE INCLUSÕES FLUIDAS NOS VEIOS DE QUARTZO DO CORPO IV				
	Q-IV1	Q-IV2	Q-IV3	Q-IV4
Primária	c_1	ac_2	c_3 ac_3	c_4 ac_4
Pseudo-se- cundária	c_1 ac_1	ac_2	ac_3	ac_4
Secundária	$c_1 + a_1$ $c_1 + ac_1^*$ ac_2	ac_2	$c + ac_3$ ac_3 x_4	$c_4 + ac_4^*$ x_4
Observações	- ac_1 sempre com cristal de saturação * zonas prováveis de imiscibilidade	- ac sem cristais de saturação (apenas uma exceção na ac_2 primária). IFs com prováveis fluidos hidrotermais responsável pelo transporte de ouro e sulfetos.	- freqüentemente com um pequeno cristal de saturação (em relação ao Q-IV1) - x representa IF monofásica relacionada às falhas tardias (D4)	- ac sempre com cristal de saturação - ocorrem zonas de imiscibilidade - x representa IF monofásica relacionada às falhas tardias (D4).
Abreviações: c – carbônica, ac – aquo-carbônica, a – aquosa, IF – inclusão fluida				

As inclusões fluidas primárias nos contatos dos sulfetos com quartzo são em geral carbônicas a aquo-carbônicas, com VCO_2/V_{tot} maiores que 0,9, de cor escura e normalmente na forma de cristais negativos. A cor escura e a pouca quantidade de água dificultam muitas vezes a classificação correta e a microtermometria. A microtermometria a ser discutida posteriormente revela também um aumento na quantidade de CH_4 nesses grupos de inclusões, confirmado pela espectrometria Laser-Raman.

Na amostra CIV-G073-V4SI ocorrem cristais euhédricos de siderita com inclusões aquo-carbônicas primárias que podem ser confrontadas com as inclusões do mesmo tipo no quartzo para constatar modificações eventuais devido a eventos posteriores. É importante lembrar que a siderita possui inclusões de arsenopirita pré- a sin-genéticas podendo-se relacionar esse carbonato a uma das últimas fases mineralizantes.

3 MICROTERMOMETRIA

Nos trabalhos de mapeamento do Corpo IV foram amostradas 4 gerações cronologicamente ordenadas de veios de quartzo (Q-IV1, Q-IV2, Q-IV3 e Q-IV4), com as quais foi realizado um trabalho microtermométrico. As amostras analisadas são relacionadas na TABELA 16, onde o primeiro número revela o número da amostra e o segundo a área da amostra onde as medições de inclusões fluidas (IF) foram realizadas. Os dados microtermométricos obtidos e os resultados calculados a partir dos mesmos encontram-se nas tabelas do ANEXO 3. A seleção das IFs foi realizada com base na associação mais representativa de cada grupo de inclusões fluidas relacionada a cada geração de veios de quartzo.

Foi possível ainda realizar medições em inclusões fluidas em quartzo, que ocorre junto à pirrotita, na $L_{m/e3}$ do xisto carbonoso do Corpo IV, a qual deve ter servido como condutor principal dos fluidos mineralizantes.

Inclusões fluidas aquosas contendo CO_2 e sais são muito comuns em uma ampla variedade de ambientes geológicos. Como a solubilidade do CO_2 na água cresce sob elevadas temperaturas e pressões (Takenouchi & Kennedy, 1965), o CO_2 é geralmente o componente principal de inclusões fluidas formadas em rochas metamórficas de médio a alto grau, em “stocks” intrusivos e em sistemas hidrotermais mineralizados (Roedder, 1984).

Entre as lâminas dos veios de quartzo foram selecionadas inclusões fluidas representativas dos diversos grupos identificados, às quais foram submetidas à análise espectroscópica com o auxílio de Laser-Raman.

Foram realizadas diversas tentativas de visualização de inclusões fluidas em sulfetos relacionados a mineralização, utilizando-se uma câmera de infravermelho do laboratório da *Australian Geological Survey Organization (AGSO)*. Para tanto foram selecionadas 6 amostras de pirrotita, com e sem ouro, do Corpo IV, além de 4 amostras com pirrotita e arsenopirita, sem ouro, do Corpo V. Todos os testes realizados nas amostras de sulfetos do Corpo IV e V não apresentaram qualquer sinal de transparência ao infravermelho, inviabilizando a microtermometria de opacos nas amostras.

TABELA 16 – Relação de amostras submetidas a medições microtermométricas., com as páginas referidas ao ANEXO 3, onde IF = inclusão fluida, P = primária, PS = pseudo-secundária e S = secundária.

AM.	Área	CARACTERÍSTICAS
<i>Q-IV1 – Veios de quartzo da primeira geração relativa, ANEXO 3 – Página 1 a 5</i>		
19_2		Carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
19_11		Carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
19_12		Carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
19_7		Carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
19_7a		Carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
19_12e		Carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
19_13		Carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
19_19		Carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
19_12f		Carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
19_14		Carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
19_20		Carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
19_4		Carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
19_19		Aquo-carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
19_21		Aquo-carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
19_12a		Aquo-carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
19_17a		Aquo-carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
19_20		Aquo-carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
<i>Q-IV2 – Veios de quartzo da segunda geração relativa, ANEXO 3 – Página 5 a 6</i>		
27_10		Aquo-carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
27_6		Aquo-carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
27_6a		Aquo-carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
27_6c		Aquo-carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
<i>Q-IV4 – Veios de quartzo da quarta geração relativa, ANEXO 3 – Página 6 a 8</i>		
73_1		Carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
73_4		Aquo-carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
73_5		Aquo-carbônicas, primárias (IFP), siderita
12_1		Aquo-carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
26_1		Aquo-carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso
73_4		Aquo-carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
73_12a		Aquo-carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
12_1c		Aquo-carbônicas, pseudo-secundárias (IFPS), encaixante xisto carbonoso
12_3a		Aquo-carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
12_9		Aquo-carbônicas, secundárias (IFS), encaixante xisto carbonoso
<i>Quartzo da L_{m/e3}</i>		
IV22		Aquo-carbônicas, primárias (IFP), encaixante xisto carbonoso, L _{m/e3}

Os resultados analíticos da microtermometria são discutidos a seguir, separados pelas gerações de quartzo determinadas e subdivididos pelos sistemas termodinâmicos e classificação das inclusões fluidas (primárias, pseudo-secundárias e secundárias).

3.1 Veio de quartzo da primeira geração do Corpo IV (Q-IV1)

As inclusões primárias presentes em cristais de quartzo deste veio são, em essência, carbônicas monofásicas, mas podem conter quantidades subordinadas de outros voláteis. Nas IFs pseudo-secundárias e secundárias, por outro lado, além das carbônicas, foram observadas as compostas por $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CH}_4$ + sais dissolvidos, bifásicas ou trifásicas.

A análise com auxílio de espectroscopia Laser-Raman (TABELA 17) revelou um teor relativamente alto de metano nas inclusões da amostra 19_14, sendo que nesta, as inclusões estão em trilhas compartilhadas com cristais de pirrotita derivados do xisto carbonoso.

Na área 19_12a e 19_12b foram encontradas inclusões secundárias com até duas fases sólidas, dispostas em trilhas cortando cristais subédricos de quartzo no veio. A espectrometria de Laser-Raman (análise 074, 074c e 080) permitiu a análise de tais cristais revelando que os maiores, com formas cúbicas são halita, e os menores, calcita.

Foram ainda encontradas diversas inclusões no veio de quartzo com feições sugestivas de constituírem *melt inclusions*, sendo formadas apenas por minerais, sem sinais de fase líquida ou gasosa. A análise com auxílio da espectroscopia de Laser-Raman (19_12c em R411a, R411b e R411c) revelou que os minerais que constituem o preenchimento de tais inclusões são dolomita, silicato (provavelmente muscovita ou clorita) e grafita. Outra feição freqüente nessas inclusões são rosetas de grafita, desenvolvidas nas bordas.

TABELA 17 – Resultado de análises espectroscópica com o auxílio de Laser-Raman no Q-IV1.

Amostra_área	No. da IF	CO ₂ (mol%)	N ₂ (mol%)	CH ₄ (mol%)
19_2	003	100	0	0
19_4	142	98,3	0,7	1,0
19_12b	80	99,5	0,3	0,2
19_12f	83	100	0	0
19_13	110	99,6	0	0,4
19_14	127	95,0	0,0	5,0
19_14	125	92,3	5,7	2,0
19_19	151	100	0	0
19_20	156	100	0	0
19_21	P329	100	0	0
19_21	181	100	0	0

3.1.1. Inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias (sistema CO₂ + CH₄)

As temperaturas de fusão do CO₂ (T_{fCO2}) variam de -58,8 a -56,6°C, apresentando, na maioria dos casos, valores inferiores a -56,6°C, referente ao ponto triplo do CO₂ puro, o que é

indicativo da existência de outros componentes voláteis associados. Dados de espectroscopia Laser-Raman revelaram a presença do CH_4 , tanto nas inclusões primárias, como nas pseudo-secundárias e secundárias. Observa-se, no entanto, pelas figuras (FIGURAS 55 e 56) um aumento relativo no teor desse componente em direção às inclusões secundárias.

FIGURA 55 – Histograma das temperaturas de fusão do CO_2 para inclusões do sistema CO_2+CH_4 do Q-IV1, onde P = primária, PS = pseudo-secundária e S = secundária.

FIGURA 56 – Diagrama XCO_2 versus XCH_4 para inclusões do sistema CO_2+CH_4 do Q-IV1.

A homogeneização do CO_2 , sempre para o estado líquido, ocorreu a temperaturas variando de $-5,5$ a $+8,2^\circ\text{C}$ nas inclusões primárias, indicando uma faixa de densidades de CO_2 ($d\text{CO}_2$) situada entre $0,948$ e $0,854 \text{ g/cm}^3$. Observa-se pelo diagrama (FIGURA 57) que nas inclusões pseudo-secundárias, as temperaturas de homogeneização do CO_2 (ThCO_2) atingem, em alguns casos, valores mais baixos, até $-11,5^\circ\text{C}$, indicativos de maiores densidades. A faixa de variação de $d\text{CO}_2$ para essas inclusões é de $0,969$ a $0,892 \text{ g/cm}^3$. Nas inclusões

secundárias, por outro lado, a faixa de variação de ThCO_2 é bem mais ampla, atingindo valores até $21,5^\circ\text{C}$, indicativos de $d\text{CO}_2$ bem inferiores em relação às anteriores. As $d\text{CO}_2$ variam, neste caso, de $0,906$ a $0,746 \text{ g/cm}^3$. Deve ser ressaltado que os maiores valores de ThCO_2 são relativos a inclusões secundárias pertencentes a uma trilha distinta, mostrando a existência de mais de uma etapa de desenvolvimento e cicatrização de fraturas.

FIGURA 57 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 nas IF carbônicas do Q-IV1.

3.1.2. Inclusões pseudo-secundárias e secundárias (sistema $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{sais}$)

Inicialmente deve ser enfatizado que esse sistema ocorre apenas nas inclusões pseudo-secundárias e secundárias do Q-IV1, estando sempre ausente nas primárias. Trata-se de inclusões bifásicas a trifásicas à temperatura ambiente, em certos casos com variações nas razões $\text{VCO}_2/\text{V}_{\text{tot}}$ (volume de CO_2 /volume total da IF).

A FIGURA 58 mostra que nas inclusões PS e S aquo-carbônicas, as TfCO_2 apresentam menor rebaixamento do ponto triplo do CO_2 puro em relação às carbônicas deste veio, indicando menores quantidades de outros voláteis associados. Também neste caso foi identificado o CH_4 por espectroscopia Laser-Raman. (TABELA 17).

FIGURA 58 – Temperaturas de fusão do CO₂ de IF aquo-carbônicas no Q-IV1.

As ThCO₂ apresentam valores de 30,9 a -1,00°C nas inclusões pseudo-secundárias (FIGURA 59), tendo sido observada uma faixa de variação menor (25,2 a -0,9 °C) nas secundárias, indicando os seguintes intervalos de dCO₂: inclusões pseudo-secundárias de 0,906 a 0,952 g/cm³ e inclusões secundárias de 0,953 a 1,092 g/cm³. Tais variações de ThCO₂ são discutidas adiante.

FIGURA 59 – Temperaturas de homogeneização para as IF aquo-carbônicas do Q-IV1.

As temperaturas do ponto eutético das soluções aquosas (Te, FIGURA 60) são indicativas dos sistemas H₂O + NaCl, (Te mínimo até -28°C, Davis *et al.*, 1990), embora a grande maioria dos dados apresente valores inferiores, sugerindo a presença de íons bivalentes como Fe²⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺ de acordo com os dados disponíveis na literatura relacionados a seguir:

- sistema MgCl₂ + NaCl + H₂O, Te = -35°C (Crawford, 1981; Davis *et al.*, 1990).
- sistema MgCl₂ + H₂O, Te = -33,6°C (Borisenko, 1978; Davis *et al.*, 1990).
- sistema FeCl₂ + NaCl + H₂O, Te = -37°C (Borisenko, 1978).
- sistema CaCl₂ + H₂O, Te = -49,8°C (Borisenko, 1978; Crawford, 1981).
- sistema CaCl₂ + NaCl + H₂O, Te = -52,0°C (Crawford, 1981; Oakes *et al.*, 1990).

Valores de T_e abaixo de -40°C já são atribuídos à presença de cálcio no sistema aquoso (Roedder 1984).

A presença dos íons de Fe^{2+} , Mg^{2+} e Ca^{2+} pode ser decorrente da intensa alteração propilítica, já discutida no capítulo de petrografia, associada a mineralização do Corpo IV.

FIGURA 60 – Temperaturas do eutético para as IF aquo-carbônicas do Q-IV1.

As salinidades das soluções aquosas foram obtidas a partir das temperaturas de fusão dos clatratos ou, quando estavam presentes cristais de saturação, pelas temperaturas de dissolução dos mesmos. Os resultados obtidos encontram-se representados na FIGURA 61, que mostra valores normalmente intermediários para as inclusões secundárias. As inclusões pseudo-secundárias, por sua vez, contêm, em essência, soluções aquosas extremamente salinas, embora salinidades intermediárias também sejam observadas. Essas inclusões apresentam também variações nas razões $\text{VCO}_2/\text{V}_{\text{tot}}$ sugerindo, numa primeira aproximação, processos de imiscibilidade. No entanto, observa-se que nas inclusões mais ricas em H_2O as salinidades são inferiores, o que segundo Ramboz *et al.* (1982), não condiz com as condições de imiscibilidade, podendo representar mais propriamente processos de mistura. Um refinamento dessa hipótese poderia ser obtido a partir de um diagrama relacionando as T_{htot} com as salinidades, o que não foi possível, devido à pequena quantidade de dados de homogeneização referentes às regiões onde ocorre esse comportamento.

FIGURA 61 - As altas salinidades referem-se à amostra 19_21, que contém cristais de saturação de halita, sendo as mesmas calculadas pela dissolução do sal.

As temperaturas de homogeneização total (Th_{tot}) foram obtidas apenas para certas regiões onde ocorrem as inclusões fluidas pseudo-secundárias de alta salinidade discutidas anteriormente, cuja imiscibilidade não foi completamente caracterizada, tendo sido observada uma variação de 240 a 280°C (FIGURA 62).

A presença de imiscibilidade deste veio foi, no entanto, bem caracterizada em inclusões pseudo-secundárias de outra região do mesmo, nas quais ocorrem variações volumétricas V_{CO_2}/V_{tot} de 0,1 a 0,95. Foi constatado neste caso, que as inclusões mais ricas em água são também as mais salinas, o que está bastante coerente com as premissas indicativas de imiscibilidade discutidas em Ramboz *et al.* (1982). Para essas inclusões, embora não tenha sido possível determinar por microtermometria as Th_{tot} , uma temperatura de aprisionamento de 325°C foi obtida, de modo aproximado, por meio do cruzamento de isócoras relativas aos termos extremos (FIGURA 95, adiante).

Essas diferenças de temperatura parecem indicar a existência de mais de uma etapa de aprisionamento das inclusões pseudo-secundárias nos veios da primeira geração, sugerindo a existência de flutuações de pressão relacionadas a um evento hidrotermal recorrente, já anteriormente constatado pelos estudos petrográficos. Além disso, os resultados parecem indicar que, nos estágios finais de cristalização desses veios, os processos de imiscibilidade e/ou mistura, representados pelas inclusões com menores Th_{tot} (240-280°C), ocorreram em fluidos mais evoluídos de maiores salinidades (FIGURA 61), aprisionados em menores temperaturas.

FIGURA 62 – Temperaturas de homogeneização total para IF do Q-IV1 pseudo-secundárias aquo-carbônicas.

No caso dessas inclusões salinas, a FIGURA 63 mostra que as temperaturas de homogeneização relativas às fases fluidas são sempre maiores que as temperaturas de dissolução dos sólidos, indicando que os cristais foram formados após o aprisionamento como resultado do resfriamento natural do mineral hospedeiro, conforme discussão de Ramboz *et al.* (1982).

FIGURA 63 – Diagrama temperatura de homogeneização total versus temperatura de dissolução do NaCl (Amostra 19_21).

3.2 Veio de quartzo da segunda geração do Corpo IV (Q-IV2)

No quartzo deste veio foram observadas, em essência, inclusões aquo-carbônicas pseudo-secundárias e secundárias, localmente com variações consideráveis nas razões V_{CO_2}/V_{tot} . Foi observada apenas uma inclusão primária isolada, contendo um cristal de saturação de halita e um cristal acicular negro, provavelmente de grafita.

Uma IF pseudo-secundária contida no quartzo revelou, através da análise com auxílio de espectroscopia de Laser-Raman, um conteúdo relativamente alto de metano, o que pode ser, provavelmente, relacionado a um fluido proveniente do xisto carbonoso Q-IV2 (TABELA 18).

TABELA 18 – Resultado de análises espectroscópica com o auxílio de Laser-Raman no Q-IV2.

Amostra_área	Nr. da IF	CO ₂ (mol%)	N ₂ (mol%)	CH ₄ (mol%)
27_6a	R412	96,3	0,0	3,7

3.2.1. Inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias (sistema H₂O + CO₂ + CH₄ + sais)

As TfCO₂ apresentam valores inferiores aos do ponto triplo do CO₂ puro (FIGURA 64), revelando a presença de outros voláteis associados, que não puderam ser detectados com o auxílio da espectroscopia Laser-Raman.

FIGURA 64 – Temperaturas de fusão do CO₂ de IF aquo-carbônicas no Q-IV2.

O diagrama abaixo (FIGURA 65) mostra uma tendência de acréscimo das frações molares de CH₄ nas inclusões secundárias, de modo semelhante ao observado no Q-IV1.

FIGURA 65 – Diagrama XCO₂ versus XCH₄ para inclusões do sistema CO₂+CH₄ do Q-IV2.

A homogeneização do CO_2 , para o estado líquido, variou de 14,0 a 25,3°C nas inclusões pseudo-secundárias e de 13,6 a 22,1°C nas secundárias (FIGURA 66), indicando $d\text{CO}_2$ situadas entre 1,03 e 1,01 g/cm^3 e entre 0,99 e 1,04 g/cm^3 , respectivamente.

FIGURA 66 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 nas IF aquo-carbônicas do Q-IV2.

As Te das soluções aquosas variam de -42 a -36°C, indicando os mesmos sistemas presentes no quartzo do Q-IV1 (FIGURA 67).

FIGURA 67 – Temperaturas do eutético para as IF aquo-carbônicas do Q-IV1.

As salinidades das soluções aquosas das inclusões pseudo-secundárias e secundárias (FIGURA 68), obtidas a partir das temperaturas de fusão dos clatratos, situaram-se na faixa de 8 a 11% em peso do NaCl equivalente. Esses valores são inferiores aos das inclusões aquo-carbônicas pseudo-secundárias e secundárias do Q-IV1. Na única inclusão primária observada, com cristal de saturação de halita, a salinidade foi estimada como sendo superior a 26% em peso do NaCl equiv., uma vez que não foi possível a observação da Td_{NaCl} .

FIGURA 68 – Porcentagem em peso de NaCl equivalente para amostras do Q-IV2, sendo que a amostra primária apresenta um valor estimado de salinidade ($>26\%$), uma vez que não foi possível determinar a Td_{NaCl} .

As Th_{tot} situaram-se num intervalo relativamente amplo (FIGURA 69), variando de 310 a 410°C, no caso das inclusões pseudo-secundárias, apresentando valores bem inferiores nas secundárias (230 a 240°C). Isso eventualmente pode indicar a influência do evento Neoproterozóico nas inclusões secundárias.

FIGURA 69 – Temperaturas de homogeneização total para IF do Q-IV2 aquo-carbônicas.

3.3 Veio de quartzo da quarta geração do Corpo IV (Q-IV4)

Neste veio foram medidas inclusões fluidas em quartzo (primárias, pseudo-secundárias e secundárias), apatita (primárias) e siderita (primárias). De modo geral, as inclusões primárias são carbônicas (quartzo) e aquo-carbônicas (quartzo, apatita e siderita), enquanto que as pseudo-secundárias e secundárias no quartzo são constituídas, em essência, por fluidos aquo-carbônicos.

A análise com o auxílio da espectroscopia de Laser-Raman (TABELA 19) em IFP no quartzo, localizado muito próximo ao contato com a arsenopirita, revelou conteúdos bastante elevados de CH₄, indicando um possível enriquecimento em metano no fluido residual que levou à cristalização da arsenopirita, uma vez que tais porcentagens de CH₄ não foram encontradas nas IFs intimamente relacionadas ao xisto carbonoso.

Foram ainda analisadas as inclusões primárias contidas na siderita euédrica (SID4) no Q-IV4 e, visando comparações, também as pseudo-secundárias e secundárias do quartzo circundante ao carbonato. Os resultados microtermométricos, comentados abaixo, são bastante semelhantes nestes dois minerais. Observa-se, no entanto, que ocorre uma diferença no conteúdo de CH₄ nas inclusões do quartzo, sugerindo novamente um enriquecimento desta molécula nos fluidos residuais próximos a cristalização, neste caso, da siderita, em relação àqueles presentes durante a formação do quartzo não associado a esse mineral.

TABELA 19 – Resultado de análises espectroscópica com o auxílio de Laser-Raman no Q-IV4.

Amostra área	Nr. da IF	CO ₂ (mol%)	N ₂ (mol%)	CH ₄ (mol%)	Características
12_01	R400	70,1		29,9	Próx. ao contato c/ASP
12_01	R401	76,3		23,7	“
12_01	R402	85,9		14,1	“
12_01	R403	97,0		3,0	“
12_01	171	96,3		3,7	“
12_01	176	96,6		3,4	“
12_01	178	96,9		3,1	“
12_9	207	97,1	1,6	1,3	Próx. ao contato c/ASP
73_12	P346	99,5		0,5	C/ cristal de halita
73_12	P348	98,7		1,3	“
73_4	239	97,5	0,0	2,5	QTZ relacionado a SID IFPS
73_4	243	95,5	0,0	4,5	QTZ relacionado a SID IFP
73_5	234	99,5	0,0	0,5	SID
73_5	238	99,6	0,0	0,4	SID

3.3.1 Inclusões primárias (sistema CO₂ + CH₄)

As TfCO₂ das inclusões primárias essencialmente carbônicas presentes no quartzo (FIGURA 70) apresentaram valores pouco variáveis, entre -57,6 e -57,7. O rebaixamento desses valores em relação ao ponto triplo do CO₂ puro é indicativo da presença de voláteis associados, tendo sido determinado o CH₄ por espectroscopia laser Raman (TABELA 19).

FIGURA 70 – Temperaturas de fusão do CO₂ de IF carbônicas primárias no Q-IV4.

As ThCO₂ dessas inclusões (FIGURA 71) apresentaram uma pequena faixa de variação, situada entre 21,9 e 23,7°C, indicando dCO₂ situada entre 0,631 e 0,682 g/cm³.

FIGURA 71 – Temperaturas de homogeneização do CO₂ nas IF carbônicas primárias do Q-IV4.

3.3.2 Inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias (sistema H₂O + CO₂ + CH₄ + sais)

As TfCO₂ também neste caso são indicativas de outros voláteis associados à fase carbônica (FIGURA 72), tendo sido detectado o CH₄ por espectroscopia laser Raman (TABELA 19). O rebaixamento em relação à temperatura crítica do CO₂ puro é mais pronunciado no contato com arsenopirita. A siderita e o quartzo circundante associado revelam uma semelhança nas TfCO₂.

FIGURA 72 – Temperaturas de fusão do CO₂ de IF aquo-carbônicas no Q-IV4 para quartzo, apatita e siderita. O símbolo “~” representa uma faixa de temperaturas sem a presença de medidas.

O diagrama XCO₂ x XCH₄ (FIGURA 73) forneceu indicações de empobrecimento do CH₄, de maneira inversa à tendência observada no Q-IV1 e Q-IV2. Esse fato caracteriza um comportamento diferenciado na evolução dos fluidos do evento paleoproterozóico para o neoproterozóico. Nessa figura foram omitidos dois valores de XCH₄ de IFs primárias muito próximos da arsenopirita, porque seus valores anormalmente altos (0,16% de XCH₄) impedem a visualização da disposição dos outros dados.

FIGURA 73 – Diagrama XCO₂ versus XCH₄ para inclusões do sistema aquo-carbônico no Q-IV4.

As ThCO₂ apresentam as seguintes variações (conforme FIGURA 74):

quartzo: ThCO₂ de 10,1 a 11,2°C nas inclusões primárias (dCO₂ de 0,698 a 0,735 g/cm³). Nas inclusões pseudo-secundárias foram obtidos dois intervalos de variação em amostras distintas, o primeiro de 18,0 a 28,9 (dCO₂ = 0,847 a 0,944 g/cm³) e o segundo de 27,3 a 28,8 (dCO₂ = 0,500 a 0,609). Nas secundárias, ThCO₂ varia de 6,8 a 11,9°C (dCO₂ de 0,931 a 0,930);

apatita: ThCO_2 de 18,6 a 29,3°C ($d\text{CO}_2 = 0,873$ a $0,741$), nas inclusões primárias;

siderita: ThCO_2 de 12,1 a 13,0°C ($d\text{CO}_2 = 0,889$ a $0,888$), nas inclusões primárias.

quartzo situado ao redor da siderita: ThCO_2 ao redor de 16°C ($d\text{CO}_2 \cong 0,89 \text{ g/cm}^3$) nas inclusões primárias; ThCO_2 de 14,2 a 15,4°C ($d\text{CO}_2$ de $0,868$ a $0,857 \text{ g/cm}^3$) nas pseudosecundárias.

Deve ser ressaltado que na amostra de quartzo com inclusões de maiores ThCO_2 , estas também apresentam $\text{VCO}_2/\text{Vtot.}$ bastante variáveis (0,4 a 0,8) sugestivas de processos de imiscibilidade ou mistura de fluidos.

Em todos os outros casos as inclusões não apresentam variações nas relações volumétricas entre as fases.

FIGURA 74 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 nas IF aquo-carbônicas do Q-IV4.

As Te são indicativas dos mesmos sistemas anteriores, embora, em alguns casos, a presença de cálcio seja bem marcada pelos mais baixos valores, como nas inclusões encontradas próximas da arsenopirita (FIGURA 75).

FIGURA 75 – Temperaturas do eutético para as IF aquo-carbônicas do Q-IV4.

As variações de salinidade são, de modo geral de 0 a 7% em peso do NaCl equiv., (FIGURA 76). Um grupo de valores mais elevados de salinidades (>26 % em peso do NaCl equiv.) refere-se a inclusões pseudo-secundárias no quartzo com cristais de saturação, nas quais não existem evidências de processos de imiscibilidade ($V_{CO_2}/V_{tot.}$ constantes). As inclusões pseudo-secundárias da outra amostra com fortes feições de imiscibilidade, apresentam uma faixa muito estreita de variação de salinidades (0,0 a 2,31% em peso de NaCl equiv.), não condizentes com processos de misturas de fluidos, sugerindo, neste caso, o aprisionamento a partir de fluidos imiscíveis.

FIGURA 76 – Porcentagem em peso de NaCl equivalente para IF aquo-carbônicas do Q-IV4.

Nas inclusões pseudo-secundárias com $V_{CO_2}/V_{tot.}$ variáveis, discutidas anteriormente, as homogeneizações totais ocorrem ora pela expansão da fase aquosa, ora da carbônica, o que constitui uma das premissas de Ramboz *et al.* (1982) para caracterizar o aprisionamento a partir de sistemas imiscíveis. Observa-se ainda que os valores de Th_{tot} (FIGURA 77) são muito variáveis (160,9 a 370,5), também sugerindo fluidos originais imiscíveis, o que ainda é indicado pelo diagrama $Th_{tot} \times V_{CO_2}$ (FIGURA 78), onde a distribuição de pontos assemelha-se a uma curva de imiscibilidade. Desse modo, pode-se inferir um aprisionamento a partir de fluidos originalmente imiscíveis em temperaturas ao redor de 150 a 200°C.

Observa-se, ainda, no diagrama abaixo (FIGURA 77) que as Th_{tot} de inclusões primárias na borda do contato do quartzo com arsenopirita, situam-se ao redor de 370°C. Esse fato associado ao diferenciado conteúdo em CH_4 pode indicar que esse mineral não tenha sido precipitado nessa geração de veios, mas numa anterior, como sugerido pelas observações petrográficas.

FIGURA 77 – Temperaturas de homogeneização total para IF aquo-carbônicas do Q-IV4.

FIGURA 78 – Diagrama VCO₂ x Th_{tot} para IF aquo-carbônicas do Q-IV4, compondo a curva de imiscibilidade.

3.4 Quartzo na L_{m/e3} com pirrotita do Corpo IV

Esta amostra representa uma seção perpendicular às lineações minerais e de estiramento pertencentes ao evento D3 (L_{m/e3}) no xisto carbonoso do Corpo IV. As zonas apicais das crenulações geradas por este evento permitiram o fluxo de fluidos de forma recorrente, registrado pela precipitação de pirrotita, quartzo, calcopirita e ouro. A petrografia demonstrou que estas zonas de alteração hidrotermal, concentradas em regiões preferenciais de percolação de fluidos nos xistos carbonosos, foram cortadas pelos veios de quartzo e que nestes locais de seccionamento ocorre precipitação de pirrotita e ouro no quartzo, particularmente nos veios do Q-IV1. Através de uma busca exhaustiva nas seções do xisto carbonoso com as L_{m/e3}, foram localizados alguns grupos de inclusões aquo-carbônicas primárias no quartzo, tendo sido possível a obtenção de um limitado número de medidas microtermométricas. O provável vínculo destas inclusões com a mineralização do Corpo IV

torna-as particularmente importantes para realizar comparações com as inclusões dos veios, em especial do Q-IV1.

As medições do T_{fCO_2} apresentam pouca variação (FIGURA 79), mas dão indicações de uma composição contendo outros gases além do CO_2 pelo rebaixamento em relação ao ponto triplo do CO_2 puro (T_{fCO_2} com aproximadamente $-58,0^\circ C$).

FIGURA 79 – Temperaturas de fusão do CO_2 de IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$.

O diagrama XCH_4 x XCO_2 na FIGURA 80 mostra uma tendência de inclusões primárias com XCO_2 entre 0,04 e 0,06, o que apesar das limitações impostas pelo número de análises, pode ser comparado aos grupos de IF secundárias de Q-IV1 e Q-IV2. Cabe aqui relembrar que as “injeções” de pirrotita constatadas nos veios de quartzo Q-IV1 são relativamente tardias em relação à maioria do quartzo contido nos veios (ver petrografia dos veios de quartzo no início deste capítulo).

FIGURA 80 – Diagrama XCO_2 versus XCH_4 de IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$.

A ThCO_2 apresenta uma variação pequena com valores entre 22 e 24°C conforme a FIGURA 81. Esta faixa mostra uma melhor correlação com as ThCO_2 das IFPS e IFS do Q-IV2 em relação aos outros grupos de inclusões nos diversos veios.

FIGURA 81 – Temperaturas de homogeneização do CO_2 de IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$.

As temperaturas do eutético obtidas (FIGURA 82) revelam uma sugestão de composição semelhante aos contidos nos diversos veios de quartzo, podendo-se dizer que, neste caso, não são atingidas temperaturas menores que -40°C , ao contrário das medidas obtidas no Q-IV4.

FIGURA 82 – Temperaturas do eutético das IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_{m/e3}$.

A salinidade varia de 3 a 4 % em peso de NaCl equivalente (FIGURA 83) que em relação aos grupos de inclusões dos veios de quartzo, se assemelha aos valores obtidos no Q-IV4 e ao Q-IV2.

FIGURA 83 – Salinidade nas IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_m/e3$.

Os valores de temperaturas de homogeneização total variam de 299,2 a 305,9°C conforme apresentado na FIGURA 84.

FIGURA 84 – Temperaturas de homogeneização total nas IF aquo-carbônicas no quartzo intimamente associado com a pirrotita da $L_m/e3$.

3.5 DIAGRAMAS ThCO_2 x TfCO_2 PARA AS GERAÇÕES DE VEIOS E $\text{L}_{\text{M/E3}}$

Em muitas associações de IFs foram observadas variações nas ThCO_2 , tendo sido sugerido, algumas vezes que são decorrentes de flutuações de pressão. Os diagramas abaixo confirmam a existência desses processos em algumas etapas de aprisionamento. Essas observações permitem inferir um modelo tipo *fault-valve* (Sibson *et al.*, 1988) ou *cyclic vein-development* (Robert *et al.*, 1995) para a geração dos veios de quartzo.

O diagrama TfCO_2 - ThCO_2 (FIGURA 85 A) para as inclusões carbônicas primárias do Q-IV1 mostra, de modo geral, uma grande variação de ThCO_2 , para faixas relativamente estreitas de TfCO_2 , o que de acordo com discussões de Dugdale & Hagemann (2001) é indicativo de flutuações de pressão. No caso particular da amostra 11, observa-se que as variações nas temperaturas de homogeneização do CO_2 também estão refletindo mudanças composicionais, uma vez que maiores quantidades de CH_4 associado ao CO_2 , implicam num decréscimo nas temperaturas de fusão e homogeneização da fase gasosa.

Por outro lado, no caso das inclusões pseudo-secundárias e secundárias do mesmo veio, as variações em ThCO_2 parecem estar principalmente relacionadas aos processo de flutuação de pressão, uma vez que ocorrem diferenças acentuadas nas ThCO_2 para valores relativamente constantes de TfCO_2 (FIGURA 85 B e C).

Nas inclusões pseudo-secundárias e secundárias aquo-carbônicas, a flutuação de pressão é bastante evidenciada, pois, praticamente para uma mesma TfCO_2 , ocorre uma variação de ThCO_2 de 0 a 30°C, no primeiro, caso e de -1 a 11°C, no segundo (FIGURA 85 D e FIGURA 86 A). No caso das inclusões pseudo-secundárias, as evidências já existentes de aprisionamento a partir de fluidos imiscíveis, são reforçadas pelos processos de flutuação de pressão.

A amostra 6b mostra que nas inclusões secundárias e pseudo-secundárias do Q-IV2, as variações de ThCO_2 podem ser decorrentes de variações nas quantidades de CH_4 . No entanto, de modo geral prevalecem as evidências de flutuações de pressão, embora não tão proeminentes como no Q-IV1 (FIGURA 86 B e C).

Evidências de flutuações de pressão também foram observadas nos diagramas referentes às inclusões carbônicas e aquo-carbônicas do Q-IV4 (FIGURA 86 D, e 87 A, B e C). A apatita, intimamente associada com ouro e pirrotita, possui inclusões aquo-carbônicas primárias com evidências muito marcantes desses processos de flutuação de pressão. Já nos cristais de siderita euhédricos presentes no Q-IV4, os dados referentes às inclusões primárias

não mostram qualquer influência das variações de pressão. Isso pode ser indicativo do desenvolvimento tardio ou de uma zona mais preservada em relação ao cisalhamento do Neoproterozóico. Os dados relativos ao quartzo intimamente associado a siderita, no veio, apresentam o mesmo comportamento, o que, aliado à semelhança dos resultados microtermométricos das inclusões primárias desses minerais, pode sugerir a ausência de qualquer modificação posterior nas mesmas (FIGURA 87 A). Essas características também podem ser observadas nas inclusões pseudo-secundárias presentes no mesmo quartzo (FIGURA 87 B).

A presença na mesma amostra de inclusões pseudo-secundárias em quartzo, umas com feições indicativas de imiscibilidade e outras de aprisionamento a partir de fluidos homogêneos, refletem processos cíclicos das flutuações de pressão indicadas pela (FIGURA 87 B), e que sua formação ocorreu em épocas relativamente distintas.

O diagrama $TfCO_2 - ThCO_2$ (FIGURA 87 C), relativo às inclusões secundárias do veio Q-IV4, mostra uma menor variação de $ThCO_2$ em relação aos anteriores e também que, em alguns casos, essa variação está condicionada às quantidades de CH_4 . Isso pode sugerir uma mudança no regime de pressões, possivelmente representando o final do processo cíclico de pulsos.

Ainda foi construído um diagrama $TfCO_2 - ThCO_2$ para as inclusões medidas da $L_{m/e3}$ (FIGURA 87 D). O número restrito de resultados, associado à dificuldade de visualização durante a microtermometria, impõe algumas limitações para a interpretação do diagrama que sugere variações de pressão e/ou variações químicas.

FIGURA 85 - Diagrama TfCO₂-ThCO₂: (A) Q-IV1 IFP carbônicas, (B) Q-IV1 IFPS carbônicas, (C) Q-IV1 IFS carbônicas, (D) Q-IV1 IFPS aquo-carbônicas. Os números representam associações de IFs relacionados a amostras de cada geração de veios de quartzo.

FIGURA 86 - Diagrama TfCO₂-ThCO₂: (A) Q-IV1 IFS aquo-carbônicas, (B) Q-IV2 IFPS aquo-carbônicas, (C) Q-IV2 IFS aquo-carbônicas, (D) Q-IV4 IFP carbônicas. Os números representam associações de IFs relacionados a amostras de cada geração de veios de quartzo.

FIGURA 87 - Diagrama TfCO₂-ThCO₂: (A) Q-IV4 IFP aquo-carbônicas em quartzo (12_01A), apatita (26_01AP), quartzo intimamente associado a siderita (73_04Q C/ SID) e siderita (73_05 SID), (B) Q-IV4 IFPS aquo-carbônicas no quartzo (12_01C) e 73_12A) e no quartzo intimamente relacionado a siderita (73_4Q C/ SID), (C) Q-IV4 IFS aquo-carbônicas, (D) IV-22 IFP aquo-carbônicas. Os números representam associações de IFs relacionados a amostras de cada geração de veios de quartzo.

3.6 ISÓCORAS

A partir dos dados microtermométricos foram obtidas as composições dos fluidos em termos das frações molares dos componentes, bem como as densidades totais que permitiram a construção das isócoras de interesse. Para tanto foi utilizado o programa FLINCOR (Brown, 1989), McFLINCOR (Brown & Hagemann, 1995) e os programas desenvolvidos por Bakker (1997, 2003).

As Flutuações de pressão já sugeridas pelos dos diagramas $TfCO_2$ - $ThCO_2$ das FIGURAS 85, 86 e 87, referentes a inclusões fluidas aprisionadas ora a partir de sistemas originalmente homogêneos, ora imiscíveis, são ainda indicadas pelas faixas de variação das densidades totais do fluido (FIGURAS 88 a 93, 95, 96, 99 e 102), representadas pelas isócoras (e.g. Dugdale & Hagemann, 2001). De modo geral, as isócoras mostram variações de pressão, às vezes bem significativas, sugerindo, mais uma vez, processos de flutuações de pressão dos fluidos durante o desenvolvimento dos veios.

São apresentadas a seguir diagramas de isócoras que foram selecionadas como sendo representativas de cada geração de veios de quartzo, em ordem semelhante às discussões anteriores.

3.6.1 Veio de quartzo da primeira geração (Q-IV1)

As isócoras para os sistemas carbônico e aquo-carbônico em quartzo do Q-IV1 apresentam faixas de variação de pressão bastante semelhantes, sendo, no entanto, mais amplas nas inclusões secundárias (FIGURAS 88 a 92).

FIGURA 88 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões primárias carbônicas do Q-IV1. (Os valores de Th referem-se às temperaturas de homogeneização do CO_2).

FIGURA 89 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões pseudo-secundárias carbônicas do Q-IV1. (Th = ThCO₂).

FIGURA 90 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões secundárias carbônicas do Q-IV1.

Representando-se as três gerações de inclusões carbônicas num mesmo diagrama (FIGURA 91), observa-se que, embora já ocorram variações de pressão durante os processos de formação das inclusões primárias, essas flutuações são bem mais acentuadas durante as etapas distintas de aprisionamento das secundárias, conforme já observado nos diagramas TfCO₂ – ThCO₂ (FIGURAS 85 A, B e C)

FIGURA 91 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias carbônicas do Q-IV1.

Uma ampla faixa de variação de pressões também é observada no caso das inclusões aquo-carbônicas secundárias em quartzo (FIGURA 92), conforme já havia sido sugerido pelo diagrama TfCO₂ versus ThCO₂ discutido anteriormente (FIGURA 86 A).

FIGURA 92 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões secundárias aquo-carbônicas do Q-IV1. (d = densidade total do fluido).

Em certos cristais de quartzo desse veio, onde ocorrem inclusões aquo-carbônicas pseudo-secundárias com altas salinidades (>30% do NaCl equiv.), variáveis proporções volumétricas de CO₂ e características sugestivas de aprisionamento a partir de sistemas originais imiscíveis e/ou de misturas de fluidos, foram construídas as isócoras representadas na FIGURAS 93.

FIGURA 93 - Amostra 19_21 apresentando isócoras relativas à inclusões com variações de volumes, alta salinidade (>30%), calculado pelo Bakker (2003, programas Bulk e Isoc). (d = densidade total do fluido).

Como discute Ramboz *et al.* (1982) e Roedder (1984), dados microtermométricos obtidos a partir de fluidos que sofreram processos de imiscibilidade e/ou mistura não permitem a determinação exata de suas densidades e, conseqüentemente, das pressões de aprisionamento. No entanto, como as variações de VCO₂/V_{IF} ocorrem num intervalo estreito (30 a 50%), as isócoras apresentadas na FIGURA 93, com exceção da IF (161), podem constituir ao menos uma aproximação das densidades do fluido. Desse modo, dados aproximados de pressões, situadas entre 2,2 e 3,3 kbar, podem ser deduzidos considerando-se a faixa de variação das Th_{tot.} mínimas de 236,8 a 276,4°C, que também são as mais representativas das temperaturas de aprisionamento.

Em outras regiões da amostra foram também observadas associações de inclusões aquo-carbônicas pseudo-secundárias com variações extremas em VCO₂/V_{tot.} (0,1 a 0,95) e em salinidades (as extremamente aquosas sendo mais salinas), que, segundo os critérios de Ramboz *et al.* (1982), caracterizam processos de imiscibilidade. Para essas inclusões foi possível utilizar o método do cruzamento das isócoras relativas aos termos extremos da imiscibilidade (FIGURA 94). Embora com certas limitações, esse método permite, de modo

aproximado, a determinação das condições de temperaturas e pressões de aprisionamento, tendo sido obtidos valores de 325°C e 2,1 kbar, respectivamente.

FIGURA 94 - Isócoras relativas aos termos extremos das inclusões com altas variações em $\text{VCO}_2/\text{Vtot.}$ (0,1 a 0,95) e em salinidade.

3.6.2 Veio de quartzo da segunda geração (Q-IV2)

Os diagramas isocóricos relativos às inclusões primárias, pseudo-secundárias e secundárias aquo-carbônicas do veio Q-IV2 refletem, do mesmo modo, que os processos de flutuações de pressão foram relativamente acentuados (FIGURAS 95 E 96), principalmente no caso das inclusões dispostas em trilhas posteriores à formação dos minerais. Também é observado que, neste caso, as isócoras apresentam inclinações superiores àsquelas do Q-IV1, refletindo em maiores pressões envolvidas durante o aprisionamento das inclusões.

Relacionando-se os resultados obtidos por meio da geotermobarometria (Capítulo IV) com as isócoras da FIGURA 95, observa-se um cruzamento nos valores de T e P variando de 428 a 580°C e 5,7 a 8,3 kbar, respectivamente, bem representativos das condições de aprisionamento das inclusões primárias e pseudo-secundárias e, portanto, próximos aos da formação do mineral.

FIGURA 95 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas da inclusão primária e das pseudo-secundárias aquo-carbônicas do Q-IV2 com os dados de T_{hot} e os resultados geotermobarométricos. (d = densidade total do fluido).

FIGURA 96 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões secundárias aquo-carbônicas do Q-IV2. (d = densidade total do fluido).

3.6.3 Veio de quartzo da quarta geração (Q-IV4)

No veio Q-IV4 existem poucas evidências de flutuações de pressão durante o aprisionamento de inclusões fluidas primárias carbônicas e aquo-carbônicas em quartzo (FIGURAS 86 D, 87 A, 97 e 98). Entretanto, faixas de variação de pressão bem acentuadas são observadas nas inclusões primárias aquo-carbônicas presentes em cristais de apatita

(FIGURA 87 A e 99) que ocorrem marginalmente ao quartzo do veio Q-IV4, sugerindo que sua formação não pertence a essa geração de veios, em conformidade com as observações petrográficas. A apatita ocorre intimamente relacionada ao ouro, pirrotita e plagioclásio, encontrando-se nas bordas do veio Q IV 4, tendo sido cristalizada antes da colocação desse veio.

FIGURA 97 – Isócoras relativas às temperaturas de homogeneização do CO_2 extremas, obtidas de inclusões primárias carbônicas no quartzo do Q-IV4.

FIGURA 98 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões primárias aquo-carbônicas no quartzo do Q-IV4 (d = densidade total do fluido).

Considerando-se os valores médios de $Th_{tot.}$ das inclusões primárias em apatita no diagrama isocórico da FIGURA 99, observa-se que as condições mínimas de formação desse mineral são representadas por temperaturas ao redor de 275°C e pressões variando de 1,19 a 2,31 kbar. Essas condições foram também obtidas a partir de inclusões pseudo-secundárias em quartzo do Q-IV1, formadas a partir de fluidos originalmente imiscíveis, conforme já discutido anteriormente (FIGURAS 93 e 94). A faixa relativamente larga de variação de densidades, somado à pressões em geral mais altas que as encontradas nas isócoras do Q-IV4, reforça as afirmações de que a apatita tenha sido formada antes da quarta geração dos veios.

FIGURA 99 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões primárias aquo-carbônicas em apatita do Q-IV2 (d = densidade total do fluido).

Já para as inclusões pseudo-secundárias em quartzo do veio Q-IV4, com características de imiscibilidade de fluidos anterior ao aprisionamento, foi utilizado o método do cruzamento das isócoras relativas aos termos extremos ($V_{CO_2}/V_{tot.}$ de 0,4 a 0,8), de modo semelhante ao aplicado nas inclusões pseudo-secundárias do Q-IV1, tendo sido obtidas temperaturas e pressões de aprisionamento ao redor de 225°C e 0,45 kbar (FIGURA 100). Esses valores indicam as condições diferenciadas do evento Neoproterozóico, sugerindo novamente que a apatita não pertence a essa geração de veios, tendo sido cristalizada anteriormente, em condições de maiores pressões e temperaturas.

FIGURA 100 - Isócoras relativas aos termos extremos das inclusões pseudo-secundárias, com variações em $V_{CO_2}/V_{tot.}$ (0,4 a 0,8), em quartzo do veio Q-IV4 (d = densidade total do fluido).

No caso das inclusões fluidas secundárias no quartzo do veio Q-IV4, embora não tenham sido obtidas as $T_{h_{tot.}}$, que poderiam permitir a determinação das condições mínimas de aprisionamento, observa-se no diagrama (FIGURA 101) uma maior inclinação das isócoras, o que é indicativo do envolvimento de maiores pressões, provavelmente relacionadas ao cisalhamento do Neoproterozóico. O número reduzido de medidas que foram obtidas neste caso, pode não representar as faixas de variação total das densidades e, portanto das pressões atuantes durante o aprisionamento dessas inclusões, sendo este um resultado apenas aproximado.

FIGURA 101 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas de inclusões secundárias aquo-carbônicas em quartzo do Q-IV4 (d = densidade total do fluido).

A análise microtermométrica em inclusões primárias de um cristal euédrico de siderita no veio de quartzo Q-IV4 e naquelas presentes no quartzo intimamente relacionado ao carbonato revelou uma grande similaridade nos dados. Assim pode-se inferir que essas inclusões não sofreram modificações posteriores ao aprisionamento, as quais causariam diferenças significativas no resultados microtermométricos, ao atuarem sobre dois minerais distintos. Esse fato contribui para a premissa assumida no estudo de inclusões fluidas em que o volume e composição das inclusões fluidas examinadas permaneceram constantes (condição isoplética e isocórica) desde o seu aprisionamento (Roedder, 1984; Diamond, 1990; Goldstein & Reynolds, 1994).

As isócoras relativas às inclusões primárias na siderita (FIGURA 102), mineral de veio característico do evento Neoproterozóico, não indicam as flutuações de pressão semelhantes às obtidas no Q-IV1 e Q-IV2. O mesmo ocorre em relação às inclusões primárias em quartzo relacionado à siderita, quando são consideradas temperaturas até 350°C, que representam o limite superior dos maiores valores obtidos em inclusões fluidas de todas as gerações de veios. Assim, no Neoproterozóico não ocorrem as condições favoráveis à precipitação do ouro relacionadas às flutuações de pressão. Essas mesmas condições são observadas nas inclusões fluidas secundárias em quartzo não diretamente relacionado à siderita do Q-IV4 (FIGURA 101), mostrando o caráter mais tardio de cristalização do carbonato neste veio.

FIGURA 102 – Isócoras relativas às densidades extremas, obtidas nas inclusões primárias aquo-carbônicas na siderita e nas primárias e pseudo-secundárias aquo-carbônicas em quartzo diretamente relacionado ao carbonato do Q-IV4 (d = densidade total do fluido).

3.6.4 Quartzo na $L_{m/c3}$

Embora o diagrama (FIGURA 103) não mostre a presença de flutuações de pressão devido à pequena quantidade de medidas, a isócora média obtida para as inclusões fluidas primárias em quartzo da $L_{m/c3}$ no xisto carbonoso assemelha-se àquelas referentes às inclusões pseudo-secundárias e secundárias em quartzo do Q-IV2.

O veio Q-IV2 foi desenvolvido durante a evolução do cisalhamento quando é criado um ambiente propício a flutuações de pressão e percolação de fluidos através da encaixante carbonosa, com liberação de sulfetos e, provavelmente, ouro. Os registros dessas soluções estão também impressos nas inclusões pseudo-secundárias aprisionadas no quartzo do Q-IV2, podendo ser responsáveis pelas precipitações de sulfetos e ouro induzidas pelos processos de imiscibilidade e/ou misturas de fluidos.

As feições descritas anteriormente podem ser claramente observadas nas regiões onde as $L_{m/c3}$ interceptam o veio Q-IV1, nas quais está presente a pirrotita e, mais raramente, o ouro e onde os processos de imiscibilidade e/ou mistura estão bem representados. A recorrência desses processo, com desenvolvimento de novas fraturas no próprio Q-IV2, pode ser indicada pela similaridade entre as inclusões pseudo-secundárias e secundárias observadas em cristais desse veio (FIGURAS 95 e 96).

FIGURA 103 – Isócoras relativas às inclusões fluidas primárias aquo-carbônicas no quartzo da $L_{m/c3}$, mostrando as condições de T e P mínimas de aprisionamento (d = densidade total do fluido).

CONCLUSÕES PARCIAS

INTRODUÇÃO

As correlações sobre as idades das mineralizações de ouro nos Corpos IV e V, feitas no presente trabalho, baseiam-se na existência de quatro eventos deformacionais no *Greenstone Belt* de Crixás (Jost & Fortes, 2001), sendo que as feições pré-neoproterozóicas observadas, foram relacionadas ao período Paleoproterozóico (evento D3), conforme apresentado na TABELA 5.

Entre as ferramentas empregadas no desenvolvimento da pesquisa, cabe destaque para a elaboração do programa do banco de dados vinculado a um sistema de posicionamento tridimensional. Este revelou-se como uma ferramenta prática e indispensável na evolução dos trabalhos de pesquisa, mostrando ainda que, o gerenciamento de dados, seja na pesquisa ou em mineradoras de pequeno porte, não exige necessariamente sistemas altamente sofisticados e dispendiosos.

A utilização do método de coloração seletiva dos carbonatos foi amplamente utilizada, ajudando na separação e interpretação das várias gerações e fases carbonáticas envolvidas, sejam elas primárias ou como resultado de alterações hidrotermais.

1 FORMAÇÃO RIBEIRÃO DAS ANTAS

Observações realizadas nos testemunhos de sondagem, revelaram zonas de microconglomerados com seixos de até 0,6 cm, predominantemente de quartzo, arredondados, que gradam para metarenito a metassiltito com grânulos dispersos, com estruturas típicas de correntes de turbidez, indicando ambiente deposicional proximal. Isso sugere que sedimentação da Formação Ribeirão das Antas deve ter ocorrido próximo a margens continentais ativas, corroborando com as deduções de Jost & Fortes (2001).

A presença de rochas carbonáticas sedimentares intercaladas na Formação Ribeirão das Antas é bastante limitada, o que, dentro das dimensões deste estudo, não permitiu um tratamento individualizado, como, por exemplo, a separação de uma fácies carbonática primária.

Foi constatada a presença de teores altos de fluorapatita, chegando a 28% em conteúdo no xisto carbonoso, reforçando as características de ambiente marinho de deposição da

Formação Ribeirão das Antas, possivelmente com muito oxigênio na água e em regiões de flancos de arcos.

2 CORPOS IV E V

Os trabalhos de campo permitiram identificar diversas estruturas tectônicas pré-neoproterozóicas preservadas nos corpos IV e V e em outras zonas mineralizadas ou não da Mina III. Com isso foi possível reconhecer que o Corpo IV e o Corpo V constituem blocos preservados pelo cisalhamento tardio nos xistos carbonosos da Formação Ribeirão das Antas e, dessa maneira, a mineralização é controlada por *shear zones* e a geometria dos corpos de minério segue um padrão “S/C”. Assim, interpreta-se que os corpos mineralizados formaram-se, provavelmente, no Paleoproterozóico, tendo sido reorientados e desmembrados pelas zonas de cisalhamento no ciclo Brasileiro.

Fica evidente que os corpos mineralizados são controlados pelo cisalhamento neoproterozóico, mas não foram formados depósitos de ouro nesse evento. Assim, o evento neoproterozóico apenas reorienta e trunca os corpos mineralizados gerados durante o evento de cisalhamento anterior. Isso também se confirma pela análise da distribuição de ouro nos canais de amostragem nas paredes das galerias, onde os teores mais altos de minério não se associam com os veios de quartzo relacionados ao evento D4.

No Corpo V foram observados abundantes sistemas de quebra e preenchimento, relativamente mais freqüentes que os observados no Corpo IV, quando preservados do evento D4, e que devem ter desempenhado um importante papel como conduto de fluidos mineralizantes, em provável sincronia com o desenvolvimento do Corpo IV.

O Corpo IV foi estudado em maior detalhe, devido ao desenvolvimento mais avançado de sua lavra na época dos mapeamentos, mas que, em função da proximidade e similaridade da encaixante, podem ser feitas extensões das interpretações ao Corpo V.

As características principais do Corpo IV são relacionadas abaixo:

- tratam-se de blocos relativamente preservados pelo evento neoproterozóico;
- foi reconhecido um sistema de alteração propilítica, bem como de albitização, sericitização, turmalinização, sulfetização e epidotização, relacionado à mineralização e ao evento D3, provavelmente paleoproterozóicos;
- as associações minerais características do minério no xisto carbonoso são: sericita, albita, dravita, ilmenita alterando para rutilo, biotita relativamente mais magnésiana chegando à

composição flogopita, dolomita ferrosa, pirrotita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita, apatita e quartzo.

- ocorre uma relação constante entre os porfiroblastos metamórficos, como os de granada almandínica, Fe-tschermakita, cloritóide, arsenopirita, plagioclásio e biotita e as rochas cloríticas, que representam as zonas de alteração hidrotermal mais intensas. Isso se repete em todas as mineralizações na Mina III;
- quando ocorre granada no xisto carbonoso em rochas próximas à mineralização, no halo dominado pela sericita (halo intermediário), esta se distingue da granada do núcleo das zonas de alteração hidrotermal, por ser relativamente mais magnesianas;
- na zona mineralizada, a albita é muito pura, apresentando composições próximas à do membro final, e o carbonato é a ferro-dolomita;
- ocorrem veios de quartzo da primeira e segunda geração (Q-IV1 e Q-IV2), dobrados, mas ainda preservando suas estruturas hidrotermais primárias e as tectônicas pré-neoproterozóico e, não se verificou em nenhum momento transporte de ouro ou sulfetos pelos veios de quartzo, mas apenas precipitações destes minerais nas proximidades da interface do xisto carbonoso com o veio de quartzo. Esse fato sugere que os veios de quartzo, quando mineralizados, atuaram como zonas de descompressão e/ou de mistura, o que deve ter causado a desestabilização dos fluidos transportando sulfetos e ouro, principalmente nas proximidades da interface da encaixante carbonosa com os veios;
- “nódulos carbonosos”, quando presentes, apresentam-se menos estirados;
- vários fatores indicam semelhança do Corpo IV e V com a Zona Inferior da Mina III como: o *gold fineness*, a encaixante de xisto carbonoso e as estruturas brechadas;
- o ouro no Corpo IV deve ter sido precipitado próximo aos estágios finais da pirrotita, provavelmente durante diversos pulsos mineralizantes, relacionados ao final do evento D3.

O presente estudo não visou uma interpretação estrutural detalhada mas, os dados obtidos nos Corpos IV e V demonstraram, em acordo com a coleção de medidas realizada por Queiroz (1995), que as regiões mineralizadas foram afetadas pelo evento D4, neoproterozóico, que reposicionou os contatos litológicos e destruiu os resquícios de S_{m3} e $L_{m/e3}$, paleoproterozóicos. A $L_{m/e3}$ foi preservada em vários locais, da mesma maneira, sendo que esta tem vínculos indiscutíveis com o *trend* da mineralização dos Corpos IV e V.

O Corpo IV apresenta dobramentos em escala métrica com eixos paralelos a lineação de estiramento mineral principal ($L_{m/e3}$: N37°W/20°) e ao *plunge* dos corpos de minério, indicando a migração de fluidos mineralizantes para zonas de charneira de dobras, relacionadas, provavelmente, ao evento D3, constatado também em escala microscópica.

Esta manifestação tectônica é também refletida na geração dos “nódulos carbonosos”, formados em zonas apicais de dobras durante o evento D3, sendo os mesmos destruídos, quando afetados pelo evento neoproterozóico. Tais feições também indicam as variações na preservação das rochas pelos eventos deformacionais relacionados ao ciclo Brasileiro. A presença de nódulos carbonosos ocorre em outros depósitos arqueanos, como o Witwatersrand na África do Sul, mas no caso da Formação Ribeirão das Antas, não se verificou relacionamento da formação desses com minerais radioativos.

3 ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS

Os halos concêntricos da alteração hidrotermal observados em várias escalas nas paredes das galerias são igualmente pré-brasileanas, pois são deformados e truncados pelo cisalhamento brasileiro. A sulfetação intensa no Corpo IV, por exemplo, não se limita às relíquias preservada pelas zonas de cisalhamento.

Foram constatadas alterações hidrotermais como: sericitização, potassificação, cloritização, dolomitização, turmalinização, epidotização, silicificação e sulfetização. Estas são o resultado de vários processos com intensidades diferenciadas, mas, em conjunto, predomina a alteração propilítica nos condutos hidrotermais, envelopada por zonas de alteração carbonática e parcialmente substituída por alteração sericitica. Essas zonas concêntricas de alterações podem ser reconhecidas em zonas preservadas do evento Brasileiro, conforme esquematizado na FIGURA 7. Halos de alteração bastante semelhantes foram constatados na mina de ouro de Atud, na parte central do Eastern Desert no Egito, caracterizados como sendo pós-metamorfismo regional. Este local apresenta veios de quartzo com ouro preenchendo fraturas em rochas dioríticas e ao longo de seus contatos com metagabros (Harraz, 1999).

Observou-se que a alteração da ilmenita, provavelmente para pseudorutilo, parece associar-se com as zonas hidrotermais mineralizadas em ouro, de modo semelhante ao descrito por De Ronde *et al.* (1992) em mineralizações de ouro no *Greenstone Belt* de Barberton.

A alteração do epidoto deixa apenas contornos microcristalinos em agregados muito finos de minerais, ou apenas como pseudomorfos, indicando, provavelmente, mudanças na composição do fluido hidrotermal essencialmente aquoso para fluidos com CO₂, que instabilizam o epidoto (Kerrick, 1974). Outra característica marcante é o aporte de K⁺ no sistema, dando início a pelo menos duas gerações de biotita e uma de sericita (D3), seguida de uma redução de temperatura e da atividade do potássio no evento D4, resultando em intensa sericitização tardia.

A alteração que afetou as metabásicas da Formação Rio Vermelho se assemelha com a verificada na Formação Ribeirão das Antas, preservando texturas ígneas. O anfibólio nas metabásicas possui uma composição que varia entre a hornblenda e a actinolita (núcleo e borda respectivamente), diferentemente do anfibólio porfiroblástico relacionado à alteração hidrotermal do evento D3, que foi caracterizado como Fe-tschermakita em todas as zonas mineralizadas, incluindo as da Mina III.

A dolomita associada com a alteração hidrotermal dos corpos de metabasalto da Formação Rio Vermelho é semelhante à encontrada nos xistos carbonosos da Formação Ribeirão das Antas, se apresenta muitas vezes na forma de pseudomorfos da hornblenda/actinolita, principalmente nas zonas de fraturas, o que pode ser indicativo de altas pressões de CO₂, relacionado ao evento que fratura os porfiroblastos.

A turmalina magnesiana ou a dravita, observada freqüentemente nas proximidades das mineralizações, são normalmente encontradas nas associações metamórficas ou metassomáticas. Em geral a turmalina encontrada em rochas metamórficas representam a recristalização de grãos detríticos presentes no sedimento original, podendo indicar relação com ambientes evaporíticos ou proximidade com centros submarinos de fumarolas. Em rochas básicas elas são normalmente encontradas, associadas com axinita e datolita (Deer, 1992). Essas últimas não foram constatadas nas zonas de mineralização do Corpo IV e V, reforçando o caráter metassedimentar da encaixante, sendo que o boro deve ter sido introduzido metassomaticamente. Turmalina marrom magnesiana ocorre como importante mineral de ganga em vários tipos de depósitos minerais do tipo *stratabound*, e sua abundância sugere a presença de boro como parte integral do sistema hidrotermal.

4 CARACTERÍSTICAS DA MINERALIZAÇÃO

As mineralizações do Corpo IV e V da estrutura IV do *Greenstone Belt* de Crixás apresentam uma grande semelhança com a mineralização da mina Lily em Barbetown na África do Sul. Essa mineralização epigenética apresenta diferenças apenas na ocorrência de grunerita, ao invés de Fe-tschermakita, ouro relacionado à arsenopirita e não à pirrotita e pressões de formação mais baixas (< 3 kbar) para a mineralização (Williams, 1997)

O Corpo IV, ao contrário do Corpo V, permitiu a coleta de várias amostras com ouro livre, fato esse que mostrou a estreita associação do metal com a pirrotita. Os estudos de minerais opacos permitiram reconhecer ainda o caráter tardio da pirrotita em relação a esfalerita e arsenopirita. O ouro possui uma relação síncrona a tardia em relação à precipitação da pirrotita, e, como foi constatado nos trabalhos de campo, a sulfetação que atinge o Corpo IV é pré-cisalhamento brasileiro.

Outro fato muito evidente na relação da pirrotita com o xisto carbonoso da encaixante, é o forte controle estrutural do mesmo, ligado principalmente a lineação mineral e de estiramento ($L_{m/c3}$). A arsenopirita, provavelmente na sua forma mais tardia, também foi encontrada associada com essa estrutura.

A abertura de espaços, dando lugar a entrada do quartzo na forma de *tension gashes*, tem fortes vinculações com o evento milonítico paleoproterozóico. Após a entrada do quartzo nesses espaços, ocorreu a entrada de sulfetos provenientes da encaixante carbonosa no veio, particularmente da pirrotita com ou sem ouro, gerando zonas escuras no quartzo, como resultado da grande quantidade de inclusões fluidas e minerais trazidas no fluido. Em várias amostras foi possível observar-se que os sulfetos se concentraram justamente na interface encaixante carbonosa, no truncamento da estrutura L_{m3} pelas paredes do veio de quartzo.

Foi ainda observado que as superfícies de cristais de feldspato com terminações euédricas desenvolvidos em espaços abertos, não foram atacadas pelo fluidos mais tardios, que se cristalizaram na forma de uma matriz carbonática com porfiroblastos euédricos de pirrotita. Este fato pode indicar que: a) o pH situava-se em condições próximas do neutro no fluido com sulfeto e, b) que os fluidos com sulfeto devem ter precipitado a pirrotita devido ao súbito alívio de pressão, quando da entrada nos espaços vazios (*vugs*), limitado nesse caso pelos feldspatos. Esse processo representa um dos mecanismos tardios da precipitação do ouro pela desestabilização das espécies dominantes no transporte de ouro como $AuHS(aq)$ e

$\text{Au}(\text{HS})^{2-}$ (Cooke & Simmons, 2000), particularmente do último em que prevalecem condições de pH próximo do neutro.

Os resultados geotermobarométricos indicaram, para o par granada-biotita do núcleo das alterações hidrotermais, que as temperaturas são compatíveis com as da fácies xisto verde, em seu limite superior ou início da fácies anfibolito. Isso está em acordo com as observações petrográficas, com cloritóide estável nos metassedimentos hidrotermalizados. Entretanto, as pressões obtidas são, de modo geral, bastante altas, o que é incompatível com uma evolução tectônica em baixas profundidades da crosta com grau geotérmico típico de zonas de subducção e evolução barrowiana, e mais coerente com zonas metamórficas de alta pressão. As temperaturas sugerem, face à proximidade dos minerais com os veios relacionados ao evento hidrotermal, que a zona de cisalhamento instalou-se em níveis crustais profundos e em rochas relativamente frias. Em sendo correto este pressuposto, os terrenos *greenstone* deveriam ser parte de crátons estáveis e frios, quando das mineralizações auríferas, que seriam então mesotermiais a hipotermiais e, possivelmente, relacionadas a fluidos predominantemente metamórficos gerados em níveis crustais inferiores.

O estudo de inclusões fluidas nas gerações de veios de quartzo estudados permitiram reconhecer diferenças nas isócoras que refletem o evento pré-neoproterozóico, Q-IV1 e Q-IV2, do quartzo da última geração de veios estudada, Q-IV4, que mostrou pressões e temperaturas de homogeneização total relativamente mais baixas. Entre os dois veios de quartzo paleoproterozóicos estudados, o Q-IV2 forneceu uma isócora compatível com as condições determinadas pela geotermobarometria, indicando que esse veio teria se formado simultaneamente à atuação hidrotermal propilítica, e conseqüentemente do ouro e sulfetos, nos valores de T e P variando de 428 a 580°C e 5,7 a 8,3 kbar, respectivamente.

Diversos grupos de inclusões fluidas forneceram fortes indícios de imiscibilidade e/ou mistura (faixas mais largas das isócoras extremas, diagrama ThCO_2 versus TfCO_2), que atuaram com maior intensidade nos veios pré-neoproterozóicos, reforçando a hipótese do motivo da desestabilização do ouro e sulfetos dos fluidos mineralizantes.

Foi possível ainda realizar o estudo microtermométrico em inclusões no quartzo na $L_{m/c3}$, internamente ao xisto carbonoso e intimamente relacionado a pirrotita. As isócoras resultantes mostraram grande semelhança com as obtidas do Q-IV2, relacionando-se assim a mineralização dos sulfetos e ouro ao período imediatamente após a formação desses veios.

Os fluidos nas três gerações estudadas dos veios e do quartzo apresentaram propriedades contrastantes sendo que os veios Q-IV1 apresentam fluidos aquo-carbônicos com frações molares de CO_2 sempre acima de 0,2, associado a salinidades baixas, com exceção de inclusões em zonas de imiscibilidade ou mistura. Os veios Q-IV2 mostraram uma grande pureza em água (XH_2O acima de 0,89) e a mais baixa salinidade entre as inclusões dos diversos veios, com uma correlação quase idêntica ao fluido das inclusões contidas no quartzo da $L_{m/c3}$. Estes fluidos tem características semelhantes às encontradas na mineralização epigenética de ouro da mina Shamva no Zimbábue. Neste local foram definidos fluidos metamórficos relacionados à mineralização, com XH_2O variando entre 0,85 e 0,90 e temperaturas de 500 a 530°C (Jelsma *et al.*, 1996). O veio Q-IV4, por sua vez apresenta fluidos nas inclusões com frações molares de CO_2 maiores que Q-IV2, de maneira semelhante aos fluidos de Q-IV1, mas com $\text{XCO}_2 < 0,63$. Isso relaciona a mineralização de sulfetos e ouro a um sistema com fluidos relativamente mais aquosos e de baixa salinidade, em acordo com os fluidos relacionados a outras mineralizações em *greenstone* arqueanas.

FIGURA 104 - Diagrama P-T onde são apresentadas as áreas de possível formação das gerações de veios de quartzo estudadas, com base nos estudos microtermométricos em inclusões fluidas. As setas indicam trajetórias prováveis da evolução dos fluidos. A área de formação do veio Q-IV2 foi sobreposta com os resultados geotermobarométricos, zona essa onde ocorreu a formação dos porfiroblastos metamórficos, principalmente no núcleo da alteração propilítica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. (1968) Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro. *Academia Brasileira de Ciências, Anais*, **40**:280-296.
- ANHAEUSSER, C.R. (1979) The Barberton Mountain Land, South Africa – a guide to understanding of the geology of western Australia. *Geol. Soc. Australia, Special Publication*, **3**:103-119.
- ARANOVICH, L.Y.; BERMAN, R.G. (1990) Optimized standard state and mixing properties of minerals: II. Comparisons, predictions, and applications. *Contributions to Mineralogy & Petrology* (in press).
- ARAÚJO FILHO, J.O de; KUYUMJIAN, R.M. (1991) Implicações dos pontos-quentes (hot-spots) na formação dos greenstone belts de Goiás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 3, Cuiabá, 1991. *Anais...SBG, Núcleo Centro-Oeste/Brasília*, 185-195.
- ARAÚJO FILHO, J.O de; KUYUMJIAN, R.M. (1992) Uma hipótese alternativa para a origem e evolução dos terrenos arqueanos e das seqüências vulcano-sedimentares paleo-proterozóicas de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos, Sessões Temáticas...SBG*, **2**:168-169.
- ARNDT, N. T.; TEIXEIRA, N. A.; WHITE, W.M. (1989) Bizarre geochemistry of komatiites from the Crixás Greenstone Belt, Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **101**(2):187-197.
- BAKKER, R.J. (1997) Clatrates: computer programs to calculate fluid inclusion v-x properties using clathrate melting temperatures. *Computers & Geosciences*, **23**(1):1-18.
- BAKKER, R.J. (2003) Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. *Chemical Geology*, **194**:2-23.
- BARBOSA, O.; BAPTISTA, M.B.; DYER, R.C.; BRAUN, O.P.G.; COTTA, J.C. (1969) *Geologia e Inventário dos Recursos Minerais da Região Central do Estado de Goiás - Projeto Brasília*. DNPM, Série Geologia, nº 18, Seção Geologia Básica, Nº 13, Brasília. DF, 1981.
- BERBERT, C.O.; MELLO, J.C.R. (1970) Notas sobre a ocorrência de ouro na região de Crixás (Goiás). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju, 1973. *Anais... Aracaju, SBG*. p.167-179.
- BERMAN, R.G. (1980) Internally-consistent thermodynamic data for stoichiometric minerals in the system Na₂O-K₂O-CaO-MgO-FeO-Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂-H₂O-CO₂. *Journal of Petrology*, **29**:445-522.
- BERMAN, R.G. (1990) Mixing properties of Ca-Mg-Fe-Mn garnets. *The American Mineralogist*, **75**:328-344.
- BERMAN, R.G. (1990) Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. *Canadian Mineralogist*, **29**:833-855.
- BERMAN, R.G.; ARANOVICH, L.Y. (1990) Optimized standard state and mixing properties of minerals: I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO-MgO-CaO-Al₂O₃-TiO₂-SiO₂. *Contributions to Mineralogy & Petrology* (in press).
- BERMAN, R.G.; ARANOVICH, L.Y.; PATTISON, D.R.M. (1990) Reanalysis of the garnet - clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer. II. Thermodynamic analysis. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, **119**:30-42.
- BETTENCOURT, J.S.; COSTA, A.R.; SOUZA, L.H.; MATOS, T.T. (1991) Controls of gold mineralization in the Córrego Geral Sector, north central section of the Crixás greenstone belt: a preliminary report - In: SYMPOSIUM BRAZIL GOLD 91, Belo Horizonte, 1991, *Proceedings*, Rotterdam, Balkema, p.699-703.
- BLUM, M. de L.B.; PIRES, A.C.B.; MORAES, R.A.V. de (2000) Gravity inversion on the Granite-Greenstone Belt Areas: Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(3):547-550.
- BLUM, M.L.B.; MORAES, R.A.V.; PIRES, A.C.B. (1999) Modelagem e inversão de dados gravimétricos em terrenos granitóide-greenstone belt: Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, VII, e SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, X, *Boletim de Resumos...SBG*, p.115[D4].
- BODNAR, R.J.; VITYK, M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl inclusions. In: De Vivo, B.; Frezzotti, M.L. (Eds.), *Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications*. Virginia Polytechnic Institute Press, p.117-130.

- BORISENKO, A.S. (1978) Study of the salt composition of solutions of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. *Sov. Geol. Geophys.*, **18**:11-19.
- BOYLE, R.W. (1980) *Gold, History and Genesis of Deposits*. New York, Van Nostrand Reinhold, 676 p.
- BROWN, P.E. (1989) FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *American Mineralogist*, **74**:1390-1393.
- BROWN, P.E.; HAGEMANN, S.T. (1995) MacFlinCor and its application to fluids in Archean lode-gold deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59**(19):3943-3952.
- BURCHARD, B; PIZER, D. (2000) *Desvendando o AutoCAD 2000*. Docware Traduções Técnicas, Rio de Janeiro, Ed. Campus, 971p.
- CARMO, S.D. (1978) Programação e execução do Projeto Geofísico Brasil-Canadá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, *Anais...* SBG, **5**:2233-2247
- CASTRO, J.H.G. de; MAGALHÃES, L.F. (1984) Revisão estratigráfica do Grupo Pilar de Goiás na Faixa Crixás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* SBG, **6**:2563-2576.
- CASTRO, J.H.G.; MAGALHÃES, L.F.; BORGES, O.C. (1980) Ouro na Faixa Crixás: sistemática de prospecção e pesquisa. In: SIMPÓSIO SOBRE MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NO ESTADO DA BAHIA, 1. Salvador, 1983. *Anais...*, Salvador, SBG. p. 47-55.
- COELHO R.F. (1999) *Caracterização mineralógica de minério das Jazidas Auríferas Mina III e Mina Nova, Greenstone Belt de Crixás (GO)*. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 125p.
- CONDIE, K.C. (1981) *Developments in Precambrian Geology 3: Archean Greenstone Belts*. Elsevier, Amsterdam, 434p.
- COOKE, D.R.; SIMMONS, S.T. (2000) Characteristics and Genesis of Epithermal Gold Deposits. *SEG Reviews*, **13**:221-244.
- CORDANI U.G., MILANI E.J., CAMPOS D.A. (edit.) (2000) *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Congress, Rio de Janeiro, 856p.
- COSTA, A.L.L. (1990) *Seqüência Mina Inglesa: caracterização química das rochas granitóides associadas, Crixás-GO*. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília.
- COSTA, S.A.G. (1980) Correlação da seqüência encaixante das esmeraldas de Santa Terezinha de Goiás com terrenos da tipo Greenstone Belt de Crixás e topologia dos depósitos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, *Anais...* SBG, **2**:597-614.
- CRAWFORD, M.L. (1981) *Phase equilibria in aqueous inclusions*. Mineral. Assoc. Canada. Short Course Handbook, **6**:75-100.
- DANNI, J.C.M. (1988) Os Greenstone Belts da Província Tocantins no Estado de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **18**(4):381-390.
- DANNI, J.C.M.; RIBEIRO, C.C. (1978) Caracterização Estratigráfica da seqüência Vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 30. Recife, 1978, *Anais...* Recife, SBG, **2**:582-596.
- DANNI, J.C.M.; LEONARDOS, O.H.; ANDRADE, G.F. de (1980) Feições vulcânicas das rochas ultramáficas de Hidrolina, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camburiú, 1980. *Anais...* SBG, **4**:1997-2003.
- DANNI, J.C.M.; JOST, H.; WINGE, M.; ANDRADE, G.F. (1986) Aspectos da evolução dos terrenos granito-greenstone: exemplo da região de Hidrolina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Anais...* SBG, **2**:570-584.
- DAVIS, D.W., LOWESTEIN, T.K., SPENCER, R.J. (1990) Melting behaviour of fluid inclusions in laboratory-grown halites crystal in the systems NaCl-H₂O, NaCl-KCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O and NaCl-CaCl₂-H₂O. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**:591-601.
- de WIT, M. J.; ASHWAL, L.D. (1997) *Greenstone Belts*. Oxford University Press, New York, 810p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1960) *Minerais constituintes das rochas – uma introdução*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, Sociedade Gráfica Telles da Silva Ltda, Tradução de L.E.N., Conde, 558 p.
- DIAMOND, L.D. (1990) Fluid inclusion evidence for P-V-T-X evolution of hydrothermal solutions in late Alpine gold-quartz veins at Brusson, Val D'Ayas, Northwest Italian Alps. *American Journal of Science*, **290**:912-958.
- DICKSON, J.A.D. (1960) A modified staining technique for carbonates in thin section. *Nature*, **205**(1):587.

- DICKSON, J.A.D. (1960) Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimentary Petrology*, **32**(2):491-505.
- DIX, G.R.; THOMSON, M.L.; LONGSTAFFE, F.J.; McNUTT, R.H. (1995) Systematic decrease of high $\delta^{13}\text{C}$ values with burial in late Archaean (2.8 Ga) diagenetic dolomite: evidence for methanogenesis from the Crixás Greenstone Belt, Brazil. *Precambrian Research*, **70**:253-268.
- DUGDALE, A.L.; HAGEMANN, S.G. (2001) The Bronzewing lode-gold deposit, Western Australia: P-T-X evidence for fluid immiscibility caused by cyclic decompression in gold-bearing quartz-veins. *Chemical Geology*, **173**: 59-90.
- FIGUEIREDO, M.C.H.; KRONBERG, B.I. (1980) LRE-Enriched komatiites from Crixás, Central Brazil. In: GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST, Symposium, Poços de Caldas, *Proceedings*, p. 209-216
- FORTES, P.T.F.O. (1991) *Geologia do depósito aurífero Mina III, Crixás, Goiás*. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 194 p.
- FORTES, P.T.F.O. (1996) *Metalogênia dos depósitos auríferos Mina III, Mina Nova e Mina Inglesa, greenstone belt de Crixás, Goiás*. Brasília, Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Brasília, 177 p.
- FORTES P.T.F.O.; GIULIANI G. (1990) Les phases fluides associées aux corps sulfurés du gisement d'or Mina III, ceinture de roches vertes de Crixás, Etat de Goiás, Brésil. *Comptes Rendues Académie des Sciences de Paris*, T. 320, serie Iia, p.1171-1178.
- FORTES P.T.F.O., NILSON A.A. (1990) Geologia do Depósito Aurífero Mina III, Crixas, Goiás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 3, Cuiabá. *Anais...* SBG, Núcleo Centro-Oeste e Brasília, p. 1-14.
- FORTES, P.T.F.O.; JOST, H. (1990) Mettallogeny of Mina III, Mina Nova and Mina Inglesa gold deposits, Crixás Greenstone Belt, Central Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. *Anais...* SBG, Núcleo Bahia - Sergipe, 7:234-236.
- FORTES, P.T.F.O.; RESENDE L. (1990) Nota preliminar do depósito aurífero Mina Inglesa, Crixás, GO. SBG/Núcleo Centro-Oeste, *Boletim Informativo*, **16**:145-156.
- FORTES, P.T.F.O.; TAKAKI, T. (1992) Estudo preliminar dde Isótopos de C em Xistos carbonosos e Mármore do Depósito Aurífero Mina III, Crixás, GO. SBG, Núcleo Centro-Oeste, *Boletim Informativo* **15**: 91-98.
- FORTES, P.T.F.O.; GIULIANI, G (1992) Estudo preliminar dos fluidos associados aos corpos de sulfeto maciço do Depósito Aurífero Mina III, Crixás, GO. SBG, Núcleo Centro-Oeste, *Boletim Informativo*, **15**: 99-109.
- FORTES, P.T.F.O.; TAKAKI, T. (1993) Estudo dos isótopos de carbono e oxigênio em rochas encaixantes do depósito aurífero Mina III, Crixás, Goiás. IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, *Resumos Expandidos*, p.186-188.
- FORTES, P.T.F.O.; JOST, H. (1996) Mettallogeny of Mina III, Mina Nova and Mina Inglesa gold deposits, Crixás Greenstone Belt, Central Brasil. In: SYMPOSIUM OF ARCHEAN TERRANES OF THE SOUTH AMERICA PLATFORM, Brasília, *Extended Abstracts...* SBG, p.18-19.
- FORTES, P. T. F. O.; CHEILLETZ, A.; GIULIANI, G. (1990) K/Ar and Ar/Ar geocronology of Mina III gold deposit, Crixás Greenstone Belt, Central Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. *Anais...* SBG, Núcleo Bahia e Sergipe, 7:316-318.
- FORTES, P.T.F.O.; NILSON, A.A.; JOST, H. (1992) Evolução do conhecimento sobre a geologia e o potencial aurífero dos "Greenstone Belts" da região de Crixás-Pilar de Goiás, GO. SBG, Núcleo Centro-Oeste, *Boletim Informativo*, **15**:65-89.
- FORTES P.T.F.O., GIULIANI G., COELHO R.F. (1994) Estudo de inclusões fluidas associadas ao veio de quartzo mineralizado do depósito aurífero Mina III, Crixás, GO. SBG/Núcleo Centro-Oeste, *Boletim de Geociências do Centro-Oeste*, **17**(1/2):13-19.
- FORTES P. T. F. O., COELHO R.F., GIULIANI G. (2000) Au/Ag Ratio variations at Mina III, Mina Nova and mina Inglesa Gold Deposits, Crixás Greenstone Belt, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(2):246-250.
- FORTES, P. T. F. O.; CHEILLETZ, A.; GIULIANI, G.; FÉRAUD, G. (1997) A Brasiliano age (500 ± 5 Ma) for the Mina III Gold Deposit, Crixás Greenstone Belt, Central Brazil. *International Geology Review*, **39**(5): 449-460.
- FORTES, P.T.F.O.; GIULIANI, G.; TAKAKI, T.; PIMENTEL, M. M.; TEIXEIRA, W. (1990) Aspectos geoquímicos do depósito aurífero Mina III, greenstone belt de Crixás, Goiás. *Geochimica Brasiliensis*, **9**(1):13-31.

- FRIEDMAN, G.M. (1950) Identification of carbonate minerals by staining methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, **29**(1), 87-97.
- FRIEDMAN, G.M.; SANDERS, J.E. (1978) *Principles of Sedimentology*. – John Wiley & Sons, USA, 792p.
- FROELICH, P.N.; BENDER, M.L.; LUEDTKE, N.A.; HEATH, G.R.; DEVRIES, T. (1982) The marine phosphorus cycle. *Am. J. Sci.* **282**:474-511.
- FUCK, R.A. (1994) A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. SBG, Simpósio Geologia Centro-Oeste, 4, Brasília, *Resumos Expandidos*, p.184-187.
- FUCK, R.A.; JARDIM DE SÁ, E.F.; PIMENTEL, M.M.; DARDENNE, M.A.; PEDROSA SOARES, A.C. (1993) As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco: síntese dos conhecimentos. In: Dominguez, J.M.L. & Misi, A. (eds.) O Craton do São Francisco. SBG, Núcleos Bahia e Sergipe, p. 161-185.
- GOLDSTEIN, R.H. (1986) Reequilibration of fluid inclusions in low temperature calcium-carbonate cement. *Geology*, **14**:792-795.
- GOLDSTEIN, R.H.; REYNOLDS, T.J. (1994) *Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals*. Society for Sedimentary Geology, Short Course 31. 199p.
- GOMES, C.B. (ed.) (1980) *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia*. São Paulo, Edgard Blücher Ltda., 218 p.
- HARRAZ, H.Z. (1999) Wall rock alteration, Atud gold mine, Eastern Desert, Egypt: processes and P-T-XCO₂ conditions of metassomatism. *Journal of African Earth Sciences*, **28**(3):527-551.
- HUTCHISON, C.S. (1974). *Laboratory handbook of petrographic techniques*. p. 24-26.
- JACOBS, G.K.; KERRICK, D.M. (1981) Methane: an equation of state with application to the ternary system H₂O-CO₂-CH₄. *Geochimica and Cosmochimica Acta*. **45**:607-614.
- JÉBRAK, M. (1997) Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanismus, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews*, **12**:111-134.
- JELSMA, H.A.; HUIZENGA, J.M.; TOURET, J.L.R. (1996) Fluids and epigenetic gol mineralization at Shamva Mine, Zimbabwe: a combined structural and fluid inclusion study. *Journal of African Earth Sciences*, **27**(1):55-70.
- JOST, H.; FERREIRA FILHO, C.F. (1987) *Geologia da porção sul do greenstone belt de Guarinos, GO*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 37p. (unpublished report).
- JOST H.; OSBORNE G.A. (1990) The Guarinos Greenstone Belt: two contrasting stratigraphic domains juxtaposed by the Gold-bearing strike-slip fault of the Maria Lázara trens. (submitted to Revista Brasileira de Geociências).
- JOST, H.; DANNI, J.C.M. (1990) Relações tectônicas entre gnaisses e greenstone belts na região de Crixás, Goiás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Natal, 1990. *Bol. Resumos...* Natal, SBG. p. 258.
- JOST, H.; OLIVEIRA, A. M. (1991) Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás Region, Goiás, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **4**(3):201-214.
- JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M. (1998a) Field characteristics and geochemistry of metabasalts of the Crixás region greenstone belts. (in preparation).
- JOST, H.; OSBORNE, G.A. (1998b) The Guarinos greenstone belt: two contrasting stratigraphic and structural domains juxtaposed by a strike-slip fault. *Revista Brasileira de Geociências* (submetido)
- JOST, H.; FORTES, P. T. F. E. (2001) Gold deposits and occurrences of the Crixás Goldfield, central Brazil. *Mineralium Deposita*. **36**:358-376.
- JOST H., FIGUEIREDO A.M.G., FERREIRA A.V. (1990) Elementos em traço e a proveniência clástica na transição de ambiente euxênico para turbidítico em metassedimentos do greenstone belt de Guarinos, goiás. In: SBGq, V Congresso Brasileiro de Geoquímica, Niterói, Anais em CD-ROM....1995, 4p.
- JOST H., KUYUMJIAN R.M., SILVA C.A. (1990) Características geoquímicas e a proveniência dos metassedimentos arqueanos do Grupo Guarinos, GO. Soc. Bras. Geoqu., IV Congresso Brasileiro de Geoquímica, Brasília, *anais em CD-ROM*, p.109-112.
- JOST, H.; OLIVEIRA, A.M.; VARGAS, M.C. (1992) Petrography, geochemistry, and structural control of trondhjemitic intrusions in greenstone belts of the Crixás region, Central Brazil. SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, *Resumos Expandidos*, **1**:43-44.
- JOST H.; CARMELO A.C.; MENEZES P.R. (1994a) Litologias, relações de contato e estrutura do Bloco Caiamar, Crixás, Goiás. *Resumos Expandidos*, IV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Brasília, SBG, 18-20.

- JOST H.; FIGUEIREDO A.M.G.; FERREIRA A.V. (1996a) Are all detrital metasedimentary rocks of the Crixás greenstone belt Archean and of the same provenance? A discussion based on REE geochemistry. I Symposium on Archean of the South American Platform, Brasília, *Extended Abstracts*, p.44-47.
- JOST, H.; VARGAS, M.C.; GULGELMIN, V.; OLIVEIRA, S.R.M. (1989) Sequência Morro Escuro: Uma nova unidade estratigráfica do Arqueano/Proterozóico Inferior na região de Crixás, Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **19**:283-289.
- JOST H.; THEODORO S.M.C.H.; FIGUEIREDO A.M.G.; BOAVENTURA G.R. (1996b) Propriedades geoquímicas e proveniência de rochas metassedimentares detríticas arqueanas dos greenstone-belts de Crixás e Guarinos, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **26**:151-166.
- JOST, H.; PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C.M.; HEAMAN, L. (1993) Idade U-Pb do Diorito Posselândia, Hidrolina, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **23**(4):352-355
- JOST, H.; VARGAS, M.C.; FUCK, R.A. , KUYUMJIAN, R.M.; PIRES, A.C.B. (1994b) Relações de contato, litologias, geologia estrutural e geofísica do Bloco Arqueano do Moqué, Crixás, Goiás. SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, IV, Brasília, *Resumos Expandidos*, p. 15-17.
- JOST H.; RESENDE M.; KUYUMJIAN, R.M.; QUEIROZ, C.L.; OSBORNE, G.A.; BLUM M.L.B.; PIRES A.C.B.; MORAES R.A.V. (1990) Terrenos Arqueanos de Goiás. In: Geotectônica do Brasil, ed. Hasui Y. e Sena Costa R. (in press).
- JOST, H.; KUYUMJIAN, R. M.; FREITAS, A.L.S.; COSTA, A.L.L.; NASCIMENTO, C.T.C.; VASCONCELOS, F.M.; GALOTTI, L.; MARTINS, M.C.A.; CARVALHO, M.N.; CONDÉ, V.C. (1995) Geologia da porção norte do Greenstone Belt de Guarinos, GO. *Revista Brasileira de Geociências*, **25**:11-20.
- KERRICK, D.M. (1974) Review of metamorphic mixed-volatile (H₂O-CO₂) equilibria. *The American Mineralogist*, **59**(7/8):729-726.
- KUYUMJIAN, R.M. (1981) Geologia e mineralizações auríferas do Greenstone Belt da Faixa Crixás - GO. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 67p.
- KUYUMJIAN, R.M. (1982) Caracterização geoquímica preliminar das rochas graníticas associadas ao greenstone belt da faixa Crixás - GO. Goiânia, SBG. *Boletim Informativo*. **11**:23-29 .
- KUYUMJIAN, R.M. (1990) Geochemistry of Archean komatiitic basalts and speculations on the evolution of greenstone terranes, Goiás, Central Brazil. In: International Archean Symposium, 3, Perth, Australia, *Extended Abstracts Volume*, pg.: 257-258
- KUYUMJIAN, R.M. (1990) Mafic dike swarms of the Goiás Massif, Central Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**:45-50.
- KUYUMJIAN, R.M. (1990) Mobilidade de Elementos Terras Raras em metabasaltos de baixo (Crixás) e alto (Chapada) graus metamórficos. *Geochimica Brasiliensis*, **4**:1-8.
- KUYUMJIAN, R.M. (1993) Quimismo e significado geotectônico dos metabasaltos pré-cambrianos do Maciço de Goiás. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, Salvador, 1993. *Anais...SBG, Núcleo Bahia/Sergipe e SGM*, p. 101-105.
- KUYUMJIAN, R.M.; DARDENNE, M.A. (1981) Geochemical Characteristics of the Crixas Greenstone Belt, Goiás, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **12**(1-3):324-330.
- KUYUMJIAN, R. M.; TEIXEIRA, N. A. (1982) Um novo tipo de estrutura em lavas ultramáficas: greenstone belt de Crixás, GO. *Revista Brasileira de Geociências*, **12**:572-577
- KUYUMJIAN, R.M.; DARDENNE, M.A. (1983) O Controle das mineralizações auríferas no greenstone belt da faixa Crixás - GO. In: Simpósio sobre Mineralizações Auríferas no Estado da Bahia, 1. Salvador, 1983. *Anais*, Salvador, SBG. p.47-59.
- KUYUMJIAN, R.M.; ARAÚJO FILHO, J.O. de (1984) Contribuição à tectônica do Greenstone Belt da Faixa Crixás. *Revista Brasileira de Geociências*, **14**(2):92-96.
- KUYUMJIAN, R.M.; DIAS, R.R. (1991a) Variações e implicações geotectônicas de alguns elementos traço incompatíveis nos anfibolitos Proterozóicos do Maciço de Goiás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 3, Cuiabá, 1991. *Anais... Cuiabá, SBG, Núcleo Centro Oeste e Brasília*, p. 196-199.
- KUYUMJIAN, R.M.; DIAS, R.R. (1992) Anfibolitos proterozóicos de Goiás, Brasil: representantes de vulcanismo basáltico de arcos magmáticos? *Geochimica Brasiliensis*, **6**(1/2): 35-44.

- KUYUMJIAN, R.M.; JOST, H. (1993) Significado petrogenético de elementos Terras Raras em rochas komatiíticas do greenstone de Guarinos: resultados preliminares - Sociedade Brasileira de Geoquímica, Congresso Brasileiro de Geoquímica, 4, *Anais*, p.17-19
- KUYUMJIAN, R.M.; TEIXEIRA (1993) Um novo tipo de estrutura em lavas ultramáficas: Greenstone Belt Crixás, GO. *Revista Brasileira de Geociências*, **12**(4): 572-577.
- KUYUMJIAN R.M., COSTA A.L.L. (1999) Geologia, geoquímica e mineralizações auríferas da seqüência Mina Inglesa, Greenstone Belt de Crixás, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**(3):313-318.
- LACERDA, H. (1997) Mapa Geológico 1/100.000 do Distrito Mineiro do Greenstone-Belt de Crixás-Guarinos-Pilar de Goiás (GO): versão preliminar. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 6, Cuiabá, 1997. *Anais...SBG, Núcleo Centro-Oeste/Brasília*, p.65-67.
- LACERDA, H.; LIMA JÚNIOR, E.A. (1996) Mapa geológico do greenstone belt de Crixás - faixas Guarinos e Pilar de Goiás. MME/DNPM, 6º Distrito, Goiânia (inédito)
- LEAKE, B.E. (CHAIRMAN) (1997) Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist*, **82**:1019-1037.
- LINDAAS, S.E.; KULIS, J.; CAMPBELL, A.R. (2002) Near-Infrared Observation and Microthermometry of Pyrite-Hosted Fluid Inclusions. *Economic Geology*, **97**: 603-618.
- MAGALHÃES, L.F. (1991) Cinturão de cisalhamento de empurrão Córrego Geral-Meia Patoca: geologia, deformação, alteração hidrotermal e mineralizações auríferas associadas (Crixás, Goiás). Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 233 p.
- MAGALHÃES, L.F.; LOBO, R.L. de M. (1986) Greenstone Belt de Crixás – Faixa Crixás – Geologia e Mineralizações Auríferas (Mina Pompex e Mina III). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Roteiro das Excursões Técnico-científica...SBG*, **2**:69-72.
- MAGALHÃES, L.F.; NÍLSON, A.A. (1992) Geologia do Cinturão de Cisalhamento de Empurrão Córrego Geral-Meia Patoca e mineralização aurífera associada, Crixás, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos... SBG, Núcleo de São Paulo*, **1**:225-226.
- MAGALHÃES, L.F.; NILSON, A.A. (1993) Controle lito-estrutural e características da mineralização aurífera da região do Córrego Geral-Meia Patoca, Crixás (GO). SBG, Núcleo Centro-Oeste, *Boletim Informativo*, **16**: 25-49.
- MAGALHÃES, L.F.; NILSON, A.A. (1993) Litoquímica das metagrauvacas do Greenstone Belt de Crixás e sua importância para a evolução dos terrenos arqueanos de Goiás. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, Salvador, 1993. *Anais...SBG, Núcleo Bahia/Sergipe e SGM*, p. 106-108.
- MAGALHÃES, L.F.; CASTRO, J.H.G.; BORGES, O.C. (1984) Geologia, prospecção e pesquisa de ouro no greenstone belt de Crixás - Algumas Considerações. In: Encontro Regional do Ouro de Goiás, 1. Goiânia, 1984. *Anais...Goiânia, SBG*, p. 26- 51.
- MAGALHÃES, L.F.; LOBO, R.L.M.; BOTELHO, L.C.A.; PEREIRA, R.C. (1988) Depósito de ouro de Meia-Patoca, Crixás - GO. In: DNPM/CVRD. *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, Vol. III, cap. XXXV, Brasília, DF, p. 499-522.
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DARDENNE, M.A.; DANNI, J.C.M. (1984) Província do Tocantins, Setores Central e Sudeste. In: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. coord. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher, p. 205-264.
- MAVROGENES, J.A.; BODNAR, R.J. GRANEY, J.R., MCQUEEN, K.G.; BURLINSON, K. (1995) Comparison of decrepitation, microthermometric and compositional characteristics of fluid inclusions in barren and auriferous mesothermal quartz veins in the Cowra Creek gold district. New South Wales, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*. **54**:167-175.
- MERNAGH, T. P. (2000) A fluid inclusion study of the Fosterville Mine: a turbidite-hosted gold field in the Western Lachlan Fold Belt, Victoria, Australia. *Chemical Geology* **173**: 91-106.
- MIKUCKI, E.J. (1997) Hydrothermal transport and depositional processes in Archean lode-gold systems: A review. *Ore Geology Reviews*, **13**:307-321.
- MONTALVÃO, R.M.G. (1985) Evolução geotectônica dos terrenos granitóide-greenstone gelts de Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás-Hidrolina (Goiás). São Paulo Disertação de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 372p..

- MONTALVÃO, R. M. G. de (1986) Evolução geotectônica dos terrenos granitóides-greenstone belts de Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás-Hidrolina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Anais...SBG*, 2:585-596.
- MONTALVÃO, R.M.G.; ARAÚJO, H.T. (1979) Reconhecimento geológico na região de Crixás-Auriverde-Guarinos-Pilar de Goiás-Hidrolina-Itapaci. Folha SD.22, Goiás. Projeto RADAMBRASIL (Relatório Interno), Goiânia, GO, 24p.
- MONTALVÃO, R. M. G.; LOPES, L.M.; PEREIRA, L.G. da M. (1981) Petrografia dos Komatiitos de Crixás – Goiás. SBG, Núcleo Centro-Oeste, Boletim Informativo 10: 89-127.
- MONTALVÃO, R. M. G. de; HILDRED, P.D.; BEZERRA, P.E.L.; PRADO, P.; SILVA, S. de J. (1982) Petrographic and chemical aspects of the mafic-ultramafic rocks of the Crixás, Guarinos, Pilar de Goiás-Hidrolina and Goiás Greenstone Belt, Central Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 12(1-3):331-347.
- MORRISON G.W., ROSE W.J., JAIRETH S. (1991) Geological e geochemical controls on the silver content (fineness) of gold in gold-silver deposits. *Ore Geology Reviews*, 6:333-364.
- OAKES, C.S., BODNAR, R.J., SIMONSON, J.M. (1990) The system NaCl-CaCl₂-H₂O The ice liquidus at 1 atm total pressure. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54:603-610.
- PASSCHIER, C.W.; TROUW, R.A.J. (1996) *Microtectonics*. Springer-Verlag. 289p.
- PHILLIPS, G.N.; POWELL, R. (1993) Link between gold provinces. *Economic Geology*, 88:1084-1098.
- PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A. (1987) Origem e evolução de rochas meta-vulcânicas da região de Arenópolis. GO. *Revista Brasileira de Geociências*, 17(1):2-14.
- PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; DELL'REY SILVA, J.L.H. (1996) Dados Rb-Sr e Sm-Nd da região de Jussara-Goiás-Mossâmedes (GO), e o limite entre terrenos antigos do Maciço de Goiás e o Arco Magmático de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 26:61-70
- PIRAJNO (1992) Hydrothermal mineral deposits. *Principles and fundamental concepts for the exploration geologist*. Berlin, Springer-Verlag, 709p.
- PIRES A.C.B. (1995) Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás, *Revista Brasileira de Geociências*, 25(1):61-68.
- POKROVSKI, G.S.; KARA, S.; ROUX, J. (2002) Stability and solubility of arsenopyrite, FeAsS, in crustal fluids. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 66(13):2361-2378.
- PULZ, G.M. (1990) *Geologia do depósito aurífero tipo Maria Lázara (Guarinos, Goiás)*. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 139 p.
- PULZ, G.M. (1995) *Modelos prospectivos para ouro em Greenstone Belts: O exemplo dos depósitos Maria Lázara, Guarinos e Ogó, Pilar de Goiás*. Brasília, Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Brasília, 189p.
- QUEIROZ, C.L. (1995) *Caracterização dos domínios estruturais e da arquitetura do Greenstone Belt de Crixás (GO)*. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 119 p.
- QUEIROZ, C.L. (2000) *Evolução tectono-estrutural dos terrenos granito-greenstone belt de Crixás, GO*. Brasília, Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Brasília.
- QUEROZ, C.L.; McNAUGHTON, N.J.; JOST (1999) Formation of a dome-and-keel province: 150 Ma of granitoid magmatism in the Crixás granite-greenstone belt terrane. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, VII, e SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, X, *Boletim de Resumos...SBG*, p.71[D17].
- QUEIROZ, C.L.; FORTES, P.T.F.O.; ALKIMIN, F.F.; JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M. (1997) Relações entre o controle estrutural da Mina III e a evolução estrutural do Greenstone Belt de Crixás, GO: Simpósio Nacional Estudos Tectônicos, 6, Pirenópolis, *Resumos Expandidos*, p. 343-345.
- RADAELLI V.A. (1990) *Relatório final da Folha Anápolis SE-22-Y-B-II*. Goiânia. DNPM/CPRM.
- RADAELLI V.A. (1992) Archean basement structural features overprinted by Araxá proterozóic orogeny and related gold, tin and emerald deposits in Goiás. SBG, 37 Cong. Bras. Geol., *Bol. de Resumos Expandidos*, São Paulo. 1:223-224.
- RAMBOZ, C.; PICHAVANT, M.; WEISBROD, A. (1982) Fluid immiscibility in natural processes: use and misuse of fluid inclusion data: II. Interpretation of fluid inclusion data in terms of immiscibility. *Chemical Geology*. 37: 29-48.
- RASMUSSEN, B.; KRAPEZ, B.; GROVES, D.I. (1999) The association between hydrocarbons and mineralization: A case study from Lennard Shelf of Western Australia in: Dunphy, J.M.; Hagemann, S.G. (1999) *Seminar on*

- Recent Advances in Ore Genesis*, Centre for Teaching and Research in Strategic Mineral Deposits, UWA, Western Australia.
- RIDLEY, J.; GROVES, D.I.; HAGEMANN, S.G. (1995) Exploration and Deposit Models for Gold Deposits in Amphibolit/Granulite Facies Terrains. MERIWA, Rep. 142, 126p.
- ROEDDER, E. (1984) *Fluid Inclusions*. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy, **12**:644p.
- RONDE, C. E. J. de; SPOONER, E.T.C.; WIT, M.J. de; BRAY, C.J. (1992) Shear Zone-Related, Au Quartz Vein Deposits in the Barberton Greenstone Belt, South África: Field and Petrographic Characteristics, Fluid Properties and Light Stable Isotope Geochemistry. *Economic Geology*, **87**:366-402.
- SABOIA, L.A. (1979) Os "Greenstone Belts" de Crixás e Goiás - GO. SBG, Núcleo Centro-Oeste, *Boletim Informativo*, **9**:44-72.
- SABOIA, L. A.; TEIXEIRA, N. A. (1980) Lavas ultrabásicas da unidade basal de Greenstone Belt de Crixás (GO): Uma nova classe de rochas ultrabásicas no Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **10**(1): 28-42.
- SABOIA, L.A.; TEIXEIRA, N.A. (1983) Ultramafic flows of the Crixás greenstone belt, Goiás, Brazil. *Precambrian Research*, **22**:23-40.
- SABOIA, L.A.; TEIXEIRA, N.A.; CASTRO, J.H.G.; TEIXEIRA, A.S. (1981) Geologia do "Greenstone Belt" de Crixás (GO) e suas implicações geotectônicas In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 1, Salvador, 1981. *Anais...* Salvador, SBG, Parte II, Núcleo Bahia, p. 39-50.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZI, G.R.; ASMUS, H.E. (1981) *Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais*. DNPM, Brasília
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. DE A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (Coord.) (1984) *Geologia do Brasil*, DNPM, Brasília, 501p.
- SCHOBENHAUS FILHO, C.; RIBEIRO, C.L.; OLIVA, L.A.; TAKANOHASHI, J.T.; LINDEMAYER, Z.G.; VASCONCELOS, J.B.; ORLANDO, V. (1975) *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha de Goiás (SD-22)*. Brasília, MME/DNPM. 114p.
- SIBSON, R.H., ROBERT, F., POULSEN, K.H. (1988) High angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*. **16**:551-555.
- SPANGENBERG, J.E., FRIMMEL, H.E. (2001) Basin-internal derivation of hydrocarbons in the Witwatersrand Basin, South Africa: evidence from bulk and molecular $\delta^{13}\text{C}$ data. *Chemical Geology*, **173**:339-355.
- SUGUIO, K. (1998) *Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1222p.
- TAKENOUCHI, S.; KENNEDY, G.C. (1965) The solubility of carbon dioxide in NaCl solutions at high temperatures and pressures. *American Journal of Science*, **263**:445-454.
- TEIXEIRA, A.S. (1981) Geologia da região de Goiás-Faina. SBG, Simpósio Geologia Centro-Oeste, *Atas*, Goiânia, p. 344-360.
- TEIXEIRA, N.A.; SABOIA, L.A.; FERREIRA, M.C.B.; TEIXEIRA, A.S.; CASTRO J.H.G. (1981) Estruturas e texturas das lavas ultrabásicas e básicas do greenstone belt de Crixás, Goiás, Brasil. SBG, Núcleo do Centro-Oeste, *Boletim Informativo*, **10**:33-87.
- THEODORO S.M.C.H. (1995) Ambiente de sedimentação da Formação Ribeirão das Antas, Grupo Crixás - Goiás. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 88p.
- THEODORO S.M.C.H.; Jost, H. (1996) The discovery of primary sedimentary structures in Archean marbles of the Crixás greenstone belt, Central Brazil. In: Symposium Archean Terr. South Amer. Platform, Brasília, 1996, *Extended Abstract*, 41-42.
- THIÉRY, R.; VAN DER KERKHOFF, A.F.; DUBESSY, F. (1994) vX properties of $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ and $\text{CO}_2\text{-N}_2$ fluid inclusions: modelling for $T < 31^\circ\text{C}$ and $P < 400$ bar. *European Journal of Mineralogie*. **6**:753-771.
- THOMSON, M.L. (1986) Petrology of the Crixás gold deposit, Brazil: evidence for gold associated with hydrothermal alteration subsequent to metamorphism. In: A.J. MacDonald editor GOLD'86: An International Symposium on the Geology of Gold, *proceedings*, p.284-296.
- THOMSON, M.L. (1987) *The Crixás Gold Deposit, Brazil: Metamorphism, Metasomatism and Gold Mineralization*. Ontário, Canadá, Dissertação de Doutorado, Univ. Western Ontário, Canada, 345p.
- THOMSON, M.L. (1991) Multiphase deformation and metamorphism of the Crixás Greenstone Belt, Goiás, Brazil: Evidence from poikiloblast inclusion trails and metamorphic mineral assemblages. *Journal of South American Earth Sciences*, **4**(1/2): 119-130.

- THOMSON, M.L. (1991) Wall-Rock alteration related to Au mineralization in the low amphibolite facies: Crixás Gold Mine, Goiás, Brazil. *Canadian Mineralogist*, **29**:461-480.
- THOMSON, M.L.; FYFE, W.S. (1990) The Crixás Gold Deposit, Brazil: Thrust-Related Postpeak Metamorphic Gold Mineralisation of Possible Brasiliano Cycle Age. *Economic Geology*, **85**:928-942.
- VARGAS, M.C. (1992) Geologia dos granito-gnaisses dos terrenos granito-greenstone da região de Crixás, Guarino, Pilar de Goiás e Hidrolina, Goiás. Brasília, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 167p.
- VILJOEN, M.J., VILJOEN, M.J. (1969) The geology and geochemistry of the lower ultramafic unit of the Onverwacht group and a proposed new class of igneous rock. Geological Society of South Africa, *Special Publication*, **2**:55-86.
- VIVO, B. DE; REZZOTTI, M. L. (1994) *Fluid Inclusion in Minerals: Methods and Applications*. Short Course of the Working Group (IMA) "Inclusions in Minerals" Pontignano – Siena, 376p.
- WARNE, S.S.J. (1960) A quick field or laboratory staining carbonate minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, **32**(1):29-38.
- WHEAT, C.G.; FEELY, R.A.; MOTT, M.J. (1996) Phosphate removal by oceanic hydrothermal process: an update of the phosphorous budget in the oceans. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **60**:3593-3608.
- WILLIAMS, P.J. (1997) A metamorphosed, stratabound-epigenetic origin for a gruneritic Archean gold deposit, Barbetown, South Africa. *Ore Geology Reviews*, **12**:135-151.
- WORT, M.J.; JONES, M.P. (1980) X-Ray Diffraction and Magnetic Studies of Altered Ilmenite and Pseudorutile. *Mineralogical Magazine*, **43**: 659-663.
- YAMAOKA, W.N.; ARAÚJO, E. M. (1986) Mineralização de Ouro da Mina III. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, Goiânia, 1986. *Roteiro das Excursões Técnico-científica...* SBG, **2**:77-78.
- YAMAOKA, W. N.; ARAÚJO, E. M. (1988) Depósito de Ouro Mina III, Crixás, Goiás, In: Schobbenhaus, C. & Coelho, C. E. S. (Eds.) *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, v. III, Capítulo XXXIV. Brasília, DNPM/CVRD, p. 491-498.
- YAMAOKA, W.N.; ARAÚJO, E.M.; GARCIA, M.P. (1985) *Relatório Final de Pesquisa*, Mineração Serra Grande Ltda., Crixás, Goiás (inédito).

VITA

Klaus Juergen Petersen Jr. was born in January 20th, 1964 in Santo André, São Paulo state, Brazil. He received his Diploma in Geology Engineering from the Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil in 1988, following 3 years as director of the ENGEO Geologia Ltda., working exclusively to DOCEGEO/Vale do Rio Doce Company in gold exploration. The next 5 years he dealt with gems commerce as director of the Minas Gems Com. e Exp. Ltda. (exploration, cutting, enhancement and exporting of gemstones). After enrollement in the Institute of Geocience at the Universidade de São Paulo completed his MSc Project in Petrology and Mineralogy in 1998 (study of a new alexandrite occurrence) and completed his PhD in 2003. He accepted an invitation to work on a one year project with fluid inclusion study at the Centre for Global Metalogeny, University of Western Australia and plans to start a postdoctoral position in gold metalogeny at the same centre in 2005.

Klaus Juergen Petersen Jr.

ANEXO 2

TABELAS DE ANÁLISES DE QUÍMICA MINERAL

CORPO IV

IV-22-16303

C1	656	657	658	659	660	661	662	663	C1	681	682	C1	711	712	713	C2	600	C2	716	717	C3	684
O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 22	BT	BT	O = 6	CAB	CAB	CAB	O = 6	CAB	O = 31	TUR	TUR	O = 22	BT
SiO ₂	36.77	37.30	36.83	36.82	36.80	36.91	36.80	37.53	SiO ₂	34.73	34.50	SiO ₂	0.01	0.02	0.03	SiO ₂	0.05	SiO ₂	36.78	35.16	SiO ₂	34.80
Al ₂ O ₃	20.89	20.86	20.96	20.99	20.99	20.73	20.77	21.31	TiO ₂	1.53	1.66	FeO	13.21	13.29	13.36	Al ₂ O ₃	0.01	TiO ₂	0.65	0.64	TiO ₂	1.76
TiO ₂	0.03	0.04	0.09	0.03	0.10	0.14	0.01	0.04	Al ₂ O ₃	18.08	17.74	MnO	1.44	1.24	1.39	TiO ₂	0.00	Al ₂ O ₃	30.32	31.81	Al ₂ O ₃	17.72
FeO	30.80	30.49	30.34	30.50	29.79	30.05	29.21	30.78	FeO	20.73	20.41	MgO	10.71	10.88	11.02	FeO	12.85	FeO	8.82	7.52	FeO	19.43
MnO	4.58	4.35	4.68	4.65	4.54	4.82	4.72	4.38	MnO	0.09	0.07	CaO	27.35	27.13	27.62	MnO	1.31	MnO	0.05	0.00	MnO	0.07
MgO	1.37	1.36	1.42	1.44	1.35	1.45	1.43	1.42	MgO	8.28	8.63	-	-	-	-	MgO	11.13	MgO	6.06	6.69	MgO	9.23
CaO	4.98	5.30	4.53	4.54	4.85	4.78	4.90	4.52	CaO	0.07	0.03	-	-	-	-	CaO	26.95	CaO	0.31	0.86	CaO	0.09
Na ₂ O	0.05	0.00	0.00	0.02	0.04	0.03	0.04	0.00	Na ₂ O	0.08	0.13	-	-	-	-	Na ₂ O	0.00	Na ₂ O	1.94	1.95	Na ₂ O	0.13
Cr ₂ O ₃	0.02	-	-	-	-	-	-	-	K ₂ O	8.61	8.82	-	-	-	-	K ₂ O	0.00	K ₂ O	0.01	0.01	K ₂ O	8.54
Y ₂ O ₃	0.21	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.03	0.04	-	-	-	-	-	-	F	0.00	0.24	Cl	0.01
BaO	0.00	-	-	-	-	-	-	-	F	0.22	0.24	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	F	0.41
-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.38	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.35
Total	99.70	99.70	98.85	98.99	98.47	98.91	97.87	99.98	Total	92.84	92.73	Total	52.73	52.55	53.41	Total	52.30	Total	84.94	84.87	Total	92.53
Si	5.97	6.04	6.01	6.00	6.01	6.02	6.04	6.04	Si	5.49	5.47	Si	0.00	0.00	0.00	Si	0.00	Si	7.77	7.44	Si	5.49
Al	4.00	3.93	4.03	4.03	4.04	3.98	4.02	4.04	Ti	0.18	0.20	Fe2+	1.15	1.16	1.15	Al	0.00	Ti	0.10	0.10	Ti	0.21
Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	Al	3.37	3.31	Mn	0.13	0.11	0.12	Ti	0.00	Al	7.55	7.93	Al	3.29
Fe2+	4.18	4.59	4.14	4.16	4.07	4.10	4.01	4.14	Fe2+	2.74	2.70	Mg	1.66	1.69	1.69	Fe2+	1.12	Fe2+	1.56	1.33	Fe2+	2.56
Mn	0.63	0.06	0.65	0.64	0.63	0.67	0.66	0.60	Mn	0.01	0.01	Ca	3.05	3.03	3.04	Mn	0.12	Mn	0.01	0.00	Mn	0.01
Mg	0.33	0.28	0.35	0.35	0.33	0.35	0.35	0.34	Mg	1.95	2.04	-	-	-	-	Mg	1.73	Mg	1.91	2.11	Mg	2.17
Ca	0.87	1.08	0.79	0.79	0.85	0.84	0.86	0.78	Ca	0.01	0.00	-	-	-	-	Ca	3.02	Ca	0.07	0.19	Ca	0.02
Na	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	Na	0.03	0.04	-	-	-	-	Na	0.00	Na	0.80	0.80	Na	0.04
Cr	0.00	-	-	-	-	-	-	-	K	1.73	1.78	-	-	-	-	K	0.00	K	0.00	0.00	K	1.72
Y	0.02	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	F	0.00	0.16	Cl	0.00
Ba	0.00	-	-	-	-	-	-	-	F	0.11	0.12	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	F	0.20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.02	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.02
Total	16.02	15.99	15.97	15.98	15.96	15.98	15.95	15.94	Total	15.65	15.72	Total	6.00	6.00	6.00	Total	5.99	Total	19.76	20.06	Total	15.74

IV-22-16303

C3	719	720	C4	606	601	602	603	604	C4	684	C5	607	608	609	C5	664	665	666	667	668	C5	686	687
O = 31	TUR	TUR	O = 32	PL	PL	PL	PL	PL	O = 22	BT	O = 32	PL	PL	PL	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 22	BT	BT
SiO ₂	36.37	35.37	SiO ₂	63.84	61.96	61.49	60.84	64.49	SiO ₂	35.25	SiO ₂	60.19	62.50	60.30	SiO ₂	37.26	37.06	36.89	36.92	36.41	SiO ₂	34.70	34.86
TiO ₂	0.26	0.84	Al ₂ O ₃	21.86	23.21	23.18	20.83	20.83	TiO ₂	1.82	Al ₂ O ₃	22.45	22.08	23.71	Al ₂ O ₃	20.93	20.98	20.95	21.07	20.64	TiO ₂	1.39	2.07
Al ₂ O ₃	33.02	31.21	TiO ₂	0.00	0.05	0.00	0.00	0.06	Al ₂ O ₃	17.80	TiO ₂	0.04	0.00	0.00	TiO ₂	0.06	0.03	0.03	0.00	0.05	Al ₂ O ₃	18.07	18.23
FeO	8.28	8.05	Fe ₂ O ₃	0.07	0.08	0.00	0.04	0.08	FeO	20.01	Fe ₂ O ₃	0.58	0.02	0.07	FeO	30.15	29.77	30.14	28.71	29.56	FeO	19.78	19.53
MnO	0.03	0.02	MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	MnO	0.09	MnO	0.00	0.00	0.00	MnO	4.92	5.06	5.16	4.85	4.85	MnO	0.19	0.07
MgO	5.49	6.32	MgO	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	MgO	9.06	MgO	0.13	0.00	0.00	MgO	1.46	1.41	1.44	1.41	1.47	MgO	8.88	8.78
CaO	0.11	0.37	CaO	2.18	4.22	4.50	5.10	2.04	CaO	0.01	CaO	4.37	3.74	5.67	CaO	4.52	5.12	4.83	5.59	4.72	CaO	0.02	0.04
Na ₂ O	1.84	2.07	Na ₂ O	9.99	8.74	8.77	8.63	10.67	Na ₂ O	0.11	Na ₂ O	8.53	9.77	8.42	Na ₂ O	0.00	0.02	0.06	0.03	0.02	Na ₂ O	0.08	0.09
K ₂ O	0.00	0.01	K ₂ O	0.40	0.38	0.09	0.08	0.07	K ₂ O	9.09	K ₂ O	0.23	0.03	0.07	-	-	-	-	-	-	K ₂ O	8.96	8.95
F	0.11	0.16	-	-	-	-	-	-	Cl	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.03	0.05
Cl	0.02	0.00	-	-	-	-	-	-	F	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.30	0.31
-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.51	0.46
Total	85.51	84.40	Total	98.36	98.68	98.04	98.07	98.22	Total	94.18	Total	96.52	98.14	98.24	Total	99.29	99.45	99.50	98.58	97.71	Total	92.90	93.44
Si	7.59	7.52	Si	11.43	11.11	11.09	11.00	11.56	Si	5.49	Si	11.06	11.26	10.91	Si	6.04	6.01	5.99	6.01	6.01	Si	5.48	5.46
Ti	0.04	0.13	Al	4.61	4.91	4.93	4.98	4.40	Ti	0.21	Al	4.86	4.69	5.06	Al	4.00	4.01	4.01	4.05	4.01	Ti	0.17	0.24
Al	8.12	7.82	Ti	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	Al	3.27	Ti	0.01	0.00	0.00	Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	Al	3.36	3.36
Fe2+	1.45	1.43	Fe3+	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	Fe2+	2.61	Fe3+	0.08	0.00	0.01	Fe2+	4.09	4.04	4.09	3.91	4.08	Fe2+	2.61	2.56
Mn	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.08	Mn	0.00	0.00	0.00	Mn	0.68	0.70	0.71	0.67	0.68	Mn	0.03	0.01
Mg	1.71	2.00	Mg	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	Mg	2.11	Mg	0.04	0.00	0.00	Mg	0.35	0.34	0.35	0.34	0.36	Mg	2.09	2.05
Ca	0.02	0.08	Ca	0.42	0.81	0.87	0.99	0.39	Ca	0.00	Ca	0.86	0.72	1.10	Ca	0.79	0.89	0.84	0.98	0.83	Ca	0.00	0.01
Na	0.74	0.85	Na	3.47	3.04	3.07	3.03	3.71	Na	0.03	Na	3.04	3.41	2.95	Na	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	Na	0.00	0.03
K	0.00	0.00	K	0.09	0.09	0.02	0.02	0.02	K	1.81	K	0.05	0.01	0.02	-	-	-	-	-	-	K	1.80	1.79
F	0.07	0.11	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	0.01
Cl	0.01	0.00	-	-	-	-	-	-	F	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.15	0.15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.03	0.03
Total	19.75	19.97	Total	20.04	19.98	19.98	20.02	20.09	Total	15.85	Total	20.01	20.10	20.04	Total	15.95	15.99	16.01	15.97	15.98	Total	15.72	15.69

IV-22-16303

C5	688	689	C5	714	715	C6	669	670	671	672	C6	690	C6	721	722	C7	673	674	675	676	677	678	679
O = 22	BT	BT	O = 6	CAB	CAB	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 22	BT	O = 31	TUR	TUR	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT
SiO ₂	35.03	35.01	SiO ₂	0.01	0.01	SiO ₂	36.53	36.58	36.58	36.84	SiO ₂	34.56	SiO ₂	36.16	35.79	SiO ₂	36.49	36.59	36.56	36.86	36.86	36.85	36.55
TiO ₂	1.64	1.76	FeO	13.88	13.84	Al ₂ O ₃	20.75	20.76	20.81	21.04	TiO ₂	1.50	TiO ₂	0.28	0.62	Al ₂ O ₃	20.67	20.57	20.77	20.69	20.83	20.70	20.93
Al ₂ O ₃	18.08	18.44	MnO	1.22	1.26	TiO ₂	0.08	0.02	0.13	0.00	Al ₂ O ₃	18.14	Al ₂ O ₃	33.17	31.53	TiO ₂	0.06	0.06	0.00	0.04	0.01	0.07	0.00
FeO	19.20	19.24	MgO	10.38	10.42	FeO	30.34	29.46	29.83	30.13	FeO	20.16	FeO	8.16	7.97	FeO	30.16	29.18	28.94	29.13	29.19	29.04	30.18
MnO	0.08	0.09	CaO	27.11	27.83	MnO	4.93	4.76	4.84	4.91	MnO	0.14	MnO	0.00	0.00	MnO	4.70	5.06	5.10	5.03	5.02	5.24	5.12
MgO	8.98	8.96	-	-	-	MgO	1.54	1.53	1.52	1.36	MgO	9.64	MgO	5.58	6.66	MgO	1.42	1.42	1.41	1.46	1.44	1.53	1.44
CaO	0.00	0.00	-	-	-	CaO	4.17	4.42	4.18	4.18	CaO	0.03	CaO	0.07	0.84	CaO	4.16	4.67	4.84	4.92	5.27	4.92	4.13
Na ₂ O	0.12	0.10	-	-	-	Na ₂ O	0.03	0.01	0.04	0.00	Na ₂ O	0.06	Na ₂ O	1.81	1.99	Na ₂ O	0.04	0.03	0.05	0.03	0.00	0.00	0.03
K ₂ O	8.94	8.74	-	-	-	-	-	-	-	-	K ₂ O	8.44	K ₂ O	0.00	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0.03	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.03	F	0.26	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.39	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.45	Cl	0.01	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	0.53	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	93.00	93.18	Total	52.59	53.35	Total	98.38	97.53	97.93	98.46	Total	93.74	Total	85.50	85.72	Total	97.68	97.58	97.66	98.15	98.62	98.35	98.39
Si	5.50	5.48	Si	0.00	0.00	Si	6.00	6.03	6.01	6.03	Si	5.41	Si	7.56	7.51	Si	6.02	6.04	6.02	6.04	6.02	6.03	6.00
Ti	0.19	0.21	Fe2+	1.22	1.20	Al	4.01	4.03	4.03	4.06	Ti	0.18	Ti	0.04	0.10	Al	4.02	4.00	4.03	4.00	4.01	3.99	4.05
Al	3.35	3.40	Mn	0.11	0.11	Ti	0.01	0.00	0.02	0.00	Al	3.35	Al	8.17	7.80	Ti	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Fe2+	2.52	2.52	Mg	1.62	1.61	Fe2+	4.17	4.06	4.10	4.12	Fe2+	2.64	Fe2+	1.43	1.40	Fe2+	4.16	4.03	3.99	3.99	3.99	3.97	4.14
Mn	0.01	0.01	Ca	3.05	3.08	Mn	0.69	0.66	0.67	0.68	Mn	0.02	Mn	0.00	0.00	Mn	0.66	0.71	0.71	0.70	0.69	0.73	0.71
Mg	2.10	2.09	-	-	-	Mg	0.38	0.38	0.37	0.33	Mg	2.25	Mg	1.74	2.09	Mg	0.35	0.35	0.35	0.36	0.35	0.37	0.35
Ca	0.00	0.00	-	-	-	Ca	0.73	0.78	0.74	0.73	Ca	0.01	Ca	0.02	0.19	Ca	0.73	0.83	0.85	0.86	0.92	0.86	0.73
Na	0.04	0.03	-	-	-	Na	0.01	0.00	0.01	0.00	Na	0.02	Na	0.73	0.81	Na	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
K	1.79	1.74	-	-	-	-	-	-	-	-	K	1.69	K	0.00	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0.01	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	F	0.17	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.19	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.22	Cl	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	0.03	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	15.74	15.67	Total	6.00	6.00	Total	15.99	15.95	15.96	15.95	Total	15.82	Total	19.85	20.09	Total	15.97	15.96	15.97	15.96	15.98	15.97	15.98

IV-22-16303

IV-22-10305

C7	692	693	694	C8	612	613	614	615	C8	697
O =22	BT	BT	CHL	O = 32	PL	PL	PL	PL	O =22	BT
SiO ₂	34.61	34.71	23.83	SiO ₂	59.66	60.59	60.99	61.99	SiO ₂	34.92
TiO ₂	1.94	1.68	0.10	Al ₂ O ₃	23.66	23.40	23.22	22.86	TiO ₂	1.48
Al ₂ O ₃	18.33	17.62	21.77	TiO ₂	0.00	0.02	0.00	0.00	Al ₂ O ₃	17.60
FeO	19.67	19.41	26.07	Fe ₂ O ₃	0.04	0.12	0.04	0.09	FeO	20.02
MnO	0.08	0.09	0.17	MnO	0.00	0.00	0.01	0.00	MnO	0.03
MgO	8.77	9.16	13.30	MgO	0.00	0.01	0.01	0.00	MgO	9.12
CaO	0.03	0.03	0.07	CaO	5.59	4.73	4.98	4.44	CaO	0.05
Na ₂ O	0.14	0.08	0.02	Na ₂ O	8.39	8.68	8.67	9.27	Na ₂ O	0.06
K ₂ O	8.81	8.94	0.03	K ₂ O	0.05	0.28	0.07	0.04	K ₂ O	8.89
Cl	0.04	0.02	0.03	-	-	-	-	-	Cl	0.03
F	0.43	0.19	0.01	-	-	-	-	-	F	0.50
BaO	0.55	0.33	0.00	-	-	-	-	-	BaO	0.34
Total	93.38	92.26	85.38	Total	97.38	97.82	97.99	98.69	Total	93.03
Si	5.43	5.49		Si	10.89	10.99	11.03	11.13	Si	5.51
Ti	0.23	0.20		Al	5.09	5.00	4.95	4.84	Ti	0.18
Al	3.39	3.29		Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	Al	3.27
Fe2+	2.58	2.57		Fe3+	0.01	0.02	0.01	0.01	Fe2+	2.64
Mn	0.01	0.01		Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00
Mg	2.05	2.16		Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	2.14
Ca	0.00	0.00		Ca	1.09	0.92	0.96	0.85	Ca	0.01
Na	0.04	0.02		Na	2.97	3.05	3.04	3.23	Na	0.02
K	1.77	1.81		K	0.01	0.06	0.02	0.01	K	1.79
Cl	0.01	0.00		-	-	-	-	-	Cl	0.01
F	0.21	0.10		-	-	-	-	-	F	0.25
BaO	0.03	0.02		-	-	-	-	-	BaO	0.02
Total	15.77	15.68	0.00	Total	20.06	20.05	20.02	20.07	Total	15.84

IV-22-17695

C1	620	621	C1	637	638	C1	812	813	814
O = 32	PL	PL	O = 22	BT	BT	Atom%	PO	PO	PO
SiO ₂	66.79	67.90	SiO ₂	37.41	37.38	Fe	47.08	70.36	47.16
Al ₂ O ₃	19.98	20.05	TiO ₂	1.50	1.72	As	0.02	1.84	0.01
TiO ₂	0.02	0.00	Al ₂ O ₃	16.76	17.14	S	52.82	27.60	52.75
Fe ₂ O ₃	0.04	0.00	FeO	12.38	11.99	Co	0.00	0.00	0.00
MnO	0.01	0.00	MnO	0.10	0.01	Cu	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	MgO	16.43	15.78	Ni	0.08	0.20	0.08
CaO	0.35	0.54	CaO	0.02	0.08	Au	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	11.33	11.41	Na ₂ O	0.14	0.15	-	-	-	-
K ₂ O	0.04	0.03	K ₂ O	8.74	8.76	-	-	-	-
-	-	-	Cl	0.01	0.00	-	-	-	-
-	-	-	F	1.27	1.01	-	-	-	-
-	-	-	BaO	0.09	0.12	-	-	-	-
Total	98.55	99.93	Total	94.85	94.14	Total	100.00	100.00	100.00
Si	11.85	11.88	Si	5.58	5.59	Wt%			
Al	4.18	4.13	Ti	0.17	0.19	Fe	60.54	1.15	60.43
Ti	0.00	0.00	Al	2.95	3.02	As	0.04	0.04	0.01
Fe3+	0.01	0.00	Fe2+	1.55	1.50	S	39.00	0.26	38.81
Mn	0.00	0.00	Mn	0.01	0.00	Co	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	Mg	3.66	3.52	Cu	0.00	0.00	0.00
Ca	0.07	0.10	Ca	0.00	0.01	Ni	0.11	0.00	0.11
Na	3.90	3.87	Na	0.04	0.04	Au	0.00	0.00	0.00
K	0.01	0.01	K	1.66	1.67	-	-	-	-
-	-	-	Cl	0.00	0.00	-	-	-	-
-	-	-	F	0.60	0.48	-	-	-	-
-	-	-	Ba	0.01	0.01	-	-	-	-
Total	20.01	19.99	Total	16.23	16.04	Total	99.68	1.45	99.36

IV-22-17695

C2	639	640	C2	723	724	C3	622	623	624	625	626	627	C3	641	642	643	645	646	C4	629	630	631	632
O = 22	BT	BT	O = 31	TUR	TUR	O = 32	PL	PL	PL	PL	PL	PL	O = 22	BT	BT	SE	BT	BT	O = 32	PL	PL	PL	PL
SiO ₂	38.40	37.70	SiO ₂	35.92	35.83	SiO ₂	66.44	66.25	65.66	66.92	67.02	67.66	SiO ₂	37.55	38.12	44.56	38.13	39.27	SiO ₂	59.02	66.38	68.53	68.61
TiO ₂	1.16	1.09	TiO ₂	0.53	0.68	Al ₂ O ₃	19.92	20.66	20.42	19.75	19.58	19.68	TiO ₂	1.29	1.21	0.51	1.47	1.22	Al ₂ O ₃	17.47	19.35	19.52	19.57
Al ₂ O ₃	16.72	16.63	Al ₂ O ₃	31.70	32.32	TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	Al ₂ O ₃	17.50	17.14	29.67	17.43	20.21	TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	12.51	12.82	FeO	8.23	7.56	Fe ₂ O ₃	0.02	0.02	0.05	0.05	0.02	0.00	FeO	11.35	12.27	4.27	11.17	10.99	Fe ₂ O ₃	1.15	0.01	0.06	0.02
MnO	0.03	0.08	MnO	0.04	0.00	MnO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	MnO	0.04	0.05	0.02	0.08	0.07	MnO	0.18	0.00	0.00	0.03
MgO	15.91	16.00	MgO	6.13	6.09	MgO	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	MgO	15.45	15.73	4.20	15.96	12.86	MgO	1.60	0.01	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	CaO	0.21	0.15	CaO	1.05	1.56	1.29	0.29	0.48	0.65	CaO	0.10	0.01	0.03	0.08	0.05	CaO	3.93	0.55	0.48	0.33
Na ₂ O	0.14	0.11	Na ₂ O	2.20	2.19	Na ₂ O	11.07	10.96	10.93	11.33	11.44	11.36	Na ₂ O	0.13	0.14	0.38	0.13	0.16	Na ₂ O	10.28	11.46	11.38	11.63
K ₂ O	9.11	8.98	K ₂ O	0.02	0.02	K ₂ O	0.05	0.07	0.08	0.33	0.07	0.02	K ₂ O	8.88	9.08	9.11	9.03	8.57	K ₂ O	0.02	0.04	0.05	0.04
Cl	0.02	0.01	F	0.30	0.38	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-
F	1.30	0.93	Cl	0.00	0.01	-	-	-	-	-	-	-	F	1.12	1.38	0.43	0.86	0.95	-	-	-	-	-
BaO	0.14	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.08	0.22	0.48	0.23	0.22	-	-	-	-	-
Total	95.43	94.34	Total	85.27	85.22	Total	98.56	99.52	98.44	98.71	98.72	99.38	Total	93.50	95.14	93.66	94.36	94.37	Total	93.65	97.79	100.02	100.23
Si	5.70	5.64	Si	7.57	7.53	Si	11.81	11.69	11.71	11.87	11.88	11.91	Si	5.64	5.66	6.18	5.65	5.75	Si	11.31	11.89	11.97	11.96
Ti	0.13	0.12	Ti	0.08	0.11	Al	4.17	4.29	4.29	4.13	4.09	4.08	Ti	0.15	0.13	0.05	0.16	0.13	Al	3.95	4.08	4.02	4.02
Al	2.92	2.93	Al	7.87	8.01	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Al	3.10	3.00	4.85	3.04	3.49	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2+	1.55	1.60	Fe2+	1.45	1.33	Fe3+	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	Fe2+	1.43	1.52	0.49	1.38	1.35	Fe3+	0.17	0.00	0.01	0.00
Mn	0.00	0.01	Mn	0.01	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	Mn	0.03	0.00	0.00	0.00
Mg	3.52	3.57	Mg	1.93	1.91	Mg	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	Mg	3.46	3.48	0.87	3.52	2.81	Mg	0.46	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	Ca	0.05	0.03	Ca	0.20	0.29	0.25	0.06	0.09	0.12	Ca	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	Ca	0.81	0.10	0.09	0.06
Na	0.04	0.03	Na	0.90	0.89	Na	3.81	3.75	3.78	3.90	3.93	3.88	Na	0.04	0.04	0.10	0.04	0.05	Na	3.82	3.98	3.85	3.93
K	1.72	1.72	K	0.00	0.00	K	0.01	0.02	0.02	0.08	0.02	0.00	K	1.70	1.72	1.61	1.71	1.60	K	0.00	0.01	0.01	0.01
Cl	0.00	0.00	F	0.20	0.25	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
F	0.61	0.44	Cl	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	F	0.53	0.65	0.19	0.40	0.44	-	-	-	-	-
Ba	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ba	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	-	-	-	-	-
Total	16.21	16.08	Total	20.06	20.06	Total	20.01	20.05	20.05	20.04	20.03	19.99	Total	16.07	16.23	14.39	15.95	15.64	Total	20.54	20.06	19.95	19.99

IV-22-17695

C4	633	634	635	636	C4	647	648	649	650	C4	706	707	708	709	710	C5	651	652	C6	653	654	655	656
O = 32	PL	PL	PL	PL	O = 22	BT	BT	BT	BT	O = 6	CAB	CAB	CAB	CAB	CAB	O = 22	SE	SE	O = 22	BT	BT	BT	BT
SiO ₂	66.84	68.22	68.29	68.99	SiO ₂	37.92	37.94	37.63	37.79	SiO ₂	0.04	0.05	0.08	0.00	0.02	SiO ₂	46.74	46.87	SiO ₂	37.32	37.43	37.85	36.48
Al ₂ O ₃	19.89	19.35	19.32	20.02	TiO ₂	1.32	1.56	0.93	1.45	FeO	14.37	9.88	8.17	7.32	7.66	TiO ₂	0.57	0.34	TiO ₂	1.13	1.24	1.16	1.16
TiO ₂	0.00	0.00	0.01	0.00	Al ₂ O ₃	16.76	17.56	16.22	17.29	MnO	0.14	0.52	0.87	0.83	0.84	Al ₂ O ₃	32.35	32.29	Al ₂ O ₃	17.34	17.04	16.94	17.05
Fe ₂ O ₃	0.02	0.00	0.03	0.11	FeO	12.52	12.05	11.78	11.82	MgO	11.87	15.00	16.06	16.25	15.95	FeO	1.08	1.32	FeO	12.81	12.67	12.45	12.39
MnO	0.00	0.02	0.01	0.00	MnO	0.10	0.05	0.08	0.08	CaO	26.62	26.81	28.27	28.39	28.12	MnO	0.00	0.02	MnO	0.05	0.01	0.05	0.03
MgO	0.00	0.01	0.02	0.00	MgO	15.73	15.61	17.12	16.14	-	-	-	-	-	-	MgO	1.76	1.75	MgO	15.34	16.06	16.18	15.95
CaO	0.97	3.41	0.21	0.60	CaO	0.00	0.01	0.06	0.00	-	-	-	-	-	-	CaO	0.01	0.00	CaO	0.21	0.07	0.00	0.01
Na ₂ O	11.09	8.16	11.38	11.01	Na ₂ O	0.10	0.14	0.13	0.16	-	-	-	-	-	-	Na ₂ O	0.46	0.38	Na ₂ O	0.10	0.13	0.12	0.10
K ₂ O	0.05	0.05	0.03	0.07	K ₂ O	9.36	9.24	8.98	9.07	-	-	-	-	-	-	K ₂ O	9.87	9.75	K ₂ O	8.50	8.77	9.13	8.57
-	-	-	-	-	Cl	0.01	0.03	0.02	0.03	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.02	Cl	0.01	0.01	0.02	0.01
-	-	-	-	-	F	1.27	0.95	1.35	1.18	-	-	-	-	-	-	F	0.24	0.21	F	1.07	1.21	1.03	1.00
-	-	-	-	-	BaO	0.14	0.20	0.01	0.15	-	-	-	-	-	-	BaO	0.30	0.45	BaO	0.23	0.02	0.19	0.02
Total	98.85	99.21	99.30	100.82	Total	95.21	95.13	94.29	95.00	Total	53.03	52.25	53.45	52.79	52.59	Total	93.37	92.94	Total	94.09	94.62	95.12	92.74
Si	11.84	11.98	12.00	11.94	Si	5.65	5.61	5.64	5.61	Si	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	Si	6.35	6.37	Si	5.61	5.59	5.63	5.55
Al	4.15	4.00	4.00	4.08	Ti	0.15	0.17	0.10	0.16	Fe2+	1.23	0.83	0.66	0.60	0.63	Ti	0.06	0.03	Ti	0.13	0.14	0.13	0.13
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	Al	2.94	3.06	2.87	3.02	Mn	0.01	0.04	0.07	0.07	0.07	Al	5.18	5.17	Al	3.07	3.00	2.97	3.06
Fe3+	0.00	0.00	0.00	0.00	Fe2+	1.56	1.49	1.48	1.47	Mg	1.82	2.24	2.32	2.37	2.34	Fe2+	0.12	0.15	Fe2+	1.61	1.58	1.55	1.58
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	Ca	2.93	2.88	2.93	2.97	2.96	Mn	0.00	0.00	Mn	0.01	0.00	0.01	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	3.50	3.44	3.83	3.57	-	-	-	-	-	-	Mg	0.36	0.35	Mg	3.44	3.58	3.59	3.62
Ca	0.18	0.64	0.04	0.11	Ca	0.00	0.00	0.01	0.00	-	-	-	-	-	-	Ca	0.00	0.00	Ca	0.03	0.01	0.00	0.00
Na	3.81	2.78	3.88	3.70	Na	0.03	0.04	0.04	0.05	-	-	-	-	-	-	Na	0.12	0.10	Na	0.03	0.04	0.03	0.03
K	0.01	0.01	0.01	0.02	K	1.78	1.74	1.72	1.72	-	-	-	-	-	-	K	1.71	1.69	K	1.63	1.67	1.73	1.66
-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.01	0.00	0.01	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	Cl	0.00	0.00	0.00	0.00
-	-	-	-	-	F	0.60	0.44	0.64	0.55	-	-	-	-	-	-	F	0.10	0.09	F	0.51	0.57	0.48	0.48
-	-	-	-	-	Ba	0.01	0.01	0.00	0.01	-	-	-	-	-	-	Ba	0.02	0.02	Ba	0.01	0.00	0.01	0.00
Total	19.99	19.42	19.94	19.86	Total	16.23	16.03	16.34	16.16	Total	6.00	6.00	5.99	6.00	6.00	Total	14.02	14.00	Total	16.07	16.19	16.13	16.12

IV-22-17695

C6	657
O =24	BT
SiO ₂	0.04
Al ₂ O ₃	0.00
TiO ₂	0.00
FeO	0.08
MnO	0.02
MgO	0.00
CaO	51.23
Na ₂ O	0.05
Cr ₂ O ₃	0.00
Y ₂ O ₃	0.13
BaO	0.09
-	-
Total	51.63
Si	0.02
Al	0.00
Ti	0.00
Fe2+	0.03
Mn	0.01
Mg	0.00
Ca	23.85
Na	0.04
Cr	0.00
Y	0.03
Ba	0.02
-	-
Total	23.99

IV-22-17905

Cl	605	616	617	618	619	Cl	698	C2	699	670	671	C2	808	809	C2	704	C3	702	703
O = 32	PL	PL	PL	PL	PL	O =22	SE	O =22	SE	SE	SE	Atom%	PO	PO	O = 6	CAB	O =22	SE	BT
SiO ₂	67.97	67.60	67.53	67.15	61.26	SiO ₂	45.97	SiO ₂	45.13	45.94	46.49	Fe	47.14	46.85	SiO ₂	0.00	SiO ₂	46.36	38.64
Al ₂ O ₃	19.50	19.52	19.29	19.28	22.47	TiO ₂	0.58	TiO ₂	0.58	0.32	0.47	As	0.01	0.01	FeO	3.63	TiO ₂	0.36	1.29
TiO ₂	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	Al ₂ O ₃	32.13	Al ₂ O ₃	32.16	32.51	32.39	S	52.77	53.07	MnO	0.55	Al ₂ O ₃	32.63	16.87
Fe ₂ O ₃	0.01	0.01	0.00	0.00	0.66	FeO	0.87	FeO	2.78	1.62	0.91	Co	0.00	0.00	MgO	18.91	FeO	0.94	8.95
MnO	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	MnO	0.01	MnO	0.00	0.01	0.00	Cu	0.00	0.00	CaO	29.54	MnO	0.00	0.05
MgO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.39	MgO	1.78	MgO	1.71	1.72	1.74	Ni	0.09	0.07	-	-	MgO	1.70	18.11
CaO	0.20	0.20	0.17	0.22	3.81	CaO	0.00	CaO	0.01	0.00	0.00	Au	0.00	0.00	-	-	CaO	0.00	0.00
Na ₂ O	11.60	11.68	11.46	11.58	8.88	Na ₂ O	0.49	Na ₂ O	0.52	0.57	0.47	-	-	-	-	-	Na ₂ O	0.51	0.15
K ₂ O	0.07	0.04	0.05	0.05	0.07	K ₂ O	9.97	K ₂ O	9.51	9.68	10.11	-	-	-	-	-	K ₂ O	10.16	9.33
-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	Cl	0.01	0.00	0.00	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00
-	-	-	-	-	-	F	0.09	F	0.22	0.19	0.21	-	-	-	-	-	F	0.20	1.63
-	-	-	-	-	-	BaO	0.68	BaO	0.60	0.69	0.29	-	-	-	-	-	BaO	0.60	0.22
Total	99.40	99.07	98.52	98.31	97.55	Total	92.58	Total	93.21	92.56	93.08	Total	100.00	100.00	Total	52.63	Total	93.46	95.03
Si	11.95	11.93	11.97	11.94	11.12	Si	6.32	Si	6.22	6.29	6.34	Wt%	-	-	Si	0.00	Si	6.32	5.68
Al	4.04	4.06	4.03	4.04	4.81	Ti	0.06	Ti	0.06	0.03	0.05	Fe	60.14	59.96	Fe2+	0.29	Ti	0.04	0.14
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Al	5.20	Al	5.22	5.24	5.21	As	0.02	0.02	Mn	0.04	Al	5.24	2.92
Fe3+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	Fe2+	0.10	Fe2+	0.32	0.19	0.10	S	38.65	39.00	Mg	2.67	Fe2+	0.11	1.10
Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Mn	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	Co	0.00	0.00	Ca	3.00	Mn	0.00	0.01
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	Mg	0.37	Mg	0.35	0.35	0.35	Cu	0.00	0.00	-	-	Mg	0.35	3.97
Ca	0.04	0.04	0.03	0.04	0.74	Ca	0.00	Ca	0.00	0.00	0.00	Ni	0.12	0.10	-	-	Ca	0.00	0.00
Na	3.95	4.00	3.94	3.99	3.13	Na	0.13	Na	0.14	0.15	0.12	Au	0.00	0.00	-	-	Na	0.14	0.04
K	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	K	1.75	K	1.67	1.69	1.76	-	-	-	-	-	K	1.77	1.75
-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	Cl	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00
-	-	-	-	-	-	F	0.04	F	0.09	0.08	0.09	-	-	-	-	-	F	0.08	0.76
-	-	-	-	-	-	Ba	0.04	Ba	0.03	0.04	0.02	-	-	-	-	-	Ba	0.03	0.01
Total	20.01	20.04	19.99	20.04	20.00	Total	14.00	Total	14.11	14.06	14.04	Total	98.92	99.07	Total	6.00	Total	14.06	16.38

IV-22-17905

C3	705	C3	725	C3	810	811
O = 6	CAB	O =22	SE	Atom%	PO	MAG?
SiO ₂	0.00	SiO ₂	45.30	Fe	46.82	90.06
FeO	6.57	TiO ₂	0.37	As	0.01	3.09
MnO	0.85	Al ₂ O ₃	32.78	S	53.13	5.16
MgO	16.85	FeO	0.96	Co	0.00	0.00
CaO	27.79	MnO	0.00	Cu	0.00	0.32
-	-	MgO	1.72	Ni	0.04	0.00
-	-	CaO	0.00	Au	0.00	1.37
-	-	Na ₂ O	0.43	-	-	-
-	-	K ₂ O	10.38	-	-	-
-	-	F	0.30	-	-	-
-	-	Cl	0.01	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Total	52.06	Total	92.24	Total	100.00	100.00
Si	0.00	Si	-	Wt%	-	-
Fe2+	0.54	Ti	-	Fe	59.74	0.58
Mn	0.07	Al	-	As	0.02	0.03
Mg	2.47	Fe2+	-	S	38.92	0.02
Ca	2.92	Mn	-	Co	0.00	0.00
-	-	Mg	-	Cu	0.00	0.00
-	-	Ca	-	Ni	0.06	0.00
-	-	Na	-	Au	0.00	0.03
-	-	K	-	-	-	-
-	-	F	-	-	-	-
-	-	Cl	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Total	6.00	Total	0.00	Total	98.74	0.65

CORPO IV - Galeria

Cl	333	334	335	336	337	338	C2	342	340	341	C2	372	C3	343	350
O =22	BT	BT	BT	BT	BT	BT	O =22	BT	SE	SE	O =31	TUR	O =22	SE	SE
SiO ₂	37.50	37.73	36.90	36.73	36.81	34.47	SiO ₂	36.71	45.56	46.39	SiO ₂	40.59	SiO ₂	46.64	47.62
TiO ₂	1.65	1.61	1.55	1.73	1.58	1.65	TiO ₂	1.55	0.81	0.51	TiO ₂	0.05	TiO ₂	0.35	0.25
Al ₂ O ₃	17.58	17.71	17.15	18.04	17.86	17.39	Al ₂ O ₃	17.99	34.95	34.91	Al ₂ O ₃	32.44	Al ₂ O ₃	35.98	35.47
FeO	15.03	14.39	15.12	15.49	15.11	17.33	FeO	14.96	1.51	1.39	FeO	5.85	FeO	1.21	1.20
MnO	0.08	0.13	0.13	0.13	0.09	0.11	MnO	0.06	0.00	0.01	MnO	0.04	MnO	0.03	0.00
MgO	13.80	14.19	14.52	14.15	14.22	14.56	MgO	13.74	1.50	1.66	MgO	6.36	MgO	1.35	1.56
CaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	CaO	0.00	0.00	0.00	CaO	0.07	CaO	0.00	0.00
Na ₂ O	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	Na ₂ O	0.07	0.20	0.27	Na ₂ O	1.79	Na ₂ O	0.17	0.22
K ₂ O	9.08	8.88	8.91	8.47	8.31	6.90	K ₂ O	8.86	9.16	8.73	K ₂ O	0.04	K ₂ O	8.78	9.07
Cl	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.02	Cl	0.01	0.02	0.00	F	0.40	Cl	0.00	0.00
F	0.72	0.86	0.95	0.92	0.94	0.73	F	1.13	0.15	0.00	-	-	F	0.21	0.36
BaO	0.52	0.38	0.41	0.61	0.45	0.26	BaO	0.64	1.76	1.45	-	-	BaO	0.99	0.80
Total	96.03	95.97	95.71	96.33	95.43	93.51	Total	95.71	95.62	95.32	Total	87.63	Total	95.72	96.54
Si	5.58	5.59	5.53	5.47	5.51	5.30	Si	5.51	6.10	6.17	Si	8.13	Si	6.16	6.24
Ti	0.18	0.18	0.17	0.19	0.18	0.19	Ti	0.18	0.08	0.05	Ti	0.01	Ti	0.04	0.02
Al	3.08	3.09	3.03	3.17	3.15	3.15	Al	3.18	5.51	5.48	Al	7.65	Al	5.60	5.48
Fe2+	1.87	1.78	1.90	1.93	1.89	2.23	Fe2+	1.88	0.17	0.16	Fe2+	0.98	Fe2+	0.13	0.13
Mn	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	Mn	0.01	0.00	0.00	Mn	0.01	Mn	0.00	0.00
Mg	3.06	3.14	3.25	3.14	3.17	3.34	Mg	3.07	0.30	0.33	Mg	1.90	Mg	0.27	0.30
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.00	0.00	0.00	Ca	0.02	Ca	0.00	0.00
Na	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	Na	0.02	0.05	0.07	Na	0.70	Na	0.04	0.06
K	1.72	1.68	1.70	1.61	1.59	1.35	K	1.70	1.56	1.48	K	0.01	K	1.48	1.51
Cl	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	Cl	0.00	0.00	0.00	F	0.25	Cl	0.00	0.00
F	0.34	0.40	0.45	0.43	0.44	0.36	F	0.54	0.07	0.00	-	-	F	0.09	0.15
Ba	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	Ba	0.04	0.09	0.08	-	-	Ba	0.05	0.04
Total	15.91	15.94	16.10	16.00	15.98	15.98	Total	16.12	13.94	13.81	Total	19.64	Total	13.86	13.93

C3	349	348	344	351	352	353	345	346	355	C3	354	C3	374	373	375	377	376	378
O =22	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	O = 32	PL	O =31	TUR	TUR	TUR	TUR	TUR	TUR
SiO ₂	46.14	46.58	47.28	46.17	46.50	46.13	46.40	46.95	45.70	SiO ₂	62.73	SiO ₂	36.78	36.39	37.47	36.89	37.10	37.23
TiO ₂	0.36	0.29	0.41	0.16	0.16	0.41	0.46	0.57	0.60	Al ₂ O ₃	22.78	TiO ₂	1.02	1.06	0.32	0.38	0.10	0.37
Al ₂ O ₃	35.65	35.62	35.82	36.56	35.85	35.31	36.49	35.88	36.33	TiO ₂	0.26	Al ₂ O ₃	32.20	32.00	34.67	34.30	35.42	35.37
FeO	1.04	1.11	0.95	1.05	1.00	1.06	1.03	1.30	1.22	Fe ₂ O ₃	0.21	FeO	6.78	6.70	5.80	5.96	6.85	5.50
MnO	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	MnO	0.00	MnO	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01
MgO	1.40	1.33	1.39	1.20	1.35	1.31	1.27	1.37	1.20	MgO	0.17	MgO	7.52	7.64	6.89	7.15	6.13	6.78
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	CaO	4.38	CaO	0.35	0.40	0.08	0.14	0.04	0.07
Na ₂ O	0.15	0.18	0.15	0.23	0.22	0.20	0.21	0.17	0.24	Na ₂ O	4.92	Na ₂ O	2.00	2.01	1.83	2.21	1.84	2.37
K ₂ O	9.06	9.06	8.98	9.39	9.28	9.39	9.11	8.95	8.77	K ₂ O	0.15	K ₂ O	0.03	0.02	0.06	0.03	0.03	0.02
Cl	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	Cl	0.00	Al ₂ O ₃	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
F	0.34	0.10	0.22	0.05	0.11	0.14	0.16	0.10	0.09	F	0.00	F	0.31	0.51	0.31	0.27	0.17	0.11
BaO	0.99	1.03	1.07	1.28	1.21	1.31	1.29	1.58	2.20	BaO	0.15	-	-	-	-	-	-	-
Total	95.13	95.35	96.28	96.10	95.68	95.30	96.43	96.87	96.36	Total	95.60	Total	96.98	96.76	97.44	97.32	97.68	97.82
Si	6.15	6.18	6.20	6.10	6.16	6.16	6.10	6.16	6.05	Si	7.83	Si	6.44	6.40	6.47	6.40	6.40	6.39
Ti	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.06	Al	0.02	Ti	0.13	0.14	0.04	0.05	0.01	0.05
Al	5.60	5.57	5.54	5.69	5.60	5.55	5.66	5.54	5.67	Ti	3.35	Al	6.64	6.63	7.05	7.01	7.21	7.16
Fe2+	0.12	0.12	0.10	0.12	0.11	0.12	0.11	0.14	0.14	Fe3+	0.02	Fe2+	0.99	0.99	0.84	0.86	0.99	0.79
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.28	0.26	0.27	0.24	0.27	0.26	0.25	0.27	0.24	Mg	0.03	Mg	1.96	2.00	1.77	1.85	1.58	1.74
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.59	Ca	0.07	0.08	0.01	0.03	0.01	0.01
Na	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06	Na	1.19	Na	0.68	0.68	0.61	0.74	0.62	0.79
K	1.54	1.53	1.50	1.58	1.57	1.60	1.53	1.50	1.48									

Cl	465a	Cl	465b	466	C2	496	Nr.	497	C3	499	C3	500	C4	502	501	C4	467	468	469	C5	470a
O = 6	DOL	O = 6	RT	ILM	O = 22	BT	O = 28	CHL	O = 28	CHL	O = 22	BT	O = 22	BT	SE	O = 6	ILM	ILM	RT?	O = 6	RT?
SiO ₂	0.06	SiO ₂	0.28	0.04	SiO ₂	37.58	SiO ₂	27.89	SiO ₂	25.17	SiO ₂	38.12	SiO ₂	9.00	44.45	SiO ₂	0.37	0.06	0.56	SiO ₂	11.17
SrO	0.00	TiO ₂	91.37	50.76	TiO ₂	1.38	TiO ₂	0.27	TiO ₂	0.01	TiO ₂	1.16	TiO ₂	1.25	0.40	TiO ₂	50.14	50.52	59.65	TiO ₂	73.11
FeO	1.63	Al ₂ O ₃	0.32	0.03	Al ₂ O ₃	18.15	Al ₂ O ₃	21.30	Al ₂ O ₃	21.25	Al ₂ O ₃	16.58	Al ₂ O ₃	16.53	31.08	Al ₂ O ₃	0.07	0.03	0.40	Al ₂ O ₃	4.00
MnO	0.27	Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	FeO	13.45	FeO	19.72	FeO	20.83	FeO	13.01	FeO	14.49	1.65	Cr ₂ O ₃	0.03	0.02	0.00	Cr ₂ O ₃	0.04
MgO	0.81	FeO	0.38	45.67	MnO	0.02	MnO	0.09	MnO	0.10	MnO	0.00	MnO	0.04	0.00	FeO	45.06	45.32	0.54	FeO	1.41
CaO	50.88	MnO	0.00	0.64	MgO	13.13	MgO	16.48	MgO	17.39	MgO	14.76	MgO	14.82	1.94	MnO	0.61	0.73	0.05	MnO	0.02
ZnO	0.00	MgO	0.02	0.16	CaO	0.02	CaO	0.04	CaO	0.05	CaO	0.01	CaO	0.00	0.09	MgO	0.16	0.10	0.18	MgO	0.45
BaO	0.00	ZnO	0.01	0.08	Na ₂ O	0.20	Na ₂ O	0.06	Na ₂ O	0.16	Na ₂ O	0.17	Na ₂ O	0.14	0.63	ZnO	0.05	0.06	0.06	ZnO	0.06
-	-	CaO	0.82	0.03	K ₂ O	9.19	K ₂ O	1.64	K ₂ O	0.01	K ₂ O	9.15	K ₂ O	9.04	8.49	CaO	0.00	0.02	4.37	CaO	0.88
-	-	NiO	0.03	0.00	Cl	0.05	Cl	0.02	Cl	0.04	Cl	0.02	Cl	0.06	0.03	NiO	0.00	0.02	0.00	NiO	0.01
-	-	Nb ₂ O ₅	0.04	0.04	F	1.76	F	0.28	F	0.27	F	2.23	F	1.93	0.21	Nb ₂ O ₅	0.00	0.05	0.02	Nb ₂ O ₅	0.87
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	53.65	-	93.25	97.44	-	94.93	-	87.79	-	85.26	-	95.21	Total	67.30	88.95	-	96.48	96.92	65.84	-	92.02
Si	0.01	Si	0.01	0.00	Si	5.65	Si	5.74	Si	5.36	Si	5.74	Si	5.60	6.32	Si	0.02	0.00	0.03	Si	0.47
Sr	0.00	Ti	2.95	1.98	Ti	0.16	Ti	0.04	Ti	0.00	Ti	0.13	Ti	0.14	0.04	Ti	1.97	1.98	2.77	Ti	2.30
Fe2+	0.14	Al	0.02	0.00	Al	3.22	Al	5.17	Al	5.33	Al	2.94	Al	2.96	5.20	Al	0.00	0.00	0.03	Al	0.20
Mn	0.02	Cr	0.00	0.00	Fe2+	1.69	Fe2+	3.39	Fe2+	3.71	Fe2+	1.64	Fe2+	1.84	0.20	Cr	0.00	0.00	0.00	Cr	0.00
Mg	0.12	Fe2+	0.01	1.98	Mn	0.00	Mn	0.02	Mn	0.02	Mn	0.00	Mn	0.01	0.00	Fe2+	1.97	1.98	0.03	Fe2+	0.05
Ca	5.66	Mn	0.00	0.03	Mg	2.95	Mg	5.05	Mg	5.52	Mg	3.31	Mg	3.35	0.41	Mn	0.03	0.03	0.00	Mn	0.00
Zn																					

Cl	495	Cl	540
O = 28	CHL	O = 6	CAL
SiO ₂	37.22	SiO ₂	0.00
TiO ₂	0.14	SrO	0.04
Al ₂ O ₃	29.00	FeO	1.91
FeO	9.17	MnO	0.38
MnO	0.03	MgO	1.30
MgO	7.14	CaO	51.24
CaO	0.05	ZnO	0.00
Na ₂ O	0.59	BaO	0.00
K ₂ O	5.65	-	-
Cl	0.05	-	-
F	0.31	-	-
-	-	-	-
Total	89.34		54.86
Si	7.02	Si	0.00
Ti	0.02	Sr	0.00
Al	6.45	Fe ²⁺	0.16
Fe ²⁺	1.45	Mn	0.03
Mn	0.00	Mg	0.20
Mg	2.01	Ca	5.60
Ca	0.01	Zn	0.00
Na	0.22	Ba	0.00
K	1.36	-	-
Cl	0.01	-	-
F	0.15	-	-
-	-	-	-
Total	18.53		6.00

FACIES VULCANOSSEDIMENTAR (FORMAÇÃO RIO VERMELHO)

IV-22-01914

C1	732	733	734	735	736	737	738	739	740	C1	755	C2	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750
O = 23	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	O = 32	PL	O = 23	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP
SiO ₂	44.44	52.15	51.30	46.22	53.60	44.14	63.29	44.59	44.29	SiO ₂	62.86	SiO ₂	45.09	52.80	53.08	45.11	44.30	47.78	51.32	50.29	52.09	46.81
TiO ₂	0.46	0.06	0.17	0.37	0.09	0.41	0.01	0.19	0.23	Al ₂ O ₃	23.21	TiO ₂	0.35	0.12	0.14	0.23	0.27	0.25	0.17	0.30	0.30	0.24
Al ₂ O ₃	13.16	3.95	5.60	11.08	2.84	13.66	25.07	12.62	13.34	TiO ₂	0.00	Al ₂ O ₃	12.77	3.75	3.15	12.41	12.92	9.19	5.76	7.13	4.44	10.88
FeO	14.57	10.62	11.54	13.68	10.48	14.98	0.17	14.10	14.33	Fe ₂ O ₃	0.12	FeO	14.23	10.73	10.33	14.39	14.18	12.85	11.70	12.08	10.91	13.21
MnO	0.20	0.16	0.19	0.20	0.25	0.22	0.02	0.19	0.25	MnO	0.00	MnO	0.25	0.22	0.19	0.19	0.25	0.23	0.17	0.20	0.17	0.20
MgO	11.05	16.54	15.54	12.33	17.31	10.62	0.00	11.21	11.11	MgO	0.00	MgO	11.44	16.72	17.12	11.25	11.28	13.66	15.66	14.57	16.29	12.55
CaO	11.98	12.32	12.36	11.81	12.61	11.79	4.40	11.43	11.84	CaO	4.89	CaO	11.73	12.50	12.51	11.46	11.64	12.09	12.28	12.45	12.31	11.68
Na ₂ O	1.12	0.30	0.53	0.99	0.21	1.15	9.15	1.16	1.17	Na ₂ O	8.66	Na ₂ O	1.21	0.34	0.26	1.15	1.14	0.86	0.49	0.62	0.39	1.02
K ₂ O	0.33	0.05	0.11	0.21	0.04	0.36	0.07	0.31	0.35	K ₂ O	0.04	K ₂ O	0.25	0.06	0.04	0.34	0.32	0.21	0.08	0.11	0.09	0.23
Cl	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	-	-	Cl	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
F	0.10	0.00	0.04	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.06	-	-	F	0.06	0.00	0.00	0.03	0.02	0.12	0.02	0.00	0.07	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	97.41	96.14	97.38	96.90	97.45	97.37	102.17	95.81	96.99	Total	99.78	Total	97.37	97.24	96.82	96.56	96.31	97.24	97.66	97.75	97.05	96.83
Si	6.56	7.56	7.39	6.80	7.66	6.53	7.88	6.66	6.56	Si	11.14	Si	6.63	7.58	7.63	6.69	6.59	6.98	7.38	7.25	7.50	6.87
Ti	0.05	0.01	0.02	0.04	0.01	0.05	0.00	0.02	0.03	Al	4.85	Ti	0.04	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
Al	2.29	0.67	0.95	1.92	0.48	2.38	3.68	2.22	2.33	Ti	0.00	Al	2.21	0.63	0.53	2.17	2.27	1.58	0.98	1.21	0.75	1.88
Fe ₂ +	1.80	1.29	1.39	1.68	1.25	1.85	0.02	1.76	1.78	Fe ₃ +	0.02	Fe ₂ +	1.75	1.29	1.24	1.78	1.77	1.57	1.41	1.46	1.31	1.62
Mn	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.00	0.02	0.03	Mn	0.00	Mn	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
Mg	2.43	3.58	3.34	2.70	3.69	2.34	0.00	2.50	2.45	Mg	0.00	Mg	2.51	3.58	3.67	2.49	2.50	2.97	3.36	3.13	3.50	2.74
Ca	1.89	1.91	1.91	1.86	1.93	1.87	0.59	1.83	1.88	Ca	0.93	Ca	1.85	1.92	1.93	1.82	1.86	1.89	1.89	1.92	1.90	1.84
Na	0.32	0.08	0.15	0.28	0.06	0.33	2.21	0.34	0.34	Na	2.98	Na	0.35	0.10	0.07	0.33	0.33	0.24	0.14	0.17	0.11	0.29
K	0.06	0.01	0.02	0.04	0.01	0.07	0.01	0.06	0.07	K	0.01	K	0.05	0.01	0.01	0.06	0.06	0.04	0.01	0.02	0.02	0.04
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.05	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.19	-	-	F	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.01	0.00	0.03	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	15.44	15.14	15.20	15.36	15.13	15.45	14.39	15.41	15.65	Total	19.92	Total	15.45	15.15	15.13	15.41	15.44	15.40	15.21	15.21	15.18	15.33

IV-22-01914

C2	757	758	759	760	C3	751	752	C3	753	C3	761	762	763	C3	764	765	766
O = 32	PL	PL	PL	PL	O = 23	FSP?	AMP	O = 13	EP	O = 32	PL	PL	PL	O = 24	CHL	CHL	CHL
SiO ₂	59.75	61.40	63.55	63.65	SiO ₂	40.17	43.85	SiO ₂	56.82	SiO ₂	61.24	62.59	63.45	SiO ₂	61.87	25.81	25.89
Al ₂ O ₃	22.65	23.78	22.92	22.90	TiO ₂	0.08	0.36	TiO ₂	0.12	Al ₂ O ₃	22.67	22.99	22.67	TiO ₂	0.00	0.03	0.12
TiO ₂	0.00	0.01	0.00	0.00	Al ₂ O ₃	28.67	14.50	Al ₂ O ₃	22.46	TiO ₂	0.00	0.00	0.00	Al ₂ O ₃	20.79	21.26	20.85
Fe ₂ O ₃	0.31	0.09	0.12	0.15	FeO	6.32	14.78	Nd ₂ O ₃	0.05	Fe ₂ O ₃	0.38	0.04	0.19	FeO	0.18	18.28	18.12
MnO	0.00	0.00	0.03	0.01	MnO	0.07	0.20	FeO	1.67	MnO	0.00	0.00	0.00	MnO	0.00	0.18	0.22
MgO	0.02	0.00	0.00	0.00	MgO	0.02	10.41	MnO	0.03	MgO	0.52	0.01	0.01	MgO	0.05	19.63	19.50
CaO	4.81	5.54	4.35	4.46	CaO	23.11	11.44	MgO	0.02	CaO	4.34	4.65	4.39	CaO	1.92	0.02	0.04
Na ₂ O	8.29	8.50	8.82	9.07	Na ₂ O	0.00	1.36	CaO	8.13	Na ₂ O	8.40	8.62	9.21	Na ₂ O	4.61	0.01	0.01
K ₂ O	0.11	0.07	0.08	0.05	K ₂ O	0.01	0.38	Pr ₂ O ₃	0.00	K ₂ O	0.06	0.04	0.04	K ₂ O	3.48	0.01	0.01
-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.01	Ce ₂ O ₃	0.00	-	-	-	-	Cl	0.02	0.01	0.01
-	-	-	-	-	F	0.06	0.05	La ₂ O ₃	0.00	-	-	-	-	F	0.00	0.01	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	2.62	0.00	0.00
Total	95.95	99.38	99.87	100.28	Total	98.51	97.32	Total	89.31	Total	97.61	98.93	99.97	Total	95.53	85.24	84.75
Si	11.04	10.97	11.23	11.22	Si	5.73	6.48	Si	4.51	Si	11.14	11.17	11.23	Si	7.98	4.24	4.27
Al	4.93	5.01	4.78	4.76	Ti	0.01	0.04	Ti	0.01	Al	4.86	4.84	4.73	Ti	0.00	0.00	0.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	Al	4.82	2.52	Al	2.10	Ti	0.00	0.00	0.00	Al	3.16	4.12	4.06
Fe ₃ +	0.04	0.01	0.02	0.02	Fe ₂ +	0.75	1.83	Nd	0.00	Fe ₃ +	0.05	0.01	0.03	Fe ₂ +	0.02	2.51	2.50
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.03	Fe ₂ +	0.11	Mn	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.03	0.03
Mg	0.01	0.00	0.00	0.00	Mg	0.00	2.29	Mn	0.00	Mg	0.01	0.00	0.00	Mg	0.01	4.80	4.80
Ca	0.95	1.06	0.82	0.84	Ca	3.53	1.81	Mg	0.00	Ca	0.85	0.89	0.83	Ca	0.27	0.00	0.01
Na	2.97	2.94	3.02	3.10	Na	0.00	0.39	Ca	0.69	Na	2.96	2.98	3.16	Na	1.15	0.00	0.00
K	0.03	0.01	0.02	0.01	K	0.00	0.07	Pr	0.00	K	0.01	0.01	0.01	K	0.57	0.00	0.00
-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	Ce	0.00	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00
-	-	-	-	-	F	0.03	0.02	La	0.00	-	-	-	-	F	0.00	0.01	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ba	0.13	0.00	0.00
Total	19.97	20.00	19.89	19.95	Total	14.88	15.48	Total	7.43	Total	19.89	19.90	19.98	Total	13.30	15.71	15.69

METABASICA ALTERADA NOS METASSEDIMENTOS DA FORMAÇÃO RIBEIRÃO DAS ANTAS

K59_29280

C2	486	488	C2	487	C3	489	490	C3	461	462	463	C3	464a	464b	C4	491	493	492	C4	494	C4	536	537
O =28	CHL	CHL	O =22	OLG	O =28	CHL	CHL	O = 6	ILM	ILM	ILM	O = 6	RT?	ILM?	O =22	BT	BT	BT	O =28	CHL	O = 6	CAL	CAB
SiO ₂	26.13	25.10	SiO ₂	62.78	SiO ₂	25.80	26.25	SiO ₂	1.42	0.04	0.03	SiO ₂	18.10	20.34	SiO ₂	36.43	30.91	36.51	SiO ₂	26.24	SiO ₂	0.01	0.00
TiO ₂	0.01	0.20	TiO ₂	0.00	TiO ₂	0.01	0.09	TiO ₂	44.70	26.82	49.18	TiO ₂	76.41	36.44	TiO ₂	1.67	0.93	1.75	TiO ₂	0.05	SrO	0.02	0.01
Al ₂ O ₃	21.77	20.52	Al ₂ O ₃	23.33	Al ₂ O ₃	21.73	21.91	Al ₂ O ₃	0.98	0.03	0.00	Al ₂ O ₃	1.70	8.26	Al ₂ O ₃	15.68	18.84	15.93	Al ₂ O ₃	21.28	FeO	8.00	8.05
FeO	19.39	19.28	Fe ₂ O ₃	0.41	FeO	20.34	19.30	Cr ₂ O ₃	0.04	0.00	0.04	Cr ₂ O ₃	0.00	0.02	FeO	18.08	19.21	18.02	FeO	19.33	MnO	0.83	0.58
MnO	0.06	0.08	MnO	0.00	MnO	0.07	0.10	FeO	48.27	23.67	47.63	FeO	1.10	29.82	MnO	0.04	0.11	0.08	MnO	0.11	MgO	15.22	14.92
MgO	19.38	18.62	MgO	0.00	MgO	18.26	18.79	MnO	0.83	0.77	0.84	MnO	0.03	0.96	MgO	13.14	16.08	12.74	MgO	18.92	CaO	28.30	28.35
CaO	0.03	0.07	CaO	4.74	CaO	0.05	0.07	MgO	0.14	7.87	0.23	MgO	0.01	0.10	CaO	0.01	0.02	0.00	CaO	0.09	ZnO	0.11	0.04
Na ₂ O	0.04	0.08	Na ₂ O	8.78	Na ₂ O	0.05	0.06	ZnO	0.04	0.00	0.05	ZnO	0.01	0.00	Na ₂ O	0.18	0.09	0.20	Na ₂ O	0.11	BaO	0.09	0.04
K ₂ O	0.01	0.24	K ₂ O	0.04	K ₂ O	0.02	0.03	CaO	0.95	13.70	0.26	CaO	0.22	1.02	K ₂ O	8.84	4.18	8.97	K ₂ O	0.13	-	-	-
Cl	0.00	0.00	Cl	0.01	Cl	0.00	0.02	NiO	0.02	0.01	0.00	NiO	0.04	0.00	Cl	0.01	0.01	0.01	Cl	0.00	-	-	-
F	0.00	0.09	F	0.01	F	0.00	0.00	Nb ₂ O ₅	0.03	0.00	0.01	Nb ₂ O ₅	0.03	0.01	F	0.34	0.28	0.55	F	0.00	-	-	-
Total	86.82	84.29	Total	100.09	Total	86.33	86.60	Total	97.40	72.89	98.27	Total	97.64	96.96	Total	94.42	90.66	94.75	Total	86.25	Total	52.58	51.98
Si	5.38	5.36	Si	7.64	Si	5.37	5.41	Si	0.07	0.00	0.00	Si	0.70	0.89	Si	5.58	4.88	5.58	Si	5.45	Si	0.00	0.00
Ti	0.00	0.03	Ti	0.00	Ti	0.00	0.01	Ti	1.77	1.39	1.92	Ti	2.22	1.20	Ti	0.19	0.11	0.20	Ti	0.01	Sr	0.00	0.00
Al	5.28	5.17	Al	3.35	Al	5.34	5.33	Al	0.06	0.00	0.00	Al	0.08	0.43	Al	2.83	3.50	2.87	Al	5.21	Fe2+	0.66	0.67
Fe2+	3.34	3.45	Fe3+	0.04	Fe2+	3.54	3.33	Cr	0.00	0.00	0.00	Cr	0.00	0.00	Fe2+	2.32	2.54	2.30	Fe2+	3.35	Mn	0.07	0.05
Mn	0.01	0.01	Mn	0.00	Mn	0.01	0.02	Fe2+	2.12	1.36	2.07	Fe2+	0.04	1.09	Mn	0.00	0.01	0.01	Mn	0.02	Mg	2.25	2.23
Mg	5.95	5.93	Mg	0.00	Mg	5.67	5.78	Mn	0.04	0.04	0.04	Mn	0.00	0.04	Mg	3.00	3.78	2.90	Mg	5.85	Ca	3.00	3.04
Ca	0.01	0.02	Ca	0.62	Ca	0.01	0.02	Mg	0.01	0.81	0.02	Mg	0.00	0.01	Ca	0.00	0.00	0.00	Ca	0.02	Zn	0.01	0.00
Na	0.02	0.03	Na	2.07	Na	0.02	0.03	Zn	0.00	0.00	0.00	Zn	0.00	0.00	Na	0.05	0.03	0.06	Na	0.04	Ba	0.00	0.00
K	0.00	0.07	K	0.01	K	0.01	0.01	Ca	0.05	1.01	0.01	Ca	0.01	0.05	K	1.73	0.84	1.75	K	0.03	-	-	-
Cl	0.00	0.00	Cl	0.00	Cl	0.00	0.00	Ni	0.00	0.00	0.00	Ni	0.00	0.00	Cl	0.00	0.00	0.00	Cl	0.00	-	-	-
F	0.00	0.05	F	0.00	F	0.00	0.00	Nb	0.00	0.00	0.00	Nb	0.00	0.00	F	0.16	0.14	0.27	F	0.00	-	-	-
Total	19.99	20.12	Total	13.73	Total	19.97	19.93	Total	4.13	4.61	4.07	Total	3.04	3.70	Total	15.87	15.84	15.95	Total	19.98	Total	6.00	6.00

K59_29280

C5	538	539	C5	541
O = 6	CAB	CAB	O = 6	MAG
SiO ₂	0.01	0.00	SiO ₂	0.02
SrO	0.01	0.00	TiO ₂	0.10
FeO	2.31	2.57	Al ₂ O ₃	0.28
MnO	0.56	0.52	Cr ₂ O ₃	0.01
MgO	1.87	1.97	FeO	91.66
CaO	53.71	55.06	MnO	0.01
ZnO	0.07	0.03	MgO	0.00
BaO	0.05	0.00	ZnO	0.10
-	-	-	CaO	0.01
-	-	-	NiO	0.00
-	-	-	Nb ₂ O ₅	0.01
Total	58.59	60.15	Total	92.19
Si	0.00	0.00	Si	0.00
Sr	0.00	0.00	Ti	0.01
Fe2+	0.18	0.20	Al	0.03
Mn	0.04	0.04	Cr	0.00
Mg	0.27	0.27	Fe2+	5.94
Ca	5.50	5.48	Mn	0.00
Zn	0.01	0.00	Mg	0.00
Ba	0.00	0.00	Zn	0.01
-	-	-	Ca	0.00
-	-	-	Ni	0.00
-	-	-	Nb	0.00
Total	6.00	6.00	Total	5.98

K49-19790

C1	726	727	728	729	730	730	C1	780	781	C2	776	777	C2	797	798	799
O =31	TUR	TUR	TUR	TUR	TUR	TUR	O = 32	PL	PL	O = 6	CAB	CAB	Atom%	PO	PO	PO
SiO ₂	36.12	35.72	36.17	36.05	36.58	35.83	SiO ₂	69.14	69.34	SiO ₂	0.01	0.00	Fe	47.38	77.70	47.27
TiO ₂	0.09	0.60	0.46	0.29	0.17	0.71	Al ₂ O ₃	19.42	19.41	FeO	1.89	1.75	As	0.01	0.03	0.03
Al ₂ O ₃	31.96	31.51	32.51	31.93	32.93	31.97	TiO ₂	0.00	0.00	MnO	0.29	0.32	S	52.48	22.16	52.56
FeO	8.77	8.08	6.67	6.11	6.31	6.02	Fe ₂ O ₃	0.50	0.00	MgO	0.74	0.75	Zn	0.00	0.02	0.00
MnO	0.00	0.03	0.06	0.00	0.01	0.03	MnO	0.01	0.02	CaO	52.94	54.56	Cu	0.00	0.00	0.00
MgO	6.16	6.78	7.22	7.68	7.28	7.56	MgO	0.03	0.00	-	-	-	Co	0.00	0.00	0.00
CaO	0.12	0.32	0.49	0.69	0.30	0.77	CaO	0.16	0.14	-	-	-	Ni	0.13	0.09	0.13
Na ₂ O	2.01	2.39	2.19	2.06	1.98	1.95	Na ₂ O	11.35	11.67	-	-	-	Au	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	K ₂ O	0.06	0.04	-	-	-	-	-	-	-
F	0.20	0.22	0.17	0.63	0.01	0.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	85.45	85.64	85.94	85.47	85.59	85.51	Total	100.67	100.63	Total	55.87	57.37	Total	100.00	100.00	100.00
Si	7.59	7.50	7.50	7.54	7.56	7.49	Si	12.00	12.03	Si	0.00	0.00	Wt%	-	-	-
Ti	0.01	0.09	0.07	0.05	0.03	0.11	Al	3.97	3.97	Fe2+	0.16	0.14	Fe	60.93	51.45	60.31
Al	7.92	7.80	7.94	7.87	8.02	7.88	Ti	0.00	0.00	Mn	0.02	0.03	As	0.02	0.03	0.06
Fe2+	1.54	1.42	1.16	1.07	1.09	1.05	Fe3+	0.06	0.00	Mg	0.11	0.11	S	38.74	8.42	38.49
Mn	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	Mn	0.00	0.00	Ca	5.70	5.72	Zn	0.00	0.02	0.00
Mg	1.93	2.12	2.23	2.39	2.24	2.36	Mg	0.01	0.00	-	-	-	Cu	0.00	0.00	0.00
Ca	0.03	0.07	0.11	0.16	0.07	0.17	Ca	0.03	0.03	-	-	-	Co	0.00	0.00	0.00
Na	0.82	0.97	0.88	0.83	0.79	0.79	Na	3.82	3.93	-	-	-	Ni	0.17	0.07	0.18
K	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	K	0.01	0.01	-	-	-	Au	0.00	0.00	0.02
F	0.13	0.15	0.11	0.42	0.01	0.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	19.98	20.14	20.01	20.32	19.81	20.30	Total	19.90	19.96	Total	6.00	6.00	Total	99.87	59.98	99.06

K49-19790

C3	767	768	769	770	C3	782	783	784	C4	771	772	C4	779	780	C4	785	786	C4	807?
O = 22	CHL	BT	CHL	CHL	O = 32	PL	PL	PL	O = 22	BT	BT	O = 6	CAB	CAB	O = 32	PL	PL	Atom%	PO
SiO ₂	30.48	32.08	22.70	23.15	SiO ₂	69.57	69.72	69.57	SiO ₂	35.14	34.98	SiO ₂	0.05	0.00	SiO ₂	69.17	69.26	Fe	99.86
TiO ₂	3.97	1.92	0.61	0.13	Al ₂ O ₃	19.56	19.28	19.50	TiO ₂	1.56	1.75	FeO	11.26	11.46	Al ₂ O ₃	19.72	19.41	As	0.12
Al ₂ O ₃	19.77	15.45	18.97	20.55	TiO ₂	0.01	0.01	0.02	Al ₂ O ₃	16.95	16.90	MnO	0.69	0.49	TiO ₂	0.00	0.01	S	0.02
FeO	27.19	28.62	33.26	33.37	Fe ₂ O ₃	0.05	0.01	0.02	FeO	18.20	18.67	MgO	13.19	12.99	Fe ₂ O ₃	0.01	0.07	Cu	0.00
MnO	0.00	0.04	0.02	0.02	MnO	0.02	0.02	0.00	MnO	0.01	0.04	CaO	27.36	28.01	MnO	0.03	0.05	Ni	0.00
MgO	1.22	5.59	8.45	9.31	MgO	0.00	0.00	0.00	MgO	10.39	10.12	-	-	-	MgO	0.00	0.01	Au	0.00
CaO	0.16	0.29	0.08	0.03	CaO	0.34	0.10	0.18	CaO	0.05	0.00	-	-	-	CaO	0.41	0.19	-	-
Na ₂ O	0.19	0.03	0.27	0.13	Na ₂ O	11.34	11.59	11.72	Na ₂ O	0.63	0.21	-	-	-	Na ₂ O	11.44	11.65	-	-
K ₂ O	3.79	6.09	0.08	0.01	K ₂ O	0.03	0.03	0.04	K ₂ O	8.49	9.05	-	-	-	K ₂ O	0.06	0.04	-	-
Cl	0.04	0.06	0.04	0.03	-	-	-	-	Cl	0.08	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.16	0.19	0.04	0.03	-	-	-	-	F	0.17	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	0.00	0.40	0.04	0.00	-	-	-	-	BaO	0.50	0.63	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	86.97	90.36	84.56	86.75	Total	100.92	100.76	101.04	Total	92.15	92.61	Total	52.55	52.95	Total	100.83	100.67	Total	100.00
Si		5.39			Si	12.02	12.06	12.02	Si	5.54	5.52	Si	0.00	0.00	Si	11.98	12.01	Wt%	
Ti		0.24			Al	3.98	3.93	3.97	Ti	0.18	0.21	Fe2+	0.96	0.97	Al	4.02	3.97	Fe	32.42
Al		3.06			Ti	0.00	0.00	0.00	Al	3.15	3.14	Mn	0.06	0.04	Ti	0.00	0.00	As	0.05
Fe2+		4.02			Fe3+	0.01	0.00	0.00	Fe2+	2.40	2.46	Mg	2.00	1.96	Fe3+	0.00	0.01	S	0.00
Mn		0.01			Mn	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.01	Ca	2.98	3.03	Mn	0.00	0.01	Cu	0.00
Mg		1.40			Mg	0.00	0.00	0.00	Mg	2.44	2.38	-	-	-	Mg	0.00	0.00	Ni	0.00
Ca		0.05			Ca	0.06	0.02	0.03	Ca	0.01	0.00	-	-	-	Ca	0.08	0.03	Au	0.00
Na		0.01			Na	3.80	3.89	3.93	Na	0.19	0.07	-	-	-	Na	3.84	3.92	-	-
K		1.31			K	0.01	0.01	0.01	K	1.71	1.82	-	-	-	K	0.01	0.01	-	-
Cl		0.02			-	-	-	-	Cl	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
F		0.10			-	-	-	-	F	0.08	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba		0.03			-	-	-	-	Ba	0.03	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0.00	15.62	0.00	0.00	Total	19.88	19.92	19.96	Total	15.76	15.76	Total	6.00	6.00	Total	19.94	19.96	Total	32.47

K59-34143

Cl	67	194	198	195	197	196	199	200	201	202	207	Cl	63	64	65	66	68	203	206	204	205	Cl	235
O = 6	CAB	CAB	CAB	CAB	CAB	CAB	CAB	CAB	CAB	CAB	CAB	O = 22	SE	SE	SE	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	O = 14	CLD
SiO ₂	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.05	0.05	0.02	0.06	0.04	0.09	SiO ₂	45.81	45.41	45.67	22.19	22.38	22.06	22.12	23.00	23.05	SiO ₂	24.06
FeO	0.30	0.34	0.85	5.16	1.00	2.90	2.75	3.29	0.70	3.63	1.87	TiO ₂	0.10	0.00	0.17	0.00	0.08	0.02	0.00	0.02	0.03	TiO ₂	0.00
MnO	0.32	0.34	0.21	0.16	0.15	0.09	0.09	0.18	0.24	0.14	0.22	Al ₂ O ₃	35.04	37.59	36.23	23.00	22.34	22.68	22.72	23.36	22.81	Al ₂ O ₃	42.36
MgO	0.09	0.07	0.10	0.68	0.07	0.54	0.39	0.42	0.04	0.67	0.77	FeO	1.28	0.59	1.39	32.26	35.03	35.06	34.09	32.89	32.70	FeO	25.13
CaO	57.90	62.20	54.56	47.87	56.43	49.65	51.71	51.58	54.02	50.76	49.01	MnO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.03	MnO	0.04
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MgO	0.54	0.19	0.37	8.30	7.14	6.15	7.62	8.35	8.89	MgO	1.78
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CaO	0.00	0.27	0.05	0.12	0.04	0.32	0.20	0.07	0.04	CaO	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Na ₂ O	1.40	3.37	1.61	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	Na ₂ O	0.01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K ₂ O	8.83	5.42	8.40	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	K ₂ O	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.36	0.10	0.14	0.00	0.06	0.04	0.01	0.00	0.09	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	58.60	62.96	55.72	53.90	57.66	53.22	54.99	55.49	55.06	55.24	51.96	Total	93.36	92.94	94.06	85.91	87.14	86.38	86.81	87.74	87.69	Total	93.38
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	Si	6.20	6.05	6.11	3.92	3.96	3.94	3.91	3.97	3.99	Si	2.30
Fe2+	0.09	0.03	0.07	0.45	0.08	0.25	0.23	0.28	0.06	0.31	0.17	Ti	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Ti	0.00
Mn	0.09	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	Al	5.59	5.90	5.72	4.79	4.66	4.78	4.73	4.76	4.65	Al	4.76
Mg	0.04	0.01	0.01	0.11	0.01	0.08	0.06	0.06	0.01	0.10	0.12	Fe2+	0.15	0.07	0.16	4.77	5.18	5.24	5.04	4.75	4.73	Fe2+	2.01
Ca	21.75	5.92	5.87	5.39	5.89	5.59	5.65	5.61	5.88	5.49	5.61	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mg	0.11	0.04	0.07	2.18	1.88	1.64	2.01	2.15	2.29	Mg	0.25
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ca	0.00	0.04	0.01	0.02	0.01	0.06	0.04	0.01	0.01	Ca	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Na	0.37	0.87	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Na	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K	1.52	0.92	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.15	0.04	0.06	0.00	0.03	0.02	0.01	0.00	0.05	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	21.98	5.98	5.98	5.97	6.00	5.94	5.96	5.97	5.97	5.91	5.93	Total	14.10	13.93	14.00	15.70	15.75	15.70	15.74	15.65	15.74	Total	9.32

PROXIMIDADES DA ZONA SUPERIOR (CAPA DA ZONA MINERALIZADA)

K49_26288																					
C1	506	504	505	507	C1	472	473	C1	474	475	476	C1	452	453	454	C1	525	526	C2	508	509
O=14	CLD2	CLD2	CLD2	CLD1	O=22	SE	SE	O=28	CHL	CHL	CHL	O=6	ILM	ILM	ILM	O=6	CAB	CAB	O=14	CLDn?	CLDn?
SiO ₂	23.99	22.37	24.10	23.47	SiO ₂	44.11	40.70	SiO ₂	23.40	23.10	23.59	SiO ₂	0.00	0.07	1.28	SiO ₂	0.05	0.05	SiO ₂	24.40	24.21
TiO ₂	0.02	0.06	0.01	0.01	TiO ₂	0.32	0.25	TiO ₂	0.02	0.06	0.01	TiO ₂	49.62	49.47	49.01	SrO	0.01	0.00	TiO ₂	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	39.17	38.38	39.33	39.79	Al ₂ O ₃	34.74	33.15	Al ₂ O ₃	22.30	22.04	22.61	Al ₂ O ₃	0.04	0.02	0.06	FeO	4.41	4.43	Al ₂ O ₃	39.83	40.14
FeO	25.35	24.99	25.10	24.89	FeO	1.40	1.60	FeO	30.36	29.71	30.09	Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.00	MnO	0.15	0.17	FeO	25.21	25.48
MnO	0.09	0.09	0.09	0.08	MnO	0.02	0.00	MnO	0.02	0.03	0.03	FeO	47.34	47.76	46.89	MgO	1.39	1.38	MnO	0.02	0.07
MgO	1.84	1.71	2.13	2.11	MgO	0.60	0.67	MgO	10.56	10.55	10.74	MnO	0.16	0.15	0.20	CaO	52.25	51.91	MgO	2.04	1.91
CaO	0.02	0.00	0.01	0.02	CaO	0.01	0.03	CaO	0.01	0.00	0.02	MgO	0.14	0.13	0.23	ZnO	0.00	0.08	CaO	0.02	0.01
Na ₂ O	0.01	0.01	0.00	0.02	Na ₂ O	1.08	1.02	Na ₂ O	0.00	0.00	0.02	ZnO	0.00	0.11	0.08	BaO	0.00	0.12	Na ₂ O	0.01	0.01
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	K ₂ O	9.47	9.40	K ₂ O	0.03	0.00	0.00	CaO	0.00	0.12	0.09	-	-	-	K ₂ O	0.00	0.00
Cl	0.00	0.01	0.00	0.00	Cl	0.01	0.00	Cl	0.01	0.00	0.01	NiO	0.00	0.03	0.00	-	-	-	Cl	0.00	0.00
F	0.02	0.00	0.00	0.04	F	0.22	0.22	F	0.05	0.16	0.15	Nb ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	-	-	-	F	0.05	0.02
Total	90.52	87.62	90.76	90.42		91.97	87.04		86.75	85.66	87.28		97.30	97.86	97.83		58.26	58.13		91.58	91.83
Si	2.38	2.30	2.38	2.32	Si	6.09	5.98	Si	5.14	5.14	5.14	Si	0.00	0.00	0.07	Si	0.00	0.00	Si	2.38	2.36
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	Ti	0.03	0.03	Ti	0.00	0.01	0.00	Ti	1.95	1.94	1.90	Sr	0.00	0.00	Ti	0.00	0.00
Al	4.57	4.65	4.57	4.64	Al	5.65	5.74	Al	5.78	5.78	5.81	Al	0.00	0.00	0.00	Fe2+	0.36	0.36	Al	4.58	4.61
Fe2+	2.10	2.15	2.07	2.06	Fe2+	0.16	0.20	Fe2+	5.58	5.53	5.49	Cr	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.01	Fe2+	2.06	2.08
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	Mn	0.00	0.00	Mn	0.00	0.01	0.01	Fe2+	2.07	2.08	2.02	Mg	0.20	0.20	Mn	0.00	0.01
Mg	0.27	0.26	0.31	0.31	Mg	0.12	0.15	Mg	3.46	3.50	3.49	Mn	0.01	0.01	0.01	Ca	5.42	5.41	Mg	0.30	0.28
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.00	0.00	Ca	0.00	0.00	0.01	Mg	0.01	0.01	0.02	Zn	0.00	0.01	Ca	0.00	0.00
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	Na	0.29	0.29	Na	0.00	0.00	0.01	Zn	0.00	0.00	0.00	Ba	0.00	0.00	Na	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	K	1.67	1.76	K	0.01	0.00	0.00	Ca	0.00	0.01	0.01	-	-	-	K	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	Cl	0.00	0.00	Cl	0.00	0.00	0.00	Ni	0.00	0.00	0.00	-	-	-	Cl	0.00	0.00
F	0.01	0.00	0.00	0.01	F	0.09	0.10	F	0.03	0.00	0.08	Nb	0.00	0.00	0.00	-	-	-	F	0.01	0.01
Total	9.34	9.37	9.34	9.35		14.03	14.15		19.97	19.96	19.95		4.05	4.06	4.03		6.00	6.00		9.33	9.34

K49_26288

C2	477	479	C2	478	C2	480	C2	455	456	C2	528	C3	969	970	971	972	973	974	C3	481	C3	457	458
O=24	MRG	MRG	O=22	SE	O=28	CHL	O=6	ILM	ILM	O=6	CAB	O=23	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP	O=28	CHL	O=6	ILM	ILM
SiO ₂	31.91	31.19	SiO ₂	45.58	SiO ₂	22.46	SiO ₂	0.03	0.49	SiO ₂	0.05	SiO ₂	39.37	39.45	39.29	39.35	39.37	39.28	SiO ₂	23.79	SiO ₂	0.06	0.00
TiO ₂	0.05	0.07	TiO ₂	0.07	TiO ₂	0.00	TiO ₂	49.81	49.24	SrO	0.06	TiO ₂	0.21	0.27	0.15	0.27	0.19	0.16	TiO ₂	0.11	TiO ₂	50.81	50.44
Al ₂ O ₃	48.27	49.85	Al ₂ O ₃	34.98	Al ₂ O ₃	21.59	Al ₂ O ₃	0.02	0.03	FeO	4.75	Al ₂ O ₃	21.69	21.40	21.26	21.46	21.73	21.40	Al ₂ O ₃	21.79	Al ₂ O ₃	0.05	0.04
FeO	0.94	0.65	FeO	1.79	FeO	35.84	Cr ₂ O ₃	0.00	0.03	MnO	0.15	FeO	20.75	20.72	20.83	20.59	20.23	20.41	FeO	31.14	Cr ₂ O ₃	0.04	0.00
MnO	0.03	0.02	MnO	0.00	MnO	0.05	FeO	48.26	46.66	MgO	1.41	MnO	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	MnO	0.00	FeO	46.99	48.01
MgO	0.23	0.24	MgO	0.75	MgO	6.32	MnO	0.13	0.13	CaO	53.03	MgO	4.02	3.92	3.94	4.07	4.05	3.99	MgO	10.53	MnO	0.09	0.06
CaO	10.23	10.76	CaO	0.02	CaO	0.09	MgO	0.24	0.19	ZnO	0.00	CaO	11.19	10.97	11.01	11.32	11.47	11.27	CaO	0.05	MgO	0.18	0.09
Na ₂ O	1.58	1.80	Na ₂ O	0.81	Na ₂ O	0.01	ZnO	0.06	0.00	BaO	0.02	Na ₂ O	1.18	1.25	1.27	1.16	1.24	1.19	Na ₂ O	0.00	ZnO	0.00	0.00
K ₂ O	0.34	0.09	K ₂ O	9.49	K ₂ O	0.00	CaO	0.16	0.76	-	-	K ₂ O	0.46	0.43	0.45	0.45	0.47	0.48	K ₂ O	0.01	CaO	0.14	0.08
Cl	0.01	0.02	Cl	0.00	Cl	0.01	NiO	0.01	0.00	-	-	Cl	0.05	0.05	0.04	0.06	0.02	0.03	Cl	0.01	NiO	0.01	0.05
F	0.15	0.27	F	0.17	F	0.10	Nb ₂ O ₅	0.03	0.00	-	-	F	0.11	0.11	0.21	0.11	0.26	0.15	F	0.12	Nb ₂ O ₅	0.02	0.00
Total	93.75	94.94		93.66		86.47		98.73	97.51		59.47	Total	99.04	99.04	98.46	98.84	99.03	98.37		87.54		98.39	98.76
Si	4.69	4.54	Si	6.17	Si	5.13	Si	0.00	0.03	Si	0.00	Si	5.87	5.91	5.91	5.88	5.87	5.90	Si	5.20	Si	0.00	0.00
Ti	0.01	0.01	Ti	0.01	Ti	0.00	Ti	1.94	1.93	Sr	0.00	Ti	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	Ti	0.02	Ti	1.97	1.96
Al	8.37	8.56	Al	5.58	Al	5.81	Al	0.00	0.00	Fe2+	0.38	Al	3.81	3.78	3.77	3.78	3.82	3.79	Al	5.62	Al	0.00	0.00
Fe2+	0.12	0.08	Fe2+	0.20	Fe2+	6.84	Cr	0.00	0.00	Mn	0.01	Fe2+	2.59	2.60	2.62	2.57	2.52	2.56	Fe2+	5.69	Cr	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	Mn	0.00	Mn	0.01	Fe2+	2.09	2.03	Mg	0.20	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	Fe2+	2.02	2.07
Mg	0.05	0.05	Mg	0.15	Mg	2.15	Mn	0.01	0.01	Ca	5.40	Mg	0.89	0.87	0.88	0.91	0.90	0.89	Mg	3.43	Mn	0.00	0.00
Ca	1.61	1.68	Ca	0.00	Ca	0.02	Mg	0.02	0.01	Zn	0.00	Ca	1.79	1.76	1.77	1.81	1.83	1.81	Ca	0.01	Mg	0.01	0.01
Na	0.45	0.51	Na	0.21	Na	0.01	Zn	0.00	0.00	Ba	0.00	Na	0.34	0.36	0.37	0.34	0.36	0.35	Na	0.00	Zn	0.00	0.00
K	0.06	0.02	K	1.64	K	0.00	Ca	0.01	0.04	-	-	K	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	K	0.00	Ca	0.01	0.00
Cl	0.00	0.01	Cl	0.00	Cl	0.00	Ni	0.00	0.00	-	-	Cl	0.05	0.05	0.10	0.05	0.12	0.07	Cl	0.00	Ni	0.00	0.00
F	0.06	0.11	F	0.07	F	0.05	Nb	0.00	0.00	-	-	F	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	F	0.07	Nb	0.00	0.00
Total	15.37	15.44		13.96		19.97		4.06	4.05		6.00	Total	15.41	15.39	15.42	15.47	15.55	15.49		19.97		4.03	4.04

K49_26288

C3	510	C3	529	C4	975	976	977	C4	483	C4	530	531	C5	484	485	C5	532	534	C5	511	512	513	514
O = 24	ALM	O = 6	CAB	O = 23	AMP	AMP	AMP	O = 28	CHL	O = 6	CAB	CAB	O = 28	CHL	CHL	O = 6	CAB	CAB	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT
SiO ₂	34.91	SiO ₂	0.02	SiO ₂	39.36	39.39	39.62	SiO ₂	23.03	SiO ₂	0.01	0.02	SiO ₂	22.88	22.40	SiO ₂	0.03	0.03	SiO ₂	32.30	31.78	36.67	36.84
Al ₂ O ₃	20.40	SrO	0.00	TiO ₂	0.27	0.32	0.28	TiO ₂	0.06	SrO	0.00	0.04	TiO ₂	0.09	0.05	SrO	0.01	0.02	Al ₂ O ₃	19.54	19.34	20.95	20.81
TiO ₂	0.09	FeO	2.86	Al ₂ O ₃	21.23	21.15	21.34	Al ₂ O ₃	21.74	FeO	3.26	3.36	Al ₂ O ₃	22.16	21.43	FeO	3.20	2.47	TiO ₂	0.00	0.06	0.10	0.08
FeO	33.50	MnO	0.13	FeO	20.64	20.41	20.73	FeO	30.79	MnO	0.10	0.09	FeO	34.64	32.96	MnO	0.10	0.12	FeO	31.68	31.58	33.71	34.05
MnO	0.37	MgO	0.87	MnO	0.00	0.00	0.01	MnO	0.10	MgO	0.98	1.09	MnO	0.08	0.09	MgO	0.07	0.34	MnO	0.36	0.28	0.38	0.53
MgO	1.26	CaO	54.66	MgO	4.25	4.15	4.17	MgO	10.06	CaO	50.46	51.67	MgO	7.24	7.86	CaO	51.15	52.25	MgO	1.37	1.39	1.28	1.17
CaO	6.02	ZnO	0.01	CaO	11.26	11.18	11.11	CaO	0.04	ZnO	0.00	0.00	CaO	0.01	0.05	ZnO	0.03	0.02	CaO	6.76	6.04	6.40	6.18
Na ₂ O	0.05	BaO	0.09	Na ₂ O	1.35	1.23	1.25	Na ₂ O	0.05	BaO	0.00	0.12	Na ₂ O	0.04	0.01	BaO	0.00	0.05	Na ₂ O	0.00	0.00	0.03	0.00
Cr ₂ O ₃	0.06	-	-	K ₂ O	0.51	0.52	0.48	K ₂ O	0.01	-	-	-	K ₂ O	0.01	0.03	-	-	-	Cr ₂ O ₃	0.09	0.07	0.04	0.05
-	-	-	-	Cl	0.04	0.06	0.04	Cl	0.01	-	-	-	Cl	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	F	0.15	0.35	0.16	F	0.21	-	-	-	F	0.22	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-
96.67			58.63	Total	99.06	98.76	99.18	Total	86.08		54.82	56.40		87.34	85.02		54.59	55.29		92.09	90.54	99.55	99.70
Si	5.87	Si	0.00	Si	5.88	5.91	5.90	Si	5.14	Si	0.00	0.00	Si	5.13	5.13	Si	0.00	0.00	Si	5.73	5.73	5.95	5.98
Al	4.04	Sr	0.00	Ti	0.03	0.04	0.03	Ti	0.01	Sr	0.00	0.00	Ti	0.02	0.01	Sr	0.00	0.00	Al	4.08	4.11	4.01	3.98
Ti	0.01	Fe2+	0.23	Al	3.74	3.74	3.75	Al	5.72	Fe2+	0.23	0.28	Al	5.85	5.79	Fe2+	0.27	0.21	Ti	0.00	0.01	0.01	0.01
Fe2+	4.71	Mn	0.01	Fe2+	2.58	2.56	2.58	Fe2+	5.74	Mn	0.01	0.01	Fe2+	6.49	6.32	Mn	0.01	0.01	Fe2+	4.70	4.76	4.58	4.62
Mn	0.05	Mg	0.12	Mn	0.00	0.00	0.00	Mn	0.02	Mg	0.12	0.16	Mn	0.01	0.02	Mg	0.11	0.05	Mn	0.05	0.04	0.05	0.07
Mg	0.32	Ca	5.63	Mg	0.95	0.93	0.93	Mg	3.35	Ca	5.63	5.54	Mg	2.42	2.68	Ca	5.60	5.72	Mg	0.36	0.37	0.31	0.28
Ca	1.08	Zn	0.00	Ca	1.80	1.80	1.77	Ca	0.01	Zn	0.00	0.00	Ca	0.00	0.01	Zn	0.00	0.00	Ca	1.28	1.17	1.11	1.07
Na	0.02	Ba	0.00	Na	0.39	0.36	0.36	Na	0.02	Ba	0.00	0.00	Na	0.02	0.01	Ba	0.00	0.00	Na	0.00	0.00	0.01	0.00
Cr	0.01	-	-	K	0.10	0.10	0.09	K	0.00	-	-	-	K	0.00	0.01	-	-	-	Cr	0.01	0.01	0.00	0.01
-	-	-	-	Cl	0.07	0.17	0.07	Cl	0.00	-	-	-	Cl	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	F	0.01	0.01	0.01	F	0.11	-	-	-	F	0.12	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-
16.11			6.00	Total	15.54	15.60	15.50	Total	20.01		6.00	6.00		19.94	19.97		6.00	6.00		16.22	16.20	16.03	16.02

K49_26288

C5	515	516	517	518	519	520	C5	522	523	524	C10	988	989
O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 24	GRT	GRT	GRT	O = 22	SE	SE
SiO ₂	36.68	33.68	36.50	36.67	37.02	37.24	SiO ₂	36.88	36.84	36.70	SiO ₂	44.73	45.66
Al ₂ O ₃	20.78	19.89	20.83	20.85	20.84	21.07	Al ₂ O ₃	20.78	20.77	21.10	TiO ₂	0.22	0.14
TiO ₂	0.05	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	TiO ₂	0.00	0.00	0.02	Al ₂ O ₃	33.54	34.24
FeO	33.17	31.82	34.20	34.03	34.11	34.10	FeO	33.97	33.32	33.92	FeO	2.51	1.81
MnO	0.78	0.99	0.38	0.40	0.50	0.40	MnO	1.33	0.69	0.43	MnO	0.01	0.02
MgO	0.98	0.94	1.23	1.25	1.13	1.33	MgO	0.91	1.00	1.40	MgO	0.58	0.82
CaO	7.20	6.81	6.05	6.39	6.41	6.00	CaO	6.27	6.79	6.17	CaO	0.02	0.01
Na ₂ O	0.05	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	Na ₂ O	0.02	0.00	0.00	Na ₂ O	0.76	0.88
Cr ₂ O ₃	0.00	0.05	0.03	0.04	0.07	0.07	Cr ₂ O ₃	0.08	0.06	0.03	K ₂ O	9.42	9.44
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.12	0.24
99.67 94.21 99.22 99.66 100.09 100.22 Total							100.24 99.46 99.76 Total 91.93 93.24						
Si	5.96	5.82	5.96	5.95	5.98	5.99	Si	5.97	5.99	5.94	Si	6.18	6.20
Al	3.98	4.05	4.00	3.99	3.97	4.00	Al	3.97	3.98	4.03	Ti	0.02	0.01
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ti	0.00	0.00	0.00	Al	5.46	5.48
Fe2+	4.51	4.60	4.67	4.62	4.61	4.59	Fe2+	4.60	4.53	4.59	Fe2+	0.29	0.21
Mn	0.11	0.15	0.05	0.06	0.07	0.05	Mn	0.18	0.09	0.06	Mn	0.00	0.00
Mg	0.24	0.24	0.30	0.30	0.27	0.32	Mg	0.22	0.24	0.34	Mg	0.12	0.17
Ca	1.25	1.26	1.06	1.11	1.11	1.04	Ca	1.09	1.18	1.07	Ca	0.00	0.00
Na	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Na	0.01	0.00	0.00	Na	0.20	0.23
Cr	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	Cr	0.01	0.01	0.00	K	1.66	1.63
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.05	0.10
16.06 16.14 16.04 16.04 16.03 16.00 Total							16.04 16.02 16.04 Total 13.95 13.93						

PROXIMIDADES DA ZONA INTERMEDIARIA

K59-38571																									
Cl	208	209	C1	21	20	22	991	992	993	994	C1	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184		
O = 6	CAB	CAB	O = 32	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT
SiO ₂	0.05	0.07	SiO ₂	63.26	67.53	63.63	69.63	69.68	78.69	69.77	SiO ₂	37.33	36.79	37.14	37.24	36.83	37.16	36.90	36.75	37.27	36.57	36.46	37.32		
FeO	1.29	1.72	Al ₂ O ₃	22.39	20.36	22.48	19.32	20.13	14.33	19.38	Al ₂ O ₃	20.15	20.20	20.21	20.32	20.18	20.18	20.14	20.11	20.22	19.97	20.21	20.35		
MnO	0.15	0.13	TiO ₂	0.01	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	TiO ₂	0.04	0.00	0.05	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	0.03	0.03	0.13	0.05		
MgO	0.06	0.04	Fe ₂ O ₃	0.85	0.20	0.24	0.07	0.04	0.01	0.06	FeO	35.20	34.73	33.56	33.56	34.53	34.54	35.64	35.53	35.30	34.67	32.85	34.36		
CaO	52.24	49.83	MnO	0.01	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	MnO	0.12	0.11	0.11	0.24	0.19	0.06	0.13	0.07	0.13	0.12	0.49	0.18		
-	-	-	MgO	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.01	MgO	1.21	0.96	0.68	0.83	0.98	1.09	1.30	1.15	0.99	0.87	0.66	0.89		
-	-	-	CaO	3.52	1.18	3.92	0.14	0.63	0.13	0.09	CaO	5.29	6.07	7.19	6.89	6.33	5.96	4.66	5.04	5.36	6.18	7.66	6.47		
-	-	-	Na ₂ O	9.01	10.75	9.06	11.49	11.22	8.69	11.31	Na ₂ O	0.02	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.01	0.03		
-	-	-	K ₂ O	0.25	0.05	0.08	0.05	0.05	0.07	0.03	Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	BaO	0.04	0.03	0.00	-	-	-	-	Y ₂ O ₃	0.03	0.04	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03		
-	-	-	Cl	0.01	0.01	0.00	-	-	-	-	BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	SrO	0.00	0.00	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Total	53.80	51.79	Total	99.33	100.10	99.43	100.79	101.76	101.92	100.63	Total	99.36	98.95	98.98	99.18	99.11	99.09	98.85	98.72	99.39	98.42	98.47	99.69		
Si	0.01	0.01	Si	11.26	11.81	11.29	12.05	11.95	13.16	12.07	Si	6.08	6.03	6.06	6.06	6.02	6.06	6.05	6.04	6.07	6.03	6.00	6.06		
Fe2+	0.11	0.16	Al	4.70	4.19	4.70	3.94	4.07	2.82	3.95	Al	3.87	3.90	3.89	3.90	3.89	3.88	3.89	3.90	3.88	3.88	3.92	3.89		
Mn	0.01	0.01	Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	Ti	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01		
Mg	0.01	0.01	Fe3+	0.11	0.03	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	Fe2+	4.79	4.76	4.58	4.57	4.72	4.71	4.89	4.88	4.81	4.78	4.52	4.66		
Ca	5.82	5.75	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.07	0.02		
-	-	-	Mg	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	0.29	0.24	0.17	0.20	0.24	0.27	0.32	0.28	0.24	0.21	0.16	0.22		
-	-	-	Ca	0.67	0.22	0.74	0.03	0.12	0.02	0.02	Ca	0.92	1.06	1.26	1.20	1.11	1.04	0.82	0.89	0.94	1.09	1.35	1.13		
-	-	-	Na	3.11	3.64	3.12	3.86	3.73	2.82	3.79	Na	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01		
-	-	-	K	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	Ba	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	Sr	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Total	5.96	5.93	Total	19.91	19.91	19.91	19.90	19.88	18.84	19.85	Total	15.98	16.02	15.99	15.98	16.02	15.99	15.99	16.01	15.99	16.02	16.03	15.99		

K59-38571

Cl	75	73	72	74	C1	76	C2	23	24	25	26	27	31	30	29	28	C2	185	186	187	188		
O = 22	BT	BT	BT	BT	O = 28	CHL	O = 32	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT		
SiO ₂	34.22	34.35	34.43	34.80	SiO ₂	22.55	SiO ₂	64.64	68.78	65.23	64.99	68.64	69.27	68.82	69.11	64.36	SiO ₂	37.45	36.51	36.87	36.92		
TiO ₂	1.78	1.66	1.94	1.94	TiO ₂	0.08	Al ₂ O ₃	21.93	19.41	21.32	20.90	19.23	19.45	19.87	19.30	22.06	Al ₂ O ₃	20.25	20.07	20.08	20.20		
Al ₂ O ₃	18.03	17.94	18.18	18.98	Al ₂ O ₃	21.67	TiO ₂	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	TiO ₂	0.02	0.06	0.00	0.01		
FeO	26.92	26.70	26.65	26.62	FeO	35.16	Fe ₂ O ₃	0.83	0.07	0.70	0.41	0.03	0.03	0.11	0.06	0.46	FeO	35.77	35.16	34.75	34.40		
MnO	0.00	0.03	0.00	0.02	MnO	0.03	MnO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	MnO	0.10	0.10	0.06	0.13		
MgO	4.47	4.52	4.13	3.93	MgO	6.75	MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MgO	1.36	1.18	0.86	0.59		
CaO	0.00	0.01	0.00	0.01	CaO	0.03	CaO	2.92	0.12	2.29	2.10	0.09	0.08	0.23	0.04	3.21	CaO	4.91	5.56	6.26	6.99		
Na ₂ O	0.05	0.07	0.06	0.10	Na ₂ O	0.03	Na ₂ O	9.48	11.27	9.69	10.18	11.18	11.40	10.90	11.29	9.47	Na ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.04		
K ₂ O	8.56	8.59	8.77	8.62	K ₂ O	0.00	K ₂ O	0.11	0.03	0.07	0.08	0.04	0.06	0.05	0.05	0.08	Cr ₂ O ₃	-	-	-	-		
Cl	0.08	0.07	0.05	0.08	Cl	0.04	BaO	0.00	0.05	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.10	Y ₂ O ₃	0.00	0.01	0.01	0.01		
F	0.35	0.31	0.28	0.31	F	0.06	Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	BaO	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	SrO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	-	-	-	-	-		
Total	94.46	94.24	94.49	95.40	Total	86.41	Total	99.97	99.72	99.30	98.67	99.20	100.30	100.01	99.85	99.67	Total	99.86	98.65	98.89	99.27		
Si	5.47	5.49	5.49	5.48	Si	5.13	Si	11.40	12.02	11.54	11.58	12.05	12.04	11.98	12.06	11.38	Si	6.07	6.01	6.05	6.03		
Ti	0.21	0.20	0.23	0.23	Ti	0.01	Al	4.56	4.00	4.45	4.39	3.98	3.98	4.08	3.97	4.60	Al	3.87	3.89	3.88	3.89		
Al	3.39	3.38	3.42	3.52	Al	5.81	Ti	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ti	0.00	0.01	0.00	0.00		
Fe2+	3.60	3.57	3.55	3.50	Fe2+	6.69	Fe3+	0.11	0.01	0.09	0.06	0.00	0.00	0.01	0.01	0.06	Fe2+	4.85	4.84	4.77	4.70		
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.01	0.01	0.02		
Mg	1.06	1.08	0.98	0.92	Mg	2.29	Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mg	0.33	0.29	0.21	0.14		
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.01	Ca	0.55	0.02	0.43	0.40	0.02	0.02	0.04	0.01	0.61	Ca	0.85	0.98	1.10	1.22		
Na	0.01	0.02	0.02	0.03	Na	0.01	Na	3.24	3.82	3.32	3.52	3.81	3.84	3.68	3.82	3.25	Na	0.00	0.00	0.00	0.01		
K	1.75	1.75	1.78	1.73	K	0.00	K	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	Cr	-	-	-	-		
Cl	0.02	0.02	0.01	0.02	Cl	0.01	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Y	0.00	0.00	0.00	0.00		
F	0.18	0.15	0.14	0.15	F	0.03	Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ba	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-	-	-	-	-		
Total	15.70	15.68	15.62	15.59	Total	20.00	Total	19.89	19.88	19.86	19.96	19.86	19.90	19.81	19.87	19.91	Total	15.99	16.04	16.02	16.02		

K59-38571

C2	189	953	954	955	956	957	958	959	C2	79	900	901	902	903	904	905	990	C3	32	34	33	991	992
O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 22	SE	BT	BT	BT	BT	SE	SE	CHL	O = 32	PL	PL	PL	PL	PL
SiO ₂	37.23	37.45	37.64	37.43	37.79	37.58	37.44	37.69	SiO ₂	42.81	34.41	34.82	44.01	44.26	44.01	44.26	21.49	SiO ₂	67.59	66.22	66.08	69.63	69.68
Al ₂ O ₃	19.83	21.35	21.15	21.11	21.23	21.15	21.12	21.21	TiO ₂	0.19	2.27	2.31	0.23	0.29	0.23	0.29	0.02	Al ₂ O ₃	20.41	21.19	21.09	19.32	20.13
TiO ₂	0.09	0.01	0.07	0.03	0.13	0.05	0.00	0.09	Al ₂ O ₃	34.13	19.49	19.92	34.63	34.36	34.63	34.36	22.63	TiO ₂	0.04	0.06	0.00	0.08	0.00
FeO	32.58	34.91	34.25	33.34	32.92	34.34	34.83	35.31	FeO	3.11	26.21	24.93	3.66	2.84	3.66	2.84	35.52	Fe ₂ O ₃	0.11	0.15	0.55	0.07	0.04
MnO	0.71	0.08	0.06	0.26	0.85	0.08	0.10	0.09	MnO	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	MnO	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00
MgO	0.50	1.32	0.80	0.54	0.50	0.66	1.05	1.44	MgO	0.58	3.97	0.54	0.58	0.54	0.58	0.54	5.43	MgO	-	-	-	0.00	0.00
CaO	7.24	5.17	6.61	6.73	7.57	6.54	5.41	5.06	CaO	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	CaO	1.13	2.11	2.09	0.14	0.63
Na ₂ O	0.00	0.06	0.06	0.04	0.08	0.06	0.04	0.06	Na ₂ O	0.53	0.25	0.51	0.52	0.51	0.52	0.51	0.43	Na ₂ O	10.59	10.26	10.25	11.49	11.22
Cr ₂ O ₃	-	0.05	0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.02	K ₂ O	9.24	8.56	9.61	9.40	9.61	9.40	9.61	0.05	K ₂ O	0.11	0.05	0.03	0.05	0.05
-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	BaO	0.00	0.15	0.04	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.13	0.37	0.28	0.21	0.28	0.21	0.28	0.00	Cl	0.01	0.00	0.00	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.52	1.79	1.66	1.79	1.66	1.79	0.00	SrO	0.03	0.03	0.06	-	-
Total	98.20	100.39	100.63	99.49	101.10	100.51	100.04	100.96	Total	90.76	96.24	94.71	94.92	94.48	94.92	94.48	85.61	Total	100.03	100.03	100.12	100.79	101.76
Si	6.12	6.01	6.03	6.05	6.03	6.03	6.04	6.02	Si	6.03	5.39	6.08	6.03	6.08	6.03	6.08	3.90	Si	11.82	11.61	11.60	12.05	11.95
Al	3.84	4.04	3.99	4.02	3.99	4.00	4.01	3.99	Ti	0.02	0.27	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.00	Al	4.21	4.38	4.36	3.94	4.07
Ti	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	Al	5.67	3.60	5.56	5.59	5.56	5.59	5.56	4.84	Ti	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Fe2+	4.48	4.69	4.59	4.51	4.39	4.61	4.70	4.72	Fe2+	0.37	3.43	0.33	0.42	0.33	0.42	0.33	5.39	Fe3+	0.01	0.02	0.07	0.01	0.01
Mn	0.10	0.01	0.01	0.03	0.12	0.01	0.01	0.01	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.12	0.31	0.19	0.13	0.12	0.16	0.25	0.34	Mg	0.12	0.93	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	1.47	Mg	-	-	-	0.00	0.00
Ca	1.27	0.89	1.14	1.17	1.29	1.12	0.93	0.87	Ca	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.21	0.40	0.39	0.03	0.12
Na	0.00	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	Na	0.15	0.08	0.13	0.14	0.13	0.14	0.13	0.15	Na	3.59	3.49	3.49	3.55	3.73
Cr	-	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	K	1.66	1.71	1.68	1.64	1.68	1.64	1.68	0.01	K	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Ba	0.00	0.01	0.00	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.06	0.18	0.12	0.09	0.12	0.09	0.12	0.00	Cl	0.00	0.00	0.00	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.10	0.09	0.10	0.09	0.10	0.00	Sr	0.00	0.00	0.01	-	-
Total	15.95	15.98	15.97	15.94	15.98	15.97	15.96	15.98	Total	14.08	15.66	14.14	14.14	14.14	14.14	14.14	15.77	Total	19.87	19.92	19.93	19.60	19.88

K59-38571

C3	993	994	C3	190	191	192	193	C3	82	83	C3	84	85	81	80	C4	211	210	212	213	214	215	216
O = 32	PL	PL	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 22	BT	BT	O = 28	CHL	CHL	CHL	CHL	O = 6	SID	SID	SID	CAL	CAL	CAL	CAL
SiO ₂	78.69	69.77	SiO ₂	36.92	36.39	37.10	37.26	SiO ₂	34.08	33.20	SiO ₂	21.22	26.36	23.01	21.82	SiO ₂	0.02	0.01	0.02	0.00	0.04	0.00	0.01
Al ₂ O ₃	14.33	19.38	Al ₂ O ₃	20.42	19.84	20.49	20.54	TiO ₂	2.01	2.24	TiO ₂	0.00	0.87	0.11	0.16	TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.07
TiO ₂	0.00	0.00	TiO ₂	0.05	0.01	0.02	0.05	Al ₂ O ₃	17.31	17.01	Al ₂ O ₃	22.01	20.73	21.97	21.54	Al ₂ O ₃	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.06	0.05
Fe ₂ O ₃	0.01	0.06	FeO	35.77	35.60	35.88	34.82	FeO	28.85	28.38	FeO	36.17	34.91	35.25	35.88	FeO	51.52	53.35	53.27	1.40	0.96	0.78	0.70
MnO	0.00	0.00	MnO	0.08	0.08	0.10	0.05	MnO	0.00	0.00	MnO	0.03	0.01	0.03	0.02	MnO	0.10	0.11	0.10	0.16	0.12	0.20	0.14
MgO	0.00	0.01	MgO	1.28	1.14	0.97	0.68	MgO	4.03	4.17	MgO	5.33	4.05	5.66	6.03	MgO	5.89	4.52	4.63	0.06	0.04	0.04	0.03
CaO	0.13	0.09	CaO	5.17	5.30	5.43	6.48	CaO	0.01	0.06	CaO	0.01	0.04	0.07	0.04	CaO	0.32	0.37	0.32	55.63	55.58	55.50	56.02
Na ₂ O	8.69	11.31	Na ₂ O	0.02	0.00	0.00	0.00	Na ₂ O	0.06	0.05	Na ₂ O	0.03	0.05	0.03	0.03	SrO	0.03	0.02	0.00	0.06	0.05	0.04	0.03
K ₂ O	0.07	0.03	Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	K ₂ O	8.46	7.86	K ₂ O	0.03	2.53	0.48	0.01	BaO	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.03
BaO	-	-	Y ₂ O ₃	0.01	0.02	0.03	0.00	Cl	0.11	0.14	Cl	0.04	0.04	0.04	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	-	-	BaO	-	-	-	-	F	0.48	0.50	F	0.08	0.07	0.05	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	101.92	100.63	Total	99.70	98.38	100.00	99.87	Total	95.40	93.59	Total	84.95	89.67	86.70	85.70	Total	57.92	58.42	58.35	57.42	56.86	56.62	57.08
Si	13.16	12.07	Si	6.01	6.02	6.02	6.04	Si	5.46	5.41	Si	4.97	5.78	5.22	5.05	Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	2.82	3.95	Al	3.92	3.87	3.92	3.93	Ti	0.24	0.27	Ti	0.00	0.14	0.02	0.03	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Ti	0.00	0.00	Ti	0.01	0.00	0.00	0.01	Al	3.27	3.27	Al	6.07	5.36	5.88	5.87	Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe3+	0.00	0.01	Fe2+	4.87	4.92	4.87	4.72	Fe2+	3.86	3.87	Fe2+	7.08	6.40	6.69	6.94	Fe2+	4.93	5.15	5.15	0.11	0.08	0.06	0.06
Mn	0.00	0.00	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	Mn	0.00	0.00	Mn	0.01	0.00	0.01	0.00	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Mg	0.01	0.00	Mg	0.31	0.28	0.23	0.16	Mg	0.96	1.01	Mg	1.86	1.32	1.91	2.08	Mg	1.01	0.78	0.80	0.01	0.01	0.01	0.00
Ca	0.02	0.02	Ca	0.90	0.94	0.94	1.13	Ca	0.00	0.01	Ca	0.00	0.01	0.02	0.01	Ca	0.04	0.05	0.04	5.85	5.88	5.90	5.90
Na	2.82	3.79	Na	0.01	0.00	0.00	0.00	Na	0.02	0.01	Na	0.01	0.02	0.01	0.01	Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.01	0.01	Cr	-	-	-	-	K	1.73	1.63	K	0.01	0.71	0.14	0.00	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	-	-	Y	0.00	0.00	0.00	0.00	Cl	0.03	0.04	Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	-	-	Ba	-	-	-	-	F	0.24	0.26	F	0.05	0.04	0.03	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	18.85	19.85	Total	16.03	16.04	16.01	15.99	Total	15.81	15.80	Total	20.07	19.81	19.94	20.09	Total	5.99	6.00	6.00	6.00	5.99	5.99	5.99

K59-38571

C4	217	C4	88	86	87	89	90	91	92	C5	218	219	220	221	222	223	C5	93	94	95	96	98
O = 6	CAL	O = 22	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	O = 6	SHD	SHD	SHD	SHD	SHD	CAL	O = 22	SE	SE	SE	BT	SE
SiO ₂	0.00	SiO ₂	43.40	44.24	43.58	43.13	43.86	44.18	44.04	SiO ₂	0.00	0.04	0.01	0.01	0.03	0.00	SiO ₂	45.02	44.66	42.82	39.96	47.07
TiO ₂	0.00	TiO ₂	0.09	0.20	0.24	0.15	0.25	0.19	0.08	TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TiO ₂	0.18	0.10	0.04	0.11	0.04
Al ₂ O ₃	0.11	Al ₂ O ₃	33.42	34.07	34.71	33.12	33.94	33.77	33.82	Al ₂ O ₃	0.00	0.03	0.08	0.00	0.01	0.02	Al ₂ O ₃	34.69	34.21	32.30	29.85	34.19
FeO	0.89	FeO	2.78	2.87	3.01	3.36	3.47	2.76	3.01	FeO	51.34	51.20	51.63	55.34	54.96	1.08	FeO	2.40	2.46	2.09	13.43	2.04
MnO	0.13	MnO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	MnO	0.13	0.09	0.06	0.07	0.05	0.02	MnO	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00
MgO	0.04	MgO	0.52	0.50	0.45	0.67	0.65	0.53	0.57	MgO	6.26	5.97	6.21	2.52	3.17	0.08	MgO	0.53	0.51	0.44	0.90	0.61
CaO	55.39	CaO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	CaO	0.59	0.59	0.15	0.18	0.48	53.64	CaO	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00
SrO	0.06	Na ₂ O	0.61	0.35	0.30	0.52	0.42	0.39	0.40	SrO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	Na ₂ O	0.23	0.40	0.16	0.10	0.09
BaO	0.06	K ₂ O	9.66	9.95	10.17	9.35	9.53	9.89	10.19	BaO	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	K ₂ O	10.24	10.04	9.13	6.94	9.89
-	-	Cl	0.03	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.01	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.01	0.07	0.03	0.02
-	-	F	0.20	0.11	0.04	0.18	0.15	0.17	0.24	-	-	-	-	-	-	-	F	0.10	0.12	0.19	0.19	0.32
-	-	BaO	-	-	-	-	1.51	1.33	1.23	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.72	1.08	0.35	0.39	0.49
Total	56.68	Total	90.72	92.32	92.54	90.51	93.79	93.21	93.61	Total	58.35	57.92	58.15	58.16	58.69	54.87	Total	94.10	93.60	87.60	91.98	94.76
Si	0.00	Si	6.13	6.13	6.04	6.11	6.07	6.13	6.10	Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Si	6.13	6.14	6.23	5.85	6.32
Ti	0.00	Ti	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ti	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00
Al	0.01	Al	5.56	5.56	5.67	5.53	5.53	5.52	5.52	Al	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	Al	5.57	5.54	5.53	5.15	5.41
Fe2+	0.07	Fe2+	0.33	0.33	0.35	0.40	0.40	0.32	0.35	Fe2+	4.86	4.89	4.90	5.52	5.38	0.09	Fe2+	0.27	0.28	0.25	1.65	0.23
Mn	0.01	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Mg	0.01	Mg	0.11	0.10	0.09	0.14	0.13	0.11	0.12	Mg	1.06	1.02	1.05	0.45	0.55	0.01	Mg	0.11	0.11	0.10	0.20	0.12
Ca	5.88	Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.07	0.07	0.02	0.02	0.06	5.89	Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	Na	0.17	0.09	0.08	0.14	0.11	0.11	0.11	Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Na	0.06	0.11	0.04	0.03	0.02
Ba	0.00	K	1.74	1.76	1.80	1.69	1.68	1.75	1.80	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	1.78	1.76	1.69	1.30	1.69
-	-	Cl	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
-	-	F	0.09	0.05	0.02	0.08	0.07	0.07	0.11	-	-	-	-	-	-	-	F	0.04	0.05	0.09	0.09	0.14
-	-	Ba	-	-	-	-	0.08	0.07	0.07	-	-	-	-	-	-	-	Ba	0.04	0.06	0.02	0.02	0.03
Total	5.99	Total	14.14	14.05	14.07	14.12	14.11	14.10	14.19	Total	6.00	5.99	5.99	6.00	6.00	6.00	Total	14.03	14.07	13.98	14.32	13.97

K59-38571

C5	97	99	C6	224	225	226	227	228	C6	35	36	C6	101	102	C6	100	103	104	105	106	107	109	108
O = 28	CHL	CHL	O = 6	CAL	ANK	SHD	SHD	SHD	O = 32	PL	PL	O = 22	SE	SE	O = 28	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL	CHL
SiO ₂	22.71	22.68	SiO ₂	0.01	0.04	0.01	0.02	0.00	SiO ₂	69.10	66.68	SiO ₂	44.01	44.26	SiO ₂	22.55	30.55	22.24	21.86	22.98	22.58	22.78	22.53
TiO ₂	0.09	0.15	TiO ₂	0.00	0.05	0.00	0.08	0.02	Al ₂ O ₃	19.38	20.74	TiO ₂	0.23	0.29	TiO ₂	0.11	0.06	0.12	0.03	0.15	0.01	0.06	0.05
Al ₂ O ₃	21.74	21.80	Al ₂ O ₃	0.04	0.07	0.03	0.00	0.00	TiO ₂	0.04	0.00	Al ₂ O ₃	34.63	34.36	Al ₂ O ₃	21.58	24.69	21.85	21.67	21.68	21.61	21.53	21.34
FeO	32.39	32.59	FeO	0.55	23.35	54.05	51.29	51.34	Fe ₂ O ₃	0.15	0.13	FeO	3.66	2.84	FeO	34.35	28.27	34.73	34.33	34.02	35.60	34.95	35.19
MnO	0.02	0.02	MnO	0.04	0.12	0.07	0.16	0.19	MnO	0.04	0.04	MnO	0.02	0.00	MnO	0.02	0.00	0.03	0.07	0.06	0.05	0.02	0.00
MgO	8.37	8.45	MgO	0.04	6.18	4.31	6.56	6.57	MgO	-	-	MgO	0.58	0.54	MgO	7.51	1.59	7.14	7.42	8.26	6.68	7.83	7.01
CaO	0.00	0.02	CaO	53.95	26.17	0.35	0.50	0.64	CaO	0.23	1.84	CaO	0.00	0.00	CaO	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01
Na ₂ O	0.00	0.01	SrO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	Na ₂ O	11.37	10.58	Na ₂ O	0.52	0.51	Na ₂ O	0.03	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
K ₂ O	0.01	0.01	BaO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	K ₂ O	0.02	0.07	K ₂ O	9.40	9.61	K ₂ O	0.02	3.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
Cl	0.02	0.00	-	-	-	-	-	-	BaO	0.03	0.02	Cl	0.01	0.01	Cl	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
F	0.09	0.04	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.01	F	0.21	0.28	F	0.02	0.00	0.07	0.07	0.12	0.10	0.04	0.00
BaO	0.00	0.11	-	-	-	-	-	-	SrO	0.05	0.00	BaO	1.66	1.79	BaO	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	85.45	85.88	Total	54.63	55.99	58.85	58.65	58.77	Total	100.41	100.09	Total	94.92	94.48	Total	86.22	88.39	86.26	85.53	87.30	86.67	87.24	86.18
Si	5.15	5.12	Si	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Si	12.02	11.69	Si	6.03	6.08	Si	5.12	6.44	5.06	5.02	5.13	5.13	5.12	5.14
Ti	0.01	0.03	Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Al	3.97	4.29	Ti	0.02	0.03	Ti	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01
Al	5.81	5.80	Al	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	Ti	0.01	0.00	Al	5.59	5.56	Al	5.77	6.13	5.86	5.87	5.71	5.79	5.70	5.74
Fe2+	6.14	6.15	Fe2+	0.05	2.05	5.20	4.81	4.80	Fe3+	0.02	0.02	Fe2+	0.42	0.33	Fe2+	6.52	4.98	6.61	6.59	6.36	6.77	6.56	6.71
Mn	0.00	0.00	Mn	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	Mn	0.01	0.01	Mn	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Mg	2.83	2.84	Mg	0.01	0.97	0.74	1.10	1.10	Mg	-	-	Mg	0.12	0.11	Mg	2.54	0.50	2.42	2.54	2.75	2.26	2.62	2.38
Ca	0.00	0.01	Ca	5.93	2.94	0.04	0.06	0.08	Ca	0.04	0.35	Ca	0.00	0.00	Ca	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	0.00	Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Na	3.83	3.60	Na	0.14	0.13	Na	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	0.01	0.02	K	1.64	1.68	K	0.00	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.00	-	-	-	-	-	-	Ba	0.00	0.00	Cl	0.00	0.00	Cl	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
F	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	F	0.09	0.12	F	0.01	0.00	0.04	0.04	0.07	0.06	0.02	0.00
Ba	0.00	0.01	-	-	-	-	-	-	Sr	0.00	0.00	Ba	0.09	0.10	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	20.00	19.99	Total	6.00	5.99	5.99	5.99	6.00	Total	19.90	19.96	Total	14.14	14.14	Total	20.01	18.93	20.04	20.10	20.06	20.04	20.05	20.00

K59-38571

C6	110	C7	907	908	909	910	911	C7	960	961	962	C7	995	996	997	998	999	C8	913	914	915	916	917
O = 28	CHL	O = 22	BT	BT	BT	BT	BT	O = 24	GRT	GRT	GRT	O = 32	PL	PL	PL	PL	PL	O = 22	BT	BT	BT	BT	BT
SiO ₂	22.94	SiO ₂	32.12	32.00	34.23	29.88	30.80	SiO ₂	37.48	37.56	37.66	SiO ₂	67.00	67.18	68.60	68.79	79.07	SiO ₂	34.24	33.74	33.40	30.91	31.54
TiO ₂	0.04	TiO ₂	1.34	1.81	1.76	1.41	1.25	Al ₂ O ₃	21.02	21.23	21.22	Al ₂ O ₃	20.29	20.84	20.04	19.32	13.80	TiO ₂	1.73	1.64	1.57	1.09	0.81
Al ₂ O ₃	21.47	Al ₂ O ₃	19.88	18.21	18.27	18.59	18.54	TiO ₂	0.00	0.10	0.08	TiO ₂	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	Al ₂ O ₃	18.90	18.72	18.78	18.47	19.43
FeO	34.90	FeO	27.43	28.07	25.66	31.92	30.46	FeO	33.81	35.04	32.96	Fe ₂ O ₃	0.37	0.10	0.22	0.10	0.19	FeO	24.25	24.57	25.71	28.41	27.85
MnO	0.01	MnO	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	MnO	0.11	0.08	0.56	MnO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	MnO	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00
MgO	7.58	MgO	4.43	5.10	4.91	4.34	4.54	MgO	1.26	1.00	0.59	MgO	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	MgO	5.63	6.12	5.83	5.66	5.93
CaO	0.01	CaO	0.05	0.05	0.02	0.05	0.01	CaO	5.58	5.42	7.08	CaO	1.26	1.90	0.68	0.43	0.31	CaO	0.01	0.00	0.05	0.04	0.08
Na ₂ O	0.03	Na ₂ O	0.39	0.31	0.21	0.15	0.18	Na ₂ O	0.05	0.03	0.03	Na ₂ O	10.78	10.61	11.17	11.16	8.36	Na ₂ O	0.15	0.16	0.20	0.20	0.22
K ₂ O	0.01	K ₂ O	6.19	6.72	8.62	4.51	5.32	Cr ₂ O ₃	0.02	0.08	0.03	K ₂ O	0.06	0.04	0.04	0.05	0.02	K ₂ O	7.57	8.17	7.22	5.72	5.75
Cl	0.02	Cl	0.09	0.12	0.02	0.03	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.11	0.10	0.08	0.12	0.15
F	0.10	F	0.24	0.48	0.56	0.28	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.48	0.53	0.44	0.37	0.35
BaO	0.00	BaO	0.34	0.45	0.44	0.20	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.57	0.62	0.57	0.27	0.36
Total	87.12	Total	92.54	93.31	94.71	91.36	91.38	Total	99.34	100.54	100.21	Total	99.76	100.71	100.81	99.85	101.75	Total	93.66	94.36	93.83	91.29	92.45
Si	5.16	Si	5.22	5.22	5.45	5.01	5.13	Si	6.06	6.03	6.05	Si	11.77	11.70	11.89	12.02	13.23	Si	5.44	5.37	5.34	5.14	5.14
Ti	0.01	Ti	0.16	0.22	0.21	0.18	0.16	Al	4.01	4.01	4.01	Al	4.20	4.28	4.10	3.98	2.72	Ti	0.21	0.20	0.19	0.14	0.10
Al	5.69	Al	3.80	3.50	3.43	3.68	3.64	Ti	0.00	0.01	0.01	Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	Al	3.54	3.51	3.54	3.62	3.73
Fe2+	6.57	Fe2+	3.72	3.83	3.42	4.48	4.24	Fe2+	4.57	4.70	4.42	Fe3+	0.05	0.01	0.03	0.01	0.02	Fe2+	3.22	3.27	3.44	3.95	3.80
Mn	0.00	Mn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.02	0.01	0.08	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	2.54	Mg	1.07	1.24	1.17	1.09	1.13	Mg	0.30	0.24	0.14	Mg	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	Mg	1.33	1.45	1.39	1.40	1.44
Ca	0.00	Ca	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	Ca	0.97	0.93	1.22	Ca	0.24	0.35	0.13	0.08	0.06	Ca	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Na	0.01	Na	0.12	0.10	0.06	0.05	0.06	Na	0.01	0.01	0.01	Na	3.67	3.58	3.76	3.78	2.71	Na	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
K	0.00	K	1.28	1.40	1.75	0.97	1.13	Cr	0.00	0.01	0.00	K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	K	1.53	1.66	1.47	1.21	1.20
Cl	0.01	Cl	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04
F	0.06	F	0.12	0.25	0.28	0.15	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.24	0.27	0.22	0.20	0.18
Ba	0.00	Ba	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ba	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02
Total	20.06	Total	15.57	15.83	15.82	15.63	15.51	Total	15.94	15.95	15.94	Total	19.95	19.95	19.92	19.88	18.75	Total	15.64	15.83	15.71	15.79	15.74

K59-38571

C8	918	C8	963	964	965	966	967	968
O = 28	CHL	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT
SiO ₂	22.85	SiO ₂	37.40	37.33	37.55	37.71	37.62	37.25
TiO ₂	0.00	Al ₂ O ₃	21.23	21.16	21.21	21.23	21.14	21.15
Al ₂ O ₃	22.08	TiO ₂	0.16	0.06	0.12	0.07	0.05	0.04
FeO	34.32	FeO	35.03	34.40	33.23	33.39	34.74	34.69
MnO	0.03	MnO	0.12	0.11	0.12	0.49	0.08	0.09
MgO	7.47	MgO	1.38	1.10	0.68	0.54	1.33	1.00
CaO	0.03	CaO	4.60	5.65	7.25	7.40	4.79	5.44
Na ₂ O	0.13	Na ₂ O	0.04	0.04	0.03	0.00	0.01	0.03
K ₂ O	0.02	Cr ₂ O ₃	0.02	0.06	0.04	0.01	0.06	0.02
Cl	0.01	-	-	-	-	-	-	-
F	0.00	-	-	-	-	-	-	-
BaO	0.02	-	-	-	-	-	-	-
Total	86.96	Total	99.96	99.91	100.22	100.84	99.83	99.70
Si	4.03	Si	6.02	6.02	6.03	6.03	6.06	6.02
Ti	0.00	Al	4.03	4.02	4.01	4.00	4.01	4.03
Al	4.59	Ti	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Fe2+	5.06	Fe2+	4.72	4.64	4.46	4.46	4.68	4.69
Mn	0.01	Mn	0.02	0.01	0.02	0.07	0.01	0.01
Mg	1.96	Mg	0.33	0.26	0.16	0.13	0.32	0.24
Ca	0.01	Ca	0.79	0.98	1.25	1.27	0.83	0.94
Na	0.04	Na	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
K	0.00	Cr	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Cl	0.00	-	-	-	-	-	-	-
F	0.00	-	-	-	-	-	-	-
Ba	0.00	-	-	-	-	-	-	-
Total	15.70	Total	15.95	15.96	15.96	15.96	15.93	15.96

K59-38587

CI	39	38	CI	112	111	113	118	115	114	116	114	CI	232
O = 24	CHL	CHL	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 6	OP
SiO ₂	22.71	22.71	SiO ₂	37.16	37.04	37.04	36.77	36.85	36.40	36.84	36.65	SiO ₂	37.31
TiO ₂	0.00	0.00	Al ₂ O ₃	20.24	20.22	20.44	20.22	20.18	19.98	20.25	19.98	TiO ₂	0.23
Al ₂ O ₃	21.10	21.10	TiO ₂	0.10	0.15	0.12	0.02	0.06	0.07	0.05	0.11	Al ₂ O ₃	20.98
FeO	36.36	36.36	FeO	35.01	34.93	35.14	34.44	34.38	34.34	34.35	33.65	Cr ₂ O ₃	0.05
MnO	0.03	0.03	MnO	0.16	0.11	0.37	0.63	0.50	0.36	0.53	0.72	FeO	35.87
MgO	6.45	6.45	MgO	0.61	0.63	0.47	0.38	0.41	0.47	0.53	0.51	MnO	0.07
CaO	0.01	0.01	CaO	6.16	6.36	5.92	6.53	6.56	6.42	6.66	6.81	MgO	0.94
Na ₂ O	0.01	0.01	Na ₂ O	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	ZnO	0.02
K ₂ O	0.02	0.02	Y ₂ O ₃	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	CaO	6.57
Cl	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NiO	0.00
F	0.07	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	86.77	86.77	Total	99.46	99.44	99.54	99.00	98.93	98.04	99.23	98.43	Total	102.05
Si	4.44	4.07	Si	6.06	6.04	6.04	6.04	6.05	6.03	6.03	6.04	Si	1.49
Ti	0.00	0.00	Al	3.89	3.89	3.93	3.91	3.90	3.90	3.88	3.88	Ti	0.01
Al	4.86	4.46	Ti	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	Al	0.99
Fe2+	5.94	5.45	Fe2+	4.77	4.77	4.79	4.73	4.72	4.76	4.70	4.64	Cr	0.00
Mn	0.01	0.01	Mn	0.02	0.02	0.05	0.09	0.07	0.05	0.07	0.10	Fe2+	1.19
Mg	1.88	1.72	Mg	0.15	0.15	0.11	0.09	0.10	0.12	0.13	0.12	Mn	0.00
Ca	0.00	0.00	Ca	10.77	1.11	10.34	1.15	1.15	1.14	1.17	1.20	Mg	0.06
Na	0.00	0.00	Na	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Zn	0.00
K	0.00	0.00	Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.28
Cl	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ni	0.00
F	0.04	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	17.18	15.75	Total	25.67	16.00	25.29	16.01	16.00	16.01	16.02	16.01	Total	4.01

K59-38587

C1	233	C2	40	41	C2	119	120	C2	1	2	4	3	5	6	C2	151	152	153	154	155	156	157
O = 6	OP	O = 24	CHL	CHL	O = 24	GRT	GRT	O = 32	PL	PL	PL	PL	PL	PL	O = 6	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL
SiO ₂	36.98	SiO ₂	22.80	22.14	SiO ₂	36.92	37.17	SiO ₂	62.66	63.30	63.26	62.84	62.83	62.59	SiO ₂	0.05	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05
TiO ₂	0.16	TiO ₂	0.17	0.15	Al ₂ O ₃	20.28	20.37	Al ₂ O ₃	23.24	22.59	22.77	23.00	22.94	22.66	TiO ₂	0.03	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	20.81	Al ₂ O ₃	21.24	21.08	TiO ₂	0.07	0.03	TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	Al ₂ O ₃	0.14	0.22	0.07	0.62	0.18	0.29	0.39
Cr ₂ O ₃	0.06	FeO	34.02	33.54	FeO	34.68	34.01	Fe ₂ O ₃	0.03	0.03	0.04	0.00	0.00	0.05	FeO	23.70	2.52	2.20	1.67	1.74	2.24	2.75
FeO	36.45	MnO	0.03	0.01	MnO	0.32	0.34	MnO	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	MnO	0.12	0.14	0.14	0.18	0.13	0.12	0.14
MnO	0.09	MgO	6.44	6.95	MgO	0.55	0.59	MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	MgO	0.07	0.13	0.05	0.06	0.25	0.11	0.08
MgO	0.66	CaO	0.14	0.07	CaO	6.20	6.55	CaO	4.56	4.02	4.11	4.32	4.52	4.10	CaO	50.69	50.49	51.43	51.30	51.81	50.73	50.21
ZnO	0.02	Na ₂ O	0.04	0.00	Na ₂ O	0.02	0.00	Na ₂ O	8.62	8.79	8.90	8.72	8.60	8.90	SrO	0.19	0.12	0.19	0.19	0.06	0.32	0.18
CaO	6.11	K ₂ O	0.08	0.00	Y ₂ O ₃	0.00	0.00	K ₂ O	0.08	0.06	0.07	0.09	0.06	0.07	BaO	0.09	0.03	0.12	0.00	0.00	0.00	0.11
NiO	0.00	Cl	0.03	0.02	-	-	-	BaO	0.12	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	F	0.08	0.01	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	SrO	0.03	0.00	0.00	0.06	0.05	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	101.33	Total	85.05	83.96	Total	99.05	99.06	Total	99.36	98.80	99.18	98.98	98.98	98.43	Total	75.08	53.69	54.28	54.04	54.18	53.82	53.89
Si	1.49	Si	4.12	4.05	Si	6.05	6.07	Si	11.15	11.29	11.25	11.20	11.20	11.22	Si	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.00	Ti	0.02	0.02	Al	3.91	3.92	Al	4.87	4.75	4.77	4.83	4.82	4.79	Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.99	Al	4.52	4.55	Ti	0.01	0.00	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Al	0.02	0.03	0.01	0.08	0.02	0.04	0.05
Cr	0.00	Fe2+	5.14	5.13	Fe2+	4.75	4.64	Fe3+	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	Fe2+	0.21	0.22	0.19	0.15	0.15	0.20	0.24
Fe2+	1.23	Mn	0.00	0.00	Mn	0.05	0.05	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Mn	0.00	Mg	1.74	1.90	Mg	0.13	0.14	Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	0.01	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01
Mg	0.04	Ca	0.03	0.01	Ca	1.09	1.15	Ca	0.87	0.77	0.78	0.82	0.86	0.79	Ca	5.71	5.69	5.74	5.70	5.76	5.70	5.64
Zn	0.00	Na	0.01	0.00	Na	0.01	0.00	Na	2.98	3.04	3.07	3.01	2.97	3.10	Sr	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01
Ca	0.26	K	0.02	0.00	Y	0.00	0.00	K	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	Cl	0.01	0.01	-	-	-	Ba	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	F	0.04	0.00	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	Sr	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	4.01	Total	15.66	15.67	Total	15.99	15.97	Total	19.89	19.86	19.90	19.89	19.87	19.92	Total	5.98	5.98	5.99	5.96	5.99	5.98	5.97

K59-38587

C3	42	43	44	45	C3	121	122	123	124	125	126	127	128	130	131	132	133	134	C4	47	48	49
O = 24	BT	BT	CHL	BT	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 24	SE	SE	SE
SiO ₂	33.82	34.12	22.46	33.86	SiO ₂	37.01	36.75	37.07	36.87	36.53	36.80	36.95	36.71	36.25	36.93	36.94	36.90	37.20	SiO ₂	45.30	45.50	43.62
TiO ₂	2.00	1.75	0.09	1.98	Al ₂ O ₃	20.20	20.23	20.15	20.15	20.05	20.41	20.10	20.19	20.01	20.07	20.32	20.05	20.12	TiO ₂	0.15	0.10	0.26
Al ₂ O ₃	18.07	17.78	22.22	18.16	TiO ₂	0.00	0.11	0.09	0.01	0.03	0.00	0.06	0.00	0.04	0.04	0.00	0.03	0.04	Al ₂ O ₃	33.44	33.80	33.63
FeO	24.69	25.47	33.75	25.55	FeO	35.16	34.96	35.34	35.30	35.19	35.68	35.20	34.59	34.06	34.62	35.15	35.27	35.30	FeO	2.71	2.77	2.95
MnO	0.02	0.05	0.00	0.02	MnO	0.12	0.06	0.06	0.10	0.09	0.06	0.12	0.11	0.46	0.21	0.10	0.05	0.15	MnO	0.00	0.03	0.03
MgO	5.37	5.33	7.17	5.08	MgO	0.85	0.78	0.82	1.08	1.26	1.28	0.89	0.67	0.55	0.59	0.79	1.01	1.28	MgO	0.47	0.43	0.49
CaO	0.05	0.00	0.01	0.02	CaO	5.72	5.85	5.87	5.55	5.15	4.88	5.32	6.18	6.59	6.33	5.54	5.52	4.85	CaO	0.00	0.07	0.00
Na ₂ O	0.13	0.10	0.00	0.10	Na ₂ O	0.01	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01	Na ₂ O	0.47	0.52	0.61
K ₂ O	8.36	8.54	0.03	8.48	Y ₂ O ₃	0.00	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	K ₂ O	10.09	9.90	9.55
Cl	0.09	0.08	0.01	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.01
F	0.30	0.54	0.05	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.14	0.17	0.21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	92.90	93.76	85.78	93.69	Total	99.07	98.77	99.41	99.10	98.34	99.12	98.65	98.48	97.99	98.81	98.87	98.83	98.94	Total	92.78	93.28	91.35
Si	5.44	5.47	4.01	5.43	Si	6.06	6.03	6.05	6.04	6.03	6.02	6.07	6.04	6.01	6.06	6.06	6.06	6.08	Si	6.24	6.23	6.11
Ti	0.24	0.21	0.01	0.24	Al	3.90	3.91	3.88	3.89	3.90	3.94	3.89	3.92	3.91	3.88	3.93	3.88	3.88	Ti	0.02	0.01	0.03
Al	3.43	3.36	4.67	3.43	Ti	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Al	5.43	5.45	5.56
Fe2+	3.32	3.42	5.04	3.42	Fe2+	4.81	4.80	4.82	4.83	4.86	4.88	4.84	4.76	4.72	4.75	4.82	4.84	4.83	Fe2+	0.31	0.32	0.35
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	Mn	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.06	0.03	0.01	0.01	0.02	Mn	0.00	0.00	0.00
Mg	1.29	1.28	1.91	1.21	Mg	0.21	0.19	0.20	0.26	0.31	0.31	0.22	0.16	0.14	0.14	0.19	0.25	0.31	Mg	0.10	0.09	0.10
Ca	0.01	0.00	0.00	0.00	Ca	1.00	1.03	1.03	0.97	0.91	0.86	0.94	1.09	1.17	1.11	0.97	0.97	0.85	Ca	0.00	0.01	0.00
Na	0.04	0.03	0.00	0.03	Na	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	Na	0.13	0.14	0.17
K	1.72	1.75	0.01	1.73	Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	1.77	1.73	1.71
Cl	0.02	0.02	0.00	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00
F	0.15	0.27	0.03	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.06	0.07	0.09
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	15.66	15.82	15.68	15.69	Total	16.00	15.99	16.00	16.02	16.02	16.01	15.98	16.00	16.03	15.99	15.99	16.00	15.98	Total	14.04	14.05	14.11

K59-38587

C4	136	137	138	140	141	142	143	C4	144	145	146	147	149	C5	50	51	52	53	C5	158	159	160	161
O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 6	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	O = 24	BT	BT	BT	CHL	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT
SiO ₂	37.29	37.15	38.40	37.00	36.57	36.71	37.15	SiO ₂	0.01	0.04	0.04	0.09	0.03	SiO ₂	33.18	33.70	33.91	22.19	SiO ₂	37.32	37.32	37.09	37.07
Al ₂ O ₃	20.19	20.26	20.17	20.20	19.95	20.21	20.16	TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	TiO ₂	1.78	1.77	1.97	0.03	Al ₂ O ₃	20.36	20.32	20.17	20.34
TiO ₂	0.08	0.04	0.09	0.04	0.01	0.03	0.01	Al ₂ O ₃	0.02	0.05	0.03	0.34	0.04	Al ₂ O ₃	16.51	17.02	17.64	21.76	TiO ₂	0.00	0.00	0.06	0.07
FeO	34.23	35.44	33.15	34.23	34.61	35.45	35.27	FeO	25.46	25.20	25.52	25.40	25.30	FeO	28.40	28.10	27.03	35.91	FeO	35.36	35.05	35.08	35.90
MnO	0.06	0.11	0.40	0.18	0.13	0.07	0.10	MnO	0.29	0.25	0.26	0.25	0.28	MnO	0.00	0.03	0.02	0.08	MnO	0.15	0.10	0.08	0.10
MgO	0.75	0.76	0.90	0.82	0.76	0.92	1.25	MgO	3.76	3.65	3.69	3.79	3.27	MgO	4.35	4.45	4.50	5.89	MgO	1.27	1.17	0.93	0.57
CaO	7.04	6.15	6.75	6.62	6.30	5.60	5.06	CaO	26.22	26.50	26.33	26.20	26.88	CaO	0.02	0.01	0.01	0.02	CaO	4.63	5.28	5.52	5.20
Na ₂ O	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	SrO	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	Na ₂ O	0.09	0.08	0.11	0.03	Na ₂ O	0.05	0.02	0.00	0.03
Y ₂ O ₃	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	K ₂ O	7.97	8.29	8.52	0.01	Y ₂ O ₃	0.00	0.02	0.03	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.09	0.10	0.07	0.03	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.32	0.31	0.37	0.00	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	99.64	99.91	99.86	99.14	98.34	99.00	99.00	Total	55.78	55.68	55.89	56.11	55.87	Total	92.71	93.84	94.15	85.95	Total	99.14	99.28	98.95	99.28
Si	6.06	6.04	6.18	6.04	6.04	6.02	6.07	Si	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Si	5.46	5.47	5.45	4.01	Si	6.08	6.08	6.07	6.06
Al	3.87	3.88	3.82	3.89	3.88	3.91	3.88	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ti	0.22	0.22	0.24	0.00	Al	3.91	3.90	3.89	3.92
Ti	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	Al	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	Al	3.20	3.25	3.34	4.63	Ti	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe2+	4.65	4.82	4.46	4.68	4.78	4.86	4.82	Fe2+	2.31	2.29	2.31	2.28	2.30	Fe2+	3.91	3.81	3.63	5.42	Fe2+	4.82	4.77	4.80	4.91
Mn	0.01	0.02	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	Mn	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	Mn	0.02	0.01	0.01	0.01
Mg	0.18	0.18	0.21	0.20	0.19	0.22	0.30	Mg	0.61	0.59	0.59	0.60	0.53	Mg	1.07	1.07	1.08	1.59	Mg	0.31	0.28	0.23	0.14
Ca	1.23	1.07	1.16	1.16	1.12	0.98	0.89	Ca	3.05	3.08	3.05	3.01	3.13	Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.81	0.92	0.97	0.91
Na	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Na	0.03	0.03	0.04	0.01	Na	0.01	0.01	0.00	0.01
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	1.67	1.71	1.75	0.00	Y	0.00	0.00	0.00	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.03	0.03	0.02	0.01	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.17	0.16	0.19	0.00	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	16.00	16.02	15.90	16.01	16.02	16.02	15.99	Total	6.00	5.99	5.99	5.97	5.99	Total	15.76	15.75	15.74	15.69	Total	15.97	15.98	15.98	15.97

K59-38587

C5	162	163	164	165	166	167	168	169	170	C6	54	55	56	58	59	60	61	62	C6	171	172	C6	9
O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 24	BT	BT	BT	BT	CHL	CHL	CHL	CHL	O = 24	GRT	GRT	O = 32	PL
SiO ₂	37.22	36.53	37.02	36.87	36.88	36.07	36.24	36.44	36.48	SiO ₂	33.66	32.68	33.64	34.03	23.03	23.16	27.05	24.07	SiO ₂	36.84	37.39	SiO ₂	65.71
Al ₂ O ₃	20.14	20.04	20.09	20.34	20.24	19.87	19.94	20.13	20.03	TiO ₂	1.93	1.90	1.80	1.74	0.16	0.17	0.07	0.11	Al ₂ O ₃	20.24	20.28	Al ₂ O ₃	21.38
TiO ₂	0.09	0.52	0.08	0.03	0.07	0.02	0.03	0.01	0.00	Al ₂ O ₃	16.92	17.14	17.41	17.58	21.27	22.36	24.22	22.43	TiO ₂	0.20	0.06	TiO ₂	0.04
FeO	35.80	35.46	34.95	35.19	35.54	35.79	35.74	35.60	36.66	FeO	25.49	26.17	24.52	24.34	32.52	31.52	24.43	31.02	FeO	35.36	35.29	Fe ₂ O ₃	0.31
MnO	0.19	0.15	0.38	0.19	0.07	0.09	0.06	0.11	0.13	MnO	0.02	0.00	0.00	0.05	0.02	0.03	0.01	0.02	MnO	0.10	0.08	MnO	0.00
MgO	0.48	0.47	0.42	0.47	0.55	0.77	0.99	1.23	1.53	MgO	6.96	6.95	6.26	6.59	8.83	8.74	9.96	9.18	MgO	1.37	1.16	MgO	0.00
CaO	5.12	5.63	5.71	5.69	5.44	5.32	5.00	5.21	3.70	CaO	0.00	0.11	0.08	0.00	0.00	0.03	0.04	0.01	CaO	5.06	5.26	CaO	2.42
Na ₂ O	0.01	0.00	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.00	0.00	Na ₂ O	0.06	0.06	0.08	0.08	0.01	0.00	0.22	0.09	Na ₂ O	0.00	0.04	Na ₂ O	9.85
Y ₂ O ₃	0.01	0.04	0.01	0.01	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	K ₂ O	8.34	7.18	8.45	8.53	0.02	0.22	2.39	0.32	Y ₂ O ₃	0.00	0.00	K ₂ O	0.06
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.06	0.07	0.06	0.11	0.00	0.01	0.02	0.00	-	-	-	BaO	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.46	0.47	0.43	0.27	0.06	0.02	0.20	0.00	-	-	-	Cl	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SrO	0.01
Total	99.05	98.82	98.70	98.82	98.87	97.97	98.05	98.72	98.52	Total	93.91	92.73	92.71	93.32	85.91	86.26	88.59	87.24	Total	99.16	99.58	Total	99.79
Si	6.10	6.01	6.08	6.05	6.06	6.00	6.02	6.00	6.02	Si	5.40	5.30	5.44	5.45	4.08	4.05	4.44	4.14	Si	6.02	6.07	Si	11.56
Al	3.89	3.89	3.89	3.94	3.92	3.90	3.90	3.91	3.90	Ti	0.23	0.23	0.22	0.21	0.02	0.02	0.01	0.01	Al	3.90	3.88	Al	4.44
Ti	0.01	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Al	3.20	3.28	3.32	3.32	4.44	4.61	4.68	4.55	Ti	0.02	0.01	Ti	0.01
Fe2+	4.90	4.88	4.80	4.83	4.88	4.98	4.96	4.90	5.06	Fe2+	3.42	3.55	3.31	3.26	4.81	4.61	3.35	4.46	Fe2+	4.83	4.80	Fe3+	0.04
Mn	0.03	0.02	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.01	Mn	0.00
Mg	0.12	0.12	0.10	0.11	0.13	0.19	0.25	0.30	0.38	Mg	1.66	1.68	1.51	1.57	2.33	2.28	2.44	2.35	Mg	0.33	0.28	Mg	0.00
Ca	0.90	0.99	1.01	1.00	0.96	0.95	0.89	0.92	0.65	Ca	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Ca	0.89	0.92	Ca	0.46
Na	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	Na	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.07	0.03	Na	0.00	0.01	Na	3.36
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	1.71	1.49	1.74	1.74	0.01	0.05	0.50	0.07	Y	0.00	0.00	K	0.01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	-	-	-	Ba	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.24	0.24	0.22	0.14	0.03	0.01	0.10	0.00	-	-	-	Cl	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sr	0.00
Total	15.95	15.98	15.96	15.98	15.98	16.05	16.04	16.05	16.03	Total	15.88	15.84	15.81	15.74	15.72	15.66	15.60	15.62	Total	16.01	15.98	Total	19.88

K59-38587

C6	8	10
O = 32	PL	PL
SiO ₂	66.00	65.34
Al ₂ O ₃	21.24	21.84
TiO ₂	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.35	0.32
MnO	0.02	0.00
MgO	0.00	0.00
CaO	2.32	2.84
Na ₂ O	9.94	9.63
K ₂ O	0.05	0.05
BaO	0.07	0.02
Cl	0.00	0.01
SrO	0.05	0.00
Total	99.93	100.01
Si	11.59	11.48
Al	4.40	4.52
Ti	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.05	0.04
Mn	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00
Ca	0.44	0.53
Na	3.39	3.28
K	0.01	0.01
Ba	0.01	0.00
Cl	0.00	0.00
Sr	0.01	0.00
Total	19.87	19.88

K03-22755

C1	789	790	791	792	C1	800	801	802	803	C2	774	C2	793	794	795	796	C2	804	805
O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	Atom%	PO	ILM?	PO	ILM?	O = 22	CHL	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	Atom%	ILM	PO
SiO ₂	35.89	36.09	36.61	36.21	Fe	47.76	99.80	47.35	99.87	SiO ₂	22.92	SiO ₂	36.13	36.48	36.42	36.64	Fe	99.83	47.61
Al ₂ O ₃	20.06	20.03	20.15	20.21	As	0.03	0.14	0.02	0.00	TiO ₂	0.12	Al ₂ O ₃	20.23	20.44	20.38	20.37	As	0.09	0.01
TiO ₂	0.04	0.01	0.02	0.07	S	52.15	0.03	52.50	0.00	Al ₂ O ₃	21.16	TiO ₂	0.00	0.04	0.02	0.04	S	0.00	52.31
FeO	34.38	34.68	34.07	33.85	Zn	0.00	0.02	0.00	0.05	FeO	32.66	FeO	34.67	35.12	34.94	34.40	Zn	0.05	0.00
MnO	1.35	1.28	1.20	1.29	Cu	0.00	0.00	0.01	0.01	MnO	0.03	MnO	1.11	1.19	1.11	1.21	Cu	0.00	0.00
MgO	0.99	1.04	0.98	1.04	Co	0.00	0.00	0.00	0.00	MgO	8.46	MgO	1.07	1.04	1.08	1.05	Co	0.00	0.00
CaO	4.34	4.48	4.26	4.10	Ni	0.07	0.02	0.10	0.00	CaO	0.01	CaO	3.83	3.51	3.87	3.77	Ni	0.01	0.08
Na ₂ O	0.03	0.01	0.03	0.03	Au	0.00	0.00	0.02	0.07	Na ₂ O	0.02	Na ₂ O	0.03	0.01	0.06	0.03	Au	0.02	0.00
Cr ₂ O ₃	0.13	0.04	0.12	0.15	-	-	-	-	-	K ₂ O	0.00	Cr ₂ O ₃	0.06	0.15	0.05	0.14	-	-	-
Y ₂ O ₃	0.10	0.05	0.05	0.10	-	-	-	-	-	Cl	0.02	Y ₂ O ₃	0.14	0.12	0.13	0.16	-	-	-
BaO	0.00	0.11	0.06	0.05	-	-	-	-	-	F	0.01	BaO	0.20	0.03	0.00	0.03	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	97.30	97.81	97.54	97.09	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	Total	85.42	Total	97.45	98.13	98.06	97.83	Total	100.00	100.00
Si	5.9997	6.01	6.08	6.0393	Wt%					Si	4.09	Si	6.02	6.03	6.03	6.06	Wt%		
Al	3.9527	3.93	3.94	3.9736	Fe	60.95	32.69	60.04	24.49	Ti	0.02	Al	3.98	3.98	3.97	3.97	Fe	32.31	60.06
Ti	0.0046	0.00	0.00	0.0087	As	0.05	0.06	0.03	0.00	Al	4.45	Ti	0.00	0.01	0.00	0.01	As	0.04	0.01
Fe ²⁺	4.8055	4.83	4.73	4.7208	S	38.21	0.01	38.21	0.00	Fe ²⁺	4.87	Fe ²⁺	4.83	4.86	4.84	4.76	S	0.00	37.89
Mn	0.1913	0.18	0.17	0.182	Zn	0.00	0.01	0.00	0.01	Mn	0.00	Mn	0.16	0.17	0.16	0.17	Zn	0.02	0.00
Mg	0.2454	0.26	0.24	0.2572	Cu	0.00	0.00	0.02	0.00	Mg	2.25	Mg	0.27	0.26	0.27	0.26	Cu	0.00	0.00
Ca	0.7765	0.80	0.76	0.7322	Co	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	0.00	Ca	0.68	0.62	0.69	0.67	Co	0.00	0.00
Na	0.0092	0.00	0.01	0.0111	Ni	0.10	0.01	0.13	0.00	Na	0.01	Na	0.01	0.00	0.02	0.01	Ni	0.00	0.11
Cr	0.0169	0.01	0.02	0.0199	Au	0.00	0.00	0.08	0.06	K	0.00	Cr	0.01	0.02	0.01	0.02	Au	0.03	0.00
Y	0.009	0.00	0.00	0.0084	-	-	-	-	-	Cl	0.01	Y	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-
Ba	0	0.01	0.00	0.0032	-	-	-	-	-	F	0.01	Ba	0.01	0.00	0.00	0.00	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ba	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	16.01	16.02	15.95	15.96	Total	99.30	32.77	98.51	24.57	Total	15.69	Total	15.98	15.96	15.98	15.94	Total	32.39	98.07

K03-22755

C3	773	C3	775	C2	805	806
O = 22	CHL	O = 6	CAB	Atom%	PO	PO
SiO ₂	22.85	SiO ₂	0.00	Fe	47.44	47.55
TiO ₂	0.08	FeO	18.75	As	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	20.55	MnO	0.64	S	52.48	52.36
FeO	32.17	MgO	7.66	Cu	0.00	0.00
MnO	0.02	CaO	26.07	Ni	0.07	0.08
MgO	8.89	-	-	Au	0.00	0.00
CaO	0.09	-	-	-	-	-
Na ₂ O	0.01	-	-	-	-	-
K ₂ O	0.00	-	-	-	-	-
Cl	0.00	-	-	-	-	-
F	0.08	-	-	-	-	-
BaO	0.02	-	-	-	-	-
Total	84.75	Total	53.12	Total	100.00	100.00
Si	4.11	Si	0.00	Wt%		
Ti	0.01	Fe ²⁺	1.69	Fe	60.14	60.22
Al	4.35	Mn	0.06	As	0.01	0.02
Fe ²⁺	4.83	Mg	1.23	S	38.19	38.07
Mn	0.00	Ca	3.02	Cu	0.00	0.00
Mg	2.38	-	-	Ni	0.10	0.11
Ca	0.02	-	-	Au	0.00	0.00
Na	0.00	-	-	-	-	-
K	0.00	-	-	-	-	-
Cl	0.00	-	-	-	-	-
F	0.04	-	-	-	-	-
Ba	0.00	-	-	-	-	-
Total	15.75	Total	6.00	Total	98.43	98.42

K03-23040

C1	829	830	831	832	C1	838	839	840	C1	815	816	817	818	C1	852
O = 22	SE	SE	SE	BT	O = 32	PL	PL	PL	Atom%	ASP	ASP	ASP	ASP	O = 6	CAB
SiO ₂	46.50	46.89	46.46	34.64	SiO ₂	63.93	62.22	63.28	Fe	33.45	33.44	33.56	33.55	SiO ₂	0.00
TiO ₂	0.25	0.17	0.12	1.86	Al ₂ O ₃	23.45	24.23	23.38	As	31.04	30.00	33.09	31.54	FeO	2.52
Al ₂ O ₃	33.23	33.10	33.75	17.31	TiO ₂	0.00	0.00	0.00	S	35.40	36.43	33.22	34.82	MnO	0.30
FeO	1.57	1.49	1.38	19.46	Fe ₂ O ₃	0.04	0.05	0.05	Co	0.00	0.00	0.00	0.00	MgO	1.08
MnO	0.00	0.03	0.04	0.02	MnO	0.00	0.02	0.00	Cu	0.01	0.01	0.00	0.00	CaO	49.32
MgO	1.08	1.16	1.00	8.74	MgO	0.00	0.00	0.00	Ni	0.10	0.13	0.14	0.08	-	-
CaO	0.00	0.00	0.01	0.04	CaO	4.74	5.76	4.81	Au	0.00	0.00	0.00	0.01	-	-
Na ₂ O	0.45	0.58	0.58	0.14	Na ₂ O	8.92	8.16	8.73	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	9.85	9.68	9.75	9.06	K ₂ O	0.07	0.12	0.08	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0.00	0.00	0.00	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.03	0.07	0.06	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	0.33	0.43	0.28	0.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	93.28	93.58	93.43	92.54	Total	101.15	100.55	100.33	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	Total	53.23
Si	6.32	6.35	6.30	5.51	Si	11.17	10.97	11.15	Wt%					Si	0.00
Ti	0.03	0.02	0.01	0.22	Al	4.83	5.03	4.85	Fe	35.40	35.55	34.71	35.09	Fe ²⁺	0.22
Al	5.32	5.28	5.39	3.25	Ti	0.00	0.00	0.00	As	44.06	42.78	45.91	44.26	Mn	0.03
Fe ²⁺	0.18	0.17	0.16	2.59	Fe ³⁺	0.01	0.01	0.01	S	21.50	22.23	19.72	20.90	Mg	0.17
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	Co	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	5.58
Mg	0.22	0.23	0.20	2.07	Mg	0.00	0.00	0.00	Cu	0.01	0.01	0.00	0.00	-	-
Ca	0.00	0.00	0.00	0.01	Ca	0.89	1.09	0.91	Ni	0.11	0.15	0.15	0.09	-	-
Na	0.12	0.15	0.15	0.04	Na	3.02	2.79	2.98	Au	0.00	0.00	0.00	0.04	-	-
K	1.71	1.67	1.69	1.84	K	0.02	0.03	0.02	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0.00	0.00	0.00	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.01	0.03	0.03	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	0.02	0.02	0.01	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	13.92	13.93	13.94	13.85	Total	19.93	19.92	19.92	Total	101.08	100.70	100.49	100.38	Total	6.00

K03-23040

C2	833	C2	841	842	843	844	845	846	847	C2	853	C3	819	820	821	822	823	824	C3	834	835	C4	825
O = 22	BT	O = 32	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	O = 6	CAB	Atom%	ASP	ASP	ASP	ILM?	ASP	ASP	O = 22	BT	BT	Atom%	ASP
SiO ₂	35.45	SiO ₂	63.28	63.93	63.50	65.85	64.49	64.80	63.29	SiO ₂	0.00	Fe	33.60	33.55	33.69	99.78	33.62	34.36	SiO ₂	35.25	35.00	Fe	33.47
TiO ₂	1.38	Al ₂ O ₃	23.58	23.10	23.12	22.02	23.28	22.58	23.49	FeO	3.14	As	30.10	32.68	30.78	0.16	31.63	29.44	TiO ₂	1.88	1.62	As	30.89
Al ₂ O ₃	17.40	TiO ₂	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	MnO	0.43	S	36.20	33.58	35.46	0.06	34.69	36.12	Al ₂ O ₃	18.15	18.08	S	35.56
FeO	21.68	Fe ₂ O ₃	0.00	0.01	0.06	0.30	0.23	0.03	0.12	MgO	0.99	Co	0.00	0.00	-	-	-	-	FeO	19.69	19.62	Ni	0.09
MnO	0.02	MnO	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	CaO	51.67	Cu	0.00	0.00	-	-	-	-	MnO	0.01	0.00	-	-
MgO	7.43	MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-	-	Ni	0.11	0.19	0.08	0.00	0.07	0.08	MgO	8.21	8.62	-	-
CaO	0.10	CaO	4.89	4.34	4.43	3.02	4.25	3.88	4.99	-	-	Au	0.00	0.00	-	-	-	-	CaO	0.02	0.03	-	-
Na ₂ O	0.11	Na ₂ O	8.92	9.08	9.01	9.81	9.34	9.33	8.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Na ₂ O	0.11	0.14	-	-
K ₂ O	9.29	K ₂ O	0.09	0.09	0.10	0.04	0.03	0.03	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K ₂ O	9.25	9.26	-	-
Cl	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.04	0.02	-	-
F	0.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.46	0.32	-	-
BaO	0.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.57	0.58	-	-
Total	93.77	Total	100.88	100.60	100.23	101.04	101.64	100.74	100.89	Total	56.23	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Total	93.62	93.30	Total	100.00
Si	5.60	Si	11.10	11.22	11.20	11.47	11.21	11.34	11.11	Si	0.00	Wt%							Si	5.52	5.50	Wt%	
Ti	0.16	Al	4.88	4.78	4.81	4.52	4.77	4.66	4.86	Fe2+	0.27	Fe	35.72	34.85	35.39	31.91	35.38	36.39	Ti	0.22	0.19	Fe	35.13
Al	3.24	Ti	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Mn	0.04	As	42.93	45.54	43.38	0.07	44.66	41.82	Al	3.35	3.35	As	43.49
Fe2+	2.86	Fe3+	0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.00	0.02	Mg	0.15	S	22.09	20.03	21.39	0.01	20.96	21.96	Fe2+	2.58	2.58	S	21.43
Mn	0.00	Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ca	5.55	Co	0.00	0.00	-	-	-	-	Mn	0.00	0.00	Ni	0.10
Mg	1.75	Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	Cu	0.00	0.00	-	-	-	-	Mg	1.92	2.02	-	-
Ca	0.02	Ca	0.92	0.82	0.84	0.56	0.79	0.73	0.94	-	-	Ni	0.12	0.21	0.09	0.00	0.08	0.09	Ca	0.00	0.01	-	-
Na	0.03	Na	3.03	3.09	3.08	3.31	3.15	3.17	3.04	-	-	Au	0.00	0.00	-	-	-	-	Na	0.03	0.04	-	-
K	1.87	K	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	K	1.85	1.86	-	-
Cl	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	0.01	-	-
F	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.23	0.16	-	-
Ba	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ba	0.04	0.04	-	-
Total	15.79	Total	19.97	19.94	19.95	19.91	19.96	19.91	19.98	Total	6.00	Total	100.87	100.63	100.25	31.99	101.08	100.26	Total	15.76	15.75	Total	100.14

K03-23040

C4	826	827	C4	855	C5	849	850	C5	828	C5	836	837
Atom%	ASP	ASP	O = 6	CAB	O = 32	PL	PL	Atom%	ILM?	O = 22	SE	BT
Fe	33.55	33.62	SiO ₂	0.00	SiO ₂	62.74	63.26	Fe	99.91	SiO ₂	46.09	34.80
As	30.86	30.36	FeO	12.96	Al ₂ O ₃	23.51	23.35	As	0.09	TiO ₂	0.16	1.89
S	35.49	35.92	MnO	0.42	TiO ₂	0.00	0.00	S	0.00	Al ₂ O ₃	33.07	17.48
Ni	0.10	0.10	MgO	11.91	Fe ₂ O ₃	0.19	0.01	Ni	0.00	FeO	1.56	20.52
-	-	-	CaO	27.76	MnO	0.00	0.01	-	-	MnO	0.00	0.00
-	-	-	-	-	MgO	0.02	0.00	-	-	MgO	1.08	8.78
-	-	-	-	-	CaO	5.08	5.01	-	-	CaO	0.00	0.03
-	-	-	-	-	Na ₂ O	8.66	8.97	-	-	Na ₂ O	0.56	0.11
-	-	-	-	-	K ₂ O	0.07	0.08	-	-	K ₂ O	10.29	9.09
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.18	0.65
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.41	0.83
Total	100.00	100.00	Total	53.05	Total	100.27	100.69	Total	100.00	Total	93.40	94.19
Wt%			Si	0.00	Si	11.08	11.13	Wt%		Si	6.29	5.47
Fe	35.47	35.63	Fe2+	1.11	Al	4.89	4.84	Fe	31.71	Ti	0.02	0.22
As	43.77	43.17	Mn	0.04	Ti	0.00	0.00	As	0.04	Al	5.32	3.24
S	21.54	21.86	Mg	1.82	Fe3+	0.03	0.00	S	0.00	Fe2+	0.18	2.70
Ni	0.11	0.11	Ca	3.04	Mn	0.00	0.00	Ni	0.00	Mn	0.00	0.00
-	-	-	-	-	Mg	0.00	0.00	-	-	Mg	0.22	2.06
-	-	-	-	-	Ca	0.96	0.94	-	-	Ca	0.00	0.01
-	-	-	-	-	Na	2.97	3.06	-	-	Na	0.15	0.03
-	-	-	-	-	K	0.02	0.02	-	-	K	1.79	1.82
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.08	0.32
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ba	0.02	0.05
Total	100.89	100.77	Total	6.00	Total	19.95	19.99	Total	31.74	Total	14.07	15.94

PROXIMIDADES DA ZONA INFERIOR

K49_39614

CI	288	289	290	291	292	293	294	296	297	C2	298	299	300	301	C2	404	C2	407	408	409	410	411	412
O =22	BT	BT	BT	BT	BT	BT	SE	BT	SE	O =22	BT	BT	BT	BT	O = 24	GRT	O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT
SiO ₂	33.63	31.61	33.79	34.38	34.90	35.13	42.60	33.54	41.31	SiO ₂	34.31	34.10	34.17	34.09	SiO ₂	36.70	SiO ₂	37.11	37.01	37.30	36.54	36.14	36.77
TiO ₂	1.57	1.65	1.73	1.59	1.66	1.74	0.14	1.47	0.27	TiO ₂	1.85	1.60	1.55	1.63	Al ₂ O ₃	20.02	Al ₂ O ₃	20.21	20.39	20.16	20.12	20.00	20.28
Al ₂ O ₃	19.00	18.81	18.37	18.33	18.60	19.00	33.69	18.62	33.05	Al ₂ O ₃	18.49	19.23	18.67	18.44	TiO ₂	0.13	TiO ₂	0.10	0.08	0.15	0.04	0.10	0.12
FeO	21.48	21.31	21.99	22.20	22.09	21.29	5.93	21.11	5.48	FeO	22.40	21.05	22.34	21.70	FeO	34.04	FeO	33.94	34.04	33.69	34.24	34.23	33.52
MnO	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	MnO	0.05	0.01	0.00	0.00	MnO	0.37	MnO	0.27	0.28	0.23	0.32	0.25	0.16
MgO	7.90	7.47	7.99	7.79	7.91	7.96	2.01	8.00	1.75	MgO	7.82	7.78	7.90	7.92	MgO	1.09	MgO	1.18	1.21	1.21	1.46	1.39	1.39
CaO	0.16	0.18	0.04	0.03	0.00	0.01	0.02	0.06	0.05	CaO	0.09	0.06	0.05	0.18	CaO	6.57	CaO	6.13	6.07	6.45	5.87	5.97	6.27
Na ₂ O	0.12	0.11	0.10	0.08	0.11	0.10	0.51	0.10	0.55	Na ₂ O	0.12	0.13	0.10	0.13	Na ₂ O	0.00	Na ₂ O	0.02	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01
K ₂ O	8.66	8.01	8.44	8.71	9.08	9.24	8.30	8.78	8.86	K ₂ O	8.48	8.43	8.56	8.27	Y ₂ O ₃	0.01	Y ₂ O ₃	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	Cl	0.04	0.03	0.03	0.03	BaO	0.01	BaO	0.00	0.06	0.07	0.06	0.00	0.02
F	0.27	0.23	0.15	0.24	0.27	0.19	0.07	0.21	0.04	F	0.30	0.15	0.36	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	92.79	89.42	92.63	93.36	94.65	94.67	93.26	91.90	91.38		93.94	92.56	93.72	92.54		98.94	-	98.96	99.15	99.26	98.64	98.12	98.52
Si	5.33	5.22	5.37	5.43	5.43	5.44	5.90	5.36	5.87	Si	5.39	5.38	5.38	5.40	Si	6.01	Si	6.06	6.03	6.07	6.00	5.98	6.02
Ti	0.19	0.21	0.21	0.19	0.19	0.20	0.01	0.18	0.03	Ti	0.22	0.19	0.18	0.19	Al	3.87	Al	3.89	3.92	3.86	3.90	3.90	3.91
Al	3.55	3.66	3.44	3.41	3.41	3.47	5.50	3.51	5.53	Al	3.42	3.58	3.46	3.45	Ti	0.02	Ti	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02
Fe2+	2.85	2.94	2.92	2.93	2.88	2.76	0.69	2.82	0.65	Fe2+	2.94	2.78	2.94	2.88	Fe2+	4.67	Fe2+	4.63	4.64	4.58	4.70	4.73	4.59
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.00	0.00	0.00	Mn	0.05	Mn	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02
Mg	1.87	1.84	1.89	1.83	1.84	1.84	0.41	1.91	0.37	Mg	1.83	1.83	1.86	1.87	Mg	0.27	Mg	0.29	0.29	0.29	0.36	0.34	0.34
Ca	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	Ca	0.02	0.01	0.01	0.03	Ca	1.15	Ca	1.07	1.06	1.12	1.03	1.06	1.10
Na	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.14	0.03	0.15	Na	0.04	0.04	0.03	0.04	Na	0.00	Na	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
K	1.75	1.69	1.71	1.75	1.80	1.82	1.47	1.79	1.60	K	1.70	1.70	1.72	1.67	Y	0.00	Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	Ba	0.00	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.13	0.12	0.08	0.12	0.13	0.09	0.03	0.11	0.02	F	0.15	0.08	0.18	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	15.60	15.61	15.58	15.57	15.58	15.55	14.13	15.61	14.22		15.55	15.51	15.58	15.53		16.04	Total	15.99	16.00	15.98	16.05	16.07	16.01

K49_39614

C2	413	414	415	416	417	418	419	C3	302	C3	303	304	305	306	307	C3	309	C3	396	404	397	403	398
O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	GRT	O =22	BT	O =22	BT	BT	BT	BT	BT	O =28	CHL	O =23	AMP	AMP	AMP	AMP	AMP
SiO ₂	37.19	37.22	36.98	37.20	37.37	35.95	37.36	SiO ₂	34.84	SiO ₂	34.44	34.59	34.75	34.48	34.30	SiO ₂	26.06	SiO ₂	39.21	39.89	39.45	39.12	39.03
Al ₂ O ₃	20.24	20.40	20.26	20.44	20.42	19.75	20.39	TiO ₂	1.83	TiO ₂	2.16	1.74	1.55	1.66	1.45	TiO ₂	0.02	TiO ₂	0.30	0.20	0.23	0.37	0.39
TiO ₂	0.12	0.10	0.09	0.08	0.13	1.53	0.07	Al ₂ O ₃	18.82	Al ₂ O ₃	19.21	18.54	18.76	18.66	18.35	Al ₂ O ₃	25.67	Al ₂ O ₃	21.28	20.78	20.75	21.16	20.74
FeO	33.98	34.03	33.97	34.23	34.66	34.61	34.36	FeO	21.07	FeO	21.32	21.96	21.24	22.12	21.93	FeO	21.33	FeO	19.84	19.39	20.12	20.91	21.07
MnO	0.20	0.25	0.21	0.20	0.22	0.24	0.26	MnO	0.02	MnO	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	MnO	0.02	MnO	0.03	0.03	0.05	0.00	0.01
MgO	1.27	1.20	1.20	1.23	1.30	1.38	1.39	MgO	8.47	MgO	7.72	8.20	8.34	8.22	8.18	MgO	10.18	MgO	3.99	4.18	4.02	3.63	3.59
CaO	6.06	6.27	6.37	5.91	5.71	5.70	5.41	CaO	0.04	CaO	0.06	0.03	0.09	0.07	0.05	CaO	0.01	CaO	11.34	11.35	11.39	11.35	11.34
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	Na ₂ O	0.14	Na ₂ O	0.13	0.13	0.14	0.16	0.10	Na ₂ O	0.14	Na ₂ O	0.99	1.04	1.14	1.08	1.09
Y ₂ O ₃	0.00	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	K ₂ O	8.89	K ₂ O	8.60	8.73	8.59	8.57	8.59	K ₂ O	1.43	K ₂ O	0.63	0.66	0.48	0.54	0.53
BaO	0.00	0.01	0.11	0.00	0.00	0.09	0.06	Cl	0.04	Cl	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	Cl	0.00	F	0.09	0.07	0.08	0.00	0.14
-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.35	F	0.23	0.23	0.30	0.24	0.23	F	0.00	-	-	-	-	-	-
Total	99.07	99.50	99.22	99.33	99.84	99.24	99.33		94.49		93.88	94.19	93.82	94.23	93.21	Total	84.87		97.71	97.59	97.70	98.17	97.93
Si	6.06	6.04	6.03	6.05	6.05	5.89	6.07	Si	5.40	Si	5.37	5.40	5.42	5.38	5.41	Si	5.54	Si	5.91	6.00	5.95	5.89	5.91
Al	3.89	3.90	3.89	3.92	3.89	3.81	3.90	Ti	0.21	Ti	0.25	0.20	0.18	0.19	0.17	Ti	0.00	Ti	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.19	0.01	Al	3.44	Al	3.53	3.41	3.45	3.43	3.41	Al	6.44	Al	3.78	3.68	3.69	3.76	3.70
Fe2+	4.63	4.62	4.63	4.65	4.69	4.74	4.67	Fe2+	2.73	Fe2+	2.78	2.87	2.77	2.89	2.90	Fe2+	3.79	Fe2+	2.50	2.44	2.54	2.63	2.67
Mn	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	Mn	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Mn	0.00	Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Mg	0.31	0.29	0.29	0.30	0.31	0.34	0.34	Mg	1.96	Mg	1.80	1.91	1.94	1.91	1.92	Mg	3.23	Mg	0.90	0.94	0.90	0.82	0.81
Ca	1.06	1.09	1.11	1.03	0.99	1.00	0.94	Ca	0.01	Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	Ca	0.00	Ca	1.83	1.83	1.84	1.83	1.84
Na	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	Na	0.04	Na	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	Na	0.06	Na	0.29	0.30	0.33	0.32	0.32
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	1.76	K	1.71	1.74	1.71	1.71	1.73	K	0.39	K	0.12	0.13	0.09	0.10	0.10
Ba	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	Cl	0.01	Cl	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	Cl	0.00	F	0.04	0.03	0.04	0.00	0.07
-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.17	F	0.12	0.12	0.15	0.12	0.11	F	0.00	-	-	-	-	-	-
Total	15.98	15.99	16.01	15.99	15.99	16.01	15.97		15.56		15.49	15.58	15.54	15.58	15.59	Total	19.46		15.37	15.35	15.39	15.40	15.40

K49_39614

C3	402	399	401	400	C4	331	332	C4	426	428	427	C5	260	261	263	264	265	266	267	268	C5	420	421
O = 23	AMP	AMP	AMP	AMP	O = 22	SE	SE	O = 25	EP	EP	EP	O = 32	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	O = 24	GRT	GRT
SiO ₂	39.48	39.24	39.34	39.28	SiO ₂	45.68	47.23	SiO ₂	36.13	36.74	37.94	SiO ₂	62.56	62.21	61.46	60.67	60.68	60.34	60.75	60.24	SiO ₂	37.21	37.10
TiO ₂	0.33	0.31	0.16	0.30	TiO ₂	0.16	0.19	TiO ₂	0.00	0.03	0.08	Al ₂ O ₃	23.20	23.19	23.65	24.07	24.25	24.48	24.24	24.46	Al ₂ O ₃	20.53	20.22
Al ₂ O ₃	21.04	20.98	21.26	21.12	Al ₂ O ₃	35.26	36.53	Al ₂ O ₃	24.04	24.62	26.37	TiO ₂	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	TiO ₂	0.03	0.14
FeO	20.88	20.52	20.19	20.05	FeO	2.03	2.28	Nd ₂ O ₃	0.19	0.39	0.05	Fe ₂ O ₃	0.03	0.06	0.03	0.07	0.17	0.17	0.06	0.08	FeO	33.85	33.87
MnO	0.01	0.02	0.03	0.06	MnO	0.00	0.00	Fe ₂ O ₃	9.57	9.02	7.84	MnO	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	MnO	0.45	0.46
MgO	3.66	3.82	3.97	4.04	MgO	0.57	0.87	MnO	0.16	0.12	0.08	MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	MgO	1.17	1.04
CaO	11.29	11.38	11.37	11.39	CaO	0.04	0.05	MgO	0.04	0.03	0.02	CaO	4.67	4.84	5.40	5.86	6.01	6.26	5.89	5.76	CaO	6.18	6.68
Na ₂ O	1.12	1.08	1.10	1.08	Na ₂ O	0.76	0.26	CaO	17.87	19.70	23.50	Na ₂ O	9.10	9.05	8.62	8.40	8.27	7.87	8.13	7.80	Na ₂ O	0.00	0.01
K ₂ O	0.49	0.49	0.51	0.47	K ₂ O	9.68	9.05	Pr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	K ₂ O	0.13	0.13	0.11	0.11	0.06	0.07	0.12	0.43	Y ₂ O ₃	0.03	0.00
F	0.14	0.00	0.07	0.06	Cl	0.31	0.14	Ce ₂ O ₃	0.26	0.39	0.00	BaO	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.02	0.00	0.06	BaO	0.00	0.05
-	-	-	-	-	F	0.00	0.15	La ₂ O ₃	0.07	0.08	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	98.43	97.83	97.98	97.84	-	94.51	96.76	-	88.32	91.12	95.86	-	99.68	99.48	99.28	99.27	99.46	99.23	99.21	98.84	-	99.46	99.57
Si	5.93	5.92	5.92	5.91	Si	6.14	6.16	Si	6.22	6.17	6.05	Si	11.12	11.09	10.99	10.88	10.85	10.81	10.88	10.84	Si	6.04	6.03
Ti	0.04	0.04	0.02	0.03	Ti	0.02	0.02	Ti	0.00	0.00	0.01	Al	4.86	4.87	4.98	5.08	5.11	5.17	5.11	5.19	Al	3.93	3.87
Al	3.73	3.73	3.77	3.75	Al	5.59	5.62	Al	4.88	4.87	4.96	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Ti	0.00	0.02
Fe2+	2.62	2.59	2.54	2.53	Fe2+	0.23	0.25	Nd	0.01	0.02	0.00	Fe3+	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	Fe2+	4.59	4.61
Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	Mn	0.00	0.00	Fe3+	1.24	1.14	0.94	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.06	0.06
Mg	0.82	0.86	0.89	0.91	Mg	0.12	0.17	Mn	0.02	0.02	0.01	Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	0.28	0.25
Ca	1.82	1.84	1.83	1.84	Ca	0.01	0.01	Mg	0.01	0.01	0.00	Ca	0.89	0.92	1.03	1.13	1.15	1.20	1.13	1.11	Ca	1.08	1.16
Na	0.33	0.32	0.32	0.31	Na	0.20	0.06	Ca	3.30	3.54	4.02	Na	3.13	3.13	2.99	2.92	2.87	2.73	2.82	2.72	Na	0.00	0.00
K	0.09	0.09	0.10	0.09	K	1.66	1.51	Pr	0.00	0.00	0.00	K	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.10	Y	0.00	0.00
F	0.07	0.00	0.03	0.03	Cl	0.02	0.01	Ce	0.02	0.02	0.00	Ba	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Ba	0.00	0.00
-	-	-	-	-	F	0.00	0.06	La	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	15.38	15.38	15.39	15.38	-	13.96	13.79	-	15.70	15.80	15.99	-	20.03	20.05	20.02	20.05	20.02	19.97	19.99	19.97	-	15.99	16.02

K49_39614

C5	422	423	424	425	C6	370	C6	269	271	272	273	274	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285
O = 24	GRT	GRT	GRT	GRT	O = 6	CAB	O = 32	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP
SiO ₂	37.55	37.40	37.24	37.20	SiO ₂	0.05	SiO ₂	57.84	59.51	58.17	58.83	60.37	58.27	54.05	56.30	56.38	54.64	58.19	58.89	57.54	58.05	55.63
Al ₂ O ₃	20.29	20.33	20.38	20.45	TiO ₂	0.00	Al ₂ O ₃	23.49	25.43	26.45	25.69	25.16	25.95	27.15	27.90	27.75	28.68	26.48	25.98	26.26	26.59	28.35
TiO ₂	0.13	0.19	0.07	0.05	Al ₂ O ₃	0.04	TiO ₂	0.00	0.03	0.05	0.02	0.01	0.06	0.01	0.00	0.10	0.01	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00
FeO	33.30	33.76	33.84	33.58	FeO	2.05	Fe ₂ O ₃	2.76	0.24	0.01	0.13	0.07	0.03	0.00	0.03	0.09	0.06	0.13	0.08	0.14	0.12	0.17
MnO	0.36	0.43	0.37	0.34	MnO	0.11	MnO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
MgO	1.08	1.10	1.19	1.42	MgO	0.43	MgO	0.56	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
CaO	7.02	6.52	6.81	6.11	CaO	56.26	CaO	3.91	5.23	8.09	7.54	6.74	8.20	9.83	9.81	9.86	11.03	8.00	7.76	8.40	8.37	10.36
Na ₂ O	0.00	0.03	0.00	0.02	SrO	0.01	Na ₂ O	8.28	7.81	6.76	7.27	7.82	6.96	5.56	6.11	6.07	5.31	6.85	7.36	6.76	6.97	5.76
Y ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	BaO	0.07	K ₂ O	0.25	0.61	0.20	0.20	0.09	0.07	0.09	0.06	0.06	0.04	0.13	0.09	0.07	0.08	0.06
BaO	0.09	0.10	0.00	0.01	-	-	BaO	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.09	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	99.82	99.84	99.90	99.19	-	59.00	-	97.16	98.89	99.73	99.69	100.27	99.58	96.71	100.21	100.41	99.90	99.81	100.24	99.16	100.18	100.35
Si	6.07	6.05	6.03	6.05	Si	0.00	Si	10.66	10.70	10.43	10.55	10.72	10.47	10.05	10.10	10.10	9.87	10.42	10.50	10.39	10.38	9.98
Al	3.87	3.88	3.89	3.92	Ti	0.00	Al	5.10	5.39	5.59	5.43	5.27	5.49	5.95	5.90	5.86	6.11	5.59	5.46	5.59	5.60	6.00
Ti	0.02	0.02	0.01	0.01	Al	0.00	Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe2+	4.50	4.57	4.58	4.56	Fe2+	0.16	Fe3+	0.38	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
Mn	0.05	0.06	0.05	0.05	Mn	0.01	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.26	0.27	0.29	0.34	Mg	0.06	Mg	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	1.22	1.13	1.18	1.06	Ca	5.75	Ca	0.77	1.01	1.55	1.45	1.28	1.58	1.96	1.88	1.89	2.14	1.54	1.48	1.63	1.60	1.99
Na	0.00	0.01	0.00	0.01	Sr	0.00	Na	2.96	2.72	2.35	2.53	2.69	2.42	2.00	2.13	2.11	1.86	2.38	2.55	2.36	2.42	2.01
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	Ba	0.00	K	0.06	0.14	0.05	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
Ba	0.01	0.01	0.00	0.00	-	-	Ba	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	15.98	15.99	16.02	15.99	-	5.99	-	20.10	20.01	19.97	20.02	20.00	19.99	19.99	20.02	20.01	20.00	19.98	20.04	20.00	20.03	20.02

K49_39664

C1	356	357	358	359	C1	257	258	258a	259	C1	310	311	312	313	314	315	317	318	319	320	C2	379	380
O = 6	CAB	CAB	CAB	CAB	O = 32	FSP	FSP	FSP	FSP	O = 22	BT	BT	BT	BT	BT	BT	SE	SE	SE	SE	O = 23	AMP	AMP
SiO ₂	0.01	0.05	0.04	0.04	SiO ₂	55.95	55.77	56.25	54.85	SiO ₂	34.11	34.91	34.69	34.56	34.60	34.86	43.11	44.32	44.93	45.03	SiO ₂	39.40	38.94
TiO ₂	0.00	0.07	0.00	0.00	Al ₂ O ₃	26.13	26.99	26.93	27.44	TiO ₂	1.94	1.79	1.57	1.61	1.83	1.62	0.33	0.23	0.20	0.25	TiO ₂	0.23	0.22
Al ₂ O ₃	0.06	0.09	0.03	0.05	TiO ₂	0.02	0.04	0.00	0.07	Al ₂ O ₃	18.60	18.96	18.64	18.65	19.59	18.48	32.90	33.92	34.37	34.52	Al ₂ O ₃	20.83	21.09
FeO	5.59	3.56	2.43	1.48	Fe ₂ O ₃	0.07	0.16	0.21	0.20	FeO	21.88	20.23	21.01	21.47	19.74	20.99	3.84	2.43	1.62	1.73	FeO	19.90	19.93
MnO	0.23	0.22	0.22	0.13	MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	MnO	0.00	0.03	0.04	0.00	0.03	0.03	0.02	0.04	0.00	0.01	MnO	0.07	0.06
MgO	1.84	1.03	0.70	0.34	MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	MgO	8.14	8.76	8.35	8.21	7.76	8.48	1.90	1.13	0.74	0.79	MgO	3.61	3.89
CaO	55.16	52.45	56.40	57.23	CaO	8.71	9.39	9.09	10.00	CaO	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	CaO	10.97	11.57
SrO	0.08	0.05	0.01	0.05	Na ₂ O	6.50	6.07	6.29	5.86	Na ₂ O	0.13	0.16	0.15	0.16	0.16	0.15	0.47	0.61	0.70	0.71	Na ₂ O	1.04	1.11
BaO	0.00	0.01	0.00	0.00	K ₂ O	0.13	0.09	0.07	0.07	K ₂ O	8.54	9.00	8.83	8.97	8.93	8.93	9.03	9.65	9.99	9.86	K ₂ O	0.61	0.52
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.02	0.02	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	F	0.19	0.12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.19	0.34	0.23	0.17	0.22	0.33	0.02	0.15	0.07	0.14	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	-	-	-	-	-	-	0.42	0.37	0.40	0.67	-	-	-
Total	62.96	57.52	59.82	59.31	Total	97.51	98.51	98.83	98.49	Total	93.54	94.21	93.51	93.81	92.91	93.88	92.10	92.86	93.02	93.74	-	96.86	97.45
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	Si	10.30	10.17	10.21	10.03	Si	5.36	5.41	5.43	5.41	5.42	5.44	6.03	6.11	6.16	6.14	Si	5.99	5.90
Ti	0.00	0.01	0.00	0.00	Al	5.67	5.80	5.76	5.91	Ti	0.23	0.21	0.18	0.19	0.22	0.19	0.03	0.02	0.02	0.03	Ti	0.03	0.03
Al	0.01	0.01	0.00	0.01	Ti	0.00	0.01	0.00	0.01	Al	3.44	3.46	3.44	3.44	3.61	3.40	5.42	5.51	5.55	5.55	Al	3.73	3.77
Fe2+	0.42	0.29	0.19	0.12	Fe3+	0.01	0.02	0.03	0.03	Fe2+	2.88	2.62	2.75	2.81	2.58	2.74	0.45	0.28	0.19	0.20	Fe2+	2.53	2.52
Mn	0.02	0.02	0.02	0.01	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.01
Mg	0.25	0.15	0.10	0.05	Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	1.91	2.02	1.95	1.92	1.81	1.97	0.40	0.23	0.15	0.16	Mg	0.82	0.88
Ca	5.30	5.50	5.68	5.81	Ca	1.72	1.83	1.77	1.96	Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	Ca	1.79	1.88
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	Na	2.32	2.15	2.21	2.08	Na	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.13	0.16	0.19	0.19	Na	0.31	0.33
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	K	0.03	0.02	0.02	0.02	K	1.71	1.78	1.76	1.79	1.78	1.78	1.61	1.70	1.75	1.71	K	0.12	0.10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ba	-	-	-	-	-	-	0.02	0.02	0.02	0.04	F	0.09	0.06
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.10	0.17	0.11	0.08	0.11	0.16	0.01	0.06	0.03	0.06	-	-	-
Total	6.00	5.98	5.99	5.99	Total	20.04	20.00	20.00	20.03	Total	15.56	15.56	15.57	15.60	15.48	15.58	14.10	14.04	14.01	14.01	-	15.33	15.41

K49_39664

K49_39664																									
C2	381	382	383	384	C2	361	362	364	C3	286	C3	386	385	388	387	C3	240	241	242	243	244	245	246		
O = 23	AMP	AMP	AMP	AMP	O = 6	CAB	CAB	CAB	O = 32	GRT	O = 23	AMP	AMP	AMP	AMP	O = 32	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP		
SiO ₂	39.22	39.06	39.38	39.03	SiO ₂	0.06	0.04	0.04	SiO ₂	36.70	SiO ₂	39.72	39.31	39.03	39.37	SiO ₂	59.28	58.27	55.96	55.97	54.02	57.64	57.38		
TiO ₂	0.12	0.21	0.24	0.22	TiO ₂	0.02	0.00	0.04	Al ₂ O ₃	20.63	TiO ₂	0.21	0.25	0.32	0.25	Al ₂ O ₃	25.82	26.15	25.60	26.82	28.55	26.17	25.37		
Al ₂ O ₃	21.13	21.25	21.16	21.42	Al ₂ O ₃	0.12	0.12	0.03	TiO ₂	0.05	Al ₂ O ₃	21.18	20.90	20.69	21.12	TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00		
FeO	20.22	19.74	19.76	19.43	FeO	3.66	3.57	4.53	Fe ₂ O ₃	36.16	FeO	19.03	20.67	20.27	19.31	Fe ₂ O ₃	0.06	0.04	0.28	0.07	0.01	0.02	0.03		
MnO	0.02	0.08	0.05	0.07	MnO	0.21	0.21	0.27	MnO	0.84	MnO	0.04	0.05	0.04	0.02	MnO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
MgO	3.68	3.89	4.06	4.17	MgO	1.06	0.93	0.88	MgO	1.16	MgO	4.02	3.86	3.82	4.28	MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
CaO	11.57	11.56	11.57	10.40	CaO	52.08	52.30	54.69	CaO	6.77	CaO	10.52	11.11	11.43	11.39	CaO	7.37	7.74	7.47	9.02	11.08	8.32	7.51		
Na ₂ O	1.08	1.02	1.02	0.81	SrO	0.06	0.01	0.05	Na ₂ O	0.02	Na ₂ O	0.98	1.07	1.02	1.10	Na ₂ O	7.11	6.93	6.70	6.06	5.06	6.65	7.15		
K ₂ O	0.50	0.45	0.48	0.70	BaO	0.00	0.00	0.00	K ₂ O	0.00	K ₂ O	0.69	0.45	0.46	0.53	K ₂ O	0.07	0.06	0.28	0.05	0.07	0.07	0.06		
F	0.05	0.07	0.04	0.10	-	-	-	-	BaO	0.06	F	0.06	0.09	0.18	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						

K49_39664

C3	249	255	257	250	251	253	254	C4	324	323	C4	325	326	327	328	329	330	C4	389	390	C4	287
O = 32	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	FSP	O = 28	CHL	CHL	O = 22	SE	SE	BT	BT	BT	BT	O = 23	AMP	AMP	O = 32	GRT
SiO ₂	59.25	58.36	56.28	58.11	58.65	56.96	57.89	SiO ₂	27.40	26.71	SiO ₂	45.58	45.49	38.17	33.88	34.79	33.98	SiO ₂	39.57	39.70	SiO ₂	38.06
Al ₂ O ₃	24.72	24.75	26.17	24.13	25.03	24.87	25.91	TiO ₂	0.11	0.19	TiO ₂	0.28	0.22	0.21	1.90	1.62	1.77	TiO ₂	0.18	0.17	Al ₂ O ₃	27.64
TiO ₂	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.04	0.00	Al ₂ O ₃	20.08	20.86	Al ₂ O ₃	33.78	34.29	31.18	19.12	18.93	18.42	Al ₂ O ₃	21.10	21.02	TiO ₂	0.07
Fe ₂ O ₃	0.01	0.12	0.07	0.06	0.15	0.13	0.16	FeO	27.30	26.95	FeO	2.31	1.62	10.15	20.01	21.30	21.32	FeO	19.60	19.67	Fe ₂ O ₃	7.19
MnO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	MnO	0.03	0.02	MnO	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.04	MnO	0.06	0.07	MnO	0.09
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	MgO	10.23	9.97	MgO	1.12	0.90	4.17	8.11	8.43	8.71	MgO	4.16	4.23	MgO	0.05
CaO	6.76	5.75	8.57	6.01	6.86	6.68	7.65	CaO	0.04	0.03	CaO	0.02	0.06	0.06	0.07	0.01	0.02	CaO	11.41	11.56	CaO	22.71
Na ₂ O	7.48	7.06	6.15	7.74	7.44	6.86	6.82	Na ₂ O	0.01	0.05	Na ₂ O	0.41	0.46	0.34	0.14	0.14	0.12	Na ₂ O	1.05	1.05	Na ₂ O	0.01
K ₂ O	0.06	0.73	0.22	0.06	0.09	0.35	0.10	K ₂ O	2.84	2.52	K ₂ O	9.79	9.85	6.35	8.69	8.81	8.49	K ₂ O	0.51	0.50	K ₂ O	0.03
-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.02	0.02	Cl	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	F	0.00	0.08	BaO	0.04
-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.07	0.06	F	0.17	0.00	0.03	0.28	0.37	0.23	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	BaO	0.06	0.00	BaO	0.31	0.34	0.26	0.06	0.06	0.14	-	-	-	-	-
	98.31	96.77	97.49	96.12	98.25	95.88	98.54		88.20	87.36		93.75	93.23	90.91	92.33	94.49	93.26		97.64	98.05		95.87
Si	10.72	10.72	10.33	10.75	10.64	10.59	10.49	Si	5.88	5.77	Si	6.20	6.19	5.56	5.36	5.40	5.35	Si	5.95	5.95	Si	7.72
Al	5.27	5.36	5.66	5.26	5.35	5.45	5.53	Ti	0.02	0.03	Ti	0.03	0.02	0.02	0.23	0.19	0.21	Ti	0.02	0.02	Al	6.61
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Al	5.08	5.31	Al	5.42	5.50	5.35	3.57	3.47	3.42	Al	3.74	3.72	Ti	0.01
Fe3+	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	Fe2+	4.90	4.87	Fe2+	0.26	0.18	1.24	2.65	2.77	2.81	Fe2+	2.47	2.47	Fe3+	1.10
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.00	Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Mn	0.01	0.01	Mn	0.01
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mg	3.27	3.21	Mg	0.23	0.18	0.91	1.91	1.95	2.05	Mg	0.93	0.95	Mg	0.01
Ca	1.31	1.13	1.68	1.19	1.33	1.33	1.49	Ca	0.01	0.01	Ca	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	Ca	1.84	1.86	Ca	4.94
Na	2.62	2.51	2.19	2.78	2.62	2.47	2.40	Na	0.00	0.02	Na	0.11	0.12	0.09	0.04	0.04	0.04	Na	0.31	0.30	Na	0.00
K	0.01	0.17	0.05	0.02	0.02	0.08	0.02	K	0.78	0.69	K	1.70	1.71	1.18	1.75	1.75	1.71	K	0.10	0.10	K	0.01
-	-	-	-	-	-	-	-	Ba	0.00	0.00	Ba	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	F	0.00	0.04	Ba	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-	Cl	0.01	0.01	Cl	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	F	0.04	0.03	F	0.07	0.00	0.01	0.14	0.18	0.11	-	-	-	-	-
	19.95	19.92	19.94	20.00	19.99	19.94	19.95		19.95	19.91		13.96	13.95	14.38	15.53	15.57	15.60		15.36	15.37		20.42

K49_39664

C5	392	393	394	C5	366	367	368	369
O = 23	AMP	AMP	AMP	O = 6	CAB	CAB	CAB	CAB
SiO ₂	38.12	38.82	38.68	SiO ₂	0.01	0.03	0.02	0.03
TiO ₂	0.27	0.16	0.12	TiO ₂	0.03	0.05	0.01	0.00
Al ₂ O ₃	20.51	20.72	20.67	Al ₂ O ₃	0.01	0.02	0.12	0.16
FeO	19.71	19.71	19.62	FeO	1.36	2.10	2.00	4.04
MnO	0.11	0.09	0.06	MnO	0.12	0.30	0.30	0.31
MgO	3.96	4.01	4.04	MgO	0.09	0.32	0.31	1.14
CaO	11.31	11.51	11.52	CaO	57.12	58.05	57.76	54.25
Na ₂ O	0.97	1.06	0.97	SrO	0.00	0.02	0.04	0.02
K ₂ O	0.60	0.50	0.49	BaO	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.04	0.00	0.05	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
	95.58	96.58	96.22	Total	58.76	60.88	60.55	59.96
Si	5.89	5.92	5.92	Si	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.03	0.02	0.01	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	3.74	3.73	3.73	Al	0.00	0.00	0.01	0.02
Fe2+	2.55	2.51	2.51	Fe2+	0.11	0.16	0.16	0.32
Mn	0.01	0.01	0.01	Mn	0.01	0.02	0.02	0.03
Mg	0.91	0.91	0.92	Mg	0.01	0.04	0.04	0.16
Ca	1.87	1.88	1.89	Ca	5.86	5.75	5.75	5.46
Na	0.29	0.31	0.29	Sr	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.12	0.10	0.10	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.02	0.00	0.02	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15.41	15.40	15.39	Total	6.00	5.99	5.99	5.99

ANEXO 3

TABELAS DE MICROTERMOMETRIA

**ANEXO 4 - DADOS MICROTERMOMÉTRICOS
VEIO DE QUARTZO DA PRIMEIRA GERAÇÃO (Q-IV1)**

INCLUSÕES CARBÔNICAS PRIMÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_02	1	-57.10	0.30	L	4.90	0.90	49.07	0.02	0.879	49.4
19_02	2	-57.20	0.30	L	7.60	0.88	50.09	0.02	0.862	50.4
19_02	3	-57.20	0.20	L	4.80	0.90	49.03	0.02	0.883	49.2
19_02	4	-57.10	0.30	L	5.20	0.89	49.18	0.02	0.874	49.8
19_02	5	-57.20	0.30	L	8.20	0.87	50.33	0.02	0.854	50.8
19_02	6	-57.20	0.30	L	6.30	0.89	49.59	0.02	0.865	50.2
19_02	7	-57.20	0.30	L	6.00	0.89	49.47	0.02	0.871	49.9
19_02	120	-57.20	0.30	L	6.40	0.89	49.62	0.02	0.865	50.2
19_02	121	-57.10	0.30	L	6.30	0.89	49.59	0.02	0.868	50.1
19_02	122	-57.20	0.30	L	6.60	0.89	49.70	0.02	0.865	50.2
19_02	123	-57.10	0.30	L	1.50	0.92	47.91	0.02	0.900	48.4
19_02	124	-57.20	0.30	L	6.30	0.89	49.59	0.02	0.865	50.2

INCLUSÕES CARBÔNICAS PRIMÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_11	30	-56.90	0.30	L	4.80	0.90	49.03	0.01	0.892	49.0
19_11	31	-56.90	0.50	L	3.90	0.90	48.72	0.01	0.898	48.7
19_11	32	-57.00	0.20	L	1.80	0.92	48.01	0.02	0.902	48.4
19_11	33	-57.00	0.50	L	2.90	0.91	48.37	0.02	0.898	48.6
19_11	35	-57.00	0.30	L	2.30	0.91	48.17	0.02	0.900	48.5
19_11	36	-57.00	0.25	L	1.20	0.92	47.82	0.01	0.907	48.1
19_11	37	-57.00	0.30	L	2.40	0.91	48.21	0.02	0.900	48.5
19_11	38	-57.00	0.20	L	1.20	0.92	47.82	0.02	0.904	48.2
19_11	39	-57.10	0.30	L	1.80	0.92	48.01	0.02	0.902	48.4
19_11	40	-57.10	0.25	L	0.20	0.93	47.50	0.02	0.914	47.7
19_11	41	-56.90	0.20	L	1.80	0.92	48.01	0.02	0.901	48.4
19_11	42	-57.00	0.30	L	0.30	0.93	47.53	0.02	0.910	47.9
19_11	43	-57.10	0.30	L	1.60	0.92	47.95	0.02	0.902	48.4
19_11	44	-57.00	0.35	L	0.30	0.93	47.53	0.02	0.910	47.9

INCLUSÕES CARBÔNICAS PRIMÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_12c	83	-56.90	0.40	L	-1.70	0.94	46.93	0.02	0.925	47.2
19_12c	84	-56.90	0.30	L	-0.90	0.93	47.17	0.01	0.922	47.4
19_12c	85	-56.90	0.40	L	-1.90	0.94	46.87	0.01	0.924	47.3
19_12c	86	-56.80	0.30	L	-1.90	0.94	46.87	0.01	0.927	47.2
19_12c	87	-56.80	0.30	L	-2.20	0.94	46.79	0.01	0.929	47.1
19_12c	88	-56.80	0.40	L	-1.20	0.93	47.08	0.01	0.924	47.3
19_12c	89	-56.90	0.30	L	-2.10	0.94	46.82	0.01	0.929	47.1
19_12c	90	-56.90	0.30	L	-2.20	0.94	46.79	0.01	0.931	46.9
19_12c	91	-56.90	0.40	L	-0.80	0.93	47.20	0.01	0.924	47.3
19_12c	92	-56.80	0.30	L	-0.80	0.93	47.20	0.01	0.924	47.3
19_12c	93	-56.80	0.30	L	-5.20	0.96	45.96	0.01	0.948	46.2
19_12c	94	-56.80	0.30	L	-5.20	0.96	45.96	0.01	0.948	46.2

INCLUSÕES CARBÔNICAS PRIMÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_7	59	-56.70	0.40	L	0.80	0.92	47.69	0.01	0.918	47.8
19_7	60	-56.70	0.40	L	2.10	0.91	48.11	0.01	0.910	48.2
19_7	61	-56.70	0.40	L	2.50	0.91	48.24	0.01	0.907	48.4
19_7	63	-56.70	0.40	L	0.90	0.92	47.72	0.00	0.919	47.8
19_7	64	-56.80	0.40	L	-2.60	0.94	46.67	0.01	0.941	46.6
19_7	65	-56.80	0.40	L	-5.50	0.96	45.88	0.01	0.948	46.3
19_7	66	-56.80	0.40	L	-0.30	0.93	47.35	0.01	0.928	47.3

INCLUSÕES CARBÔNICAS PRIMÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_7a	67	-56.70	0.30	L	-4.50	0.95	46.15	0.01	0.946	46.4
19_7a	68	-56.70	0.30	L	-5.40	0.96	45.91	0.01	0.946	46.4
19_7a	69	-56.70	0.30	L	-0.50	0.93	47.29	0.01	0.930	47.2
19_7a	70	-56.80	0.30	L	-1.60	0.94	46.96	0.01	0.932	47.1
19_7a	71	-56.80	0.40	L	-0.60	0.93	47.26	0.01	0.929	47.2
19_7a	72	-56.80	0.40	L	-0.50	0.93	47.29	0.01	0.927	47.3
19_7a	73	-56.60	0.40	L	-0.60	0.93	47.26	0.00	0.932	47.2

INCLUSÕES CARBÔNICAS PSEUDOSSECUNDÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_12e	97	-56.80	0.20	L	-1.30	0.94	47.05	0.01	0.927	47.2
19_12e	98	-56.80	0.20	L	-2.20	0.94	46.79	0.01	0.932	46.9
19_12e	99	56.90	0.20	L	1.50	0.92	47.91	0.01	0.906	48.2
19_12e	100	-56.90	0.30	L	1.10	0.92	47.79	0.01	0.908	48.1
19_12e	101	-56.80	0.30	L	1.20	0.92	47.82	0.01	0.908	48.1

INCLUSÕES CARBÔNICAS PSEUDOSSECUNDÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_13	110	-57.10	0.30	L	-3.00	0.95	46.56	0.02	0.924	47.2
19_13	111	-57.10	0.30	L	-11.50	0.99	44.41	0.02	0.969	44.9
19_13	112	-57.30	0.20	L	-11.00	0.99	44.53	0.03	0.960	45.1
19_13	113	-57.30	0.20	L	-8.10	0.97	45.22	0.02	0.943	46.0
19_13	114	-57.20	0.30	L	-9.90	0.98	44.78	0.02	0.953	45.5
19_13	115	-57.00	0.30	L	-6.20	0.96	45.70	0.02	0.942	46.3
19_13	116	-57.10	0.20	L	-3.10	0.95	46.53	0.02	0.931	46.7
19_13	117	-57.10	0.30	L	-9.70	0.98	44.83	0.02	0.956	45.5
19_13	118	-57.10	0.30	L	-4.90	0.96	46.04	0.02	0.936	46.5
19_13	119	-57.20	0.20	L	-3.50	0.95	46.42	0.02	0.928	46.8

INCLUSÕES CARBÔNICAS PSEUDOSSECUNDÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_19	150	-57.10	0.30	L	3.80	0.90	48.68	0.02	0.892	48.8
19_19	151	-57.00	0.30	L	3.00	0.91	48.41	0.02	0.896	48.7
19_19	152	-57.00	0.30	L	3.10	0.91	48.44	0.02	0.896	48.7
19_19	153	-57.00	0.30	L	3.50	0.91	48.58	0.02	0.894	48.8
19_19	154	-57.00	0.30	L	1.90	0.92	48.04	0.02	0.904	48.2

INCLUSÕES CARBÔNICAS SECUNDÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_14	125	-57.90	0.30	L	4.50	0.90	48.93	0.05	0.854	50.0
19_14	126	-57.90	0.30	L	7.30	0.88	49.97	0.05	0.828	51.6
19_14	127	-58.20	0.30	L	8.90	0.87	50.62	0.06	0.806	52.6
19_14	130	-57.90	0.30	L	-4.80	0.96	46.07	0.05	0.904	47.3
19_14	131	-58.70	0.30	L	0.60	0.92	47.63	0.07	0.846	49.6

INCLUSÕES CARBÔNICAS SECUNDÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_12f	102	-57.00	0.30	L	5.00	0.90	49.11	0.02	0.884	49.3
19_12f	103	-57.00	0.30	L	6.60	0.89	49.70	0.02	0.871	50.1
19_12f	104	-57.00	0.30	L	5.50	0.89	49.29	0.02	0.876	49.8
19_12f	105	-57.00	0.30	L	1.00	0.92	47.75	0.02	0.906	48.1
19_12f	106	-57.00	0.30	L	8.00	0.88	50.25	0.02	0.865	50.4
19_12f	107	-57.00	0.30	L	9.80	0.86	51.01	0.02	0.858	50.8
19_12f	108	-56.90	0.30	L	4.50	0.90	48.93	0.01	0.891	49.0
19_12f	109	-56.90	0.30	L	4.30	0.90	48.86	0.01	0.894	48.9

INCLUSÕES CARBÔNICAS SECUNDÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
19_4	138	-57.10	0.40	L	21.50	0.76	58.16	0.02	0.753	57.7
19_4	139	-57.10	0.30	L	21.50	0.76	58.16	0.02	0.753	57.7
19_4	140	-57.10	0.30	L	21.60	0.76	58.25	0.02	0.751	57.9
19_4	141	-57.20	0.30	L	21.60	0.76	58.25	0.02	0.748	58.0
19_4	142	-57.00	0.40	L	21.50	0.76	58.16	0.02	0.747	58.3
19_4	143	-57.10	0.30	L	21.40	0.76	58.07	0.02	0.746	58.3
19_4	144	-57.10	0.30	L	21.40	0.76	58.07	0.02	0.746	58.3
19_4	145	-57.00	0.30	L	21.50	0.76	58.16	0.02	0.750	58.1
19_4	146	-57.00	0.30	L	21.50	0.76	58.16	0.02	0.750	58.1
19_4	147	-57.10	0.30	L	17.50	0.80	55.10	0.02	0.772	56.3
19_4	148	57.10	0.30	L	21.40	0.76	58.07	0.02	0.750	58.0
19_4	149	57.00	0.30	L	21.30	0.76	57.98	0.02	0.752	58.0

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS PSEUDOSSECUNDÁRIAS (FLINCOR E BULK 01/03)

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	T _h	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaCl tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
19_21	161	-56.70	0.50	-11.6	10.00	L	30.90	0.10	30.900	254.5	258.1	g	1.29	9.19	34.96	0.25	0.52	84.35	1.00	0.00	0.62	0.17	0.21	0.00	0.906	27.338
19_21	162	-56.70	0.30	-11.5	-1.90	L	25.10	0.20	25.100	216.2	258.9	g	1.29	8.31	32.71	0.23	0.71	62.07	1.00	0.00	0.68	0.11	0.21	0.00	1.101	21.092
19_21	181	-56.60	0.50	-7.9	6.70	L	10.00	0.50	10.000	228.6	236.8	g	1.28	9.19	34.96	0.23	0.86	51.11	1.00	0.00	0.57	0.25	0.18	0.00	1.070	24.804
19_21	182	-56.50	0.40	-11.1	10.00	L	8.50	0.30	8.500	245.3	276.4	L	1.29	8.97	34.39	0.24	0.87	50.47	1.00	0.00	0.61	0.19	0.20	0.00	1.122	22.369
19_21	183	-56.50	0.50	-11	7.80	L	0.60	0.60	0.600	259.8	265.6	g	1.01	9.34	35.31	0.25	0.92	47.64	1.00	0.00	0.55	0.26	0.19	0.00	1.112	24.204
19_21	184	-56.60	0.40	-10.3		L	0.20	0.90	0.200			L	1.11	2.85	14.26	0.05	0.93	47.48	1.00	0.00	0.22	0.77	0.01	0.00	0.945	40.789
19_21	185	-56.60	0.30	-11		L	-1.00	0.90	-1.000			L	1.12	3.01	14.98	0.05	0.93	47.12	1.00	0.00	0.21	0.78	0.01	0.00	0.952	40.549

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS SECUNDÁRIAS (% EM PESO EQUIV. DE NaCl >> 26% - NÃO FOI POSSÍVEL OBTER T_{mNaCl} E T_{htot})

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	T _h	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaCl tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
19_12a	74	-56.50	0.05	-15	2.10	L	25.20	0.10	25.200			L	1.14	3.91	18.62	0.07	0.71	62.12	1.00	0.00	0.91	0.03	0.06	0.00	1.092	19.604
19_12a	78	-56.90	0.10	-15		L	4.20	0.30	4.200			L	1.14	3.91	18.62	0.07	0.89	48.99	0.99	0.01	0.81	0.14	0.06	0.00	1.070	22.310

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS SECUNDARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
19_17a	191	-56.60	0.40	-10.3	-1.50	L	0.60	0.90	0.600			L	1.13	3.51	17.03	0.06	0.92	47.60	1.00	0.00	0.21	0.77	0.01	0.00	0.945	40.896
19_17a	192	-56.60	0.40	-10.7	-1.30	L	-0.90	0.90	-0.900			L	1.13	3.47	16.84	0.06	0.93	47.15	1.00	0.00	0.21	0.78	0.01	0.00	0.953	40.586
19_17a	193	-56.60	0.30	-10.7		L	3.90	0.95	3.900			L	1.11	2.94	14.67	0.05	0.90	48.69	1.00	0.00	0.12	0.88	0.01	0.00	0.914	44.867
19_17a	194	-56.70	0.30	-10.4		L	3.60	0.90	3.600			L	1.11	2.87	14.36	0.05	0.91	48.45	1.00	0.00	0.22	0.77	0.01	0.00	0.929	41.441

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS SECUNDARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
19_20	155	-56.90	0.20	-11.8		L	5.10	0.70	5.100			L	1.12	3.20	15.76	0.05	0.90	49.11	1.00	0.00	0.51	0.46	0.03	0.00	0.964	32.372
19_20	156	-56.90	0.20	-10.6	-6.90	L	1.00	0.70	1.000			L	1.11	2.92	14.57	0.05	0.92	47.73	1.00	0.00	0.51	0.47	0.03	0.00	0.980	31.906
19_20	157	-56.80	0.20	-11		L	0.70	0.95	0.700			L	1.12	3.01	14.98	0.05	0.92	47.64	1.00	0.00	0.12	0.88	0.01	0.00	0.934	44.010
19_20	158	-56.80	0.30	-11		L	0.50	0.90	0.500			L	1.12	3.01	14.98	0.05	0.93	47.57	1.00	0.00	0.22	0.77	0.01	0.00	0.944	40.856
19_20	159	-56.80	0.30	-11.7		L	2.50	0.60	2.500			L	1.12	3.18	15.67	0.05	0.91	48.22	1.00	0.00	0.61	0.36	0.04	0.00	0.996	28.861
19_20	160	-56.80	0.30	-11		L	11.10	0.40	11.100			L	1.11	3.01	14.98	0.05	0.85	51.56	1.00	0.00	0.77	0.19	0.04	0.00	1.009	24.395

VEIO DE QUARTZO DA SEGUNDA GERAÇÃO (Q-IV2)

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS PRIMÁRIAS (% EM PESO EQUIV. DE NaCl >> 26% - NÃO FOI POSSIVEL OBTER T_{fNaCl} E T_{htot})

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
27_10	309	-57.50	0.20	-2.7	3.30	L	7.00	0.15	7.000			L	1.09	2.22	11.47	0.04	0.85	50.72	0.97	0.03	0.91	0.06	0.04	0.00	1.054	19.930

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS PSEUDOSSECUNDARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
27_06	310	-57.20	0.25	-1.6	5.30	L	19.60	0.15	19.600			L	1.06	1.59	8.51	0.03	0.76	56.66	0.97	0.03	0.92	0.05	0.03	0.00	1.017	20.133
27_06	311	-57.30	0.20	-1	4.50	L	18.20	0.15	18.200			L	1.07	1.85	9.74	0.03	0.76	57.20	0.97	0.03	0.92	0.05	0.03	0.00	1.024	20.132
27_06	312	-56.90	0.20	-2.1	4.10	L	15.30	0.15	15.300			L	1.08	1.97	10.33	0.03	0.80	54.39	0.99	0.01	0.91	0.06	0.03	0.00	1.035	20.058
27_06	313	-57.20	0.20	-2.6	4.10	L	16.40	0.15	16.400			L	1.08	1.97	10.33	0.03	0.79	55.15	0.98	0.02	0.91	0.05	0.03	0.00	1.033	20.081
27_06	315	-57.10	0.20	-2.5	4.60	L	18.40	0.15	18.400			L	1.07	1.81	9.59	0.03	0.78	56.01	0.98	0.02	0.92	0.05	0.03	0.00	1.026	20.111

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS PSEUDOSSECUNDARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
27_06a	316	-57.20	0.60	-2	3.00	L	14.00	0.20	14.000			L	1.09	2.31	11.88	0.04	0.81	53.64	0.98	0.02	0.89	0.08	0.04	0.00	1.034	20.805
27_06a	317	-57.20	0.20	-1.8	3.50	L	16.90	0.20	16.900			L	1.08	2.16	11.19	0.04	0.78	55.69	0.98	0.02	0.89	0.07	0.04	0.00	1.023	20.881

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS PSEUDOSSECUNDARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
27_06b	318	-57.20	0.30	-1.7	4.30	L	19.30	0.20	19.300			L	1.07	1.91	10.04	0.03	0.76	56.77	0.98	0.02	0.90	0.07	0.03	0.00	1.012	20.925
27_06b	319	-56.90	0.30	-2.2	4.50	L	25.30	0.15	25.300			L	1.07	1.85	9.74	0.03	0.69	63.05	0.99	0.01	0.92	0.05	0.03	0.00	1.011	20.279
27_06b	324	-57.00	0.30		4.40	L	22.30	0.20	22.300			L	1.07	1.88	9.89	0.03	0.75	57.96	0.99	0.01	0.90	0.07	0.03	0.00	1.007	20.977
27_06b	325	-57.00	0.30		4.40	L	22.30	0.20	22.300			L	1.07	1.88	9.89	0.03	0.75	57.96	0.99	0.01	0.90	0.07	0.03	0.00	1.007	20.977
27_06b	326	-57.00	0.30		4.40	L	22.30	0.20	22.300			L	1.07	1.88	9.89	0.03	0.75	57.96	0.99	0.01	0.90	0.07	0.03	0.00	1.007	20.977

27_06b	327	-57.00	0.30		4.40	L	22.30	0.20	22.300		379.4	G	1.07	1.88	9.89	0.03	0.75	57.96	0.99	0.01	0.90	0.07	0.03	0.00	1.007	20.977
INCLUSÕES AQUO-CARBONICAS SECUNDARIAS																										
Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaCl l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
27_06c	320	-57.00	0.20		4.50	L	22.10	0.10	22.100			L	1.07	1.85	9.74	0.03	0.75	58.17	0.98	0.02	0.94	0.03	0.03	0.00	1.037	19.429
27_06c	321	-57.40	0.30	-1.4	4.60	L	14.60	0.30	14.600			L	1.07	1.81	9.59	0.03	0.79	54.18	0.97	0.03	0.85	0.12	0.03	0.00	0.992	22.558
27_06c	322	-57.40	0.30	-0.6	3.10	L	13.60	0.30	13.600		245.1	G	1.09	2.28	11.75	0.04	0.80	53.64	0.97	0.03	0.84	0.12	0.03	0.00	1.007	22.525
27_06c	323	-57.40	0.30	-1.6	4.10	L	14.90	0.30	14.900		233.5	G	1.08	1.97	10.33	0.03	0.79	54.39	0.97	0.03	0.85	0.12	0.03	0.00	0.995	22.570

VEIO DE QUARTZO DA QUARTA GERAÇÃO (Q-IV4)

INCLUSÕES CARBONICAS PRIMARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _h	T _h (L V)	d _{CO2}	MV CO ₂	XCH ₄	dCO ₂ equiv.	MV CO ₂
73_01	266	-57.70	0.40	L	23.30	0.73	59.93	0.04	0.643	66.6
73_01	267	-57.70	0.40	L	23.60	0.73	60.25	0.04	0.643	66.6
73_01	268	-57.70	0.50	L	23.00	0.74	59.61	0.04	0.646	66.2
73_01	269	-57.70	0.50	L	22.90	0.74	59.50	0.04	0.650	65.8
73_01	270	-57.70	0.40	L	23.70	0.73	60.37	0.05	0.631	67.7
73_01	271	-57.70	0.40	L	23.00	0.74	59.61	0.05	0.640	66.8
73_01	272	-57.70	0.50	L	21.90	0.75	58.52	0.05	0.682	62.7
73_01	273	-57.70	0.40	L	23.20	0.74	59.82	0.05	0.645	66.2
73_01	274	-57.60	0.50	L	22.30	0.75	58.90	0.04	0.657	65.1
73_01	275	-57.60	0.40	L	23.10	0.74	59.71	0.04	0.654	65.5
73_01	276	-57.60	0.40	L	23.60	0.73	60.25	0.04	0.648	66.0
73_01	277	-57.60	0.50	L	23.60	0.73	60.25	0.04	0.648	66.0

INCLUSÕES AQUO-CARBONICAS PRIMARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaCl l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
12_01a	163	-60.30	0.40	-0.7	10.00	L	11.20	0.90	11.200			L	1.00	0.20	1.16	0.00	0.60	66.20	0.84	0.16	0.29	0.60	0.00	0.11	0.698	52.331
12_01a	164	-60.90	0.40	-1.1	9.70	L	10.10	0.90	10.100			L	1.01	0.32	1.82	0.01	0.64	62.49	0.85	0.15	0.28	0.62	0.00	0.11	0.735	50.197

INCLUSÕES AQUO-CARBONICAS PSEUDO-SECUNDARIAS (ZONA DE IMISCIBILIDADE)

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaCl l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
12_01c	171	-56.80	0.70	-1		V	28.80	0.90	28.800		370.5	L	1.00	0.29	1.65	0.01	0.44	98.97	1.00	0.00	0.38	0.62	0.00	0.00	0.500	68.522
12_01c	172	-56.70	0.60	-1		V	28.00	0.90	28.000			L	1.00	0.29	1.65	0.01	0.44	99.53	1.00	0.00	0.38	0.62	0.00	0.00	0.498	68.759
12_01c	173	-56.80	0.70	-0.7		V	27.80	0.90	27.800			L	1.00	0.20	1.16	0.00	0.46	96.01	0.99	0.01	0.37	0.63	0.00	0.01	0.512	67.233
12_01c	174	-56.80	0.50	-1		V	28.20	0.90	28.200		316.9	L	1.00	0.29	1.65	0.01	0.44	99.16	1.00	0.00	0.38	0.62	0.00	0.00	0.500	68.601
12_01c	175	-56.80	0.40	0		V	28.80	0.90	28.800		316.9	L	0.99	0.00	0.00	0.00	0.46	96.01	0.99	0.01	0.37	0.63	0.00	0.01	0.512	67.258
12_01c	176	-56.90	0.70	-1.4	6.20	V	28.10	0.50	28.100	120.7		L	1.01	0.40	>>>26	0.01	0.44	99.71	0.99	0.01	0.84	0.15	0.01	0.00	0.724	30.740
12_01c	177	-56.80	0.60	-1.2	6.80	V	27.30	0.80	27.300			L	1.01	0.35	1.98	0.01	0.51	86.38	0.99	0.01	0.54	0.45	0.00	0.01	0.609	49.339
12_01c	178	-56.90	0.80	-1	7.80	V	28.20	0.70	28.200			L	1.00	0.29	1.65	0.01	0.44	99.90	0.99	0.01	0.70	0.30	0.00	0.00	0.609	42.536
12_01c	179	-56.70	0.50	-1.3	2.80	V	28.60	0.70	28.600			L	1.01	0.37	2.14	0.01	0.44	99.90	1.00	0.00	0.70	0.30	0.01	0.00	0.610	42.529

INCLUSÕES AQUO-CARBONICAS PSEUDO-SECUNDARIAS (% EM PESO EQUIV. DE NaCl >> 26% - NÃO FOI POSSIVEL OBTER T_{mNaCl} E T_{htot})

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC I tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
73_12a	257	-57.00	0.30	-13.5		L	26.20	0.50	26.200			L	1.13	3.59	17.33	0.06	0.67	64.90	0.98	0.02	0.73	0.22	0.05	0.00	0.902	28.422
73_12a	258	-57.00	0.30	-11.4		L	28.90	0.50	28.900			L	1.11	3.11	15.37	0.05	0.58	75.27	0.98	0.02	0.76	0.19	0.04	0.00	0.847	29.286
73_12a	259	-56.90	0.30	-11.8		L	27.40	0.50	27.400			L	1.11	3.20	15.76	0.05	0.60	72.86	0.99	0.01	0.76	0.20	0.04	0.00	0.858	29.093
73_12a	260	-56.90	0.30	-10.2		L	20.40	0.50	20.400			L	1.10	2.82	14.16	0.05	0.76	57.63	0.99	0.01	0.72	0.24	0.04	0.00	0.933	27.552
73_12a	261	-57.00	0.30	-12.2		L	27.90	0.50	27.900			L	1.12	3.29	16.15	0.06	0.60	72.68	0.98	0.02	0.76	0.20	0.05	0.00	0.860	29.091
73_12a	262	-56.90	0.30	-10		L	21.70	0.50	21.700			L	1.10	2.77	13.95	0.05	0.76	57.52	0.99	0.01	0.72	0.24	0.04	0.00	0.933	27.547
73_12a	263	-56.90	0.30	-9.9		L	18.00	0.50	18.000			L	1.10	2.75	13.84	0.05	0.78	55.90	0.99	0.01	0.72	0.24	0.04	0.00	0.944	27.327
73_12a	264	-56.90	0.30	-11.2		L	19.80	0.50	19.800			L	1.11	3.06	15.18	0.05	0.78	56.34	0.99	0.01	0.72	0.24	0.04	0.00	0.946	27.412
73_12a	265	-56.90	0.30	-10.5		L	19.30	0.50	19.300			L	1.11	2.89	14.47	0.05	0.78	56.12	0.99	0.01	0.72	0.24	0.04	0.00	0.945	27.371

INCLUSÕES AQUO-CARBONICAS SECUNDARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC I tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
12_03a	221	-56.90	0.30	-10.2	8.70	L	6.80	0.60	6.800			L	1.02	0.55	3.14	0.01	0.87	50.07	0.99	0.01	0.64	0.35	0.01	0.00	0.935	29.322
12_03a	222	-56.90	0.30		9.50	L	6.90	0.60	6.900			L	1.00	0.25	1.44	0.00	0.87	50.07	0.99	0.01	0.65	0.35	0.00	0.00	0.929	29.362
12_03a	223	-56.90	0.30		9.20	L	6.80	0.60	6.800			L	1.01	0.37	2.10	0.01	0.87	50.07	0.99	0.01	0.64	0.35	0.00	0.00	0.931	29.346
12_03a	225	-56.80	0.30	-4.1	8.00	L	7.70	0.60	7.700			L	1.03	0.79	4.42	0.01	0.87	50.40	0.99	0.01	0.64	0.35	0.01	0.00	0.936	29.367
12_03a	226	-56.80	0.30	-7.9	8.00	L	6.90	0.60	6.900			L	1.03	0.81	4.51	0.01	0.87	50.18	0.99	0.01	0.64	0.35	0.01	0.00	0.938	29.317

INCLUSÕES AQUO-CARBONICAS SECUNDARIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC I tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
12_09	206	-57.10	0.30	-5.2	9.40	L	10.20	0.60	10.200			L	1.00	0.21	1.22	0.00	0.84	51.69	0.98	0.02	0.65	0.34	0.00	0.01	0.912	29.702
12_09	207	-57.00	0.30	-7.4	6.90	L	8.60	0.60	8.600			L	1.04	1.06	5.86	0.02	0.86	50.61	0.98	0.02	0.64	0.34	0.01	0.01	0.938	29.390
12_09	208	-56.80	0.30	-8.2	6.30	L	11.90	0.60	11.900			L	1.05	1.26	6.88	0.02	0.85	51.69	0.99	0.01	0.64	0.34	0.02	0.00	0.930	29.609
12_09	209	-57.00	0.30	-8.7	7.70	L	9.30	0.60	9.300			L	1.03	0.79	4.44	0.01	0.86	50.83	0.99	0.01	0.64	0.34	0.01	0.01	0.931	29.460
12_09	210	-57.20	0.30	-9.2	8.20	L	9.60	0.60	9.600			L	1.02	0.62	3.52	0.01	0.85	51.05	0.98	0.02	0.65	0.34	0.01	0.01	0.926	29.522
12_09	211	-57.30	0.40	-7.4	9.70	L	10.60	0.50	10.600			L	1.00	0.11	0.63	0.00	0.84	51.80	0.98	0.02	0.74	0.25	0.00	0.01	0.923	26.877

INCLUSÕES AQUO-CARBONICAS PRIMARIAS (NO QUARTZO RELACIONADO A SIDERITA)

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC I tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
73_04	243	-58.00	0.40		9.50	L	15.90	0.50	15.900			L	1.00	0.18	1.02	0.00	0.74	57.20	0.95	0.05	0.76	0.23	0.00	0.01	0.885	27.555
73_04	244	-58.10	0.40	-2	9.80	L	16.00	0.40	16.000			L	1.00	0.07	0.42	0.00	0.74	57.42	0.95	0.05	0.83	0.17	0.00	0.01	0.904	24.997

INCLUSÕES AQUO-CARBONICAS PSEUDOSECONDARIAS (NO QUARTZO RELACIONADO A SIDERITA)

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb	XCH ₄ Carb	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC I tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	Vm _{tot}
73_04	239	-58.50	0.30	-1.1	9.70	L	14.20	0.60	14.200			L	1.00	0.11	0.63	0.00	0.75	56.23	0.93	0.07	0.67	0.30	0.00	0.02	0.868	30.576
73_04	241	-58.30	0.30	-1.2	10.00	L	15.40	0.60	15.400			L	0.99	0.00	0.02	0.00	0.73	57.31	0.93	0.07	0.68	0.30	0.00	0.02	0.857	30.782
73_04	242	-57.70	0.40		9.20	L	14.90	0.50	14.900			L	1.01	0.28	1.61	0.01	0.78	55.04	0.96	0.04	0.75	0.24	0.00	0.01	0.902	27.281

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS PRIMÁRIAS EM SIDERITA

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	V _m _{tot}
73_05	234	-58.30	0.30	-3.7	8.00	L	12.40	0.60	12.400			L	1.02	0.69	3.89	0.01	0.76	55.26	0.94	0.06	0.66	0.31	0.01	0.02	0.887	30.327
73_05	235	-58.30	0.30	-3.1		L	13.00	0.60	13.000			L	1.03	0.90	5.01	0.02	0.76	55.58	0.94	0.06	0.66	0.31	0.01	0.02	0.888	30.369
73_05	236	-58.30	0.30	-2.3		L	12.10	0.60	12.100			L	1.02	0.67	3.76	0.01	0.77	55.04	0.94	0.06	0.66	0.31	0.01	0.02	0.889	30.289
73_05	237	-57.80	0.20	-3	8.90	L	12.40	0.60	12.400			L	1.01	0.38	2.20	0.01	0.79	53.96	0.96	0.04	0.66	0.32	0.01	0.02	0.893	30.122
73_05	238	-57.80	0.30	-1	8.90	L	12.60	0.60	12.600			L	1.01	0.38	2.20	0.01	0.79	54.07	0.96	0.04	0.66	0.32	0.01	0.02	0.892	30.143

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS PRIMÁRIAS (IF NA APATITA RELACIONADA COM AU, T_{htot} próximo ao crítico)

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	V _m _{tot}
26_1	211	-56.90	0.60	-5.2	8.80	L	27.30	0.80	27.300		277.0	L	1.01	0.42	2.39	0.01	0.64	68.23	0.99	0.01	0.48	0.51	0.00	0.01	0.718	43.986
26_1	212	-56.90	0.50	-7.4	8.70	L	23.60	0.60	23.600		212.0	L	1.01	0.45	2.58	0.01	0.63	69.16	0.99	0.01	0.71	0.28	0.01	0.00	0.786	32.557
26_1	213	-57.00	0.60		8.80	L	29.30	0.60	29.300			L	1.01	0.42	2.39	0.01	0.56	78.05	0.98	0.02	0.74	0.26	0.01	0.00	0.741	33.676
26_1	214	-56.90	0.50	-5.6	10.00	L	23.60	0.60	23.600			L	0.99	0.00	0.02	0.00	0.71	61.38	0.99	0.01	0.69	0.30	0.00	0.00	0.827	31.476
26_1	215	-56.90	0.50	-5.2	9.40	L	18.60	0.60	18.600			L	1.00	0.21	1.22	0.00	0.78	55.90	0.99	0.01	0.67	0.32	0.00	0.00	0.873	30.516
26_1	217	-56.90	0.50		9.40	L	25.00	0.60	25.000			L	1.00	0.21	1.22	0.00	0.68	63.97	0.99	0.01	0.70	0.30	0.00	0.00	0.813	31.856
26_1	218	-56.80	0.50	-6.2	6.20	L	24.50	0.60	24.500			L	1.05	1.30	7.04	0.02	0.71	62.12	0.99	0.01	0.68	0.30	0.02	0.00	0.843	31.502
26_1	219	-56.70	0.50	-8	7.00	L	24.70	0.60	24.700			L	1.04	1.03	5.68	0.02	0.70	62.49	1.00	0.00	0.68	0.30	0.01	0.00	0.836	31.571
26_1	220	-58.80	0.50	0	8.80	L	22.10	0.50	22.100			L	1.01	0.42	2.39	0.01	0.50	83.05	0.91	0.09	0.82	0.16	0.01	0.02	0.770	29.783

IF NO QUARTZO DA L_{M/E3} DO XISTO CARBONOSO (ROCHA HOSPEDEIRA DOS VEIOS DE QUARTZO)

INCLUSÕES AQUO-CARBÔNICAS PRIMÁRIAS

Am.	Nr.	T _m	%V	T _{mg}	T _m clat	Th	T _h CO ₂	%V CO ₂	T _{estim}	T _{mNaCl}	T _{htot}	L-V	d _{H2O}	NaCl mola	NaCl % _{peso}	X NaCl	d _{Carb}	MV Carb.	XCO ₂ Carb.	XCH ₄ Carb.	XH ₂ O tot	XCO ₂ tot	XNaC l tot	XCH ₄ tot	d _{tot}	V _m _{tot}
IV22	450	-57.80		-0.7	8.30	L	21.90	0.10	21.900		300.0	L	1.02	0.59	3.33	0.01	0.67	63.60	0.96	0.04	0.96	0.03	0.01	0.00	0.985	19.528
IV22	451	-57.80		-1.6	7.90	L	24.40	0.10	24.400		299.2	L	1.02	0.73	4.07	0.01	0.62	69.16	0.95	0.05	0.96	0.03	0.01	0.00	0.984	19.579
IV22	452	-58.00		-0.8	8.70	L	22.30	0.15	22.300		305.9	L	1.01	0.45	2.58	0.01	0.64	66.01	0.94	0.06	0.95	0.04	0.01	0.00	0.959	20.358

ANEXO 1 PERFIL E-W

LEGENDA

Fácies Terrígena (Formação Ribeirão das Antas)	Fácies de Alteração Hidrotermal
Xisto carbonoso	Porfiroblastos de granada almandínica.
Metabásito com clastos líticos.	Porfiroblastos de Fe-tschermakita.
Veio de Quartzo mineralizado (Zona Inferior), encaixado no xisto carbonoso.	Dolomito hidrotermal como resultado da alteração das metabasites.
Fácies Vulcano-sedimentar (Formação Rio Vermelho)	Dolomito hidrotermal como resultado da alteração das rochas metassedimentares carbonosas. Ocorrem raras porções reliquias de dolomitos primários.
Anfibolito com predominância de hornblenda/actinolita e frequentes estruturas ígneas reliquias.	Clorito como matriz no núcleo das alterações hidrotermais frequentemente com porfiroblastos de granada almandínica, Fe-tschermakita e mais raramente arsenopirita e cloritóide.
Clorita xisto provavelmente relacionado ao protólito metabásico.	